



HAL
open science

Analyse de l'activité physique et du mouvement dans les pathologies cardiométaboliques : applications à l'évaluation et à l'intervention chez les patients obèses

Alice Bellicha

► To cite this version:

Alice Bellicha. Analyse de l'activité physique et du mouvement dans les pathologies cardiométaboliques : applications à l'évaluation et à l'intervention chez les patients obèses. Education. Université Paris-Est, 2018. Français. NNT : 2018PESC0074 . tel-03411563

HAL Id: tel-03411563

<https://theses.hal.science/tel-03411563>

Submitted on 2 Nov 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

UNIVERSITÉ PARIS-EST CRÉTEIL

École doctorale Sciences de la Vie et de la Santé

Laboratoire Bioingénierie, Tissus et Neuroplasticité (EA 7377)
IHU Cardiométabolisme et Nutrition (ICAN)

THÈSE présentée par
Alice Bellicha

Pour obtenir le grade de
Docteur de l'Université Paris-Est Créteil
Discipline : Pathologie et recherche clinique

**Analyse de l'activité physique et du mouvement
dans les pathologies cardiométaboliques**
**Applications à l'évaluation et à l'intervention
chez les patients obèses**

Thèse soutenue le 5 décembre 2018

THÈSE DIRIGÉE PAR :

Professeur Pierre Portero

Professeur Jean-Michel Oppert

Université Paris-Est Créteil

Sorbonne Université (Paris)

RAPPORTEURS :

Professeur Yves Boirie

Professeur Anne Vuillemin

Université Clermont Auvergne (Clermont-Ferrand)

Université Nice Sophia Antipolis (Nice)

JURY :

Professeur Yves Boirie

Professeur Jean-Michel Oppert

Professeur Pierre Portero

Professeur Chantal Simon

Professeur Anne Vuillemin

Université Clermont Auvergne (Clermont-Ferrand)

Sorbonne Université (Paris)

Université Paris-Est Créteil

Université Claude Bernard Lyon (Lyon 1)

Université Nice Sophia Antipolis (Nice)

Remerciements

À Madame le Professeur Anne Vuillemin et à Monsieur le Professeur Yves Boirie,

Je vous remercie d'avoir accepté de juger ce travail. Soyez assurés de ma reconnaissance et de tout mon respect.

À Madame le Professeur Chantal Simon,

Je vous remercie d'avoir accepté d'être examinatrice dans ce jury et d'avoir participé à mon comité de thèse. Vos conseils prodigués à cette occasion m'ont été d'une grande utilité.

À Monsieur le Professeur Jean-Michel Oppert,

Je vous remercie d'avoir co-dirigé ce travail et de m'avoir accompagnée dans ce riche apprentissage de la recherche. Merci de m'avoir aidée tout au long de ces années, qui ont débuté bien avant la thèse, à franchir ces étapes successives. Votre connaissance de l'activité physique, votre curiosité, et votre confiance ont rendu ces années enrichissantes et enthousiasmantes.

À Monsieur le Professeur Pierre Portero,

Je vous remercie d'avoir accepté, après avoir été mon professeur à l'université, de poursuivre mon éducation en co-dirigeant ce travail de thèse. J'ai pu apprécier votre connaissance historique de l'exercice et votre enthousiasme pour le lancement de nouveaux projets de recherche.

À mes deux co-directeurs de thèse,

Jean-Michel, Pierre, merci d'avoir su créer cette bonne ambiance de travail tout au long de la thèse. Cette expérience restera marquée par nos réunions en commun, alternant entre sérieux et rire, efficacité et dispersion, mais toujours dans un climat de respect et de confiance.

À Madame le Professeur Karine Clément et à l'Institut Cardiométabolisme et Nutrition,

Je vous remercie d'avoir apporté votre aide et votre soutien à ce travail, et de m'avoir permis de le réaliser dans un environnement de recherche de haut niveau.

À tous les membres du service de Nutrition,

Pour m'avoir accueillie avec autant de bienveillance dans votre équipe. Je remercie tout particulièrement Madame le Docteur Cécile Ciangura et Madame le Professeur Christine Poitou de m'avoir fait participer à leurs projets, à la fois cliniques et de recherche. À vos côtés, j'ai découvert les joies et, parfois, les difficultés de la recherche clinique mais, plus important encore, le plaisir du travail en équipe.

Merci également aux médecins du service, Judith, Pauline, Dorothee, Margot, Mihaela, sans oublier David Pierrot, enseignant en activité physique adaptée, pour votre amitié et votre soutien.

Enfin, mes remerciements vont à ma cousine, le docteur Dominique Cassuto, d'avoir toujours cru en moi et de m'avoir fait rencontrer les bonnes personnes, au bon moment. Merci d'avoir toujours su me faire profiter de ta grande expérience de clinicienne.

À l'équipe du laboratoire BIOTN,

Merci de m'avoir intégrée à votre équipe, et de m'y accueillir encore l'an prochain. Un merci tout particulier à Mesdames les docteurs Caroline Giroux et Ingrid Masson de m'avoir transmis vos connaissances des méthodes d'analyse du mouvement, et d'avoir patiemment attendu que je les intègre.

À Madame le Docteur Hélène Charreire,

Pour m'avoir accueillie dans ton bureau et avoir accepté mes bavardages pendant tes rares heures de calme. Ton enthousiasme inconditionnel pour l'enseignement et la recherche fait de toi le modèle de l'enseignant-chercheur que l'on souhaiterait tous devenir. Après tant d'années à se côtoyer sans jamais réellement travailler ensemble, j'espère que l'avenir nous réserve de beaux projets en commun.

À tous mes amis rencontrés au cours de cette thèse,

Merci à Céline Roda, Thiery Feuillet, Anaïs Dubreuil d'avoir su créer ce petit groupe soudé toujours prêt à fêter les articles et autres bonnes nouvelles. Merci tout particulièrement à Céline qui, malgré la distance, a toujours été là pour m'aider et me conseiller.

Je remercie également Rohia, Sophie, Valentine, Véronique, Solia, Flavien, Rachel, Choukri, Simone, qui ont fait de cette thèse une aventure amicale, joyeuse et enrichissante. Nos discussions, nos footings, et nos soirées resteront comme des précieux souvenirs de ces trois années de thèse.

Je remercie particulièrement Solia pour son aide précieuse, son écoute attentive, et son amitié qui m'ont accompagnée à la fin de la thèse.

À ma famille,

Je remercie toute ma famille et mes amis proches pour leur présence et leur soutien indéfectible.

Table des matières

Remerciements	1
Liste des illustrations	5
Liste des tableaux	6
Liste des annexes	8
Liste des principales abréviations	9
Publications	10
Communications lors de congrès ou séminaires	11
Avant-propos	13
ÉTAT DES CONNAISSANCES	15
1- Activité physique, capacité physique et santé	16
1-1- Définitions	16
1-2- Effets physiologiques, métaboliques et cliniques de l'activité physique	18
1-3- Méthodes de mesure de l'activité physique et de la capacité physique	31
2- Activité physique et prise en charge des personnes obèses	53
2-1- Obésité : définition et épidémiologie	53
2-2- Mécanismes physiopathologiques	54
2-3- Place de l'activité physique dans la prise en charge des personnes obèses	68
3- Activité physique et chirurgie bariatrique	75
3-1- Techniques chirurgicales	75
3-2- Épidémiologie de la chirurgie bariatrique	75
3-3- Bénéfices cliniques de la chirurgie bariatrique	76
3-4- Effets de la chirurgie bariatrique sur l'activité physique et la capacité physique	77
3-5- Bénéfices de l'activité physique en complément de la chirurgie bariatrique	86
4- Activité physique et obésités rares	88
4-1- Syndrome de Prader-Willi	88
4-2- Activité physique et capacité physique des patients présentant un SPW	89
4-3- Prise en charge à l'âge adulte des patients présentant un SPW : rôle de l'activité physique	90
OBJECTIFS DU TRAVAIL DE THÈSE	92
1- Objectifs	93
2- Questions spécifiques	93
MÉTHODES GÉNÉRALES	95
1- Revue de la littérature et méta-analyse	96
1-1- Recherche bibliographique systématique	96
2-2- Synthèse des données	98
2- Description de l'activité physique et de la capacité physique chez des patients obèses bénéficiant d'une chirurgie bariatrique	100
2-1- Étude PROMISE	100
2-2- Étude FAMOUS	109
3- Évaluation d'un programme d'activité physique chez des patients obèses atteints d'un syndrome de Prader-Willi	119
3-1- Étude APA-PWS	119
4- Exploration des motivations et des freins des médecins à prescrire un objet connecté d'activité physique aux patients présentant une maladie cardiométabolique	123
4-1- Étude qualitative	123
RÉSULTATS	126
1- Bénéfices de l'activité physique après une chirurgie bariatrique	127
1-1- Efficacité des programmes d'entraînement après une chirurgie bariatrique : revue de la littérature et méta-analyse	127

1-2- Efficacité d'un entraînement de renforcement musculaire associé à une supplémentation protéique après une chirurgie bariatrique : étude contrôlée randomisée (étude PROMISE).....	138
2- Description de l'activité physique et de la capacité physique chez des patients bénéficiant d'une chirurgie bariatrique	141
2-1- Activité physique et capacité cardiorespiratoire avant et à court et long terme après une chirurgie bariatrique (étude PROMISE)	141
2-2- Activité physique, capacité cardiorespiratoire et fonction musculaire chez les patientes obèses candidates à la chirurgie bariatrique (étude FAMOUS)	152
2-3- Proposition d'une nouvelle méthode d'analyse des données d'accélérométrie : individualisation des seuils d'intensité (étude PROMISE).....	167
3- Activité physique et syndrome de Prader-Willi	171
3-1- Activité physique et capacité physique chez des patients adultes présentant un SPW.....	171
3-2- Efficacité et transférabilité d'un programme d'entraînement supervisé chez des patients adultes présentant un SPW	175
4- Place des objets connectés d'activité physique dans la prise en charge des patients : le point de vue des médecins	180
DISCUSSION GÉNÉRALE	187
1- Rappel et mise en perspective des principaux résultats.....	188
1-1- Efficacité des programmes d'activité physique chez les patients obèses	188
1-2- Méthodes de mesure de l'AP et de la capacité physique adaptées aux patients obèses	193
1-3- Description de l'AP et de la capacité physique de patients obèses	199
2- Forces et limites des études	206
2-1- Forces méthodologiques générales	206
2-2- Limites méthodologiques générales.....	207
3- Perspectives pour la recherche et la prise en charge des patients	209
3-1- Bénéfices des programmes d'entraînement.....	209
3-2- Évaluation et promotion de l'AP habituelle.....	210
3-3- Évaluation de la capacité physique	211
CONCLUSION GÉNÉRALE	212
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	215
ANNEXES	239

Liste des illustrations

Figure 1 – Composantes de la dépense énergétique totale et illustration théorique de la contribution de l'exercice et de l'AP non structurée	19
Figure 2 – Relation entre le niveau d'AP et les apports énergétiques	20
Figure 3 – Modèle présentant les mécanismes intermédiaires du développement des complications de l'obésité	57
Figure 4 – Effet potentiel des altérations des fonctions musculaires et cardiorespiratoires, rôle potentiel de l'AP.....	68
Figure 5 – Protocole de l'étude PROMISE	101
Figure 6 – Exemple de l'estimation du 1RM à partir de la relation charge-vitesse	104
Figure 7 – Positionnement des accéléromètres	111
Figure 8 – Ergomètre isocinétique Con-Trex.....	112
Figure 9 – Force appliquées au sol (axe vertical) lors d'un saut vertical.....	113
Figure 10 – Représentation des déplacements du centre de pression lors des tests de stabilité posturale	115
Figure 11 – Principaux paramètres spatiaux mesurés par le tapis GaitRite	116
Figure 12 – Diagramme de la recherche bibliographique	128
Figure 13 – Calendrier des interventions.....	133
Figure 14 – Évolution de la masse et de la composition corporelle dans le groupe entraînement comparativement au groupe témoin	136
Figure 15 – Évolution du $\dot{V}O_2$ max et de la capacité physique fonctionnelle dans le groupe entraînement comparativement au groupe témoin.....	137
Figure 16 – Évolution 6 mois après le <i>bypass</i> du $\dot{V}O_2$ pic en fonction du changement de MVPA	147
Figure 17 – Évolution individuelle de la masse et de la composition corporelle à 6 mois, 12 mois et 5 ans après le <i>bypass</i>	148
Figure 18 – Évolution 5 ans après le <i>bypass</i> du $\dot{V}O_2$ pic en fonction du changement de MVPA.....	150
Figure 19 – Distribution des pas selon la cadence de marche (en pas.min ⁻¹).....	155
Figure 20 –Nombre de pas quotidien mesuré avec les Actigraph et activPAL	155
Figure 21 – Reproductibilité de la mesure de puissance et de force lors d'un saut vertical sur une plateforme de force.....	159
Figure 22 – Relation entre la puissance et la force musculaire (saut vertical) et les couples de force isocinétiques et isométrique (extenseurs du genou)	160
Figure 23 – Relations entre la force et la puissance musculaire (saut vertical) et la masse maigre	160
Figure 24 – Distribution des MVPA en sessions très courtes, courtes et prolongées	174
Figure 25 – Distribution de la sédentarité en sessions très courtes, courtes et prolongées	174
Figure 26 – Effets à court terme du programme d'entraînement sur les profils de MVPA.....	177
Figure 27 – Effets à court terme du programme d'entraînement sur les profils de sédentarité.....	177

Liste des tableaux

Tableau 1 – Repères d'intensité absolue et relative	17
Tableau 2 – Effets de l'entraînement sur les facteurs de risque cardiométaboliques	22
Tableau 3 – Relations entre AP, sédentarité, capacité physique et risque de mortalité.....	27
Tableau 4 – Catégories d'intensité basées sur la cadence de marche.....	36
Tableau 5 – Principaux paramètres mesurés par les podomètres	37
Tableau 6 – Principaux paramètres mesurés par les podomètres	39
Tableau 7 – Équations de prédiction et seuils d'intensité développés pour les accéléromètres Actigraph portés à la ceinture.....	42
Tableau 8 – Principaux paramètres mesurés par les accéléromètres.....	45
Tableau 9 – Exemples d'objets connectés du commerce	48
Tableau 10 – Corrélations entre la performance lors d'un saut vertical et la force musculaire	52
Tableau 11 – Prévalence de l'obésité en 2013 dans différentes régions du Monde	54
Tableau 12 – Risque relatif de maladies cardiométaboliques associé à l'obésité	56
Tableau 13 – Adaptations des muscles squelettiques et de leur fonction chez les sujets obèses	61
Tableau 14 – Équations de prédiction et seuils d'intensité développés pour les personnes en surpoids ou obèses	72
Tableau 15 – Principaux paramètres d'expression du $\dot{V}O_2\text{max}$ chez les sujets obèses.....	74
Tableau 16 – AP mesurée de façon objective chez les candidats à la chirurgie bariatrique	79
Tableau 17 – $\dot{V}O_2\text{max}$, fonction musculaire et capacité physique fonctionnelle chez les candidats à la chirurgie bariatrique	81
Tableau 18 – Évolution spontanée de l'AP habituelle mesurée de façon objective après une chirurgie bariatrique.....	83
Tableau 19 – Évolution du $\dot{V}O_2\text{max}$, de la fonction musculaire et de la capacité physique fonctionnelle après une chirurgie bariatrique	85
Tableau 20 – Fonction musculaire et capacité physique fonctionnelle chez les patients adultes présentant un SPW	90
Tableau 21 – Paramètres biologiques mesurés dans l'étude PROMISE.....	102
Tableau 22 – Calendrier des évaluations pour l'étude PROMISE.....	107
Tableau 23 – Paramètres de stabilité posturale mesurés par la plateforme de force Satel	114
Tableau 24 – Paramètres temporels mesurés par le tapis GaitRite.....	116
Tableau 25 – Méthodes d'évaluation de la transférabilité.....	122
Tableau 26 – Caractéristiques des études incluses (N = 20)	129
Tableau 27 – Qualité des études.....	132
Tableau 28 – Résultats de la participation aux programmes d'entraînement.....	134
Tableau 29 – Évolution de la force musculaire, de l'AP, de la qualité de vie et du profil métabolique dans le groupe entraînement comparativement au groupe témoin	135
Tableau 30 – Données préopératoires des patientes incluses dans l'étude PROMISE	139
Tableau 31 – Évolution de la composition corporelle et de la force musculaire selon les groupes	140

Tableau 32 – Données de composition corporelle, de comorbidités, de capacité cardiorespiratoire et d’AP habituelle avant et 6 mois après le <i>bypass</i> (N=65).....	142
Tableau 33 – Répartition des sessions de MVPA et de sédentarité au cours de la période de port de l’accéléromètre avant et 6 mois après le <i>bypass</i> (N=65).....	143
Tableau 34 – Profils d’AP et de sédentarité avant et 6 mois après le <i>bypass</i> (N=65).....	144
Tableau 35 – Paramètres associés à la composition corporelle.....	145
Tableau 36 – Données de composition corporelle, de comorbidités, de capacité cardiorespiratoire et d’AP habituelle avant et 6 mois après le <i>bypass</i> (N = 33).....	148
Tableau 37 – Répartition des sessions de MVPA et de sédentarité au cours de la période de port de l’accéléromètre avant et 6 mois après le <i>bypass</i> (N=65).....	149
Tableau 38 – Caractéristiques des participantes candidates à la <i>sleeve</i> (N = 23).....	152
Tableau 39 – AP et temps sédentaire mesurées par accélérométrie chez les participantes candidates à la <i>sleeve</i> (N=23).....	153
Tableau 40 – Profils d’AP et de sédentarité chez les participantes candidates à la <i>sleeve</i> (N=23).....	154
Tableau 41 – AP et temps sédentaire mesurées par accélérométrie chez les participantes candidates à la <i>sleeve</i> (N=23).....	154
Tableau 42 – Données déclaratives d’AP chez les participantes candidates à la <i>sleeve</i> (N = 21).....	156
Tableau 43 – Données déclaratives d’AP chez les participantes candidates à la <i>sleeve</i> (N=21).....	157
Tableau 44 – Capacité cardiorespiratoire, fonction musculaire et capacité physique fonctionnelle chez les participantes candidates à la <i>sleeve</i>	158
Tableau 45 – Paramètres associés à la composition corporelle (N = 20).....	163
Tableau 46 – Paramètres associés à l’activité physique (N = 20).....	164
Tableau 47 – Paramètres associés à la stabilité dynamique et à la distance parcourue lors du test de marche de 6 minutes.....	165
Tableau 48 – Caractéristiques préopératoires des participantes (N=67).....	168
Tableau 49 – Seuils d’intensité relative calculés (N=65).....	169
Tableau 50 – Données d’AP habituelle obtenues en utilisant des seuils d’intensité absolue ou relative (N=65).....	169
Tableau 51 – Données d’AP habituelle obtenues en utilisant des seuils d’intensité absolue ou relative (N=65).....	170
Tableau 52 – Caractéristiques initiales des participants du groupe SPW et du groupe CON.....	172
Tableau 53 – Capacité physique fonctionnelle et capacité physique des participants du groupe SPW et du groupe CON.....	173
Tableau 54 – Effet à court terme du programme d’entraînement.....	176
Tableau 55 – Caractéristiques des médecins interrogés.....	181

Liste des annexes

Annexe 1 – Questionnaire STAQ

Annexe 2 – Questionnaire WOMAC

Annexe 3 – Questionnaire MFI-20

Annexe 4 – Article n°1 (*Obesity Reviews* 2018)

Annexe 5 – Article n°2 (*Obesity* 2018)

Annexe 6 – Article n°3 (*Journal of Medical Internet Research* 2017)

Liste des principales abréviations

AP : activité physique

EMG : électromyographie

HTA : hypertension artérielle

IMC : indice de masse corporelle

MVPA : activité physique d'intensité modérée à élevée

MVPA ≥ 1 min : sessions de MVPA d'une durée supérieure ou égale à 1 minute

MVPA ≥ 5 min : sessions de MVPA d'une durée supérieure ou égale à 5 minutes

MVPA ≥ 10 min : sessions de MVPA d'une durée supérieure ou égale à 10 minutes

MVPA ≥ 30 min : sessions de MVPA d'une durée supérieure ou égale à 30 minutes

SAS : syndrome d'apnée du sommeil

Sédentarité ≥ 1 min : sessions de sédentarité d'une durée supérieure ou égale à 1 minute

Sédentarité ≥ 10 min : sessions de sédentarité d'une durée supérieure ou égale à 10 minutes

Sédentarité ≥ 30 min : sessions de sédentarité d'une durée supérieure ou égale à 30 minutes

Sédentarité ≥ 60 min : sessions de sédentarité d'une durée supérieure ou égale à 60 minutes

SPW : syndrome de Prader-Willi

Publications

Publications faisant l'objet du travail de thèse

Publications acceptées

Alice Bellicha, Cécile Ciangura, Christine Poitou, Pierre Portero, Jean-Michel Oppert. Effectiveness of exercise training after bariatric surgery – A systematic literature review and meta-analysis. *Obesity Reviews* 2018 ; 19 (11) : 1544 - 56.

Alice Bellicha, Sandrine Macé, Jean-Michel Oppert. Prescribing of electronic activity monitors in cardiometabolic diseases: qualitative interview-based study. *Journal of Medical Internet Research*. 2017 ; 19 (9) : e328.

Publications soumises

Alice Bellicha, Cécile Ciangura, Céline Roda, Jean-Luc Bouillot, Adriana Torcivia, Pierre Portero, Christine Poitou, Jean-Michel Oppert. Physical activity after gastric bypass and relations with cardiorespiratory fitness.

Alice Bellicha, Muriel Coupaye, Léonore Hocquaux, Fanny Specter, Jean-Michel Oppert, Christine Poitou. Feasibility and effectiveness of a home-based supervised physical activity program in patients with Prader-Willi syndrome.

Publications ne faisant pas l'objet du travail de thèse

Publications acceptées

Jean-Michel Oppert, **Alice Bellicha**, Céline Roda, Jean-Luc Bouillot, Adriana Torcivia, Karine Clément, Christine Poitou, Cécile Ciangura. Resistance training and protein supplementation increase strength after bariatric surgery: a Randomized Controlled Trial. *Obesity* 2018 ; 26 : 1709-20.

Guy Fagherazzi, Douae El Fatouhi, **Alice Bellicha**, Amin El Gareh, Aurélie Affret, Courtney Dow, Lidia Delrieu, Matthieu Vegreville, Alexis Normand, Jean-Michel Oppert, Gianluca Severi.

An international study on the determinants of poor sleep amongst 15,000 users of connected devices. *Journal of Medical Internet Research*. 2017 ; 19 (10) : e363

Alice Bellicha, Aurélie Kieusseian, Anne-Marie Fontvieille, Antonio Tataranni, Nane Copin, Hélène Charreire, Jean-Michel Oppert.

A multistage controlled intervention to increase stair climbing at work: effectiveness and process evaluation. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity* 2016 ; 13 : 47.

Alice Bellicha, Aurélie Kieusseian, Anne-Marie Fontvieille, Antonio Tataranni, Hélène Charreire, Jean-Michel Oppert.

Stair-use interventions in worksites and public settings - A systematic review of effectiveness and external validity. *Preventive Medicine* 2015 ; 70 : 3-13.

Communications lors de congrès ou séminaires

Communications orales

International Society for Physical Activity and Health (ISPAH) Congress, Londres, Octobre 2018

Bellicha A., Ciangura C., Roda C., Bouillot J.L., Torcivia A., Tanguy M.L., Clément K., Poitou C., Oppert J.M.

Individualizing cutpoints for moderate-to-vigorous physical activity: a new approach for analysing accelerometry data

Congrès annuel de la SOFFCO.MM, Nancy, Mai 2018

Bellicha A., Ciangura C., Poitou C., Portero P., Oppert J.M.

L'activité physique après une chirurgie bariatrique. Quels bénéfices cliniques et métaboliques ?

Journées Francophones de Nutrition, Nantes, Décembre 2017

Bellicha A., Ciangura C., Poitou C., Portero P., Oppert J.M.

Activité physique et chirurgie bariatrique : quand ? quoi ? comment ? avec quelle efficacité ? Que dit la littérature ?

3^e Journée Régionale de l'Obésité, Paris, Octobre 2017

Bellicha A., Ciangura C., Poitou C., Portero P., Oppert J.M.

Rôle de l'activité physique dans la prise en charge des patients obèses bénéficiant d'une chirurgie bariatrique - Synthèse de la littérature et pistes pratiques

European Congress on Obesity, Porto, Mai 2017

Oppert J.M., **Bellicha A.**, Roda C., Bouillot J.L., Torcivia A., Tanguy M.L., Clément K., Poitou C., Ciangura C.

Effect of resistance exercise training on body composition and physical fitness after gastric bypass – A randomized clinical trial

Réunion scientifique de l'AFERO, Toulouse, Janvier 2017

Oppert J.M., **Bellicha A.**, Roda C., Bouillot J.L., Torcivia A., Tanguy M.L., Clément K., Poitou C., Ciangura C.

Effet de l'entraînement en résistance sur la composition corporelle et la force musculaire après un bypass gastrique – Essai contrôlé et randomisé

Journées Francophones de Nutrition, Montpellier, Décembre 2016

Bellicha A., Ciangura C., Roda C., Bouillot J.L., Torcivia A., Tanguy M.L., Clément K., Poitou C., Oppert J.M.

Évolution de l'activité physique mesurée par accélérométrie après une chirurgie bariatrique

E-health Research, Paris, Octobre 2016

Bellicha A., Macé S., Oppert J.M.

Connected devices, physical activity and patient education. Qualitative interviews with expert physicians in cardiometabolic diseases

ICAN Scientific Day, Paris, Juin 2016

Bellicha A., Ciangura C., Roda C., Bouillot J.L., Torcivia A., Tanguy M.L., Clément K., Poitou C., Oppert J.M.

Changes in physical activity measured by accelerometry after bariatric surgery

Communications affichées

European Congress on Obesity, Vienne, Mai 2018

Bellicha A., Coupaye M., Lemoine V., Hocquaux L., Speter F., Oppert J.M., Poitou C.
Effectiveness and transferability of at-home supervised physical activity program for adult obese patients with Prader-Willi syndrome

Congrès National de la Société Française du Diabète, Lille, Mars 2018

Bellicha A., Macé S., Oppert J.M.
Prescription d'un objet connecté d'activité physique – Étude qualitative par entretiens semi-directifs menée auprès de médecins experts des maladies cardiométaboliques

Réunion scientifique de l'AFERO, Lyon, Janvier 2018

Bellicha A., Ciangura C., Poitou C., Portero P., Oppert J-M.
Activité physique et chirurgie bariatrique : Quand ? quoi ? comment ? avec quelle efficacité ?
Revue systématique de la littérature

ICAN Scientific Day, Paris, Janvier 2018

Bellicha A., Coupaye M., Lemoine V., Hocquaux L., Speter F., Oppert J.M., Poitou C.
Effectiveness and transferability of at-home supervised physical activity program for adult obese patients with Prader-Willi syndrome

Bellicha A., Macé S., Oppert J.M.
Objets connectés d'activité physique dans les maladies cardiométaboliques - Point de vue des experts

ICAN Series, Paris, Décembre 2016

Bellicha A., Ciangura C., Roda C., Bouillot J.L., Torcivia A., Tanguy M.L., Clément K., Poitou C., Oppert J.M.
Changes in physical activity measured by accelerometry after bariatric surgery

Avant-propos

L'activité physique (AP) est associée à de nombreux bénéfices de santé tels qu'une augmentation de l'espérance de vie, une diminution du risque de maladies chroniques notamment cardiométaboliques (obésité, diabète de type 2, hypertension artérielle, maladies cardiovasculaires) et à une amélioration de la capacité physique et de la qualité de vie. La promotion de l'AP s'inscrit ainsi dans les démarches préventives de santé publique et dans la prise en charge des patients souffrant de pathologies chroniques, en particulier cardiométaboliques.

L'obésité, dont la prévalence est actuellement estimée à 17 % dans la population adulte française (Santé Publique France 2017), expose à un risque augmenté de diabète de type 2, de maladies cardiovasculaires et de certains cancers, ainsi qu'à une altération de la qualité de vie et à des difficultés psychologiques (Bray et al. 2018). Elle est également associée à une altération des capacités cardiorespiratoire et musculaire et à une augmentation du risque de pathologies ostéo-articulaires (Bollinger 2017). La prise en charge des patients obèses s'appuie sur des approches comportementales, médicales et, parfois, chirurgicales. L'AP, notamment sous la forme de programmes d'entraînement structurés, a des bénéfices bien démontrés sur la prévention des principales complications cardiométaboliques de l'obésité et sur l'amélioration de la capacité physique. Les bénéfices de l'AP dans certaines situations spécifiques, comme la chirurgie bariatrique et les obésités rares, nécessitent cependant d'être mieux définies. Par ailleurs, la conception et l'évaluation d'interventions d'AP individualisées et adaptées à l'objectif thérapeutique impliquent de mesurer avec précision l'AP habituelle et les différentes dimensions de la capacité physique. La mesure de ces différents aspects chez les patients obèses présente des spécificités qui sont encore comprises de façon incomplète.

L'objectif général de ce travail de thèse était de mieux comprendre les particularités des patients obèses en termes de mouvement et de capacité physique au sens large, dans la perspective de définir quelles applications pourraient être envisagées dans le cadre de l'évaluation et de la prise en charge des patients obèses. Un premier thème de recherche portait sur les interventions d'AP : il s'agissait d'évaluer l'efficacité de programmes d'AP dans deux contextes spécifiques, celui de la chirurgie bariatrique et celui des obésités rares (syndrome de Prader-Willi).

Un deuxième thème de recherche concernait l'évaluation : il s'agissait, d'une part, d'identifier des méthodes de mesure des capacités cardiorespiratoire et musculaire pouvant être utilisées chez des patients obèses et, d'autre part, de mieux décrire avec ces méthodes l'AP habituelle et les différentes dimensions des capacités cardiorespiratoire et de la fonction musculaire (force et puissance musculaires, stabilité posturale et dynamique).

Nous présenterons en première partie les effets physiologiques, métaboliques et cliniques de l'AP puis les principales méthodes de mesure de l'AP et de la capacité physique. Nous aborderons ensuite les principales complications de l'obésité sur les plans métaboliques et musculaires, et le rôle de l'AP dans la prise en charge des patients obèses. Enfin, nous présenterons les travaux réalisés dans le cadre de cette thèse puis nous les mettrons en perspective par rapport aux besoins actuels concernant la promotion et l'évaluation de l'AP.

ÉTAT DES CONNAISSANCES

1- Activité physique, capacité physique et santé

1-1- Définitions

L'activité physique (AP) est définie comme « tout mouvement corporel produit par la contraction des muscles squelettiques qui entraîne une augmentation substantielle de la dépense d'énergie au-dessus de la valeur de repos » (Caspersen et al. 1985). Dans le cadre clinique et dans celui des études de population, l'AP est habituellement caractérisée selon le contexte dans lequel elle est pratiquée (au cours des loisirs, des activités domestiques, des activités professionnelles ou des transports), son type (activités d'endurance, de renforcement musculaire...), sa durée, sa fréquence, son intensité (légère, modérée, élevée) ou encore son profil d'accumulation (rythme, durée et fréquence des sessions d'AP). Cette définition très large inclut ainsi tous les mouvements de la vie quotidienne, quel que soit le contexte de leur pratique, leur durée ou leur intensité. Le terme d'AP habituelle désigne l'AP pratiquée de façon spontanée dans les conditions de vie réelle.

L'exercice physique est une forme particulière d'AP, qui est planifiée, structurée, répétée, et pratiquée dans le but d'améliorer ou de maintenir la capacité physique ou la santé (Caspersen et al. 1985, PAGAC 2018). L'exercice physique s'oppose aux activités dites sporadiques ou non structurées, qui se caractérisent le plus souvent par une intensité faible et/ou une courte durée (Hamilton et al. 2007). Le terme « exercice » est utilisé pour décrire une session d'AP structurée ; le terme « entraînement » pour décrire la répétition de séances d'exercice. Les grands types d'entraînement sont classés selon leurs effets physiologiques. L'entraînement d'endurance correspond aux activités suffisamment intenses et prolongées pour maintenir ou améliorer la capacité cardiorespiratoire. Elles sollicitent généralement les grands groupes musculaires (PAGAC 2018). L'entraînement de renforcement musculaire inclut des exercices réalisés contre résistance dans le but d'améliorer la force, la puissance, la masse et l'endurance musculaire (PAGAC 2018).

La sédentarité correspond à un ensemble de comportements au cours desquels la position assise ou couchée est prédominante et la dépense énergétique proche de la dépense de repos (dépense énergétique inférieure à 1,5 fois la valeur de repos) (Tremblay et al. 2017). La sédentarité n'inclut pas les heures de sommeil. Comme l'AP, la sédentarité peut être

caractérisée selon son contexte (temps passé devant un écran au cours des loisirs, temps passé assis au travail ou encore dans les transports), sa durée, ou encore son profil d'accumulation (rythme, durée et fréquence des périodes de sédentarité et des coupures dans la sédentarité) (Tremblay et al. 2017). L'inactivité physique, définie par un niveau d'AP inférieur au niveau minimal recommandé, ne doit pas être confondue avec la sédentarité. Il s'agit de deux notions distinctes, associées indépendamment l'une de l'autre à l'état de santé (Tremblay et al. 2017).

L'intensité de l'AP, qui correspond au sens strict à la dépense énergétique de l'effort musculaire, est dite absolue lorsqu'elle est exprimée en multiple de la dépense énergétique de repos (MET ou équivalent métabolique) (PAGAC 2018) (**Tableau 1**). Un MET correspond à la dépense énergétique de repos, estimée dans la population adulte à une consommation d'oxygène ($\dot{V}O_2$) de $3,5 \text{ mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$. L'intensité est dite relative lorsqu'elle est exprimée en fonction de la difficulté perçue de l'activité. Elle est ainsi souvent exprimée selon des paramètres physiologiques, comme le pourcentage de la fréquence cardiaque maximale (FCmax) ou de la consommation maximale d'oxygène ($\dot{V}O_{2\text{max}}$), ou encore selon la perception de l'effort (Garber et al. 2011).

Tableau 1 – Repères d'intensité absolue et relative

Intensité	Intensité absolue		Intensité relative	
	METs	% FC max	% $\dot{V}O_{2\text{max}}$	Perception de l'effort*
Sédentarité	< 1,5	-	-	-
Faible	< 3	< 64 %	< 46 %	< 12
Modérée	3 – 5,9	64 – 76 %	46 – 63 %	12 - 13
Élevée	≥ 6	≥ 77 %	≥ 64 %	≥ 14

D'après (Garber et al. 2011). * Sur une échelle de Borg allant de 6 à 20

Contrairement à l'AP qui désigne des comportements, la capacité physique désigne des caractéristiques physiologiques déterminant la capacité d'une personne à « réaliser les activités du quotidien avec vigueur et vigilance, sans fatigue excessive et avec suffisamment d'énergie pour apprécier les activités de loisirs et répondre aux situations d'urgence » (Bouchard et al. 1994, Centers for Disease Control and Prevention). La capacité physique fonctionnelle désigne la capacité à réaliser les activités du quotidien (Garber et al. 2011). Certaines dimensions de la capacité physique ont été associées à l'état de santé et sont ainsi désignées sous le terme « capacité physique associée à la santé » (ACSM 2014). Il s'agit selon l'American College of Sports Medicine de la capacité cardiorespiratoire, de la composition

corporelle, de la force et de l'endurance musculaire et de la souplesse. L'agilité, la coordination, l'équilibre, la puissance, le temps de réaction et la vitesse sont désignés sous le terme de « capacité physique associée à la performance » (ACSM 2014). Dans ce travail, nous désignerons par le terme de fonction musculaire les paramètres suivants : force et puissance musculaire, stabilité posturale (équilibre) et stabilité dynamique (paramètres spatiotemporels de la marche comme la vitesse, la cadence, la longueur du pas, etc...). La composition corporelle peut être décrite à l'aide de modèles dits physiologiques à deux, trois ou quatre compartiments. Nous utiliserons surtout dans ce travail le modèle à trois compartiments distinguant la masse grasse, la masse maigre et la masse minérale osseuse (Couet et al. 2011).

1-2- Effets physiologiques, métaboliques et cliniques de l'activité physique

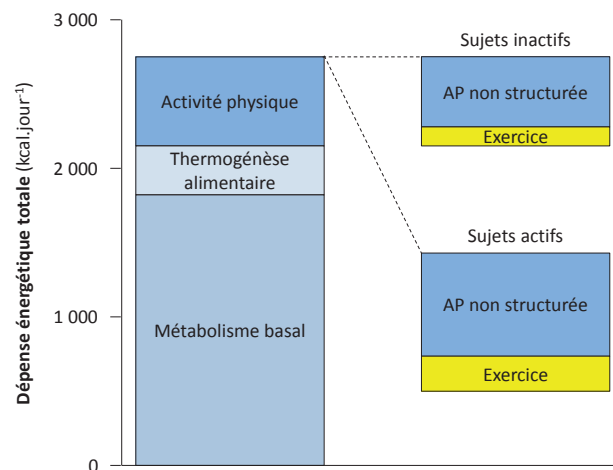
Les effets physiologiques, métaboliques et cliniques de l'AP et, par opposition, de l'inactivité physique, ont été largement étudiés et documentés au cours des dernières décennies (PAGAC 2018). Différents modèles d'études ont été utilisés. Dans les études expérimentales réalisées chez l'Homme, l'exercice physique, principalement d'endurance et de renforcement musculaire d'intensité modérée à élevée, a été le modèle privilégié pour étudier les effets de l'AP soit de façon « aiguë » (effet d'une session d'exercice), soit de façon chronique (effet d'un entraînement). L'alitement prolongé (« *bed rest* ») a été particulièrement utilisée pour étudier les effets à court et moyen terme de l'inactivité physique (Bergouignan et al. 2011). Plus récemment, un intérêt a été porté aux effets de l'AP non structurée (« *non-exercise activity thermogenesis* » ou NEAT). Ce type d'activité, souvent d'intensité faible, représenterait jusqu'à 50 % de nos journées et est pratiquée au cours des occupations du quotidien, sans nécessiter de planification comme l'AP structurée d'intensité modérée à élevée (Hamilton et al. 2007, Levine 2004). Ce nouveau paradigme s'observe également dans les études épidémiologiques et cliniques : longtemps centrées sur l'AP structurée d'intensité modérée, un nombre croissant d'études s'intéressent désormais aux effets de l'AP totale, incluant l'AP non structurée et d'intensité légère, et de la sédentarité (PAGAC 2018).

Nous présenterons ci-dessous les effets de l'inactivité physique, de l'exercice et de l'AP sur la régulation de la masse et de la composition corporelle, sur le risque de développer certains facteurs de risque cardiométabolique, puis sur la fonction musculaire. Enfin, nous aborderons l'effet de l'AP sur le risque de mortalité.

1-2-1- Effets de l'activité physique sur la masse et la composition corporelle

• Régulation du bilan énergétique

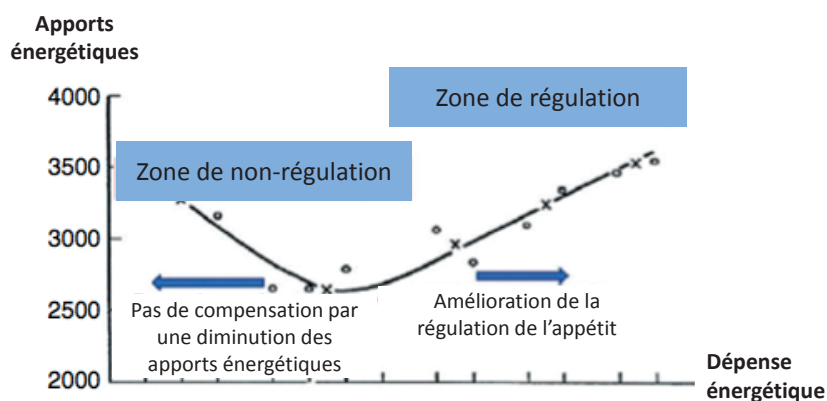
La régulation du bilan énergétique résulte d'un équilibre entre les apports et les dépenses énergétiques. La dépense énergétique totale est habituellement subdivisée en trois composants principales qui sont la dépense énergétique de repos, la thermogénèse alimentaire et la dépense énergétique liée à l'AP, représentant respectivement environ 60 %, 10 % et 30 % de la dépense énergétique totale chez un sujet modérément actif (Villablanca et al. 2015). L'exercice a longtemps été considéré comme le principal facteur de variation de la dépense énergétique ; or, comme l'illustre la **Figure 1**, l'AP non structurée contribue plus fortement à la dépense énergétique totale (Hamilton et al. 2007, Levine et al. 2005).



D'après (Villablanca et al. 2015)

Figure 1 – Composantes de la dépense énergétique totale et illustration théorique de la contribution de l'exercice et de l'AP non structurée

Plusieurs études expérimentales ont analysé l'effet de la diminution ou de l'augmentation de l'AP sur les apports énergétiques. À court terme, l'inactivité physique entraîne une balance énergétique positive ; et l'exercice entraîne une balance énergétique négative (Hopkins et al. 2010, Stubbs et al. 2004). A moyen terme, en revanche, les apports énergétiques semblent s'ajuster sur les dépenses énergétiques, permettant ainsi un équilibre de la balance énergétique (Bergouignan et al. 2010, Hopkins et al. 2010). Un niveau minimum d'AP semble nécessaire pour atteindre cet équilibre. Certains auteurs ont en effet décrit une « zone de non-régulation » de la balance énergétique : lorsque le niveau d'AP est très faible, on observe un découplage entre les apports et les dépenses énergétiques pouvant entraîner un gain de poids (**Figure 2**) (Blundell et al. 2015). Les mécanismes de régulation de l'appétit seraient ainsi altérés chez les sujets les plus inactifs (Hopkins et al. 2016).



D'après (Blundell et al. 2015)

Figure 2 – Relation entre le niveau d'AP et les apports énergétiques

Les données épidémiologiques semblent confirmer l'effet bénéfique de l'AP dans la régulation de la balance énergétique. De nombreuses études prospectives dans différentes populations ont en effet montré une relation inverse entre la durée d'AP d'intensité modérée à élevée et le risque de prise de poids ultérieur (Basterra-Gortari et al. 2009, Blanck et al. 2007, Brown et al. 2016, Drenowatz et al. 2016, Gebel et al. 2014, Gradidge et al. 2015, Hamer et al. 2013, Hankinson et al. 2010, Hu et al. 2003, Lee et al. 2010, Moholdt et al. 2014, Parsons et al. 2006, Rosenberg et al. 2013, Shibata et al. 2016, Smith et al. 2017, Williams 2007). Les relations entre la sédentarité ou l'AP d'intensité légère et le risque de prise de poids sont en revanche moins bien établies (PAGAC 2018).

De nombreuses études cliniques ont mesuré l'effet de l'AP sur la régulation du poids corporel. Il est aujourd'hui admis que les interventions d'AP, qu'il s'agisse de conseils d'AP ou de programmes d'entraînement, entraînent une perte de poids significative mais modeste (Bray et al. 2018, Gonzalez-Muniesa et al. 2017, Jakicic et al. 2017). Plusieurs revues de la littérature ont montré une perte de poids de l'ordre de 3 kg (soit environ 3 % de la masse corporelle initiale) après une intervention d'AP seule, et une perte de poids de l'ordre de 8 à 10 kg (soit environ 9 % de la masse corporelle initiale) lorsque l'AP est accompagnée de conseils diététiques (Chin et al. 2016, Swift et al. 2014, Washburn et al. 2014, Wing 1999). Il semble exister une relation dose-réponse entre la durée de l'AP et la perte de poids : une perte de poids de l'ordre de 3 kg serait obtenue pour une durée d'AP d'intensité modérée comprise entre 150 et 220 minutes par semaine, et de l'ordre de 5 à 8 kg pour une durée d'AP d'intensité modérée comprise supérieure à 225 minutes par semaine (Donnelly et al. 2009). La perte de poids moyenne masque une très forte variabilité interindividuelle, les variations

pouvant aller de -15 kg et +1,7 kg après un entraînement supervisé de 12 semaines (King et al. 2008a).

Enfin, l'AP semble particulièrement importante pour le maintien du poids à long terme après la perte de poids (Bray et al. 2018, Gonzalez-Muniesa et al. 2017, Jakicic et al. 2017). Les personnes réussissant à maintenir une perte de poids de 10 % 18 à 24 mois après une intervention d'AP pratiqueraient davantage d'AP d'intensité modérée à élevée (Jakicic et al. 2008, Jakicic et al. 2014). Une synthèse de la littérature a estimé qu'une durée hebdomadaire de 200 à 300 minutes d'AP d'intensité modérée était nécessaire pour prévenir la reprise de poids (Donnelly et al. 2009).

- **Effet de l'AP sur la composition corporelle**

La perte de poids s'explique principalement par une perte de masse grasse, mais s'accompagne également d'une perte de masse maigre. L'entraînement de renforcement musculaire, particulièrement s'il est associé à un apport suffisant en protéines, est susceptible de freiner la perte de masse maigre (Josse et al. 2011, Layman et al. 2005, Verreijen et al. 2015). Selon l'étude de Layman et al. (2005), un régime hypocalorique entraînerait une perte de masse maigre de 2,7 kg ; cette perte serait limitée à 1 kg chez les sujets ayant participé à un entraînement de renforcement musculaire, et à 0,4 kg chez ceux ayant participé au même entraînement avec une supplémentation protéique (Layman et al. 2005).

Dans une situation de stabilité pondérale, en revanche, l'entraînement de renforcement musculaire augmente la masse musculaire, ce qui s'explique principalement par une augmentation de la taille des fibres IIA et IIX (Kraemer et al. 2002). Une augmentation d'environ 10 % de la masse musculaire a été observée chez des femmes d'âge moyen (40 ans) et de corpulence normale après un entraînement de 6 mois (Hakkinen et al. 1998). À l'échelle du corps entier, selon une revue de la littérature récente, une augmentation de la masse maigre d'environ 1 kg peut être attendue après un entraînement de renforcement musculaire d'une durée moyenne de 13 semaines (Morton et al. 2018). Un gain supplémentaire de 0,3 kg serait obtenu grâce à un apport supplémentaire en protéines, avec un effet optimal observé pour un apport protéique de 1,6 g.kg⁻¹.jour⁻¹ (Morton et al. 2018). L'obésité ne semble pas modifier l'effet de l'entraînement sur le gain de masse musculaire (Pescatello et al. 2007).

1-2-2- Effets de l'activité physique sur les maladies cardiométaboliques

L'AP d'intensité modérée à élevée a été associée à une diminution du risque des principales maladies cardiométaboliques : obésité (Hu et al. 2003, Rosenberg et al. 2013), diabète de type 2 (Cloostermans et al. 2015, Jeon et al. 2007, Kyu et al. 2016, Wahid et al. 2016), HTA (Huai et al. 2013, Liu et al. 2017), dyslipidémies (Aadahl et al. 2007, Clarke et al. 2014, Loprinzi et al. 2013, Wolff-Hughes et al. 2015), maladie coronarienne (Kyu et al. 2016, Sattelmair et al. 2011, Zheng et al. 2009), accidents vasculaires cérébraux (Kyu et al. 2016), insuffisance cardiaque (Pandey et al. 2015). Les principaux mécanismes impliqués dans la diminution du risque de maladies cardiométaboliques correspondent à l'amélioration des facteurs de risque cardiovasculaire, de l'insulinorésistance, de l'état inflammatoire de « bas grade » et de la capacité physique (**Tableau 2**).

Tableau 2 – Effets de l'entraînement sur les facteurs de risque cardiométaboliques

	Effet de l'entraînement		Références
	Effet	Amplitude	
Tissu adipeux viscéral	↓	-30 %	(Green et al. 2004, Ross et al. 2004)
Insulinorésistance	↓	-32 à 60 %	(Ross et al. 2000, Ross et al. 2004)
Pression artérielle			(PAGAC 2018)
- systolique	↓	-5 à -17 mmHg	
- diastolique	↓	-2 à -10 mmHg	
Profil lipidique			(Carroll et al. 2004, Halbert et al. 1999)
- Triglycérides	↓	12 %	
- HDL-c	↑	4 %	
- LDL-c	↔	/	
Inflammation systémique	↓	-25 à 48 %	(Gleeson et al. 2011, Janiszewski et al. 2009)
VO₂max	↑	+15 %	(Hawley et al. 2018)

D'après (Janiszewski et al. 2009)

- **Tissu adipeux viscéral**

L'AP entraîne une diminution du tissu adipeux viscéral (ou tissu adipeux intra-abdominal), même en l'absence de perte de poids (Gepner et al. 2018, Ross et al. 2004, Thomas et al. 2000), ce qui suggère un effet bénéfique de l'AP indépendant de la perte de poids. La perte de graisse viscérale pourrait représenter jusqu'à 10 % environ de la perte de poids totale (Ross et al. 2000, Ross et al. 2004) mais une importante variabilité a été observée entre les sujets et entre les études (Janiszewski et al. 2009).

- **Résistance à l'insuline**

La résistance à l'insuline est diminuée de l'ordre de 15 à 25 % après un exercice d'endurance, avec un effet qui persiste pendant 24 à 48 heures ; et de 30 à 60 % après un entraînement de plusieurs semaines (Janiszewski et al. 2009). L'amplitude de l'effet augmente avec l'importance de la perte de poids (Ross et al. 2009). Cependant, il semble exister un effet de l'entraînement, même en l'absence de perte de poids (Ross et al. 2009).

Des études cliniques de très grande envergure ont confirmé le rôle bénéfique de l'AP dans la prévention du diabète de type 2. L'étude DPP (Diabetes Prevention Program), menée aux États-Unis auprès de 3 234 adultes en surpoids ou obèses avec une intolérance au glucose, comparait l'efficacité d'une intervention intensive sur le mode de vie de 24 semaines (ayant pour objectif d'atteindre une perte de poids minimum de 7 % du poids corporel, de limiter les apports en graisses alimentaires et d'atteindre 150 minutes par semaine d'AP d'intensité modérée) à celle d'un traitement médicamenteux (antidiabétiques oraux) et d'un placebo (Knowler et al. 2002). Après 3 ans de suivi, le risque de développer un diabète de type 2 était diminué de respectivement 58 % et 31 % dans le groupe bénéficiant de l'intervention intensive et du traitement médicamenteux comparativement au groupe témoin (Knowler et al. 2002). Après 10 ans de suivi, l'incidence du diabète était toujours réduite de 34 % (intervention intensive) et de 18 % (médicament) comparativement au groupe témoin (Diabetes Prevention Program Research et al. 2009). Une perte de poids de l'ordre de 5 % à 3 ans et de 2 % à 10 ans était observée dans le groupe recevant l'intervention intensive. L'amplitude de la perte de poids était le principal déterminant de la réduction du risque de diabète (Hamman et al. 2006). Cependant, parmi les sujets n'ayant pas atteint l'objectif de perte de poids, le risque de diabète était réduit de 44 % chez les sujets ayant atteint l'objectif d'AP (Hamman et al. 2006).

Chez les sujets diabétiques de type 2, l'AP contribue à un meilleur contrôle glycémique : une diminution de l'hémoglobine glyquée de 0,73 % est observée après un entraînement supervisé en endurance et de 0,57 % après un entraînement supervisé de renforcement musculaire (Umpierre et al. 2011). L'AP d'intensité légère semble également contribuer au contrôle glycémique (Benatti et al. 2015, Duvivier et al. 2017). Une étude expérimentale récente a montré que pour une même dépense énergétique, la substitution de 5 heures de sédentarité par 5 heures d'AP d'intensité légère (position debout, marche lente) améliore davantage la sensibilité à l'insuline que la substitution d'1 heure de sédentarité par 1 heure d'AP d'intensité

modérée (Duvivier et al. 2018). En s'appuyant sur le principe de spécificité de l'entraînement, qui stipule que les adaptations physiologiques dépendent du type d'entraînement réalisé, des auteurs ont ainsi proposé que le maintien d'une activité contractile de faible intensité tout au long de la journée entraînerait une réponse physiologique et métabolique différente et complémentaire de la réalisation d'un exercice de courte durée mais d'intensité supérieure (Duvivier et al. 2018, Hamilton 2018).

- **Pression artérielle et profil lipidique**

La pression artérielle systolique et diastolique est réduite après un exercice d'endurance, avec un effet qui persiste pendant 24 heures ; ainsi qu'après un entraînement de plusieurs semaines (Janiszewski et al. 2009, PAGAC 2018). Cet effet semble indépendant de la perte de poids, et s'expliquerait en grande partie par la diminution de la résistance vasculaire périphérique (Cornelissen et al. 2005). Le profil lipidique est également amélioré (diminution des triglycérides, augmentation du cholestérol-HDL protecteur) par l'exercice et l'entraînement d'endurance (Carroll et al. 2004, Halbert et al. 1999). Le cholestérol-LDL athérogène, en revanche, semble peu modifié par l'entraînement. L'amélioration du profil lipidique est plus importante si l'AP s'accompagne d'une perte de poids, mais s'observe également en l'absence de perte de poids (Kraus et al. 2002).

- **Inflammation systémique**

L'exercice s'accompagne d'une augmentation à court terme de l'inflammation, mise en évidence par une augmentation des taux sanguins de CRP et d'IL-6 (Janiszewski et al. 2009). Cette réponse inflammatoire augmente avec la durée et l'intensité de l'exercice et la masse musculaire impliquée. Une augmentation de médiateurs anti-inflammatoires est cependant observée en parallèle, afin de limiter l'amplitude et la durée de la réponse pro-inflammatoire. L'entraînement atténue la réponse pro-inflammatoire observée après un exercice et est associé à une diminution de l'inflammation systémique (Gleeson et al. 2011). L'effet anti-inflammatoire de l'AP semble en partie expliqué par la perte de poids, même si certaines études ont montré un effet indépendant de la perte de poids (Janiszewski et al. 2009).

1-2-3- Effets de l'activité physique sur la capacité cardiorespiratoire et la fonction musculaire

- **Capacité cardiorespiratoire**

L'entraînement en endurance augmente le $\dot{V}O_2\text{max}$ de l'ordre de 10 à 30 %, l'amplitude de l'effet variant selon la durée de l'exercice, son intensité et le $\dot{V}O_2\text{max}$ initial des sujets (Garber et al. 2011, Hawley et al. 2018). Une intensité au moins modérée semble nécessaire pour améliorer le $\dot{V}O_2\text{max}$ (Garber et al. 2011). Cette amélioration s'explique par une amélioration des facteurs centraux (augmentation du débit cardiaque maximal et du débit respiratoire maximal) et périphériques (augmentation de la densité capillaire, de la vasodilatation périphérique et de la capacité oxydative) (INSERM 2008).

Lors d'une perte de poids induite par une restriction énergétique, le $\dot{V}O_2\text{max}$ absolu ($L \cdot \text{min}^{-1}$) diminue en raison de la perte de masse musculaire, mais le $\dot{V}O_2\text{max}$ relatif à la masse corporelle augmente. Un entraînement en endurance réalisé pendant la phase de perte de poids permet d'augmenter à la fois le $\dot{V}O_2\text{max}$ absolu et le $\dot{V}O_2\text{max}$ relatif (Weiss et al. 2016).

- **Force, puissance musculaire**

L'entraînement de renforcement musculaire augmente la force et la puissance musculaire, dans des proportions variables selon les modalités d'entraînement (Deschenes et al. 2002). Une augmentation de la force maximale est habituellement obtenue en réalisant peu de répétitions à une intensité élevée (au minimum égale à 60 % de la force maximale) ; et une augmentation de la puissance musculaire en associant au travail de force des exercices réalisés à vitesse élevée avec une faible charge (Deschenes et al. 2002, Garber et al. 2011).

Lors des premières semaines d'entraînement, l'augmentation de la force est due en grande partie à une amélioration des facteurs nerveux, plus particulièrement une augmentation de l'activation et une meilleure synchronisation des unités motrices et une diminution de la co-contraction des muscles antagonistes (Deschenes et al. 2002, Sale 1988). Après environ 4 à 6 semaines d'entraînement, les gains supplémentaires de force sont attribués à l'hypertrophie musculaire (Deschenes et al. 2002). Chez des sujets d'âge moyen initialement non entraînés, la force peut être multipliée par 1,6 à 2,8 après un entraînement de renforcement musculaire, selon l'intensité et le volume d'entraînement (Rhea et al. 2003).

Après une perte de poids et en l'absence d'entraînement, la force musculaire absolue diminue en raison de la perte de masse musculaire. Un entraînement de renforcement musculaire, associé à un apport suffisant en protéines, permet d'augmenter la force musculaire de l'ordre

de 20 % chez des personnes obèses suivant un régime hypocalorique (Josse et al. 2011). Dans ce contexte, le gain de force malgré la perte de masse maigre peut s'expliquer par l'amélioration des facteurs nerveux.

- **Stabilité dynamique et posturale**

La stabilité dynamique, notamment la vitesse de marche, est améliorée par l'entraînement incluant des exercices d'équilibre, de coordination et d'agilité (Lesinski et al. 2015a, Lesinski et al. 2015b, McMullan et al. 2018) et par l'entraînement de renforcement musculaire (Beijersbergen et al. 2013, Lelard et al. 2015). Les données proviennent majoritairement d'études réalisées chez les personnes âgées mais semblent confirmées par quelques études réalisées chez des sujets jeunes. Chez les sujets âgés, l'AP habituelle a été associée à une augmentation de la vitesse de marche ; et la relation est en partie expliquée par la force musculaire, augmentée chez les sujets les plus actifs (Barbat-Artigas et al. 2016).

La stabilité posturale est améliorée par l'entraînement incluant des exercices d'équilibre, de coordination et d'agilité (Lesinski et al. 2015a, Lesinski et al. 2015b, McMullan et al. 2018) mais n'est pas améliorée par l'entraînement de renforcement musculaire (Beijersbergen et al. 2013, Lelard et al. 2015). Chez les personnes âgées, l'AP habituelle a été associée à une meilleure stabilité posturale (Bulbulian et al. 2000), mais cette relation n'est pas expliquée par la force musculaire. Il ne semble en effet pas exister de relation entre la force des membres inférieurs et la stabilité posturale (Muehlbauer et al. 2015). La perte de poids induite par un régime hypocalorique améliore la stabilité posturale, alors même que la force absolue diminue et que la force relative est inchangée, ce qui suggère que la masse corporelle contribue davantage à la stabilité posturale que la force musculaire (Handrigan et al. 2010).

1-2-4- Effets de l'activité physique sur le risque de mortalité

- **Relations entre l'AP et le risque de mortalité**

Si les bénéfices physiologiques et métaboliques de l'AP ont été bien démontrés par des études contrôlées et randomisées, des auteurs ont attiré l'attention sur le fait que les données sur le bénéfice de l'AP en termes de longévité proviennent essentiellement d'études observationnelles (Karvinen et al. 2015, Kujala 2018). Nous présenterons ainsi les résultats d'études longitudinales ayant analysé le risque de mortalité prématurée selon le niveau initial d'AP ou de capacité physique (**Tableau 3**).

Tableau 3 – Relations entre AP, sédentarité, capacité physique et risque de mortalité

Paramètre	Niveau de preuve	Données d'études épidémiologiques		
		RR (IC 95 %)	Références	Comparaisons
AP modérée à élevée	Fort	0,77 (0,74 ; 0,81)	(Cheng et al. 2018)	Durée modérée vs faible
AP intensité modérée	Fort	0,96 (0,93 ; 0,98)	(Samitz et al. 2011)	Par tranche d'1 heure.semaine ⁻¹
AP intensité élevée	Fort	0,91 (0,87 ; 0,94)	(Samitz et al. 2011)	Par tranche d'1 heure.semaine ⁻¹
AP sporadique	Modéré	0,28 (0,17 ; 0,45)	(Saint-Maurice et al. 2018b)*	Durée élevée vs faible
AP totale	Insuffisant	0,44 (0,26 ; 0,74)	(Lee et al. 2018)*	Durée élevée vs faible
AP légère	/	0,71 (0,62 ; 0,83)	(Chastin et al. 2018)	Durée élevée vs faible
Temps sédentaire	Fort	1,13 (1,07 ; 1,18)	(Grontved et al. 2011)	Par tranche de 2h.j ⁻¹ devant la TV
VO ₂ max	Fort	0,87 (0,84 ; 0,90)	(Kodama et al. 2009)	Par augmentation d'1 MET
Force (préhension)	Fort	0,69 (0,64 ; 0,74)	(Garcia-Hermoso et al. 2018)	Force élevée vs faible
Force (membres inf.)	/	0,86 (0,80 ; 0,93)	(Garcia-Hermoso et al. 2018)	Force élevée vs faible
Vitesse de marche	/	2,87 (2,22 ; 3,72)	(Cooper et al. 2010)	Vitesse lente vs rapide
Vitesse de marche perçue	/	2,16 (1,68 ; 2,77)	(Yates et al. 2017)*	Vitesse lente vs rapide

Les niveaux de preuve présentés ici proviennent de deux rapports et articles de synthèse (PAGAC 2018, Ross et al. 2016).

* Résultats provenant d'études originales et n'ayant pas fait l'objet d'une méta-analyse.

Les données épidémiologiques indiquent une relation forte entre l'AP et le risque de mortalité. Plusieurs revues de la littérature (Milton et al. 2014, Warburton et al. 2010) et méta-analyses (Cheng et al. 2018, Ekelund et al. 2016, Hupin et al. 2015, Moore et al. 2012, Wahid et al. 2016, Woodcock et al. 2011) ont montré une relation inverse entre la durée d'AP d'intensité modérée à élevée et le risque de mortalité toutes causes confondues et de mortalité cardiovasculaire. La majorité des données d'AP étaient déclaratives mais les résultats semblent confirmés par des études récentes mesurant l'AP avec des accéléromètres (Dohrn et al. 2017, Evenson et al. 2016, Lee et al. 2018). La relation entre l'AP et le risque de mortalité est caractérisée par les éléments suivants : il n'existe pas de seuil minimum d'AP pour observer une réduction du risque de mortalité ; les bénéfices les plus importants sont obtenus chez les sujets inactifs qui deviennent au moins modérément actifs ; la majorité des bénéfices (70 %) seraient obtenus en pratiquant 150 minutes par semaine d'AP d'intensité modérée à élevée ; au-delà de cette durée, des bénéfices supplémentaires peuvent être obtenus ; il ne semble pas exister de seuil supérieur au-delà duquel les bénéfices sur la mortalité diminueraient ; un niveau d'AP 4 fois supérieur au niveau recommandé n'est pas associé à une augmentation du risque de mortalité (Moore et al. 2012).

La réduction du risque de mortalité semble varier selon l'intensité de l'AP : pour chaque heure supplémentaire d'AP pratiquée par semaine, une réduction du risque de mortalité de 9 % a été observée pour les activités d'intensité élevée, et de 4 % pour les activités d'intensité modérée (Samitz et al. 2011). Des résultats comparables ont été obtenus pour la marche : la marche à

allure modérée ou rapide est associée à une plus forte diminution du risque de mortalité, indépendamment du volume total de marche (Hamer et al. 2008, Stamatakis et al. 2018).

Les données présentées ci-dessus concernaient l'AP d'intensité modérée à élevée pratiquée en sessions d'au moins 10 minutes (PAGAC 2018). La diffusion et l'utilisation à large échelle de la technique d'accélérométrie portable ont permis de mesurer avec précision l'AP pratiquée en sessions plus courtes et d'analyser son effet sur le risque de mortalité. Une étude récente a distingué trois profils d'accumulation de l'AP d'intensité modérée à élevée : la durée totale (indépendamment de la durée des sessions), la durée des activités pratiquées en sessions d'au moins 5 minutes et la durée des activités pratiquées en sessions d'au moins 10 minutes (Saint-Maurice et al. 2018b). Les auteurs ont conclu que chacun des profils était associé à une diminution du risque de mortalité (Saint-Maurice et al. 2018b).

D'autres indicateurs ont été associés au risque de mortalité : le volume total d'AP, la durée de l'AP d'intensité faible et le temps sédentaire. Le volume total d'AP (exprimé en nombre de coups d'activité par jour enregistré par l'accéléromètre) prend en compte toutes les AP, indépendamment de leur durée et leur intensité (Chomistek et al. 2017), et a été associé dans plusieurs études à une diminution du risque de mortalité (Dohrn et al. 2017, Evenson et al. 2016, Fishman et al. 2016, Lee et al. 2018, Saint-Maurice et al. 2018a, Tikkanen et al. 2018). Relativement peu d'études ont évalué la relation entre la durée de l'AP d'intensité légère et le risque de mortalité (Amagasa et al. 2018, Chastin et al. 2018). Une méta-analyse (Chastin et al. 2018) et une revue de la littérature (Amagasa et al. 2018) récentes ont montré une diminution du risque de mortalité toute-cause chez les personnes avec le plus haut niveau d'AP d'intensité légère, et ce indépendamment de la durée d'AP d'intensité modérée.

Les relations avec la sédentarité sont en revanche bien établies. Plusieurs revues de la littérature (Proper et al. 2011, Thorp et al. 2011) et méta-analyses (Biswas et al. 2015, Chau et al. 2013, Ekelund et al. 2016, Grontved et al. 2011, Sun et al. 2015, Wilmot et al. 2012) ont montré une relation positive entre le temps sédentaire et le risque de mortalité toute-cause et cardiovasculaire. Une relation curvilinéaire a été décrite, avec une augmentation plus importante du risque à partir d'une durée quotidienne de sédentarité supérieure à 7 heures (Chau et al. 2013). Ces analyses ont essentiellement porté sur des données déclaratives, mais elles semblent confirmées par des données d'accélérométrie (Evenson et al. 2017, Koster et al. 2012, Lee 2016, Loprinzi et al. 2016, Schmid et al. 2015). Peu d'études ont analysé les relations entre le profil d'accumulation de la sédentarité et le risque de mortalité.

L'accumulation de longues périodes de sédentarité (au moins 30 minutes consécutives) semble toutefois augmenter le risque (Diaz et al. 2017, Evenson et al. 2017). La relation entre le temps sédentaire et le risque de mortalité varie selon la durée de l'AP d'intensité modérée à élevée : le bénéfice associé à une diminution de la sédentarité est en effet plus élevé chez les sujets inactifs (Biswas et al. 2015). Chez les sujets les plus actifs, la substitution d'une activité sédentaire par une AP d'intensité légère ne semble pas apporter de bénéfices supplémentaires (Matthews et al. 2016, Matthews et al. 2015). Les données disponibles sont encore insuffisantes pour déterminer si une durée minimale d'AP est nécessaire pour compenser le risque associé à l'augmentation de la sédentarité (PAGAC 2018). Une méta-analyse, incluant plus d'1 millions de sujets, a cependant montré que la relation entre le temps sédentaire et le risque de mortalité n'était plus significative chez les sujets pratiquant plus d'1 heure par jour d'AP d'intensité modérée à élevée (Ekelund et al. 2016).

Une réduction de la sédentarité indique nécessairement le remplacement par une activité d'une autre nature (sommeil, AP d'intensité légère, modérée ou élevée) pendant la même durée. Plusieurs études ont cherché à comprendre quel serait l'effet de différents types de substitution. De façon unanime, la substitution d'une période sédentaire par une période d'AP de même durée est associée à une réduction du risque de mortalité, d'autant plus s'il s'agit d'une activité d'intensité modérée à élevée (Fishman et al. 2016, Matthews et al. 2016, Matthews et al. 2015, Schmid et al. 2016, Stamatakis et al. 2015, Wijndaele et al. 2017).

- **Relations entre le $\dot{V}O_2\text{max}$, la fonction musculaire et le risque de mortalité**

Le $\dot{V}O_2\text{max}$ est reconnu comme un facteur prédictif fort du risque de mortalité toute-cause et cardiovasculaire (Ross et al. 2016). Depuis l'étude pionnière de Blair et al. (Blair et al. 1989), de nombreuses études ont montré une relation inverse entre le $\dot{V}O_2\text{max}$ et la mortalité, dans des populations variées (Ross et al. 2016). Selon une méta-analyse incluant plus de 100 000 sujets, chaque augmentation du $\dot{V}O_2\text{max}$ de 1 MET (soit $3,5 \text{ mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$) était associée à une diminution de 15 % du risque de mortalité toute-cause et de 13 % du risque de maladies cardiovasculaires (Kodama et al. 2009). La relation entre le $\dot{V}O_2\text{max}$ et la mortalité est indépendante des facteurs de risque cardiovasculaire majeurs (tabagisme, dyslipidémie, HTA, diabète) et du statut pondéral (DeFina et al. 2015, Myers et al. 2002) et semble se maintenir après 4 décennies de suivi (Clausen et al. 2018).

Différents seuils ont été utilisés pour définir une faible capacité cardiorespiratoire. Le risque est particulièrement augmenté pour des valeurs inférieures à 5 MET (soit $15 \text{ mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$) ; à l'inverse, le risque diminue pour des valeurs supérieures à 8 à 10 MET (soit environ 28 à $35 \text{ mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$) (Ross et al. 2016). La relation entre le $\dot{V}O_2\text{max}$ et le risque de mortalité étant curvilinéaire, les bénéfices les plus importants sont obtenus chez les sujets passant d'une faible capacité cardiorespiratoire ($< 5 \text{ MET}$) à une capacité modérée (5 à 7 MET) (Ross et al. 2016).

La force musculaire est également reconnue comme un facteur prédictif du risque de mortalité toute-cause (Garcia-Hermoso et al. 2018). La majorité des données ont été obtenues chez des personnes âgées chez qui la force de préhension a été utilisée comme indicateur de force musculaire (Cooper et al. 2010). Des données récentes montrent cependant une relation similaire chez les sujets adultes (Celis-Morales et al. 2018, Garcia-Hermoso et al. 2018, Kishimoto et al. 2014, Leong et al. 2015, Tikkanen et al. 2018). Une méta-analyse récente incluant près de 2 millions de sujets, a porté sur 38 études dont deux tiers étaient réalisées chez des sujets de plus de 60 ans, et un tiers chez des sujets de moins de 60 ans (Garcia-Hermoso et al. 2018). Une relation inverse a été observée entre le risque de mortalité toute-cause et la force de préhension ainsi que la force musculaire des membres inférieurs (extension de la jambe) (Garcia-Hermoso et al. 2018). Chez les sujets ayant la force la plus élevée, comparativement aux sujets ayant la force la plus faible, le risque de mortalité était diminué de 31 % pour la force de préhension et de 14 % pour la force des membres inférieurs (Garcia-Hermoso et al. 2018). Une étude récente menée à très large échelle a proposé le seuil de 16 kg chez les femmes et 26 kg chez les hommes pour identifier une faible force de préhension (Celis-Morales et al. 2018). Bien que le caractère prédictif de la force musculaire des membres inférieurs soit discuté (Garcia-Hermoso et al. 2018), ces résultats encouragent à ne pas mesurer uniquement la force de préhension, mais également celle des membres inférieurs. Chez les personnes âgées, il a été montré une plus forte association entre le risque de mortalité et la force des membres inférieurs, probablement en raison de sa plus grande contribution à la capacité physique fonctionnelle (Guadalupe-Grau et al. 2015).

La vitesse de marche mesurée de façon objective a été associée au risque de mortalité toute-cause et cardiovasculaire, principalement chez les personnes âgées (Cooper et al. 2010, Elbaz et al. 2013, Liu et al. 2016). Cette association semble en partie médiée par le statut inflammatoire, le mode de vie (tabagisme, consommation d'alcool, AP, habitudes

alimentaires), le statut pondéral et la présence de facteurs de risque cardiovasculaire (Elbaz et al. 2013). Après ajustement sur l'ensemble de ces paramètres, le risque de mortalité serait tout de même augmenté de 39 % chez les personnes dont la vitesse de marche spontanée est la plus lente (Elbaz et al. 2013).

La vitesse de marche perçue a également été associée au risque de mortalité chez des adultes (Yates et al. 2017). Dans une étude menée auprès de 400 000 sujets âgés en moyenne de 57 ans, le risque de mortalité était multiplié par deux chez les sujets déclarant marcher « lentement », comparativement à ceux déclarant marcher « vite » (Yates et al. 2017). Dans cette étude, la vitesse de marche perçue était associée au $\dot{V}O_2\text{max}$, aussi bien chez les femmes que chez les hommes. Le $\dot{V}O_2\text{max}$ moyen était de 28 mL.kg⁻¹.min⁻¹, 31 mL.kg⁻¹.min⁻¹ et 34 mL.kg⁻¹.min⁻¹ chez les femmes déclarant marcher à une allure « lente », « régulière » et « rapide ». Les auteurs ont ainsi proposé que la vitesse de marche perçue soit utilisée comme un marqueur simple de la capacité cardiorespiratoire (Yates et al. 2017).

Interactions avec l'AP

La capacité physique étant fortement influencée par l'AP, des auteurs ont cherché à déterminer les interactions entre les différents paramètres de l'AP et de la capacité physique sur le risque de mortalité ou de maladies cardiométaboliques. Le bénéfice associé à une augmentation de l'AP ou à une diminution de la sédentarité semble plus important chez les personnes ayant une faible force musculaire ou une faible capacité cardiorespiratoire (Celis-Morales et al. 2017, Maslow et al. 2010, Nauman et al. 2016). La capacité cardiorespiratoire et la force musculaire interagissent également sur le risque de mortalité (Crump et al. 2017). Si elles sont chacune associées de façon indépendante au risque de mortalité, le risque est multiplié chez les personnes ayant à la fois une faible capacité cardiorespiratoire et une faible force musculaire (augmentation du risque de 200 %, comparativement à une augmentation de 58 % chez les personnes ayant uniquement une faible capacité cardiorespiratoire et de 27 % chez les personnes ayant uniquement une faible force musculaire (Crump et al. 2017).

1-3- Méthodes de mesure de l'activité physique et de la capacité physique

Il existe différentes méthodes de mesure de l'AP et de la capacité physique, allant des méthodes les plus simples et peu coûteuses telles que les méthodes déclaratives, aux méthodes de mesure objective plus complexes. Mesurer les différentes dimensions de l'AP et de la capacité physique dans un contexte clinique impose de choisir parmi les différentes méthodes

existantes, ce qui pose la question de la validité des outils de mesure, de la faisabilité de leur utilisation dans le cadre de la prise en charge habituelle des patients, et de leur acceptabilité par les patients. Nous présenterons successivement les différentes méthodes de mesure de l'AP, de la capacité cardiorespiratoire et de la fonction musculaire, ainsi que les difficultés liées à leur utilisation chez des personnes obèses.

1-3-1- Méthodes de mesure de l'activité physique

La mesure de l'AP dans les conditions de vie réelle peut faire appel à différentes méthodes qui sont habituellement classées en méthodes déclaratives et méthodes objectives. Chacune de ces méthodes présente des avantages et des limites, et posent encore d'importantes questions méthodologiques (Strath et al. 2013).

La qualité de la mesure repose sur trois critères principaux :

- La validité correspond à la propension de la mesure à vraiment mesurer ce qu'elle est censée mesurer et est le plus souvent évaluée en comparant la mesure d'une méthode avec la mesure de la méthode de référence, qui varie selon le paramètre à valider (Dowd et al. 2018). La technique de l'eau doublement marquée est par exemple la méthode de référence pour la mesure de la dépense énergétique, et l'observation directe la méthode de référence pour la mesure du nombre de pas. Cependant, il n'existe pas de méthode de référence pour la mesure en vie réelle de nombreuses variables d'AP (Shephard 2003). Il s'agit dans ce cas de comparer la mesure fournie par deux méthodes différentes, ce qui peut poser des difficultés lorsque les paramètres ne sont pas exprimés dans la même unité.
- La reproductibilité se définit par une stabilité des résultats obtenus avec la même méthode et dans des situations comparables, est le plus souvent mesurée en comparant deux mesures successives réalisées dans des conditions stables,
- La sensibilité au changement correspond à la capacité à objectiver des variations du paramètre mesuré au cours du temps, qui peuvent être spontanées ou provoquées par une intervention. La sensibilité au changement est une propriété particulièrement importante dans les études longitudinales ou d'intervention puisqu'une sensibilité insuffisante peut conduire, par exemple, à conclure à tort à une absence de changement (Matthews et al. 2018). Il s'agit cependant de la propriété la moins étudiée, ce qui constitue à l'heure actuelle une limite importante des questionnaires d'AP (Dowd et al. 2018).

- **Méthodes déclaratives**

Les méthodes de mesure déclaratives regroupent les journaux d'AP et les questionnaires, ces derniers étant les plus fréquemment utilisés. Il existe aujourd'hui de très nombreux questionnaires d'AP, qui se distinguent par la méthode d'administration (auto-administré ou par entretien), par les paramètres évalués ou encore par la période d'évaluation (Strath et al. 2013). On distingue habituellement trois types de questionnaires (Strath et al. 2013) :

- Les questionnaires courts (2 à 4 questions) s'intéressent en général à un domaine spécifique (par exemple, l'AP de loisir) et permettent de calculer rapidement un score d'activité. Ils sont principalement utilisés pour classer les individus (per exemple, en « actifs » ou « inactifs ») et sont souvent privilégiés dans la pratique clinique en raison de leur rapidité d'administration et de traitement des données.
- Les questionnaires de rappel à court terme évaluent la durée, l'intensité, la fréquence et le contexte des activités physiques (7 à 12 questions) pratiquées au cours de la dernière semaine ou du dernier mois. Ils sont principalement utilisés dans les études épidémiologiques pour identifier le pourcentage de personnes atteignant ou non le niveau minimal d'AP recommandé et dans les études d'intervention pour évaluer l'évolution de l'AP. Un score d'activité global, le plus souvent exprimé en MET-h.semaine⁻¹, peut être calculé en multipliant la fréquence par la durée et l'intensité (exprimée en METs) des APs.
- Les questionnaires longs et détaillés comportent un plus grand nombre de questions (20 à 60 questions) portant en général sur une échelle de temps plus longue (1 mois à 1 an). Ils cherchent à évaluer l'AP pratiquée dans tous les contextes de la vie quotidienne (transport, travail, domestique, loisirs), afin de mieux comprendre la contribution respective des différents types d'activités à l'état de santé.

Les questionnaires d'AP présentent des limites bien identifiées : ils sont soumis aux biais de mémoire et de désirabilité des individus, ce qui favorise une surestimation du niveau d'AP ; les niveaux d'intensité peuvent être mal perçus par les individus ; les questionnaires se concentrent souvent sur les activités d'endurance et incluent peu de questions sur les activités de renforcement musculaire ; et ils manquent parfois de précision, notamment pour mesurer l'AP sporadique et/ou d'intensité légère (Shephard 2003). Une revue récente de la littérature a en effet montré une validité variable et tout au mieux moyenne des questionnaires pour estimer la dépense énergétique (par comparaison avec la méthode de référence de l'eau doublement marquée) ou la durée des activités de différentes intensités (par comparaison avec

les accéléromètres) (Dowd et al. 2018, Helmerhorst et al. 2012). La reproductibilité des questionnaires d'AP se caractérise par une importante variabilité, et tend à diminuer avec l'augmentation du délai entre les deux mesures (Dowd et al. 2018).

Malgré ces limites, les questionnaires d'AP présentent plusieurs caractéristiques qui facilitent leur utilisation à large échelle. Parmi les principaux avantages, on peut citer leur faible coût, leur facilité d'application et leur capacité à prendre en compte le contexte de pratique de l'AP et de la sédentarité. Les questionnaires constituent ainsi toujours la méthode de mesure privilégiée de l'AP dans un contexte clinique et dans les études de population (Lobelo et al. 2018).

- **Méthodes objectives**

Les méthodes de mesure objectives de l'AP peuvent être classées en 4 catégories : les mesures de la dépense énergétique liée à l'AP (calorimétrie directe ou indirecte incluant la technique de l'eau doublement marquée), les moniteurs de fréquence cardiaque, les capteurs de mouvement (podomètres, accéléromètres) et les méthodes mixtes (combinant par exemple un capteur de mouvement et un moniteur de fréquence cardiaque) (Strath et al. 2013).

La calorimétrie indirecte s'appuie sur l'analyse des échanges gazeux respiratoires (consommation d'oxygène, production de gaz carbonique), soit dans une chambre respiratoire, soit à l'aide d'un masque ou d'un casque (canopy). La technique de l'eau doublement marquée repose sur la mesure, par dilution isotopique, de la quantité de CO₂ produit pendant une durée en général de 14 jours consécutifs, et nécessite un recueil d'urines à intervalles réguliers et l'utilisation d'un spectromètre de masse. Si la mesure de la consommation d'oxygène est habituelle dans le cas de l'évaluation de la capacité physique à l'effort, elle est plus rare quand il s'agit de quantifier la dépense énergétique liée à l'AP. Ainsi, en raison de leur coût et de leur complexité, ces méthodes sont principalement réservées aux études de physiologie, et leur utilisation ne peut pas être envisagée à large échelle. Ces méthodes ne seront pas détaillées ici.

La mesure de l'AP par les moniteurs de fréquence cardiaque s'appuie sur l'existence d'une relation linéaire entre la fréquence cardiaque la consommation d'oxygène, et ainsi entre la fréquence cardiaque et l'intensité de l'exercice. Il faut noter cependant que cette relation n'est

linéaire que pour les efforts continus, poursuivis en état stable pendant une durée d'au moins plusieurs minutes, et réalisés au-dessus d'un certain seuil d'intensité. Lors d'efforts d'intensité faible, la fréquence cardiaque peut être influencée par des facteurs tels que la consommation de caféine, l'état émotionnel ou encore la température extérieure (Strath et al. 2013). Une calibration individuelle est nécessaire pour estimer la dépense énergétique liée à l'AP à partir de la fréquence cardiaque. Cette calibration consiste à établir la relation entre la fréquence cardiaque et la consommation d'oxygène lors d'un exercice standardisé réalisé en laboratoire, ce qui limite considérablement l'utilisation des moniteurs de fréquence cardiaque à large échelle pour l'évaluation de l'AP habituelle. Des outils innovants, qui combinent un moniteur de fréquence cardiaque et des compteurs de mouvement, améliorent l'estimation de la dépense énergétique liée à l'AP tout en s'affranchissant de la calibration individuelle (Strath et al. 2013). Le coût élevé de ces outils limite cependant fortement leur utilisation en dehors de protocoles de recherche.

Les capteurs de mouvements regroupent les podomètres et les accéléromètres. Leur utilisation récente a été fortement favorisée par la diminution de leur coût et la publication d'articles de synthèse et de bonnes pratiques d'utilisation (Matthews et al. 2012). La mise au point et la diffusion des objets connectés de mesure de l'AP destinés au grand public, basés sur l'accélérométrie, ouvrent de nouvelles perspectives pour une mesure plus systématique de l'AP à large échelle et une meilleure restitution des données aux patients et aux professionnels de santé (Lobelo et al. 2018). Nous présenterons ci-dessous les caractéristiques des podomètres, des accéléromètres et des objets connectés d'AP.

Podomètres

Principes de fonctionnement des podomètres

Le podomètre est un capteur de mouvement simple qui fournit des informations sur les activités ambulatories, c'est-à-dire principalement la marche, mais aussi la course (Bassett et al. 2002). La mesure objective de la marche en vie réelle a fait l'objet d'un intérêt croissant pour plusieurs raisons : la marche est une activité accessible au plus grand nombre qui peut être pratiquée sans équipement particulier, elle est l'activité la plus couramment pratiquée selon les études réalisées auprès de la population générale, et son rôle protecteur vis-à-vis des maladies cardiométaboliques a été bien démontré (Tudor-Locke et al. 2012b). La marche est

aussi citée dans les recommandations d'AP pour la population générale comme un exemple d'AP d'intensité modérée (Department of Health and Human Services 2008).

Les podomètres sont des appareils de petite taille portés habituellement à la ceinture mais aussi parfois au poignet ou à la cheville. Les podomètres modernes sont dits « électroniques » et répondent à l'accélération verticale produite lors de la marche. Ils comprennent le plus souvent un levier suspendu par un ressort qui effectue à chaque pas un mouvement de haut en bas. Ce mouvement ouvre et ferme un circuit électrique, ce qui entraîne l'enregistrement d'un pas et la visualisation d'un pas supplémentaire sur un écran digital (Bassett et al. 2002). Certains podomètres, plus récents, utilisent la technique d'accélérométrie et comprennent un capteur piézo-électrique (Strath et al. 2013). Ce type de capteurs étant également présents dans les accéléromètres, nous les présenterons plus en détail dans le paragraphe dédié aux accéléromètres.

Paramètres mesurés par les podomètres

Les podomètres les plus simples mesurent le nombre de pas et permettent d'estimer la distance parcourue en attribuant à chaque pas une longueur prédéfinie. Les podomètres plus modernes comprennent une horloge et une fonction de mémoire intégrées, ce qui permet une analyse des profils d'accumulation de l'AP au cours de la journée ainsi qu'une analyse de l'intensité de l'activité (Strath et al. 2013). En effet, la cadence de marche (nombre de pas par minute) est reconnue comme un bon reflet de l'intensité lors de la réalisation de cette activité (Tudor-Locke et al. 2018, Tudor-Locke et al. 2012b). Une cadence de 100 pas par minute a été identifiée comme correspondant à une activité d'intensité modérée pour des sujets adultes en bonne santé (Tudor-Locke et al. 2012b). Plusieurs seuils ont été proposés pour caractériser de façon précise l'intensité de la marche (**Tableau 4**) (Tudor-Locke et al. 2011a).

Tableau 4 – Catégories d'intensité basées sur la cadence de marche

Catégorie d'intensité	Cadence (nombre de pas.minute ⁻¹)
Inactivité (« <i>non-movement</i> »)	0
Mouvement occasionnel (« <i>incidental movement</i> »)	1 à 19
Mouvement sporadique (« <i>sporadic movement</i> »)	20 à 39
Marche intentionnelle (« <i>purposeful steps</i> »)	40 à 59
Marche à allure lente (« <i>slow walking</i> »)	60 à 79
Marche à allure modérée (« <i>medium walking</i> »)	80 à 99
Marche d'un bon pas (« <i>brisk walking</i> »)	100 à 119
Marche rapide (« <i>faster locomotion</i> »)	≥ 120

D'après (Tudor-Locke et al. 2011a)

L'utilisation de ces seuils permet de calculer le nombre de minutes passées à chaque seuil d'intensité, et ainsi de mieux décrire les comportements de marche en vie réelle (Tudor-Locke et al. 2011a). Certains auteurs ont également mesuré des indicateurs de pic de cadence, comme par exemple la cadence mesurée lors de la minute la plus la plus rapide, ou la cadence moyenne mesurée lors des 30 minutes ou 60 minutes les plus rapides. Ces indicateurs de pic de cadence ont été décrits comme "l'effort maximal spontané" ("*best natural effort*") (Tudor-Locke et al. 2013). Il est surprenant de constater que les adultes américains (résultats de l'étude de surveillance NHANES) marchent seulement 6 minutes par jour à une cadence supérieure à 100 pas.minute⁻¹ (Tudor-Locke et al. 2011a), et qu'en moyenne chez les adultes, la cadence maximale sur 1 minute atteint 107 pas.minute⁻¹ (Tudor-Locke et al. 2013). Ces résultats suggèrent que la pratique de la marche d'intensité modérée est rare dans des conditions de vie habituelle, et/ou que les épisodes de marche ont habituellement une durée inférieure à 1 minute. La majorité des pas (60 %) seraient en effet accumulés en épisodes de moins de 30 secondes, et les épisodes de marche de 2 minutes ne représentaient que 1 % du nombre total de pas accumulés au cours de la journée (Orendurff et al. 2008).

L'analyse de la marche dans des conditions de vie habituelle peut ainsi être évaluée grâce aux podomètres au travers de plusieurs paramètres (présentés dans le **Tableau 5**). L'analyse de la cadence pourrait être améliorée en analysant les données sur des périodes courtes (inférieures à 1 minute) et en personnalisant le seuil correspondant à la marche d'intensité modérée (qui varie selon l'âge, la taille et le statut pondéral) (Bollinger 2017).

Tableau 5 – Principaux paramètres mesurés par les podomètres

Paramètres	Définitions
Indicateurs de volume	
Nombre de pas.jour ⁻¹	Somme des pas accumulés au cours de la journée
Indicateurs d'intensité	
Cadence moyenne	Moyenne du nombre de pas.minute ⁻¹
Indicateurs d'effort maximal spontané	
Pic de cadence sur 1 minutes	Nombre de pas.minute ⁻¹ mesuré lors de la minute la plus rapide
Pic de cadence sur 30 minutes	Nombre de pas.minute ⁻¹ mesuré lors des 30 minutes les plus rapides
Pic de cadence sur 60 minutes	Nombre de pas.minute ⁻¹ mesuré lors des 60 minutes les plus rapides
Durée d'inactivité	Nombre de minutes avec 0 pas.minute ⁻¹
Durée d'activité	Nombre de minutes avec > 0 pas.minute ⁻¹
Durée de marche à chaque intensité	
- Mouvement occasionnel	Nombre de minutes avec 1 à 19 pas.minute ⁻¹
- Mouvement sporadique	Nombre de minutes avec 20 à 39 pas.minute ⁻¹
- Marche intentionnelle	Nombre de minutes avec 40 à 59 pas.minute ⁻¹
- Marche à allure lente	Nombre de minutes avec 60 à 79 pas.minute ⁻¹
- Marche à allure modérée	Nombre de minutes avec 80 à 99 pas.minute ⁻¹
- Marche d'un bon pas	Nombre de minutes avec 100 à 119 pas.minute ⁻¹
- Marche rapide	Nombre de minutes avec ≥ 120 pas.minute ⁻¹

D'après (Tudor-Locke 2016a)

Validité, reproductibilité, sensibilité au changement des podomètres

La validité et la reproductibilité des podomètres dépendent du paramètre considéré (nombre de pas, distance parcourue ou dépense énergétique) et du type de procédures expérimentales (conditions de laboratoire ou vie réelle).

Le nombre de pas constitue la mesure la plus valide et reproductible (Strath et al. 2013). Dans des conditions standardisées et bien contrôlées, c'est-à-dire lors de la marche sur un tapis roulant ou sur un terrain plat, la majorité des podomètres électroniques permettent une mesure satisfaisante du nombre de pas avec un risque d'erreur inférieur à 10 % (Crouter et al. 2003, Schneider et al. 2003), avec une bonne reproductibilité intra-modèle et inter-modèle (Holbrook et al. 2009, Schneider et al. 2003). Le risque d'erreur augmente cependant considérablement pour des vitesses de marche inférieures à 4,8 km.h⁻¹, la majorité des podomètres sous-estimant le nombre de pas (Crouter et al. 2003). L'estimation de la distance parcourue et de la dépense énergétique est moins précise : la distance tend à être surestimée pour des vitesses lentes et sous-estimées pour des vitesses rapides, la dépense énergétique semble toujours surestimée (Crouter et al. 2003). Dans des conditions de vie réelle, lorsque les sujets réalisent différents types d'activités (domestiques, sportives...), le risque d'erreur augmente également fortement (Shephard 2016). Ainsi, les podomètres permettent une mesure satisfaisante des activités ambulatoires réalisées à une vitesse au moins modérée, mais sont moins performants lorsqu'il s'agit de mesurer l'ensemble des activités de la vie quotidienne (Shephard 2016).

Une revue de la littérature récente (Dowd et al. 2018) a identifié une seule étude indiquant la sensibilité au changement des podomètres. Cette étude a montré que les podomètres étaient suffisamment sensibles pour détecter l'augmentation du nombre de pas après une intervention basée sur la promotion de la marche (Tudor-Locke 2001).

Accéléromètres

Principes de fonctionnement des accéléromètres

Les accéléromètres mesurent les mouvements du corps ou d'un segment corporel en termes d'accélération (variation de vitesse par unité de temps). Ils renferment un ou plusieurs capteurs, constitués d'une masse sismique et d'une céramique aux propriétés piézoélectriques. Lors d'un mouvement, la masse sismique exerce sur la céramique une force proportionnelle à l'accélération. La céramique se déforme alors et émet un signal électrique brut dont l'amplitude est proportionnelle à la déformation, et donc à l'accélération (Chen et al. 2005).

Les premières générations d'accéléromètres mesuraient l'accélération uniquement dans l'axe vertical ; les accéléromètres plus récents mesurent désormais également l'accélération dans les axes antéro-postérieur et médio-latéral à l'aide d'un seul capteur pouvant se déformer dans les trois axes. Ils peuvent être portés à la hanche, au poignet, à la cheville et pour certains accéléromètres sur la cuisse.

Les progrès technologiques ont permis de réduire la taille et le coût des accéléromètres, ce qui a entraîné une forte augmentation de leur utilisation dans des protocoles de recherche. Des accéléromètres de plusieurs marques ont été commercialisés au cours des dernières années (Actigraph, RT3, Actival, activPAL, GENEActiv, SenseWear, IDEEA), chacun présentant des caractéristiques différentes (Strath et al. 2013). Les caractéristiques des accéléromètres Actigraph et ActivPAL, utilisés pour ce travail de thèse, sont présentées dans le **Tableau 6**.

Tableau 6 – Principaux paramètres mesurés par les podomètres

	Actigraph	activPAL
Taille	4.6 x 3.3 x 1.5 cm	53 x 35 x 1.5 mm
Masse (g)	19	15
Mémoire	512 MB	16 MB
Durée d'enregistrement	40 jours à 30 Hz	14 jours
Données mesurées	Signal brut d'accélération	Signal brut d'accélération
Interface	USB	USB
Nombre d'axes	Triaxial	Uniaxial
Position	Hanche, poignet, cheville	Cuisse
Logiciel associé	Actilife	activPAL

D'après (Strath et al. 2013)

L'utilisation des accéléromètres pour la mesure de l'AP est un processus en 3 étapes : le recueil, la gestion et le traitement des données. Bien qu'il existe des protocoles standardisés pour chacune de ces étapes, le choix des modalités de protocoles peut faire varier considérablement les résultats. Cela impose de bien comprendre les implications des protocoles retenus et de les adapter à l'objectif de recherche poursuivi (Tudor-Locke 2016b).

Protocoles pour le recueil des données

Le recueil des données d'accélérométrie soulève plusieurs questions telles que le choix du modèle d'accéléromètre, son placement, la durée de la période d'enregistrement, et la contrainte imposée aux participants.

Les accéléromètres Actigraph commercialisés par la société Manufacturing Technology (États-Unis) sont le plus couramment portés à la taille l'aide d'une ceinture élastique, car cette position est la plus proche du centre de gravité (Chen, 2005) et qu'elle semble plus précise que

le poignet pour la mesure de l'AP d'intensité modérée à élevée (Rosenberger et al. 2013), le temps sédentaire (Rosenberger et al. 2013) et le nombre de pas par jour (Tudor-Locke et al. 2015).

La période d'enregistrement a varié selon les études entre 1 jour et plusieurs semaines. Bien qu'il n'existe pas de consensus sur la période d'enregistrement idéale, de nombreuses études ont fait le choix d'une période de 7 jours (Tudor-Locke 2016b). Cette durée semble nécessaire et suffisante pour prendre en compte la variabilité de l'AP au sein de la semaine chez un même individu, et pour intégrer les journées de weekend durant lesquelles l'AP est souvent diminuée (Jaeschke et al. 2018). Une durée de 7 jours, bien tolérée par les participants, semble permettre une durée de port optimale (Troiano et al. 2008, Tudor-Locke 2016b).

Pendant longtemps, il a été demandé aux participants de porter l'accéléromètre uniquement pendant la journée, du réveil jusqu'au coucher. Une journée de port valide était alors souvent définie par une durée de port supérieure à 10 heures (Tudor-Locke et al. 2012a). Plus récemment, des protocoles avec une durée de port de 24 heures ont été mis en place (l'accéléromètre étant alors porté au poignet), ce qui a permis d'augmenter la durée de port jusqu'à 21 à 22 heures par jour (Migueles et al. 2017). Les protocoles prévoyant une durée de port de 24 heures pourraient ainsi permettre d'obtenir une mesure plus représentative de l'AP habituelle, et notamment de la sédentarité. En effet, le retrait prématuré de l'accéléromètre est particulièrement observé en fin de journée, qui est souvent consacrée à des occupations sédentaires (Tudor-Locke et al. 2011b).

Protocoles pour le traitement des données

Les données brutes d'accélérométrie sont recueillies à une fréquence souvent comprise entre 60 et 100 Hz. Elles doivent être converties en données plus significatives et interprétables au travers d'une étape dite d'« étalonnage ». Il s'agit de traiter le signal brut d'accélération par unité de temps, appelée en anglais "*epoch*". Une fois traitées, les données sont exprimées en coups d'activité par unité de temps. Chez les adultes, l'*epoch* la plus fréquemment retenue est d'1 minute, permettant ainsi l'obtention de valeurs exprimées en coups par minute (Chen et al. 2005). L'intensité de l'AP est ensuite estimée à partir des valeurs de coups par minute. L'analyse peut porter sur les coups.min⁻¹ mesurés dans l'axe vertical ou les coups.min⁻¹ mesurés dans les 3 axes. Une variable nommée « vecteur magnitude », correspondant à la racine carrée de la somme des carrés des coups.min⁻¹ enregistrés dans les trois axes, selon la formule : $VM = (\text{axe } 1^2 + \text{axe } 2^2 + \text{axe } 3^2)^{0,5}$.

Le traitement des données étalonnées implique plusieurs étapes successives : identifier les périodes au cours desquelles l'accéléromètre a été porté ou non, définir les règles de validité des données, définir les seuils de sédentarité et d'AP d'intensité légère, modérée et élevée et définir les critères d'évaluation des profils d'AP et de sédentarité.

Définition de la durée de port et de non-port de l'accéléromètre

Identifier les périodes de port et de non port de l'accéléromètre est une étape essentielle du traitement des données. En effet, l'accélération nulle (0 coups.min^{-1}) peut être le reflet d'une période de sédentarité mais aussi d'une période de non port de l'appareil. Plusieurs algorithmes ont été proposés pour identifier les périodes de non-port (Peeters et al. 2013). Ces algorithmes définissent une durée minimale de minutes consécutives (20, 60 ou 90 minutes) au cours de laquelle le nombre de coups.minute⁻¹ est égal à zéro, certains algorithmes tolérant une interruption de 2 minutes avec un nombre de coups.minute⁻¹ compris entre 0 et 100. L'application de ces différents algorithmes aboutit à des durées de port différentes, ce qui diminue la comparabilité des études (Masse et al. 2005, Peeters et al. 2013). La durée de port est définie comme la durée totale des 24 heures à laquelle est soustraite la durée de non-port.

Définition des données valides

Lorsque l'accéléromètre est porté uniquement pendant la journée, une journée valide a le plus souvent été définie par une durée de port supérieure à 10 heures, mais aussi parfois par une durée de port supérieure à 8 heures ou 12 heures (Tudor-Locke et al. 2012a). Une semaine valide a souvent été définie par un nombre de jours valides supérieur ou égal à 4 jours. Dans certaines études, les 4 jours devaient inclure un jour de week-end (Tudor-Locke et al. 2012a).

Définition des seuils d'intensité

Plusieurs équipes ont cherché à établir les seuils de coups.minute⁻¹ correspondant à l'AP d'intensité légère, modérée et élevée. Traditionnellement, les seuils ont été définis en comparant les coups.minute⁻¹ de l'accéléromètre obtenus dans l'axe vertical avec la consommation d'oxygène (exprimée en MET) lors de la réalisation d'une AP standardisée (Freedson et al. 1998). La relation entre les coups.minute⁻¹ et la consommation d'oxygène étant linéaire, des équations de prédiction ont été développées pour estimer le nombre de coups.minute⁻¹ correspondant à une intensité de 3 et de 6 MET, seuils habituellement utilisés pour définir l'AP d'intensité modérée et élevée. Initialement réalisées auprès de sujets jeunes, de poids normal et en bonne santé dans des conditions de laboratoire (marche et course sur

tapis roulant), les études ont ensuite été réalisées dans des conditions plus proches des activités de la vie réelle, et auprès de populations variées. Ces études ont abouti à différents seuils de coups.minute⁻¹ (axe vertical), présentés dans le **Tableau 7**.

Tableau 7 – Équations de prédiction et seuils d'intensité développés pour les accéléromètres Actigraph portés à la ceinture

Référence	Participants	Méthodes	Équation de régression	Seuils d'intensité (coups.minute ⁻¹)	
				Moderée	Élevée
(Freedson et al. 1998)	N = 25 H - Age : 25 ± 4 - Masse (kg) : 72 ± 8 N = 25 F - Age : 23 ± 4 - Masse (kg) : 63 ± 8	Marche et course sur tapis roulant	MET = 1,439008 + 0,000795 x CPM	1 952	5 725
(Hendelman et al. 2000)	N = 25 H/F - Age : 41 ± 7 - Masse (kg) : 72 ± 14	Marche et activités variées	Marche : MET = 1,602 + 0,000638 x CPM Activités variées : MET = 2,922 + 0,000409 x CPM	2 191 191	6 893 7 526
(Swartz et al. 2000)	N = 70 H/F - Age : 41 ± 15 - IMC (kg/m ²) : 26 ± 5	Marche et activités variées	MET = 2,606 + 0,0006863 x CPM	574	4 945
(Nichols et al. 2000)	N = 15 H - Age : 28 ± 5 - IMC (kg/m ²) : 25 ± 3 N = 15 F - Age : 28 ± 5 - IMC (kg.m ⁻²) : 22 ± 2	Marche sur terrain plat	MET = 1,731 + 0,0007271 x CPM	3 285	5 677
(Leenders et al. 2003)	N = 28 H/F - Age : 24 ± 4 - Masse (kg) : 67 ± 14	Marche et course sur tapis roulant	MET = 2.240 + 0,0006 x CPM	1 267	5 252
(Yngve et al. 2003)	N = 15 H - Age : 45 ± 11 - Masse (kg) : 79 ± 10 N = 15 F - Age : 43 ± 11 - Masse (kg) : 67 ± 11	Marche sur tapis roulant et terrain plat	Tapis roulant MET = 1,136 + 0,0008249 x CPM Terrain plat MET = 0,751 + 0,0008198 x CPM	2 260 2 743	5 896 6 403

D'après (Matthews 2005)

Le **Tableau 7** illustre la variabilité des seuils d'intensité au sein de populations relativement homogènes de personnes jeunes, en bonne santé et de poids normal. Plus récemment, des seuils d'intensité ont également été déterminés pour le vecteur magnitude (Sasaki et al. 2011). La définition de seuils d'intensité adaptés à différentes populations ou obtenus avec différentes méthodes permet de mesurer l'AP avec plus de précision, mais la multiplication des seuils rend également plus difficile la comparaison des résultats entre les études. Il s'agit ainsi de choisir parmi les seuils d'intensité disponibles ceux qui semblent le mieux adaptés aux personnes évaluées, tout en permettant une comparaison avec des résultats antérieurs.

Définition des seuils de sédentarité

La définition de la sédentarité inclut une notion de posture (position assise ou allongée) et une notion de dépense énergétique (dépense énergétique très faible, inférieure à 1,5 fois la dépense énergétique de repos) (Tremblay et al. 2017). Différents seuils de coups.min⁻¹ ont été proposés pour identifier les activités sédentaires. Pour les accéléromètres Actigraph, le seuil le plus couramment utilisé a été celui de 100 coups.min⁻¹ (Tremblay et al. 2017). Cette définition de la sédentarité basée uniquement sur l'accélération pose cependant problème car elle ne permet pas d'identifier la posture du sujet (Dowd et al. 2012). En effet, l'accélération mesurée chez un sujet en position assise ou en position debout est identique, alors que la dépense énergétique est plus élevée en position debout (Gao et al. 2017). Des auteurs ont proposé d'utiliser le terme « temps immobile » plutôt que « temps sédentaire » lorsque la mesure provient d'un accéléromètre ne mesurant pas la posture (Tremblay et al. 2017).

L'accéléromètre activPAL commercialisé par la société PAL Technologies (Royaume-Uni), plus récent, permet une mesure de la posture par inclinométrie en complément de la mesure du mouvement. Cet accéléromètre prend en compte l'accélération gravitationnelle, ce qui permet de déterminer l'inclinaison de l'accéléromètre (Gill et al. 2018). Positionné sur la face antérieure de la cuisse, l'activPAL permet de distinguer la position assise ou allongée, la position debout et la marche, ainsi que les transitions entre ces différentes postures (Edwardson et al. 2017). Cet accéléromètre a été moins fréquemment utilisé en recherche que l'accéléromètre Actigraph, mais il est considéré par certains comme la mesure de référence de la sédentarité dans des conditions de vie réelle (Gill et al. 2018). Son utilisation a ainsi rapidement augmenté au cours des dernières années (Edwardson et al. 2017).

Définition des critères d'évaluation des profils d'AP et de sédentarité

Les profils d'accumulation d'AP et de sédentarité peuvent être décrits par la répartition au cours de la semaine ou de la journée du temps passé à différentes intensités d'AP et du temps sédentaire. Pour l'AP, il s'agit d'identifier les activités sporadiques et les activités de durée prolongée. Le traitement des données consiste alors à calculer la durée de chacune des périodes d'AP (nommées « sessions » ou « bouts »), et à définir les critères permettant d'identifier les sessions prolongées. Celles-ci sont le plus souvent définies comme une période de 10 minutes consécutives d'AP d'intensité modérée à élevée, avec parfois une tolérance de 2 minutes à une moindre intensité (Tudor-Locke et al. 2012a). L'application de la tolérance de 2 minutes augmente le nombre de sessions d'AP mesuré et donc la durée des activités

prolongées (Ayabe et al. 2014). Les seuils d'intensité modérée pouvant eux-mêmes être variables, des résultats différents peuvent être obtenus selon les critères appliqués, ce qui limite la comparabilité entre les études. Des durées plus courtes (5 minutes) ou plus longues (30 minutes) ont également été utilisées (de Winter et al. 2018, Saint-Maurice et al. 2018b).

La sédentarité peut également être décrite selon la durée des sessions réalisées. La définition d'une session de sédentarité a fait l'objet de discussions, mais il a été proposé en 2012 qu'elle soit définie comme 10 minutes consécutives (sans interruption) passées sous le seuil de sédentarité (Tremblay et al. 2017). Les profils de sédentarité peuvent également être caractérisés par le nombre de coupures dans la sédentarité (« *breaks* »). Les *breaks* sont définis comme une période d'AP (au moins 100 coups/min pendant plus d'1 minute) succédant immédiatement une période de sédentarité (moins de 100 coups/min pendant au moins 1 minute) (Tremblay et al. 2017).

L'ensemble des règles de traitement des données présentées ci-dessus peuvent faire varier de façon considérable les résultats obtenus. L'utilisation des logiciels fournis par les fabricants des accéléromètres utilisés en recherche présente des avantages, notamment de simplicité et de gain de temps, mais également des inconvénients. Le principal inconvénient concerne les algorithmes utilisés pour le traitement des données qui ne sont pas divulgués par les fabricants. Des algorithmes ont ainsi été publiés et mis à disposition par des chercheurs pour analyser le signal brut d'accélération et s'affranchir ainsi des algorithmes commerciaux (Garnotel et al. 2018).

Paramètres mesurés

Les accéléromètres permettent de mesurer de nombreux paramètres de l'AP et de la sédentarité, qui sont habituellement classés en indicateurs de volume, d'intensité, de durée, d'événements, de dépense énergétique et de respect des recommandations. Ils permettent également de décrire les profils d'accumulation de l'AP et de la sédentarité. Les principaux paramètres mesurés par les accéléromètres sont présentés dans le **Tableau 8**. L'analyse du nombre de pas et de la cadence ayant déjà été présentée (**Tableau 5**), elle n'est pas répétée ici.

Tableau 8 – Principaux paramètres mesurés par les accéléromètres

Paramètres	Définitions
Indicateurs de validité	
Nombre total de jours valides	Nombre de jours répondant au critère de validité retenu
Nombre de jours de WE valides	Nombre de jours de weekend répondant au critère de validité retenu
Durée de port mesurée	Durée pendant laquelle l'accéléromètre a été porté
Indicateurs de volume	
Nombre de coups.jour ⁻¹	Somme des coups (axe vertical) accumulés au cours de la journée
Nombre de pas.jour ⁻¹	Somme des pas accumulés au cours de la journée
Indicateurs d'intensité	
Nombre de coups.minute ⁻¹	Moyenne du nombre de coups/minute
Indicateurs de durée	
Temps sédentaire	Nombre total de minutes.jour ⁻¹ < 100 coups.minute ⁻¹ * (Actigraph)
	Nombre total de minutes.jour ⁻¹ en position assis ou allongé (activPAL)
AP d'intensité légère	Nombre total de minutes.jour ⁻¹ entre 100 et 1 951 coups.minute ⁻¹ *
AP d'intensité modérée	Nombre total de minutes.jour ⁻¹ entre 1 952 et 5 724 coups.minute ⁻¹ *
AP d'intensité élevée	Nombre total de minutes.jour ⁻¹ ≥ 5 725 coups.minute ⁻¹ *
AP d'intensité modérée/élevée	Nombre total de minutes.jour ⁻¹ ≥ 1 952 coups.minute ⁻¹ *
	Nombre total de minutes.jour ⁻¹ ≥ 100 pas.minute ⁻¹
Indicateurs d'événements	
Coupures dans la sédentarité	Nombre de transitions entre une activité < 100 coups.minute ⁻¹ et une activité > 100 coups.minute ⁻¹
Transitions assis/allongé et debout	Nombre de transitions entre une position assis/allongé et debout
Transitions debout et assis/allongé	Nombre de transitions entre une position debout et assis/allongé
Indicateurs de dépense énergétique	
DE liée à l'AP	Dépense énergétique liée à l'AP estimée par une équation de prédiction
Indicateurs de profils de l'AP d'intensité modérée à élevée	
Nombre de sessions.jour ⁻¹	Nombre de sessions (≥ 1 min) > 1 952 coups.minute ⁻¹ *
Durée moyenne des sessions	Durée moyenne des sessions > 1 952 coups.minute ⁻¹ *
Nombre de sessions ≥ 10 min	Nombre de sessions (≥ 10 min) > 1 952 coups.minute ⁻¹ *
Durée totale en sessions ≥ 10 min	Durée totale de l'AP des sessions ≥ 10 min
Indicateurs de profils de sédentarité	
Nombre de sessions.jour ⁻¹	Nombre de sessions (≥ 1 min) < 100 coups.minute ⁻¹ *
Durée moyenne des sessions	Durée moyenne des sessions < 100 coups.minute ⁻¹ *
Nombre de sessions ≥ 10 min	Nombre de sessions (≥ 10 min) < 100 coups.minute ⁻¹ *
Durée totale en sessions ≥ 10 min	Durée totale de la sédentarité en sessions ≥ 10 min
Indicateurs de respect des recommandations	
Durée hebdomadaire d'AP d'intensité modérée à élevée	
- En sessions ≥ 1 min	Nombre de minutes/semaine ≥ 1 952 coups.minute ⁻¹ *
- En sessions ≥ 10 min	Nombre de minutes/semaine ≥ 1 952 coups.minute ⁻¹ * en sessions ≥ 10 min

D'après (Tudor-Locke et al. 2018).

* Seuils de Freedson (Freedson et al. 1998). WE : week-end, DE = dépense énergétique

Validité, reproductibilité, sensibilité au changement

La validité des accéléromètres dépend du paramètre étudié, de la mesure de référence utilisée et des conditions expérimentales. La mesure du nombre de pas a souvent été comparée au comptage direct par un observateur. Comme pour les podomètres, les accéléromètres Actigraph permettent une mesure précise du nombre de pas (risque d'erreur inférieur à 3 %) lors de la marche sur tapis roulant, mais une sous-estimation importante est observée lorsque la vitesse de marche est faible (Abel et al. 2008). Les accéléromètres activPAL permettent une

mesure précise du nombre de pas, indépendamment de la vitesse de marche (risque d'erreur inférieur à 1 %) (Feito et al. 2012a, Ryan et al. 2006).

L'intensité de l'AP mesurée par les accéléromètres Actigraph, caractérisée par le nombre de coups.minute⁻¹, a été comparée à la consommation d'oxygène. Des corrélations fortes ($r > 0,80$) ont été observées entre le nombre de coups.minute⁻¹ obtenus lors de la marche sur tapis roulant ou sur terrain plat et la consommation d'oxygène (Freedson et al. 1998, Leenders et al. 2003, Yngve et al. 2003). La validité diminue ($r = 0,50$ à $0,60$) cependant lorsque la vitesse de marche est faible ou lorsque des activités non ambulatoires sont introduites (activités sportives et ménagères) (Hendelman et al. 2000, Welk et al. 2000). La mesure de l'intensité de l'AP par les accéléromètres activPAL, caractérisée par la cadence, est précise pour toutes les vitesses de marche (Ryan et al. 2006).

La mesure de l'AP en conditions de vie réelle peut être comparée à deux méthodes de référence : la technique de l'eau doublement marquée pour la mesure de la dépense énergétique et l'observation directe pour la durée de l'AP et de la sédentarité. Selon une revue de la littérature récente, les accéléromètres sous-estiment de façon quasi systématique la dépense énergétique, la sous-estimation pouvant atteindre 55 % de la mesure de référence (Dowd et al. 2018). Une étude récente a mis en évidence une corrélation modérée entre la dépense énergétique mesurée par eau doublement marquée et celle estimée à partir des données d'accélérométrie ($r = 0,55$) (Chomistek et al. 2017). Récemment, des algorithmes ont été développés afin d'analyser le signal brut d'accélération et semblent obtenir une meilleure estimation de la dépense énergétique (Garnotel et al. 2018). Les accéléromètres sont plus précis pour mesurer la durée de l'AP (Dowd et al. 2018). Une étude ayant comparé la durée de l'AP d'intensité légère et modérée à élevée mesurée par observation directe ou par un accéléromètre activPAL pendant 30 h a montré une sous-estimation de seulement 1 à 3 minutes avec l'activPAL (Lyden et al. 2017).

La mesure du temps sédentaire par les accéléromètres a souvent été comparée à une mesure par observation directe. Les accéléromètres Actigraph distinguent de façon satisfaisante le temps sédentaire du temps non sédentaire. Une étude a par exemple montré une sous-estimation moyenne de 5 % du temps sédentaire (Kozey-Keadle et al. 2011). En revanche, comme nous l'avons évoqué précédemment, les accéléromètres Actigraph ne distinguaient pas correctement les postures allongée, assise et debout (Edwardson et al. 2016). Les

accéléromètres activPAL permettent une mesure plus précise du temps sédentaire (sous-estimation moyenne inférieure à 3 %) et distinguent mieux les positions allongée, assise et debout (Edwardson et al. 2016, Kozey-Keadle et al. 2011). Malgré ces différences de validité pour la mesure de la sédentarité, plusieurs études comparant les accéléromètres Actigraph et activPAL ont montré des différences non significatives ou minimales entre ces deux accéléromètres (Pfister et al. 2017, Ridgers et al. 2012).

Enfin, une limite bien connue des accéléromètres, notamment ceux portés à la taille, concerne leur incapacité à mesurer les activités statiques comme le vélo ou celles impliquant les membres supérieurs comme le port de charges lourdes (Butte et al. 2012).

Une revue de la littérature récente a conclu que la reproductibilité inter-instruments et intra-instruments était satisfaisante, bien que les résultats varient selon les marques. Les données concernant l'activPAL indiquent une très bonne reproductibilité inter-instruments (coefficient de corrélation intra-classe, CCI > 0,99) et intra-instrument (CCI = 0,94) (Dahlgren et al. 2010, Ryan et al. 2006). Pour les accéléromètres Actigraph, la reproductibilité inter-instrument est bonne lorsque l'on compare les accéléromètres de même génération, mais il existe des différences entre les différentes générations d'accéléromètres (Ried-Larsen et al. 2012, Sasaki et al. 2011). Comme pour les podomètres, les données disponibles ne permettent pas d'évaluer la sensibilité au changement des accéléromètres (Dowd et al. 2018).

Objets connectés d'AP

Principes de fonctionnement des objets connectés d'AP

Les accéléromètres, longtemps dédiés aux protocoles de recherche, sont désormais plus accessibles au grand public par leur intégration aux smartphones et à de nombreux objets portables (montres, bracelets). Le terme « objet connecté d'AP » désigne ici l'ensemble des objets connectés et applications mobiles dédiés à la mesure et au suivi de l'AP. Ils mesurent principalement le nombre de pas, et restituent les données de façon simple et synthétique au travers d'une interface (écran de l'objet connecté ou application smartphone) (Hickey et al. 2016). La restitution des données étant susceptible de modifier l'AP, l'usage des objets connectés d'AP semble davantage adaptée au conseil d'AP qu'aux études observationnelles de mesure de l'AP (Tudor-Locke 2016a). Étant majoritairement portés par des marques grand public, les objets connectés d'AP s'adressent principalement à des personnes sportives

soucieuses de mesurer et d'améliorer leurs performances, ou plus généralement à une population en bonne santé sensible aux messages de prévention et de bien-être (Piwek et al. 2016). Ils pourraient cependant également être intégrés à la prise en charge des patients atteints de maladies cardiométaboliques pour mieux évaluer et conseiller l'AP.

Paramètres mesurés, validité et reproductibilité

Les objets connectés d'AP mesurent en premier lieu le nombre de pas, et certains estiment la distance parcourue, la dépense énergétique et le nombre de « minutes actives » (Evenson et al. 2015). Plusieurs revues de la littérature ont analysé la validité et la reproductibilité de ces appareils (Bunn et al. 2018, Evenson et al. 2015, Henriksen et al. 2018). Ces revues ont conclu que les objets connectés permettaient une mesure précise du nombre de pas lors de la marche sur tapis roulant, mais que la précision diminuait lors de la marche à vitesse lente ou dans des conditions de vie réelle (Bunn et al. 2018, Evenson et al. 2015). Par ailleurs, des résultats variables ont été rapportés, selon le modèle d'objet connecté évalué, la position à la hanche ou au poignet et la procédure expérimentale (Bunn et al. 2018, Evenson et al. 2015). Comme le montre le **Tableau 9**, le risque d'erreur varie de façon importante selon les marques et modèles d'objets connectés (Bunn et al. 2018). La validité des smartphones est peu connue, certaines études indiquant un faible risque d'erreur (Manohar et al. 2011) ; d'autres études indiquant un risque d'erreur important (Brodie et al. 2018). La précision des objets connectés diminue pour l'estimation de la dépense énergétique (par comparaison avec la consommation d'oxygène au cours d'un exercice standardisé), de la distance parcourue et du nombre de minutes actives (par comparaison avec un accéléromètre) (Bunn et al. 2018, Evenson et al. 2015, Imboden et al. 2018). Pour certains modèles, notamment de la marque Fitbit®, une bonne reproductibilité inter-instruments a été observée pour les mêmes modèles d'appareils (Evenson et al. 2015).

Tableau 9 – Exemples d'objets connectés du commerce

Marque	Modèle	Position	Pourcentage d'erreur moyen		Nombre d'études incluses dans la revue
			Nombre de pas	Dépense énergétique	
Fitbit	Charge	Poignet	3,0 %	36,0 %	N = 4
	Flex	Poignet	14,6 %	34,0 %	N = 3
	One	Ceinture	25,0 %	25,0 %	N = 1
	Zip	Ceinture	22,2 %	39,8 %	N = 2
Withings	Pulse	Poignet	3,3 %	/	N = 2
Jawbone	UP24	Poignet	14,1 %	33,3 %	N = 4
	Move	Poignet	5,3 %	/	N = 4
Apple	Apple Watch	Poignet	1,1 %	27 %	N = 4
Samsung	Gear S	Poignet	3,3 %	/	N = 2
Polar	Loop	Poignet	15,3 %	/	N = 2

D'après (Bunn et al. 2018)

Le marché des objets connectés est caractérisé par un renouvellement rapide des produits. La marque Fitbit®, par exemple, commercialise actuellement sur son site internet 8 modèles de montres et bracelets connectés. Le processus de validation (réalisation des études, publication des résultats) est ainsi souvent en retard sur l'apparition des nouveaux produits. Une revue de la littérature publiée en 2018 (Ummels et al. 2018), par exemple, a évalué la validité d'un bracelet (Fitbit® One) n'étant plus commercialisé à la date de la parution de l'étude.

1-3-2- Méthodes de mesure de la capacité cardiorespiratoire

Le $\dot{V}O_{2max}$ est le critère le plus couramment utilisé pour évaluer la capacité cardiorespiratoire (ACSM 2014). Selon l'équation de Fick, le $\dot{V}O_{2max}$ est le produit du débit cardiaque maximal (\dot{Q}_{max} en $L \cdot min^{-1}$) et de la différence artério-veineuse en oxygène ($D_{a-v}O_2$ en $mL \cdot L^{-1}$) (Levine 2008). Le $\dot{V}O_{2max}$ dépend ainsi de la capacité du système cardiovasculaire à fournir de l'oxygène aux muscles squelettiques en mouvement, et de la capacité de ces muscles à utiliser l'oxygène (Levine 2008).

Il existe différentes méthodes d'évaluation du $\dot{V}O_{2max}$. La méthode de référence est une méthode dite « directe » qui consiste à mesurer les échanges gazeux respiratoires (calorimétrie indirecte) lors d'une épreuve d'effort maximal habituellement réalisée sur un tapis roulant ou sur un ergocycle. Parmi les différents protocoles d'épreuve d'effort, les protocoles les plus utilisés sont dit « triangulaires ». Ils consistent à augmenter l'intensité de l'effort par paliers jusqu'à épuisement du participant. Le $\dot{V}O_2$ augmente avec l'intensité de l'effort jusqu'à atteindre un plateau, désigné comme le $\dot{V}O_{2max}$. Le $\dot{V}O_{2max}$ est exprimé soit en termes absolus ($L \cdot min^{-1}$) soit en termes relatifs à la masse corporelle ($mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ ou MET) afin de comparer des sujets de corpulence différente. L'American College of Sports Medicine (ACSM) propose une classification du $\dot{V}O_{2max}$ relatif à la masse corporelle en fonction du sexe et de l'âge. Selon cette classification, un $\dot{V}O_{2max}$ moyen chez les adultes américains âgés de 36 à 45 ans serait compris entre 33 et 36 $mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ chez les femmes et entre 36 et 38 $mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ chez les hommes (ACSM 2014).

Lorsqu'il n'est pas possible, pour une raison médicale ou d'organisation, de mesurer le $\dot{V}O_{2max}$, des méthodes dites « indirectes » peuvent être utilisées (ACSM 2014, Ross et al. 2016). La fréquence cardiaque mesurée lors d'une épreuve d'effort sur ergocycle peut par exemple être utilisée pour estimer le $\dot{V}O_{2max}$ à l'aide d'un normogramme s'appuyant sur la

relation linéaire existant entre le $\dot{V}O_2$ et la fréquence cardiaque (Astrand et al. 1954). Le $\dot{V}O_{2max}$ peut également être estimé à partir de tests maximaux pouvant être réalisés en dehors d'un laboratoire. Le test de Cooper, qui consiste à parcourir la plus grande distance possible en 12 minutes, ou le test de Léger-Boucher, qui consiste à courir le plus longtemps possible à une vitesse augmentant par paliers, sont des exemples de tests de terrain maximaux (ACSM 2014). Ces tests ne sont cependant pas adaptés aux patients présentant une maladie chronique (ACSM 2014). Les tests de terrain sous-maximaux comme le test de marche de 6 minutes représentent alors une alternative intéressante (Ross et al. 2016). Enfin, il existe des équations permettant d'estimer le $\dot{V}O_{2max}$ à partir de données cliniques simples (par exemple, l'âge, le sexe, le statut tabagique, l'IMC, le pourcentage de masse grasse ou encore le niveau d'AP (Ross et al. 2016). Bien que moins précises que les méthodes d'évaluation directe, elles peuvent être intégrées plus facilement à la prise en charge des patients et ainsi permettre une évaluation plus systématique de la capacité cardiorespiratoire (Addoh et al. 2017).

1-3-3- Méthodes de mesure de la force et de la puissance musculaire

Contrairement à l'évaluation de la capacité cardiorespiratoire, il n'existe pas un critère unique d'évaluation de la force musculaire. Les différentes méthodes d'évaluation sont chacune spécifique du groupe musculaire testé, du type d'action musculaire (contraction isométrique, concentrique ou excentrique), de l'équipement utilisé ou encore de l'amplitude articulaire (ACSM 2014). De façon schématique, on peut classer les tests de force musculaire en tests analytiques (mouvement mono-articulaires comme les extensions/flexions de genou, du coude ou les flexions plantaires et dorsales) et en tests fonctionnels (mouvements pluri-articulaires comme l'extension de jambe sur une presse horizontale ou les sauts verticaux). Les mouvements analytiques étant très éloignés des mouvements habituels du quotidien comme la marche ou la montée des escaliers, il apparaît important d'évaluer la force lors de mouvements complexes se rapprochant davantage des caractéristiques des mouvements du quotidien.

Tests analytiques

Le test de référence pour l'évaluation de la force musculaire est l'ergomètre isocinétique (ACSM 2014). Il permet de mesurer des couples de force en contraction maximale volontaire lors de contractions isométriques (test réalisé à vitesse nulle) et isocinétiques (test réalisé à

vitesse angulaire constante). La puissance maximale peut également être mesurée lors des tests isocinétiques. Plusieurs articulations peuvent être testées (genou, cheville, épaule).

Parmi les tests de terrain, le test le plus couramment employé consiste à déterminer la charge maximale qu'un individu est capable de déplacer lors d'une seule répétition (1RM). Ces tests sont réalisés avec du matériel de musculation facilement disponible dans le commerce. Après une séance de familiarisation, les tests de 1RM sont reconnus comme valides et reproductibles pour l'évaluation de la force musculaire, même chez les sujets non entraînés (Levinger et al. 2009).

Enfin, le dynamomètre manuel, qui mesure la force maximale de préhension, est très fréquemment utilisé dans le contexte clinique et des larges études épidémiologiques, principalement en raison de sa facilité d'utilisation. La force de préhension étant fortement corrélée avec la force des membres inférieurs (Bohannon et al. 2012), elle peut être utilisée comme un indicateur de force musculaire globale.

Tests fonctionnels

La plateforme de force est l'outil de laboratoire le plus communément utilisé pour évaluer la force et la puissance musculaire lors de mouvements pluri-articulaires comme le saut vertical. Elle permet de quantifier les forces appliquées au sol dans le plan vertical, antéro-postérieur et médio-latéral, ainsi que l'accélération, la vitesse, la puissance et le déplacement du centre de masse d'un sujet à chaque instant du saut (Cavagna 1975). Le saut vertical sur une plateforme de force est un test reproductible, même en l'absence d'une séance de familiarisation, à la fois chez des sujets jeunes et sportifs (Moir et al. 2005), d'âge moyen non sportifs (Muehlbauer et al. 2012) et chez des sujets âgées (Ditroilo et al. 2011). La validité du saut vertical a principalement été étudiée chez des sujets jeunes, sportifs confirmés ou de loisirs (**Tableau 10**). Une corrélation modérée à forte entre la hauteur du saut et la force isocinétique a été obtenue dans plusieurs études (Genuario et al. 1980, Iossifidou et al. 2005, Paasuke et al. 2001, Riera et al. 1994, Rouis et al. 2015, Tsiokanos et al. 2002, Wisloff et al. 2004). Deux études ont également montré une corrélation significative entre ces deux paramètres auprès d'autres population comme des sujets jeunes non entraînés (Paasuke et al. 2001), des sujets ayant subi une chirurgie orthopédique (reconstruction du ligament croisé antérieur) (Fischer et al. 2017), ou encore des personnes âgées (Izquierdo et al. 1999).

Tableau 10 – Corrélations entre la performance lors d'un saut vertical et la force musculaire

Référence	Population	Paramètres corrélés	Corrélation
(Genuario et al. 1980)	Sportifs confirmés	Force isocinétique (180°.s ⁻¹)	Hauteur du saut r = 0,59*
(Anderson et al. 1991)	Sportifs confirmés	Force isocinétique (180°.s ⁻¹)	Hauteur du saut NC
(Riera et al. 1994)	Sportifs confirmés	Force isocinétique (60°.s ⁻¹)	Hauteur du saut r = 0,77*
(Ostenberg et al. 1998)	Sportifs confirmés	Force isocinétique (180°.s ⁻¹)	Hauteur du saut r = 0,22*
(Izquierdo et al. 1999)	Personnes âgées	1RM (extension du genou)	Hauteur du saut r = 0,59*
(Cometti et al. 2001)	Sportifs confirmés et de loisirs	Force isocinétique (240°.s ⁻¹)	Hauteur du saut NC
(Paasuke et al. 2001)	Sportifs confirmés	Force isocinétique (60°.s ⁻¹)	Hauteur du saut r = 0,88*
	Sujets non entraînés	Force isocinétique (60°.s ⁻¹)	Hauteur du saut r = 0,70*
(Tsiokanos et al. 2002)	Sportifs de loisirs	Force isocinétique (180°.s ⁻¹)	Hauteur du saut r = 0,64*
(Wisloff et al. 2004)	Sportifs confirmés	1RM (squat)	Hauteur du saut r = 0,78*
(Iossifidou et al. 2005)	Sportifs de loisirs	Force isocinétique (300°.s ⁻¹)	Hauteur du saut r = 0,91*
(Holsgaard Larsen et al. 2007)	Personnes âgées	Force isocinétique (180°.s ⁻¹)	Puissance max. r = 0,78*
(Rouis et al. 2015)	Sportifs confirmés	Force isocinétique (240°.s ⁻¹)	Hauteur du saut r = 0,88*
(Fischer et al. 2017)	Après chirurgie orthopédique	Force isocinétique (60°.s ⁻¹)	Hauteur du saut r = 0,52*

* P < 0,05. NC = coefficient de corrélation non communiqué.

Le saut vertical sur une plateforme de force est un test facile et rapide à réaliser, qui est utilisé depuis de nombreuses années pour mesurer la force et la puissance des membres inférieurs chez les personnes âgées (De Vito et al. 1998, Rantalainen et al. 2010) et pour évaluer l'efficacité des programmes d'entraînement (Hakkinen et al. 2001). Il semble que le saut vertical sur une plateforme de force soit fortement reproductible, ce qui pourrait s'expliquer par le fait que les mouvements pluri-articulaires sont un bon reflet de la capacité physique fonctionnelle (Holsgaard Larsen et al. 2007).

1-3-4- Méthodes de mesure de la stabilité posturale et dynamique

La méthode de référence pour l'évaluation de la stabilité posturale est la plateforme de stabilométrie (Haute Autorité de Santé 2007). Munie de plusieurs capteurs de force, la plateforme permet de quantifier les caractéristiques des déplacements du centre de pression au cours du temps dans les axes antéropostérieur et médio-latéral. Lors d'un test d'équilibre orthostatique, une augmentation des oscillations posturales et donc des déplacements du centre de pression témoigne d'une plus grande instabilité posturale. Un grand nombre de variables ont été décrites dans la littérature pour caractériser les déplacements du centre de pression (Rougier 2008). Parmi les critères les plus couramment utilisés, on peut citer la position moyenne du centre de pression, la longueur, l'amplitude et la surface des déplacements du centre de pression ou encore la vitesse moyenne des déplacements. D'autres critères permettent d'analyser plus finement les causes de l'altération de la posture (Rougier

2008). La bonne reproductibilité des mesures réalisées sur une plateforme de force et sa facilité d'utilisation ont contribué à son déploiement et son utilisation courante dans les centres spécialisés dans la prise en charge des troubles de l'équilibre (Haute Autorité de Santé 2007). Des tests de terrain peuvent également être utilisés pour évaluer la stabilité posturale. Le test d'équilibre en appui unipodal est un test valide et reproductible qui est couramment utilisé dans des contextes cliniques et de recherche (Springer et al. 2007). Ils fournissent cependant moins d'informations que la plateforme de force. Les plateformes de force et les tests de terrain ont été utilisés chez des sujets obèses pour caractériser les altérations de la posture (Bollinger 2017).

Il existe plusieurs méthodes de mesure des paramètres spatio-temporels de la marche parmi lesquelles les tapis électroniques d'analyse de la marche (Menz et al. 2004). Ces tapis sont équipés de capteurs de pression qui calculent plusieurs paramètres comme la vitesse de marche, la cadence, la durée et la longueur du pas, l'orientation des pieds, ou encore le temps de simple et de double appui. La validité et la reproductibilité de ces tapis ont été montrées dans plusieurs études (Bilney et al. 2003, Menz et al. 2004, Webster et al. 2005).

2- Activité physique et prise en charge des personnes obèses

2-1- Obésité : définition et épidémiologie

L'obésité est définie comme un excès de masse grasse qui entraîne des inconvénients pour la santé (Organisation Mondiale de la Santé 2000). Son diagnostic repose actuellement sur la mesure de l'indice de masse corporelle (IMC), correspondant au rapport de la masse corporelle sur la taille² (kg.m^{-2}) (Organisation Mondiale de la Santé 2000). Les seuils de 30, 35 et 40 kg.m^{-2} ont été retenus pour définir l'obésité modérée, sévère et massive chez l'adulte.

La prévalence de l'obésité atteint des taux préoccupants dans l'ensemble des pays industrialisés (Bray et al. 2018). Selon les dernières enquêtes OBEPI (2012) et ESTEBAN (2017), respectivement 15 % et 17 % de la population adulte française souffre d'obésité (INSERM et al. 2012, Santé Publique France 2017). La prévalence de l'obésité aurait ainsi presque doublé depuis la première enquête OBEPI réalisée en 1997 (la prévalence était lors de 8,5 % de la population). La prévalence de l'obésité massive a particulièrement augmenté au

cours des dernières années, passant selon l'enquête OBEPI de 0,3 % de la population adulte en 1997 à 1,2 % en 2012. L'obésité massive concernerait davantage les femmes que les hommes : selon l'enquête ESTEBAN, la part de l'obésité massive dans l'obésité serait de 12 % chez les femmes et de 6 % chez les hommes.

À l'échelle mondiale, la prévalence de l'obésité dans la population adulte varie selon les régions (**Tableau 11**). En 2013, elle était particulièrement élevée en Afrique du Nord et au Moyen-Orient, en Amérique du Nord, en Australie et en Amérique Latine, et particulièrement faible en Afrique sub-Saharienne et en Asie de l'Est (Ng et al. 2014).

Tableau 11 – Prévalence de l'obésité en 2013 dans différentes régions du Monde

Région	Prévalence (%)		Région	Prévalence (%)	
	Femmes	Hommes		Femmes	Hommes
Afrique du Nord et Moyen Orient	33,9	20,3	Asie Centrale	22,0	12,6
Amérique du Nord	32,5	30,6	Europe de l'Ouest	21,0	20,5
Australie	29,8	27,5	Europe Centrale	20,7	18,0
Amérique Latine	28,4	16,6	Afrique sub-Saharienne	8,5	7,0
Europe de l'Est	27,0	14,8	Asie de l'Est	4,9	3,8

D'après (Ng et al. 2014)

2-2- Mécanismes physiopathologiques

2-2-1- Développement de l'obésité

De façon schématique, le gain de masse grasse définissant l'obésité résulte d'un déséquilibre entre les apports et les dépenses énergétiques qui aboutit à une accumulation de réserves énergétiques sous forme de triglycérides dans le tissu adipeux (Sorensen 2009). L'obésité est ainsi fortement dépendante de deux facteurs comportementaux, l'alimentation et l'AP. Les mécanismes physiopathologiques de l'obésité sont cependant beaucoup plus complexes. L'accumulation de tissu adipeux est en effet déterminée par l'interaction de facteurs biologiques, comportementaux et environnementaux pouvant moduler le niveau des apports énergétiques, des dépenses énergétiques ainsi que la capacité de stockage du tissu adipeux (Gonzalez-Muniesa et al. 2017).

Il est aujourd'hui admis que les facteurs génétiques déterminent une susceptibilité au développement de l'obésité, et que l'environnement et les comportements jouent un rôle dans son expression phénotypique (Gonzalez-Muniesa et al. 2017). La forme la plus fréquente

d'obésité est l'obésité « polygénique » ou « commune » qui implique plusieurs gènes ayant chacun une faible influence sur le développement de l'obésité (Mutch et al. 2006). À l'inverse, l'obésité est dite « monogénique » lorsqu'elle s'explique par une unique mutation génétique. Les obésités monogéniques sont rares et se caractérisent par une obésité extrême et précoce. Enfin, l'obésité est dite « syndromique » lorsqu'elle est associée à d'autres symptômes d'ordres endocrinien, neurosensoriel, comportemental et de développement. Le syndrome de Prader-Willi (SPW) est la forme la plus fréquente d'obésité syndromique (Clément et al. 2011).

Le terme environnement englobe ici l'environnement bâti (espace public, espaces verts urbains, habitations, commerces, infrastructures de transport...) et l'environnement social (niveau de revenu, réseaux associatifs...) (Charreire et al. 2012). Certaines caractéristiques de l'environnement favorisent l'augmentation des apports énergétiques et la réduction des dépenses énergétiques et participent ainsi au développement de l'obésité. On parle alors d'environnements « obésogènes » (Swinburn et al. 2011). L'augmentation de la disponibilité alimentaire, en particulier d'aliments peu coûteux, palatables et avec une forte densité énergétique, est l'un des principaux facteurs évoqués pour expliquer l'augmentation des apports énergétiques (Swinburn et al. 2011). Plusieurs caractéristiques de l'environnement bâti semblent favoriser l'inactivité physique : l'absence de transports en commun et d'infrastructures facilitant la marche et le vélo (trottoirs, pistes cyclables...), une faible accessibilité à des infrastructures sportives et à des espaces verts, une faible densité de destination ou encore la diminution de la densité de population (Karmeniemi et al. 2018). La perception qu'ont les personnes de leur environnement semble également très importante. Percevoir son quartier comme étant peu sécurisé et peu agréable a, par exemple, été associé à un moindre niveau d'AP (Karmeniemi et al. 2018).

2-2-2- Complications cardiométaboliques associées à l'obésité

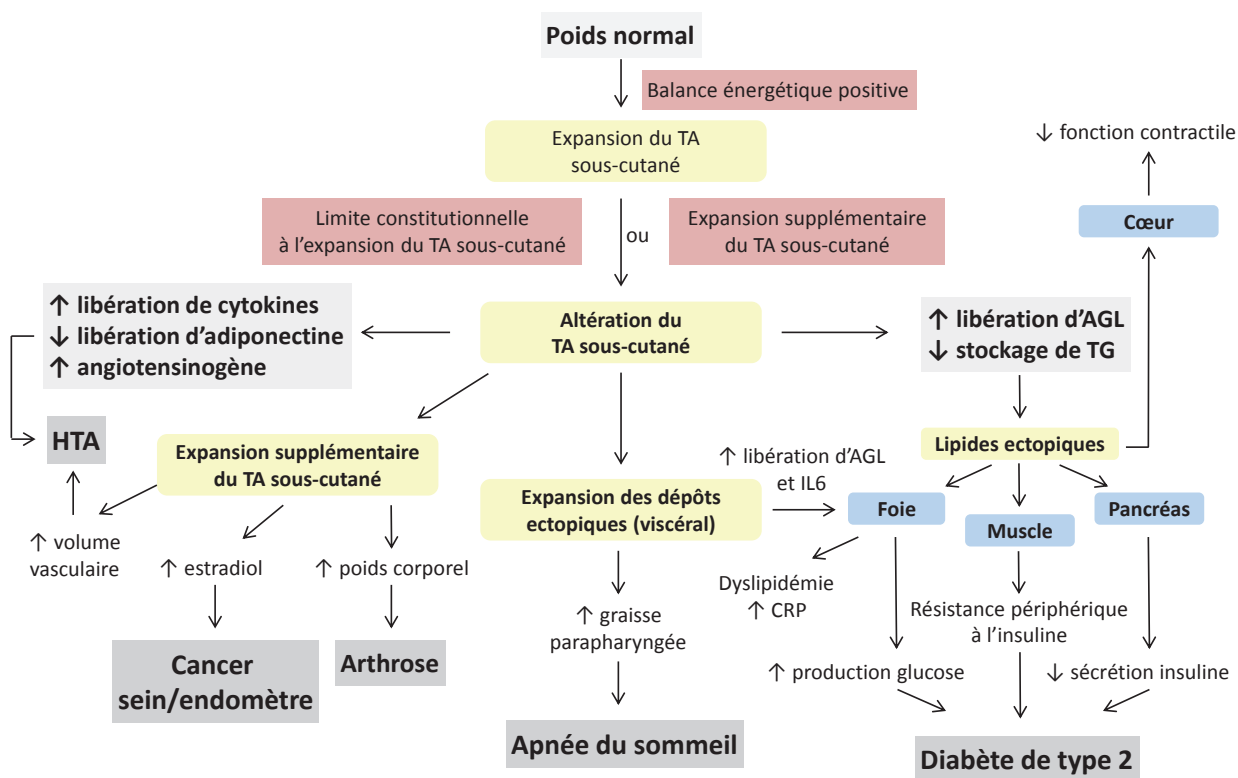
L'obésité expose à un risque augmenté de maladies cardiométaboliques (diabète de type 2, hypertension artérielle, dyslipidémies, maladie coronarienne, insuffisance cardiaque, accidents vasculaires cérébraux, stéatose hépatique) ainsi qu'à un risque augmenté de certaines maladies respiratoires comme le syndrome d'apnée du sommeil, et de certains cancers (cancer du côlon, du sein et de l'endomètre) (**Tableau 12**) (Heymsfield et al. 2017).

Tableau 12 – Risque relatif de maladies cardiométaboliques associé à l'obésité

Pathologie	Risque relatif	
	Hommes	Femmes
Diabète de type 2	6,74 (5,55 ; 8,19)	12,41 (9,03 ; 17,06)
Hypertension artérielle	1,84 (1,51 ; 2,24)	2,42 (1,59 ; 3,67)
LDL-cholestérol élevé	1,39 (0,95 ; 2,05)	2,12 (1,40 ; 3,21)
HDL-cholestérol bas	2,28 (1,84 ; 2,82)	1,78 (1,35 ; 2,35)
Hypertriglycéridémie	3,11 (2,40 ; 4,03)	2,76 (2,13 ; 3,57)
Cardiopathie ischémique	1,81 (1,45 ; 2,25)	1,78 (1,07 ; 2,95)
Insuffisance cardiaque	1,79 (1,24 ; 2,59)	1,78 (1,07 ; 2,95)
Accident vasculaire cérébral	1,51 (1,33 ; 1,72)	1,49 (1,27 ; 1,74)

D'après (Guh et al. 2009, Janssen et al. 2004). Les données sont des odds-ratios (IC 95 %).

Les altérations du tissu adipeux observées chez les personnes obèses jouent un rôle important dans le développement de nombreuses complications de l'obésité (**Figure 3**) (Bray et al. 2018). Une limitation de la capacité de stockage du tissu adipeux sous-cutané conduit à des dépôts ectopiques de tissu adipeux, dans des tissus qui ne sont pas classiquement associés au stockage de lipides (tissu adipeux viscéral, foie, muscle squelettique). La répartition anatomique de l'excès de graisse joue un rôle déterminant dans la survenue des complications cardiométaboliques de l'obésité. L'augmentation du tissu adipeux viscéral est ainsi un meilleur prédicteur de complications que l'IMC ou masse grasse totale. Les autres altérations du tissu adipeux sont une libération excessive d'acides gras libres (entraînant des dépôts ectopiques de tissu adipeux) et des anomalies de la fonction hormonale qui se caractérisent par une production anormale de cytokines pro-inflammatoires, d'adiponectine (adipokine ayant une action anti-inflammatoire, anti-athérogène et insulino-sensibilisante) et d'angiotensinogène (hormone impliquée dans la régulation de la pression artérielle).



D'après (Bray et al. 2018). AGL : acides gras libres. HTA : hypertension artérielle. TA : tissu adipeux

Figure 3 – Modèle présentant les mécanismes intermédiaires du développement des complications de l'obésité

Diabète de type 2

Les trois principaux organes impliqués dans le développement du diabète de type 2 sont les muscles squelettiques, le foie et le pancréas. La libération excessive d'acides gras libres par le tissu adipeux en situation d'obésité et les dépôts intramusculaires de triglycérides sont responsables d'une résistance à l'insuline des muscles squelettiques et donc d'un défaut de transport du glucose. L'accumulation de lipides au niveau du foie est également responsable d'une résistance hépatique à l'insuline entraînant une augmentation de la production hépatique de glucose, une augmentation des acides gras libres circulants et un état inflammatoire de bas-grade. La moindre captation de glucose par les muscles squelettiques et l'augmentation de la production hépatique de glucose concourent ainsi à une augmentation de la glycémie, ce qui entraîne une augmentation de la production d'insuline par des cellules β du pancréas. La sensibilité au glucose des cellules β diminue cependant avec le temps, ce qui mène à une intolérance au glucose puis au diabète de type 2 (Bray et al. 2018, Hartemann et al. 2011).

En France, on estime qu'environ 12 % des personnes obèses sont diabétiques de type 2 (Emery et al. 2007) et que 80 % des personnes diabétiques de type 2 sont en surpoids ou

obèses. La proportion de personnes obèses présentant une insulino-résistance atteindrait 30 % chez les personnes présentant une obésité modérée et 60 % chez les personnes présentant une obésité sévère ou massive (Ferrannini et al. 1997).

Infarctus du myocarde

L'augmentation du risque d'infarctus du myocarde chez les sujets obèses s'explique en partie par l'augmentation de la prévalence des facteurs de risque cardiovasculaires (diabète, HTA, dyslipidémie) (Flint et al. 2010). Le rôle du tissu adipeux viscéral a été largement documenté. L'augmentation du tour de taille est associée à une augmentation du risque d'infarctus du myocarde, indépendamment de l'IMC (Canoy 2010). D'autres facteurs associés à l'obésité pourraient également intervenir, en particulier les médiateurs de l'inflammation et les adipokines, ainsi que les conséquences du syndrome d'apnée du sommeil (Oppert et al. 2011).

Insuffisance cardiaque

L'obésité favorise la survenue d'une insuffisance cardiaque mais, une fois celle-ci constituée, elle agit comme un facteur protecteur (Bray et al. 2018). Les patients insuffisants cardiaques et obèses ont en effet un meilleur pronostic en termes de survie que les patients insuffisants cardiaques non obèses (Lavie et al. 2016). Cette situation est nommée « paradoxe de l'obésité ». Il est intéressant de noter que pour un même IMC, l'augmentation du pourcentage de masse grasse augmente le risque de mortalité chez les patients insuffisants cardiaques (Padwal et al. 2016). L'obésité définie par l'IMC est ainsi un facteur protecteur chez les patients insuffisants cardiaques, tandis que le pourcentage de masse grasse est un facteur aggravant. Le rôle protecteur de l'IMC pourrait ainsi être attribué à une masse maigre plus élevée (Padwal et al. 2016).

Hypertension artérielle

L'obésité augmente le risque d'HTA, indépendamment de la présence d'autres facteurs de risque comme l'âge, la consommation d'alcool, le tabagisme et les apports alimentaires en sodium (Dyer et al. 1989). Indépendamment de l'IMC, l'augmentation de la graisse abdominale est associée à une élévation de la pression artérielle et de l'incidence de l'HTA (Girerd et al. 2011). L'insulino-résistance liée à l'augmentation de la graisse abdominale est impliquée dans l'augmentation de la pression artérielle. Des anomalies de la fonction hormonale des adipocytes sont également impliquées : la sécrétion d'angiotensinogène, puissant vasoconstricteur, est augmentée ; tandis que la sécrétion d'adiponectine,

néativement corrélée au niveau de pression artérielle, est diminuée (Bray et al. 2018). Les adipocytes jouent donc un rôle important dans la genèse de l'HTA chez le sujet obèse.

Syndrome d'apnée du sommeil

Le syndrome d'apnée du sommeil (SAS) représente la principale complication respiratoire de l'obésité. On estime que 50 % des patients obèses présentent un SAS (Drager et al. 2013). Les deux principaux mécanismes impliqués dans l'apparition du SAS chez les sujets obèses sont la surcharge mécanique imposée par l'accumulation de graisse sur la cage thoracique, la plèvre et le diaphragme, et le rétrécissement pharyngé dû à des dépôts lipidiques (Gonzalez-Bermejo et al. 2011). Indépendamment de l'IMC, le SAS aggrave le risque d'HTA, de diabète de type 2 et de maladies cardiovasculaire (Bray et al. 2018).

Atteintes hépatiques

La stéatose hépatique se caractérise par une accumulation intra-hépatique de graisses. Elle peut s'aggraver et s'accompagner d'une inflammation et d'une atteinte hépatocytaire (stéatohépatite), et parfois progresser vers une fibrose puis une cirrhose. La prévalence de la stéatohépatite atteindrait 49 % chez les patients présentant une obésité massive (de Ledinghen et al. 2006). Indépendamment de l'IMC ou de l'augmentation de graisse viscérale, la stéatose est fortement associée à l'insulinorésistance et semble précéder la survenue du diabète de type 2, l'HTA ou les dyslipidémies (Adams et al. 2005). Elle constitue donc un facteur de risque supplémentaire dans la survenue des complications cardiométaboliques de l'obésité (Ratziu et al. 2011).

Diminution de la capacité cardiorespiratoire

La capacité cardiorespiratoire est diminuée chez les sujets obèses, ce qui semble s'expliquer par une altération à la fois de la fonction cardiorespiratoire et de la fonction musculaire (Arena et al. 2014). Le débit cardiaque maximal est réduit, principalement en raison d'une hypertrophie et d'une dysfonction diastolique du ventricule gauche (Sasson et al. 1996). Le débit ventilatoire maximal est également diminué, ce qui s'explique par les contraintes mécaniques imposées par l'excès de tissu adipeux, notamment lorsqu'il est localisé au niveau abdominal (Li et al. 2001). Des facteurs périphériques sont également impliqués : une dysfonction endothéliale réduisant la vasodilatation périphérique a été décrite chez les sujets obèses, ainsi qu'une diminution de la capacité oxydative mitochondriale (Ong et al. 2012, Ritov et al. 2005). Ces altérations périphériques pourraient être liées à l'inflammation associée

à l'obésité (Arena et al. 2014). À ces différentes altérations s'ajoute la moindre efficacité mécanique liée à la surcharge pondérale.

L'augmentation de la masse musculaire chez les sujets obèses permet de compenser en partie l'altération de la fonction musculaire. Le $\dot{V}O_2\text{max}$ absolu (exprimé en $\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$) est ainsi similaire chez des sujets obèses ou de poids normal (Arena et al. 2014). En revanche, exprimé de façon relative à la masse corporelle, le $\dot{V}O_2\text{max}$ est fortement diminué chez les sujets obèses (Fogelholm et al. 2006).

2-2-3- Effets de l'obésité sur l'appareil locomoteur

L'obésité entraîne des modifications importantes de la masse et de la structure des muscles squelettiques, elles-mêmes responsables d'altérations de la fonction musculaire et de la biomécanique du mouvement. Ces altérations se traduisent par une limitation de la capacité physique fonctionnelle, par un risque augmenté de pathologies ostéo-articulaires, notamment d'arthrose, et par une diminution de l'AP (Bollinger 2017). L'ensemble de ces modifications ont été synthétisées dans des revues de la littérature dont nous présenterons ci-dessous les principaux résultats (Bollinger 2017, Hills et al. 2002, Runhaar et al. 2011, Tomlinson et al. 2016, Wearing et al. 2006a). Les résultats sont également résumés dans le **Tableau 13**.

- **Effets de l'obésité sur les muscles squelettiques**

Masse musculaire

L'obésité est associée à une augmentation de la masse musculaire, quelle que soit la méthode de mesure employée (Bollinger 2017) : masse maigre mesurée par impédancemétrie bioélectrique (Hulens et al. 2001, Lafortuna et al. 2005), volume musculaire mesuré par échographie (Garcia-Vicencio et al. 2016, Tomlinson et al. 2014c), et taille des fibres musculaires déterminée par l'obtention de biopsies musculaires (Gavin et al. 2005). La relation entre la masse musculaire totale et la masse corporelle est curvilinéaire : la masse musculaire augmente avec l'augmentation de la masse corporelle mais plus la masse corporelle est élevée, moins l'augmentation de la masse musculaire est importante (Janssen et al. 2000). Ainsi, le pourcentage de masse musculaire diminue avec l'augmentation de la masse corporelle.

Il est aujourd'hui admis que la surcharge mécanique imposée aux muscles squelettiques par l'augmentation de la masse corporelle serait responsable de l'augmentation de la masse musculaire chez les sujets obèses (Bollinger 2017, Tomlinson et al. 2016). Il semble que l'augmentation de la masse musculaire concernerait principalement les muscles antigravitaires, davantage soumis à la surcharge mécanique lors de l'AP (Bollinger 2017). En effet, une relation significative a été observée entre l'IMC et la masse musculaire des membres inférieurs mais pas des membres supérieurs (Seidell et al. 1989). Les études concordent pour mettre en évidence une augmentation de la masse des quadriceps et gastrocnemius, muscles antigravitaires des membres inférieurs (Choi et al. 2016, Tomlinson et al. 2014a). Certaines études ont tout de même également rapporté une augmentation de la masse des muscles des membres supérieurs chez les sujets obèses (Pescatello et al. 2007, Rolland et al. 2004).

Tableau 13 – Adaptations des muscles squelettiques et de leur fonction chez les sujets obèses

Paramètre de la fonction musculaire		Adaptations à l'obésité	Amplitude de l'effet
Masse musculaire	Totale	↑	12 à 50 %
	Taille des fibres	↑	20 %
Architecture	Angle de pennation	↑	24 %
Type de fibres	Type I	↑	35 %
	Type II	↑	75 %
Force	Absolue	↑	10 à 30 %
	Relative	↓	6 à 43 %
	Spécifique	↓	24 à 40 %
Puissance	Absolue	↑	10 à 32 %
	Relative	↓	18 à 32 %
Fatigue	Contraction volontaire	↑	25 %
	Stimulation électrique	↔	/
Activation neurale	Agonistes EMG	↓	10 %
	Co-activation agonistes/antagonistes	↔	/
Stabilité posturale	Déplacements du CP axe A-P	↑	55 %
	Déplacements du CP axe M-L	↑ ou ↔	/
	Excursion antérieure maximale	↑	37 %
Paramètres de la marche	Vitesse spontanée	↓	12 à 33 %
	Cadence	↓ ou ↔	/
	Longueur du cycle	↓	8 à 25 %
	Largeur du pas	↑	8 %
	Temps d'oscillation	↓	5 %
	Temps d'appui	↑	3 à 7 %
	Temps de double appui	↑	15 à 20 %

D'après (Bollinger 2017, Hills et al. 2002, Runhaar et al. 2011, Tomlinson et al. 2016, Wearing et al. 2006a). CP = centre de pression, AP = antéro-postérieur, ML = médio-latéral.

Architecture musculaire

L'obésité semble également agir sur l'architecture musculaire, en augmentant l'angle de pennation (angle formé entre les fibres musculaires et l'axe longitudinal du muscle) (Garcia-Vicencio et al. 2016, Seidell et al. 1989, Tomlinson et al. 2014b). Deux hypothèses ont été proposées (Bollinger 2017). Premièrement, l'augmentation de l'angle de pennation étant une conséquence bien connue de l'entraînement de renforcement musculaire, il est possible que la surcharge mécanique exercée par l'augmentation de la masse grasse agisse comme un stimulus d'entraînement et augmente l'angle de pennation. Deuxièmement, il semble exister une relation positive entre la présence de lipides intramusculaires et l'angle de pennation (Vermathen et al. 2004), ce qui suggère que l'augmentation de l'angle de pennation chez les sujets obèses pourrait être due à une accumulation de tissu non-contractile comme les dépôts lipidiques (Bollinger 2017).

Expression des protéines du sarcomère

L'obésité modifie l'expression des chaînes lourdes de myosine (Bollinger 2017) : la proportion de fibres de type IIx/IIb est augmentée au détriment des fibres de type I chez les sujets obèses (Tanner et al. 2002). L'inactivité physique entraînant elle-même une diminution de la proportion de fibres I, il est difficile de distinguer l'effet propre de l'obésité et de l'inactivité physique dans l'expression des chaînes lourdes de la myosine (Bollinger 2017). L'obésité modifie également l'expression de protéines non-contractiles comme l' α -actinine et la desmine (Hwang et al. 2010), impliquées dans l'architecture du sarcomère et la transmission de force.

• **Effets de l'obésité sur la fonction musculaire**

La force musculaire absolue est augmentée chez les sujets obèses de l'ordre de 10 à 30 % selon les études et les muscles évalués. Cette augmentation est directement liée à l'augmentation de la masse musculaire (Bollinger 2017, Tomlinson et al. 2016, Wearing et al. 2006a). L'ensemble des études s'accordent sur une augmentation de la force des muscles antigravitaires, tandis que les résultats sont plus contradictoires pour la force des muscles non antigravitaires, qui se trouve soit augmentée soit équivalente chez les sujets obèses (Bollinger 2017, Tomlinson et al. 2016). La force musculaire relative à la masse corporelle, reflet important de la capacité à se déplacer, est diminuée chez les sujets obèses, d'environ 20 à 30 % pour les extenseurs du genou (Bollinger 2017, Tomlinson et al. 2016). Des études rapportent également une diminution de la force spécifique (relative à la masse maigre ou à la

masse musculaire) chez les sujets obèses (Choi et al. 2016, Hulens et al. 2001, Rahemi et al. 2015, Tomlinson et al. 2014a), qui semble liée à la fois à une altération intrinsèque du muscle (accumulation de lipides intramusculaires, diminution de l'expression de protéines contractiles et non contractiles, diminution de la sensibilité au calcium) et à une altération de la commande motrice (diminution du recrutement des unités motrices) (Bollinger 2017, Wearing et al. 2006a). La diminution du recrutement des unités motrices a été associée, entre autres facteurs, à l'inactivité physique (Wadstrom et al. 1991). Elle pourrait ainsi être une conséquence de l'obésité elle-même et/ou de l'inactivité physique (Wearing et al. 2006a).

La puissance musculaire, définie comme le produit de la force et de la vitesse de contraction, est augmentée chez les sujets obèses lorsqu'elle est exprimée en termes absolus, mais diminuée lorsqu'elle est exprimée en termes relatifs à la masse corporelle et à la masse maigre (Bollinger 2017). Des résultats comparables ont été observés à l'échelle des fibres musculaires : une diminution de la vitesse de raccourcissement et de la puissance des fibres de type I (mais pas de type II) a été observée chez les sujets obèses (Choi et al. 2016).

Enfin, une augmentation de la fatigue musculaire, définie ici comme la capacité à maintenir une certaine intensité de contraction musculaire, a été observée chez les sujets obèses (Maffiuletti et al. 2007). La fatigue peut être attribuée à la diminution de la proportion de fibres I mais pourrait aussi avoir une origine centrale (Maffiuletti et al. 2007).

La stabilité posturale est diminuée chez les sujets obèses. Plusieurs études ont en effet montré une augmentation des déplacements du centre de pression lors d'un test d'équilibre statique réalisé les yeux ouverts ou les yeux fermés sur une plateforme de force (Bollinger 2017, Capodaglio et al. 2012, Teasdale et al. 2013, Wearing et al. 2006a). L'altération de la stabilité posturale semble directement liée à l'augmentation de la masse corporelle. Une relation linéaire a en effet été décrite entre la masse et la vitesse de déplacement du centre de pression (Hue et al. 2007). La masse corporelle expliquerait à elle seule 55 % de la variance de la vitesse de déplacement du centre de pression, les autres facteurs explicatifs étant l'âge et dans une moindre mesure, la taille et la longueur des pieds (Hue et al. 2007). La composition corporelle semble en revanche avoir peu d'impact sur la stabilité posturale, qui est altérée dans les mêmes proportions chez des sujets obèses que chez des sujets sportifs définis comme étant obèses selon leur IMC, mais ayant une masse maigre élevée (Handrigan et al. 2012). La stabilité posturale est également altérée chez les sujets obèses lors de tests d'équilibre

dynamique. Lors d'un test de pointage (consistant à atteindre une cible avec le doigt), par exemple, les déplacements du centre de pression sont augmentés chez les sujets obèses tandis que la précision du mouvement est réduite (Berrigan et al. 2006). Les capacités d'excursion maximale sont également diminuées (Blaszczyk et al. 2009, Colne et al. 2008).

Deux hypothèses ont été proposées pour expliquer la diminution de la stabilité posturale chez les sujets obèses (Capodaglio et al. 2012) : premièrement, la perte de sensibilité plantaire en raison de la sur-activation chronique des mécanorécepteurs plantaires (de l'ordre de 40 % en position debout) (Gravante et al. 2003, Hills et al. 2001) ; deuxièmement, la contrainte mécanique imposée par le déplacement vers l'avant du centre de gravité (Hue et al. 2007). La répartition androïde ou gynoïde du tissu adipeux semble par ailleurs un facteur important à prendre en compte. En effet, si la stabilité posturale est altérée dans l'axe antéro-postérieur chez les hommes et chez les femmes, elle ne semble altérée dans l'axe médio-latéral que chez les hommes (Menegoni et al. 2009). La répartition abdominale du tissu adipeux, ajoutée à une masse corporelle supérieure, pourrait expliquer que l'altération de la stabilité dans l'axe médio-latéral ne soit observée que chez les hommes (Capodaglio et al. 2012).

La stabilité dynamique, caractérisée par les paramètres spatiotemporels de la marche, est altérée chez les sujets obèses (Bollinger 2017, Hills et al. 2002, Runhaar et al. 2011, Wearing et al. 2006a). La vitesse de marche et la longueur du pas sont diminuées, et l'écartement des pieds augmenté (Runhaar et al. 2011). L'effet de l'obésité sur la cadence (nombre de pas par minute) est moins bien établi, certaines études observant une diminution de la cadence (Lai et al. 2008, Vismara et al. 2007) et d'autres ne montrant pas de différence (Spyropoulos et al. 1991). La marche se caractérise également chez les sujets obèses par une augmentation des déplacements médio-latéraux du centre de masse et par une augmentation de la durée de la phase d'appui et de la phase de double appui (Blaszczyk et al. 2011, McGraw et al. 2000, Meng et al. 2017, Runhaar et al. 2011). La diminution de la vitesse, l'augmentation de la phase de double appui et l'augmentation de l'écartement des pieds sont caractéristiques des sujets instables, et peuvent être considérées chez les sujets obèses comme des mécanismes d'adaptation pour maintenir la stabilité dynamique (Hills et al. 2002, Wearing et al. 2006a). Ces adaptations s'accompagnent en contrepartie d'une augmentation du coût énergétique de la marche (Wearing et al. 2006a).

Des auteurs ont suggéré que la diminution de la longueur du pas et l'augmentation de la durée de la phase d'appui pourraient augmenter le travail des extenseurs du genou et diminuer celui

des fléchisseurs (Bollinger 2017). Cette hypothèse semble confirmée par les résultats d'une étude analysant conjointement les paramètres spatiotemporels de la marche et l'activation musculaire par électromyographie (EMG) de surface, qui ont montré une prolongation de l'activation des quadriceps lors de la phase d'appui, et une diminution de l'activation des ischio-jambiers (Amiri et al. 2015). Des modifications des angles articulaires et des moments de force ont été documentées lors de la marche chez les sujets obèses : l'extension de hanche, de genou et de cheville semble augmentée, ainsi que les moments de force en extension et en flexion de hanche et de genou (Bollinger 2017, Hills et al. 2002, Wearing et al. 2006a).

- **Atteintes ostéo-articulaires**

L'obésité augmente le risque d'arthrose et sa sévérité. Les principales articulations concernées sont le genou et dans une moindre mesure la cheville et la hanche, ainsi que certaines articulations des membres supérieurs (arthrose digitale) (Dahaghin et al. 2007, Lementowski et al. 2008). Plusieurs facteurs mécaniques sont impliqués dans le développement de l'arthrose des membres inférieurs chez les sujets obèses (Anandacoomarasamy et al. 2008, Bliddal et al. 2014, Runhaar et al. 2011, Wearing et al. 2006b) : la contrainte mécanique imposée par la surcharge pondérale, la diminution de la force musculaire relative et les modifications biomécaniques observées lors de la marche, notamment l'augmentation des moments de force exercés sur le genou. Une relation linéaire a en effet été décrite entre la masse corporelle et le risque d'arthrose (Lementowski et al. 2008), et une faible force musculaire est un facteur de risque avéré d'arthrose (Slemenda et al. 1997). Ces aspects mécaniques ne permettent cependant pas d'expliquer l'arthrose des membres supérieurs (Lementowski et al. 2008). Le rôle des facteurs systémiques circulants dans la dégradation du cartilage, comme la libération par le tissu adipeux de cytokines pro-inflammatoires et d'adipokines (comme la leptine et l'adiponectine), est de plus en plus mis en avant (de Gennes 2011).

- **Limitations de la capacité physique fonctionnelle**

Les altérations de la fonction musculaire décrites ci-dessus se traduisent par une limitation de la capacité physique fonctionnelle, définie comme la capacité à réaliser les activités du quotidien (Garber et al. 2011). Cette limitation a été mise en évidence au travers de différents tests de terrain comme le test de marche de 6 minutes (Correia de Faria Santarem et al. 2015, Hulens et al. 2003), les tests de montée de marche (« *step test* ») (Carvalho et al. 2015), de lever de chaise (tests « *sit-to-stand* ») ou des tests associant lever de chaise et marche (test « *timed-up-and-go* ») (Barbat-Artigas et al. 2014), ainsi qu'au travers de données déclaratives comme les questionnaires de qualité de vie (Baillot et al. 2015). La performance lors d'un test de marche de 6 minutes ou d'un *step test* de 6 minutes est réduite d'environ 20 à 25 % chez les sujets obèses (Carvalho et al. 2015, Hulens et al. 2003). Les principaux prédicteurs de la capacité physique fonctionnelle sont l'IMC, la masse maigre, la force ou la puissance musculaire, le $\dot{V}O_2\text{max}$, et le niveau d'AP (Carvalho et al. 2015, Correia de Faria Santarem et al. 2015, Hulens et al. 2003).

- **Diminution de l'AP habituelle**

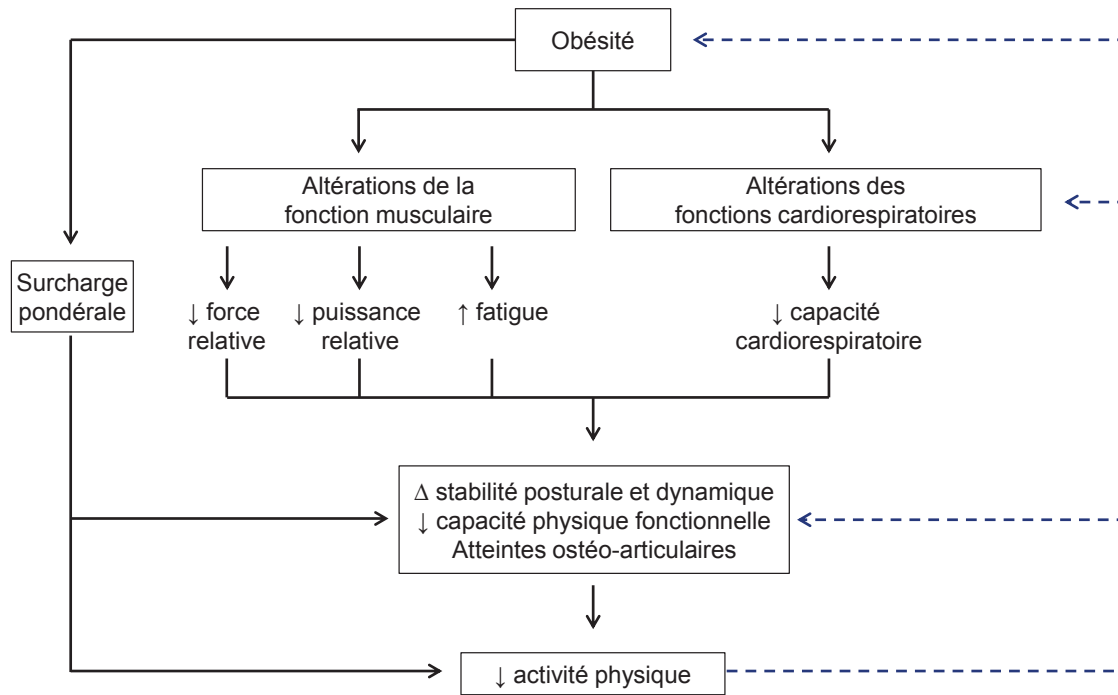
Plusieurs études réalisées à grande échelle utilisant des méthodes de mesure objectives (accéléromètres) ont observé un niveau d'AP plus faible chez les personnes obèses comparativement aux personnes de poids normaux. Aux États-Unis, les données issues de la cohorte NHANES (National Health and Nutrition Examination Study), obtenues auprès de 6 500 adultes, ont montré chez les personnes obèses une diminution de 20 % du nombre de pas par jour (soit environ 1 500 pas.jour⁻¹) et de 35 % de la durée de l'AP d'intensité modérée à élevée (soit environ 15 minutes.jour⁻¹) (Tudor-Locke et al. 2010). Dans cette étude, près de 90 % des personnes obèses marchaient moins de 5 000 pas par jour, par comparaison avec environ 55 % chez des personnes de poids normal (Tudor-Locke et al. 2010). Des résultats comparables ont été obtenus en Europe (Hagstromer et al. 2010, Hansen et al. 2013, Kim et al. 2017a). Au Royaume Uni par exemple, l'étude UK Biobank a permis de recueillir des données objectives d'AP par accélérométrie chez plus de 90 000 sujets adultes. Chez les personnes ayant une obésité modérée et sévère, le volume total d'AP était diminué de respectivement 14 % et 21 % ; et l'AP d'intensité modérée à élevée de 24 % et 38 % (Kim et al. 2017a). Le temps sédentaire est également augmenté chez les personnes obèses (Diaz et al. 2017, Hansen et al. 2013).

2-2-4- Rôle de l'activité physique habituelle dans le développement des complications de l'obésité et dans l'altération des fonctions cardiorespiratoire et musculaire

Le rôle protecteur de l'AP observé dans la population générale est retrouvé chez les sujets obèses (Myers et al. 2015). La pratique de 150 minutes par semaine d'AP de loisir atténuerait le risque de mortalité prématurée associée à l'obésité, l'espérance de vie étant réduite de 5 ans chez les sujets obèses inactifs, mais seulement de 1,6 ans chez les sujets obèses actifs (Moore et al. 2012). Maintenir une bonne capacité cardiorespiratoire réduirait également le risque de mortalité prématurée associée à l'obésité, augmenté de 246 % chez les sujets obèses ayant une faible capacité cardiorespiratoire, mais seulement de 21 % chez les sujets obèses ayant une bonne capacité cardiorespiratoire (Barry et al. 2014). Des auteurs ont même suggéré que les bénéfices associés à une bonne capacité physique seraient supérieurs aux risques associés à l'obésité (Myers et al. 2015). Cette question, connue sous le terme « *fitness versus fatness* », est cependant encore discutée. Enfin, une faible force musculaire augmente le risque de mortalité toute-cause pour toutes les catégories d'IMC, aussi bien chez les adultes (50-69 ans) que chez les personnes âgées (≥ 70 ans) (Kim et al. 2017b, Stenholm et al. 2014).

Si l'entraînement a des effets bénéfiques bien démontrés sur la fonction musculaire, la capacité cardiorespiratoire et la capacité physique fonctionnelle (Physical activity Guidelines Advisory Committee 2008), l'effet de l'AP habituelle est moins bien établi. Chez des sujets obèses, l'AP habituelle a été associée à une augmentation de la force musculaire, du $\dot{V}O_2\text{max}$ et de la capacité physique fonctionnelle (Baillot et al. 2015, Fogelholm et al. 2006, Hulens et al. 2003, Rioux et al. 2016). Les études sont cependant peu nombreuses, transversales, les données d'AP le plus souvent déclaratives, et l'effet de l'AP sur la stabilité posturale et dynamique n'a pas été exploré chez les sujets obèses.

Le rôle propre de l'AP dans le développement des altérations de la fonction musculaire et cardiorespiratoire chez les sujets obèses est ainsi difficile à établir (Bollinger 2017). L'inactivité physique peut en effet être une conséquence de l'altération de la capacité physique fonctionnelle et des atteintes ostéo-articulaires, mais elle peut aussi contribuer à leur survenue (**Figure 4**). Il apparaît ainsi nécessaire de mieux définir le rôle de l'AP, dans ses différentes dimensions, sur l'évolution de la capacité cardiorespiratoire et de la fonction musculaire chez les sujets obèses.



D'après (Bollinger 2017)

Figure 4 – Effet potentiel des altérations des fonctions musculaires et cardiorespiratoires, rôle potentiel de l'AP

2-3- Place de l'activité physique dans la prise en charge des personnes obèses

2-3-1- Principes généraux de la prise en charge des personnes obèses

La prise en charge de l'obésité s'appuie sur différents moyens thérapeutiques (comportementaux, médicaux et chirurgicaux). L'approche comportementale est mise en place en première intention dans la majorité des cas. Elle s'appuie sur des conseils nutritionnels et d'AP et sur une prise en charge psychologique. Si les modifications du mode de vie constituent un pilier de la prise en charge de l'obésité, le recours à des traitements médicamenteux est parfois nécessaire, notamment pour le traitement des comorbidités. Enfin, en cas d'obésité massive et multicompliquée et en l'absence de contre-indication, la chirurgie bariatrique peut être indiquée. La stratégie thérapeutique est déterminée en fonction de nombreux facteurs tels que la sévérité de l'obésité, le stade évolutif, la présence de comorbidités, les possibilités individuelles, les traitements déjà initiés ou encore la prédiction de l'apparition ou de l'aggravation des comorbidités (Poitou-Bernert 2011).

Les conseils d'AP pour les patients obèses s'appuient sur les recommandations d'AP pour la population générale (ANSES 2016, Organisation Mondiale de la Santé 2008, Physical activity

Guidelines Advisory Committee 2008). Les recommandations pour la prise en charge de l'obésité (Garvey et al. 2016, Jensen et al. 2014) sont ainsi :

- d'augmenter progressivement la durée de l'AP jusqu'à atteindre un minimum de 150 minutes par semaine d'AP d'endurance d'intensité physique modérée ; il est précisé que l'AP peut être accumulée en sessions d'au moins 10 minutes, et peut être pratiquée dans les différents contextes de la vie quotidienne,
- de pratiquer deux à trois sessions par semaine de renforcement musculaire impliquant les grands groupes musculaires,
- de réduire le temps sédentaire et d'augmenter le nombre de coupures dans la sédentarité,
- il est précisé que la prescription d'AP devrait être individualisée, en prenant en compte les préférences du patient, sa capacité physique et les éventuelles limitations physiques ; l'implication d'un professionnel de l'AP devrait être considérée pour individualiser la prescription et augmenter les bénéfices.

Des recommandations spécifiques ont été proposées pour la prévention de la reprise de poids (Jensen et al. 2014). La durée recommandée d'AP d'endurance d'intensité modérée est alors de 200 à 300 minutes par semaine.

En pratique, les conseils d'AP peuvent porter sur une augmentation de l'AP habituelle et/ou sur la participation à des programmes d'entraînement. Comme nous l'avons évoqué précédemment, l'efficacité des programmes d'AP peut varier selon les caractéristiques du programme, selon le paramètre d'intérêt, mais également selon les participants. Le principe de spécificité de l'entraînement impose d'adapter le conseil d'AP à l'objectif thérapeutique. Parmi les défis actuels, on peut citer la nécessité de déterminer quel type de bénéfice (par exemple, l'augmentation du $\dot{V}O_2\text{max}$ ou de la force musculaire) apparaît comme le plus important chez les sujets obèses ; de prédire l'efficacité des interventions selon le profil initial des patients ; et d'identifier les patients susceptibles de bénéficier le plus des conseils d'AP.

Cette démarche s'inscrit dans une stratégie plus générale de prise en charge personnalisée des patients présentant une maladie cardiométabolique. L'identification de phénotypes cliniques constitue pour cela une étape importante. L'évaluation systématique de certains paramètres biologiques (statut métabolique, statut inflammatoire...), de composition corporelle (taux de masse grasse, répartition de la masse grasse, quantité de masse maigre) ou d'imagerie (présence de tissu adipeux ectopique...) peuvent permettre de décrire des phénotypes

cliniques différenciés. On peut citer par exemple un phénotype associant une insulino-résistance, un excès de tissu adipeux viscéral et une diminution de la masse maigre, exposant à un risque élevé complications métaboliques ; ou encore un phénotype associant un âge avancé et une diminution de la masse et de la fonction musculaire (obésité sarcopénique), exposant à un risque augmenté de fragilité et de handicap (Barazzoni et al. 2018, Gonzalez-Muniesa et al. 2017). Des algorithmes prédictifs ont également été identifiés, comme par exemple celui permettant de prédire la rémission du diabète de type 2 après une chirurgie bariatrique (Aron-Wisniewsky et al. 2017).

En ce qui concerne l'AP, des avancées ont été faites dans ce sens récemment. Des travaux ont par exemple mis en évidence que l'AP était fortement associée au risque de mortalité et de maladies cardiovasculaires chez les sujets ayant une faible capacité cardiorespiratoire ou une faible force musculaire (Celis-Morales et al. 2017). Par ailleurs, des analyses secondaires de l'étude DPP ont montré une relation inverse entre le niveau initial d'AP et la diminution du risque de diabète de type 2 (Hamman et al. 2006). Ces données suggèrent que les sujets initialement les moins actifs ou ayant la plus faible capacité physique pourraient bénéficier davantage d'une intervention d'AP, et que chez les sujets déjà actifs, une augmentation plus importante du niveau d'AP pourrait être nécessaire pour obtenir un même bénéfice de santé.

2-3-2- Phénotypage de l'activité physique et de la capacité physique chez les personnes obèses

Une mesure plus systématique et standardisée des différentes dimensions de l'AP et de la capacité physique apparaît donc essentielle pour proposer une prise en charge plus personnalisée. Ces mesures pourraient également aider à mieux définir les paramètres de l'AP habituelle les plus fortement associés au risque d'aggravation de l'obésité ou d'efficacité des traitements (Yanovski et al. 2018).

Des sociétés savantes ont plaidé pour que l'AP et la capacité physique soient évaluées de façon plus systématique (Golightly et al. 2017, Kaminsky et al. 2013). Cela implique de définir les méthodes de mesure les mieux adaptées, et de définir les principales variables d'intérêt. Aux États-Unis et au Royaume-Uni, plusieurs outils ont été développés pour la pratique clinique courante dans le but d'obtenir de façon simple et rapide une estimation de

l'AP qui pourrait être incluse dans les signes vitaux ou généraux comme la mesure de la température corporelle, de la pression artérielle ou de la fréquence cardiaque (Golightly et al. 2017). Ces outils déclaratifs, comme par exemple le « Exercise Vital Sign » (Coleman et al. 2012) se concentrent pour la majorité d'entre eux sur la durée hebdomadaire d'AP d'intensité modérée à élevée, permettant ainsi de confronter les valeurs obtenues avec les recommandations d'AP. Ces données, bien que fondamentales, ne reflètent pas l'étendue des paramètres d'AP mesurables.

Les méthodes de mesure de l'AP et de la capacité physique présentées précédemment présentent certaines spécificités chez les sujets obèses, que nous présenterons ci-dessous.

AP habituelle

Les paramètres spatiotemporels de la marche étant modifiés avec l'obésité (Bollinger 2017), il semble essentiel de mesurer la validité des podomètres et des accéléromètres chez les personnes obèses. Cependant, les études de validation de ces appareils menées chez des sujets de poids normal ont été très peu souvent répliquées chez les personnes obèses.

En ce qui concerne la mesure du nombre de pas par des podomètres ou des accéléromètres, les résultats sont contradictoires : certaines études ont montré une sous-estimation du nombre de pas comparativement aux personnes de poids normal (Melanson et al. 2004, Shepherd et al. 1999), tandis que d'autres études ont montré que la précision n'était pas modifiée (Feito et al. 2012a, Feito et al. 2012b, Swartz et al. 2003). Deux hypothèses ont été avancées pour expliquer ces résultats. Premièrement, la vitesse de marche spontanée étant plus lente chez les personnes obèses, cela pourrait expliquer en partie l'altération de la précision de la mesure (Melanson et al. 2004). Deuxièmement, l'augmentation du tissu adipeux abdominal pourrait modifier l'inclinaison du podomètre dans l'espace, qui doit être positionné dans l'axe vertical pour actionner correctement le bras de levier et enregistrer correctement les pas (Crouter et al. 2005). Les podomètres comprenant un capteur piézo-électrique n'étant pas affectés par l'inclinaison du boîtier, ils permettent une mesure plus précise du nombre de pas chez les personnes obèses (Crouter et al. 2005).

En ce qui concerne la mesure de l'intensité de l'AP, deux études ont cherché à établir chez des sujets en surpoids ou obèses (Lopes et al. 2009) ou sévèrement obèses (Aadland et al. 2012) les seuils d'intensité modérée et élevée en comparant le nombre de coups.minute⁻¹ avec la consommation d'oxygène (**Tableau 14**). Ces deux études ont montré une forte corrélation

($r = 0,87$ et $r = 0,97$) entre le nombre de coups.minute⁻¹ et la consommation d'oxygène (Aadland et al. 2012, Lopes et al. 2009). Elles ont par ailleurs identifié des seuils d'intensité inférieurs (en nombre de coups.minute⁻¹) aux seuils habituellement obtenus chez les sujets de poids normal.

Tableau 14 – Équations de prédiction et seuils d'intensité développés pour les personnes en surpoids ou obèses

Référence	Participants	Méthodes	Équation de régression	Seuils d'intensité (coups.minute ⁻¹)	
				Modérée	Élevée
(Lopes et al. 2009)	N = 12 H/F - Age : 63 ± 7 - IMC (kg.m ⁻²) : 31 ± 5	Marche sur tapis roulant	MET = 1,388400490262 + 0,001312683420044 x CPM	1 240	2 400
(Aadland et al. 2012)	N = 42 H/F - Age : 43 ± 9 - IMC (kg.m ⁻²) : 40 ± 6	Marche sur tapis roulant	24-42 ans : MET = 2,436 + 0,000470 x CPM 43-62 ans : MET = 2,921 + 0,000549 x CPM	1 208 152	5 525 4 465

CPM : coups.min⁻¹

Enfin, il existe très peu de données sur la validité et la reproductibilité des objets connectés d'AP chez les personnes obèses. Des chercheurs français ayant développé une application smartphone afin de mesurer la durée d'AP, le temps sédentaire et la dépense énergétique à partir de l'accéléromètre contenu dans le smartphone ont obtenu, chez des personnes en surpoids ou obèses, une mesure similaire à celle obtenue avec un accéléromètre (Rousset et al. 2017).

Capacité cardiorespiratoire

La mesure du $\dot{V}O_2$ max chez les sujets obèses pose plusieurs types de difficulté. Premièrement, la réalisation d'une épreuve d'effort sur un tapis roulant nécessite un matériel spécifiquement adapté aux patients obèses et des mesures de sécurité particulières (ACSM 2014). L'ergocycle est ainsi privilégié dans de nombreux pays. Aux États-Unis, en revanche, les épreuves d'effort sont le plus souvent réalisées sur un tapis roulant (Arena et al. 2014). La marche impliquant une masse musculaire plus importante que le vélo, le $\dot{V}O_2$ max est souvent plus élevé lorsque le test est réalisé sur un tapis roulant (Shephard 1984). La comparaison directe de valeurs de $\dot{V}O_2$ max obtenues sur tapis roulant et sur ergocycle doit ainsi être réalisée avec prudence.

Deuxièmement, il est rare que les sujets obèses parviennent à maintenir un plateau de $\dot{V}O_2$ en fin de test. Ce constat n'est pas spécifique à l'obésité mais est également observé dans

d'autres catégories de patients, notamment ceux ayant une faible capacité physique et n'ayant pas l'expérience des épreuves d'effort maximal (Green et al. 2018). En l'absence de plateau de $\dot{V}O_2$, la valeur maximale obtenue, dénommée $\dot{V}O_{2pic}$, est retenue. Le $\dot{V}O_{2pic}$ correspond ainsi à une limite physiologique observée lors d'un test donné, et pourrait être inférieur au $\dot{V}O_2$ max réel (Green et al. 2018). Malgré cette limite, le $\dot{V}O_{2pic}$ est communément accepté comme un critère de mesure de la capacité cardiorespiratoire dans cette situation (Green et al. 2018).

Enfin, l'expression du $\dot{V}O_{2max}$ en termes relatif à la masse corporelle peut entraîner une sous-estimation de la capacité cardiorespiratoire chez les sujets obèses (Hothi et al. 2015, Konigstein et al. 2018, Savonen et al. 2012). En effet, le $\dot{V}O_{2max}$ exprimé en $mL.kg^{-1}.min^{-1}$ est diminué chez les sujets obèses, tandis que le $\dot{V}O_{2max}$ exprimé en $L.min^{-1}$ est maintenu ou augmenté (Arena et al. 2014). Exprimer le $\dot{V}O_{2max}$ de façon relative à la masse maigre pourrait permettre de mieux estimer la capacité cardiorespiratoire chez les sujets obèses, d'autant plus que cela permet une meilleure prise en compte des différences liées au sexe (American Thoracic Society et al. 2003). La masse musculaire est en effet le principal déterminant du $\dot{V}O_{2max}$, tandis que la masse grasse a une moindre influence (Goran et al. 2000). Des auteurs ont ainsi plaidé pour que le $\dot{V}O_{2max}$ soit exprimé de plusieurs façons : en valeur absolue, en valeur relative à la masse corporelle et à la masse maigre, et en pourcentage de la valeur attendue, en prenant en compte le poids idéal, et non le poids réel (**Tableau 15**) (American Thoracic Society et al. 2003, Arena et al. 2014). Malgré la possible sous-estimation du $\dot{V}O_{2max}$ lorsqu'il est exprimé en $mL.kg^{-1}.min^{-1}$, il reste un critère d'évaluation essentiel. Comme nous l'avons évoqué précédemment, le $\dot{V}O_{2max}$ est un facteur prédictif du risque de mortalité, même chez les sujets obèses (Myers et al. 2002). Par ailleurs, le risque de complications après une chirurgie bariatrique est fortement augmenté (16,6 % vs 2,8 %) chez les personnes ayant un $\dot{V}O_{2max}$ inférieur à $15,8 mL.kg^{-1}.min^{-1}$ (Poirier et al. 2009).

Tableau 15 – Principaux paramètres d’expression du $\dot{V}O_2\text{max}$ chez les sujets obèses

Description	Unité	Avantages
Valeur absolue	L.min ⁻¹	- évaluation de la capacité cardiorespiratoire absolue, indépendamment des données anthropométriques
Valeur relative à :		
- la masse	mL.kg ⁻¹ .min ⁻¹	- comparaison possible de sujets de corpulences différentes - critère rapporté dans de nombreuses publications
- la masse idéale	mL.kg ⁻¹ .min ⁻¹	- moindre sous-estimation de la capacité cardiorespiratoire
- la masse maigre	mL.kg ⁻¹ .min ⁻¹	- prise en compte de la masse maigre, principal déterminant du $\dot{V}O_2\text{max}$ - meilleure prise en compte des différences liées au sexe
- l’indice de masse maigre	mL.kg.m ⁻² .min	- prise en compte de la masse maigre et de la taille
- la taille	mL.cm ⁻¹ .min ⁻¹	- prise en compte indirecte de la masse maigre (lorsque la mesure de la masse maigre n’est pas possible) - meilleure prise en compte des différences liées au sexe
Pourcentage de la valeur attendue (rapportée à la masse idéale)	%	- prise en compte de la taille dans le calcul du poids idéal

D’après (American Thoracic Society et al. 2003)

Fonction musculaire

L’ergomètre isocinétique est considéré comme la méthode de référence pour la mesure de la force musculaire. Des valeurs de référence de la force isocinétique des muscles extenseurs de la jambe chez les sujets obèses ont ainsi été publiées (Hulens et al. 2002). Des corrélations faibles et modérées ont cependant été observées chez les personnes obèses entre la force isocinétique et la masse corporelle ($r = 0,31$) et entre la force isocinétique et la masse maigre ($r = 0,47$) (Hulens et al. 2002). En revanche, il n’existe pas de valeur de références pour la hauteur de saut ou la puissance développée lors d’un saut vertical. Les tapis électroniques d’analyse de la marche et les plateformes de force (posturologie) ont été utilisés dans plusieurs études auprès de patients obèses et ne semblent pas poser de difficulté méthodologique particulière chez ces patients (Bollinger 2017, Meng et al. 2017).

3- Activité physique et chirurgie bariatrique

3-1- Techniques chirurgicales

Les trois techniques chirurgicales les plus couramment pratiquées sont le court-circuit gastrique ou *bypass gastrique*, la gastrectomie longitudinale ou *sleeve gastrectomie* et l'anneau gastrique ajustable.

- **Le *bypass*** consiste à réduire le volume gastrique et à créer une anse en Y en reliant la poche gastrique à une anse jéjunale. La partie inférieure de l'estomac, le duodénum et les premières anses grêles sont laissés en place et anastomosés à l'anse alimentaire mais ne servent plus au passage des aliments. Les sécrétions biliaires, pancréatiques et gastriques nécessaires à la digestion des aliments rejoignent le bol alimentaire tardivement. Le *bypass* gastrique entraîne une diminution des apports alimentaires et un certain degré de maldigestion et de malabsorption. Il s'agit ainsi d'une technique dite restrictive et malabsorptive.
- **La *sleeve*** consiste en une résection verticale de la grande courbure de l'estomac, qui débute 4 à 6 cm en amont du pylore jusqu'au cardia. La capacité gastrique est réduite d'environ deux tiers, ce qui entraîne l'apparition d'une sensation de rassasiement précoce. La *sleeve* est ainsi classée dans les techniques restrictives.
- **L'anneau gastrique ajustable** consiste à réduire le volume de l'estomac et à ralentir le passage des aliments en plaçant un anneau de diamètre modulable sur le haut de l'estomac, à environ 2 cm en-dessous du cardia. Une poche se forme ainsi à la partie supérieure de l'estomac. Un faible volume d'aliment suffit pour remplir cette poche, provoquant un rassasiement précoce. L'anneau gastrique ajustable est comme la *sleeve* une technique purement restrictive.

3-2- Épidémiologie de la chirurgie bariatrique

Le nombre d'actes de chirurgie bariatrique a considérablement augmenté au cours des dernières années, en France et dans le monde. En France, le nombre d'actes est passé de 15 000 par an en 2006 à plus de 40 000 par an en 2013 (Czernichow et al. 2016). La France est le troisième pays, derrière les États-Unis et le Brésil, pratiquant le plus grand nombre d'actes de chirurgie bariatrique (Angrisani et al. 2018). Les personnes opérées sont majoritairement des femmes

(83 %), avec un âge moyen de 40 (12) an, et un IMC ≥ 40 kg.m⁻² dans 68 % des cas (Czernichow et al. 2016). En 2013, la *sleeve* représentait 57 % des opérations, le *bypass* 31 % des opérations et l'anneau gastrique ajustable 13 % (Czernichow et al. 2016), ce qui contraste fortement avec les chiffres obtenus en 2006 (l'anneau gastrique représentait alors plus des deux tiers des opérations). Dans le monde en 2016, la *sleeve*, le *bypass* et l'anneau gastrique ajustable représentaient respectivement 54 %, 30 % et 5 % des opérations (Angrisani et al. 2018).

3-3- Bénéfices cliniques de la chirurgie bariatrique

La chirurgie bariatrique est aujourd'hui considérée comme le traitement le plus efficace à long terme de l'obésité sévère en termes de perte de poids, d'amélioration des comorbidités et de réduction de la mortalité. L'essentiel de la perte de poids est obtenu au cours de la première année post-opératoire, et parfois au cours des 6 premiers mois. Selon les données de l'étude Suédoise de référence SOS (*Swedish Obese Subjects*), la perte de poids à 1 an est de l'ordre de 30 % du poids initial, et est plus marquée après un *bypass* qu'après une *sleeve* (Sjostrom et al. 2004). Une forte réduction des apports énergétiques (700 à 800 kcal.jour⁻¹ à 3 mois, 1 200 kcal.jour⁻¹ à 1 an), est en effet observée après la chirurgie (Verger et al. 2016). À partir de la première année post-opératoire, les apports énergétiques augmentent progressivement jusqu'à se stabiliser autour de 2 000 kcal.jour⁻¹ (Sjostrom et al. 2004). Une reprise de poids progressive est ainsi souvent observée. En moyenne, 20 à 25 % du poids perdu est repris après 10 ans de suivi (Heber et al. 2010). Après 20 ans, une perte de poids de l'ordre de 18 % est observée (Sjostrom 2013). Le *bypass* et la *sleeve* semblent entraîner une perte de poids comparable, tout au moins jusqu'à la 5^e année post-opératoire (Ruiz-Tovar et al. 2018).

La chirurgie bariatrique entraîne d'importants bénéfices de santé. Après 20 ans de suivi dans l'étude SOS, par comparaison avec des personnes obèses suivies médicalement et non opérées, le risque de mortalité est diminué de 29 %, l'incidence du diabète de type 2 de 83 %, d'accident coronarien aigu de 29 %, d'accident vasculaire cérébral de 34 % et de cancers chez les femmes de 42 % (Sjostrom 2013). Après un *bypass*, l'amélioration de l'équilibre glycémique chez les patients diabétiques de type 2 survient dès les premiers jours post-opératoires, avant une perte de poids substantielle (Rubino et al. 2016). Les bénéfices de la chirurgie expliquent l'amélioration de la qualité de vie des patients, observée notamment dans sa composante physique (Julia et al. 2013).

La perte de poids associée à la chirurgie bariatrique entraîne des modifications importantes de la composition corporelle. Au cours de la première année après un *bypass*, une perte progressive de masse grasse est observée. La perte totale de masse grasse atteint en moyenne 26 kg à 1 an, soit environ 72 % du poids perdu (Ciangura et al. 2010). À l'inverse, la perte de masse maigre est maximale après 6 mois, et atteint alors 10 kg, soit 27 % du poids perdu (Ciangura et al. 2010). La perte de masse maigre s'explique par un déficit énergétique et protéique important (Mingrone et al. 2018a). L'apport protéique moyen est estimé en moyenne à 40 g.jour⁻¹ à 3 mois d'un *bypass* ou d'une sleeve (Verger et al. 2016), ce qui est largement inférieur au niveau recommandé de 60 g.jour⁻¹ après une chirurgie bariatrique (Mingrone et al. 2018a). La perte de poids elle-même, entraînant une diminution des contraintes mécaniques sur les muscles squelettiques lors des activités quotidiennes, pourrait expliquer en partie la perte de masse maigre observée après la chirurgie (Davidson et al. 2018).

3-4- Effets de la chirurgie bariatrique sur l'activité physique et la capacité physique

3-4-1- Description de l'activité physique, de la capacité cardiorespiratoire et de la fonction musculaire chez les patients obèses candidats à la chirurgie bariatrique

- **Activité physique habituelle**

Treize études, publiées entre 2008 et 2016, ont mesuré l'AP habituelle de façon objective chez les patients candidats à la chirurgie bariatrique (**Tableau 16**). Le nombre de participants variait entre 16 et 578 ; il s'agissait le plus souvent d'une majorité de femmes, et dans deux études uniquement de femmes. Trois études ont utilisé un podomètre (Colles et al. 2008, Giusti et al. 2016, Josbeno et al. 2010) ; les autres études ont toutes utilisé un accéléromètre (Afshar et al. 2016, Berglind et al. 2015, Bond et al. 2010a, Bond et al. 2010b, Bond et al. 2011, King et al. 2012, King et al. 2008b, King et al. 2015, Rioux et al. 2016, Unick et al. 2012).

Le nombre de pas moyen variait entre 4473 et 7688 pas/jour et le nombre de coups/minutes, indiqué dans une seule étude, était de 230 coups/min (Bond et al. 2010b). La durée de l'AP d'intensité modérée à élevée variait entre 10 et 87 minutes/jour, ce qui représentait entre 3,5 % et 6,4 % du temps de port de l'accéléromètre. La durée de l'AP d'intensité modérée à

élevée en sessions ≥ 10 minutes était le plus souvent inférieure à 6 minutes.jour⁻¹, avec une seule étude observant une durée supérieure à 10 minutes.jour⁻¹. Le pourcentage de participants atteignant le niveau minimum d'AP recommandé (150 minutes.semaine⁻¹ en sessions ≥ 10 minutes) était ainsi faible, et compris entre 3 et 20 %. Le temps sédentaire variait entre 7 h et 17 h.jour⁻¹, soit 65 % à 81 % du temps de port.

King et coll. (2008) ont montré une relation négative linéaire entre le nombre de pas quotidiens et l'IMC : chaque augmentation de l'IMC de 1 kg.m⁻² était associée à une diminution du nombre de pas de 148 pas.jour⁻¹ (King et al. 2008b). Afshar et al. (2016) ont montré une relation positive entre le volume d'AP et la masse maigre (Afshar et al. 2016).

Une seule étude a comparé les résultats d'AP avec un groupe témoin de poids normal (Bond et al. 2010b). Le nombre de coups.minute⁻¹ était inférieur chez les sujets candidats à la chirurgie bariatrique (230 [63] vs 324 [71]), ainsi que la durée de l'AP d'intensité modérée à élevée (26 [23] vs 52 [25]). Environ deux tiers (68 %) des sujets candidats à la chirurgie bariatrique n'avaient pratiqué aucune session d'au moins 10 minutes d'AP d'intensité modérée à élevée, contre 13 % chez les sujets témoins. Enfin, 5 % des sujets candidats à la chirurgie atteignaient le niveau minimal d'AP recommandé, contre 40 % des sujets témoins (Bond et al. 2010b).

Tableau 16 – AP mesurée de façon objective chez les candidats à la chirurgie bariatrique

Référence	N	Sexe	Paramètres mesurés	Moyenne (ET)
(Colles et al. 2008)	129	F/H	Nombre de pas (pas.jour ⁻¹)	6 061 (2 740)
(King et al. 2008b)	578	F/H	Nombre de pas (pas.jour ⁻¹)	7 569 (3 159)
			Pic de cadence sur 30 minutes (pas.min ⁻¹)	72 (15)
			Respect recommandation (%)	14
(Bond et al. 2010a)	31	F/H	AP modérée-élevée (min.jour ⁻¹)	27 (24)
			AP modérée-élevée ≥ 10 min (min.jour ⁻¹)	6 (16)
			Respect recommandation (%)	10
(Bond et al. 2010b)	22	F/H	Coups d'activité (coups.minute ⁻¹)	230 (63)
			AP modérée-élevée (min.jour ⁻¹)	26 (23)
			AP élevée (min.jour ⁻¹)	1 (3)
			Respect recommandation (%)	5
(Josbeno et al. 2010)	20	F/H	Nombre de pas (pas.jour ⁻¹)	4 621 (3 701)
(Bond et al. 2011)	42	F/H	AP modérée-élevée (min.jour ⁻¹)	30 (18)
			AP modérée-élevée (% temps de port)	3,8 (2,4)
			AP légère (min.jour ⁻¹)	114 (66)
			AP légère (% temps de port)	15 (8)
			Temps sédentaire (h.jour ⁻¹)	10,9 (2,1)
			Temps sédentaire (% temps de port)	81 (10)
(King et al. 2012)	310	F/H	Nombre de pas (pas.jour ⁻¹) ¹	7 563 (5 570 ; 9 575)
			AP modérée-élevée (min.jour ⁻¹) ¹	10 (5 ; 19)
			AP modérée-élevée ≥ 10 min (min.jour ⁻¹) ¹	0 (0 ; 26)
			Minutes actives (min.jour ⁻¹) ¹	309 (245 ; 380)
			Respect recommandation (%)	20
(Unick et al. 2012)	75	F/H	AP modérée-élevée (min.jour ⁻¹)	26 (21)
			AP modérée-élevée (% temps de port)	3,5 (2,9)
			AP totale (min.jour ⁻¹)	158 (75)
			AP totale (% temps de port)	21 (10)
			AP légère (min.jour ⁻¹)	132 (60)
			AP légère (% temps de port)	18 (8)
			Temps sédentaire (h.jour ⁻¹)	9,7 (1,6)
			Temps sédentaire (% temps de port)	79 (10)
(Berglind et al. 2015)	56	F	AP modérée-élevée (min.jour ⁻¹)	31 (18)
			AP modérée-élevée ≥ 10 min (min.jour ⁻¹)	4 (4)
			AP légère (min.jour ⁻¹)	441 (92)
			Temps sédentaire (h.jour ⁻¹)	7,2 (2,4)
			Respect recommandation (%)	14
(King et al. 2015)	473	F/H	Nombre de pas (pas.jour ⁻¹) ²	7 688 (7 401 ; 7 974)
			AP modérée-élevée (min.jour ⁻¹) ²	11 (10 ; 12)
			AP modérée-élevée ≥ 10 min (min.jour ⁻¹) ²	1 (0,7 ; 1,4)
			Temps sédentaire (h.jour ⁻¹) ²	9,6 (9,4 ; 9,7)
			Temps sédentaire (% temps de port) ²	65 (63 ; 66)
			Temps sédentaire ≥ 10 min (h.jour ⁻¹) ²	6,8 (6,6 ; 7,0)
			Temps sédentaire ≥ 30 min (h.jour ⁻¹) ²	3,6 (3,5 ; 3,8)
			Respect recommandation (%)	3,4
(Afshar et al. 2016)	22	F/H	AP modérée-élevée ≥ 10 min (min.jour ⁻¹)	12 (14)
			AP légère ≥ 10 min (min.jour ⁻¹)	126 (36)
			Temps sédentaire (h.jour ⁻¹)	12,5 (1,1)
			Respect recommandation (%)	18
(Giusti et al. 2016)	16	F	Nombre de pas (pas.jour ⁻¹)	4 473 (445)
(Rioux et al. 2016)	52	F/H	Nombre de pas (pas.jour ⁻¹) ¹	6 994 (3 974 ; 10 200)
			AP modérée (min.jour ⁻¹) ¹	87 (54 ; 107)
			AP modérée (% temps de port) ¹	6,4 (3,5 ; 8,2)
			AP élevée (min.jour ⁻¹) ¹	0 (0 ; 0)
			AP élevée (% temps de port) ¹	0 (0 ; 0)
			AP légère (min.jour ⁻¹) ¹	202 (158 ; 506)
			AP légère (% temps de port) ¹	15 (11 ; 36)
			Temps sédentaire (h.jour ⁻¹) ¹	17,9 (13,5 ; 18,9)
			Temps sédentaire (% temps de port) ¹	77 (58 ; 82)

ET : écart-type. ¹Médiane (25^e-75^e percentile). ²Moyenne (IC 95 %)

- **Capacité cardiorespiratoire, fonction musculaire et capacité physique fonctionnelle**

Neuf études ont mesuré le $\dot{V}O_2\text{max}$ lors d'une épreuve d'effort maximale chez des patients candidats à la chirurgie bariatrique (**Tableau 17**). Le $\dot{V}O_2\text{max}$ absolue variait entre 1,9 et 2,9 L.min⁻¹, le $\dot{V}O_2\text{max}$ relatif à la masse entre 15,8 et 22 mL.kg⁻¹.min⁻¹, et le $\dot{V}O_2\text{max}$ relatif à la masse maigre entre 39,0 et 45,6 mL.kg⁻¹.min⁻¹. Exprimé en MET, le $\dot{V}O_2\text{max}$ variait ainsi entre 4,5 et 6,3 MET. La force musculaire a été mesurée dans 7 études avec des méthodes variables, rendant difficile une synthèse quantitative des résultats. La force de préhension, mesurée de façon standardisée dans 3 études, variait entre 31 et 32 kg. La stabilité posturale a été mesurée dans 5 études, dont 3 études utilisant une plateforme de force. Lors d'un test d'équilibre orthostatique, la vitesse de déplacement du centre de pression variait entre 10,6 et 17,3 mm.s⁻¹, l'amplitude des déplacements du centre de pression entre 19,9 et 27,1 mm dans l'axe antéro-postérieur et entre 11,9 et 27,5 mm dans l'axe médio-latéral. La stabilité dynamique a été mesurée dans seulement 2 études. La vitesse spontanée variait entre 108 et 130 cm/s et la cadence entre 103 et 112 pas/minute. Enfin, la distance parcourue lors d'un test de marche de 6 minutes, mesurée dans 13 études, variait entre 300 et 532 m.

Rioux et al. (2016) ont montré une relation positive entre la durée d'AP d'intensité modérée à élevée et la distance parcourue lors du test de marche de 6 minutes, la force de préhension et la stabilité posturale (Rioux et al. 2016).

Tableau 17 – $\dot{V}O_2$ max, fonction musculaire et capacité physique fonctionnelle chez les candidats à la chirurgie bariatrique

Référence	N	Sexe	Paramètres mesurés	Résultats Moyenne (ET)
$\dot{V}O_2$max				
(Kanoupakis et al. 2001)	16	F/H	Absolu (L.min ⁻¹) Relatif à la masse (mL.kg ⁻¹ .min ⁻¹) METmax	2,9 (0,7) 19,0 (3,9) 6,3 (1,4)
(Seres et al. 2006)	31	F/H	Absolu (L.min ⁻¹) Relatif à la masse (mL.kg ⁻¹ .min ⁻¹) Relatif à la masse maigre (mL.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	2,3 (0,6) 15,9 (3,3) 39,0 (8,7)
(de Souza et al. 2010)	65	F/H	Relatif à la masse (mL.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	15,8 (2,2)
(Valezi et al. 2011)	43	F/H	Relatif à la masse (mL.kg ⁻¹ .min ⁻¹) ¹	23,1 (8,4)
(Wilms et al. 2013)	18	F/H	Absolu (L.min ⁻¹) ² Relatif à la masse (mL.kg ⁻¹ .min ⁻¹) ²	1,9 (0,1) 15,9 (1,2)
(Lund et al. 2016)	31	F/H	Relatif à la masse (mL.kg ⁻¹ .min ⁻¹) ²	21,0 (1,0)
(Waldburger et al. 2016)	45	F/H	Absolu (L.min ⁻¹) ² Relatif à la masse (mL.kg ⁻¹ .min ⁻¹) ² Relatif à la masse maigre (mL.kg ⁻¹ .min ⁻¹) ²	2,7 (0,1) 22,0 (0,9) 41,1 (1,4)
(Browning et al. 2017)	9	F	Absolu (L.min ⁻¹) Relatif à la masse (mL.kg ⁻¹ .min ⁻¹) Relatif à la masse maigre (mL.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	2,6 (0,5) 21,7 (4,8) 45,6 (9,2)
(Neunhaeuserer et al. 2017)	26	F/H	Absolu (L.min ⁻¹) Relatif à la masse (mL.kg ⁻¹ .min ⁻¹) METmax	2,5 (0,5) 20,0 (3,7) 8,7 (2,3)
(Mundbjerg et al. 2018b)	60	F/H	Absolu (L.min ⁻¹)	2,6 (0,75)
(Tettero et al. 2018)	2 351	F/H	Absolu (L.min ⁻¹)* Relatif à la masse maigre (mL.kg ⁻¹ .min ⁻¹)*	3,05 (0,79) 41,9 (11,3)
Force musculaire				
(Hue et al. 2008)	10	H	Fmax isométrique, extension genou (N)	743 (131)
(Miller et al. 2009)	16	F/H	Couple max. isométrique, extension genou (Nm) Couple max. isométrique/masse, extension genou (Nm.kg ⁻¹)	126 (2) ¹ 0,87 (0,07) ¹
(Wiklund et al. 2014)	37	F	Force de préhension (N)	298 (102)
(Gallart-Aragon et al. 2016)	72	F/H	Force de préhension (kg)	31 (12)
(Rioux et al. 2016)	52	F/H	Force de préhension (kg) ¹	32 (13)
(Waldburger et al. 2016)	45	F/H	Fmax. isométrique, extension genou (N) ² Fmax. isométrique/masse, extension genou (N.kg ⁻¹) ² Fmax. isométrique/masse maigre côté droit, extension genou (N.kg ⁻¹) ²	301 (14) 2,5 (0,1) 4,6 (0,2)
(Neunhaeuserer et al. 2017)	26	F/H	1RM, extension genou (kg) Force de préhension (kg)	68 (23) 32 (9)
(Mundbjerg et al. 2018b)	60	F/H	Extension de hanche (N)	220 (60)
Stabilité posturale				
(Teasdale et al. 2007)	14	H	Vitesse de déplacement du CP, YO (mm.s ⁻¹) Déplacements du CP, YO (mm) Amplitude des déplacements du CP, axe y, YO (mm) Amplitude des déplacements du CP, axe x, YO (mm) Vitesse de déplacement du CP, YF (mm.s ⁻¹) Déplacements du CP, YF (mm) Amplitude des déplacements du CP, axe y, YF (mm) Amplitude des déplacements du CP, axe x, YF (mm)	10,6 (2,0) 243 (70) 21,6 (6,0) 11,9 (4,0) 17,3 (4,0) 436 (130) 29,3 (7,0) 12,7 (3,0)
(Handrigan et al. 2010)	10	H	Amplitude des déplacements du CP, axe y, YO (mm) Amplitude des déplacements du CP, axe x, YO (mm) Amplitude des déplacements du CP, axe y, YF (mm) Amplitude des déplacements du CP, axe x, YF (mm)	19,9 (5,0) 12,0 (5,0) 26,6 (5,0) 12,5 (3,0)
(Gallart-Aragon et al. 2016)	72	F/H	Temps d'appui unipodal, YO (nombre de chutes)	13 (5)
(Neunhaeuserer et al. 2017)	26	F/H	Vitesse de déplacement du CP, YO (mm.s ⁻¹) Amplitude des déplacements du CP, axe y, YO (mm) Amplitude des déplacements du CP, axe x, YO (mm) Vitesse de déplacement du CP, YF (cm.s ⁻¹) Amplitude des déplacements du CP, axe y, YF (mm) Amplitude des déplacements du CP, axe x, YF (mm)	15,1 (6,1) 27,1 (8,3) 27,5 (10,7) 22,9 (9,3) 36,3 (10,5) 31,5 (12,2)

(Rioux et al. 2016)	52	F/H	Temps d'appui unipodal, YO (s) Temps d'appui unipodal, YF (s)	21,9 (15,3) 5,0 (5,4)
Stabilité dynamique				
(Hortobagyi et al. 2011)	10	F/H	Vitesse spontanée (cm.s ⁻¹) Cadence (pas.min ⁻¹) Longueur du cycle (cm) Oscillation (% cycle)	130 (89) 112 (9) 138 (110) 35,3 (1,9)
(Vincent et al. 2012)	25	F/H	Vitesse spontanée (cm.s ⁻¹) Cadence (pas.min ⁻¹) Longueur du pas (cm) Longueur du cycle (cm) Support de base (cm) Simple appui (% cycle) Angle du pied gauche (°) Angle du pied droit (°) Vitesse maximale sur 6 m (cm.s ⁻¹)	108 (17) 103 (12) 60 (6) 112 (34) 13,0 (4,5) 33,4 (1,7) 6,0 (5,0) 7,4 (3,1) 155 (26)
Capacité physique fonctionnelle : test de marche de 6 minutes				
(Maniscalco et al. 2006)	15	F	Distance (m) ³	476 (380 ; 580)
(Maniscalco et al. 2007)	12	F	Distance (m)	417 (67)
(Tompkins et al. 2008)	25	F/H	Distance (m)	441 (104)
(de Souza et al. 2009)	65	F/H	Distance (m)	382 (49)
(Josbeno et al. 2010)	20	F/H	Distance (m)	393 (62)
(Castello et al. 2011)	10	F	Distance (m)	493 (21)
(Stegen et al. 2011)	7	F/H	Distance (m)	475 (59)
(da Silva et al. 2013)	17	F/H	Distance (m)	489 (14)
(Vargas et al. 2013)	67	F/H	Distance (m)	405 (92)
(Wiklund et al. 2014)	37	F	Distance (m) ¹	532 (81)
(Oliver et al. 2015)	15	F/H	Distance (m)	470 (65)
(Rebibo et al. 2016)	56	F/H	Distance (m) ³	467 (267 ; 606)
(Coleman et al. 2017)	25	F/H	Distance (m)	503 (77)
(Gallart-Aragon et al. 2016)	72	F/H	Distance (m)	300 (177)
(Rioux et al. 2016)	52	F/H	Distance (m)	481 (72)
(Baillot et al. 2016)	14	F/H	Distance (m)	476 (412 ; 520)
(Marcon et al. 2017)	18	F/H	Distance (m)	427 (16)

ET : écart-type. Fmax : force maximale. Axe y : antéro-postérieur. Axe x : médio-latéral. YO : yeux ouverts, YF : yeux fermés. ¹Médiane (inter-quartile) ; ²Moyenne (erreur standard) ; ³Moyenne (min-max)

* Valeurs estimées à partir d'un test d'effort sous-maximal

3-4-2- Évolution de l'activité physique, de la capacité cardiorespiratoire et de la fonction musculaire après une chirurgie bariatrique

• Évolution de l'AP habituelle

L'évolution de l'AP habituelle mesurée de façon objective après une chirurgie bariatrique a été décrite dans huit études (**Tableau 18**). L'AP ne semble pas modifiée au cours de la première année post-opératoire, qu'il s'agisse de l'AP d'intensité modérée à élevée, de l'AP d'intensité légère ou du temps sédentaire. Une seule étude a montré une augmentation de l'AP dans les premiers mois post-opératoires, mais le nombre de pas était retranscrit quotidiennement par les participants eux-mêmes (Josbeno et al. 2010). L'évolution de l'AP habituelle semble plus favorable à partir de la deuxième année post-opératoire. Quelques études ont montré une augmentation significative de l'AP d'intensité modérée à élevée (de

l'ordre de 5 minutes.jour⁻¹), du nombre de pas (+1 200 à 2 700 pas.jour⁻¹), du pourcentage de participants atteignant le niveau minimal d'AP recommandé ; et une diminution du temps sédentaire (de l'ordre de 30 minutes.jour⁻¹).

Ces résultats diffèrent de ceux obtenus à partir d'une mesure déclarative de l'AP. Une revue de la littérature récente (Herring et al. 2016) a en effet montré une augmentation systématique de l'AP habituelle après une chirurgie bariatrique lorsqu'elle était mesurée à l'aide de questionnaires. Deux études ont montré des résultats discordants selon la méthode de mesure de l'AP : forte augmentation de l'AP mesurée par questionnaires et maintien de l'AP mesurée à l'aide d'un accéléromètre (Berglind et al. 2016, Bond et al. 2010a).

Tableau 18 – Évolution spontanée de l'AP habituelle mesurée de façon objective après une chirurgie bariatrique

Référence	N	0-5 mois		6-11 mois		12-23 mois		≥ 24 mois	
Nombre de pas (pas.jour⁻¹)									
(Colles et al. 2008)	129					↑	+2 655		
(Josbeno et al. 2010)	20	↑	+2 749						
(King et al. 2012)	310					↑	+1 225		
(King et al. 2015)	473					↑	+1 271	↑	+1 526
(Giusti et al. 2016)	16	↔	+1 045	↔	+600	↑	+2 119	↔	+1 559
AP modérée-élevée (min.jour⁻¹)									
(Bond et al. 2010a)	31			↔	-5				
(King et al. 2012)	310					↑	+6		
(Berglind et al. 2015)	56			↔	+1				
(King et al. 2015)	473					↑	+4	↑	+5
AP modérée-élevée ≥ 10 min (min.jour⁻¹)									
(Bond et al. 2010a)	31			↔	0				
(King et al. 2012)	310					↑	+3		
(Berglind et al. 2015)	56			↔	+4				
(King et al. 2015)	473					↑	+2	↑	+2
(Afshar et al. 2016)	22			↔	0				
Respect recommandation (%)									
(King et al. 2012)	310					↑	-		
(King et al. 2015)	473					↑		↑	
(Afshar et al. 2016)	22			↔					
AP d'intensité légère (min.jour⁻¹)									
(Berglind et al. 2015)	56			↔	0				
(Afshar et al. 2016)	22			↔	+12				
Temps sédentaire (h.jour⁻¹)									
(Berglind et al. 2015)	56			↔	-0,2				
(King et al. 2015)	473					↓	0,5	↓	-0,4
(Afshar et al. 2016)	22			↔	-0,3				
Temps sédentaire ≥ 10 min (h.jour⁻¹)									
(King et al. 2015)	473					↓	-0,4	↓	-0,3
Temps sédentaire ≥ 30 min (h.jour⁻¹)									
(King et al. 2015)	473					↓	-0,4	↓	-0,3

↑ Augmentation significative comparativement aux données pré-opératoires (P < 0,05)

↓ Diminution significative comparativement aux données pré-opératoires (P < 0,05)

↔ Pas de changement significatif entre les valeurs pré et post-opératoires

- **Évolution du $\dot{V}O_2\text{max}$, de la fonction musculaire et la capacité physique fonctionnelle après une chirurgie bariatrique**

L'évolution après une chirurgie bariatrique du $\dot{V}O_2\text{max}$, de la force musculaire, et de la distance parcourue lors d'un test de marche de 6 minutes a été mesurée dans respectivement 7, 6 et 11 études (**Tableau 19**). L'évolution de la stabilité posturale (3 études) et de la stabilité dynamique (2 études) a été moins étudiée.

La majorité des études ont observé après une chirurgie bariatrique, quelle que soit le moment de la mesure, une diminution du $\dot{V}O_2\text{max}$ absolu, une augmentation du $\dot{V}O_2\text{max}$ relatif à la masse et un maintien du $\dot{V}O_2\text{max}$ relatif à la masse maigre. De façon similaire, et particulièrement à partir du 6^e mois post-opératoire, la force musculaire absolue semble diminuée et la force relative à la masse augmentée. La force de préhension n'est en revanche pas modifiée. Handrigan et al. (2010) et Miller et al. (2009) ont observé une diminution progressive de la force au cours de la première année post-opératoire, suggérant une relation entre l'amplitude de la perte de poids et la diminution de la force musculaire (Handrigan et al. 2010, Miller et al. 2009).

La stabilité posturale mesurée sur une plateforme de force ne semble pas modifiée lors des premiers mois post-opératoires mais une amélioration de la vitesse de déplacement du centre de pression a été observée dans une étude à un an de la chirurgie (Teasdale et al. 2007). À ce stade, la stabilité posturale n'était plus significativement différente de celle observée chez des sujets témoins de poids normal (Teasdale et al. 2007). La stabilité posturale mesurée par un test de terrain a en revanche été améliorée dès le 6^e mois post-opératoire (Gallart-Aragon et al. 2016). L'amélioration de la stabilité posturale a été corrélée à l'amplitude de la perte de poids : celle-ci expliquerait en effet 65 % de la variance de l'évolution de la vitesse de déplacement du centre de pression (Teasdale et al. 2007). Elle semble en revanche indépendante de la force musculaire. En effet, une amélioration de la stabilité posturale a été observée dès le 3^e mois post-opératoire, en l'absence d'une amélioration de la force musculaire relative à la masse (Handrigan et al. 2010).

La stabilité dynamique semble également améliorée après la chirurgie : la vitesse spontanée semble augmenter dès les premiers mois post-opératoires, principalement en raison d'une augmentation de la longueur du pas (Hortobagyi et al. 2011, Vincent et al. 2012). Une augmentation du temps d'oscillation et une diminution du support de base ont

également été observées. Un an après la chirurgie, les paramètres de la marche n'étaient plus significativement différents de valeurs observées chez des sujets témoins de poids normal (Hortobagyi et al. 2011). Vincent et al. (2012) ont par ailleurs montré une relation positive entre l'amplitude de la perte de poids et l'évolution de la longueur du cycle et le support de base (Vincent et al. 2012).

La distance parcourue lors du test de marche de 6 minutes est améliorée, dès les premiers mois post-opératoires. Une revue de la littérature récente a montré une amélioration moyenne de 75 m au 3^e ou 6^e mois post-opératoire, et de 185 m au 12^e mois (Herring et al. 2016). Cette amélioration s'accompagne d'une diminution de la fréquence cardiaque mesurée au cours du test (da Silva et al. 2013, de Souza et al. 2009). L'augmentation de la distance parcourue ne semble pas corrélée à l'amplitude de la perte de poids (Herring et al. 2016).

Tableau 19 – Évolution du $\dot{V}O_2$ max, de la fonction musculaire et de la capacité physique fonctionnelle après une chirurgie bariatrique

Référence	N	0-5 mois		6-11 mois		12-23 mois	
$\dot{V}O_2$max absolu ($L \cdot \text{min}^{-1}$)							
(Kanoupakis et al. 2001)	16			↓	-0,33		
(Seres et al. 2006)	31					↓	-0,05
(Wilms et al. 2013)	18					↔	-0,02
(Neunhaeuserer et al. 2017)	26			↓	-0,26		
(Mundbjerg et al. 2018b)	60			↔	-0,04		
(Tettero et al. 2018)	2 351			↑		↑	
$\dot{V}O_2$max relatif à la masse ($\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)							
(Kanoupakis et al. 2001)	16			↑	+5,2		
(Seres et al. 2006)	31					↑	+8,4
(de Souza et al. 2010)	65	↔	+1,3	↑	+6,9		
(Wilms et al. 2013)	18					↑	+5,6
(Lund et al. 2016)	31	↑	/			↑	+8
(Neunhaeuserer et al. 2017)	26			↑	+4,6		
$\dot{V}O_2$max relatif à la masse maigre ($\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)							
(Seres et al. 2006)	31					↔	+2,5
(Lund et al. 2016)	31	↔	/			↔	/
(Tettero et al. 2018)	2 351			↑		↑	
Force musculaire							
Fmax absolue (membres inf.)							
(Hue et al. 2008)	10					↓	-249 N
(Handrigan et al. 2010)	10	↓				↓	-33 %
(Miller et al. 2009)	16	↔	-18 Nm	↓	-15 Nm	↓	-39 Nm
(Stegen et al. 2011)	7	↓	-11 kg				
(Neunhaeuserer et al. 2017)	26			↔	+7 kg		
(Mundbjerg et al. 2018b)	60			↓	-19 N		
Fmax relative à la masse (membres inf.)							
(Miller et al. 2009)	16	↔	+0,06 Nm/kg	↑	+0,19 Nm/kg	↑	+0,16 Nm/kg
Force de préhension							
(Wiklund et al. 2014)	37					↔	-11 N
(Gallart-Aragon et al. 2016)	72	↔	+0 kg	↔	+ 2 kg		
(Neunhaeuserer et al. 2017)	26			↔	+ 1 kg		

Tableau 19 (suite)

Références	N	0-5 mois	6-11 mois	12-23 mois
Stabilité posturale				
Vitesse de déplacement du CP, YO (mm.s⁻¹)				
(Teasdale et al. 2007)	14	↔ -0,18		↓ -0,30
(Neunhaeuserer et al. 2017)	26		↔ +0,10	
Appui unipodal, YO (n chutes)				
(Gallart-Aragon et al. 2016)	72	↔ -1,6	↓ -4,6	
Stabilité dynamique				
Vitesse spontanée (cm.s⁻¹)				
(Hortobagyi et al. 2011)	10		↑ +5	↑ +15
(Vincent et al. 2012)	25	↑ +15		
Cadence (pas.min⁻¹)				
(Hortobagyi et al. 2011)	10		↔ -1	↔ +4
(Vincent et al. 2012)	25	↔ +10		
Longueur du cycle (cm)				
(Hortobagyi et al. 2011)	10		↑ +6	↑ +11
(Vincent et al. 2012)	25	↑ +19		
Oscillation (% cycle)				
(Hortobagyi et al. 2011)	10		↑ +1,3	↑ +2,5
Support de base (cm)				
(Vincent et al. 2012)		↓ -2,5		
Test de marche de 6 minutes (m)				
(Maniscalco et al. 2006)	15			↑ +151
(Maniscalco et al. 2007)	12			↑ +199
(Tompkins et al. 2008)	25	↑ +91	↑ +137	
(de Souza et al. 2009)	65		↑ +85	
(Josbeno et al. 2010)	20	↑ +53		
(Stegen et al. 2011)	7		↔ +30	
(da Silva et al. 2013)	17	↑ +47		
(Vargas et al. 2013)	67	↑ +80		
(Wiklund et al. 2014)	37			↑ +67
(Rebibo et al. 2016)	56		↑ +48	
(Gallart-Aragon et al. 2016)	72	↑ +71	↑ +171	

Fmax : force maximale ; Membres inf. : membres inférieurs ; YO : yeux ouverts

↑ Augmentation significative comparativement aux données préopératoires (P < 0,05)

↓ Diminution significative comparativement aux données préopératoires (P < 0,05)

↔ Pas de changement significatif entre les valeurs pré et post-opératoires

3-5- Bénéfices de l'activité physique en complément de la chirurgie bariatrique

L'AP est un élément important de la prise en charge des patients opérés d'une chirurgie bariatrique. Les recommandations actuelles pour ces patients s'appuient sur les recommandations d'AP pour la population générale, et préconisent ainsi de pratiquer un minimum de 150 minutes par semaine d'AP d'intensité modérée et 2 séances par semaine de renforcement musculaire, tout en réduisant le temps sédentaire (Mechanick et al. 2013, Mingrone et al. 2018a).

Le rôle de l'AP dans le suivi des patients obèses opérés d'une chirurgie bariatrique a fait l'objet de plusieurs revues de la littérature publiées entre 2010 et 2015 (Coen et al. 2016, Egberts et al. 2012, Jacobi et al. 2011, Livhits et al. 2012, Pouwels et al. 2015).

Les premières revues publiées entre 2010 et 2012 (Egberts et al. 2012, Jacobi et al. 2011, Livhits et al. 2012) avaient inclus entre 13 et 17 études, principalement observationnelles et mesurant l'AP avec des questionnaires. Ces trois revues ont conclu à une relation positive entre l'amplitude de la perte de poids et l'AP habituelle post-opératoire (Egberts et al. 2012, Jacobi et al. 2011, Livhits et al. 2012). Une méta-analyse de 4 études avait montré une perte de poids supplémentaire de 3,6 kg chez les patients opérés « actifs » (atteignant le niveau minimum d'AP recommandé) par comparaison avec les patients opérés « inactifs » (Egberts et al. 2012). Une étude récente réalisée chez un grand nombre de patients (N = 3 535 participants) semble confirmer la relation existant entre l'AP déclarative et la perte de poids (Tettero et al. 2018). Cette relation a également été observée avec des données objectives d'AP : une relation significative entre la perte de masse grasse et l'évolution du volume d'AP entre le 3^e et le 9^e mois post-opératoire a été observée dans une étude (Wefers et al. 2016), et entre la perte de masse grasse et le niveau moyen d'AP au cours des 6 premiers mois post-opératoires dans une seconde étude (Liu et al. 2012).

Les deux revues publiées en 2015 (Coen et al. 2016, Pouwels et al. 2015) ont inclus entre 5 et 8 études d'intervention évaluant l'effet d'un programme d'entraînement après une chirurgie bariatrique. Ces revues ont conclu à une amélioration de la capacité physique et de certains paramètres métaboliques chez les patients ayant participé au programme d'entraînement. L'entraînement ne semblait en revanche pas avoir d'effet bénéfique supplémentaire sur l'évolution de la composition corporelle (Coen et al. 2016, Pouwels et al. 2015). Certaines des études incluses n'étaient cependant pas contrôlées. La chirurgie bariatrique étant elle-même associée à des modifications importantes de la capacité physique et de la composition corporelle, l'absence de groupe témoin constitue une limite importante pour évaluer les effets de l'entraînement après la chirurgie. Par ailleurs, le nombre restreint d'études n'avait pas permis la réalisation d'une méta-analyse.

Depuis 2015, plusieurs études d'intervention contrôlées évaluant l'effet de l'entraînement sur des paramètres variés (composition corporelle, capacité physique, AP habituelle, qualité de vie, paramètres de santé...) ont été publiées. Une analyse détaillée et systématique de la littérature a ainsi été réalisée au cours du travail de thèse. Les méthodes employées et les résultats seront présentés ci-dessous dans les sections Méthodes générales et Résultats.

4- Activité physique et obésités rares

4-1- Syndrome de Prader-Willi

Le syndrome de Prader-Willi (SPW) est la forme la plus fréquente d'obésité rare. Son incidence est de l'ordre de 1 sur 20 000 ou 30 000 naissances, et sa prévalence dans la population de 1 sur 50 000 (Goldstone et al. 2008).

Le SPW représente un trouble du développement complexe caractérisé par une hypotonie néonatale avec un défaut important de la succion, suivie d'une hyperphagie et d'une obésité d'apparition précoce (vers l'âge de 2 ans). Il se caractérise également par une petite taille, un syndrome dysmorphique, un hypogonadisme, une impulsivité alimentaire sévère, des troubles de l'apprentissage et du comportement (colères, impulsivité, obsession, intolérance à la frustration) et parfois un retard mental (Poitou-Bernert 2011, Tauber 2011). Il existe également une augmentation de la masse grasse et une réduction de la masse maigre qui entraîne une diminution de la dépense énergétique de repos (Lloret-Linares et al. 2013). Ces anomalies de la composition corporelle sont liées aux déficits hormonaux et à l'inactivité physique (Butler et al. 2007). L'obésité s'accompagne de complications cardiométaboliques et respiratoires (diabète de type 2, HTA, insuffisance cardiaque et respiratoire). Sur le plan mécanique, les patients atteints d'un SPW ont souvent des déformations orthopédiques (scoliose), des troubles circulatoires des membres inférieurs et des lymphoedèmes qui entravent leur mobilité.

Le diagnostic du SPW est à la fois clinique et génétique. Les dérégulations génétiques affectent l'intervalle 15q11q13 porté par le chromosome 15. Cette région est régulée par l'empreinte paternelle. Le diagnostic génétique est désormais réalisé dans les premiers mois de la vie avant l'apparition de l'obésité, même s'il existe parfois un retard de diagnostic. Le tableau clinique est très variable selon les individus et varie au cours de la vie. On estime en France à 80 % la prévalence de l'obésité parmi les patients présentant un SPW (Poitou-Bernert 2011). En l'absence de prise en charge précoce, le tableau à l'âge adulte est marqué par une obésité majeure et par un comportement alimentaire compulsif (altération de la satiété, hyperphagie, hypersensibilité aux stimuli alimentaires, consommation éventuelle de produits non consommables, vols d'aliments) (Poitou-Bernert 2011).

4-2- Activité physique et capacité physique des patients présentant un SPW

Deux études ont mesuré de façon objective l'AP habituelle en vie réelle chez des patients adultes atteints d'un SPW. Dans une étude, l'AP a été mesurée avec un accéléromètre Actigraph chez 28 adultes jeunes avec un IMC moyen de 30,7 kg.m⁻² (Nordstrom et al. 2013). Seuls 25 % des hommes et 15 % des femmes atteignaient les recommandations d'AP. L'AP d'intensité modérée à élevée atteignait en moyenne 26 minutes par jour, dont 14 min accumulées en sessions prolongées (≥ 10 minutes). La sédentarité, l'AP d'intensité légère et l'AP d'intensité modérée à élevée représentaient respectivement 63 %, 34 % et 3 % du temps de port de l'accéléromètre (Nordstrom et al. 2013). Le volume d'AP était très variable selon les patients : une moyenne de 249 coups.minute⁻¹ était observée, avec des variations allant de 55 à 515 coups.minute⁻¹ (Nordstrom et al. 2013). Les hommes étaient par ailleurs plus actifs que les femmes (284 vs 228 coups.minute⁻¹). Dans la seconde étude, l'AP était mesurée avec un accéléromètre activPAL chez 19 adultes non obèses (IMC moyen : 26,7 kg.m⁻²). Le nombre de pas moyen atteignait 7 600 pas.jour⁻¹, sans différence observée entre les femmes et les hommes (Woods et al. 2018).

La fonction musculaire est altérée chez les patients présentant un SPW (**Tableau 20**). La force musculaire est réduite comparativement à des sujets de poids normal, ainsi qu'à des sujets obèses témoins (Capodaglio et al. 2009). La diminution de la masse maigre semble directement impliquée dans la diminution de la force musculaire (Capodaglio et al. 2009). La stabilité posturale est fortement altérée à la fois dans l'axe antéro-postérieur et médio-latéral (Capodaglio et al. 2011b, Cimolin et al. 2011, Galli et al. 2011). Plusieurs facteurs pourraient être impliqués dans l'altération de la stabilité posturale chez ces patients en plus de l'augmentation de la masse corporelle : l'hypotonie musculaire, la laxité ligamentaire ou encore des paramètres biomécaniques comme les pieds de petite taille (Galli et al. 2011). Les paramètres de la marche sont modifiés comparativement à des sujets de poids normal et à des sujets obèses témoins et témoignent d'une altération de la stabilité dynamique : diminution de la vitesse de marche, de la longueur du pas et du temps de simple appui (Cimolin et al. 2010, Vismara et al. 2007).

La capacité cardiorespiratoire apparaît également fortement diminuée (Gross et al. 2017). Le $\dot{V}O_2$ max moyen de 24,5 (3,4) mL.kg⁻¹.min⁻¹ est cependant comparable aux valeurs habituellement observées chez les sujets obèses (Fogelholm et al. 2006). La capacité physique fonctionnelle a été mesurée dans deux études, sans toutefois comparer les valeurs obtenues à

un groupe témoin (Nordstrom et al. 2013, Woods et al. 2018). La distance moyenne parcourue lors d'un test de marche de 6 minutes était de 502 (19) m et 447 (62) m ; et était négativement associée à l'IMC (Nordstrom et al. 2013, Woods et al. 2018). Une relation positive mais non significative ($P = 0,13$) entre l'AP habituelle (nombre de pas par jour) et la distance parcourue lors d'un test de marche de 6 minutes a été observée (Woods et al. 2018).

Tableau 20 – Fonction musculaire et capacité physique fonctionnelle chez les patients adultes présentant un SPW

Référence	N	IMC (kg.m ⁻²)	Paramètres mesurés	Comparaison avec des sujets de poids normal
Force musculaire				
(Capodaglio et al. 2009)	16	41,3 (7,3)	Fmax isocinétique, extension genou	-47 %
			Fmax isocinétique/masse, extension genou	-70 %
(Gross et al. 2017)	17	27,8 (5)	Force de préhension*	-61 %
Stabilité posturale				
(Cimolin et al. 2011)	12	41,6 (6,4)	Déplacements du CP, YO	+400 %
			Amplitude des déplacements du CP, axe y, YO	+250 %
			Amplitude des déplacements du CP, axe x, YO	+133 %
(Capodaglio et al. 2011b)	11	43,3 (5,9)	Vitesse de déplacement du CP, axe y, YO	+133 %
			Vitesse de déplacement du CP, axe x, YO	+100 %
Stabilité dynamique				
(Vismara et al. 2007)	19	41,3 (6,0)	Vitesse spontanée normalisée**	-6 %
			Cadence	-5 %
			Longueur du cycle normalisée**	-10 %
			Appui (% cycle)	+6 %
			Simple appui (% cycle)	-10 %
Capacité cardiorespiratoire				
(Gross et al. 2017)	17	27,8 (5)	$\dot{V}O_2\max^*$	-47 %

* comparativement à un groupe témoin apparié sur l'IMC. ** normalisée en fonction de la taille des individus

4-3- Prise en charge à l'âge adulte des patients présentant un SPW : rôle de l'activité physique

La prise en charge à l'âge adulte des patients atteints d'un SPW est pluridisciplinaire et doit être coordonnée par des centres spécialisés. Elle est centrée sur l'obésité et ses complications, les troubles du comportement alimentaire et psychiatrique et les autres atteintes liées au SPW (anomalies hormonales et orthopédiques notamment) (Poitou-Bernert 2011). La prise en charge du SPW est ainsi avant tout comportementale (Goldstone et al. 2008). L'accompagnement diététique individualisé est un élément majeur de la prise en charge et implique fortement l'entourage des patients. L'entourage doit en effet contribuer à fournir un cadre alimentaire strict, ritualisé et rassurant afin de réduire les apports alimentaires.

L'AP régulière est également encouragée, en prenant en compte les difficultés liées au handicap fonctionnel, à l'hypotonie et aux atteintes orthopédiques (Goldstone et al. 2008). Très peu d'études ont mesuré l'efficacité de programmes d'AP chez des patients atteints d'un SPW. Les programmes étaient très variables selon les études, ainsi que les critères de jugement retenus.

Deux études ont porté sur des programmes en institution répétés plusieurs fois par an. La première étude évaluait un programme de 4 semaines répété 4 fois par, associant une alimentation hypocalorique et un programme intensif et supervisé d'AP (jusqu'à 7 h d'AP par jour, telles que de la marche, du vélo d'appartement, des exercices sur tapis) et a montré après 6 ans de suivi une diminution de l'IMC de $2,5 \text{ kg.m}^{-2}$ et la masse grasse de 2,5 kg (Grolla et al. 2011). La deuxième étude évaluait des programmes de réhabilitation réguliers en institution associant de l'AP, une prise en charge diététique et de kinésithérapie et a montré après 7 ans de suivi une perte de poids importante (-15 kg) ainsi qu'une augmentation de la vitesse spontanée, de la cadence et de la longueur du pas (Cimolin et al. 2014).

Deux autres études ont évalué l'effet d'un programme d'AP débutant par une hospitalisation de 2 semaines et poursuivi par un programme d'entraînement de 6 mois réalisé de façon autonome au domicile (Capodaglio et al. 2011a, Vismara et al. 2010). Durant les 2 semaines initiales, les patients participaient à 4 séances d'AP par semaine, encadrées par un personnel formé, au cours desquels ils réalisaient des exercices de renforcement musculaire et d'endurance. Pendant les 6 mois suivants au domicile, les patients réalisaient de façon autonome 3 séances par semaine de renforcement musculaire. Ce programme a entraîné une diminution des moments de force exercés sur le genou et la cheville lors de la marche et une augmentation de la cadence mais n'a pas modifié la force musculaire et la stabilité posturale (Capodaglio et al. 2011a, Vismara et al. 2010).

Les programmes évalués étaient ainsi réalisés soit en institution, soit en autonomie complète au domicile. Aucune étude n'a évalué l'effet d'un programme d'entraînement supervisé réalisé au domicile des patients, qui présenterait le double avantage de pouvoir s'intégrer facilement dans la vie quotidienne et de permettre une interaction individuelle entre un éducateur sportif et le patient.

OBJECTIFS DU TRAVAIL DE THÈSE

1- Objectifs

L'objectif général de ce travail de thèse était de développer l'analyse de l'activité physique et du mouvement dans les pathologies cardiométaboliques, en particulier l'obésité.

Notre travail visait à mieux comprendre les particularités de cette population en termes de mouvement et de capacité physique au sens large, dans la perspective de définir quelles applications pourraient être envisagées dans le cadre de l'évaluation et de la prise en charge des patients obèses.

Un premier thème de recherche portait sur les **interventions** d'activité physique. Il s'agissait d'évaluer l'efficacité de programmes d'activité physique structurés réalisés chez des patients obèses en complément de leur prise en charge habituelle. Ces programmes étaient évalués 1) chez des patients opérés d'une chirurgie bariatrique, 2) chez des patients présentant une obésité rare (syndrome de Prader-Willi).

Un deuxième thème de recherche concernait l'**évaluation détaillée de l'AP habituelle et de la capacité physique au sens large chez des patients obèses**. Il s'agissait 1) d'identifier des méthodes de mesure de l'AP, de la capacité cardiorespiratoire et de la fonction musculaire (force et puissance musculaire, stabilité dynamique et posturale) pouvant être utilisées chez des patients obèses, 2) de mieux décrire avec ces méthodes l'AP, habituelle, la capacité cardiorespiratoire et la fonction musculaire de patients obèses.

2- Questions spécifiques

Les questions spécifiques auxquelles nous nous sommes attachés à répondre au cours de notre travail de thèse étaient les suivantes, correspondant aux différents travaux décrits dans ce mémoire :

- Quelle est l'efficacité des programmes d'entraînement après une chirurgie bariatrique ? (revue de la littérature et méta-analyse)
- Comment évoluent l'AP habituelle et la sédentarité à court terme (6 mois) et à long terme (5 ans) après une chirurgie bariatrique ? Quelles sont les relations entre l'évolution de

l'AP et de la capacité cardiorespiratoire après une chirurgie bariatrique ? (étude PROMISE)

- Quelles sont les méthodes de mesure de la capacité physique adaptées aux patientes ayant une obésité sévère ? Quelles sont les relations entre l'AP habituelle, les différentes dimensions de la capacité physique (capacité cardiorespiratoire, force musculaire, stabilité dynamique, stabilité posturale) et la composition corporelle chez des patientes candidates à la chirurgie bariatrique ? (étude FAMOUS)
- Peut-on calculer, à partir d'une mesure du $\dot{V}O_2\text{max}$, des seuils d'intensité exprimée en termes relatifs pour analyser les données d'accélérométrie ? L'utilisation de ces seuils d'intensité relative modifie-t-elle les résultats d'AP ? (étude PROMISE)
- Quel est le niveau d'AP de patients souffrant d'un syndrome de Prader-Willi, comparativement à des patients avec obésité appariés sur l'âge et le pourcentage de masse grasse ? Quelle est l'efficacité d'un programme d'AP adapté, individuel et supervisé chez ces patients ? (étude APA-PWS)
- Que pensent les médecins spécialistes des maladies cardiométaboliques des objets connectés d'AP ? Quels sont leurs motivations et leurs freins à la prescription de ces objets connectés ?

MÉTHODES GÉNÉRALES

1- Revue de la littérature et méta-analyse

L'objectif de cette revue de littérature était d'évaluer l'efficacité des programmes d'entraînement après une chirurgie bariatrique.

1-1- Recherche bibliographique systématique

Recherche bibliographique

Le protocole utilisé pour la recherche bibliographique a été déposé en 2017 sur le site PROSPERO (numéro du protocole : 2017 CRD42017069380). La recherche a été réalisée en juin 2017 sur 4 bases de données électroniques (PubMed, Web of Science, Cochrane Library and EMBASE). Une combinaison de termes en lien avec la chirurgie bariatrique ("bariatric surgery", "obesity surgery", "metabolic surgery", "Roux-en-Y", "gastric bypass", "sleeve gastrectomy", "gastric banding", "duodenal switch") et avec l'activité physique ("physical activity", "exercise", "sedentary", "endurance", "resistance training", "aerobic", "fitness", "muscle strength", "physical capacity") ont été utilisés. La recherche a également porté sur les références bibliographiques des articles inclus. La recherche s'est limitée aux articles écrits en anglais. Les articles ont été inclus s'ils répondaient aux critères suivants :

- articles écrits en anglais,
- études contrôlées comparant des patients bénéficiant d'une chirurgie bariatrique et d'une prise en charge habituelle à des patients bénéficiant d'une chirurgie et d'un programme d'entraînement en complément de la prise en charge habituelle,
- patients opérés d'un *bypass*, d'une *sleeve*, d'un anneau gastrique, d'une diversion biliopancréatique ou d'un switch duodéal,
- programme d'entraînement réalisé après la chirurgie bariatrique
- évolution rapportée d'au moins un des paramètres suivants rapportés dans l'article : anthropométrie et composition corporelle, AP ou capacité physique mesurées de façon objective, qualité de vie, paramètres de santé.

Extraction des données

Les informations suivantes ont été recueillies à l'aide d'une fiche standardisée dans chacun des articles : auteurs, journal, année de publication, dessin expérimental, nombre de participants, procédure chirurgicale, description de l'intervention, critères d'évaluation, méthodes de mesure, périodes d'évaluation et principaux résultats. Un accent particulier a été mis sur la description des interventions. La grille d'analyse TIDierR (Hoffmann et al. 2014) a été utilisée pour décrire les aspects suivants, aussi bien pour le groupe intervention que pour le groupe témoin : nom de l'étude, objectifs de l'étude, contenu de l'intervention, intervenants, lieu de l'intervention, durée et fréquence de l'intervention, modifications apportées au cours de l'étude, stratégies employées pour favoriser la participation.

Qualité des études

La qualité des études incluses a été évaluée à l'aide de l'échelle PEDro (Physiotherapy Evidence Database (PEDro) scale (Verhagen et al. 1998). Cette échelle a été utilisée à de nombreuses reprises pour évaluer des programmes d'entraînement et de réadaptation (Pouwels et al. 2015, Weston et al. 2014). L'échelle PEDro comprend 11 critères codés en "oui" ou "non" : critères d'éligibilité précisés, répartition aléatoire des participants dans les groupes, répartition respectant une assignation secrète, similarité des groupes, participants « en aveugle », intervenants « en aveugle », examinateurs « en aveugle », mesures obtenues pour au moins 85 % des participants, analyses réalisées en « intention de traiter », comparaisons statistiques intergroupes rapportées, estimation de la variabilité indiquée (écart-type, intervalle de confiance...).

Le premier critère n'étant pas inclus dans les calculs, le score de qualité variait de 0 à 10. La qualité des études était qualifiée de faible lorsque le score était inférieur à 4, de moyenne pour un score compris entre 4 et 5, de bonne pour un score compris entre 6 et 8 et d'excellente pour un score supérieur ou égal à 9 (Pouwels et al. 2015).

2-2- Synthèse des données

Présentation des résultats

L'évolution après l'intervention des paramètres suivants a été rapportée : anthropométrie et composition corporelle, capacité physique (incluant la capacité cardiorespiratoire et la force musculaire), capacité physique fonctionnelle (incluant les résultats de tests de terrain : test de marche de 6 minutes, de levée de chaise, de la chaise, de flexion du coude, « 8-foot un-and-go »), AP mesurée de façon objective, qualité de vie, paramètres de santé. Le terme « capacité à la marche » fait référence à la distance parcourue lors de tests de marche. Pour faciliter la synthèse des résultats, certaines variables ont été regroupées dans des catégories plus larges, par exemple : la glycémie et l'insulinémie à jeun, le HOMA-IR et la sensibilité à l'insuline ont été regroupées dans la catégorie « métabolisme du glucose » ; le cholestérol total, LDL et HDL et les triglycérides ont été regroupés dans la catégorie « profil lipidique ».

Lorsque plusieurs mesures de suivi ont été réalisées après la fin de l'entraînement, nous avons rapporté les résultats de la première mesure. Lorsque les résultats d'une même intervention ont été rapportés dans plusieurs articles (par exemple, l'intervention de Coen et al. a fait l'objet d'un premier article (Coen et al. 2015b) puis d'une série d'articles (Carnero et al. 2017, Coen et al. 2015a, Nunez Lopez et al. 2017, Woodlief et al. 2015), nous avons sélectionné les résultats de l'étude princeps ou celle incluant le plus grand nombre de participants.

Analyse des données

Une méta-analyse a été réalisée à l'aide du logiciel Review Manager version 5.3 (RevMan, Cochrane Community) lorsque des résultats étaient disponibles pour au moins 5 études. Pour cela, nous avons rapporté la moyenne et l'écart-type du changement absolu de la masse corporelle, de la masse grasse, de la masse maigre, du $\dot{V}O_2\text{max}$, et de la marche fonctionnelle. Le cas échéant, nous avons rapporté les résultats d'analyse réalisées en intention de traiter. Le changement absolu correspondait à la différence entre la valeur avant et après l'intervention. Lorsque l'écart-type du changement n'était pas rapporté par les auteurs des études incluses, nous avons utilisé des méthodes de transformation qui permettent de calculer l'écart-type à partir de la significativité des comparaisons statistiques intra- ou inter-groupes (valeur exacte

de P). Ces méthodes sont décrites dans le Cochrane Handbook for systematic reviews of interventions (Higgins). Une étude, incluse dans la revue de littérature, n'a pas été incluse dans la méta-analyse en raison de données insuffisantes, malgré plusieurs tentatives pour contacter les auteurs.

Lorsque les variables étaient exprimées dans la même unité dans toutes les études (masse corporelle, masse grasse, masse maigre), l'estimation de l'effet global de l'intervention était exprimée comme la différence moyenne pondérée entre les groupes intervention et témoin. Lorsque les variables étaient exprimées dans des unités différentes ($\dot{V}O_2\text{max}$ en $L\cdot\text{min}^{-1}$ ou en $mL\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) ou étaient évaluées avec des tests différents (marche fonctionnelle évaluée à l'aide de différents tests de marche), l'estimation de l'effet global était exprimée comme la différence moyenne standardisée. Les calculs ont été réalisés en utilisant un modèle à effets aléatoires en raison du nombre restreint d'études et de leur diversité méthodologique. Une valeur de $P < 0,05$ était considéré comme le seuil pour une différence comme statistiquement significative. Un test I^2 a été utilisé pour mesurer l'hétérogénéité (Higgins).

Lorsque le nombre d'études était insuffisant pour réaliser une méta-analyse, nous avons synthétisé les résultats en présentant le nombre d'études rapportant une amélioration du paramètre considéré (effet significatif positif de l'entraînement rapporté pour une variable et aucun effet délétère rapporté) ou une altération du paramètre (pas d'effet significatif de l'entraînement comparativement au groupe témoin).

2- Description de l'activité physique et de la capacité physique chez des patients obèses bénéficiant d'une chirurgie bariatrique

2-1- Étude PROMISE

2-1-1- Contexte et objectifs de l'étude

L'étude PROMISE (PROtein supplementation and Muscle training Intervention in Surgery of obesity) est un essai contrôlé et randomisé mis en place entre 2010 et 2014 dont l'objectif était d'évaluer l'effet d'un entraînement de renforcement musculaire de 6 mois, associé à une supplémentation protéique, sur la composition corporelle et la force musculaire après un *bypass* (Oppert et al. 2018). Les participantes étaient randomisées au moment de la chirurgie dans l'un des trois groupes d'intervention (**Figure 5**) :

- Groupe témoin (CON) : les participantes bénéficiaient de la prise en charge médicale et nutritionnelle habituelle lors des visites pré et post-chirurgicales (à 1, 3 et 6 mois après l'opération). Les patientes étaient encouragées à atteindre progressivement un apport protéique de 60 g par jour et 150 minutes par semaine d'AP d'endurance d'intensité modérée (Mechanick et al. 2013, Mingrone et al. 2018b). Une supplémentation systématique en vitamines et minéraux était proposée selon les modalités de suivi habituelles.
- Groupe protéines (PRO) : les participantes bénéficiaient, en complément de la prise en charge habituelle, d'une supplémentation protéique quotidienne sous forme d'une poudre enrichie en protéines du lactosérum (*whey protein*) devant être diluée dans l'eau. Il leur était demandé de consommer pendant 6 mois, dès la première semaine post-opératoire, 60 g.jour⁻¹ de poudre, en 2 prises, ce qui correspondait à une supplémentation protéique de 48 g.jour⁻¹.
- Groupe protéines + entraînement (PRO + EX) : les participantes bénéficiaient, en complément de la prise en charge habituelle et de la supplémentation protéique, d'un entraînement de renforcement musculaire incluant 2 à 3 séances par semaine encadrées par un éducateur sportif et réalisées dans le service hospitalier. L'entraînement débutait à partir de la 6^{ème} semaine post-opératoire et durait ainsi 4,5 mois. Les séances comprenaient 10 minutes d'échauffement, 45 minutes de renforcement musculaire et 5 minutes d'étirement. Le renforcement musculaire comprenait 6 exercices réalisés sur des appareils de musculation impliquant les grands groupes musculaires. Pour chaque exercice, 4 séries de 8 à 12 répétitions étaient réalisées, à une intensité comprise entre 50 et 75 % du 1RM.

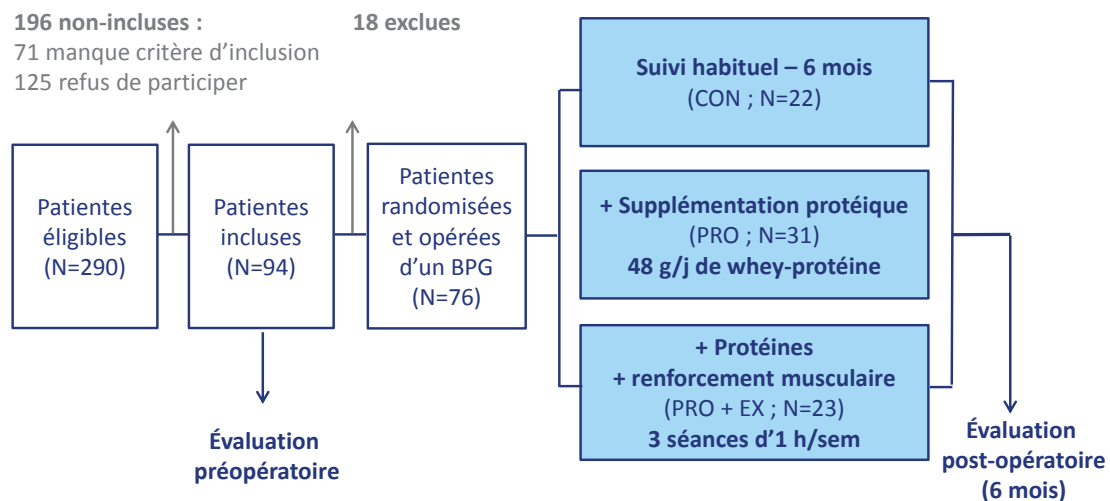


Figure 5 – Protocole de l'étude PROMISE

Après cette phase initiale de 6 mois, l'étude PROMISE s'est poursuivie par un suivi des participantes à 1 an puis à 5 ans du *bypass*.

2-1-2- Population

La population d'étude était constituée femmes âgées de 18 à 60 ans candidates au *bypass* et suivies dans le service de Nutrition de l'hôpital Pitié-Salpêtrière (AP-HP). Pour être incluses dans l'étude, les patientes devaient répondre aux critères suivants :

- patiente correspondant aux critères d'indication de la chirurgie bariatrique telles que définies par les recommandations de la HAS (Haute Autorité de Santé 2009) et pour lequel un avis favorable à la réalisation d'une chirurgie bariatrique a été donnée lors d'une réunion de concertation pluridisciplinaire dans le service de Nutrition,
- avec une obésité massive ($\text{IMC} \geq 40 \text{ kg.m}^{-2}$) ou avec une obésité sévère (IMC entre 35 et 40 kg.m^{-2}) et des comorbidités,
- après consentement éclairé remis par écrit.

Les patientes ne pouvaient être incluses si elles répondaient à l'un des critères suivants :

- non affiliée à un régime de sécurité sociale (bénéficiaire ou ayant droit),
- sujet sous tutelle ou curatelle,
- toute maladie ou contexte psychosocial rendant un suivi régulier prolongé impossible, ce qui représente également une contre-indication à la chirurgie bariatrique,
- participation à un programme supervisé d'AP,

- maladie orthopédique sévère,
- neuropathie invalidante,
- accident coronarien récent < 6 mois (syndrome coronarien aigu),
- dépistage d'une ischémie myocardique ou trouble du rythme sévère sur l'épreuve d'effort cardiaque préopératoire,
- femme enceinte.

L'étude PROMISE a inclus 76 patientes entre mai 2010 et décembre 2014, randomisées dans groupe CON (N = 22), PRO (N = 31) et PRO + EX (N = 23).

2-1-4- Critères d'évaluation et méthodes de mesure

Données cliniques et biologiques

Les examens cliniques et biologiques ont été réalisés dans le cadre de la prise en charge habituelle des patientes. Les paramètres biologiques suivants ont été dosés :

- métabolisme glucidique : glycémie à jeun, HbA1c, insuline à jeun,
- bilan lipidique : cholestérol total, LDL et HDL, triglycérides,
- enzymes hépatiques : gamma GT, ASAT, ALAT,
- statut nutritionnel : hémoglobine, protéines, albumine, préalbumine, vitamines (25-OH-vitamine-D3, thiamine, folates sériques, folates érythrocytaires, B12),
- métabolisme du fer : fer sanguin, transferrine, capacité de fixation de la transferrine, coefficient de saturation, ferritine,
- statut inflammatoire : CRP, orosomucoïde, adiponectine, IL-6

Les principales comorbidités recherchées étaient la présence d'un diabète de type 2, d'une HTA et d'un SAS. Les critères diagnostiques retenus sont présentés dans le **Tableau 21** (Kapur et al. 2017, Marathe et al. 2017, Whelton et al. 2017).

Tableau 21 – Paramètres biologiques mesurés dans l'étude PROMISE

Comorbidité	Définition
Diabète de type 2	<ul style="list-style-type: none"> • Glycémie à jeun $\geq 7 \text{ mmol.L}^{-1}$ • et/ou glycémie 2h après une charge en glucose (HGPO) $\geq 11,1 \text{ mmol.L}^{-1}$ • et/ou traitement antidiabétique
HTA	<ul style="list-style-type: none"> • Pression artérielle $> 140/90$ • et/ou traitement antihypertenseur
SAS	<ul style="list-style-type: none"> • Index d'apnée/hypopnée ≥ 5 • et/ou appareillage

Composition corporelle

La composition corporelle était évaluée par la méthode de l'absorptiométrie biphotonique à rayons X (DEXA) (Hologic Discovery W, Hologic, Bedford, MA). La DEXA permet de mesurer trois compartiments (masse grasse, masse maigre, contenu minéral osseux) sur l'ensemble du corps et par segment corporel (membres inférieurs, membres supérieurs, tronc). La masse maigre appendiculaire a été calculée en additionnant la masse maigre des membres inférieurs et supérieurs. Le pourcentage de masse grasse a été calculé comme le rapport de la masse grasse (en kg) sur la masse corporelle totale, l'indice de masse grasse comme le rapport de la masse grasse (en kg) sur la taille au carré (m²), et l'indice de masse maigre comme le rapport de la masse maigre sur la taille au carré.

Force musculaire

La force de préhension a été mesurée à l'aide d'un dynamomètre manuel Jamar, Sammons Preston Rolyan, Bolingbrook, Canada). Cinq essais ont été réalisés sur chaque main et la valeur la plus élevée a été retenue pour les analyses (Roberts et al. 2011).

La force maximale concentrique des membres inférieurs et supérieurs a été mesurée à l'aide de matériels de musculation (presse à cuisse et bras) (Daly et al. 2014). Après une série d'échauffement de 10 répétitions avec une charge légère, un test de 3RM a été réalisé. Le test a débuté avec une charge correspondant à 50 % du 1RM estimé, et la charge était augmentée progressivement jusqu'à ce que les participantes ne parviennent plus à déplacer la charge. Pour chaque charge, elles devaient réaliser 3 répétitions, avec la consigne de le faire « le plus fort et le plus vite possible ». Un accéléromètre (Myotest, Acceltec, Sion, Switzerland), conçu pour l'évaluation sur le terrain de la force musculaire, était posé à plat sur les charges, qui se déplaçaient pendant les répétitions dans un axe vertical. Le Myotest permet une mesure valide et reproductible de la force, de la vitesse et de la puissance musculaire (Caruso et al. 2012, Comstock et al. 2011).

La vitesse maximale obtenue pour chaque charge lors de la première répétition a été utilisée pour établir la relation charge-vitesse. La charge maximale, ou charge théorique à vitesse nulle, a été déterminée grâce à l'équation de régression de la relation charge-vitesse. Le 1RM a ensuite été estimé grâce à l'équation (Jidovtseff et al. 2011) :

$$1\text{-RM} = (0,871 \times \text{charge théorique à vitesse nulle}) - 0,624$$

Deux exemples sont illustrés dans la **Figure 6**. La charge maximale de la presse à cuisse étant limitée à 200 kg, il est arrivé que cette charge soit insuffisante pour déterminer directement le 1RM (**Figure 6 B**). L'utilisation du Myotest a alors permis d'estimer le 1RM.

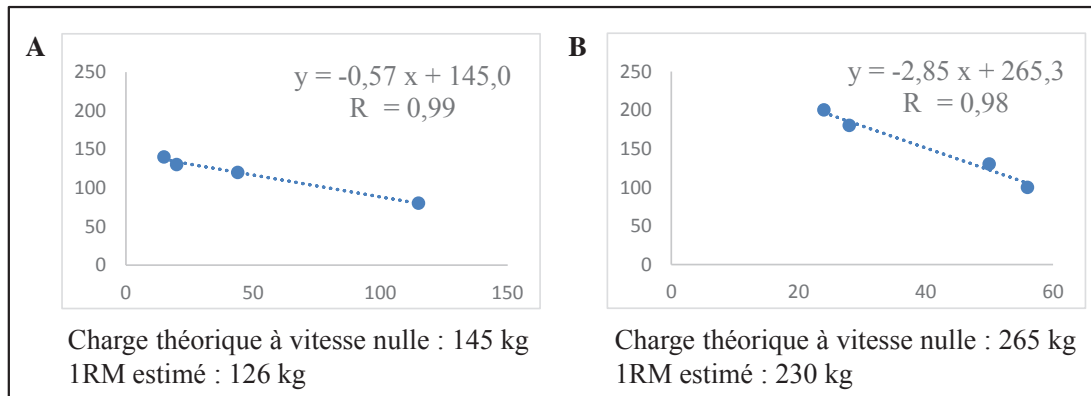


Figure 6 – Exemple de l'estimation du 1RM à partir de la relation charge-vitesse

Le 1-RM était exprimé en valeur absolue (kg) et en valeur relative à la masse corporelle (kg.kg^{-1}) et à la masse maigre des membres inférieurs ou supérieurs (kg.kgMM^{-1}).

Capacité cardiorespiratoire

Le $\dot{V}O_{2\text{pic}}$ a été mesurée par calorimétrie indirecte (Cardiac Assessment System for Exercise, CASE, GE Medical Systems Information Technologies Inc.) lors d'une épreuve d'effort maximal réalisée sur un ergocycle (GE Healthcare). Le protocole d'épreuve d'effort consistait à augmenter progressivement l'intensité (+ 30 W toutes les 2 minutes) jusqu'à épuisement (Dao et al. 2004). L'électrocardiogramme était enregistré en continu et interprété par un médecin du sport. La pression artérielle systolique et diastolique était mesurée toutes les deux minutes. Le $\dot{V}O_{2\text{pic}}$ était défini comme la plus haute de valeur de $\dot{V}O_2$ atteinte pendant le test. Le $\dot{V}O_{2\text{pic}}$ était exprimé en valeur absolue (L.min^{-1}), relative à la masse corporelle ($\text{mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$) et à la masse maigre ($\text{mL.kgMM}^{-1}.\text{min}^{-1}$).

AP habituelle et temps sédentaire

L'AP habituelle et le temps sédentaire ont été évalués avec un accéléromètre Actigraph GT3x (Manufacturing Technology, Inc., FL, USA). Les données étaient recueillies à une fréquence de 60 Hz puis converties à l'aide du logiciel ActiLife en coups.minute⁻¹. Chaque accéléromètre était initialisé en indiquant la date de naissance, la masse corporelle et la taille des participantes puis il était délivré en main propre aux participantes par un éducateur sportif

participant à l'étude. Il était demandé aux participantes de porter l'accéléromètre à la taille en utilisant la ceinture élastique fournie. L'accéléromètre devait être porté pendant 7 jours consécutifs, du réveil au coucher, en le retirant pour la douche ou les activités aquatiques. Lors du retour des accéléromètres, la validité des données était vérifiée par un éducateur sportif. En cas de données invalides, il était demandé aux participantes de porter de nouveau l'accéléromètre pour atteindre un nombre de jours suffisant (Jakicic et al. 2010).

Les données étaient considérées valides lorsque l'accéléromètre avait été porté au moins 4 jours, pendant au moins 8 heures par jour (Bond et al. 2010a, Unick et al. 2012). Le temps de port était calculé en soustrayant le nombre total de minutes dans une journée (1 440 minutes) par le nombre de minutes de non-port, lui-même défini comme toute période d'une durée supérieure ou égale à 60 minutes avec une valeur égale à 0 coups.minute⁻¹ (en permettant un intervalle de 1 à 2 minutes avec une valeurs de coups.minute⁻¹ comprise en 1 et 100) (Peeters et al. 2013).

Le nombre de coups.minute⁻¹ était calculé à partir de l'axe vertical en divisant le nombre total de coups par la durée de port de l'accéléromètre. Les seuils de Freedson ont été utilisés pour définir la sédentarité (< 100 coups.minute⁻¹), l'AP d'intensité légère (100 à 1 951 coups.minute⁻¹), l'AP d'intensité modérée (1 952 à 5 723 coups.minute⁻¹) et l'AP d'intensité élevée ($\geq 5\,724$ coups.minute⁻¹) (Freedson et al. 1998). Le temps sédentaire et la durée de l'AP d'intensité légère, modérée et élevée ont été calculés en additionnant chaque minute passée dans la catégorie d'intensité correspondante. L'AP d'intensité modérée à élevée (MVPA) correspond à la somme de l'AP d'intensité modérée et élevée, et l'AP totale à la somme de l'AP d'intensité légère et des MVPA. Le nombre de pas total était fourni par le logiciel ActiLife. Comme cela a été décrit précédemment, le nombre de pas « censurés » a été calculé en excluant les pas correspondant à une intensité inférieure à 500 coups.minute⁻¹ (Tudor-Locke et al. 2010).

Afin de décrire les profils d'accumulation de l'AP et de la sédentarité, des sessions prolongées de durées différentes ont été analysées. Les sessions de MVPA ont été définies comme 5, 10 ou 30 minutes consécutives passées au-dessus du seuil d'intensité modérée, avec une tolérance de 2 minutes en-dessous du seuil. Pour faciliter la lecture, nous les nommerons sessions de MVPA ≥ 5 min, MVPA ≥ 10 min et MVPA ≥ 30 min. Les sessions de sédentarité ont été définies comme 10, 30 ou 60 minutes consécutives passées en-dessous du seuil de sédentarité

(sessions de sédentarité ≥ 10 min, sédentarité ≥ 30 min et sédentarité ≥ 60 min). Les coupures dans la sédentarité ont été définies comme une période d'AP (au moins 100 coups.minute⁻¹ pendant plus d'1 minute) succédant immédiatement une période de sédentarité (moins de 100 coups.minute⁻¹ pendant au moins 1 minute) (Tremblay et al. 2017).

Calcul de nouveaux seuils d'intensité individuels

Les données recueillies avec l'accéléromètre Actigraph ont fait l'objet d'une analyse complémentaire réalisée en utilisant de nouveaux seuils d'intensité (exprimés en coups.min⁻¹). Pour cela, nous nous sommes appuyés sur l'équation de prédiction publiée par Freedson et coll. (1998) : $MET = 1,439008 + (0,000795 \times \text{coups.min}^{-1})$ (Freedson et al. 1998).

Ces auteurs avaient initialement utilisé des repères d'intensité absolue (3 MET et 6 MET) pour définir les seuils d'intensité modérée et élevée. Pour ce travail, nous avons utilisé des repères d'intensité relative, c'est-à-dire exprimée en pourcentage du $\dot{V}O_{2pic}$ (52 % et 68 % du $\dot{V}O_{2pic}$ pour les seuils d'intensité modérée et élevée) (Garber et al. 2011). Des seuils d'intensité ont été calculés pour chaque participante en prenant en compte la valeur de $\dot{V}O_{2pic}$ mesurées lors de l'épreuve d'effort maximal.

Apports alimentaires, qualité de vie

Les apports alimentaires ont été évalués par une diététicienne au cours d'une enquête alimentaire. Les paramètres suivants ont été évalués : apports quotidiens en protéines, lipides et glucides (exprimé en g.jour⁻¹ et pour les protéines en g.kg⁻¹.jour⁻¹), apport énergétique total (kJ.jour⁻¹) et apport hydrique (L.jour⁻¹). Pour les patientes du groupe PRO et PRO+EX, l'apport supplémentaire en protéines était évalué au cours de l'enquête alimentaire et en comptant le nombre de boîtes de poudre de protéines vides rapportée par les patientes.

La qualité de vie a été évaluée à l'aide du questionnaire SF-36 (Leplege et al. 1998). Il s'agit d'un questionnaire générique de qualité de vie comprenant 36 questions et décrivant 8 dimensions de la qualité de vie : activité physique, limitations dues à l'état physique, douleurs physiques, santé perçue, vitalité, vie et relation avec les autres, limitations dues à l'état psychique, santé psychique et évaluation de la santé perçue. Un score physique et un score mental ont été calculés à partir de ces 8 dimensions. Les scores peuvent varier entre 0 (faible qualité de vie) et 100 (bonne qualité de vie).

2-1-5- Calendrier des évaluations

Les données cliniques, biologiques et de composition corporelle ont été mesurées à chacune des visites (**Tableau 22**). En revanche, la force musculaire, la capacité cardiorespiratoire et l'AP habituelle ont été mesurées uniquement lors de la visite préopératoire ainsi que 6 mois et 5 ans après l'opération.

Tableau 22 – Calendrier des évaluations pour l'étude PROMISE

	Pré	1 mois	3 mois	6 mois	1 an	≥ 5 ans
Données cliniques	x	x	x	x	x	x
Données biologiques	x	x	x	x		x
Composition corporelle	x	x	x	x	x	x
Force musculaire	x			x		x
Capacité cardiorespiratoire	x			x		x
AP habituelle	x			x		x
Qualité de vie	x			x		x

2-1-6- Analyses statistiques

Pour mesurer l'efficacité des interventions proposées, nous avons appliqué des modèles linéaires mixtes permettant de déterminer l'effet groupe, l'effet temps et l'interaction entre les facteurs groupe et temps. Les données préopératoires sont présentées comme des moyennes (écart-type). L'évolution des données au cours du temps et selon les groupes sont présentées comme des moyennes (IC 95 %).

Ces modèles n'ayant pas montré de différence significative dans l'évolution du $\dot{V}O_{2pic}$ et de l'AP habituelle entre les groupes CON, PRO et PRO+EX, des analyses descriptives ont ensuite été réalisées. Ces analyses consistaient à décrire l'évolution de ces paramètres chez l'ensemble des patientes incluses. L'évolution spontanée de la force musculaire après un by-pass est en revanche présentée uniquement pour les participantes du groupe CON.

Les données présentées sont les médianes (25^e-75^e percentile). La majorité des variables ne suivant pas une distribution normale, des tests non paramétriques ont été réalisés pour comparer les données pré et post-opératoires. Les données mesurées au 6^e mois post-opératoires ont été comparées avec les données préopératoires à l'aide d'un test de Wilcoxon (variables continues) ou d'un test de McNemar (variables catégorielles). Un test de Mann-Whitney a également été réalisé pour évaluer si l'évolution du $\dot{V}O_{2pic}$ différait chez les participants dont l'AP diminuait ou augmentait après la chirurgie. Des $P < 0,05$ étaient considérés comme statistiquement significatifs. L'évolution des données après 5 ans de suivi

était évaluée à l'aide d'une ANOVA à mesures répétées puis par des tests deux-à-deux (test de Tukey-Kramer) lorsque l'évolution au cours du temps était significative.

Pour analyser les relations entre l'AP préopératoire ($\text{coups}\cdot\text{min}^{-1}$, durée de MVPA, d'AP d'intensité légère et de sédentarité) et les paramètres de composition corporelle, de $\dot{V}O_2\text{pic}$ et de force musculaire, des corrélations de Spearman ont été réalisées. Pour analyser les relations entre l'AP préopératoire et le changement de ces paramètres à 6 mois du *bypass*, des corrélations de Spearman ont été réalisées en ajustant sur l'âge et l'IMC préopératoire. Enfin, pour analyser les relations entre l'AP préopératoire ou au 6^e mois post-opératoire et le changement de composition corporelle et de capacité physique à 5 ans du *bypass*, des corrélations de Spearman ont été réalisées en ajustant sur l'âge, l'IMC préopératoire et la durée du suivi.

L'analyse complémentaire des données d'AP utilisant de nouveaux seuils d'intensité relative a été réalisée sur les données préopératoires uniquement. Les valeurs des nouveaux seuils d'intensité modérée et élevée ont été comparées aux seuils de Freedson à l'aide du test de Wilcoxon. Les données d'AP obtenues avec ces nouveaux seuils ont été comparées aux données obtenues avec les seuils de Freedson, également à l'aide du test de Wilcoxon. Enfin, les patientes considérées comme suffisamment ou insuffisamment actives en utilisant les nouveaux seuils ou les seuils de Freedson ont été comparées à l'aide d'un test de McNemar.

2-2- Étude FAMOUS

2-2-1- Présentation générale de l'étude

L'étude FAMOUS (*Fitness, Physical Activity and Movement analysis in Obese patients Undergoing Sleeve gastrectomy*) est une étude transversale mise en place entre octobre 2017 et juillet 2018. L'étude avait pour objectif de quantifier l'AP habituelle, la capacité cardiorespiratoire et la fonction musculaire de femmes candidates à une *sleeve*. L'étude FAMOUS a été menée en collaboration entre deux services hospitaliers et un laboratoire de recherche : le service de Nutrition de l'hôpital Pitié-Salpêtrière (AP-HP), le service de Médecine Physique et de Réadaptation de l'hôpital Rothschild (AP-HP) et le laboratoire Bioingénierie, Tissus et Neuroplasticité (BIOTN, Université Paris-Est Créteil).

2-2-2- Population

La population d'étude était constituée de femmes âgées de 18 à 65 ans candidates à une sleeve gastrectomie et suivies dans le service de Nutrition de l'hôpital Pitié-Salpêtrière (AP-HP). Pour être incluses dans l'étude, les patientes devaient répondre aux critères suivants :

- patiente correspondant aux critères d'indication de la chirurgie bariatrique telles que définies par les recommandations de la HAS (Haute Autorité de Santé 2009) et pour lequel un avis favorable à la réalisation d'une chirurgie bariatrique a été donnée lors d'une réunion de concertation pluridisciplinaire dans le service de Nutrition,
- avec une obésité massive ($IMC \geq 40 \text{ kg.m}^{-2}$) ou avec une obésité sévère (IMC entre 35 et 40 kg.m^{-2}) et des comorbidités,
- après consentement éclairé remis par écrit.

Les patientes ne pouvaient être incluses si elles répondaient à l'un des critères suivants :

- non affiliée à un régime de sécurité sociale (bénéficiaire ou ayant droit),
- sujet sous tutelle ou curatelle,
- toute maladie ou contexte psychosocial rendant un suivi régulier prolongé impossible, ce qui représente également une contre-indication à la chirurgie bariatrique,
- participation à un programme supervisé d'AP,
- maladie orthopédique sévère,
- neuropathie invalidante,
- accident coronarien récent < 6 mois (syndrome coronarien aigu),

- dépistage d'une ischémie myocardique ou trouble du rythme sévère sur l'épreuve d'effort cardiaque préopératoire,
- femme enceinte.

L'étude FAMOUS a inclus 23 patientes entre octobre 2017 et juillet 2018.

2-2-3- Critères d'évaluation et méthodes de mesure

Données cliniques et biologiques, composition corporelle, capacité cardiorespiratoire

Les données cliniques, biologiques, de composition corporelle et la capacité cardiorespiratoire ont été mesurées de la même façon que pour le protocole PROMISE.

AP habituelle

L'AP habituelle et le temps sédentaire ont été évalués avec deux accéléromètres : l'accéléromètre Actigraph GT3x (Manufacturing Technology, États-Unis) et l'accéléromètre activPAL (PAL Technologies, Royaume-Uni).

- **Accéléromètre Actigraph**

L'accéléromètre Actigraph a été utilisé selon le même protocole que celui utilisé dans l'étude PROMISE.

- **Accéléromètre activPAL**

Chaque accéléromètre a été initialisé puis délivré en main propre aux participantes. Il leur était demandé d'attacher l'accéléromètre à l'aide des sparadraps fournis sur la face antérieure de la cuisse droite, à environ un tiers de la distance entre la hanche et le genou (**Figure 7**). L'accéléromètre activPAL devait être porté pendant 7 jours consécutifs, y compris la nuit, en le retirant pour les activités aquatiques. Le sparadrap étant parfaitement étanche, l'accéléromètre pouvait en revanche être porté sous la douche. Un guide d'utilisation a été fourni aux participantes. Un journal de bord était également fourni afin de noter l'heure à laquelle l'accéléromètre avait été posé, des informations concernant d'éventuels retraits de l'accéléromètre pendant la semaine d'enregistrement (heure de retrait, heure de pose, raison du retrait), ainsi que, chaque jour, les heures de réveil et d'endormissement.

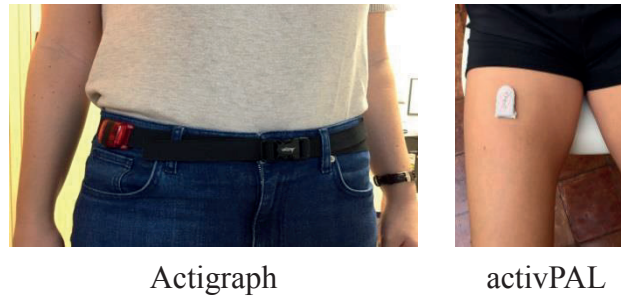


Figure 7 – Positionnement des accéléromètres

Une journée était considérée comme valide si les participantes déclaraient dans le journal de bord une durée de port de l'accéléromètre supérieure à 10 heures par jour (Edwardson et al. 2017). Pour les participantes n'ayant pas renseigné le journal de bord, une analyse visuelle des données a permis de déterminer la validité d'une journée de port. Les données étaient considérées comme valides lorsque l'accéléromètre avait été porté au moins 4 jours. Les données ont été analysées à l'aide du logiciel activPAL. La durée de marche quotidienne, exprimée en min.jour^{-1} , correspondait à la somme des minutes de marche, quelle que soit la cadence de marche. Le nombre absolu et le pourcentage de pas réalisés à différentes cadences (1 à 20 pas.min^{-1} , 20 à 39 pas.min^{-1} , 40 à 59 pas.min^{-1} , 60 à 79 pas.min^{-1} , 80 à 99 pas.min^{-1} , 100 à 119 pas.min^{-1} et $\geq 120 \text{ pas.min}^{-1}$) étaient calculés. Le seuil de $\geq 100 \text{ pas.min}^{-1}$ a été utilisé pour identifier la marche d'intensité modérée (Tudor-Locke et al. 2018).

- **Questionnaire d'AP**

Le questionnaire STAQ (Sedentary, Transportation, and Physical Activity Questionnaire) a été utilisé pour évaluer l'AP et la sédentarité (Mensah et al. 2016). Ce questionnaire, adapté du RPAQ (Recent Physical Activity Questionnaire) (Besson et al. 2010), comprend des questions sur les activités professionnelles, domestiques, de loisir et de transport pratiquées au cours des quatre semaines précédentes (**Annexe 1**). Les activités professionnelles étaient évaluées à l'aide de deux questions (temps de travail hebdomadaire et type de travail : sédentaire assis, sédentaire debout, travaux manuels, travaux manuels intenses). Les activités physiques domestiques étaient évaluées par une question unique (durée hebdomadaire). Les activités de transport étaient évaluées par deux questions (fréquence hebdomadaire, durée de déplacement) pour cinq types de transport (marche, vélo, voiture, transports en commun et autres transports mécaniques) et pour trois types de déplacements (pour aller au travail, au cours de la journée de travail, transports utilitaires). Les AP de loisir étaient, elles, évaluées via deux questions (fréquence mensuelle ou hebdomadaire, durée de chaque session). Enfin,

le temps passé assis au travail, dans les transports et pendant le temps libre étaient évaluées. La sédentarité au cours du temps libre était analysée plus en détail à l'aide de quatre questions portant sur le temps passé devant la télévision, un ordinateur ou une console de jeux actif et le temps consacré à la lecture.

Force et puissance musculaire

La force et la puissance musculaire ont été évaluées à l'aide d'un ergomètre isocinétique et d'une plateforme de force (Kistler).

- **Ergomètre isocinétique**

Des mesures de couple de force maximal isométrique (à vitesse nulle) et isocinétique (à vitesse angulaire constante) ont été effectuées sur un ergomètre isocinétique Con-Trex (CMVAG, Dübendorf, Suisse). Les articulations du genou et de la cheville ont été évaluées. L'ergomètre Con-Trex est composé d'un siège réglable électriquement (longueur d'assise, inclinaison du dossier), d'une unité de contrôle associée à un ordinateur et un écran de contrôle, et d'un ergomètre imposant les résistances et permettant d'évaluer les couples de force (**Figure 8**).



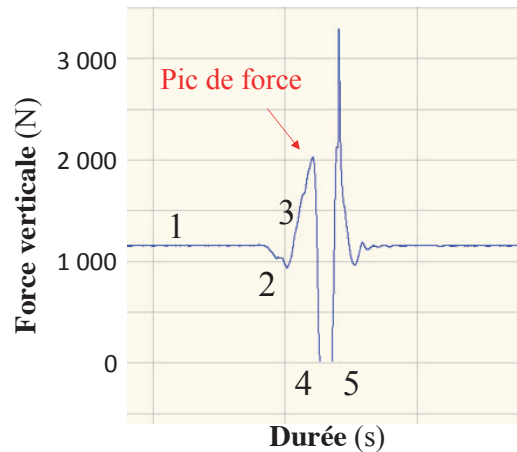
Figure 8 – Ergomètre isocinétique Con-Trex

Les participantes étaient assises sur le siège de manière à ce que la hanche soit fléchie à 85° (0° = extension complète de hanche). Le genou était fléchi à 70° et à 40° (0° = extension complète de genou) pour évaluer respectivement les couples de force isométrique des muscles extenseurs et fléchisseurs du genou. Pour les contractions isocinétiques, l'amplitude de mouvement était de 10° à 90°. Pour évaluer les couples de force isométriques des muscles extenseurs et fléchisseurs de la cheville, le genou était en extension complète et la cheville à 0° de flexion (pied perpendiculaire au tibia).

Les contractions isocinétiques ont été réalisées à vitesse lente ($60^{\circ} \cdot s^{-1}$) et rapide ($240^{\circ} \cdot s^{-1}$). Trois contractions maximales ont été réalisées à $60^{\circ} \cdot s^{-1}$ et 5 contractions à $240^{\circ} \cdot s^{-1}$. Pour l'ensemble des contractions isométriques, 2 essais ont été réalisés, avec un 3^{ème} essai possible si l'écart entre les deux premiers essais était supérieur à 10 %. Les couples de force maximaux ont été retenus pour les analyses.

• Plateforme de force

Une plate-forme de force (Kistler, Winterthur, Suisse) a été utilisée pour évaluer la performance lors d'un saut vertical avec contre-mouvement. Le test débutait en position debout, les mains sur les hanches, et consistait à fléchir les genoux puis à sauter le plus haut possible. La plateforme de force mesurait les forces appliquées au sol dans le plan vertical, antéro-postérieur et médio-latéral, avec une fréquence de recueil de 1 000 Hz. À partir de cette mesure de force, et en prenant en compte la masse corporelle, il est possible de calculer l'accélération ($m \cdot s^{-2}$), la vitesse ($m \cdot s^{-1}$) et le déplacement du centre de masse du sujet (m) dans ces 3 axes. La puissance peut également être calculée puisqu'elle correspond au produit de la force et de la vitesse. Les valeurs obtenues dans l'axe vertical ont été analysées. La **Figure 9** montre un exemple de tracé de force produite lors d'un saut vertical.



1- Position de départ, 2- Flexion, 3- Impulsion, 4- Décollage, 4 à 5- Temps de vol.

Figure 9 – Force appliquées au sol (axe vertical) lors d'un saut vertical

Deux sauts ont été réalisés, avec un 3^{ème} essai possible si l'écart entre les deux premiers essais était supérieur à 10 %. Le saut avec la puissance la plus élevée a été retenu pour les analyses.

Stabilité posturale

La stabilité posturale a été évaluée à l'aide d'une plateforme de force Satel (Blagnac, France). La plateforme de force mesure avec une fréquence de 40 Hz les forces appliquées au sol dans les 3 plans de l'espace et en déduit la localisation et les déplacements du centre de pression en fonction du temps (**Figure 10 A-D**). Les principales données synthétiques fournies par le logiciel Satel associé à la plateforme de force sont présentés dans le **Tableau 23**.

Tableau 23 – Paramètres de stabilité posturale mesurés par la plateforme de force Satel

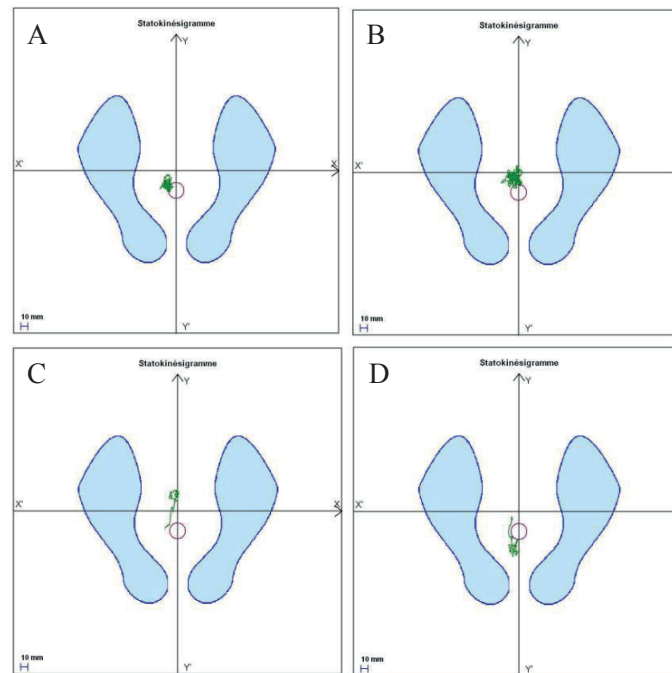
Paramètres	Définition
X moyen (mm)	Position moyenne du CP dans l'axe médio-latéral
Y moyen (mm)	Position moyenne du CP dans l'axe antéro-postérieur
Longueur X (mm)	Longueur des déplacements du CP dans l'axe médio-latéral
Longueur Y (mm)	Longueur des déplacements du CP dans l'axe antéro-postérieur
Longueur totale (mm)	Longueur totale des déplacements du CP
Surface (mm ²)	Surface des déplacements du CP
Vitesse (mm.s ⁻¹)	Vitesse des déplacements du CP
Amplitude X (mm)	Amplitude des déplacements du CP dans l'axe médio-latéral
Amplitude Y (mm)	Amplitude des déplacements du CP dans l'axe antéro-postérieur
Coefficient de Romberg	Rapport de la surface des déplacements du CP les yeux fermés et ouverts

Deux types de tests ont été réalisés :

- un test d'équilibre en position orthostatique, d'une durée de 52 s, réalisé les yeux ouverts puis les yeux fermés,
- un test d'excursion maximale antérieure et postérieure, d'une durée de 12,8 s, consistant à se pencher le plus possible en avant et en arrière grâce à un mouvement de rotation autour des chevilles, sans décoller les talons ou les orteils.

Pour chacun des tests, la position des participantes était standardisée à l'aide de cales selon les normes proposées par l'Association Française de Posturologie (Mouzat et al. 2005) : en position debout, les talons étaient écartés de 2 cm et les deux pieds formaient un angle de 30°. Les cales étaient retirées avant le début du test. Pour le test d'excursion maximale, un ou deux expérimentateurs contrôlaient l'alignement de la tête, du grand trochanter et de la malléole latérale et l'absence de décollement des talons et des orteils.

L'amplitude des déplacements maximaux antérieurs et postérieurs était exprimée de façon relative à la longueur des pieds (Colne et al. 2008).



Test en équilibre orthostatique les yeux ouverts (A) et fermés (B),
test d'excursion maximale antérieure (C) et postérieure (D)

Figure 10 – Représentation des déplacements du centre de pression lors des tests de stabilité posturale

Stabilité dynamique

Les paramètres spatiotemporels de la marche ont été analysés à l'aide d'un tapis de marche électronique GaitRite® (longueur 7 m x largeur 90 cm x épaisseur 0,6 cm). Ce tapis comprend de très nombreux capteurs de pression (23 040 capteurs) répartis sur une longueur de 6,10 m et une largeur de 61 cm. La fréquence d'acquisition des données est de 120 Hz. Les capteurs de pression sont activés lors du contact du pied au sol et désactivés lors du décollement du pied, permettant ainsi une analyse des paramètres de la marche au cours du temps (Hollman et al. 2011). Les principaux facteurs spatiaux mesurés par le GaitRite étaient (**Figure 11**) :

- la longueur du pas (distance parcourue depuis le premier contact d'un pied jusqu'au premier contact de l'autre pied, en cm),
- la longueur du cycle (distance parcourue depuis le premier contact des deux empreintes successives pour le même pied, en cm),
- le support de base (distance entre le centre de pression du talon et la ligne de progression du pied opposé, en m),
- l'orientation des pieds (angle entre la ligne de progression et la ligne raccordant le centre de pression du talon au centre de pression de l'avant du pied, en degrés).

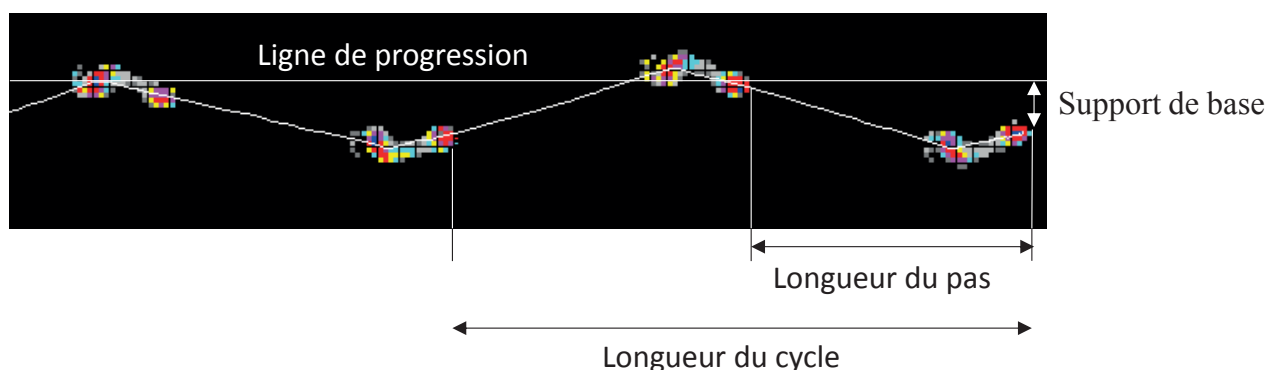


Figure 11 – Principaux paramètres spatiaux mesurés par le tapis GaitRite

Les paramètres temporels sont présentés dans le **Tableau 24**. Tous ces paramètres, à l'exception de la vitesse et la cadence, sont bilatéraux (mesurés pour chacun des pieds).

Tableau 24 – Paramètres temporels mesurés par le tapis GaitRite

Paramètres	Définition
Vitesse ($\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$)	Distance parcourue divisée par le temps de marche
Cadence ($\text{pas}\cdot\text{min}^{-1}$)	Nombre de pas réalisés pendant le temps de marche
Durée du pas (s)	Temps écoulé entre le premier contact d'un pied et le premier contact de l'autre pied
Durée du cycle (s)	Temps écoulé entre le premier contact des deux empreintes successives pour le même pied
Temps d'appui (s)	Temps écoulé entre le premier contact d'un pied et le dernier contact du même pied
Temps d'oscillation (s)	Temps écoulé entre le dernier contact d'un pied et le premier contact du même pied lors du pas suivant
Temps de simple appui (s)	Temps écoulé pendant lequel un seul pied est en contact avec le sol
Temps de double appui (s)	Temps écoulé pendant lequel les deux pieds sont en contact avec le sol
Temps d'appui (%)	Temps d'appui normalisé (exprimé en % de la durée du cycle)
Temps d'oscillation (%)	Temps d'oscillation normalisé (exprimé en % de la durée du cycle)
Temps de simple appui (%)	Temps de simple appui normalisé (exprimé en % de la durée du cycle)
Temps de double appui (%)	Temps de double appui normalisé (exprimé en % de la durée du cycle)

Le test consistait à traverser le tapis pieds nus en marchant à une vitesse confortable puis à une vitesse rapide. Il était demandé aux participantes de poursuivre la marche pendant après le tapis afin de minimiser un potentiel effet de décélération (Hollman et al. 2011). Pour chaque vitesse, deux essais ont été réalisés ; celui réalisé avec la vitesse la plus élevée a été retenu pour les analyses.

Les paramètres spatiotemporels sont sensibles à la vitesse de marche. Afin de tenir compte de la vitesse de marche, les données ont été normalisées, c'est-à-dire exprimées en pourcentage de la durée du cycle de marche (Blaszczyk et al. 2011).

Capacité physique fonctionnelle

La capacité physique fonctionnelle a été mesurée lors d'un test de marche de 6 minutes. Le test a été réalisé selon les recommandations de l'American Thoracic Society (American Thoracic Society et al. 2003). Il était demandé aux participantes de marcher la plus grande distance possible en réalisant des allers et retours entre deux plots séparés de 30 m. Un examinateur était placé derrière l'un des plots, et indiquait à chaque passage aux participantes la durée restante. La fréquence cardiaque était enregistrée pendant le test à l'aide d'une montre cardiofréquence-mètre Polar M200 (Polar Electro Oy, Kempele, Finlande) mesurant la fréquence cardiaque à l'aide d'un module optique (Horton et al. 2017). La perception de l'effort était mesurée immédiatement après le test à l'aide d'une échelle visuelle analogique (0 indiquant un effort nul et 10 un effort maximal). La distance parcourue, le nombre d'arrêts au cours du test, la fréquence cardiaque maximale et moyenne et la perception de l'effort ont ainsi été enregistrés.

Douleurs articulaires, fatigue, qualité de vie

Les douleurs articulaires ont été évaluées à l'aide du questionnaire auto-administré WOMAC (Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index) (Bellamy et al. 1988). Ce questionnaire comprend 24 questions classées en 3 domaines : la douleur, la raideur et la fonction (**Annexe 2**). Une échelle de 0 (nulle) à 4 (extrême) permet de répondre aux questions. Un score total et un score pour chaque domaine ont été calculés en additionnant les scores des différentes questions.

La fatigue a été évaluée à l'aide du questionnaire auto-administré MFI-20 (Multidimensional Fatigue Inventory-20) (Gentile et al. 2003). Ce questionnaire comprend 20 questions classées en 4 domaines : fatigue générale, fatigue mentale, réduction de motivation et réduction d'activités (**Annexe 3**). Une échelle de 1 (Oui, c'est vrai) à 5 (Non, ce n'est pas vrai) permet de répondre aux questions. Un score total et un score pour chaque domaine ont été calculés en additionnant les scores des différentes questions.

Le questionnaire SF-36 a été utilisé selon les mêmes modalités que dans l'étude PROMISE.

2-2-4- Analyses statistiques

La majorité des variables ne suivant pas une distribution normale, les données présentées sont les médianes (25^e-75^e percentile).

Les données d'AP recueillies par les accéléromètres Actigraph et activPAL et par le questionnaire STAQ ont été comparées à l'aide de différents tests. Les moyennes étaient comparées à l'aide du test de Wilcoxon. Les relations entre les mesures étaient analysées avec des corrélations de Spearman. Enfin, la concordance entre deux méthodes de mesure a été analysée graphiquement en utilisant la méthode de Bland-Altman.

Pour analyser les relations entre les paramètres de la composition corporelle, de l'AP habituelle et de la capacité physique, des corrélations de Spearman ont été réalisées. Les données présentées sont le coefficient de corrélation r [valeur-P].

Les données de force et de puissance musculaire développées sur la plateforme de force ont fait l'objet d'une analyse spécifique. La reproductibilité des mesures lors de deux sauts successifs a été évaluée en calculant le coefficient de corrélation intra-classe. La validité de la mesure de force et de puissance sur la plateforme de force a été évaluée en analysant 1) les relations avec les couples de force isocinétiques et isométrique (l'ergomètre isocinétique étant considéré comme la méthode de référence de mesure de la force des membres inférieurs), 2) les relations avec la masse maigre. Ces variables suivant une distribution normale, des corrélations de Pearson ont été réalisées.

Pour l'ensemble des tests, une valeur de $P < 0,05$ a été retenue pour juger un résultat statistiquement significatif.

3- Évaluation d'un programme d'activité physique chez des patients obèses atteints d'un syndrome de Prader-Willi

3-1- Étude APA-PWS

3-1-1- Présentation générale de l'étude

Il s'agit d'une étude avant-après dont l'objectif principal était d'évaluer l'efficacité d'un programme d'AP adaptée chez des patients obèses souffrants d'un syndrome de Prader-Willi. L'objectif secondaire était d'évaluer la validité externe ou *transférabilité* de ce programme, c'est-à-dire sa capacité à être mis en place et maintenu avec la même efficacité dans des conditions de vie réelle (Glasgow et al. 1999). L'étude a débuté en février 2016 et se terminera en septembre 2018. Les partenaires impliqués dans cette étude étaient le service de Nutrition de l'hôpital Pitié-Salpêtrière (centre recruteur), l'Institut Hospitalo-Universitaire ICAN (Institut Cardiométabolisme et Nutrition) (lieu des évaluations) et l'association Siel Bleu (responsable de la mise en place de l'intervention).

L'intervention consistait en un programme d'entraînement de 16 semaines comprenant 2 séances par semaine d'1 heure. Les séances étaient individuelles et toutes encadrées par un éducateur sportif de l'association Siel Bleu. Les participants étaient encadrés tout au long du programme par le même éducateur sportif. Les séances comprenaient 10 minutes d'échauffement, 30 minutes d'activités d'endurance d'intensité modérée, 15 minutes de renforcement musculaire et d'exercices d'équilibre et 5 minutes de retour au calme. Les évaluations étaient réalisées avant l'entraînement, immédiatement après les 16 semaines d'entraînement puis 16 semaines après la fin de l'entraînement.

3-2- Population

La population d'étude était constituée de femmes et d'hommes âgés de 18 à 60 ans présentant un SPW et suivis dans le service de Nutrition de l'hôpital Pitié-Salpêtrière au sein du Centre de Référence Maladies Rares syndrome de Prader-Willi de l'adulte (AP-HP). Ces participants ont tous bénéficié du programme d'entraînement (groupe exercice, EX). Pour être inclus dans l'étude, les participants devaient répondre aux critères suivants :

- SPW confirmé par un diagnostic génétique,

- $IMC \geq 30 \text{ kg.m}^{-2}$ ou pourcentage de masse grasse $\geq 35 \%$ de la masse corporelle totale chez l'homme et 40% de la masse corporelle totale chez la femme,
- traitement médical non modifié depuis au moins 2 mois (hormone de croissance, substitution gonadotrope, thyroïdienne, corticotrope, psychotropes, etc),
- entourage présent,
- après consentement éclairé remis par écrit.

Les patients ne pouvaient être inclus s'ils répondaient à l'un des critères suivants :

- sujet dans une situation qui selon l'avis de l'investigateur, pourrait interférer avec sa participation optimale à l'étude ou constituer un risque particulier pour le patient,
- femme enceinte,
- sujet en période d'exclusion après une participation à un autre essai clinique.

L'étude a inclus 16 patients dans le groupe EX entre février 2010 et janvier 2018.

Un groupe témoin (CON) a été constitué pour les femmes. Les participantes étaient sélectionnées parmi les participantes à l'étude PROMISE. Elles étaient appariées sur l'âge et le pourcentage de masse grasse préopératoire. Deux participantes CON ont été sélectionnées pour chaque participante du groupe EX.

3-3- Méthodes d'évaluation

Pour les participantes du groupe EX, les mêmes mesures étaient réalisées avant l'intervention, immédiatement (16 semaines) et à moyen terme après l'intervention (32 semaines).

Données cliniques, composition corporelle

Les données cliniques suivantes ont été recueillies : données anthropométriques (masse, taille, IMC, tour de taille, évolution récente de la masse), pression artérielle, fréquence cardiaque de repos, informations concernant les traitements médicamenteux ou appareillages (prise d'un traitement pour hypogonadisme, insuffisance somatotrope, hypothyroïdie, narcolepsie, troubles du comportement, grattage, prise d'hormone de croissance pendant l'enfance, appareillage pour un SAS). La composition corporelle a été mesurée par DEXA, selon le même protocole que pour le protocole PROMISE.

AP habituelle, capacité physique fonctionnelle

L'accéléromètre Actigraph a été utilisé selon le même protocole que celui utilisé dans l'étude PROMISE. La capacité physique fonctionnelle a été évaluée à l'aide de 3 tests de terrain.

- Le test de marche de 6 minutes a été réalisé dans les mêmes conditions que dans l'étude FAMOUS. La distance parcourue a été retenue pour les analyses. La perception de l'effort a été évaluée à l'aide de l'échelle de Borg, et la fréquence cardiaque n'a pas été mesurée au cours du test.
- La force de préhension a été mesurée à l'aide du dynamomètre manuel JAMAR, selon le même protocole que dans l'étude PROMISE. Cinq essais ont été réalisés sur chaque main et la valeur la plus élevée a été retenue pour les analyses (Roberts et al. 2011).
- Un test d'équilibre en appui unipodal a été réalisé les yeux ouverts puis les yeux fermés. Il était demandé aux participants de croiser les bras devant eux, de soulever légèrement l'un des deux pieds puis de tenir le plus longtemps possible dans cette position (Verecek et al. 2008). Le chronomètre était lancé dès que le sujet test avait adopté la position du test, et était arrêté en cas de changement de position ou de repose du pied au sol. Trois essais étaient réalisés sur chaque pied dans chacune des conditions (yeux ouverts ou fermés). Le meilleur des tests dans chaque position était retenu pour les analyses.

Qualité de vie, comportement alimentaire

La qualité de vie a été évaluée à l'aide du questionnaire SF-12, une version raccourcie du SF-36 (Gandek et al. 1998). Un score physique et un score mental ont été calculés, avec des scores pouvant varier entre 0 (faible qualité de vie) à 100 (bonne qualité de vie). Le comportement alimentaire a été évalué avec le questionnaire de Dykens, spécialement conçu pour les patients présentant un SPW (Gandek et al. 1998). Ce questionnaire s'adressait aux parents ou aux éducateurs. Trois scores ont été calculés : hyperphagie, impulsions alimentaires et sévérité de l'hyperphagie, avec des scores pouvant varier respectivement de 5 à 25, de 4 à 20 et de 2 à 10.

Transférabilité du programme

La transférabilité du programme a été évaluée à l'aide de l'échelle RE-AIM qui a été utilisée à plusieurs reprises pour évaluer la transférabilité d'interventions d'AP (Bellicha et al. 2016, Matthews et al. 2014). La grille RE-AIM évalue les dimensions suivantes :

- **Reach** (participation)
 - Combien de patients ont participé au programme ?
 - Ces patients sont-ils représentatifs de l'ensemble des patients PWS ?
 - Les patients en ayant le plus besoin ont-ils participé au programme ? Le programme a-t-il touché la population cible ?

- **Effectiveness** (efficacité)
 - Quel a été l'impact du programme sur les principales variables mesurées ?
 - Le programme a-t-il eu des conséquences négatives inattendues ?
- **Adoption** (adoption)
 - Les éducateurs sportifs ayant participé au programme sont-ils représentatifs de l'ensemble des éducateurs sportifs ?
- **Implementation** (mise en place du programme)
 - Les interventions ont-elles été réalisées telles qu'elles étaient prévues ?
- **Maintenance** (maintien du programme et de l'efficacité dans le temps)
 - Quels ont été les effets à long terme du programme sur les variables mesurées ?
 - Certains patients ont-ils poursuivi les séances après la fin de l'étude ?

Les paramètres mesurés et les méthodes de recueil sont présentés dans le **Tableau 25**.

Tableau 25 – Méthodes d'évaluation de la transférabilité

Paramètres	Paramètres	Méthode de recueil
<i>Reach</i>	- Participation aux séances - Caractéristiques descriptives des patients	- Compte-rendu des éducateurs sportifs - Données cliniques
<i>Effectiveness</i>	- Données du programme - Effets secondaires éventuels - Satisfaction des patients/entourage	- Efficacité du programme - Compte-rendu des éducateurs sportifs - Échelle 1 à 5
<i>Adoption</i>	- Formation initiale des éducateurs sportifs - Formation spécifique au SPW - Expérience professionnelle - Difficulté perçue pendant les séances	- Questionnaire éducateurs sportifs
<i>Implementation</i>	- Modification du contenu des séances	- Compte-rendu des éducateurs sportifs et questionnaires
<i>Maintenance</i>	- Efficacité à moyen terme - Maintien de l'intervention	- Données du programme - Questionnaire éducateurs sportifs

3-4- Analyses statistiques

La majorité des variables ne suivant pas une distribution normale, les données présentées sont les médianes et écart-type (25^e-75^e percentile). Le test de Mann-Whitney a été utilisé pour comparer les caractéristiques initiales des hommes et des femmes participant au programme, et pour comparer les caractéristiques initiales des participantes au programme avec celles des sujets obèses témoins. Pour évaluer l'efficacité du programme, les données mesurées avant et après l'intervention ont été comparées à l'aide d'un test de Wilcoxon (variables continues) et d'un test de McNemar (variables catégorielles).

4- Exploration des motivations et des freins des médecins à prescrire un objet connecté d'activité physique aux patients présentant une maladie cardiométabolique

4-1- Étude qualitative

4-1-1- Présentation générale de l'étude et participants

Cette étude avait pour objectif de comprendre les motivations et les freins des médecins à prescrire un objet connecté d'AP aux patients présentant une maladie cardiométabolique. Une approche qualitative par entretiens individuels semi-directifs a ainsi été adoptée, en suivant les recommandations du Consolidated Criteria for Reporting Qualitative Research (COREQ) (Tong et al. 2007).

Les participants étaient des médecins hospitaliers experts du domaine des maladies cardiométaboliques (obésité, diabète de type 1 et de type 2, cardiologie, hypertension artérielle, hypercholestérolémie et prévention cardiovasculaire au sens large) et reconnus pour leur rôle de leaders d'opinion. Onze médecins exerçant dans des hôpitaux de la région Parisienne (Assistance Publique-Hôpitaux de Paris) ont été contactés entre Mars et Mai 2016 ; tous ont accepté de participer. Une stratégie d'échantillonnage dirigé a été employée afin d'obtenir des profils variés en termes de sexe, d'années d'expérience, de statut et de domaine d'expertise.

4-2- Entretiens individuels semi-directifs

Des entretiens semi-directifs d'une durée de 45 à 60 minutes ont été menés sur le lieu de travail des participants. Aucune personne extérieure n'assistait à l'entretien en dehors du participant et de l'interrogateur. Un guide d'entretien comprenant des questions ouvertes a été réalisé avant le début des entretiens. Il était demandé aux médecins d'expliquer la façon dont ils abordaient l'AP avec leurs patients, en distinguant 4 étapes du conseil d'AP : l'évaluation initiale de l'AP, la prescription, l'éducation du patient et l'accompagnement (Garber et al. 2011). Il leur était ensuite demandé de décrire leur expérience des objets connectés d'AP pour la prise en charge habituelle des patients, les motivations et freins à leur prescription, et leurs

attentes vis-à-vis de ces objets. Les entretiens étaient tous enregistrés et entièrement retranscrits. Des notes ont également été prises pendant les entretiens pour faciliter l'analyse et l'interprétation des données.

4-3- Analyse des données

Une analyse de contenu thématique a été réalisée à partir de la retranscription complète et après une lecture approfondie de tous les entretiens (Hsieh et al. 2005). Le découpage par thèmes a été réalisé *a priori* sur la base du guide d'entretien (évaluation initiale de l'AP, prescription, éducation du patient, accompagnement). Les données qui ne pouvaient pas s'inscrire dans l'un de ces thèmes ont été identifiées puis analysées pour déterminer si elles pouvaient faire l'objet d'un nouveau thème. Les choix de codage ont été discutés par les investigateurs tout au long de l'analyse. Les verbatim des médecins sont présentés dans les résultats.

Contribution personnelle aux études

Ma contribution à la revue systématique de la littérature et à la méta-analyse a porté sur la recherche bibliographique, la présentation des résultats de la revue de la littérature, la réalisation de la méta-analyse et la rédaction de l'article n°1 (Annexe 4).

La réalisation de l'étude PROMISE ayant pris place avant le début du travail de thèse, je n'ai pas contribué à la mise en place de l'intervention elle-même et au recueil des données. J'ai en revanche été chargée de l'analyse des données d'accélérométrie et de force musculaire. Les analyses statistiques présentées dans l'article n°2 (résultats de l'essai d'intervention) ont été réalisées par un membre de l'équipe, mais les analyses descriptives présentées m'ont été confiées. J'ai par ailleurs contribué à la rédaction de l'article n°2 (Annexe 5) et d'un article (soumis).

L'étude FAMOUS a été conçue et mise en place au cours du travail de thèse. Je l'ai initiée et j'ai contribué à la rédaction du dossier réglementaire, à l'inclusion des patientes, à l'organisation et à la réalisation des mesures liées à l'AP et à la capacité physique, aux analyses statistiques et à l'interprétation des résultats.

L'étude APA-PWS a également été conçue et mise en place au cours du travail de thèse. Le dossier réglementaire a été rédigé par l'investigatrice principale ; et l'inclusion des patientes et l'organisation des visites étaient confiées à une attachée de recherche clinique. Ma contribution a ainsi davantage porté sur la réalisation des mesures liées à l'AP et à la capacité physique, mais aussi aux analyses statistiques, à l'interprétation des résultats et à la rédaction d'un article (soumis).

Enfin, une étude qualitative a également été réalisée au cours du travail de thèse. J'ai ainsi participé à la rédaction des guides d'entretien, à la réalisation des entretiens semi-directifs, à la retranscription et à l'analyse des entretiens et à la rédaction de l'article n°3 (Annexe 6).

RÉSULTATS

1- Bénéfices de l'activité physique après une chirurgie bariatrique

1-1- Efficacité des programmes d'entraînement après une chirurgie bariatrique : revue de la littérature et méta-analyse

Les recommandations pour la prise en charge des patients obèses opérés d'une chirurgie bariatrique indiquent l'importance de l'AP pour optimiser les bénéfices de cette chirurgie (Mechanick et al. 2013). Les bénéfices de l'AP dans le suivi des patients opérés nécessitent cependant d'être mieux définis. Trois revues de la littérature incluant des études observationnelles ont montré une relation positive entre l'AP post-opératoire et l'amplitude de la perte de poids (Egberts et al. 2012, Jacobi et al. 2011, Livhits et al. 2012). Deux revues de la littérature incluant des études d'intervention ont suggéré un effet positif de l'entraînement sur l'évolution de la capacité cardiorespiratoire, mais n'ont pas confirmé les effets bénéfiques de l'entraînement sur l'évolution du poids et de la composition corporelle (Coen et al. 2016, Pouwels et al. 2015). Ces deux revues présentaient plusieurs limites : le nombre d'études incluses était restreint, elles ne comprenaient que les études publiées jusqu'en 2015 et certaines études n'étaient pas contrôlées, empêchant de réaliser une synthèse quantitative des résultats.

L'objectif de notre étude était de réaliser une revue de la littérature et une méta-analyse sur l'efficacité des programmes d'entraînement après une chirurgie bariatrique, en prenant en compte les études publiées après 2015 et non incluses dans les revues précédentes.

Cette étude a fait l'objet d'une publication, présentée en **Annexe 4**.

Bellicha A., Ciangura C., Poitou C., Portero P., Oppert J-M. Effectiveness of exercise training after bariatric surgery – A systematic literature review and meta-analysis. Obesity Reviews 2018 ; 28 août.

3-1-1- Caractéristiques des études

Parmi les 3 504 articles identifiés, 20 articles ont été inclus dans notre revue (**Figure 12**). Les principales caractéristiques des 20 articles sont présentées dans le **Tableau 26**. Cinq articles (Carnero et al. 2017, Castello-Simoes et al. 2013, Coen et al. 2015a, Nunez Lopez et al. 2017, Woodlief et al. 2015) ont rapporté les résultats d'une même intervention (Coen et al. 2015b), et une étude a comparé deux types d'entraînement (endurance et combinaison d'endurance et de renforcement musculaire) (Hassannejad et al. 2017a). Seize interventions ont ainsi été

incluses. Les études ont été publiées entre 2011 et 2017. Cinq études ont été réalisées aux États-Unis, 3 au Brésil, 2 en Iran et au Royaume-Uni et 1 en Autriche, Belgique et Italie. Les études étaient toutes contrôlées ; 9 études étaient randomisées et 6 non randomisées. Le nombre de participants était souvent limité. Seules 4 études ont inclus plus de 50 participants (Coen et al. 2015b, Coleman et al. 2017, Hassannejad et al. 2017a, Muschitz et al. 2016). Dix études ont inclus des femmes et des hommes, les autres ayant inclus uniquement des femmes. La technique chirurgicale était le *bypass* dans 6 études, la *sleeve* dans 1 étude, et le *bypass*, la *sleeve* ou l'anneau gastrique dans les autres études. Les paramètres les plus souvent mesurés étaient les paramètres anthropométriques (15 études), la composition corporelle (11 études), la capacité physique fonctionnelle, le $\dot{V}O_2\text{max}$ et la force musculaire dans respectivement 7, 6 et 6 études, et la qualité de vie dans 6 études. Les autres paramètres mesurés étaient l'AP habituelle (4 études), la pression artérielle, des paramètres du métabolisme glucidique et le profil lipidique (dans respectivement 4, 3 et 3 études). Les données préopératoires étaient mesurées dans 6 études.

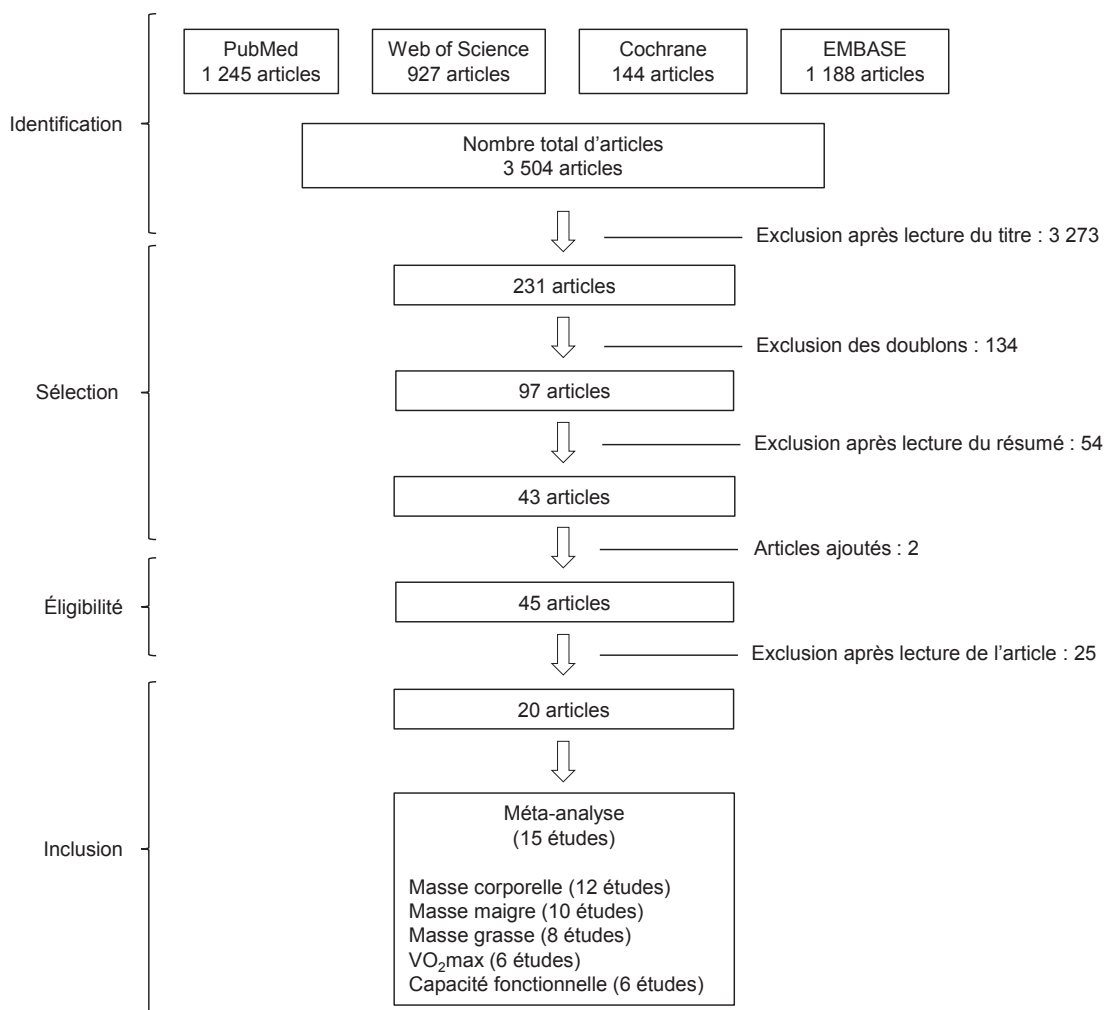


Figure 12 – Diagramme de la recherche bibliographique

Tableau 26 – Caractéristiques des études incluses (N = 20)

Auteurs	Pays	Type d'étude	Intervention (en complément de la prise en charge habituelle)	Paramètres mesurés	Méthodes de mesure correspondantes
(Castello et al. 2011)	Brésil	RCT	Type: END, 3 séances/semaine Supervision: totale	- Anthropométrie: masse, tour de taille - Composition corporelle	- Examen clinique - Plis cutanés
		BPG	Timing: 3 mois à partir du 1 ^{er} mois post-op.	- Capacité physique fonctionnelle	- TM6
(Castello-Simoes et al. 2013)	Brésil	RCT	Type: END, 3 séances/semaine Supervision: totale	- Anthropométrie: masse - Capacité physique fonctionnelle	- Examen clinique - TM6
		BPG	Timing: 3 mois à partir du 1 ^{er} mois post-op.		
(Shah et al. 2011)	USA	RCT	Type: END, 5 séances/semaine Supervision: totale	- Anthropométrie: masse, tour de taille - Composition corporelle	- Examen clinique - DEXA
		BPG, AGA	Timing: 3 mois à partir du 3 ^e -4 ^e mois post-op. + intervention comportementale	- AP - $\dot{V}O_2$ max - Dépense énergétique de repos - Métabolisme glucidique, profil lipidique - Qualité de vie	- Podomètre - Épreuve d'effort maximal - Calorimétrie indirecte - Bilan sanguin, HGPO - SF-36, IWQOL-L
(Stegen et al. 2011)	Belgique	NRCT	Type: END + RENFO, 3 séances/semaine Supervision: totale	- Anthropométrie: masse, tour de taille - Composition corporelle	- Examen clinique - Impédancemétrie bio-électrique
		BPG	Timing: 3 mois à partir du 1 ^{er} mois post-op.	- $\dot{V}O_2$ max - Force musculaire - Muscle fatigue - Capacité physique fonctionnelle	- Épreuve d'effort maximal - Test IRM, dynamomètre manuel - Dynamomètre manuel - TM6, test <i>sit-to-stand</i>
(Coen et al. 2015b)	USA	RCT	Type: END 3-5 séances/semaine Supervision: partielle	- Anthropométrie: masse, tour de taille - Composition corporelle	- Examen clinique - DEXA
		BPG	Timing: 6 mois à partir du 1 ^{er} -3 ^e mois post-op.	- $\dot{V}O_2$ max - Métabolisme glucidique, profil lipidique - Pression artérielle	- Épreuve d'effort maximal - IGTT, bilan sanguin - Examen clinique
(Coen et al. 2015a)	USA	RCT	Type: END 3-5 séances/semaine Supervision: partielle	- Anthropométrie: masse, tour de taille - Composition corporelle	- Examen clinique - DEXA
		BPG	Timing: 6 mois à partir du 1 ^{er} -3 ^e mois post-op.	- $\dot{V}O_2$ max - Métabolisme glucidique - Lipides intramusculaires - Respiration mitochondriale - Profil lipidique - Blood pressure	- Épreuve d'effort maximal - IGTT - Biopsie musculaire - Biopsie musculaire - Bilan biologique - Examen clinique

Tableau 26 – Caractéristiques des études (suite)

Auteurs	Pays	Type d'étude	Intervention (en complément de la prise en charge habituelle)	Paramètres mesurés	Méthodes de mesure correspondantes
(Woodlief et al. 2015)	USA	RCT N = 98 F/H BPG	Type: END 3-5 séances/semaine Supervision: partielle Timing: 6 mois à partir du 1 ^{er} -3 ^e mois post-op.	- Anthropométrie: masse - Composition corporelle - $\dot{V}O_2$ max - Dépense énergétique de repos - Métabolisme glucidique - Mitochondrial respiration - Anthropométrie: masse - Composition corporelle - Masse musculaire - AP et temps sédentaire - $\dot{V}O_2$ max - Dépense énergétique de repos - Anthropométrie: masse, tour de taille - Composition corporelle - $\dot{V}O_2$ max - Métabolisme glucidique, profil lipidique - Blood pressure	- Examen clinique - DEXA - Épreuve d'effort maximal - Calorimétrie indirecte - IGTT - Biopsie musculaire - Examen clinique - DEXA - Scanner - Accéléromètre - Épreuve d'effort maximal - Calorimétrie indirecte - Examen clinique - DEXA - Épreuve d'effort maximal - IGTT, bilan sanguin - Examen clinique
(Carnero et al. 2017)	USA	RCT N = 96 F/H BPG	Type: END 3-5 séances/semaine Supervision: partielle Timing: 6 mois à partir du 1 ^{er} -3 ^e mois post-op.	- Anthropométrie: masse, tour de taille - Composition corporelle - $\dot{V}O_2$ max - Force musculaire - Capacité physique fonctionnelle	- Examen clinique - DEXA - Épreuve d'effort maximal - Test IRM, dynamomètre manuel - Test de lever de chaise
(Nunez Lopez et al. 2017)	USA	RCT N = 22 F/H BPG	Type: END 3-5 séances/semaine Supervision: partielle Timing: 6 mois à partir du 1 ^{er} -3 ^e mois post-op.	- Anthropométrie: masse, tour de taille - Composition corporelle - $\dot{V}O_2$ max - Capacité physique fonctionnelle	- Examen clinique - Impédancemétrie bio-électrique - Épreuve d'effort maximal - Test IRM, dynamomètre manuel - Test de lever de chaise
(Huck 2015)	USA	NRCT N = 15 F/H BPG, AGA	Type: RENFO 2-3 séances/semaine Supervision: totale Timing: 3 mois à partir du 4 ^e mois post-op.	- Anthropométrie: masse, tour de taille - Composition corporelle - $\dot{V}O_2$ max - Force musculaire - Capacité physique fonctionnelle	- Examen clinique - Impédancemétrie bio-électrique - Épreuve d'effort maximal - Test IRM, dynamomètre manuel - Test de lever de chaise
(Jassil et al. 2015)	UK	NRCT N = 24 F/H BPG, SG	Type: END + RENFO 1 séance/semaine Supervision: totale Timing: 2 mois à partir du 3 ^e -6 ^e mois post-op. + intervention comportementale	- Anthropométrie: masse - Capacité physique fonctionnelle - Qualité de vie	- Examen clinique - TM6 - Questionnaire Dartmouth
(Marchesi et al. 2015)	Italie	NRCT N = 20 F BPG	Type: END, 3 séances/semaine Supervision: totale Timing: 10 mois à partir de la 1 ^{ère} -3 ^e année post-op. + intervention comportementale	- Anthropométrie: masse, tour de taille - Composition corporelle - $\dot{V}O_2$ max - Qualité de vie - Métabolisme glucidique, profil lipidique	- Examen clinique - DEXA - Épreuve d'effort maximal - SF-36 - Bilan sanguin

Tableau 26 – Caractéristiques des études (suite)

Auteurs	Pays	Type d'étude	Intervention	Paramètres mesurés	Méthodes de mesure correspondantes
Participants	Chirurgie	(en complément de la prise en charge habituelle)			
(Muschwitz et al. 2016)	Autriche	RCT N = 220 F/H BPG, SG	Type: END + RENFO, 3 et 2 séances/semaine + supplémentation en protéines, calcium, vit D Supervision: aucune Timing: 24 mois à partir de la 2 ^e sem. post-op.	- Anthropométrie: masse - Composition corporelle, DMO - Qualité de vie	- Examen clinique - DEXA - SF-36
(Rojhani-Shirazi et al. 2016)	Iran	RCT N = 32 F SG	Type: EQUILIBRE 4 séances/semaine Supervision: non communiqué Timing: 1 mois à partir du 5 ^e jour post-op.	- Anthropométrie: masse, tour de taille - Stabilité posturale	- Examen clinique - Temps d'appui unipodal, test <i>get up and go</i>
(Campanha-Versiani et al. 2017a)	Brésil	NRCT N = 37 F/H BPG	Type: END + RENFO 2 séances/semaine Supervision: totale Duration: 9 mois à partir du 3 ^e mois post-op.	- Anthropométrie: masse - Composition corporelle, DMO - Force musculaire	- Examen clinique - DEXA - Test 1-RM
(Coleman et al. 2017)	USA	RCT N = 51 F/H BPG, SG, lap band	Type: END + RENFO 2 séances/semaine Supervision: totale Timing: 6 mois à partir du 6 ^e -24 ^e mois post-op. + intervention comportementale	- Anthropométrie: masse - AP	- Examen clinique - Podomètre - TM6, test de lever de chaise, <i>8-foot up-and-go</i> , flexion du bras...
(Daniels et al. 2017)	USA	RCT N = 16 F BPG	Type: RENFO 3 séances/semaine Supervision: non communiqué Timing: 3 mois à partir du 2 ^e mois post-op.	- Anthropométrie: masse - Composition corporelle, masse musculaire - Force musculaire	- Examen clinique - Densitométrie, IRM - Test 1-RM
(Hassannejad et al. 2017a)	Iran	RCT N = 60 F/H BPG, SG	Type: END 3-5 séances/semaine ± RENFO 3 séances/semaine Supervision: aucune Timing: 3 mois à partir de la 1 ^e -5 ^e semaine post-op.	- Anthropométrie: masse - Composition corporelle - Force musculaire - Capacité physique fonctionnelle	- Examen clinique - Impédancemétrie bio-électrique - Test 1-RM - Tests de marche de 12 min, <i>sit-to-stand</i>
(Herring et al. 2016)	UK	RCT N = 24 F/H BPG, SG, AGA	Type: END + RENFO 3 séances/semaine Supervision: totale Timing: 3 mois à partir du 12 ^e -24 ^e mois post-op.	- Anthropométrie: masse, tour de taille - Composition corporelle - AP et temps sédentaire - Force musculaire - Capacité physique fonctionnelle - Pression artérielle	- Examen clinique - Impédancemétrie bio-électrique - Accéléromètre - Dynamomètre manuel - Test de marche incrémental, test <i>sit-to-stand</i> - Examen clinique
(Onofre et al. 2017)	Brésil	NRCT N = 12 F BPG, SG	Type: END + RENFO 3 séances/semaine Supervision: totale Timing: 3 mois à partir du 3 ^e mois post-op.	- Anthropométrie: masse, tour de taille - VO ₂ max	- Examen clinique - Épreuve d'effort maximal

RCT, essai randomisé contrôlé ; NRCT, essai contrôlé non-randomisé ; BPG, *bypass* ; SG, *sleeve* ; AGA, anneau gastrique ajustable ; END, endurance ; RENFO, renforcement musculaire, BALANCE, équilibre ; TM6, Test de marche de 6 minutes ; HGPO, hyperglycémie provoquée par voie orale ; IGTT, test de tolérance au glucose par voie intraveineuse ; DMO, densité minérale osseuse

3-1-2- Qualité méthodologique des études

La qualité des études était notée comme faible, moyenne ou bonne dans respectivement 2, 9 et 4 études (**Tableau 27**). La majorité des études comprenaient une estimation de la variabilité de l'effet (15/15) et ont réalisé des comparaisons intergroupes (14/15). Deux-tiers à trois-quarts des études étaient randomisées, ont obtenu des groupes entraînés et non-entraînés avec des caractéristiques initiales similaires et ont précisé les critères d'éligibilité. La moitié des études a réalisé des analyses en intention de traiter et ont réparti les participants dans les groupes d'intervention en respectant une assignation secrète. Un tiers des études a indiqué l'évolution des principaux critères de jugements chez 85 % des participants. Une étude a réalisé les évaluations « en aveugle ».

Tableau 27 – Qualité des études

	Critères											Score total	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
(Castello et al. 2011)	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	5	Moyenne
(Shah et al. 2011)	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	5	Moyenne
(Stegen et al. 2011)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	5	Moyenne
(Coen et al. 2015b)	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	8	Bonne
(Huck 2015)	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	4	Moyenne
(Jassil et al. 2015)	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	3	Faible
(Muschitz et al. 2016)	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	6	Bonne
(Marchesi et al. 2015)	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	3	Faible
(Rojhani-Shirazi et al. 2016)	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	4	Moyenne
(Campanha-Versiani et al. 2017a)	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	4	Moyenne
(Coleman et al. 2017)	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	1	5	Moyenne
(Daniels et al. 2017)	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	5	Moyenne
(Hassannejad et al. 2017a)	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1	6	Bonne
(Herring et al. 2016)	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	6	Bonne
(Onofre T et al. 2017)	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	5	Moyenne

Critères PEDro : (1) critères d'éligibilité précisés, (2) répartition aléatoire des participants dans les groupes, (3) répartition respectant une assignation secrète, (4) similarité des groupes, (5) participants « en aveugle », (6) intervenants « en aveugle », (7) examinateurs « en aveugle », (8) mesures obtenues pour au moins 85 % des participants, (9) analyses réalisées en « intention de traiter », (10) comparaisons statistiques intergroupes, (11) estimation de la variabilité indiquée. Le critère (1) n'était pas inclus dans les calculs.

3-1-3- Description des interventions

Les programmes d'entraînement débutaient entre la 1^{ère} semaine (Rojhani-Shirazi et al. 2016) et le 18^{ème} mois post-opératoire (Marchesi et al. 2015). La durée des programmes variait entre 1 (Rojhani-Shirazi et al. 2016) et 24 mois (Muschitz et al. 2016), avec une durée médiane de 3 mois (**Figure 13**). Les entraînements correspondaient à des exercices d'endurance dans 5 études (Castello et al. 2011, Coen et al. 2015b, Hassannejad et al. 2017b, Marchesi et al. 2015, Shah et al. 2011), de renforcement musculaire dans 2 études (Daniels et al. 2017, Huck

2015), à une combinaison d'exercices d'endurance et de renforcement musculaire dans 8 études (Campanha-Versiani et al. 2017b, Coleman et al. 2017, Hassannejad et al. 2017b, Herring et al. 2017, Jassil et al. 2015, Muschitz et al. 2016, Onofre et al. 2017, Stegen et al. 2011) et d'équilibre dans 1 étude (Rojhani-Shirazi et al. 2016).

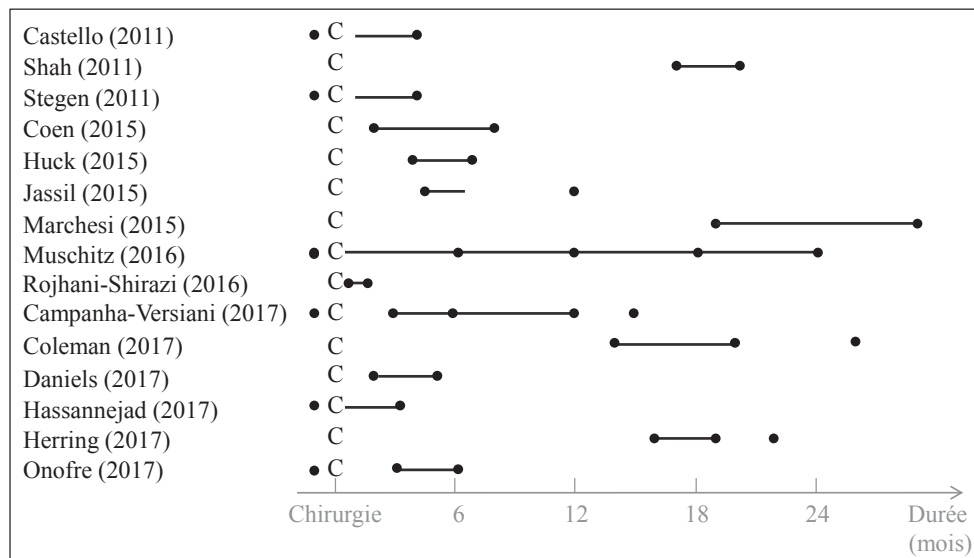


Figure 13 – Calendrier des interventions

L'intensité des exercices était définie en termes relatifs, selon la fréquence cardiaque maximale ou la force maximale. Les interventions incluaient des conseils diététiques et/ou d'AP dans 4 études (Coleman et al. 2017, Jassil et al. 2015, Marchesi et al. 2015, Shah et al. 2011). Les séances d'entraînement étaient supervisées en totalité dans 10 études (Campanha-Versiani et al. 2017b, Castello et al. 2011, Coleman et al. 2017, Herring et al. 2017, Huck 2015, Jassil et al. 2015, Marchesi et al. 2015, Onofre et al. 2017, Shah et al. 2011, Stegen et al. 2011), partiellement supervisées dans 1 étude (Coen et al. 2015b) et la notion de supervision n'était pas indiquée dans 2 études (Hassannejad et al. 2017a, Muschitz et al. 2016). Les séances étaient supervisées par différents professionnels (éducateur sportifs, kinésithérapeutes, physiologistes de l'exercice, médecin du sport). Les séances étaient réalisées dans un centre médical ou un centre de recherche dans 5 études (Castello et al. 2011, Herring et al. 2017, Jassil et al. 2015, Onofre et al. 2017, Shah et al. 2011), en extérieur dans 1 étude (Marchesi et al. 2015) et dans un centre sportif privé dans 1 étude (Huck 2015). Une seule étude indiquait qu'il s'agissait de séances collectives (Huck 2015), et une autre étude a rapporté avoir cherché à favoriser la participation aux séances en proposant des modalités variées d'exercices (Coleman et al. 2017). La majorité des études ont fourni très peu

d'informations concernant le groupe témoin. Les interventions proposées aux participants du groupe témoin incluaient des conseils diététiques et/ou d'AP généraux (Campanha-Versiani et al. 2017b, Coen et al. 2015b, Coleman et al. 2017, Huck 2015, Muschitz et al. 2016, Onofre et al. 2017, Shah et al. 2011) et une supplémentation systématique en vitamines et minéraux (Campanha-Versiani et al. 2017a, Muschitz et al. 2016, Shah et al. 2011).

3-1-4- Participation à l'étude et aux séances d'entraînement

Le pourcentage de participants terminant l'étude variait entre 60 % (Campanha-Versiani et al. 2017a) et 100 % (Coen et al. 2015b, Daniels et al. 2017, Onofre et al. 2017) (**Tableau 28**). Seules 2 études ont analysé les résultats chez les participants compliants au programme, définis comme ceux ayant participé à au moins 80 % des séances d'entraînement (Muschitz et al. 2016) ou à au moins 2 heures d'entraînement par semaine (Coen et al. 2015b). Dans ces deux études, environ 70 % des participants étaient compliants au programme. Enfin, 3 études ont indiqué la participation moyenne aux séances d'entraînement (Herring et al. 2017, Huck 2015, Jassil et al. 2015). La participation variait entre 75 % (Jassil et al. 2015) et 95 % (Herring et al. 2017) des séances sur la durée du programme.

Tableau 28 – Résultats de la participation aux programmes d'entraînement

	Participants ayant terminé l'étude (groupe EX) N (%)	Participants compliants Définition – %	Participation aux séances d'entraînement % sessions totales
(Castello et al. 2011)	11/16 (69 %)	NC	NC
(Shah et al. 2011)	16/21 (76 %)	NC	NC
(Stegen et al. 2011)	8/10 (80 %)	NC	NC
(Coen et al. 2015b)	66/66 (100 %)	≥ 120 min/semaine - 67%	NC
(Huck 2015)	NC	NC	Supervisées : 84 %
(Jassil et al. 2015)	8/10 (80 %)	NC	Supervisées : 75%
(Marchesi et al. 2015)	7/10 (70 %)	NC	NC
(Muschitz et al. 2016)	89/110 (81 %)	≥ 80 % sessions - 69%	NC
(Rojhani-Shirazi et al. 2016)	NC	NC	NC
(Campanha-Versiani et al. 2017b)	18/30 (60 %)	NC	NC
(Coleman et al. 2017)	21/26 (81 %)	NC	56%
(Daniels et al. 2017)	8/8 (100 %)	NC	NC
(Hassannejad et al. 2017b)	36/40 (90 %)	NC	NC
(Herring et al. 2017)	11/12 (92 %)	NC	Supervisées : 95 ± 7 %
(Onofre et al. 2017)	12/12 (100 %)	NC	NC

EX : groupe ayant bénéficié de l'entraînement ; NC, non communiqué

3-1-5- Efficacité des interventions

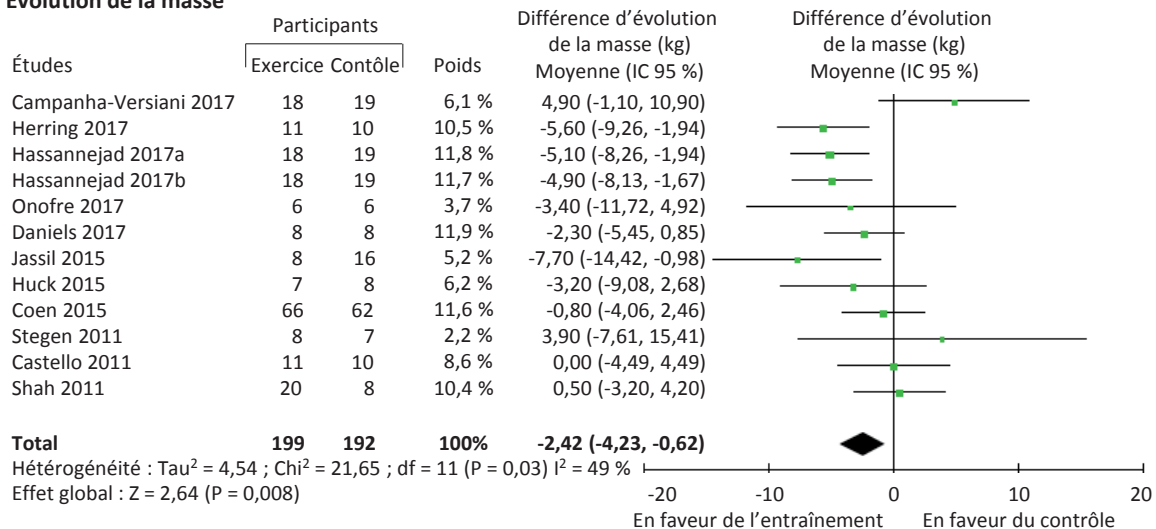
L'entraînement était associé à une perte de poids plus importante (différence moyenne : -2,4 kg, IC 95 % : -4,2 à -0,6 ; $I^2 = 49$ %, N = 12 études) et une perte de masse grasse plus importante (-2,7 kg, IC 95 % : -4,5 à -1,0 ; $I^2 = 50$ %, N = 8 études), comparativement au groupe témoin (**Figure 14**). L'entraînement n'était en revanche pas significativement associé au changement de masse maigre (0,7 kg, IC 95 % : -0,3 à 1,7 ; $I^2 = 50$ %, N = 10 études). L'entraînement était également associé à une amélioration du $\dot{V}O_2\text{max}$ (différence standardisée moyenne : 0,86 ; IC 95 % : 0,29 à 1,44 ; $I^2 = 57$ %, N = 6 études) et à une amélioration de la capacité de marche (différence standardisée moyenne : 1,45 ; IC 95 % : 0,32 à 2,58 ; $I^2 = 89$ %, N = 6 études) (**Figure 15**). Une sous-analyse a été réalisée sur les 5 études exprimant le $\dot{V}O_2\text{max}$ de façon relative à la masse ($\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) (Huck 2015, Marchesi et al. 2015, Onofre T et al. 2017, Shah et al. 2011, Stegen et al. 2011). La différence moyenne était de 2,87 $\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ (IC 95 % : 0,63 à 5,12 ; $I^2 = 83$ %).

L'évolution de la force musculaire, de l'AP habituelle mesurée de façon objective, du profil métabolique et de la qualité de vie n'a pas fait l'objet de méta-analyse dans notre étude. Toutefois, dans la majorité des études, la force musculaire augmentait dans le groupe entraînement, comparativement au groupe témoin (**Tableau 29**). Dans la quasi-totalité des études, l'AP habituelle mesurée de façon objective, le profil métabolique (métabolisme glucidique, profil lipidique, pression artérielle) et la qualité de vie n'étaient pas modifiés de façon significative entre le groupe entraînement et le groupe témoin.

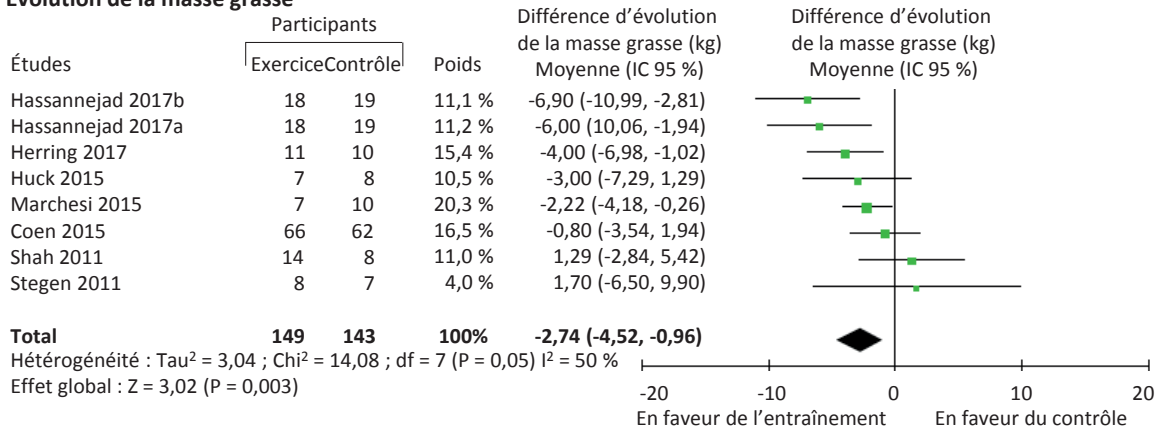
Tableau 29 – Évolution de la force musculaire, de l'AP, de la qualité de vie et du profil métabolique dans le groupe entraînement comparativement au groupe témoin

Mesurant le paramètre	Nombre d'études	
	Sans différence entre les groupes entraînement et témoin	Avec amélioration dans le groupe entraînement vs groupe témoin
Force musculaire		
1RM, membres inférieurs	3	0
1RM, membres supérieurs	4	1
Force de préhension	3	1
AP habituelle et métabolisme énergétique		
AP d'intensité modérée à élevée	2	1
Nombre de pas quotidiens	3	2
Respiration mitochondriale	1	0
Dépense énergétique de repos	2	2
Qualité de vie	4	4
Profil métabolique		
Métabolisme glucidique	3	2
Profil lipidique	3	3
Pression artérielle	4	3

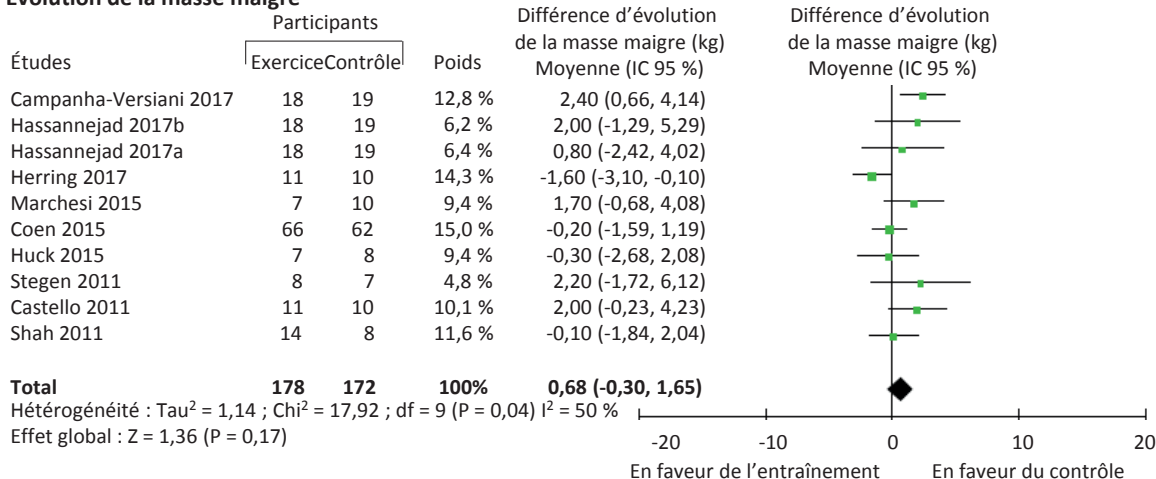
Évolution de la masse



Évolution de la masse grasse

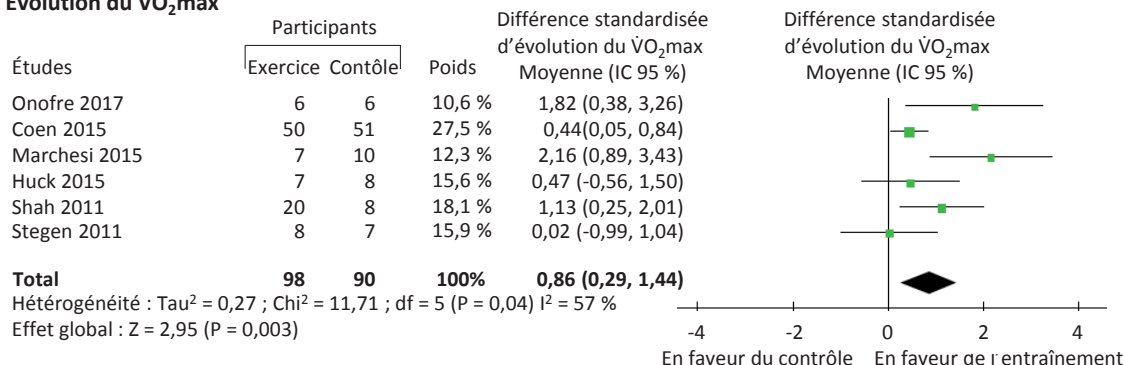
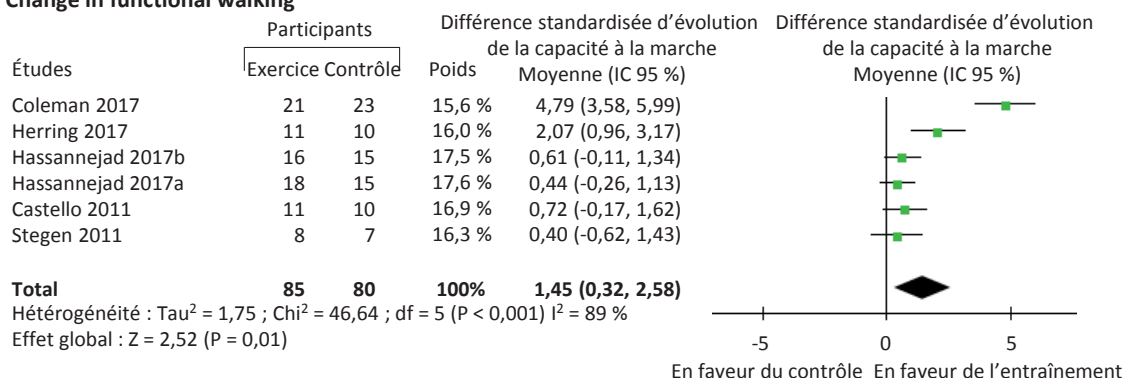


Évolution de la masse maigre



Présente l'évolution de la masse et de la composition corporelle après une chirurgie bariatrique dans le groupe entraînement, comparativement au groupe témoin. Le nombre de participants indiqué correspond aux participants ayant terminé l'étude. Hassannejad 2017a : entraînement d'endurance. Hassannejad 2017b : entraînement d'endurance et de renforcement musculaire.

Figure 14 – Évolution de la masse et de la composition corporelle dans le groupe entraînement comparativement au groupe témoin

Évolution du $\dot{V}O_2\text{max}$ **Change in functional walking**

Présente l'évolution du $\dot{V}O_2\text{max}$ et du test de marche de 6 minutes après une chirurgie bariatrique dans le groupe entraînement, comparativement au groupe témoin. Hassannejad 2017a : entraînement d'endurance. Hassannejad 2017b : entraînement d'endurance et de renforcement musculaire.

Figure 15 – Évolution du $\dot{V}O_2\text{max}$ et de la capacité physique fonctionnelle dans le groupe entraînement comparativement au groupe témoin

3-1-6- Discussion

Cette revue systématique de la littérature et méta-analyse avaient pour objectif d'évaluer l'effet d'un programme d'entraînement après une chirurgie bariatrique sur l'évolution de la capacité physique, de la composition corporelle, de l'AP habituelle, de la qualité de vie et des paramètres métaboliques. Vingt articles ont été inclus, décrivant 16 programmes d'entraînement distincts. Parmi les articles publiés après 2015, qui n'avaient pas été inclus dans les revues précédentes (Coen et al. 2016, Pouwels et al. 2015), plusieurs ont évalué des programmes d'entraînement combinant des exercices d'endurance et de renforcement musculaire, qui avaient jusqu'à récemment été peu évalués dans le contexte de la chirurgie bariatrique. Nous avons démontré que l'entraînement réalisé après une chirurgie bariatrique optimise la perte de poids et de masse grasse et améliore la capacité physique, mais a peu d'effet supplémentaire sur l'évolution de la masse maigre et du profil métabolique. Nos résultats montrent ainsi l'intérêt de la mise en place de programmes d'entraînement supervisé dans le suivi des patients opérés d'une chirurgie bariatrique.

1-2- Efficacité d'un entraînement de renforcement musculaire associé à une supplémentation protéique après une chirurgie bariatrique : étude contrôlée randomisée (étude PROMISE)

L'étude PROMISE avait pour objectif d'évaluer l'effet d'un entraînement de renforcement musculaire supervisé de 18 semaines sur l'évolution de la composition corporelle et de la force musculaire six mois après un *bypass*. Le programme comprenait deux à trois séances d'entraînement par semaine supervisées par un éducateur sportif et ayant lieu dans le service hospitalier. L'originalité de l'intervention reposait notamment sur l'ajout d'une supplémentation protéique quotidienne (48 g.jour⁻¹ de protéines du lactosérum ou *whey protein*) à l'entraînement de renforcement musculaire.

Cette étude a fait l'objet d'un article, présenté en **Annexe 5**.

Oppert J-M, Bellicha A, Roda C, Bouillot J-L, Torcivia A, Clément K, Poitou C, Ciangura C. **Resistance training and protein supplementation increase strength after bariatric surgery: a Randomized Controlled Trial.** *Obesity* 2018, accepté le 17 août.

Concernant cette étude, seuls les résultats principaux sont brièvement présentés ci-dessous (Oppert et al. 2018).

1-2-1- Description des participantes

Le **Tableau 30** présente les caractéristiques initiales des 76 patientes incluses dans l'étude et randomisées dans le groupe témoin (CON), le groupe avec une supplémentation protéique (PRO) et le groupe avec un entraînement et une supplémentation protéique (PRO + EX). Environ 30 % des participantes présentaient un diabète de type 2 et une hypertension artérielle, et la moitié un syndrome d'apnée du sommeil. Les caractéristiques initiales n'étaient pas différentes entre les groupes.

Tableau 30 – Données préopératoires des patientes incluses dans l'étude PROMISE

	Toutes les patientes N = 76	Patientes randomisées N = 76		
		CON N = 22	PRO N = 31	PRO + EX N = 23
Age	42,4 (9,9)	43,9 (10,7)	42,5 (8,7)	40,9 (10,8)
Composition corporelle				
Masse corporelle, kg	116,2 (16,2)	116,3 (19,3)	115,7 (14,9)	116,7 (15,4)
IMC, kg.m ²	44,0 (5,8)	43,6 (6,2)	43,3 (6,0)	45,2 (5,2)
Masse grasse, %	50,1 (4,0)	50,2 (3,4)	49,7 (4,8)	50,4 (3,4)
Masse grasse, kg	58,3 (10,9)	58,7 (11,8)	57,4 (10,8)	59,2 (10,5)
Masse maigre, kg	55,5 (6,7)	55,6 (8,4)	55,9 (6,1)	54,8 (5,9)
Force musculaire				
Préhension, kgF	32,0 (6,2)	30,6 (5,7)	33,0 (7,0)	32,0 (5,6)
1RM membres inférieurs				
Absolue, kg	179,5 (47,8)	175,7 (53,1)	174,6 (42,0)	189,2 (50,4)
Relative à la masse, kg.kg ⁻¹	1,57 (0,45)	1,58 (0,59)	1,52 (0,39)	1,62 (0,38)
Relative à la MM des membres inférieurs, kg.kgMM ⁻¹	9,31 (2,85)	9,41 (3,69)	8,94 (2,54)	9,65 (2,31)
1RM membres supérieurs				
Absolue, kg	32,1 (8,1)	31,4 (6,9)	32,1 (8,2)	32,9 (9,2)
Relative à la masse, kg.kg ⁻¹	0,28 (0,07)	0,27 (0,05)	0,28 (0,08)	0,28 (0,08)
Relative à la MM des membres supérieurs, kg.kgMM ⁻¹	7,37 (1,89)	7,56 (2,03)	7,31 (1,97)	7,25 (1,70)
Comorbidités				
Diabète de type 2, n (%)	21 (27,6)	5 (22,7)	8 (25,8)	8 (34,8)
Hypertension artérielle, n (%)	39 (51,3)	10 (45,5)	18 (58,1)	11 (47,8)
Syndrome d'apnée du sommeil, n (%)	22 (29,3)	6 (27,3)	10 (33,3)	6 (26,1)
Apports alimentaires				
Apport énergétique, kJ.jour ⁻¹	7450 (1756)	7358 (1747)	7681 (2196)	7210 (872)
Protéines, g.jour ⁻¹	79 (16)	80 (13)	82 (20)	73 (13)
Protéines, g.kg ⁻¹ .jour ⁻¹	0,69 (0,16)	0,71 (0,12)	0,72 (0,18)	0,65 (0,17)

Les données sont des moyennes (écart-type). MM : masse maigre

1-2-2- Efficacité du programme d'entraînement

Les patients du groupe PRO + EX ont participé à 35 (15-40) séances d'entraînement. L'apport supplémentaire en protéines était de 21 (13-42) g.jour⁻¹ dans le groupe PRO et de 37 (29-42) g.jour⁻¹ dans le groupe PRO + EX.

L'évolution de la masse corporelle, de la masse maigre et de la force musculaire chez les patientes ayant consommé un minimum de 24 g.jour⁻¹ de supplémentation protéiques et ayant participé à au moins deux séances par semaine est présentée dans le **Tableau 31**. L'évolution de la masse corporelle et de la masse maigre n'était pas significativement différente entre les groupes. Le 1RM des membres inférieurs et supérieurs augmentait dans le groupe PRO + EX alors qu'il diminuait dans les deux autres groupes. Exprimé de façon relative à la masse corporelle ou à la masse maigre, le 1RM augmentait davantage dans le groupe PRO + EX.

L'évolution de l'AP habituelle, de la capacité cardiorespiratoire et de la qualité de vie ne différaient pas selon les groupes (données non montrées).

Tableau 31 – Évolution de la composition corporelle et de la force musculaire selon les groupes

	Moyenne (IC 95 %)			P-value		
	CON	PRO	PRO + EX	Groupe	Temps	Groupe x temps
	N = 22	N = 14	N = 11			
Composition corporelle						
Masse corporelle, kg	-28,0 (-30,8 ; -25,2)	-26,7 (-30,2 ; -23,1)	-25,7 (-29,7 ; -21,8)	0,760	<0,001	0,751
Masse maigre, kg	-8,8 (-10,2 ; -7,5)	-7,2 (-8,8 ; -5,5)	-7,8 (-9,7 ; -5,9)	0,771	<0,001	0,624
Force musculaire						
Préhension, kgF	-21,0 (-46,3 ; 4,3)	-28,0 (-59,0 ; 3,0)	-3,6 (-38,5 ; 31,4)	0,055	0,052	0,577
1RM membres inférieurs						
Absolue, kg	-30,4 (-54,8 ; -6,0)	-31,5 (-64,7 ; 1,6)	+17,6 (-15,5 ; 50,8)	0,007	0,100	0,048
Relative à la masse, kg.k ⁻¹	+0,12 (-0,11 ; 0,35)	+0,11 (-0,20 ; 0,43)	+0,68 (0,37 ; 0,99)	0,071	<0,001	0,010
Relative à la MM des membres inférieurs, kg.kgMM ⁻¹	-0,07 (-1,36 ; 1,22)	-0,66 (-2,41 ; 1,09)	+3,10 (1,35 ; 4,85)	0,066	0,097	0,005
1RM membres supérieurs						
Absolue, kg	-18,7 (-45,0 ; 7,6)	-23,4 (-56,2 ; 9,4)	+28,7 (-5,0 ; 62,5)	0,012	0,661	0,032
Relative à la masse, kg.k ⁻¹	-6,2 (-9,9 ; -2,6)	-6,0 (-10,7 ; -1,3)	+3,5 (-1,6 ; 8,6)	0,002	0,028	0,006
Relative à la MM des membres supérieurs, kg.kgMM ⁻¹	+0,02 (-0,02 ; 0,06)	+0,02 (-0,03 ; 0,07)	+0,13 (0,07 ; 0,18)	0,012	<0,001	0,006

1-2-3- Discussion

Les résultats de l'étude PROMISE ont montré qu'un entraînement de renforcement musculaire de 18 semaines associé à une supplémentation protéique permettait d'augmenter la force musculaire après une chirurgie bariatrique, malgré l'absence d'effet significatif sur la masse maigre. Ces résultats renforcent les conclusions de notre revue de la littérature dans le sens d'un effet bénéfique sur la capacité physique de l'entraînement réalisé dans les premiers mois après une chirurgie bariatrique.

2- Description de l'activité physique et de la capacité physique chez des patients bénéficiant d'une chirurgie bariatrique

2-1- Activité physique et capacité cardiorespiratoire avant et à court et long terme après une chirurgie bariatrique (étude PROMISE)

Un nombre relativement restreint d'études a décrit l'AP habituelle chez des patients candidats à la chirurgie bariatrique et son évolution à moyen terme, jusqu'à 3 ans après la chirurgie. Les indicateurs d'AP mesurés étaient le plus souvent la durée totale de MVPA, la durée de MVPA en sessions ≥ 10 minutes, le nombre de pas et le temps sédentaire. Une seule étude a quantifié la durée de la sédentarité en sessions prolongées (≥ 10 et ≥ 30 minutes) (King et al. 2015). Les profils d'accumulation de MVPA et de sédentarité sont ainsi peu connus chez des patients candidats à la chirurgie bariatrique, ainsi que leur évolution après la chirurgie. Certaines études ont montré une relation positive entre l'AP post-opératoire et l'évolution de la composition corporelle (Liu et al. 2012, Wefers et al. 2016), mais aucune n'a analysé les relations entre l'AP et l'évolution de la capacité cardiorespiratoire.

L'objectif de cette étude était ainsi de décrire les profils d'AP et de sédentarité chez des patientes candidates au *bypass* et de décrire leur évolution à 6 mois et 5 ans du *bypass* ; puis d'analyser les relations entre l'évolution de l'AP et de la capacité cardiorespiratoire.

L'évolution de l'AP habituelle et de la capacité cardiorespiratoire 6 mois après un *bypass* a fait l'objet d'un article (soumis).

Bellicha A., Ciangura C., Roda C., Bouillot J-L., Torcivia A., Portero P., Clément K., Poitou C., Oppert J-M. Physical activity after gastric bypass and relations with cardiorespiratory fitness.

Les premiers résultats sont présentés ici concernant l'évolution de l'AP et du $\dot{V}O_2\text{pic}$ à 5 ans du *bypass*. Les résultats portent sur 33 patientes évaluées entre octobre 2017 et juillet 2018. La période d'évaluation de l'ensemble des patientes incluses dans l'étude PROMISE s'étend jusqu'au mois de juin 2019.

2-2-1- Description des données préopératoires

Parmi les 76 participantes incluses dans l'étude PROMISE, des données valides d'accélérométrie étaient disponibles avant et après le *bypass* chez 65 participantes, et 59 participantes ont réalisé une épreuve d'effort. Le **Tableau 32** présente les données de composition corporelle, des principales comorbidités, de $\dot{V}O_{2pic}$ et de force musculaire de ces 65 participantes. Les médianes étaient : âge 43 ans, IMC 43,4 kg.m⁻², pourcentage de masse grasse 50,3 %, $\dot{V}O_{2pic}$ 19 ml.kg⁻¹.min⁻¹, 1RM des membres inférieurs 160 kg. Les participantes ont porté l'accéléromètre pendant 7 jours et 13 h.jour⁻¹ (médiane). Avant le *bypass*, quatre participantes (6,2 %) atteignaient le niveau minimum recommandé de 150 min.semaine⁻¹ de MVPA_{≥ 10 min}. Exprimé en pourcentage du temps de port de l'accéléromètre, la sédentarité, l'AP totale, l'AP d'intensité légère et les MVPA représentaient respectivement 60 (54-67) %, 39 (33-46), 34 (30-43) % et 3 (2-4) %.

Tableau 32 – Données de composition corporelle, de comorbidités, de capacité cardiorespiratoire et d'AP habituelle avant et 6 mois après le *bypass* (N=65)

	Avant <i>bypass</i>	6 mois après <i>bypass</i>	P
Age	43,0 (37,0-51,5)		
Composition corporelle (N=65)			
Masse, kg	115,0 (104,7-129,7)	88,6 (79,5-99,7)	<0,001
IMC, kg.m ⁻²	43,4 (40,1-47,4)	33,3 (30,1-36,8)	<0,001
Masse grasse, %	50,3 (48,1-52,5)	44,0 (40,0-46,2)	<0,001
Masse grasse, kg	57,7 (52,9-66,8)	39,7 (33,1-44,6)	<0,001
Masse maigre, kg	55,8 (51,3-61,4)	47,7 (44,2-51,4)	<0,001
Indice de masse grasse, kg.m ⁻²	21,9 (20,0-24,4)	14,5 (12,4-17,0)	<0,001
Indice de masse maigre, kg.m ⁻²	20,9 (19,7-22,4)	17,8 (16,9-18,6)	<0,001
$\dot{V}O_{2pic}$ (N=59)			
Absolu, L.min ⁻¹	2,13 (1,80-2,47)	1,81 (1,38-2,24)	<0,001
Relatif à la masse corporelle, mL.min ⁻¹ .kg ⁻¹	18,6 (16,4-21,3)	20,9 (16,6-24,5)	<0,001
Relatif à la masse maigre, mL.min ⁻¹ .kgMM ⁻¹	38,7 (32,0-45,5)	38,0 (32,2-45,5)	0,661
1RM membres inférieurs (N=43)*			
Absolu, kg	160 (148-200)	139 (114-182)	0,018
Relatif à la masse corporelle, kg.kg ⁻¹	1,44 (1,12-1,73)	1,71 (1,32-1,98)	0,024
Relatif à la masse maigre, kg.kgMM ⁻¹	2,98 (2,38-3,49)	3,09 (2,43-3,72)	0,309
Activité physique (N=65)			
Nombre de jours valides	7 (6-7)	7 (6-7)	0,593
Durée de port, h.jour ⁻¹	13,1 (12,3-14,1)	12,9 (12,1-14,3)	0,617
Coups, coups.min ⁻¹	303 (238-357)	302 (242-406)	0,042
Pas quotidiens censurés, pas.jour ⁻¹	5 930 (4 768-7 625)	6 725 (4 889-9 434)	0,007
Temps sédentaire, h.jour ⁻¹	8,0 (7,1-8,9)	7,9 (6,7-8,8)	0,115
AP totale, h.jour ⁻¹	5,2 (4,4-6,1)	5,2 (4,3-6,1)	0,382
AP intensité légère, h.jour ⁻¹	4,7 (3,9-5,7)	4,5 (3,8-5,4)	0,324
AP intensité modérée, min.jour ⁻¹	23,0 (16,6-34,8)	30,3 (18,6-42,5)	0,003
AP intensité élevée, min.jour ⁻¹	0,0 (0,0-0,0)	0,0 (0,0-0,1)	0,003
MVPA, min.jour ⁻¹	23,3 (16,6-35,8)	30,3 (18,6-42,5)	0,003
MVPA _{≥ 10 min} , min.semaine ⁻¹	20,0 (0,0-66,5)	43,0 (17,5-78,2)	0,008

Les données sont des médianes (25^e-75^e percentile). * Participantes du groupe CON et PRO.

P-value correspondant à la différence avant-après par le test de Wilcoxon.

Profils d'accumulation des MVPA et de la sédentarité

Comme le montre le **Tableau 33**, la majorité des participantes (86 %) pratiquait chaque jour au moins une session de MVPA ≥ 1 min. Seule une minorité (20 %) pratiquait chaque jour au moins une session de MVPA ≥ 5 min, et aucune ne pratiquait chaque jour au moins une session de MVPA ≥ 10 min. Environ un tiers des participantes ne pratiquait aucune session de MVPA ≥ 10 min au cours de la période d'enregistrement. Le pourcentage médian de jours au cours duquel au moins une session de MVPA ≥ 1 min, MVPA ≥ 5 min, MVPA ≥ 10 min, et MVPA ≥ 30 min a été pratiquée était de respectivement 100 %, 57 %, 17 % et 0 %.

Toutes les participantes pratiquaient chaque jour au moins une session de sédentarité ≥ 1 min et de sédentarité ≥ 10 min. Environ deux tiers pratiquaient chaque jour au moins une session de sédentarité ≥ 30 min. Les sessions de sédentarité ≥ 60 min étaient en revanche moins fréquentes.

Tableau 33 – Répartition des sessions de MVPA et de sédentarité au cours de la période de port de l'accéléromètre avant et 6 mois après le *bypass* (N=65)

	Fréquence des sessions	Pourcentage de participantes	
		Avant <i>bypass</i> (n = 65)	6 mois après <i>bypass</i> (n = 65)
Sessions de MVPA ≥ 1 min	Tous les jours	86 %	82 %
	≥ 50 % des jours	100 %	98 %
	Jamais	0 %	0 %
Sessions de MVPA ≥ 5 min	Tous les jours	20 %	28 %
	≥ 50 % des jours	63 %	65 %
	Jamais	0 %	6 %
Sessions de MVPA ≥ 10 min	Tous les jours	0 %	5 %
	≥ 50 % des jours	20 %	32 %
	Jamais	32 %	20 %
Sessions de MVPA ≥ 30 min	Tous les jours	0 %	0 %
	≥ 50 % des jours	2 %	3 %
	Jamais	95 %	86 %
Sessions de sédentarité ≥ 1 min	Tous les jours	100 %	100 %
	≥ 50 % des jours	100 %	100 %
	Jamais	0 %	0 %
Sessions de sédentarité ≥ 10 min	Tous les jours	100 %	100 %
	≥ 50 % des jours	100 %	100 %
	Jamais	0 %	0 %
Sessions de sédentarité ≥ 30 min	Tous les jours	60 %	43 %
	≥ 50 % des jours	95 %	98 %
	Jamais	0 %	45 %
Sessions de sédentarité ≥ 60 min	Tous les jours	0 %	0 %
	≥ 50 % des jours	6 %	6 %
	Jamais	37 %	45 %

Les participantes pratiquaient 11 sessions quotidiennes de MVPA ≥ 1 min d'une durée médiane de 2,2 minutes ; et moins de 2 sessions par jour de MVPA ≥ 5 min, MVPA ≥ 10 min et MVPA ≥ 30 min (**Tableau 34**). La durée de MVPA ≥ 5 min représentait 39 % de la durée totale de MVPA et la durée de MVPA ≥ 10 min ne représentait que 9 % de la durée totale de MVPA. Les participantes pratiquaient 78 sessions de sédentarité ≥ 1 min d'une durée médiane de 6 minutes ; et respectivement 14 et 2,5 sessions de sédentarité ≥ 10 min et de sédentarité ≥ 30 min. La durée de la sédentarité ≥ 10 min représentait 60 % de la durée totale de sédentarité et la durée de sédentarité ≥ 30 min ne représentait que 22 % de la durée totale de sédentarité.

Tableau 34 – Profils d'AP et de sédentarité avant et 6 mois après le *bypass* (N=65)

		Avant <i>bypass</i> (n = 65)	6 mois après <i>bypass</i> (n = 65)	P
MVPA≥ 1 min	Nombre de sessions.jour ⁻¹	11,1 (8,3-13,7)	12,0 (8,5-16,0)	0,072
	Durée moyenne des sessions, min	2,2 (1,7-2,7)	2,6 (1,9-3,0)	0,031
	Pourcentage des MVPA, %	100	100	--
MVPA≥ 5 min	Nombre de sessions.jour ⁻¹	1,5 (0,7-2,7)	2,3 (1,3-3,3)	0,001
	Durée moyenne des sessions, min	7,6 (6,7-9,5)	8,0 (7,0-9,5)	0,375
	Pourcentage des MVPA, %	38,8 (20,9-55,6)	50,5 (29,7-66,0)	0,006
MVPA≥ 10 min	Nombre de sessions.jour ⁻¹	0,3 (0,0-0,7)	0,4 (0,2-1,0)	0,007
	Durée moyenne des sessions, min	13,1 (11,3-15,6)	13,0 (11,3-15,9)	0,880
	Pourcentage des MVPA, %	9,3 (0,0-21,0)	15,3 (6,8-19,6)	0,005
MVPA≥ 30 min	Nombre de sessions.jour ⁻¹	0 (0-0)	0 (0-0)	0,013
	Durée moyenne des sessions, min	44,0 (39,9-51,5)	39,0 (30,0-48,0)	0,654
	Pourcentage des MVPA, %	0 (0-0)	0 (0-0)	0,013
Sédentarité≥ 1 min	Nombre de sessions.jour ⁻¹	77,5 (71,0-87,4)	79,3 (72,4-88,4)	0,333
	Durée moyenne des sessions, min	5,9 (5,0-7,0)	5,6 (5,0-6,8)	0,105
	Pourcentage des MVPA, %	100	100	--
Sédentarité≥ 10 min	Nombre de sessions.jour ⁻¹	13,7 (12,0-16,6)	14,0 (11,2-15,8)	0,097
	Durée moyenne des sessions, min	20,7 (19,1-22,1)	20,4 (19,2-22,4)	0,417
	Pourcentage des MVPA, %	59,5 (53,3-67,6)	58,3 (50,0-66,1)	0,164
Sédentarité≥ 30 min	Nombre de sessions.jour ⁻¹	2,5 (1,7-3,0)	2,1 (1,6-3,3)	0,264
	Durée moyenne des sessions, min	41,3 (39,2-45,0)	42,1 (40,1-43,9)	0,495
	Pourcentage des MVPA, %	22,4 (13,2-26,2)	19,7 (14,0-27,0)	0,283
Sédentarité≥ 60 min	Nombre de sessions.jour ⁻¹	0,1 (0,0-0,4)	0,1 (0,0-0,3)	0,063
	Durée moyenne des sessions, min	71,0 (65,0-75,5)	71,5 (66,4-75,8)	0,216
	Pourcentage des MVPA, %	2,0 (0,0-5,0)	1,8 (0,0-3,6)	0,084

Les données sont des médianes (25^e-75^e percentile).

P-value correspondant à la différence avant-après par le test de Wilcoxon.

Relations entre l'AP, la composition corporelle et le $\dot{V}O_2$ pic

Le $\dot{V}O_2$ pic absolu était inversement associé à l'âge et positivement associé à la taille mais n'était pas associé de façon significative à la masse et à la composition corporelle (**Tableau 35**). La durée de MVPA était inversement associée à l'âge mais n'était pas associée de façon significative à la masse et à la composition corporelle.

Tableau 35 – Paramètres associés à la composition corporelle

	Age ¹	Taille ¹ (cm)	Masse ¹ (kg)	Masse maigre ¹ (kg)	Masse grasse ¹ (kg)	Masse ² (kg)	Masse maigre ² (kg)	Masse grasse ² (kg)
$\dot{V}O_2$pic (N = 59)								
Absolu, L.min⁻¹	-0,42 (< 0,001)	0,27 (0,03)	0,22 (0,08)	0,17 (0,19)	0,20 (0,12)	-0,02 (0,87)	-0,04 (0,76)	-0,02 (0,87)
Activité physique (N = 65)								
MVPA, min.jour⁻¹	-0,24 (0,049)	-0,07 (0,60)	-0,09 (0,45)	-0,01 (0,93)	-0,13 (0,32)	-0,13 (0,29)	-0,0 (0,95)	-0,11 (0,38)
Temps sédentaire, min.jour⁻¹	-0,09 (0,49)	0,05 (0,68)	0,10 (0,45)	0,18 (0,15)	0,09 (0,49)	0,07 (0,60)	0,17 (0,20)	0,05 (0,69)

Les données sont le coefficient de corrélation de Spearman r (P-value) ¹sans ajustement ; ²ajusté sur âge et taille.

Le $\dot{V}O_2$ pic absolu était positivement associé à la durée de MVPA ($r = 0,27$ [$P = 0,03$]) mais la relation n'était plus significative après ajustement sur l'âge ($r = 0,19$ [$P = 0,14$]). Le $\dot{V}O_2$ pic relatif à la masse corporelle était positivement associé à la durée de MVPA, et le restait après ajustement sur l'âge et l'IMC ($r = 0,30$ [$P = 0,03$]).

2-2-2- Évolution à court terme (6 mois) après le *bypass*Composition corporelle, comorbidités, $\dot{V}O_2$ pic et force musculaire

Six mois après le *bypass*, la masse corporelle a diminué en moyenne (écart-type) de 27,5 (7,5) kg, l'IMC de 10,4 (2,6) kg.m⁻², la masse grasse de 19,4 (4,9) kg et la masse maigre de 8,2 (3,2) kg (tous $P < 0,001$) (**Tableau 32**). La proportion de participantes présentant un diabète de type 2, une hypertension artérielle et un syndrome d'apnée du sommeil a également diminué ($P < 0,001$). Le $\dot{V}O_2$ pic absolu a diminué de 0,29 (0,48) L.min⁻¹ ($P < 0,001$). Le $\dot{V}O_2$ pic relatif à la masse a augmenté de 2,5 (5,1) mL.kg⁻¹.min⁻¹ ($P < 0,001$) et le $\dot{V}O_2$ pic relatif à la masse maigre n'était pas modifié significativement. Chez les participantes des groupes CON et PRO (n'ayant pas participé au programme d'entraînement), le 1RM des membres inférieurs a diminué de 20 (65) kg ($P < 0,05$). Le 1RM relatif à la masse a augmenté ($P < 0,05$), et le 1RM relatif à la masse maigre n'a pas changé.

AP et temps sédentaire

Le nombre de jours de port et la durée de port quotidienne n'étaient pas différents 6 mois après le *bypass* (**Tableau 32**). Le nombre de coups.min⁻¹ a augmenté de 29,5 (113,2) coups.min⁻¹ en moyenne ($P < 0,05$) et la durée de MVPA de 6,5 (16,6) min.jour⁻¹ ($P = 0,003$). Le temps sédentaire et la durée de l'AP totale, d'intensité légère et d'intensité élevée n'étaient pas modifiés. Les mêmes résultats étaient obtenus en exprimant ces variables en pourcentage du temps de port. Le pourcentage de participantes atteignant le niveau minimal d'AP recommandé a augmenté de 6 % avant le *bypass* à 17 % 6 mois après le *bypass* ($P < 0,05$). La majorité des participantes (54 participantes) restaient insuffisamment actives après le *bypass*.

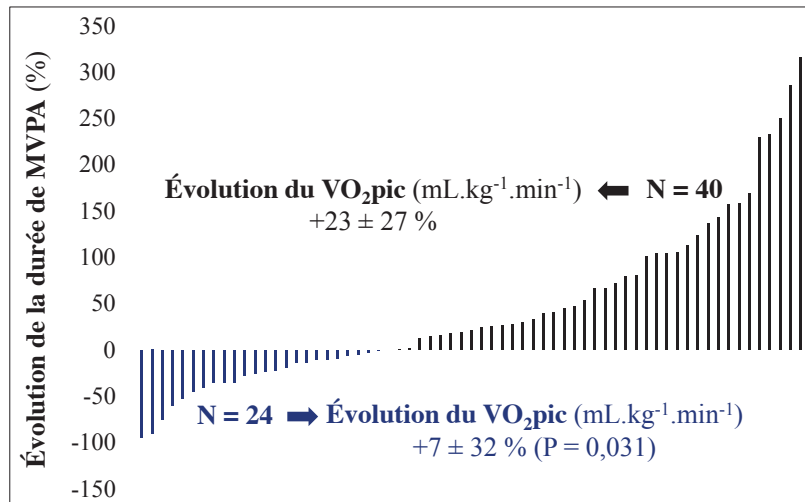
Profils d'accumulation des MVPA et de la sédentarité

Le pourcentage médian de jours au cours duquel au moins une session de MVPA ≥ 5 min a été pratiquée a augmenté 6 mois après le *bypass* (80 % vs 57% avant le *bypass*, $P = 0,02$), ainsi que le pourcentage de jours au cours duquel au moins une session de MVPA ≥ 10 min (33 % vs 17 % avant le *bypass*, $P < 0,001$) a été pratiquée. Le pourcentage de participantes pratiquant chaque jour au moins une session de MVPA ≥ 5 min (28 %) ou et de MVPA ≥ 10 min (5 %) restait très faible après le *bypass* (**Tableau 33**).

Le pourcentage de MVPA accumulé en sessions de MVPA ≥ 5 min, MVPA ≥ 10 min et MVPA ≥ 30 min a augmenté (**Tableau 34**). Cette augmentation est due à une augmentation du nombre de sessions par jour, la durée moyenne des sessions prolongées n'augmentant pas. Le profil d'accumulation de la sédentarité n'a pas changé après le *bypass*.

Variabilité interindividuelle, relations avec le $\dot{V}O_{2pic}$ et la composition corporelle

Une forte variabilité interindividuelle de la durée de MVPA a été observée dans l'évolution 6 mois après le *bypass*. La durée de MVPA a augmenté chez 62 % des participantes (de +0,3 à +69 min.jour⁻¹, augmentation moyenne : +17 [15] min.jour⁻¹) et a diminué chez 38 % des participantes (de -0,3 à -23 min.jour⁻¹, diminution moyenne : -9 [7,4] min.jour⁻¹). Le $\dot{V}O_{2pic}$ relatif à la masse a davantage augmenté chez les participantes dont la durée de MVPA a augmenté que chez celles dont la durée de MVPA a augmenté (+3,5 [4,5] vs +1,3 [5,6] mL.kg⁻¹.min⁻¹, $P < 0,05$) (**Figure 16**). De façon similaire, le $\dot{V}O_{2pic}$ absolu a davantage diminué chez les participantes dont la durée de MVPA a diminué que chez celles dont la durée de MVPA a augmenté ou était maintenue (-0,43 [0,50] vs -17 [0,44] L.min⁻¹, $P < 0,05$). Aucune différence n'était observée dans l'évolution de la masse, de la masse grasse et de la masse maigre chez les participantes dont la durée de MVPA augmentait ou diminuait 6 mois après le *bypass*.



Chaque barre représente une participante (P < 0,05)

Figure 16 – Évolution 6 mois après le *bypass* du $\dot{V}O_{2pic}$ en fonction du changement de MVPA

2-2-3- Évolution à long terme (5 ans) après le *bypass*

Parmi les 65 participantes ayant fourni des données valides d'accélérométrie avant et 6 mois après le *bypass*, 36 participantes ont été ré-évaluées jusqu'à 5 ans après le *bypass*. Parmi elles, des données valides d'accélérométrie étaient disponibles chez 33 participantes et 25 ont également réalisé une épreuve d'effort maximale. La durée de suivi était de 5,9 (0,9) ans.

Les paramètres de composition corporelle ont tous évolué de façon significative au cours du temps (**Tableau 36** et **Figure 17**). La masse corporelle a diminué de façon significative jusqu'à 12 mois après le *bypass*, puis a augmenté entre 12 mois et 5 ans après le *bypass*. À cinq ans, la masse était toutefois inférieure à la masse préopératoire (-32,1 [11,7] kg, P < 0,05) et à celle mesurée 6 mois après le *bypass* (-4,5 [7,9] kg, P < 0,05).

La masse grasse, exprimée en valeur absolue, en pourcentage de la masse corporelle totale ou selon la taille (indice de masse grasse) a diminué de façon significative jusqu'à 12 mois après le *bypass*, puis a augmenté entre 12 mois et 5 ans après le *bypass*. À cinq ans, la masse grasse était inférieure à la masse grasse préopératoire (-21,9 [9,1] kg, P < 0,05) mais n'était pas différente de la masse grasse mesurée à 6 mois du *bypass*.

La masse maigre a quant à elle diminué jusqu'à 6 mois après le *bypass* puis s'est maintenue. À cinq ans, la masse maigre était inférieure à la masse maigre préopératoire (-9,3 [4,2] kg, P < 0,05) mais n'était pas différentes de la masse maigre mesurée à 6 et 12 mois du *bypass*.

Tableau 36 – Données de composition corporelle, de comorbidités, de capacité cardiorespiratoire et d'AP habituelle avant et 6 mois après le *bypass* (N = 33)

	Avant <i>bypass</i>	6 mois après <i>bypass</i>	12 mois après <i>bypass</i>	5 ans après <i>bypass</i>	P
Age	45 (10)	--	--	--	--
Composition corporelle (N=31)					
Masse, kg	116,2 (16,3)	88,7 (13,4) ^a	79,5 (13,1) ^{a,b}	84,0 (15,1) ^{a,b,c}	< 0,001
IMC, kg.m ⁻²	44,1 (5,5)	33,7 (4,6) ^a	30,3 (4,8) ^{a,b}	31,9 (5,5) ^{a,b,c}	< 0,001
Masse grasse, %	49,5 (4,4)	43,1 (5,1) ^a	39,1 (6,0) ^{a,b}	42,2 (6,1) ^{a,c}	< 0,001
Masse grasse, kg	57,6 (11,4)	38,2 (9,2) ^a	31,9 (9,0) ^{a,b}	35,7 (10,6) ^{a,c}	< 0,001
Masse maigre, kg	55,2 (6,7)	46,9 (5,3) ^a	45,7 (5,0) ^a	45,9 (5,9) ^a	< 0,001
Indice de masse grasse, kg.m ⁻²	21,9 (4,0)	14,5 (3,4) ^a	12,2 (3,4) ^{a,b}	13,6 (4,0) ^{a,c}	< 0,001
Indice de masse maigre, kg.m ⁻²	21,0 (2,3)	17,9 (1,8) ^a	17,4 (1,7) ^a	17,5 (1,9) ^a	< 0,001
VO₂pic (N=25)					
Absolu, L.min ⁻¹	2,15 (0,50)	1,75 (0,55)	--	1,68 (0,64)	< 0,001
Relatif à la masse, mL.min ⁻¹ .kg ⁻¹	18,4 (4,1)	19,4 (5,4)	--	19,9 (7,0)	0,47
Relatif à la MM, mL.min ⁻¹ .kgMM ⁻¹	38,5 (8,6)	36,0 (9,5)	--	35,8 (11,9)	0,41
IRM membres inférieurs (N=21)*					
Absolu, kg	177 (56)	145 (38) ^a	--	128 (44) ^a	0,002
Relatif à la masse, kg.kg ⁻¹	1,60 (0,58)	1,68 (0,39)	--	1,53 (0,39)	0,49
Relatif à la masse maigre, kg.kgMM ⁻¹	3,26 (1,14)	3,09 (0,78)	--	2,74 (0,75)	0,12
Activité physique (N=33)					
Nombre de jours valides	6,5 (0,9)	6,5 (0,9)	--	6,6 (0,7)	0,86
Durée de port, h.jour ⁻¹	13,3 (1,2)	13,0 (1,35)	--	13,5 (1,5)	0,19
Coups, coups.min ⁻¹	305 (106)	318 (155)	--	334 (179)	0,35
Temps sédentaire, h.jour ⁻¹	8,2 (1,2)	8,1 (1,3)	--	8,4 (1,6)	0,44
AP totale, h.jour ⁻¹	5,1 (1,2)	4,9 (1,4)	--	5,1 (1,3)	0,69
AP intensité légère, h.jour ⁻¹	4,7 (1,2)	4,4 (1,3)	--	4,6 (1,3)	0,57
AP intensité modérée, min.jour ⁻¹	28 (20)	31 (26)	--	33 (30)	0,36
AP intensité élevée, min.jour ⁻¹	0,1 (0,3)	0,3 (1,0)	--	0,4 (1,2)	0,12
MVPA, min.jour ⁻¹	28 (20)	32 (27)	--	34 (31)	0,32
MVPA ≥ 10 min, min.semaine ⁻¹	66 (117)	78 (153)	--	98 (185)	0,21
Sessions de MVPA ≥ 10 min (N=33)					
Nombre de sessions.jour ⁻¹	0,6 (0,8)	0,7 (1,1)	--	0,8 (1,2)	0,37
Durée moyenne des sessions, min	13,7 (3,60)	13,6 (3,6)	--	18,5 (7,1) ^{a,b}	0,02
Pourcentage des MVPA, %	16,4 (19,1)	18,0 (18,2)	--	19,6 (22,2)	0,61
Sessions de sédentarité ≥ 10 min (N=33)					
Nombre de sessions.jour ⁻¹	14,6 (3,0)	14,1 (3,1)	--	14,5 (3,8)	0,78
Durée moyenne des sessions, min	20,8 (2,5)	20,7 (2,5)	--	21,0 (2,1)	0,38
Pourcentage de sédentarité, %	60,8 (10,5)	60,3 (11,2)	--	60,2 (1,0)	0,95

Les données sont des moyennes (écart-type). * Participantes des groupes CON et PRO.

P-value calculée avec un test ANOVA à mesures répétées. ^a Significativement différent d'avant *bypass*.

^b Significativement différent de 6 mois après *bypass*. ^c Significativement différent de 12 mois après *bypass*

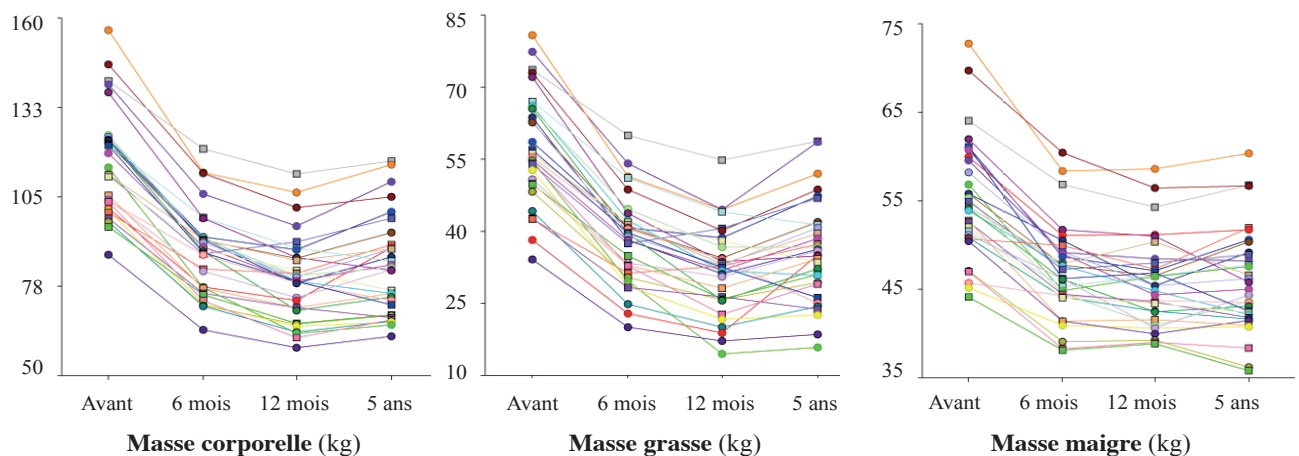


Figure 17 – Évolution individuelle de la masse et de la composition corporelle à 6 mois, 12 mois et 5 ans après le *bypass*

Le $\dot{V}O_{2pic}$ et le 1RM des membres inférieurs exprimés en valeur absolue a diminué au cours du temps (**Tableau 36**). À 5 ans du *bypass*, le $\dot{V}O_{2pic}$ absolu diminuait de 0,46 (0,59) L.min⁻¹ (P < 0,05) comparativement à avant le *bypass*, et le 1RM de -49 (63) kg (P < 0,05). Les valeurs à 5 ans n'étaient en revanche pas significativement différentes des valeurs à 6 mois. Le $\dot{V}O_{2pic}$ et le 1RM des membres inférieurs exprimés de façon relative à la masse corporelle ou à la masse maigre n'ont pas changé de façon significative au cours du temps.

Les variables d'AP et de sédentarité n'ont pas changé de façon significative au cours du temps (**Tableau 36**). Seule la durée moyenne des sessions de MVPA_{≥ 10 min} a augmenté cinq ans après le *bypass* comparativement à avant et 6 mois après le *bypass*. Le pourcentage de participantes atteignant le niveau minimum d'AP recommandé était de 21 % (vs 9 % avant et 15 % 6 mois après le *bypass*, différences non significatives).

Profils d'accumulation des MVPA et de la sédentarité

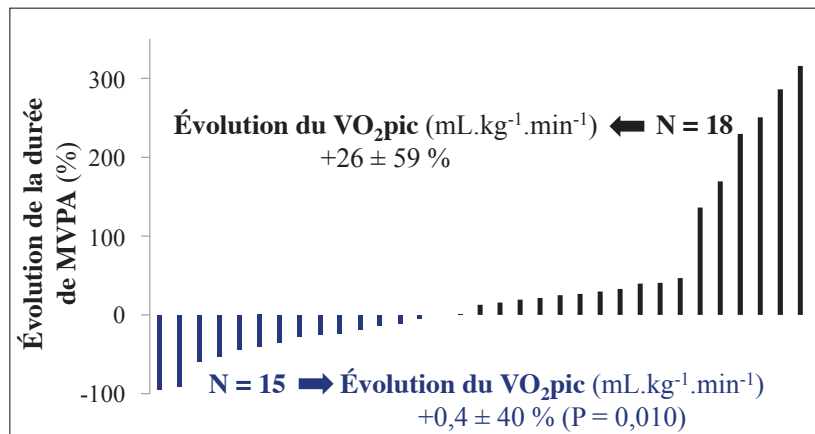
Le nombre de sessions quotidiennes de MVPA_{≥ 10 min} n'a pas changé mais la durée moyenne des sessions a augmenté cinq ans après le *bypass* comparativement à avant et 6 mois après (**Tableau 36**). Les sessions prolongées de MVPA restaient peu fréquentes cinq ans après le *bypass* (**Tableau 37**). Les profils de sédentarité n'ont pas changé de façon significative.

Tableau 37 – Répartition des sessions de MVPA et de sédentarité au cours de la période de port de l'accéléromètre avant et 6 mois après le *bypass* (N=65)

	Fréquence des sessions	Pourcentage de participantes		
		Avant <i>bypass</i> (n = 33)	6 mois après <i>bypass</i> (n = 33)	5 ans après <i>bypass</i> (n = 33)
Sessions de MVPA_{≥ 1 min}	Tous les jours	82 %	73 %	73 %
	≥ 50 % des jours	100 %	97 %	97 %
	Jamais	0 %	0 %	3 %
Sessions de MVPA_{≥ 5 min}	Tous les jours	21 %	27 %	21 %
	≥ 50 % des jours	76 %	70 %	67 %
	Jamais	0 %	9 %	6 %
Sessions de MVPA_{≥ 10 min}	Tous les jours	0 %	6 %	6 %
	≥ 50 % des jours	18 %	12 %	33 %
	Jamais	24 %	3 %	33 %
Sessions de MVPA_{≥ 30 min}	Tous les jours	0 %	0 %	3 %
	≥ 50 % des jours	3 %	3 %	3 %
	Jamais	94 %	91 %	82 %
Sessions de sédentarité_{≥ 1 min}	Tous les jours	100 %	100 %	100 %
	≥ 50 % des jours	100 %	100 %	100 %
	Jamais	0 %	0 %	0 %
Sessions de sédentarité_{≥ 10 min}	Tous les jours	100 %	100 %	100 %
	≥ 50 % des jours	100 %	100 %	100 %
	Jamais	0 %	0 %	0 %
Sessions de sédentarité_{≥ 30 min}	Tous les jours	61 %	48 %	58 %
	≥ 50 % des jours	94 %	100 %	100 %
	Jamais	0 %	0 %	0 %
Sessions de sédentarité_{≥ 60 min}	Tous les jours	0 %	0 %	3 %
	≥ 50 % des jours	0 %	9 %	12 %
	Jamais	33 %	36 %	15 %

Variabilité interindividuelle, relations avec le $\dot{V}O_{2pic}$ et la composition corporelle

L'évolution de la durée de MVPA 5 ans après le *bypass* se caractérisait, comme à 6 mois, par une forte variabilité interindividuelle. La durée de MVPA a augmenté chez 58 % des participantes (de +0,8 à +70 min.jour⁻¹, augmentation moyenne : +20 (20) min.jour⁻¹) et a diminué chez 42 % des participantes (de -5 à -44 min.jour⁻¹, diminution moyenne : -14 (13) min.jour⁻¹). Bien que la différence ne soit pas significative, le $\dot{V}O_{2pic}$ relatif à la masse tendait à augmenter davantage chez les participantes dont la durée de MVPA a augmenté que chez celles dont la durée de MVPA a diminué (+3,12 (7,7) vs -0,50 (6,33) %, P = 0,075) (**Figure 18**). L'évolution du $\dot{V}O_{2pic}$ absolue n'était pas différente entre les groupes. La masse et la masse grasse, en revanche, tendait à diminuer davantage chez les participantes dont la durée de MVPA a augmenté (masse : -29 (8) vs -25 (10) %, P = 0,100 ; masse grasse : -41 (15) vs -34 (14) %, P = 0,113).



Chaque barre représente une participante

Figure 18 – Évolution 5 ans après le *bypass* du $\dot{V}O_{2pic}$ en fonction du changement de MVPA

2-2-4- Discussion

Cette étude avait pour objectif de mieux quantifier l'AP habituelle et la capacité cardiorespiratoire de patientes obèses avant et 6 mois et 5 ans après un *bypass*. Avant le *bypass*, moins de 10 % des patientes atteignaient les recommandations d'AP pour la population générale et le temps sédentaire représentait en moyenne 60 % du temps de port de l'accéléromètre. Près de deux tiers de la durée totale de MVPA étaient pratiqués en sessions très courtes (< 5 minutes) et moins de 10 % en sessions prolongées au-delà de 10 minutes. Ces résultats sont comparables à ceux déjà décrits chez les patients candidats à la chirurgie bariatrique, chez qui les sessions prolongées représentaient 9 à 22 % de la durée totale de MVPA (Berglind et al. 2015, King et al. 2012).

Six mois après le *bypass*, nous avons observé une augmentation modeste mais significative de la durée totale de MVPA. Ces résultats sont en accord avec les nombreuses études ayant montré une augmentation de l'AP mesurée par questionnaire (Herring et al. 2016) mais contraste avec celles n'ayant pas observé d'évolution significative de l'AP mesurée par accélérométrie au cours de la première année post-opératoire (Afshar et al. 2016, Berglind et al. 2015, Bond et al. 2010a, Giusti et al. 2016, Liu et al. 2012). La comparaison directe de nos résultats avec les données de la littérature doit cependant être réalisée avec prudence, en raison de divergences méthodologiques (profil initial des participants, type de chirurgie, paramètres d'AP mesurés). Cinq ans après le *bypass*, l'augmentation de la durée de MVPA n'était plus significative mais cette analyse préliminaire doit être confirmée par l'analyse des données recueillies chez l'ensemble des participantes. Ce résultat serait toutefois en accord avec ceux de l'étude de King et coll. et Giusti et coll. qui ont montré une augmentation temporaire de l'AP jusqu'à deux ans après la chirurgie puis un retour aux valeurs préopératoires trois ans après la chirurgie (Giusti et al. 2016, King et al. 2015).

Au-delà de l'augmentation de la durée totale de MVPA, nous avons observé une augmentation de la durée de MVPA pratiquée en sessions prolongées d'environ 45 min.semaine⁻¹ six mois après le *bypass*, qui ne semblait toutefois pas se maintenir 5 ans après le *bypass*. Le pourcentage de patientes atteignant les 150 min.semaine⁻¹ recommandées a augmenté en parallèle, passant de 6 % avant le *bypass* à 17 % six mois après puis à 21 % cinq ans après. La proportion de MVPA pratiquée en sessions prolongées augmentait de façon significative six mois après le *bypass* mais semblait revenue aux valeurs préopératoires cinq ans après ; et ne représentait à chaque temps qu'une faible proportion de la durée totale de MVPA.

Par ailleurs, nous n'avons pas montré d'évolution du temps sédentaire total ni de la durée des sessions de sédentarité après le *bypass*. Les études publiées sur ce sujet, peu nombreuses, n'indiquaient pas de modifications du temps sédentaire 6 mois après le *bypass* (Afshar et al. 2016, Berglind et al. 2015), mais montraient une diminution de l'ordre de 30 minutes par jour à partir de la deuxième année post-opératoire (King et al. 2015).

Enfin, l'évolution de la durée de MVPA se caractérisait par une importante variabilité interindividuelle aussi bien 6 mois que 5 ans après le *bypass* et semblait associée à l'évolution de la capacité cardiorespiratoire. L'évolution du $\dot{V}O_{2pic}$ relatif six mois après le *bypass* était en effet plus importante chez les patientes dont la durée de MVPA avait augmenté, et tendait également à l'être cinq ans après.

2-2- Activité physique, capacité cardiorespiratoire et fonction musculaire chez les patientes obèses candidates à la chirurgie bariatrique (étude FAMOUS)

Notre revue de la littérature et les résultats de l'étude PROMISE ont mis en évidence les bénéfices de l'AP sur la capacité cardiorespiratoire et la force musculaire après chirurgie bariatrique. L'étude FAMOUS présentée ci-dessous avait pour objectif de mesurer différentes dimensions de la capacité physique (capacité cardiorespiratoire, force musculaire, stabilité dynamique, stabilité posturale) chez des patientes candidates à la chirurgie bariatrique ; et d'identifier les paramètres de la composition corporelle ou de l'AP habituelle qui leur étaient associés. Le second objectif était d'identifier les méthodes de mesure de la capacité physique adaptées à ces patientes. Face à l'essor de la *sleeve* au cours des dernières années (Angrisani et al. 2017, Czernichow et al. 2016), l'étude FAMOUS a été réalisée auprès de patients candidates à la *sleeve*.

2-2-1- Caractéristiques initiales des participantes

L'étude FAMOUS a inclus 23 patientes candidates à la *sleeve* (Tableau 38).

Tableau 38 – Caractéristiques des participantes candidates à la *sleeve* (N = 23)

Age	41,5 (36,1-50,6)
Composition corporelle	
Masse, kg	113,1 (106,3-120,0)
IMC, kg.m ⁻²	42,6 (40,9-47,7)
Masse grasse, %	48,0 (46,9-51,1)
Masse grasse, kg	55,5 (50,3-62,5)
Masse maigre, kg	54,1 (52,1-58,0)
Indice de masse grasse, kg.m ⁻²	20,9 (19,0-24,3)
Indice de masse maigre, kg.m ⁻²	21,3 (20,0-22,2)
Comorbidités	
Diabète de type 2, %	17 %
Hypertension artérielle, %	22 %
Syndrome d'apnée du sommeil, %	56 %
Douleurs articulaires	
- Genou	70 %
- Dos	48 %
- Cheville	22 %
WOMAC	
Score total	18 (9-33)
- Score de douleur	6 (2-9)
- Score de raideur	1 (0-4)
- Score de fonction	12 (2-17)
Fatigue	
Score total	62 (59-64)
- Fatigue générale	29 (27-30)
- Fatigue mentale	20 (18-22)
- Réduction des activités	11 (10-12)
- Réduction de la motivation	2 (2-4)

Les données sont des médianes (25^e-75^e percentile)

2-2-2- Description de l'activité physique habituelle et de la capacité physique

• AP et temps sédentaire mesurés par accélérométrie (Actigraph)

Des données valides ont été obtenues avec l'accéléromètre Actigraph chez les 23 participantes. Cet accéléromètre a été porté pendant 7 jours et 15 heures par jour (médiane) (**Tableau 39**). La sédentarité représentait 64 (60-73) % du temps de port de l'accéléromètre et l'AP totale, d'intensité légère et les MVPA représentaient chacun respectivement 36 (27-41), 32 (24-37) % et 4 (2-6) % du temps de port. Seules 4 participantes (17 %) atteignaient le niveau minimum recommandé de 150 minutes.semaine⁻¹ de MVPA ≥ 10 min.

Tableau 39 – AP et temps sédentaire mesurées par accélérométrie chez les participantes candidates à la sleeve (N=23)

	<i>Avant sleeve</i>
Nombre de jours valides	7 (7-7)
Durée de port, h.jour⁻¹	15,0 (13,7-16,2)
Coups, coups.min⁻¹	280 (228-365)
Pas quotidiens, pas.jour⁻¹	7 253 (5 149-8 491)
Temps sédentaire, h.jour⁻¹	9,2 (8,3-11,5)
AP totale, h.jour⁻¹	5,2 (3,9-6,4)
AP intensité légère, h.jour⁻¹	4,7 (3,3-5,7)
AP intensité modérée, min.jour⁻¹	31 (20-49)
AP intensité élevée, min.jour⁻¹	0 (0-0)
MVPA, min.jour⁻¹	31 (20-49)
MVPA ≥ 10 min, min.semaine⁻¹	45 (6-109)

Les données sont des médianes (25^e-75^e percentile).

Profils d'activité physique

La majorité des participantes (83 %) a pratiqué chaque jour au moins une session de MVPA ≥ 1 min. Dix participantes (43 %) ont pratiqué chaque jour au moins une session de MVPA ≥ 5 min, et une seule a pratiqué chaque jour au moins une session de MVPA ≥ 10 min. Six participantes (26 %) n'ont pratiqué aucune session de MVPA ≥ 10 min au cours de la période d'enregistrement, et 18 participantes (78 %) n'ont pratiqué aucune session de MVPA ≥ 30 min.

Les sessions courtes de MVPA (MVPA ≥ 1 min et MVPA ≥ 5 min) étaient pratiquées tous les jours ou presque, tandis que les sessions de MVPA ≥ 10 min étaient pratiquées moins d'un tiers des jours.

Les participantes pratiquaient 12 sessions quotidiennes de MVPA ≥ 1 min d'une durée médiane de 2,4 minutes ; 2,5 sessions quotidiennes de MVPA ≥ 5 min d'une durée médiane de 8 minutes, et moins de 0,5 sessions de MVPA ≥ 10 min d'une durée médiane de 15 minutes (**Tableau 40**). La durée de MVPA ≥ 5 min représentait 45 % de la durée totale de MVPA et la durée de MVPA ≥ 10 min ne représentait que 15 % de la durée totale de MVPA.

Profils de sédentarité

Toutes les participantes ont pratiqué chaque jour au moins une session de sédentarité ≥ 1 min et de sédentarité ≥ 10 min. Treize participantes (56 %) ont pratiqué chaque jour au moins une session de sédentarité ≥ 30 min, et une seule participante a pratiqué chaque jour une session de sédentarité ≥ 60 min. Un total de 75 sessions de sédentarité ≥ 1 min d'une durée médiane de 7 minutes était pratiqué chaque jour (**Tableau 40**). La durée de sédentarité ≥ 10 min représentait 63 % de la durée totale de sédentarité et la durée de sédentarité ≥ 30 min et de sédentarité ≥ 60 min respectivement 21 % et 4 % de la durée totale de sédentarité.

Tableau 40 – Profils d'AP et de sédentarité chez les participantes candidates à la sleeve (N=23)

	Pourcentage de jours avec ≥ 1 session	Nombre de sessions.jour ⁻¹	Durée moyenne des sessions (min)	Pourcentage de MVPA (%)
Sessions de MVPA ≥ 1 min	100 (100-100)	11,5 (8,4-16,1)	2,4 (1,7-3,2)	100
Sessions de MVPA ≥ 5 min	86 (59-100)	2,5 (1,3-3,9)	7,6 (6,6-10,0)	44,5 (32,0-68,2)
Sessions de MVPA ≥ 10 min	29 (7-50)	0,4 (0,1-1,0)	14,8 (12,0-38,1)	14,7 (2,2-27,1)
Sessions de MVPA ≥ 30 min	0 (0-0)	0 (0-0)	40,0 (33,0-57,5)	0 (0-0)
Sessions de sédentarité ≥ 1 min	100 (100-100)	84,4 (74,6-94,9)	6,6 (5,8-8,4)	100
Sessions de sédentarité ≥ 10 min	100 (100-100)	16,4 (14,3-19,9)	21,4 (19,7-23,7)	63 (55-73)
Sessions de sédentarité ≥ 30 min	100 (82-100)	3,0 (1,9-4,9)	45,4 (40,7-48,6)	21 (17-35)
Sessions de sédentarité ≥ 60 min	29 (14-57)	0,3 (0,2-0,9)	72,0 (68,5-76,4)	4 (2-9)

Les données sont des médianes (25^e-75^e percentile).

- **Analyse de la marche en vie réelle mesurée par accélérométrie (activPAL)**

Nombre de pas et distribution des pas selon la cadence de marche

Des données valides ont été obtenues avec l'accéléromètre activPAL chez 18 participantes, qui ont porté l'accéléromètre pendant 7 (5-7) jours (**Tableau 41**). La médiane du nombre de pas quotidien était de 8 706 pas.jour⁻¹, ce qui représentait une durée de marche d'1 h 48 min.jour⁻¹.

Tableau 41 – AP et temps sédentaire mesurées par accélérométrie chez les participantes candidates à la sleeve (N=23)

	Avant sleeve
Pas quotidiens, pas.jour ⁻¹	8 706 (6 386-10 976)
Durée de marche, min.jour ⁻¹	108 (86-140)
Pas quotidiens à une cadence :	
- 1 à 19 pas.min ⁻¹	0 (0-0)
- 20 à 39 pas.min ⁻¹	393 (224-619)
- 40 à 59 pas.min ⁻¹	819 (442-1 021)
- 60 à 79 pas.min ⁻¹	1 108 (702-1 221)
- 80 à 99 pas.min ⁻¹	1 782 (1 250-2 253)
- 100 à 119 pas.min ⁻¹	3 052 (2 236-5 434)
- ≥ 120 pas.min ⁻¹	387 (146-1 489)

Les données sont des médianes (25^e-75^e percentile).

La distribution des pas quotidiens selon la cadence de marche est présentée dans la **Figure 19**. Les pas pratiqués à une cadence supérieure à 100 pas.min⁻¹ (considérée comme le seuil d'intensité modérée) représentaient 46 % du nombre total de pas quotidien. La majorité des pas était ainsi pratiquée avec une cadence inférieure à 100 pas.min⁻¹, c'est-à-dire à une intensité légère.

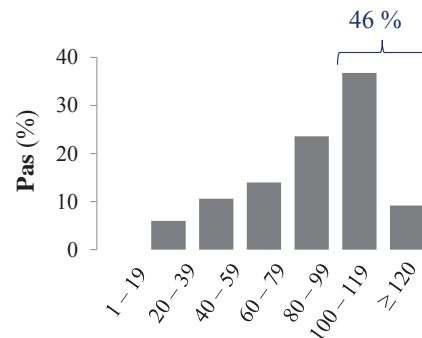
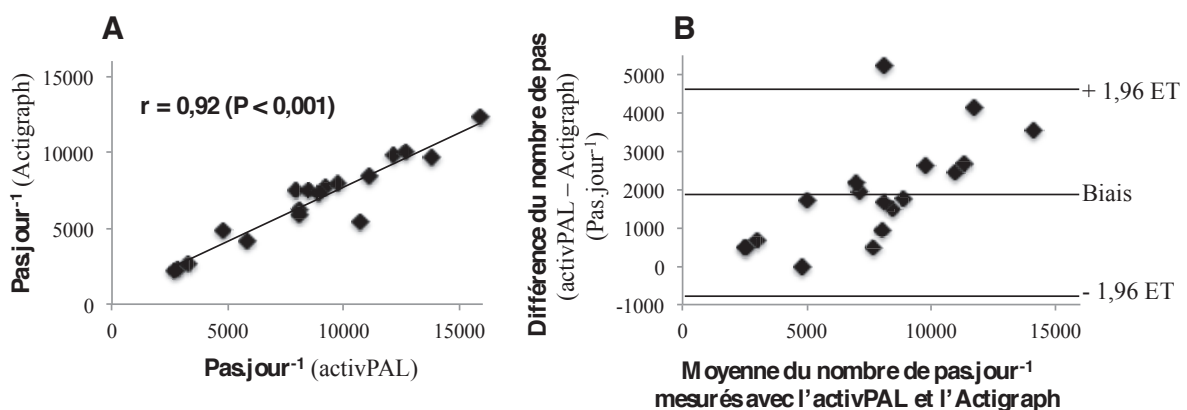


Figure 19 – Distribution des pas selon la cadence de marche (en pas.min⁻¹)

Comparaison avec l'accéléromètre Actigraph

Le nombre de pas quotidien mesuré par l'accéléromètre activPAL était supérieur à celui mesuré par l'accéléromètre Actigraph ($P < 0,001$). La relation entre les deux mesures était forte (**Figure 20 A**). La différence moyenne entre les méthodes (IC 95 %) était de 1 911 (-798 ; 4620) pas.jour⁻¹ (**Figure 20 B**). Cette différence était fortement associée au nombre de pas (moyenne des deux mesures) ($r = 0,76$ [$P < 0,001$]).



A : Corrélation de Spearman entre le nombre de pas quotidien mesurés par les deux accéléromètres

B : Graphique de Bland-Altman de la différence entre les mesures des deux accéléromètres

Figure 20 – Nombre de pas quotidien mesuré avec les Actigraph et activPAL

Le nombre de pas réalisés à une cadence ≥ 100 pas.minute⁻¹ et la durée de marche étaient fortement associés à la durée de MVPA mesurée avec l'accéléromètre Actigraph (respectivement $r = 0,79$ [$P < 0,001$] et $r = 0,70$ [$P = 0,001$]).

• **Données déclaratives d'AP et de sédentarité**

Vingt et une participantes ont répondu au questionnaire d'AP, parmi lesquelles 17 ont déclaré une activité professionnelle au cours des 4 dernières semaines.

La durée totale de MVPA (hors travail) atteignait 47 min.jour⁻¹, dont environ deux tiers pratiqués au cours des loisirs et un tiers au cours des déplacements (**Tableau 42**). Seize participantes (76 %) atteignaient le niveau minimum recommandé de 150 minutes.semaine⁻¹ de MVPA ; et 17 participantes (81 %) le niveau correspondant de 7,5 MET-h.semaine⁻¹.

Seize participantes (76 %) ont déclaré avoir pratiqué une AP de loisir d'intensité modérée au cours des 4 dernières semaines, et 7 participantes (33 %) avoir pratiqué une AP de loisir d'intensité élevée. Les AP pratiquées étaient la marche (N = 13), les exercices de conditionnement (ergocycle, N = 4), le jardinage (N = 4), l'aquagym et la natation (N = 3), les exercices de relaxation (yoga, qi-qong, N = 2), la randonnée, le bowling, le bricolage et la danse (N = 1). La sédentarité totale était supérieure à 8 h.jour⁻¹. Le travail et les loisirs contribuaient chacun pour moitié à la sédentarité totale. Le temps passé devant la télévision représentait près de 90 % des occupations sédentaires de loisir.

Tableau 42 – Données déclaratives d'AP chez les participantes candidates à la *sleeve* (N = 21)

	Durée	Dépense énergétique
	min.jour⁻¹	MET-h.semaine⁻¹
AP totale (loisirs + déplacements)		
Intensité modérée à élevée	47,1 (21,4-65,6)	24,1 (14,9-30,0)
AP de loisir		
Intensité modérée à élevée	33,2 (7,9-43,9)	15,8 (4,1-21,8)
Intensité légère	0 (0-0)	0 (0-0)
Intensité modérée	17,1 (1,1-38,6)	7,0 (0,4-16,6)
Intensité élevée	0 (0-5,4)	0 (0-4,4)
AP au cours de déplacements		
Marche et vélo	10,7 (4,3-30,0)	4,4 (1,8-12,3)
Marche	10,7 (0-28,6)	4,4 (0-11,7)
Vélo	0 (0-0)	0 (0-0)
Sédentarité	h.jour⁻¹	
Durée totale	8,4 (6,0-14,1)	--
Au travail*	3,9 (2,5-5,4)	--
Dans les transports	0,4 (0,3-1,1)	--
Au cours des loisirs	3,5 (2,5-4,5)	--
Devant la TV	3,1 (2,1-3,5)	--

Les données sont des médianes (25^e-75^e percentile). * Chez les personnes déclarant une activité professionnelle

Comparaison avec l'accéléromètre Actigraph

La durée de MVPA mesurée par le questionnaire STAQ tendait à être supérieure à celle mesurée par l'accéléromètre Actigraph (**Tableau 43**). La différence entre les deux mesures était associée de façon significative à la durée de MVPA (moyenne des deux mesures) et au pourcentage de masse grasse (respectivement $r = 0,42$ [$P = 0,048$] et $r = 0,43$ [$P = 0,04$]).

Le temps sédentaire mesuré par le questionnaire STAQ était inférieur à celui mesuré par l'Actigraph. La différence entre les deux mesures n'était pas associée de façon significative au temps sédentaire.

Tableau 43 – Données déclaratives d'AP chez les participantes candidates à la sleeve (N=21)

	Actigraph Moyenne (ET)	STAQ Moyenne (ET)	P ¹	Biais (min. jour ⁻¹) IC (95 %)	Corrélation de Spearman	
					r	P
Durée de MVPA , min.jour ⁻¹	34,5 (20,0)	47,1 (29,7)	0,08	+13 (-52 ; 78)	0,12	0,61
Temps sédentaire , min.jour ⁻¹	9,7 (2,0)	7,7 (3,3)	0,02	-38 (-361 ; 285)	0,21	0,36

¹P- value calculée avec le test de Mann-Whitney

• Capacité cardiorespiratoire et fonction musculaire

Parmi les 23 participantes chez qui des données valides d'accélérométrie ont été obtenues, 20 participantes ont réalisé les tests de force musculaire et de stabilité dynamique et posturale, 18 participantes ont réalisé les tests de force musculaire sur l'ergomètre isocinétique et 13 ont réalisé une épreuve d'effort maximal avec mesure du $\dot{V}O_{2pic}$ (**Tableau 44**).

La stabilité dynamique a été mesurée lors d'un test de marche à vitesse spontanée et à vitesse rapide. La vitesse de marche spontanée était de 4,1 (3,9-4,6) km.h⁻¹ et la vitesse de marche rapide de 6,1 (5,6-6,5) km.h⁻¹. La cadence, la longueur du pas et le temps d'oscillation étaient supérieures à vitesse rapide par comparaison à la vitesse spontanée ($P < 0,001$). Le support de base et l'orientation des pieds étaient en revanche similaires entre les deux vitesses.

La stabilité posturale a été évaluée les yeux ouverts et les yeux fermés. La surface et la vitesse des déplacements du centre de pression étaient augmentées les yeux fermés et la longueur des déplacements était augmentée dans les axes médio-latéral antéro-postérieur.

La fréquence cardiaque a été mesurée pendant le test de marche de 6 minutes chez toutes les participantes, à l'exception de l'une d'entre elles qui était sous traitement β -bloquant. La fréquence cardiaque maximale mesurée au cours du test correspondait à 81 (72-85) % de la fréquence cardiaque maximale théorique (calculée comme $220 - \text{âge}$) et à 86 (79-91) % de la fréquence cardiaque maximale mesurée au cours de l'épreuve d'effort maximal. La distance

parcourue tendait à être associée au $\dot{V}O_2\text{pic}$ absolu et relatif à la masse ($r = 0,46$ [$P = 0,11$] dans les deux cas). La distance parcourue était par ailleurs positivement associée au pourcentage de la fréquence cardiaque maximale théorique ($r = 0,59$ [$P = 0,008$]), suggérant que la distance parcourue est plus importante chez les patientes ayant fourni un effet plus important.

Tableau 44 – Capacité cardiorespiratoire, fonction musculaire et capacité physique fonctionnelle chez les participantes candidates à la sleeve

$\dot{V}O_2\text{pic}$ (N = 13)			P
Absolu , L.min ⁻¹	2,02 (1,69-2,31)	--	--
Relatif , mL.kg ⁻¹ .min ⁻¹	17,4 (15,3-20,8)	--	-
Relatif , mL.kgMM ⁻¹ .min ⁻¹	37,9 (31,2-47,7)	--	--
Ergomètre isocinétique (N = 18)	Absolue	Relative à la masse corporelle	
Force isométrique , Nm	164 (140-198)	1,41 (1,13-1,61)	--
Force isocinétique 60°.s⁻¹ , Nm	131 (118-145)	1,10 (1,0-1,22)	--
F max isocinétique 240°.s⁻¹ , Nm	85 (77-100)	0,73 (0,67-0,80)	--
Saut vertical (N = 20)			
Force , N	1 965 (1 880-2 080)	17,3 (16,4-18,2)	--
Puissance , W	2 535 (2 318-2 749)	21,3 (20,2-24,3)	--
Vitesse , m.s ⁻¹	1,6 (1,4-1,7)	--	
Stabilité dynamique (N = 20)	Vitesse spontanée	Vitesse rapide	P
Vitesse , cm.s ⁻¹	112,8 (109,0-127,1)	168,4 (155,4-180,3)	<0,001
Cadence , pas.min ⁻¹	112 (110-117)	139 (126-146)	<0,001
Longueur du pas , cm	61,6 (58,1-67,1)	74,8 (70,0-77,0)	<0,001
Oscillation , % cycle	36,5 (35,8-36,9)	39,3 (38,2-39,9)	<0,001
Temps de double appui , % cycle	27,5 (26,4-28,8)	22,3 (20,2-23,3)	<0,001
Ratio appui/oscillation	1,74 (1,72-1,80)	1,55 (1,51-1,62)	<0,001
Support de base , cm	11,9 (11,0-13,0)	12,0 (10,5-13,2)	0,311
Angle du pied gauche , °	4,2 (-0,2-10,8)	4,4 (1,3-10,0)	0,411
Angle du pied droit , °	8,0 (2,7-11,3)	7,9 (3,2-11,3)	0,118
Stabilité posturale (N = 20)	Yeux ouverts	Yeux fermés	P
Surface , mm ²	239,6 (162,7-320,0)	383,1 (276,2-480,1)	<0,001
Vitesse , mm.s ⁻¹	9,7 (8,1-10,8)	15,0 (12,5-17,3)	<0,001
Longueur X , mm	258,9 (220,0-305,3)	361,8 (325,1-460,3)	<0,001
Longueur Y , mm	348,1 (295,4-407,2)	566,4 (487,1-676,7)	<0,001
Excursion antérieure maximale , mm	74,4 (59,3-87,4)	--	--
Excursion postérieure maximale , mm	50,8 (40,8-73,4)	--	--
Test de marche de 6 minutes (N = 20)			
Distance , m	513 (497-535)	--	--
FC maximale , battements.min ⁻¹	143 (130-148)	--	--
FC moyenne , battements.min ⁻¹	122 (111-131)	--	--
Perception de l'effort	6,8 (5,0-7,9)	--	--

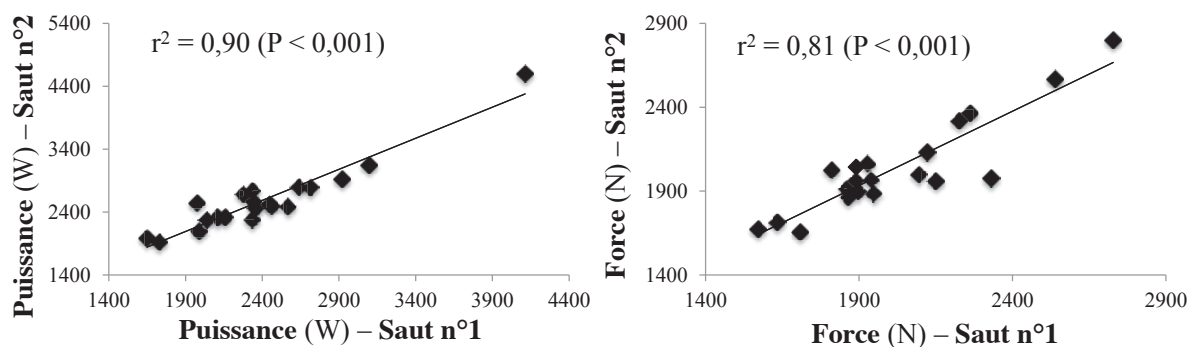
Les données sont des médianes (25^e-75^e percentile). P- value calculée avec le test de Wilcoxon

X : axe médio-latéral, Y : axe antéro-postérieur

2-2-3- Aspects méthodologiques : mesure de la force et de la puissance musculaire sur plateforme de force

- **Reproductibilité de la mesure**

Deux sauts verticaux ont été réalisés successivement. Les valeurs de puissance (**Figure 21 - gauche**) et de force (**Figure 21 - droite**) obtenues lors des deux sauts étaient fortement associées. Le coefficient de corrélation intra-classe (IC 95 %) était de 0,95 (0,88-0,98) pour la mesure de la puissance et de 0,90 (0,77-0,96) pour la mesure de la force.

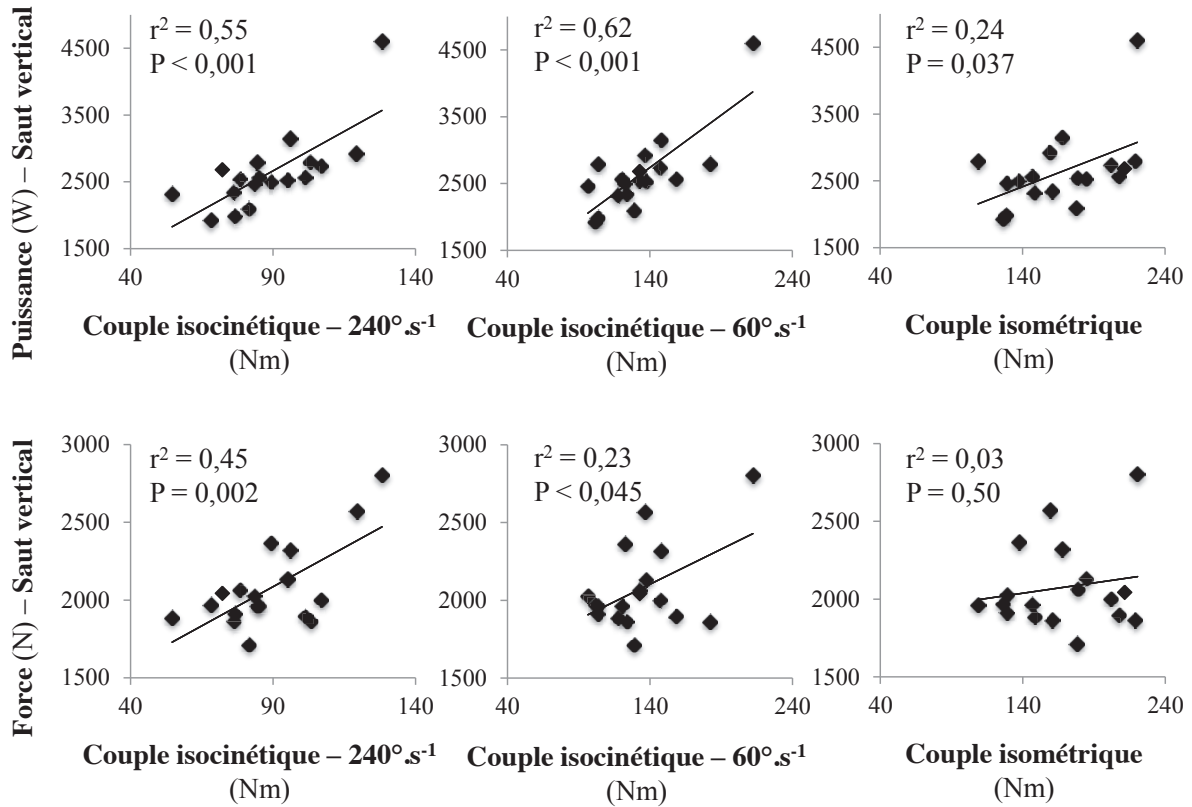


Corrélation de Pearson

Figure 21 – Reproductibilité de la mesure de puissance et de force lors d'un saut vertical sur une plateforme de force

- **Validité de la mesure : comparaison avec l'ergomètre isocinétique**

La puissance maximale développée lors du saut vertical était fortement associée aux couples de force isocinétique ou isométrique. Les relations les plus fortes étaient obtenues avec les couples de force isocinétique à 60 et 240°.s⁻¹, puis avec le couple de force isométrique (**Figure 22**). La force maximale développée lors du saut vertical était associée de façon modérée aux couples de force isocinétique mais n'était pas associée au couple de force isométrique.

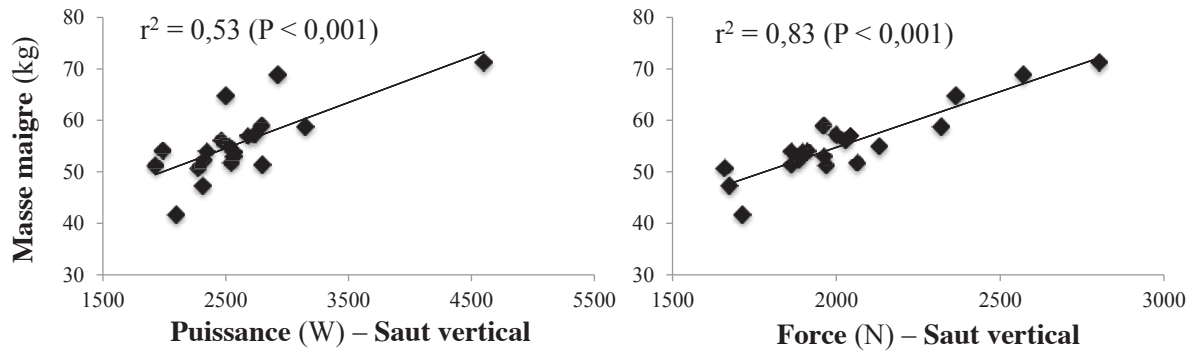


Corrélations de Pearson

Figure 22 – Relation entre la puissance et la force musculaire (saut vertical) et les couples de force isocinétiques et isométrique (extenseurs du genou)

• **Validité de la mesure : relations avec la masse maigre**

La force et la puissance développées lors du saut vertical étaient respectivement fortement et modérément associées à la masse maigre (**Figure 23**). Ces résultats contrastent avec les résultats obtenus avec l’ergomètre isocinétique : parmi les mesures réalisées sur cet appareil, seule le couple de force isocinétique à 240°.s⁻¹ était associée de façon significative à la masse maigre ($r^2 = 0,40$ [P = 0,005]).



Corrélations de Pearson

Figure 23 – Relations entre la force et la puissance musculaire (saut vertical) et la masse maigre

2-2-4- Paramètres de la composition corporelle associés à l'AP et à la capacité physique

Force et puissance musculaire (saut vertical)

La force développée lors du saut vertical était fortement associée à la masse corporelle, la masse maigre et la masse grasse (**Tableau 45**). Ces relations restaient significatives après ajustement sur la taille. Par ailleurs, la force restait fortement associée à la masse maigre après ajustement sur la masse grasse ($r = 0,74$ [$P < 0,001$]) ; et une tendance persistait entre la force et la masse grasse, après ajustement sur la masse maigre ($r = 0,44$ [$P = 0,06$]).

La vitesse maximale tendait à être inversement associée à la masse grasse et la relation devenait significative après ajustement sur la taille. Elle restait par ailleurs significative après ajustement sur la masse maigre ($r = -0,53$ [$P = 0,02$]).

La puissance était inversement associée à l'âge et positivement associée à la taille du sujet. Elle était par ailleurs associée à la masse maigre, tendait à être associée à la masse corporelle mais n'était pas associée à la masse grasse. La puissance restait très fortement associée à la masse maigre après ajustement sur l'âge, la taille et la masse grasse ($r = 0,81$ [$P < 0,001$]).

Force musculaire (ergomètre isocinétique)

Le couple de force isocinétique à $240^{\circ}.s^{-1}$ était inversement associé à l'âge et tendait à être positivement associé à la taille. Elle était également modérément associée à la masse corporelle, à la masse maigre et à la masse grasse. Après ajustement sur la taille, seule la relation avec la masse corporelle restait significative.

Le couple de force isocinétique à $60^{\circ}.s^{-1}$ et le couple de force isométrique étaient inversement associés à l'âge mais n'était pas associés à la masse et à la composition corporelle.

Stabilité dynamique

La vitesse de marche spontanée était associée à la taille du sujet. Après ajustement sur la taille, la vitesse était inversement associée à la masse corporelle. Après ajustement sur la taille et l'âge, une relation significative était observée avec la masse et la masse grasse (respectivement $r = -0,59$ [$P = 0,009$] et $r = -0,49$ [$P = 0,04$]) ; et une tendance avec la masse maigre ($r = -0,43$ [$P = 0,07$]). La masse grasse n'était pas associée à la vitesse après ajustement sur la masse maigre, et inversement.

Le temps de double appui était inversement associé à la taille du sujet, et positivement associé à la masse corporelle. Après ajustement sur la taille, les relations avec la masse, la

masse maigre et la masse grasse étaient toutes significatives. Les relations persistaient également après un ajustement supplémentaire sur la vitesse de marche (respectivement $r = 0,71$ [$P < 0,001$], $r = 0,60$ [$P = 0,008$] et $r = 0,46$ [$P = 0,06$]). Enfin, le temps de double appui restait associé à la masse maigre après ajustement sur la taille et masse grasse ($r = 0,62$ [$P = 0,006$]) ; et une tendance persistait avec la masse grasse après ajustement sur la taille et la masse maigre ($r = 0,45$ [$P = 0,06$]).

Stabilité posturale

La vitesse de déplacement du centre de pression lors d'un test orthostatique réalisé les yeux ouverts n'était pas associée à la masse, la masse maigre et la masse grasse, même après ajustement sur la taille du sujet. Des résultats similaires ont été obtenus pour le test réalisé les yeux fermés. **L'excursion antérieure maximale** était inversement associée à la masse et à la masse grasse après ajustement sur la taille.

Test de marche de 6 minutes

La distance parcourue en 6 minutes n'était pas associée à la masse, à la masse maigre ou à la masse grasse. Cependant, après ajustement sur l'âge et sur la taille, elle tendait à être associée à la masse ($r = -0,40$ [$P = 0,10$]) et à la masse grasse ($r = -0,46$ [$P = 0,05$]) mais n'était pas associée à la masse maigre ($r = -0,20$ [$P = 0,43$]).

Capacité cardiorespiratoire

Le $\dot{V}O_{2pic}$ absolu était fortement et inversement associé à l'âge ; et positivement associé à la masse et à la masse grasse. Ces dernières relations restaient significatives après ajustement sur la taille et une tendance persistait après ajustement supplémentaire sur l'âge ($r = 0,52$ [$P = 0,10$] avec la masse ; $r = 0,57$ [$P = 0,07$] avec la masse grasse). La masse grasse tendait à être associée au $\dot{V}O_{2pic}$ absolu après ajustement sur l'âge et la masse maigre ($r = 0,52$ [$P = 0,10$]).

Le $\dot{V}O_{2pic}$ relatif à la masse fortement et inversement associé à l'âge mais n'était pas associé à la masse ou à la composition corporelle.

Activité physique

La durée de MVPA et **le temps sédentaire** mesurés avec l'accéléromètre Actigraph n'étaient pas associés à l'âge, à la masse ou à la composition corporelle.

Tableau 45 – Paramètres associés à la composition corporelle (N = 20)

	Age	Taille (cm)	Masse ¹ (kg)	Masse maigre ¹ (kg)	Masse grasse ¹ (kg)	Masse ² (kg)	Masse maigre ² (kg)	Masse grasse ² (kg)
Force et puissance musculaire								
Force (saut vertical), N	-0,33 (0,15)	0,24 (0,31)	0,77 (< 0,001)	0,79 (< 0,001)	0,57 (0,009)	0,79 (< 0,001)	0,79 (< 0,001)	0,56 (0,01)
Vitesse (saut vertical), cm.s⁻¹	-0,28 (0,24)	0,16 (0,51)	-0,26 (0,26)	0,10 (0,67)	-0,44 (0,05)	-0,31 (0,20)	0,04 (0,89)	-0,48 (0,04)
Puissance (saut vertical), W	-0,59 (0,006)	0,47 (0,04)	<u>0,41</u> (<u>0,07</u>)	0,67 (0,001)	0,15 (0,52)	0,35 (0,14)	0,51 (0,03)	0,10 (0,67)
Couple de force isocinétique (240°.s⁻¹), Nm	-0,52 (0,03)	<u>0,40</u> (<u>0,10</u>)	0,50 (0,04)	0,63 (0,005)	0,54 (0,02)	0,51 (0,03)	<u>0,44</u> (<u>0,08</u>)	0,38 (0,13)
Couple de force isocinétique (60°.s⁻¹), Nm	-0,69 (0,002)	<u>0,41</u> (<u>0,09</u>)	0,25 (0,32)	0,22 (0,37)	0,25 (0,32)	0,24 (0,35)	0,09 (0,73)	0,27 (0,29)
Couple de force isométrique, Nm	-0,64 (0,004)	0,27 (0,27)	0,08 (0,75)	0,02 (0,95)	0,15 (0,55)	-0,06 (0,81)	-0,09 (0,72)	0,15 (0,55)
Stabilité dynamique								
Vitesse spontanée, cm.s⁻¹	-0,24 (0,30)	0,44 (0,05)	-0,35 (0,13)	-0,14 (0,57)	-0,28 (0,23)	-0,51 (0,03)	<u>-0,42</u> (<u>0,07</u>)	<u>-0,39</u> (<u>0,10</u>)
Temps de double appui (% cycle)	0,07 (0,77)	-0,59 (0,006)	0,49 (0,03)	0,22 (0,35)	0,37 (0,11)	0,79 (< 0,001)	0,69 (0,001)	0,57 (0,01)
Stabilité posturale								
Vitesse YO, mm.s⁻¹	0,25 (0,29)	0,11 (0,64)	0,15 (0,53)	0,10 (0,67)	0,04 (0,88)	0,20 (0,42)	0,06 (0,80)	0,16 (0,50)
Excursion antérieure max., mm	-0,23 (0,34)	0,32 (0,18)	-0,36 (0,13)	-0,24 (0,32)	-0,40 (0,09)	-0,49 (0,045)	-0,39 (0,12)	-0,54 (0,03)
Test de marche de 6 minutes								
Distance, m	-0,26 (0,27)	0,17 (0,48)	-0,17 (0,57)	-0,08 (0,73)	-0,28 (0,23)	-0,30 (0,22)	-0,18 (0,45)	-0,32 (0,19)
ṀO₂pic (N = 13)								
Absolu, L.min⁻¹	-0,83 (< 0,001)	0,40 (0,17)	0,63 (0,02)	0,31 (0,30)	0,64 (0,02)	0,61 (0,04)	0,15 (0,64)	0,65 (0,02)
Activité physique (N = 23)								
MVPA, min.jour⁻¹	-0,11 (0,62)	-0,21 (0,32)	-0,07 (0,74)	-0,08 (0,72)	-0,14 (0,51)	0,00 (0,98)	0,04 (0,87)	-0,08 (0,72)
Temps sédentaire, min.jour⁻¹	0,35 (0,11)	<u>0,35</u> (<u>0,10</u>)	-0,07 (0,76)	0,13 (0,55)	-0,13 (0,56)	-0,22 (0,32)	-0,07 (0,77)	-0,27 (0,22)

Les données sont le coefficient de corrélation de Spearman r (P-value) ¹sans ajustement ; ²ajusté sur la taille.
YO : test réalisé les yeux ouverts.

2-2-5- Paramètres de la capacité physique associés à l'AP

Le nombre de coups.min⁻¹, la durée de MVPA et le temps sédentaire n'étaient pas associés à la force et à la puissance musculaire, à la stabilité dynamique, à la stabilité posturale ou à la capacité cardiorespiratoire, même après ajustement sur l'âge et l'IMC (**Tableau 46**). Seule la distance parcourue tendait à être associée à la durée de MVPA, y compris après ajustement sur l'âge et l'IMC.

Tableau 46 – Paramètres associés à l'activité physique (N = 20)

	CPM ¹ (min.j ⁻¹)	MVPA ¹ (min.j ⁻¹)	Temps sédentaire ¹ (min.j ⁻¹)	CPM ² (min.j ⁻¹)	MVPA ² (min.j ⁻¹)	Temps sédentaire ² (min.j ⁻¹)
Force et puissance musculaire						
Force (saut vertical), N	-0,19 (0,42)	-0,27 (0,25)	-0,21 (0,37)	-0,36 (0,14)	-0,28 (0,26)	0,32 (0,19)
Puissance (saut vertical), W	-0,08 (0,74)	-0,27 (0,25)	-0,03 (0,89)	-0,16 (0,54)	-0,04 (0,89)	0,26 (0,29)
Stabilité dynamique						
Vitesse spontanée, cm.s⁻¹	0,04 (0,87)	0,13 (0,58)	-0,02 (0,94)	0,05 (0,85)	0,06 (0,82)	-0,25 (0,33)
Temps de double appui (% cycle)	0,15 (0,52)	-0,02 (0,94)	-0,33 (0,16)	0,20 (0,43)	0,14 (0,58)	-0,05 (0,84)
Stabilité posturale						
Vitesse YO, mm.s⁻¹	0,14 (0,57)	0,09 (0,71)	-0,18 (0,44)	0,16 (0,53)	0,12 (0,63)	-0,26 (0,29)
Excursion antérieure max., mm	0,08 (0,75)	0,18 (0,45)	0,03 (0,89)	-0,11 (0,70)	-0,03 (0,92)	-0,04 (0,88)
Test de marche de 6 minutes						
Distance, m	0,27 (0,24)	<u>0,43</u> <u>(0,06)</u>	0,06 (0,79)	0,29 (0,23)	<u>0,42</u> <u>(0,09)</u>	-0,0 (0,97)
ṀO₂pic (N = 13)						
Absolu, L.min⁻¹	-0,03 (0,91)	-0,10 (0,75)	-0,17 (0,58)	0,03 (0,93)	0,14 (0,67)	0,06 (0,85)
Relatif à la masse, mL.min⁻¹.kg⁻¹	-0,02 (0,94)	-0,02 (0,94)	-0,08 (0,79)	0,05 (0,89)	0,13 (0,70)	-0,06 (0,86)

Les données sont le coefficient de corrélation de Spearman r (P-value) ¹ sans ajustement ; ² ajusté sur la taille.
CPM : coups.min⁻¹. YO : test réalisé les yeux ouverts.

2-2-6- Relations entre les paramètres de la capacité physique

La vitesse de marche spontanée était associée au ṀO₂pic absolu après ajustement sur l'âge et l'IMC. Elle n'était en revanche pas associée à la force ou à la puissance musculaire, à la stabilité posturale ou à la distance parcourue lors du test de marche de 6 minutes (**Tableau 47**).

Le temps de double appui était inversement associé à la force développée lors du saut vertical et au ṀO₂pic absolu après ajustement sur l'âge et l'IMC. La relation avec la force restait significative après ajustement sur la vitesse de marche ($r = -0,50$ [$P = 0,04$]).

La distance parcourue lors du test de marche de 6 minutes n'était pas associée à la force et à la puissance musculaire ou à la stabilité posturale mais tendait à être associée au ṀO₂pic absolu et relatif. La tendance persistait pour le ṀO₂pic absolu après ajustement sur l'âge et l'IMC.

Tableau 47 – Paramètres associés à la stabilité dynamique et à la distance parcourue lors du test de marche de 6 minutes

	Vitesse ¹ (cm.s ⁻¹)	Double appui ¹ (%)	Distance TM6 ¹ (m)	Vitesse ² (cm.s ⁻¹)	Double appui ² (%)	Distance TM6 ² (m)
Force et puissance musculaire						
Force (saut vertical), N	-0,34 (0,14)	<u>0,43</u> <u>(0,06)</u>	-0,22 (0,35)	0,12 (0,65)	-0,49 (0,04)	-0,04 (0,89)
Puissance (saut vertical), N	0,20 (0,40)	0,13 (0,59)	0,08 (0,74)	0,27 (0,27)	-0,34 (0,16)	-0,22 (0,37)
Stabilité posturale						
Vitesse YO, mm.s⁻¹	0,04 (0,86)	0,23 (0,34)	0,07 (0,77)	0,06 (0,81)	0,25 (0,33)	-0,12 (0,62)
Excursion antérieure max., mm	0,46 (0,048)	<u>-0,42</u> <u>(0,07)</u>	0,27 (0,27)	0,37 (0,16)	-0,14 (0,61)	0,24 (0,38)
Test de marche de 6 minutes						
Distance, m	0,33 (0,16)	-0,26 (0,27)	--	0,20 (0,42)	-0,34 (0,17)	--
VO₂pic (N = 13)						
Absolu, L.min⁻¹	0,19 (0,53)	0,14 (0,64)	0,46 (0,11)	0,62 (0,04)	-0,63 (0,04)	0,51 (0,11)
Relatif à la masse, mL.min⁻¹.kg⁻¹	0,41 (0,16)	-0,13 (0,67)	0,46 (0,11)	0,47 (0,14)	-0,45 (0,17)	0,34 (0,29)

Les données sont le coefficient de corrélation de Spearman r (P-value) ¹sans ajustement ; ²ajusté sur l'âge et l'IMC. TM6 : test de marche de 6 minutes.

2-2-7- Discussion

L'étude FAMOUS a permis de mesurer l'AP habituelle, la capacité cardiorespiratoire et la fonction musculaire à l'aide de différentes méthodes chez 23 patientes candidates à la chirurgie bariatrique.

La majorité des patientes n'atteignait pas les recommandations d'AP pour la population générale et pratiquait peu d'AP de sessions prolongées de MVPA. Les patientes étaient caractérisées par une faible capacité cardiorespiratoire (VO₂pic relatif) mais une force musculaire isométrique élevée, avec des valeurs correspondant à celles habituellement observées chez des femmes présentant une obésité sévère (de Souza et al. 2010, Hulens et al. 2002, Hulens et al. 2001, Kanoupakis et al. 2001, Neunhaeuser et al. 2017, Seres et al. 2006, Wilms et al. 2013). Les paramètres spatiotemporels de la marche étaient très comparables aux données précédemment décrites chez des sujets candidats à la chirurgie bariatrique (Hortobagyi et al. 2011, Vincent et al. 2012) ou chez des sujets obèses (Meng et al. 2017), tout comme la stabilité posturale (Blaszczyk et al. 2009, Teasdale et al. 2007). La distance parcourue lors du test de marche de 6 minutes semblait en revanche supérieure à celle décrite

chez ces patientes, le plus souvent inférieure à 500 m (Herring et al. 2016). Les valeurs de force et de puissance produites lors du saut vertical ne peuvent pas être comparées à la littérature, ces données n'ayant pas été publiées chez ces patientes. L'AP habituelle n'était pas associée aux paramètres de la composition corporelle mais tendait à être associée à la distance parcourue lors du test de marche de 6 minutes. L'AP semble ainsi contribuer au maintien de la capacité fonctionnelle chez ces patientes.

La comparaison des données objectives et déclaratives d'AP montraient une surestimation de la durée de MVPA avec le questionnaire, particulièrement chez les patientes les moins actives ou ayant le plus fort taux de masse grasse. Par ailleurs, la comparaison des accéléromètres Actigraph et activPAL pour la mesure du nombre de pas quotidien montrait une surestimation avec l'activPAL qui augmentait avec le niveau d'AP. Ces différentes méthodes de mesure de l'AP ne peuvent ainsi pas être utilisées de façon interchangeable chez les patientes candidates à la chirurgie bariatrique.

Cette étude a montré la faisabilité et la répétabilité des mesures de force et de puissance produites lors d'un saut vertical sur une plateforme de force, ainsi qu'une validité satisfaisante par comparaison avec les couples de force isocinétiques. La force produite lors du saut vertical était fortement associée à la masse maigre et modérément associée à la stabilité dynamique, ce qui n'était pas le cas de la force isocinétique. Ces données suggèrent ainsi l'intérêt des tests pluri-articulaires comme le saut vertical pour mesurer la force musculaire chez des patientes candidates à la chirurgie bariatrique.

L'augmentation de la masse corporelle ou de la masse grasse était associée à une diminution de la puissance des membres inférieurs, à la stabilité dynamique, à la capacité d'excursion antérieure maximale et à la distance parcourue en 6 minutes. Si l'altération de ces différents aspects de la capacité physique avait été montrée chez les sujets obèses, ces données suggèrent également une altération progressive avec l'augmentation de la corpulence chez des femmes présentant toutes une obésité sévère. Indépendamment de la corpulence, le $\dot{V}O_{2pic}$ et la force musculaire étaient associés à la stabilité dynamique et à la distance parcourue en 6 minutes, suggérant l'importance de ces deux dimensions dans le maintien de la capacité physique fonctionnelle chez ces patientes.

2-3- Proposition d'une nouvelle méthode d'analyse des données d'accélérométrie : individualisation des seuils d'intensité (étude PROMISE)

L'analyse des données d'accélérométrie dans les études PROMISE et FAMOUS a été réalisée avec les seuils définis par Freedson (Freedson et al. 1998). Ces seuils dits « de Freedson » ont été couramment utilisés dans différentes populations dont des sujets avec obésité, ce qui permet donc de comparer nos résultats avec la littérature. Ces seuils pourraient cependant ne pas être adaptés aux personnes obèses. En effet, au-delà du fait qu'ils ont été validés chez des sujets jeunes et en bonne santé, ces seuils s'appuient sur une définition de l'intensité en termes absolus (≥ 3 MET pour l'intensité modérée, ≥ 6 MET pour l'intensité élevée). Le seuil d'intensité élevée pourrait être inatteignable chez les patients obèses candidats à la chirurgie bariatrique dont le $\dot{V}O_{2pic}$ moyen est inférieur à 6 MET. Cela pourrait en partie expliquer pourquoi la grande majorité des participantes incluses n'a pratiqué aucune AP d'intensité élevée définie par les seuils de Freedson au cours des 7 jours de port de l'accéléromètre.

L'utilisation de seuils d'intensité relative semble particulièrement intéressante chez les sujets ayant une faible capacité cardiorespiratoire, donc chez les sujets obèses. Deux études ont en effet montré que les seuils d'intensité relative étaient inférieurs aux seuils d'intensité absolue chez des personnes ayant une faible capacité cardiorespiratoire (Ozemek et al. 2013, Welch et al. 2017). Dans ces études, les seuils d'intensité étaient déterminés par comparaison directe des coups.min⁻¹ avec le $\dot{V}O_2$ lors de la marche sur tapis roulant (Welch et al. 2017). Cette méthode de référence impose de réaliser une épreuve d'effort maximal pour déterminer le $\dot{V}O_{2pic}$ puis un exercice sous-maximal standardisé avec mesure du $\dot{V}O_2$ pour déterminer les seuils d'intensité. Les auteurs ont ainsi exprimé le besoin d'identifier une méthode moins contraignante pour déterminer les seuils individuels d'intensité relative.

Nous proposons ici une méthode de calcul des seuils d'intensité relative permettant de s'affranchir de l'exercice sous-maximal. L'objectif de cette analyse était de comparer chez des femmes obèses candidates à la chirurgie bariatrique les seuils d'intensité relatifs calculés avec les seuils d'intensité absolue publiés ; puis de comparer les données d'AP obtenues en utilisation les seuils d'intensité relatifs ou absolus.

2-3-1- Rappel méthodologique : calcul des seuils d'intensité relative

Freedson et al. (1998) avaient utilisé l'équation de prédiction suivante pour calculer les coups.min⁻¹ correspondant à une intensité absolue de 3 MET (intensité modérée) et 6 MET (intensité élevée) (Freedson et al. 1998): $MET = 1,439008 + (0,000795 \times \text{coups.min}^{-1})$. Les seuils de 1 952 et 5 725 coups.min⁻¹ avaient alors été identifiés.

Nous avons utilisé la même équation pour calculer, pour chaque participante, les coups.min⁻¹ correspondant à une intensité relative de 52 % de son $\dot{V}O_{2pic}$ ou MET_{max} (intensité modérée) et 68 % de son MET_{max} (intensité élevée) (Garber et al. 2011).

2-3-2- Description des participantes

Les analyses ont été réalisées sur les données préopératoires des participantes incluses dans l'étude PROMISE ayant obtenu des données valides d'accélérométrie et de $\dot{V}O_{2pic}$. Les caractéristiques de ces 67 participantes sont présentées dans le **Tableau 48**.

Tableau 48 – Caractéristiques préopératoires des participantes (N=67)

	<i>Avant bypass</i>
Age	42 (37-50)
Composition corporelle	
Masse, kg	114,5 (105,0-127,0)
IMC, kg.m ⁻²	43,1 (40,1-47,4)
Indice de masse grasse, kg.m ⁻²	21,9 (19,7-24,4)
Indice de masse maigre, kg.m ⁻²	20,9 (19,7-22,5)
$\dot{V}O_{2pic}$	
Absolu, L.min ⁻¹	2,13 (1,80-2,47)
Relatif à la masse, mL.min ⁻¹ .kg ⁻¹	18,6 (16,5-21,3)
MET _{max}	5,3 (4,7-6,1)

Les données sont des médianes (25^e-75^e percentile)

2-3-3- Seuils d'intensité relative

Deux participantes ayant un $\dot{V}O_{2pic}$ inférieur à 9 mL.kg⁻¹.min⁻¹ ont obtenu un seuil d'intensité modérée inférieur à 100 coups.min⁻¹. Ces deux participantes ont ainsi été exclues des analyses. Le seuil d'intensité relative modérée obtenu était en moyenne de 1 676 coups.min⁻¹ et était inférieur au seuil de Freedson de 1 952 coups.min⁻¹ (P = 0,001) (**Tableau 49**). Le seuil d'intensité relative élevée était de 2 747 coups.min⁻¹ et était inférieur au seuil de 5 725 coups.min⁻¹ de Freedson (P < 0,001).

Tableau 49 – Seuils d'intensité relative calculés (N=65)

	<i>Intensité modérée</i>	<i>Intensité élevée</i>
Moyenne (écart-type)	1 675 (745)	2 747 (975)
Médiane (25 ^e -75 ^e percentile)	1 676 (1 283-2 166)	2 748 (2 235-3 389)
Min	306	2 235
Max	3 500	3 389

2-3-3- Comparaison de l'AP et des caractéristiques des participantes selon l'application des seuils d'intensité absolue ou relative

Les données d'AP obtenues en utilisant les seuils d'intensité absolue de Freedson et les seuils d'intensité relative sont présentées dans le **Tableau 50**. Le seuil de sédentarité n'ayant pas été modifié, le temps sédentaire est identique avec les deux méthodes. La durée d'AP d'intensité légère était inférieure avec les seuils d'intensité relative ($P < 0,001$), la durée d'AP d'intensité modérée n'était pas modifiée et la durée d'AP d'intensité élevée était augmentée ($P < 0,001$). La durée de MVPA était ainsi augmentée ($P < 0,001$) avec les seuils d'intensité relative, ainsi que la durée hebdomadaire de MVPA ≥ 10 min ($P = 0,007$). Le pourcentage de MVPA accumulé en MVPA ≥ 10 min était également augmenté.

Tableau 50 – Données d'AP habituelle obtenues en utilisant des seuils d'intensité absolue ou relative (N=65)

	<i>Seuils d'intensité absolue</i>	<i>Seuils d'intensité relative</i>	P¹
Temps sédentaire , h.jour ⁻¹	8,0 (7,0-8,9)	8,0 (7,0-8,9)	--
AP intensité légère , h.jour ⁻¹	4,7 (3,9-5,8)	4,2 (3,4-5,5)	<0,001
AP intensité modérée , min.jour ⁻¹	25 (17-36)	24 (17-35)	0,226
AP intensité élevée , min.jour ⁻¹	0 (0-0)	11 (5-24)	<0,001
MVPA , min.jour ⁻¹	25 (17-36)	39 (25-57)	<0,001
MVPA ≥ 10 min , min.semaine ⁻¹	20 (0-71)	48 (14-170)	0,007
MVPA ≥ 10 min , % MVPA	10 (0-24)	17 (5-30)	0,004

Les données sont des médianes (25^e-75^e percentile). ¹P-value calculée avec le test de Wilcoxon.

Cinq participantes (8 %) étaient définies comme "actives" (atteignaient le niveau minimum d'AP recommandé) en utilisant les seuils d'intensité absolue et 18 participantes (28 %) en utilisant les seuils d'intensité relative ($P = 0,002$) (**Tableau 51**). Parmi ces 18 participantes, 14 ont été reclassées d'inactives à actives.

En utilisant les seuils d'intensité absolue, les participantes actives tendaient à avoir un indice de masse grasse plus faible ($P = 0,09$), un $\dot{V}O_{2pic}$ relatif plus élevé ($P = 0,07$) et des seuils d'intensité relative plus élevés ($P = 0,07$). En utilisant les seuils d'intensité relative, les participantes actives tendaient à avoir un indice de masse grasse plus élevé ($P = 0,08$), avaient

un $\dot{V}O_{2pic}$ absolu et relatif plus faibles ($P < 0,001$) et des seuils d'intensité relative particulièrement bas ($P < 0,001$).

Tableau 51 – Données d'AP habituelle obtenues en utilisant des seuils d'intensité absolue ou relative (N=65)

	Seuils d'intensité absolue			Seuils d'intensité relative		
	Actives (N = 5)	Inactives (N = 60)	P ¹	Actives (N = 18)	Inactives (N = 42)	P ²
Age	39 (38-48)	42 (38-48)	0,36	45 (38-48)	41 (37-50)	0,31
IMC, kg.m⁻²	40,0 (37,7-45,7)	43,1 (37,7-45,7)	0,13	44,7 (40,2-52,6)	41,7 (39,8)	0,06
IMG, kg.m⁻²	18,1 (17,0-23,1)	21,8 (20,0-24,4)	0,09	23,2 (19,7-27,1)	21,7 (19,7-23,1)	0,08
IMM, kg.m⁻²	20,9 (20,5-21,0)	20,7 (19,3-22,6)	0,48	21,4 (20,5-23,7)	20,5 (18,9-21,8)	0,01
$\dot{V}O_{2pic}$, L.min⁻¹	2,1 (1,8-2,6)	2,1 (1,9-2,5)	0,40	1,8 (1,5-2,1)	2,2 (2,0-2,5)	<0,001
$\dot{V}O_{2pic}$, mL.min⁻¹.kg⁻¹	20,7 (18,1-24,0)	18,6 (16,5-21,3)	0,07	14,5 (11,9-17,9)	19,2 (17,3-21,8)	<0,001
Seuils d'intensité						
- relative modérée	2 066 (1 574-2 682)	1 672 (1 272-2 682)	0,07	891 (421-1 533)	1 782 (1 423-2 265)	<0,001
- relative élevée	3 258 (2 616-4 064)	2 742 (2 616-4 064)	0,07	1 721 (1 108-2 561)	2 887 (2 419-3 519)	<0,001

Les données sont des médianes (25^e-75^e percentile).

P-value calculée avec le test de Mann-Whitney ¹comparant les participantes actives et inactives en utilisant les seuils d'intensité absolue, ²en utilisant les seuils d'intensité relative.

1-3-4- Discussion

Ces analyses complémentaires des données de l'étude PROMISE ont permis de calculer des seuils individuels d'intensité relative correspondant à 52 % et 68 % du $\dot{V}O_{2pic}$. Les seuils obtenus étaient en moyenne de 1 676 coups.min⁻¹ pour l'intensité modérée et de 2 747 coups.min⁻¹ pour l'intensité élevée et étaient inférieurs aux seuils absolus de Freedson. La méthode proposée ici pour calculer les seuils d'intensité relatifs a permis d'obtenir des seuils comparables à ceux mesurés par d'autres équipes chez des sujets ayant un $\dot{V}O_{2pic}$ comparable (intensité modérée : 1 034 (741) coups.min⁻¹ ; intensité élevée : 2 212 (1 512) coups.min⁻¹) (Welch et al. 2017). D'autres études sont cependant nécessaires pour valider notre méthode. L'utilisation des seuils d'intensité relative aboutissait à une durée plus élevée d'AP, notamment d'intensité élevée, et à un pourcentage plus important de patientes atteignant les recommandations d'AP.

3- Activité physique et syndrome de Prader-Willi

À l'âge adulte, le contrôle de l'hyperphagie et la prévention des complications de l'obésité constituent des objectifs majeurs de la prise en charge des patients présentant un SPW. Les adaptations alimentaires et la promotion de l'AP au quotidien sont ainsi deux axes d'intervention prépondérants. La complexité du SPW rend cependant la prise en charge des patients particulièrement délicate. À ce jour, aucune étude publiée n'a évalué les effets d'un programme d'entraînement supervisé, réalisé au domicile, chez des patients présentant un SPW. Ce type de programme présenterait l'avantage de pouvoir être intégré dans la vie quotidienne. Par ailleurs, l'interaction individuelle avec un éducateur sportif semble très importante pour une meilleure prise en compte des troubles comportementaux et physiques de ces patients.

Cette étude avait ainsi pour objectif d'évaluer l'efficacité et la transférabilité d'un programme d'entraînement de 16 semaines (comprenant 2 séances par semaines supervisées par un même éducateur sportif) sur l'AP habituelle, la capacité physique fonctionnelle et la composition corporelle chez des patients adultes présentant une obésité dans le cadre d'un SPW.

Les données présentées ici ont fait l'objet d'un article (soumis).

Bellicha A., Coupaye M., Hocquaux L., Speter, F., Oppert J-M., Poitou C.

Feasibility and effectiveness of a home-based supervised physical activity program in patients with Prader-Willi syndrome.

3-1- Activité physique et capacité physique chez des patients adultes présentant un SPW

3-1-1- Caractéristiques des participants

Seize participants ont été inclus dans l'étude, dont 10 femmes et 6 hommes. Un groupe témoin apparié sur l'âge et le pourcentage de masse grasse a été constitué pour les femmes, mais n'a pu être constitué pour les hommes. Les résultats obtenus chez les femmes et chez les hommes avec un SPW sont ainsi analysés et présentés séparément. Le **Tableau 52** présente les données initiales de composition corporelle, de qualité de vie et de comportement alimentaire chez les participants présentant un SPW et chez les participantes du groupe témoin (CON, pour les femmes).

Tableau 52 – Caractéristiques initiales des participants du groupe SPW et du groupe CON

	Femmes SPW (N=10)	Femmes CON (N=20)	P- value ¹	Hommes SPW (N=6)	P- value ²
Age, ans	28,8 (24,2-33,0)	30 (26-36)	0,25	30,3 (24,0-36,6)	0,96
Taille, cm	151 (143-156)	165 (158-168)	<0,001	159 (153-166)	0,03
Masse, kg	82,3 (74,3-107,8)	121,2 (106,6-133,9)	0,002	97,2 (73,5-116,5)	0,52
IMC, kg.m ⁻²	37,2 (34,3-45,8)	43,4 (40,9-48,3)	0,05	38,3 (31,5-42,6)	0,18
Tour de taille, cm	106,0 (94,3-116,4)	--	--	114 (103-128)	0,16
Masse grasse, %	51,9 (49,2-54,7)	52,4 (50,1-53,7)	0,42	46,7 (46,0-47,7)	0,007
Masse grasse, kg	40,2 (39,3-58,6)	62,9 (56,0-70,4)	0,004	47,4 (35,8-55,0)	0,31
Masse maigre, kg	50,1 (34,1-46,8)	57,8 (51,2-62,2)	<0,001	48,4 (38,6-52,0)	0,13
Indice de masse grasse, kg.m ⁻²	19,8 (16,8-25,0)	22,2 (21,3-25,0)	0,08	18,6 (15,3-19,6)	0,11
Indice de masse maigre, kg.m ⁻²	17,0 (16,4-18,7)	21,2 (18,3-22,7)	0,006	17,9 (16,0-20,8)	0,35
Qualité de vie					
Score physique	49,6 (48,5;53,5)	--	--	49,5 (40,7-53,5)	0,35
Score mental	51,6 (41,8;58,2)	--	--	51,8 (40,8-54,7)	0,39
Comportement alimentaire*					
Hyperphagie	8,5 (6,0;10,8)	--	--	7,5 (6,3-10,3)	0,50
Impulsions alimentaires	7,5 (6,0;11,8)	--	--	8,5 (6,5-9,8)	0,53
Sévérité de l'hyperphagie	3,0 (3,0;4,0)	--	--	3,0 (3,0-3,8)	0,47

Les données sont des médianes (25^e-75^e percentile). CON : groupe témoin.

* Les données du questionnaire Dykens ont été obtenues chez 8 femmes SPW et 6 hommes SPW

P-value calculée avec le test de Mann-Whitney. ¹Femmes SPW vs Femmes CON. ²Femmes SPW vs hommes SPW.

Les femmes SPW étaient comparables aux femmes CON en termes d'âge et de pourcentage de masse grasse. Elles avaient une taille, un IMC et une masse maigre inférieurs ($P < 0,05$). Les hommes SPW étaient comparables aux femmes SPW en termes d'âge mais étaient plus grands et avaient un pourcentage de masse grasse inférieur. Aucune différence n'était observée entre les femmes et les hommes SPW concernant la qualité de vie et le comportement alimentaire. Parmi les 16 participants SPW, 13 présentaient une délétion (dont 9 femmes et 4 hommes) et 3 une disomie (dont 1 femme et 2 hommes). Treize participants étaient traités pour une insuffisance gonadotrope (dont 9 femmes et 4 hommes) et quatre étaient traités pour une insuffisance thyroïdienne (dont 3 femmes et 1 homme). Six participants ont reçu un traitement par hormone de croissance pendant l'enfance, mais aucun n'était traité à l'âge adulte.

3-1-2- Activité physique et capacité physique

L'accéléromètre a été porté pendant une médiane de 7 jours chez les femmes SPW et CON (**Tableau 53**). La durée de port était cependant inférieure chez les femmes SPW (12,1 vs 13,5 h.jour⁻¹, $P < 0,05$). Les femmes SPW étaient globalement moins actives que les femmes CON. Le nombre de coups.min⁻¹ était en effet inférieur de 37 % chez les femmes SPW ($P < 0,05$). Le temps sédentaire était augmenté dans ce groupe (72 % du temps de port vs

58 % chez les femmes CON, $P < 0,001$) au détriment de l'AP d'intensité faible (24 % vs 38 %, $P < 0,001$). La durée de MVPA tendait également à être diminuée chez les femmes SPW (1,7 % vs 3,2 %, $P = 0,11$). La durée de $MVPA_{\geq 10 \text{ min}}$ n'était pas significativement différente entre les femmes SPW et CON. Deux participantes dans le groupe SPW et une dans le groupe CON atteignaient le niveau minimum d'AP recommandé.

Le niveau d'AP semblait globalement plus élevé chez les hommes SPW que chez les femmes SPW, même si les différences n'étaient pas significatives : une tendance était observée en faveur d'un nombre de coups.min⁻¹ plus élevé chez les hommes (373 vs 211 coups.min⁻¹, $P = 0,07$), un temps sédentaire plus faible (63 vs 72 %, $P = 0,06$), plus d'AP d'intensité légère (32 vs 24 %, $P = 0,06$) et de MVPA (4,5 vs 1,7, $P = 0,07$). Deux hommes atteignaient le niveau minimum d'AP recommandé.

Tableau 53 – Capacité physique fonctionnelle et capacité physique des participants du groupe SPW et du groupe CON

	Femmes CON (N=20)	Femmes SPW (N=10)	P- value ¹	Hommes SPW (N=6)	P- value ²
Capacité fonctionnelle					
Test de marche de 6 min, m	--	398 (366-484)	--	473 (431-510)	0,18
Force de préhension, kgF	33 (28-38)	15 (13-18)	<0,001	21 (16-30)	0,09
Appui monopodal YO, s	--	8 (3-28)	--	19 (8-45)	0,22
Activité physique					
Jours valides	7 (6,8-7)	7 (6-7)	0,23	7 (5,5-7)	0,53
Temps de port, h.jour ⁻¹	13,5 (12,7-14,1)	12,1 (11,1-12,7)	<0,001	13,6 (11,2-14,9)	0,18
Coups d'activité, coups.min ⁻¹	334 (292-384)	211 (141-333)	0,02	373 (248-432)	0,07
Temps sédentaire, %	58 (53-64)	72 (69-75)	<0,001	63 (57-68)	0,06
AP totale, %	42 (36-47)	28 (25-31)	<0,001	37 (32-43)	0,06
AP intensité légère, %	38 (32-45)	24 (23-28)	<0,001	32 (29-36)	0,06
MVPA, %	3,2 (2,6-4,5)	1,7 (0,8-5,0)	0,11	4,5 (3,8-6,2)	0,07
$MVPA_{\geq 10 \text{ min}}$, min.semaine ⁻¹	20 (0-68)	5 (0-101)	0,38	84 (27-164)	0,13

Les données sont des médianes (25^e-75^e percentile). CON : groupe contrôle. YO : yeux ouverts.

P-value calculée avec le test de Mann-Whitney. ¹Femmes SPW vs Femmes CON. ²Femmes SPW vs hommes SPW.

Les profils d'accumulation des MVPA et de la sédentarité sont présentés dans les **Figures 24 et 25**. Le profil de MVPA était similaire chez les femmes SPW et CON. La majorité des MVPA était constitué d'activités sporadiques ($MVPA_{1-4 \text{ min}}$: 61 % de la durée totale de MVPA chez les femmes SPW), le reste étant accumulé en sessions de $MVPA_{5-9 \text{ min}}$ (27 %) et de $MVPA_{\geq 10 \text{ min}}$ (18 %). Les différences entre les femmes SPW et témoins portaient en revanche sur le profil de sédentarité. Les sessions de sédentarité prolongées étaient plus importantes chez les femmes SPW (sédentarité $\geq 30 \text{ min}$: 41 % de la durée totale de sédentarité vs 18 % chez les femmes CON, $P < 0,001$). À l'inverse, les sessions courtes de sédentarité étaient réduites chez les femmes SPW (sédentarité $1-9 \text{ min}$: 31 % vs 44 %, $P < 0,001$).

Les hommes SPW semblent accumuler les MVPA en sessions plus prolongées. Bien que les différences ne soient pas significatives, la durée de MVPA $_{5-9 \text{ min}}$ et de MVPA $_{\geq 10 \text{ min}}$ tendait à être plus élevée chez les hommes (respectivement $P = 0,11$ et $P = 0,13$), et la durée de MVPA $_{1-4 \text{ min}}$ plus faible ($P = 0,11$). La différence portait ici aussi davantage sur le profil de sédentarité. Les sessions de sédentarité prolongées étaient réduites de moitié chez les hommes SPW (sédentarité $_{\geq 30 \text{ min}}$: 20 % de la durée totale de sédentarité vs 41 % chez les femmes SPW, $P = 0,002$) au profit des sessions courtes (sédentarité $_{1-9 \text{ min}}$: 43 % vs 31 %, $P = 0,01$).

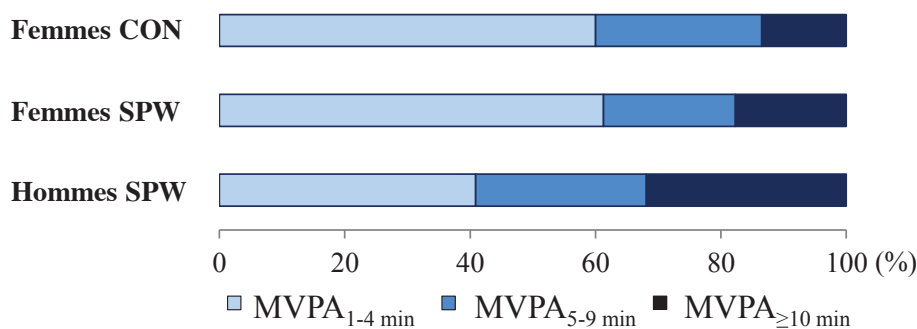
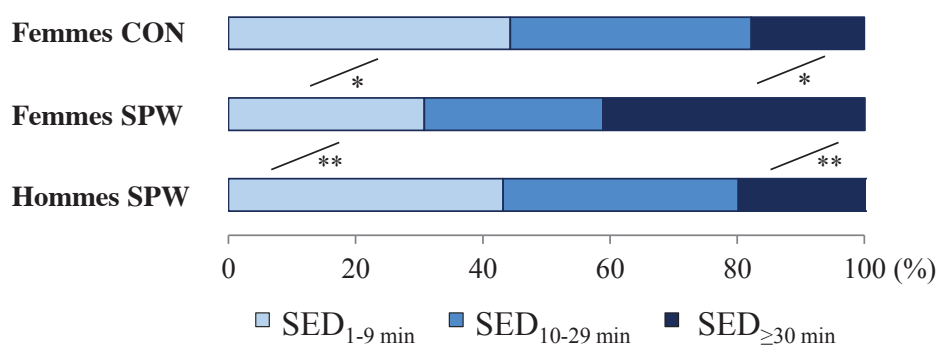


Figure 24 – Distribution des MVPA en sessions très courtes, courtes et prolongées



Femmes SPW * Significativement différent des femmes CON. ** Significativement différent des hommes SPW
SED : sédentarité

Figure 25 – Distribution de la sédentarité en sessions très courtes, courtes et prolongées

La force de préhension était inférieure chez les femmes SPW comparativement aux femmes CON ($P < 0,001$) (**Tableau 53**). Aucune différence significative n'était observée entre les femmes et les hommes SPW concernant la capacité physique fonctionnelle. La force de préhension tendait cependant à être plus élevée chez les hommes ($P = 0,09$).

3-2- Efficacité et transférabilité d'un programme d'entraînement supervisé chez des patients adultes présentant un SPW

3-2-1- Efficacité du programme d'entraînement

Parmi les 16 participants SPW inclus, des données de composition corporelle et de capacité physique fonctionnelle ont été obtenues chez tous les participants, et des données valides d'accélérométrie chez 13 participants (7 femmes et 6 hommes).

La composition corporelle n'était pas modifiée après le programme chez les hommes et les femmes (**Tableau 54**). La capacité physique était améliorée de façon significative chez les femmes : la distance parcourue lors du test de marche de 6 minutes a été améliorée en moyenne de 29 (37) m ($P < 0,05$) et la durée d'appui unipodal de 4 (6) s ($P < 0,05$). Les différences observées chez les hommes SPW n'étaient pas significatives (test de marche : +27 (69), $P = 0,14$). La dimension physique de la qualité de vie tendait à augmenter chez les femmes SPW ($P = 0,06$).

L'AP habituelle a augmenté uniquement chez les femmes. La durée de MVPA exprimée en pourcentage du temps de port a augmenté, passant de 1 % avant le programme à 4 % après ($P < 0,05$), ce qui correspondait à une augmentation de 11 (13) min.jour⁻¹ de MVPA. La durée de MVPA_{≥10 min} a également augmenté (+86 [97] min.semaine⁻¹, $P < 0,05$). Après le programme, 3 participantes (43 %) atteignaient le niveau recommandé d'AP.

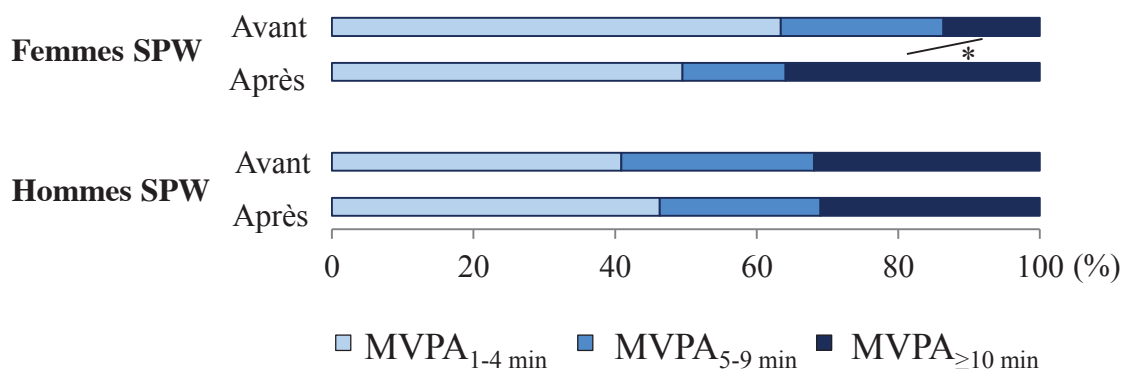
Tableau 54 – Effet à court terme du programme d'entraînement

	Avant entraînement	Après entraînement	P-value
FEMMES SPW			
Composition corporelle (N = 10)			
Masse, kg	82,3 (74,3-107,8)	84,5 (73,3-99,0)	0,15
IMC, kg.m ⁻²	37,2 (34,3-45,8)	37,1 (34,5-42,0)	0,16
Tour de taille, cm	106,0 (94,3-116,4)	106 (89-106)	0,47
Masse grasse, %	51,9 (49,2-54,7)	52,8 (49,4-54,2)	0,42
Masse grasse, kg	40,2 (39,3-58,6)	41,3 (36,8-55,2)	0,15
Masse maigre, kg	40,1 (34,1-46,8)	41,1 (33,2-42,8)	0,50
Capacité fonctionnelle (N = 10)			
Test de marche de 6 min, m	398 (366-484)	450 (378-509)	0,02
Force de préhension, kgF	15 (13-18)	15 (14-18)	0,48
Appui monopodal YO, s	8 (3-28)	9 (5-33)	0,02
Activité physique (N = 7)			
Jours valides	7 (6,5-7)	6 (5-6)	0,05
Temps de port, h.jour ⁻¹	12,2 (11,5-12,8)	12,6 (11,7-13,0)	0,47
Coups d'activité, coups.min ⁻¹	196 (142-269)	311 (188-361)	0,11
Temps sédentaire, %	74 (70-74)	68 (67-75)	0,41
AP totale, %	26 (26-30)	33 (25-33)	0,40
AP intensité légère, %	24 (23-27)	26 (21-29)	0,34
MVPA, %	1,0 (0,8-2,9)	4,0 (1,1-6,1)	0,02
MVPA ≥10-min, min.semaine ⁻¹	0 (0-58)	90 (21-238)	0,03
Qualité de vie (N = 10)			
Score physique	49,6 (48,5;53,5)	54,1 (51,5-56,3)	0,06
Score mental	51,6 (41,8;58,2)	55,3 (42,2;60,4)	0,50
HOMMES SPW			
Composition corporelle (N = 6)			
Masse, kg	97,2 (73,5-116,5)	102,8 (75,6-96,9)	0,20
IMC, kg.m ⁻²	38,3 (31,5-42,6)	39,6 (32,4-42,6)	0,22
Tour de taille, cm	114 (103-128)	122 (95-129)	0,34
Masse grasse, %	46,0 (45,0-47,0)	45,6 (44,7-47,9)	0,50
Masse grasse, kg	44,2 (34,2-55,0)	47,7 (35,6-54,5)	0,26
Masse maigre, kg	48,3 (38,5-52,0)	48,3 (38,3-54,6)	0,11
Capacité fonctionnelle (N = 6)			
Test de marche de 6 min, m	473 (431-510)	518 (420-536)	0,14
Force de préhension, kgF	21 (16-30)	19 (18-28)	0,23
Appui monopodal YO, s	19 (8-45)	16 (5-23)	0,14
Activité physique (N = 6)			
Jours valides	7 (5,5-7)	7 (6,3-7)	0,50
Temps de port, h.jour ⁻¹	13,6 (11,2-14,9)	12,8 (10,6-13,4)	0,02
Coups d'activité, coups.min ⁻¹	373 (248-432)	348 (276;388)	0,50
Temps sédentaire, %	63 (57-68)	63 (54-68)	0,28
AP totale, %	37 (32-43)	40 (32-45)	0,26
AP intensité légère, %	32 (29-36)	31 (27-42)	0,28
MVPA, %	4,5 (3,8-6,2)	5,0 (2,8-6,0)	0,50
MVPA ≥10-min, min.semaine ⁻¹	84 (27-164)	128 (64-189)	0,42
Qualité de vie (N = 6)			
Score physique	49,5 (40,7-53,5)	46,1 (40,8-50,3)	0,34
Score mental	51,8 (40,8-54,7)	46,1 (39,9-52,7)	0,50

Les données sont des médianes (25^e-75^e percentile). YO : yeux ouverts.

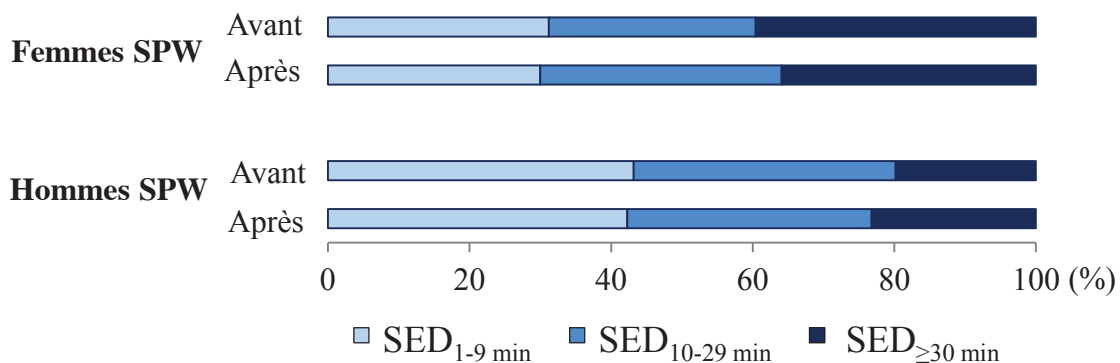
P-value calculée avec le test de Wilcoxon

L'évolution du profil de MVPA et de sédentarité est présentée dans les **Figures 26 et 27**. Chez les femmes, le pourcentage de $MVPA_{\geq 10 \text{ min}}$ était augmenté après l'entraînement, passant de 14 % à 36 % de la durée totale de MVPA ($P < 0,05$). Le profil de sédentarité n'était en revanche pas modifié. Chez les hommes, ni le profil de MVPA ni le profil de sédentarité n'était modifié après l'entraînement.



* Significativement différent après vs avant ($P < 0,05$).

Figure 26 – Effets à court terme du programme d'entraînement sur les profils de MVPA



SED : sédentarité

Figure 27 – Effets à court terme du programme d'entraînement sur les profils de sédentarité

Parmi les 16 participants SPW inclus, 13 participants (8 femmes et 5 hommes) ont été de nouveau évalués 4 mois après la fin du programme d'entraînement. Parmi les 13 participants qui avaient obtenu des données d'accélérométrie valides avant et après le programme, 10 participants (5 femmes et 5 hommes) ont obtenu des données valides également à la 3^e évaluation. Ainsi, nous ne présenterons pas ici les données recueillies à moyen terme après la fin du programme d'entraînement.

3-2-2- Transférabilité du programme d'entraînement

La participation aux séances d'entraînement était très élevée, avec une médiane de 32 séances réalisées. Les participants et leur entourage se disaient satisfaits du programme. Les participants ont attribué le score de 4,4 (4,0-5,0) sur une échelle de satisfaction allant de 1 à 5 et l'entourage a attribué le score de 4,8 (4,1-5,0). Aucun événement indésirable n'est survenu au cours de l'étude.

Cinq éducateurs sportifs ont encadré les séances. Ils avaient au minimum deux années d'expérience professionnelle et tous avaient déjà travaillé avec des patients présentant une maladie chronique ou un handicap physique et/ou mental. Tous les éducateurs ont reçu une formation spécifique sur le SPW avant le début des séances. La mise en place des séances avec les patients présentant un SPW a été décrite comme « ni plus difficile ni plus facile » qu'avec d'autres types de patients par 3 éducateurs, comme « plus facile » par 1 éducateur et comme « plus difficile » par 1 éducateur. Les principales difficultés rencontrées étaient liées aux difficultés psychologiques caractéristiques du SPW (labilité émotionnelle, rigidité mentale, immaturité affective), aux difficultés psychomotrices (troubles de l'équilibre, altération des habiletés motrices), à une grande fatigabilité et à un manque de motivation des participants. La réalisation de séances individuelles était considérée par les éducateurs comme un élément majeur de la réussite du programme. Cela permettait de personnaliser davantage les exercices réalisés au cours des séances et les conseils généraux d'AP. Cela facilitait également l'instauration d'un climat de confiance et l'établissement d'une relation patient-soignant de qualité.

Les éducateurs sportifs ont parfois dû adapter le contenu des séances, principalement en fonction de la motivation du patient, de son humeur et/ou de son état de fatigue.

Enfin, trois participantes ont poursuivi à leur charge les séances avec l'association Siel Bleu après la fin de l'étude.

3-2-2- Discussion

Cette étude a montré que les femmes ayant un SPW avaient un niveau d'AP inférieur de 37 % à celui observé chez des femmes obèses appariées sur l'âge et l'adiposité. Cette différence était due principalement à une augmentation du temps sédentaire, notamment en sessions prolongées ininterrompues d'au moins 30 minutes, et à une diminution de l'AP d'intensité légère. Malgré le nombre limité de participants, cette étude a également montré la faisabilité

et l'efficacité d'un programme d'entraînement de 4 mois et l'importance de faire intervenir des professionnels expérimentés ayant une bonne capacité d'adaptation. Après le programme, une augmentation de l'AP habituelle et de la capacité physique fonctionnelle était observée, malgré l'absence de perte de poids ou de modification de la composition corporelle. La spécificité et l'originalité de ce programme tenait dans le fait que les séances étaient individuelles, réalisées au domicile ou au foyer des participants et étaient supervisées pour un même patient par le même éducateur sportif. Ce type de programme d'AP semble susceptible de contribuer à l'amélioration de l'état de santé et devrait être considéré comme l'un des éléments importants de la prise en charge des patients présentant un SPW.

4- Place des objets connectés d'activité physique dans la prise en charge des patients : le point de vue des médecins

Les accéléromètres présentent de nombreux avantages pour la mesure de l'AP. Le premier avantage réside dans la mesure objective de l'AP, et le deuxième dans la possibilité d'explorer plus en détail les profils d'AP et de sédentarité. Leur utilisation auprès de différentes populations de patients obèses a permis de mettre en évidence que la majorité des patients présentent des profils d'AP « sporadiques », éloigné des recommandations actuelles d'AP ; ainsi qu'une importante variabilité interindividuelle. Ces données pourraient être exploitées par les médecins pour mieux évaluer l'AP spontanée des patients et proposer des conseils adaptés à leur profil individuel.

Les accéléromètres que nous avons utilisés dans notre travail de recherche ne semblent cependant pas ou peu adaptés à une utilisation en routine clinique. L'émergence récente des objets connectés d'AP, qui se distinguent des accéléromètres principalement par la restitution en temps réel des données d'AP aux patients, pourrait offrir une alternative intéressante pour les professionnels de santé. Majoritairement destinés au grand public, ces objets connectés sont aujourd'hui encore peu utilisés dans le milieu médical (Barnes et al. 2012). Nous avons ainsi cherché à mieux comprendre les motivations et les freins concernant la prescription d'un objet connecté d'AP par les médecins à leurs patients atteints d'une maladie cardiometabolique.

Cette étude a fait l'objet d'une publication, présentée en **Annexe 6**.

Bellicha A., Macé S., Oppert J-M. Prescribing of electronic activity monitors in cardiometabolic diseases: qualitative interview-based study. *Journal of Medical Internet Research*. 2017 ; 19 (9) : e328.

4-1- Caractéristiques des médecins participants

Les médecins participant à l'étude comprenaient 6 hommes et 5 femmes, âgés le plus souvent de plus de 50 ans (n = 9), avec toutefois un médecin âgé de 30 à 40 ans et un autre de 40 à 50 ans (**Tableau 55**). La majorité d'entre eux (n = 7) occupaient des fonctions hospitalo-universitaires associant ainsi des activités de soins, de recherche scientifique et d'enseignement dans le domaine des maladies cardiometaboliques. Deux médecins exerçaient

uniquement à l'hôpital, un médecin associait une activité libérale en cabinet et des vacations hospitalières, et un médecin réalisait plusieurs vacations dans différents hôpitaux parisiens.

Tableau 55 – Caractéristiques des médecins interrogés

	Sexe	Tranche d'âge	Spécialité	Statut
Médecin n°1	Homme	50-60 ans	Obésité	PU-PH
Médecin n°2	Femme	30-40 ans	Obésité-Diabète	PH
Médecin n°3	Femme	50-60 ans	Cardiologie-Obésité	Vacataire
Médecin n°4	Homme	> 60 ans	Obésité-Diabète	PU-PH
Médecin n°5	Homme	> 60 ans	Diabète	PU-PH
Médecin n°6	Femme	50-60 ans	Diabète	PH
Médecin n°7	Femme	40-50 ans	Diabète	PU-PH
Médecin n°8	Homme	50-60 ans	Endocrinologue-Risque CV	MCU-PH
Médecin n°9	Homme	50-60 ans	Endocrinologue-Risque CV	PU-PH
Médecin n°10	Homme	50-60 ans	HTA	PU-PH
Médecin n°11	Femme	50-60 ans	Obésité	Libéral et vacataire

PU : professeur des universités. PH : praticien hospitalier. MCU : maître de conférences universitaire.
CV = cardiovasculaire. HTA : hypertension artérielle.

4-2- Prescription de l'activité physique

Les médecins interrogés abordent l'AP de façon systématique, avec tous leurs patients. La majorité des médecins donnent des conseils oraux, et certains prescrivent parfois l'AP sur une ordonnance. L'absence de prescription était justifiée par les éléments suivants.

Absence d'outils d'évaluation

Tous les médecins évaluent l'AP des patients en les interrogeant sur leurs pratiques. Ils ont cependant des difficultés à évaluer à la fois la durée et l'intensité de l'AP.

« Les patients ne se rendent pas compte de ce qu'ils font. Les gens déclarent avoir une activité physique parce qu'ils marchent, mais dans la réalité ce n'est pas une activité physique (...) moi je veux que les gens transpirent. » [M10]

La rédaction d'une ordonnance nécessite selon eux un diagnostic et des moyens d'action précis. L'absence d'outils d'évaluation constitue donc un frein important à la prescription de l'AP.

« Il faudrait que j'aie la capacité de faire un diagnostic du niveau d'AP et du type d'AP que je pourrais conseiller. Là je n'en ai pas les moyens. » [M8]

Coûts d'opportunité

Plusieurs médecins ont spontanément comparé la prescription d'AP à celle d'un médicament. Tous jugent plus longue et difficile la prescription d'AP. Aborder l'AP avec des patients parfois réticents et chercher à renforcer leur motivation pour l'AP demande au médecin plus de temps et d'implication.

« C'est beaucoup plus compliqué de dire de bouger 30 minutes que de dire : prenez un médicament. Il est toujours plus simple de prescrire un comprimé. » [M2]

Par ailleurs, les médecins ne se considèrent pas en mesure d'assurer l'accompagnement des patients. Ils regrettent particulièrement le manque de solution pour le suivi de l'AP.

« En dehors du podomètre, on n'a rien à leur proposer. » [M7]

« Les gens aiment avoir un coach qui les accompagne. Donc ça malheureusement (...) ça serait super mais on l'a pas. » [M6]

Risque perçu

Les médecins jugent la prescription d'AP plus risquée que celle d'un médicament. Le caractère symbolique de la prescription d'un médicament a été évoqué en ces termes :

« Tu peux apporter une réponse à quelqu'un en moins de 5 minutes en lui faisant une prescription de médicaments et en lui disant : Vous allez essayer ça et vous allez voir ça va aller mieux. Tu vends du rêve, de la guérison en ayant marqué une ligne d'un truc, c'est extraordinaire. L'exercice physique tu peux pas faire ça, sauf peut-être à te faire aider d'outils qui vont aider à la prescription. » [M10]

Les médecins ont évoqué le risque de perte de crédibilité en cas d'absence d'efficacité de la prescription d'AP.

« Quand tu dis aux patients : Vous allez voir, votre glycémie ou votre cholestérol va baisser, et que ce n'est pas le cas, on perd notre crédibilité. Alors qu'on sait qu'avec les médicaments ça marche. » [M8]

4-3- Prescription des objets connectés d'activité physique

Expérience des objets connectés d'AP dans la pratique médicale

Les médecins reconnaissent que de plus en plus de patients possèdent un objet connecté d'AP. Dans ce cas, la majorité des médecins prennent le temps d'analyser les données avec eux.

« Je leur demande où ils en sont, si ça les aide. Ceux qui sont un peu geek, je les encourage, je regarde les résultats, je les commente. » [M7]

Seuls quatre médecins ont déjà conseillé, et seulement en de rares occasions, d'acheter un objet connecté d'AP ou d'utiliser le podomètre inclus dans leur smartphone.

Bénéfices perçus des objets connectés d'AP

Les médecins reconnaissent que les objets connectés d'AP peuvent avoir un rôle motivationnel. Ils peuvent aider les patients à prendre conscience de leur niveau d'AP et apporter de la nouveauté et un aspect ludique dans une situation de maladie chronique dont la prise en charge est souvent longue et difficile.

« Je suis persuadé que ça peut être une aide motivationnelle pour les patients. » [M3]

L'objet connecté a également été décrit comme un support d'échange qui favoriserait la relation médecin-malade.

« C'est aussi un support d'échange, ça permet de parler, c'est concret. » [M2]

Manque d'intérêt clinique

Plusieurs freins à la prescription des objets connectés d'AP ont été évoqués, parmi lesquels la qualité des données (validité et reproductibilité insuffisantes) et leur nature, peu adaptée aux besoins des médecins. Les médecins considèrent que les données recueillies ont peu d'intérêt et ne correspondent pas aux objectifs qu'ils fixent avec leurs patients.

« Le podomètre connecté, j'ai du mal à voir ce qu'il m'apporterait en tant que soignant. Ce que l'outil te donne comme information, elle sert pas. C'est juste une collecte supplémentaire. » [M10]

« Les gens qui viennent avec leurs données connectées, j'ai pas le temps. C'est trop d'infos tue l'info. Leur nombre de pas... alors que je ne leur ai jamais fixé cet objectif-là. » [M10]

Les médecins ont exprimé différents types d'attentes concernant les objets connectés d'AP. Leur principale attente concerne la validité des données obtenues et la mesure de données d'intérêt comme la durée et l'intensité de l'AP et le temps passé assis. D'après eux, les données devraient par ailleurs être facilement compréhensibles pour le médecin et le patient et elles devraient être présentées de façon synthétique. Ils expriment également le souhait de pouvoir personnaliser l'objectif d'AP et certains critères comme le type de données recueillies, la période d'analyse et les messages d'encouragement.

« Des feedback positifs oui mais pas à tout bout de champ. » [M10]

Des médecins ont également suggéré qu'il serait intéressant que les données d'AP soient traduites en bénéfices immédiatement compréhensibles et motivants pour le patient, comme

par exemple les bénéfices de santé à long terme, les bénéfices immédiats sur le traitement de la maladie et les bénéfices sur le bien-être.

« *Pouvoir traduire l'AP en bénéfices compréhensibles, acceptables et motivants.* » [M5]

« *Associer l'AP avec la glycémie, ce serait excellent.* » [M5]

Coûts d'apprentissage et de recherche

Les médecins ont déclaré ne pas suffisamment connaître les objets connectés d'AP et ne pas savoir quel matériel recommander.

« *Je ne suis pas très au courant des objets. Je ne sais pas s'il y en a un qui est mieux que les autres.* » [M7]

« *C'est parce que je connais pas que je prescris pas. Prescrire un objet connecté qu'on connaît pas, je trouve ça vachement difficile.* » [M7]

Certains médecins considèrent qu'ils ne sont pas en mesure d'assurer une veille des différents appareils mis sur le marché et que cette mission devrait être confiée à un professionnel de santé dédié.

« *Le problème avec les objets connectés, c'est que c'est pas moi qui vais faire ça sur un coin de table à ma consultation. J'imaginerais tout à fait qu'il y ait dans ce bâtiment quelqu'un qui connaisse bien les objets connectés. On ne peut pas me demander quels sont les objets connectés qui sont disponibles.* » [M8]

Les médecins sont en attente d'un objet connecté simple d'utilisation, qu'ils connaissent bien et qu'ils auront pu tester au préalable. Ils redoutent la surcharge de travail que pourrait générer l'envoi automatique des données au médecin.

« *La crainte avec les objets connectés, c'est que ça nous rajoute plein de boulot parce que les gens t'interpellent par mail tout le temps. Si on les utilise, il faut vraiment qu'il y ait quelqu'un qui monitore.* » [M2]

À l'inverse, les médecins veulent discuter des données connectées dans le cadre habituel de la consultation.

Risque d'addiction, sécurité des données

Les médecins préviennent du possible risque d'addiction aux données par les patients.

« *Le problème principal de l'auto-mesure, c'est la tendance à l'addiction. Au lieu de vivre, on prend des mesures.* » [M3]

« *("Si c'est un objet de liberté, fort bien, à condition que ça ne devienne pas une addiction : Je suis esclave.* » [M5]

Les médecins pointent aussi le risque que les mutuelles s'emparent de ces données.

« Si le podomètre a pour but d'être transmis à l'assureur privé pour qu'il passe son contrat avec le bonus-malus, là on est à l'inverse, ça devient un objet d'emprise des financeurs sur le patient. » [M5]

Coût des objets connectés

Le prix souvent élevé des objets connectés représente pour les médecins un frein à leur prescription. La majorité des médecins a proposé un prix d'achat autour 50 euros pour un objet connecté d'AP. Plusieurs médecins ont spontanément indiqué cette gamme de prix en référence au prix des tensiomètres connectés qu'ils ont l'habitude de prescrire. Un médecin met en avant l'importance du service rendu au patient pour justifier une dépense de cet ordre.

« Les gens sont pas prêts à payer beaucoup. Il faut que l'objet ait une vraie valeur ajoutée. » [M6]

Les experts ne sont pas très favorables à un remboursement par la sécurité sociale soit parce qu'ils ne croient pas qu'un tel remboursement soit envisageable, soit parce qu'ils ne pensent pas que ce soit un élément fondamental de la prise en charge. Ils sont en revanche favorables à un remboursement par les mutuelles.

Les médecins n'ont pas évoqué spontanément la possibilité de location d'un objet connecté d'AP. En revanche, ils ont accueilli favorablement cette proposition lors de l'entretien. La location pour une durée déterminée pourrait selon eux renforcer le rôle éducatif de l'objet connecté et réduire le risque d'addiction aux données.

Prescription d'autres appareils d'automesure

Les experts prescrivent régulièrement des appareils pour l'automesure tensionnelle ou glycémique. Ils y trouvent en effet un bénéfice médical immédiat, celui de vérifier l'efficacité thérapeutique, et d'optimiser le traitement médical.

« C'est un enregistrement continu, ça donne une vraie information sur... si ton insuline est bien dosée ou pas. » [M2]

Les médecins prescrivent volontiers des appareils d'automesure connectés car ils peuvent faciliter leur utilisation par les patients dans la vie de tous les jours. Ils sont en revanche opposés à l'envoi automatique des données au médecin, ce qui irait à l'encontre de la recherche d'autonomisation du patient.

« Je suis contre la télétransmission des résultats. Cette logique d'avoir un cordon-ombilical est à l'inverse de l'esprit de l'éducation thérapeutique qui est l'autonomie du patient » [M5]

4-4- Discussion

Les objets connectés d'AP sont de plus en plus populaires auprès du grand public. Notre étude montre cependant que les médecins spécialisés dans la prise en charge des patients présentant une maladie cardiométabolique n'ont pas encore intégré ces objets dans leur pratique médicale, contrairement aux appareils d'automesure tensionnelle ou glycémique, qu'ils prescrivent fréquemment. Bien que la majorité des médecins n'ait jamais prescrit d'objet connecté d'AP, ils leur reconnaissent un rôle possible de renforcement de la motivation du patient vis-à-vis de l'AP, notamment au travers d'une mesure plus précise de l'AP. Ils ont cependant décrit plusieurs barrières à la prescription, dont les principales étaient la validité insuffisante des données, le manque d'intérêt clinique des données recueillies qui se limitent souvent au nombre de pas, une certaine méconnaissance des objets toujours plus nombreux, la crainte d'une importante surcharge de travail résultant de l'envoi automatique des données au médecin, et enfin le risque d'addiction des données pour les patients. Les médecins interrogés ont exprimé plusieurs attentes vis-à-vis des objets connectés d'AP. Ils souhaitent un outil simple d'utilisation, mesurant la durée, l'intensité de l'AP et le temps passé assis, une personnalisation possible de l'objectif d'AP et une traduction des données d'AP en bénéfices immédiats, compréhensibles et motivants. Enfin, ils souhaitent discuter des données connectées dans le cadre habituel de la consultation et s'opposent à l'envoi automatique des données au médecin.

DISCUSSION GÉNÉRALE

1- Rappel et mise en perspective des principaux résultats

1-1- Efficacité des programmes d'activité physique chez les patients obèses

Le premier objectif de ce travail de thèse consistait à évaluer l'efficacité de programmes d'AP chez des patients obèses, en complément de la prise en charge habituelle. Pour notre premier article, nous nous sommes intéressés aux **effets de l'entraînement chez les patients opérés d'une chirurgie bariatrique**. Nous avons ainsi réalisé une revue systématique de la littérature suivie d'une méta-analyse ayant pour objectif d'évaluer les effets d'un entraînement réalisé après la chirurgie. Nos résultats ont montré une perte de poids et de masse grasse plus importante chez les patients ayant participé à un programme d'entraînement après la chirurgie, ainsi qu'une amélioration plus marquée de la capacité cardiorespiratoire et de la force musculaire. En revanche, l'entraînement ne semblait pas modifier l'évolution de la masse maigre, des paramètres métaboliques, de la qualité de vie ou de l'AP habituelle après l'opération.

Le $\dot{V}O_2\text{max}$ était amélioré en moyenne de $2,9 \text{ mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ après l'entraînement comparativement au groupe témoin ; soit d'environ 15 % si l'on considère un $\dot{V}O_2\text{max}$ initial moyen de 18 à $20 \text{ mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$. Cette augmentation est comparable à celle habituellement observée après un entraînement en endurance réalisé chez des sujets initialement inactifs (Hawley et al. 2018) ou chez des sujets en surpoids ou obèses (Schwingshackl et al. 2013). Nos résultats ont également montré une augmentation de la force musculaire après l'entraînement, mais l'amplitude de l'effet n'a pas pu être calculée en raison d'un nombre insuffisant d'études. Le $\dot{V}O_2\text{max}$ et la force musculaire étant chacun associé au risque de mortalité, aussi bien chez les sujets en bonne santé, les sujets obèses, ou les sujets présentant des facteurs de risque cardiovasculaire (Fogelholm 2010, Garcia-Hermoso et al. 2018, Kim et al. 2017b, Ross et al. 2016), l'amélioration de la capacité physique constitue potentiellement un bénéfice important de l'entraînement après la chirurgie. Le risque de mortalité semble particulièrement augmenté chez les sujets ayant à la fois une faible capacité cardiorespiratoire et une faible force musculaire (Crump et al. 2017). Il apparaît ainsi important de chercher à améliorer ces deux dimensions de la capacité physique chez les patients bénéficiant d'une chirurgie bariatrique.

En ce qui concerne la force musculaire, il est intéressant de noter qu'elle augmente après l'entraînement alors même que la masse musculaire diminue dans les mêmes proportions que dans le groupe témoin. Un résultat similaire a été observé dans l'étude PROMISE, où la force des membres inférieurs augmentait de façon significative après 18 semaines d'entraînement malgré une diminution conséquente de la masse maigre (Oppert et al. 2018). Il semble ainsi exister un « découplage » entre les changements de la force et ceux de la masse musculaire, phénomène déjà bien décrit dans la littérature au cours des premières semaines d'un entraînement de renforcement musculaire (Deschenes et al. 2002, Sale 1988). En effet, l'augmentation de la force musculaire observée dès les premières semaines d'entraînement précède l'hypertrophie musculaire et est attribuée à l'amélioration de facteurs nerveux tels que l'augmentation de l'activation des unités motrices ou la diminution de la co-contraction des muscles antagonistes. L'hypertrophie n'expliquerait l'augmentation de la force qu'après plusieurs semaines d'entraînement (Deschenes et al. 2002, Sale 1988).

Les résultats de notre revue ne montraient pas d'effet significatif de l'entraînement sur la masse maigre après plusieurs mois d'entraînement. Le déficit d'apport énergétique et protéique caractéristique des premiers mois post-opératoires pourrait en partie expliquer ce résultat. Par ailleurs, une diminution de la synthèse protéique en réponse à une prise orale de protéines seule (Guillet et al. 2012) ou associée à un exercice de renforcement musculaire (Beals et al. 2018) a été décrite chez les personnes obèses. Le maintien de la masse maigre après une chirurgie bariatrique semble ainsi particulièrement difficile, tout au moins dans la période initiale après la chirurgie au cours de laquelle prend place une perte de poids majeure sous l'effet d'un bilan énergétique fortement négatif.

Un autre effet bénéfique de l'entraînement après une chirurgie bariatrique résidait dans la perte de poids et de masse grasse supplémentaire. Cette perte de poids supplémentaire, d'environ 2,5 kg en moyenne, peut cependant paraître d'amplitude modeste face à l'importance de la perte de poids liée à la chirurgie elle-même (environ 30 à 35 % du poids initial lors de la première année post-opératoire, c'est-à-dire 30 à 35 kg en valeur absolue pour un individu pesant 100 kg) (Sjostrom et al. 2007). Le déficit énergétique induit par l'entraînement pourrait être insuffisant pour accentuer encore le bilan énergétique très largement négatif dans les premiers mois post-opératoires (Carnero et al. 2017, Verger et al. 2016). Il est également possible qu'un volume plus élevé d'AP soit nécessaire pour favoriser la perte de poids ; ce qui serait en accord avec les recommandations d'AP pour la prévention

de la reprise de poids en général chez les patients obèses, qui sont supérieures aux recommandations d'AP pour la promotion de la santé en population générale (Jensen et al. 2014, Saris et al. 2003). Les données disponibles ne nous ont cependant pas permis de déterminer le niveau minimum d'entraînement nécessaire pour favoriser la perte de poids après la chirurgie. Une analyse secondaire de l'étude de Coen et al. (2015), qui a évalué l'effet d'un entraînement en endurance partiellement supervisé, a montré une perte de poids significative uniquement chez les participants ayant accumulé le volume d'entraînement le plus important (ceux qui se sont entraînés en moyenne 286 minutes par semaine) (Woodlief et al. 2015). Une autre analyse des données de l'étude de Coen et al. (2015), a montré que les patients accumulant le plus grand nombre de pas par jour (indépendamment de l'entraînement), perdaient davantage de poids et de masse grasse (Carnero et al. 2017). Ces résultats suggèrent donc l'importance de l'AP du quotidien pour optimiser la perte de poids après une chirurgie bariatrique.

Depuis juin 2017, date à laquelle a été réalisée notre recherche bibliographique, plusieurs articles - analysant un même programme d'entraînement - ont été publiés (Mundbjerg et al. 2018a, Mundbjerg et al. 2018b, Stolberg et al. 2018a, Stolberg et al. 2018b). Ce programme d'entraînement, d'une durée de 26 semaines, débutait au 6^e mois post-opératoire, et comprenait 2 séances par semaine de 40 minutes composées d'exercices d'endurance et de renforcement musculaire (Mundbjerg et al. 2018a). L'étude incluait 60 femmes et hommes opérés d'un *bypass*. Le $\dot{V}O_2$ max et la force musculaire augmentaient à court terme après l'entraînement mais l'amélioration n'était pas maintenue à un an. Une perte de poids supplémentaire de 4,5 kg était observée à distance (deux ans) de l'entraînement mais aucun effet n'était observé sur le profil métabolique, les paramètres inflammatoires ou la fonction endothéliale, à court ou moyen terme après l'entraînement (Mundbjerg et al. 2018a, Stolberg et al. 2018a). Les résultats de ces publications récentes renforcent donc les conclusions de notre revue de la littérature dans le sens d'une perte de poids réelle bien que modeste sous l'effet d'un entraînement après chirurgie bariatrique. L'amélioration de la capacité physique observée à court terme après l'entraînement pourrait toutefois ne pas perdurer sans poursuite de l'entraînement, comme cela est habituellement observé.

L'ensemble de ces résultats amène à poser différentes questions. Premièrement, l'effet de l'entraînement à plus long terme après chirurgie bariatrique sur l'évolution du poids et de la composition corporelle, de la capacité physique ou encore sur la rémission des comorbidités,

notamment le diabète de type 2, nécessite d'être évalué. À ce jour, une seule étude a mesuré l'effet de l'entraînement jusqu'à 1 an après la fin des séances (Mundbjerg et al. 2018a).

Deuxièmement, les modalités d'intervention les plus efficaces n'ont pas pu être identifiées dans le contexte de la chirurgie bariatrique en raison du nombre limité d'études et de la variabilité des protocoles utilisés. Le type d'entraînement (endurance et/ou renforcement musculaire), sa durée, la fréquence hebdomadaire des séances, leur supervision, ou encore la phase de réalisation de l'entraînement (lors de la phase de perte de poids au cours des premiers mois post-opératoires ou lors de la phase de maintien du poids à partir de la deuxième année post-opératoire), sont autant de facteurs pouvant modifier l'efficacité des programmes. En tenant compte du principe de spécificité de l'entraînement, expliqué par l'activation de voies de signalisation cellulaire distinctes (Hawley et al. 2014), on peut par exemple penser que l'entraînement en endurance améliorerait préférentiellement le $\dot{V}O_2\text{max}$ et l'entraînement de renforcement musculaire la force musculaire. Cette hypothèse doit cependant être vérifiée dans le contexte spécifique de la chirurgie bariatrique. Débuter l'entraînement à distance de la chirurgie pourrait par ailleurs correspondre à une période plus propice à l'augmentation de la masse musculaire que les premiers mois post-opératoires caractérisés par un important déficit énergétique et protéique.

Enfin, l'efficacité des programmes d'entraînement réalisés avant chirurgie bariatrique est peu connue. Les études dans ce domaine sont très peu nombreuses. Les trois études que nous avons identifiées ont montré une amélioration à court terme de la capacité physique fonctionnelle, sans modification de la composition corporelle, après l'entraînement (Baillot et al. 2017a, Baillot et al. 2016, Marcon et al. 2017). L'évolution après la chirurgie de la capacité physique fonctionnelle, de la composition corporelle et de l'AP habituelle semble également favorable, mais ces résultats proviennent d'une seule étude (Baillot et al. 2017b).

Pour notre deuxième article, nous nous sommes intéressés aux **effets de l'entraînement chez des patients obèses présentant un syndrome de Prader-Willi (SPW)**. Nous avons mis en place un programme d'entraînement, d'une durée de 4 mois, comprenant 2 séances par semaine supervisées par un éducateur sportif, réalisées au domicile ou au foyer du patient et incluant des exercices d'endurance et de renforcement musculaire. La participation aux séances était proche de 100 % et les patients ainsi que leur entourage se sont déclarés très satisfaits du programme. Cette réussite peut être attribuée à la capacité d'adaptation des

éducateurs sportifs, spécifiquement formés à la prise en charge des personnes porteuses de pathologies chroniques, qui ont expliqué avoir dû adapter le contenu des séances aux difficultés psychologiques et cognitives caractéristiques des personnes avec un SPW, à la fatigue des patients et parfois à leur manque de motivation. L'expérience et la formation préalable des éducateurs sportifs nous semblent des éléments essentiels à la réussite de ce type de programme. L'interaction individuelle entre l'éducateur et le patient semblait également être un facteur important pour instaurer une relation de confiance, améliorer la relation patient-professionnel de santé et renforcer l'estime de soi chez des patients très sensibles aux encouragements.

Le programme a entraîné une augmentation significative de l'AP habituelle chez les femmes, mais pas chez les hommes. L'augmentation concernait essentiellement la durée de MVPA totale et en sessions prolongées. La médiane de la durée de $MVPA_{\geq 10 \text{ min}}$ est passée chez les femmes de 5 à 90 minutes par semaine. Cependant, malgré cette augmentation substantielle de la durée de MVPA, la majorité des participantes n'atteignait pas après le programme le niveau minimum d'AP recommandé. Il est intéressant de constater que le temps total de sédentarité, particulièrement élevé chez ces femmes initialement, n'a pas évolué après le programme. Des données récentes suggèrent que le risque associé à l'augmentation de la sédentarité serait plus important chez les sujets les plus inactifs physiquement (Biswas et al. 2015). L'augmentation de l'AP observée après le programme d'entraînement est ainsi susceptible de contribuer à l'amélioration de l'état de santé chez les patients présentant un SPW.

Le programme d'entraînement a par ailleurs permis d'améliorer la capacité physique fonctionnelle chez les femmes ayant un SPW, avec également une tendance à l'amélioration chez les hommes. Chez les femmes, l'augmentation observée d'environ 30 m de la distance parcourue en 6 minutes est comparable à celle habituellement observée après un programme d'entraînement de durée comparable chez des personnes sévèrement obèses (Baillot et al. 2014, Marcon et al. 2017). Cette étude montre ainsi qu'il est possible d'améliorer la capacité physique chez ces patients présentant parfois d'importants troubles de la posture et de la marche. L'amélioration de la dimension physique de la qualité de vie, bien que non significative dans cette étude, apparaît également comme un bénéfice important des programmes d'AP. Afin d'augmenter la transférabilité de ce type de programmes, il semble nécessaire d'évaluer son efficacité auprès de patients présentant une autre forme d'obésité

génétique (par exemple, le syndrome de Bardet-Biedl) ou une obésité liée à des lésions de l'hypothalamus (par exemple, le craniopharyngiome), qui représentent au total 5 % des patients obèses (Huvenne et al. 2016).

1-2- Méthodes de mesure de l'AP et de la capacité physique adaptées aux patients obèses

Le deuxième objectif de ce travail de thèse consistait à identifier des méthodes de mesure de l'AP et de la fonction musculaire pouvant être utilisées chez des patients obèses et dans un contexte clinique hospitalier. Nous avons utilisé au cours de ce travail trois méthodes de mesure de l'AP : deux méthodes objectives (accéléromètres Actigraph et activPAL) et une méthode déclarative (questionnaire STAQ). L'étude FAMOUS réalisée chez des patientes candidates à la chirurgie bariatrique a montré que les résultats d'AP différaient selon la méthode de mesure employée.

Un premier aspect de ce travail consistait à **comparer les données déclaratives d'AP avec les données d'accélérométrie** (Actigraph). La durée quotidienne de MVPA tendait à être surestimée avec le questionnaire d'AP de 12 minutes par jour en moyenne, avec une forte variabilité interindividuelle. La surestimation de l'AP est une limite bien identifiée des questionnaires d'AP (Shephard 2016, Vuillemin et al. 2012), et tout particulièrement chez les femmes en surpoids ou obèses (Ferrari et al. 2007, Prince et al. 2008). Une sur-déclaration d'AP a également été décrite chez des patients candidats à la chirurgie bariatrique (Berglind et al. 2016, Bond et al. 2010a). Nos résultats suggèrent par ailleurs que la sur-déclaration de MVPA est plus importante chez les patientes les moins actives et chez celles ayant le pourcentage de masse grasse le plus élevé. Ces résultats diffèrent de ceux décrits par Berglind et coll., qui avaient montré une sur-déclaration plus importante chez les patients les moins corpulents (Berglind et al. 2016). Cependant, dans cette étude, les patients les moins corpulents étaient également les moins actifs (Berglind et al. 2016). Nos résultats suggèrent ainsi que les patientes candidates à la chirurgie bariatrique ayant le plus fort taux de masse grasse et/ou étant les plus inactives sur-estiment davantage leur niveau d'AP, ce qui pourrait s'expliquer par un biais de désirabilité plus important.

D'autres explications d'ordre méthodologique peuvent cependant être proposées. Une première différence entre les questionnaires et les accéléromètres réside dans la façon d'exprimer l'intensité de l'AP. En effet, l'intensité est exprimée en termes absolus avec les

accéléromètres et en termes relatifs ou d'intensité perçue avec les questionnaires. Or, si l'intensité absolue et l'intensité relative concordent chez les jeunes adultes ou ceux d'âge moyen en bonne santé, ce n'est pas toujours le cas chez les sujets déconditionnés physiquement (PAGAC 2018). Chez des sujets obèses, il a été montré que l'intensité relative lors de la marche « pour le plaisir » était plus élevée que chez des sujets de poids normal, et ce malgré une vitesse de marche inférieure (Hills et al. 2006). À ce jour, aucune étude publiée n'a mesuré le seuil d'intensité de l'accéléromètre (exprimé en nombre de coups.minute⁻¹) correspondant à une intensité relative modérée chez des personnes obèses. Seules deux études ont montré que le seuil correspondant à une intensité absolue modérée de 3 MET était inférieur à celui habituellement obtenu chez les sujets de poids normal (Aadland et al. 2012, Lopes et al. 2009). Notre analyse complémentaire des données d'accélérométrie de l'étude PROMISE a permis de calculer pour chaque patiente des seuils d'intensité relative prenant en compte le $\dot{V}O_{2pic}$. Les seuils calculés étaient inférieurs aux seuils de Freedson qui sont les plus couramment employés ; et leur utilisation augmentait l'estimation de la durée de MVPA de 15 minutes.jour⁻¹ ainsi que le pourcentage de participantes atteignant les recommandations d'AP.

La méthode de calcul des seuils d'intensité relative employée dans notre étude nécessite d'être validée. Elle a toutefois fourni des résultats en accord avec ceux de deux études ayant établi les seuils d'intensité relative selon la méthode de référence (par comparaison directe avec le $\dot{V}O_2$ mesuré au cours d'un exercice standardisé d'intensité modérée) (Kujala et al. 2017, Welch et al. 2017). Ces études, réalisées chez des personnes âgées, en surpoids et diabétiques de type 2 (Welch et al. 2017) ou chez des sujets adultes (Kujala et al. 2017), ont montré que la durée d'AP obtenue en utilisant des seuils d'intensité absolue était inférieure à celle obtenue en utilisant des seuils d'intensité relative ; tout particulièrement chez les personnes ayant une faible capacité cardiorespiratoire. Ces données mettent ainsi en lumière l'importance d'exprimer l'intensité en termes relatifs pour l'analyse des données objectives d'AP pour mieux évaluer l'AP chez des personnes ayant une capacité physique limitée, et donc chez les personnes obèses (Welch et al. 2017)

Une deuxième différence entre les questionnaires et les accéléromètres concerne la durée minimale des sessions d'AP prises en compte pour identifier les sujets respectant les recommandations d'AP. Pour l'analyse des données d'accélérométrie, seules les sessions de MVPA d'au moins 10 minutes sont prises en compte alors que certains questionnaires,

comme le questionnaire STAQ utilisé pour ce travail, ne mentionne pas de durée minimale pour la prise en compte des sessions d'AP (Mensah et al. 2016). Par ailleurs, les accéléromètres ne prennent pas en compte les activités aquatiques et les activités statiques, ce qui peut contribuer à sous-estimer l'AP. Cette sous-estimation peut cependant être minime chez les patientes candidates à la chirurgie bariatrique, peu de patientes ayant déclaré avoir participé à des activités comme le vélo d'appartement ou l'aquagym au cours des quatre dernières semaines. Dans les études de population ou les études réalisées chez des personnes obèses, l'utilisation des accéléromètres augmente ainsi drastiquement la prévalence de l'inactivité physique (Tucker et al. 2011). Aux États-Unis par exemple, le pourcentage de la population adulte active était estimé à 3,5 % dans l'étude NHANES utilisant des accéléromètres (Troiano et al. 2008), alors qu'il était de 51 % dans l'enquête BRFSS utilisant un questionnaire (Centers for Disease Control and Prevention 2013). Chez des sujets obèses candidats à la chirurgie bariatrique, 5 % des patients étaient considérés comme actifs avec un accéléromètre, contre 36 % avec un questionnaire d'AP (Bond et al. 2010b, Bond et al. 2009). Ces différences ne sont pas négligeables et rendent difficiles les comparaisons entre les études utilisant différentes méthodes de mesure de l'AP, le suivi des populations en cas de changement de méthode de mesure au cours du temps, et l'évaluation de l'AP à l'échelle individuelle. Selon les résultats de l'étude FAMOUS, 81 % des patientes auraient été considérées comme suffisamment actives avec les questionnaires d'AP et seulement 18 % avec les accéléromètres, ce qui pose question sur le contenu du message à délivrer aux patients. Un travail de concertation semble nécessaire pour déterminer comment utiliser les données d'accélérométrie dans la prise en charge des patients, notamment pour définir les critères d'évaluation les plus pertinents.

Après avoir comparé les données déclaratives et objectives d'AP, nous avons **comparé les données d'AP mesurées avec les accéléromètres Actigraph ou activPAL**. Le nombre de pas mesuré par l'activPAL était surestimé en moyenne de 1 700 pas.jour⁻¹ comparativement à celui mesuré par l'Actigraph, et cette surestimation augmentait chez les sujets accumulant le plus de pas au cours de la journée. Une étude avait montré une forte relation entre le nombre de pas mesuré par ces deux accéléromètres dans des conditions de laboratoire (Feito et al. 2012a), mais aucune n'avait comparé ces deux accéléromètres chez des sujets présentant une obésité sévère et dans des conditions de vie réelle. Nos données suggèrent ainsi que les accéléromètres activPAL et Actigraph ne peuvent ainsi pas être utilisés de façon

interchangeable pour mesurer le nombre de pas quotidien dans des conditions de vie réelle chez des patientes candidates à la chirurgie bariatrique.

La différence de mesure peut s'expliquer par le fait que les accéléromètres Actigraph sous-estiment fortement le nombre de pas lors de la marche à vitesse lente, ce qui n'est pas le cas pour les accéléromètres activPAL (Abel et al. 2008, Feito et al. 2012a, Ryan et al. 2006). Dans ces études de validation, la marche à vitesse lente était habituellement définie par une vitesse inférieure à 4,8 km.h⁻¹, qui reste cependant supérieure à la vitesse de marche spontanée mesurée en laboratoire dans l'étude FAMOUS (4,1 km.h⁻¹.en moyenne). Les accéléromètres activPAL pourraient ainsi mieux prendre en compte les pas réalisés lors de la marche à vitesse lente, prépondérante chez les sujets candidates à la chirurgie bariatrique.

Au-delà du nombre de pas quotidien, les accéléromètres permettent d'analyser la distribution des pas selon la cadence de marche. Dans notre étude, près de la moitié des pas était réalisée à une cadence supérieure à 100 coups.min⁻¹, qui a été proposée par certains auteurs comme le seuil d'intensité modérée pour la marche (Tudor-Locke et al. 2018). Nous avons par ailleurs montré que le nombre de pas réalisés à une cadence supérieure à 100 coups.min⁻¹ était fortement associée à la durée de MVPA mesurée avec l'Actigraph. Nos données diffèrent de celles mesurées en population générale dans l'enquête de surveillance américaine NHANES avec l'accéléromètre Actigraph, chez qui la proportion des pas réalisés à une cadence supérieure à 100 coups.min⁻¹ ne dépassait pas 10 % (Tudor-Locke et al. 2011a). Elle se rapproche en revanche davantage des données mesurées chez des sujets âgés avec l'activPAL (Granat et al. 2015). La cadence de marche est une donnée intéressante pour plusieurs raisons (Marshall et al. 2009, Tudor-Locke et al. 2018). Premièrement, la marche est l'activité la plus couramment pratiquée dans la population générale (Bertrais et al. 2004, Ham et al. 2009) et chez les sujets obèses (Vatier et al. 2012). Deuxièmement, la cadence de marche est une notion facilement compréhensible par les patients et les professionnels de santé, qui pourraient aisément utiliser cette notion pour affiner les conseils d'AP. Selon les médecins interrogés dans notre étude qualitative, l'intensité de l'AP est une notion difficile à évaluer car elle est mal comprise par les patients. Les smartphones et les objets connectés d'AP étant de plus en plus répandus, ils pourraient, par une restitution en temps réel de la cadence, améliorer à large échelle la perception de l'intensité de l'AP par les patients (Bouchard et al. 2013). Ces objets joueraient en ce sens un réel rôle éducatif, encore peu exploité à l'heure actuelle dans le milieu médical (Rudin et al. 2016). Enfin, le seuil de cadence pourrait être facilement

personnalisé en prenant en compte des paramètres comme l'âge et la taille ou en mesurant la cadence à une vitesse spontanée et confortable, soit par observation directe de la marche, soit à l'aide d'un tapis électronique d'analyse de la marche (Tudor-Locke et al. 2018).

Si les objets connectés ouvrent des perspectives pour une meilleure évaluation de l'AP chez les patients, nos entretiens qualitatifs menés auprès de médecins spécialistes des maladies cardiométaboliques ont suggéré que ces objets n'ont pas encore été intégrés à la prise en charge médicale, contrairement à d'autres objets connectés comme les appareils d'auto-mesure tensionnelle ou glycémique. La validité insuffisante des données et leur manque d'intérêt clinique ont été évoqués comme les freins les plus importants à la prescription des objets connectés d'AP. Le nombre de pas, principale variable mesurée par ces objets, ne correspond en effet pas aux recommandations actuelles d'AP, qui indiquent une certaine durée et intensité d'AP, mais n'indiquent pas un seuil de nombre de pas (O'Donovan et al. 2010, PAGAC 2018, Thompson et al. 2016). Par ailleurs, les objets connectés d'AP ne mesurent pas une donnée de santé mais des données comportementales. En cela, ils se distinguent des appareils d'auto-mesure tensionnelle ou glycémique, qui fournissent une mesure directe, précise et plus complète d'un paramètre de santé que ne le font les méthodes de mesure traditionnelle. Ces appareils d'auto-mesure permettent ainsi au médecin d'adapter le traitement médicamenteux du patient ; et au patient d'adapter son traitement, de motiver des changements de mode de vie et d'observer des bénéfices immédiats sur le contrôle de sa maladie. Il a été bien décrit que nous accordons davantage d'importance à une récompense immédiate et concrète qu'à un bénéfice lointain et incertain (Reach 2009). Les médecins ont ainsi proposé que les objets connectés d'AP traduisent les données d'AP en bénéfices à court terme (comme un meilleur contrôle de la maladie ou une amélioration du bien-être) afin d'améliorer l'adhésion à des changements à long terme du mode de vie (Epstein et al. 2010, Kahneman 2012). Une simple traduction des données d'AP en bénéfices de santé, telle qu'elle a été suggérée par les médecins, pourrait être mise en place rapidement par les fabricants. Dans un futur proche, certains prédisent qu'un unique appareil mesurera une multitude de données de santé dont les données d'AP, et pourra ainsi établir un lien direct entre l'AP et les paramètres de santé (Piwek et al. 2016).

Un autre aspect de cet objectif méthodologique consistait à **évaluer, chez des sujets obèses candidats à la chirurgie bariatrique, la faisabilité et la reproductibilité des mesures de force et de puissance musculaire lors d'un saut vertical sur une plateforme de force**. L'ensemble des patientes a réussi à réaliser ce test et aucune d'entre elles n'a déclaré de douleur articulaire à l'issue du test, ce qui suggère la faisabilité de ce test chez ces patientes. La reproductibilité des mesures de force et de puissance entre deux sauts successifs était considérée comme très bonne, avec un coefficient de corrélation intra-classe supérieur à 0,90. Cette valeur est comparable à celles précédemment décrites chez des sujets jeunes ou d'âge moyen en bonne santé (Ditroilo et al. 2011, Moir et al. 2005), ce qui suggère que la reproductibilité de la mesure de force et de puissance sur une plateforme de force n'est pas altérée chez les sujets obèses. Nous avons par ailleurs cherché à **évaluer la validité** des mesures de force et de puissance musculaire produites lors d'un saut vertical sur une plateforme de force en les comparant avec les résultats de l'ergomètre isocinétique. Des corrélations modérées étaient observées avec le couple de force isocinétique, ce qui contraste avec les corrélations plus fortes habituellement décrites dans la littérature chez des sujets jeunes et en bonne santé (Iossifidou et al. 2005, Paasuke et al. 2001, Rouis et al. 2015).

Si l'ergomètre isocinétique est considéré comme l'outil de référence pour l'évaluation de la force musculaire des membres inférieurs, son utilisation chez des sujets ayant une obésité sévère a posé plusieurs difficultés qui concernaient principalement le positionnement des patients sur le fauteuil (inconfort généré par la position assise prolongée, impossibilité chez certaines patientes d'attacher la cuisse en raison d'une sangle trop courte) ainsi que le réglage de l'ergomètre (difficulté à la palpation de l'interligne fémoro-tibiale sur laquelle est alignée l'axe de rotation de l'ergomètre). Les ergomètres isocinétiques sont par ailleurs peu répandus dans les services hospitaliers, en grande partie du fait de leur coût, et ne peuvent pas être utilisés pour l'évaluation en routine des patients. Au-delà des contraintes techniques et d'organisation, des auteurs ont suggéré la supériorité des mouvements pluri-articulaires pour refléter la capacité physique fonctionnelle (Holsgaard Larsen et al. 2007). Nos données ont montré une forte relation entre la masse maigre et la force et la puissance développées lors du saut vertical, alors qu'une relation modérée était observée avec la force isocinétique. De la même façon, le temps de double appui était associé à la force développée lors du saut vertical, alors que cette relation n'était pas significative avec la force isocinétique. Ces résultats montrent ainsi l'intérêt de mesurer la force lors d'un mouvement complexe comme un saut

vertical, simple et rapide à réaliser et relativement peu coûteux, chez des patients candidats à la chirurgie bariatrique.

Enfin, nous avons **analysé les relations entre le $\dot{V}O_{2pic}$ mesuré au cours d'une épreuve d'effort maximal et deux tests fonctionnels** couramment utilisés en pratique clinique pour évaluer la capacité physique fonctionnelle de patients fortement déconditionnés (vitesse de marche spontanée, test de marche de 6 minutes). Le $\dot{V}O_{2pic}$ était associée de façon significative et modérée à la vitesse de marche spontanée, et tendait à être associée à la distance parcourue lors du test de marche de 6 minutes. Ces tests présentent l'avantage de pouvoir être réalisés en routine et, pour le test de marche de 6 minutes, de fournir une estimation du $\dot{V}O_{2pic}$, y compris chez les sujets obèses (Metz et al. 2018, Ross et al. 2010). Plusieurs études ont montré que le $\dot{V}O_{2pic}$ calculé à partir d'un test sous-maximal comme le test de marche de 6 minutes tendait à être sous-estimé chez les sujets les plus déconditionnés (Ross et al. 2016). En revanche, l'utilisation de ces tests permettrait de classer de façon satisfaisante les sujets dans des catégories de $\dot{V}O_{2pic}$ (par exemple, faible, modérée, élevée) (Ross et al. 2016). Ces tests pourraient ainsi être utilisés comme un marqueur facilement mesurable de la capacité cardiorespiratoire et favoriser ainsi son estimation à plus large échelle chez les patients opérés d'une chirurgie bariatrique (Addoh et al. 2017). S'il est bien démontré que le $\dot{V}O_{2max}$ mesuré lors d'une épreuve d'effort maximal est un facteur prédictif du risque de mortalité et du risque cardiovasculaire, des données indiquent également le caractère prédictif du $\dot{V}O_{2max}$ estimé par des équations de prédiction, aussi bien à partir d'un test sous-maximal qu'à partir de données cliniques uniquement (Ross et al. 2016). Il semble cependant que ces équations ne sont pas assez précises pour être utilisées à l'échelle individuelle, mais qu'elles peuvent être utilisées pour évaluer le risque chez un groupe d'individu (Ross et al. 2016). Ces données proviennent par ailleurs d'études réalisées en population générale, et non pas spécifiquement chez des sujets obèses.

1-3- Description de l'AP et de la capacité physique de patients obèses

Le troisième objectif de ce travail de thèse était de mieux décrire l'AP habituelle, la capacité cardiorespiratoire et la fonction musculaire de sujets obèses et de mieux comprendre les relations entre ces paramètres. Un premier aspect de ce travail consistait à **décrire en détail l'AP habituelle et la sédentarité mesurées par accélérométrie, ainsi que leurs profils d'accumulation au cours de la journée, chez des patients obèses bénéficiant d'une**

chirurgie bariatrique. Avant la chirurgie, la majorité des patientes n'atteignait pas les recommandations d'AP pour la population générale et consacrait près de deux tiers de leur journée à des occupations sédentaires. Les sessions de MVPA prolongées au-delà de 10 minutes ne représentaient que 10 % de la durée totale de MVPA, soit près de quatre fois moins que les valeurs décrites chez des sujets non obèses (Glazer et al. 2013). Une analyse détaillée des profils d'AP a montré qu'environ un tiers des patientes n'avait réalisé aucune session prolongée de MVPA pendant la semaine d'enregistrement, et qu'aucune d'entre elles n'avait réalisé une session prolongée quotidiennement. Les sessions de MVPA ne duraient ainsi en moyenne que 2 minutes. Les sessions prolongées de MVPA, qui constituent la base des recommandations actuelles d'AP, étaient ainsi très rares chez les participantes candidates à la chirurgie bariatrique, ce qui explique la prévalence élevée de l'inactivité physique.

Nous avons observé six mois après le *bypass* une augmentation modeste mais significative de la durée totale de MVPA. Cette augmentation était caractérisée par une forte variabilité interindividuelle, aussi bien dans le sens de l'effet que dans son amplitude, et ne semblait pas se maintenir cinq ans après le *bypass*. Nous n'avons par ailleurs pas observé d'évolution significative du temps sédentaire à court ou long terme après le *bypass*. À ce jour, les rares études ayant mesuré l'AP et le temps sédentaire de façon objective à plusieurs reprises après une chirurgie bariatrique ont montré une augmentation de l'AP et une diminution du temps sédentaire transitoires jusqu'à deux ans après l'opération puis un retour au niveau préopératoire trois ans après (Giusti et al. 2016, King et al. 2015). Des interventions supplémentaires semblent ainsi nécessaires pour favoriser un maintien de l'augmentation de l'AP au cours du temps. Les données de l'étude PROMISE contribuent ainsi à mieux comprendre l'évolution spontanée de l'AP après une chirurgie bariatrique, notamment à long terme où les données disponibles sont particulièrement rares. Elles mettent également en lumière la nécessité d'inclure une évaluation plus systématique de l'AP dans le suivi des patients afin de pouvoir davantage personnaliser les conseils d'AP ; et d'identifier les facteurs individuels pouvant expliquer la variabilité de l'évolution de l'AP.

Au-delà de l'augmentation de la durée totale de MVPA, nous avons observé une augmentation de la durée et de la proportion de MVPA pratiquée en sessions prolongées, qui restent cependant très inférieures aux valeurs observées chez des sujets de poids normal (Glazer et al. 2013). Des données de plus en plus nombreuses suggèrent que l'AP est associée à des bénéfices de santé, même lorsqu'elle est pratiquée en sessions courtes (PAGAC 2018,

Saint-Maurice et al. 2018b). En revanche, les données disponibles sont insuffisantes pour déterminer si les sessions courtes d'AP apportent autant de bénéfices que les sessions prolongées (par exemple en termes de réduction du risque de mortalité, d'amélioration des facteurs de risque cardiovasculaire ou de diminution de l'IMC) (PAGAC 2018). En effet, si certaines études ont montré que la durée de MVPA en sessions prolongées ou en sessions courtes était associée de façon similaire aux facteurs de risque cardiovasculaire (Cameron et al. 2017, Glazer et al. 2013), des données récentes ont montré que pour une durée équivalente de MVPA, augmenter la durée des sessions (et donc réduire leur nombre) était associé à une diminution du risque de mortalité (Shiroma et al. 2018). Par ailleurs, aucune étude n'a analysé les relations entre les sessions courtes de MVPA et la capacité cardiorespiratoire. S'il est aujourd'hui admis que l'entraînement en endurance prolongé ou fractionné entraîne des adaptations physiologiques responsables d'une amélioration du $\dot{V}O_2\text{max}$ (Hardman 2001, Hawley et al. 2018), il est possible que l'accumulation de courtes sessions d'AP tout au long de la journée n'entraîne pas les mêmes adaptations physiologiques. Ainsi, chez les personnes obèses opérées d'une chirurgie bariatrique, pour qui il semble particulièrement difficile de maintenir un effort modéré pendant plus de 10 minutes, ces données devraient nous inciter à promouvoir à la fois les AP prolongées et les AP du quotidien de plus courte durée afin d'optimiser les bénéfices de santé tout en rendant plus abordable l'objectif d'AP.

Nous avons également décrit en détail **l'AP et le temps sédentaire de patients présentant un syndrome de Prader-Willi (SPW)** et comparé les données à celles obtenues auprès d'un groupe témoin de patientes obèses appariées sur l'âge et le pourcentage de masse grasse. Le volume d'AP exprimé en coups.min⁻¹ était inférieur de 37 % chez les femmes ayant un SPW ; cette différence s'expliquant par une augmentation du temps sédentaire, une diminution de l'AP d'intensité légère et une diminution de la durée des MVPA. Les femmes ayant un SPW consacraient environ trois-quarts de la journée à des occupations sédentaires, valeur comparable à celle précédemment décrite chez ces patientes (Nordstrom et al. 2013) mais supérieure à celle mesurée dans le groupe témoin ou précédemment décrite chez des sujets candidats à la chirurgie bariatrique (King et al. 2015). Les patientes ayant un SPW étaient également caractérisées par une augmentation des sessions prolongées et ininterrompues de sédentarité. Les sessions d'une durée supérieure à 30 minutes représentaient en effet plus de 40 % du temps sédentaire total, soit deux fois plus que les valeurs obtenues dans le groupe témoin. Aucune étude publiée n'a analysé les profils de sédentarité chez des patients ayant un SPW, ce qui nous empêche de comparer ces résultats avec des données déjà existantes. Des

données de plus en plus nombreuses indiquent que l'augmentation des périodes prolongées de sédentarité est associée à une augmentation du risque cardiométabolique (Duvivier et al. 2018). Par ailleurs, les risques associés à la sédentarité semblent être supérieurs chez les patients ne pratiquant pas suffisamment de MVPA (Biswas et al. 2015). Les femmes ayant un SPW étant en majorité peu actives, réduire le temps sédentaire total et la durée des périodes de sédentarité apparaît donc comme un objectif particulièrement important pour contribuer à l'amélioration de leur état de santé.

Un deuxième aspect de ce travail consistait à **décrire différentes dimensions de la capacité cardiorespiratoire et de la fonction musculaire de sujets obèses et à analyser leurs relations avec la composition corporelle et l'AP habituelle**. Chez les patientes candidates à la chirurgie bariatrique, le $\dot{V}O_{2pic}$ relatif à la masse corporelle mesuré dans les études PROMISE et FAMOUS était en moyenne inférieur à $20 \text{ mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$, ce qui correspond à des valeurs près de deux fois inférieures aux valeurs moyennes observées dans la population générale (ACSM 2014). Le $\dot{V}O_{2pic}$ relatif était associé de façon faible mais significative à la durée de MVPA, indépendamment de l'âge et de l'IMC. Six mois et cinq ans après le *bypass*, le $\dot{V}O_{2pic}$ absolu diminuait de façon significative, respectivement de 11 % et 19 %. À l'inverse, le $\dot{V}O_{2pic}$ relatif augmentait six mois après le *bypass* de $2,5 \text{ mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ en moyenne puis semblait revenir au niveau initial cinq ans après. Le $\dot{V}O_{2pic}$ diminuant avec l'âge, il est possible que ce maintien au cours du temps soit à comparer avec une diminution spontanée chez les femmes obèses ne bénéficiant pas d'une chirurgie bariatrique. L'absence de groupe témoin constitué de femmes obèses non opérées constitue en ce sens une limite importante de cette analyse. Ces données suggèrent toutefois que l'amélioration de la capacité cardiorespiratoire observée après la chirurgie bariatrique serait transitoire et s'expliquerait davantage par la perte de poids que par une amélioration *per se* de la capacité physique. L'augmentation de la durée de MVPA après la chirurgie était par ailleurs associée de façon favorable à l'évolution de la capacité cardiorespiratoire. Le bénéfice des programmes d'entraînement réalisés lors du suivi post-opératoire sur le $\dot{V}O_{2pic}$ a été démontré dans notre revue de la littérature et méta-analyse ; ces résultats suggèrent également une contribution de l'AP habituelle dans l'amélioration de la capacité cardiorespiratoire chez ces patients.

Les données de force, de puissance et de vitesse produites lors d'un saut vertical et mesurées chez des patientes candidates à la chirurgie bariatrique (étude FAMOUS) différaient de celles précédemment décrites chez des femmes adultes non obèses. La force et la puissance

étaient supérieures de l'ordre de 50 % (Ditroilo et al. 2011) tandis que la vitesse était inférieure d'environ 15 % (Edwen et al. 2014). A l'inverse, les valeurs de force et de puissance relatives à la masse corporelle étaient inférieures de respectivement 15 à 20 % et 15 à 40 % (Ditroilo et al. 2011, Edwen et al. 2014). Le déficit de puissance pourrait ainsi être plus important que le déficit de force chez les personnes obèses (Lafortuna et al. 2005). La puissance musculaire est considérée comme un élément particulièrement important pour la réalisation des gestes rapides du quotidien (Lafortuna et al. 2005). Chez les personnes âgées (Rittweger et al. 2004) comme chez les personnes obèses (Lafortuna et al. 2002), la puissance produite lors d'un ou plusieurs sauts verticaux a par exemple été associée à la vitesse de marche spontanée et maximale, au nombre de lever de chaise ou encore à la vitesse de montée des escaliers.

Nous avons cherché à comprendre le rôle de la composition corporelle dans la diminution de la puissance musculaire chez les patientes candidates à la chirurgie bariatrique. La force était fortement et positivement associée à la masse corporelle après ajustement sur la taille, tandis que la vitesse était associée négativement, bien que de façon non significative, à la masse corporelle. La puissance, produit de la force et de la vitesse, n'était ainsi pas associée de façon significative à la masse corporelle. La masse maigre était par ailleurs le principal facteur expliquant l'augmentation de la force, tandis que la masse grasse était associée à une diminution de la vitesse. Ces données suggèrent ainsi que, contrairement à la force, la puissance des membres inférieurs n'augmente pas ou peu avec l'augmentation de la corpulence, principalement en raison d'une diminution de la capacité à réaliser un mouvement rapide. L'augmentation de la puissance musculaire apparaît ainsi comme un objectif important de la prise en charge des patients obèses. Le renforcement musculaire est reconnu comme le type d'entraînement le plus efficace pour augmenter la force et la puissance musculaire (Garber et al. 2011). L'effet de l'AP habituelle est en revanche moins bien défini. Nos données n'ont pas montré de relation entre la performance lors du saut vertical et l'AP habituelle mesurée par accélérométrie, ce qui contraste avec des données précédentes ayant montré chez des personnes obèses une relation avec la pratique sportive (Hulens et al. 2002). Un certain niveau d'intensité ou la participation à certains sports pourraient ainsi être nécessaires pour augmenter la puissance musculaire. Enfin, la perte de masse grasse pourrait également contribuer à l'amélioration de la puissance au travers d'une augmentation de la vitesse d'exécution du mouvement.

L'analyse de la marche réalisée dans l'étude FAMOUS a porté, d'une part, sur les paramètres spatiotemporels de la marche et, d'autre part, sur la distance parcourue lors d'un test de marche de 6 minutes. La comparaison des paramètres spatiotemporels recueillies chez des patientes candidates à la chirurgie bariatrique avec les valeurs de référence pour les femmes âgées de 20 à 59 ans montre une diminution de la vitesse spontanée de l'ordre de $20 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$, soit $0,7 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, de la cadence de marche de $7 \text{ pas}\cdot\text{min}^{-1}$, de la longueur du pas de 5 cm, ainsi qu'une augmentation de l'écartement des pieds de près de 4 cm et du temps de double appui de 6 % (28 % du cycle de marche contre 22 %) (McKay et al. 2017). La distance parcourue lors du test de marche de 6 minutes était également inférieure aux valeurs habituellement décrites dans la population générale (Enright et al. 1998). Ces données sont ainsi en accord avec les études ayant montré une altération de la capacité physique fonctionnelle et une modification des paramètres de la marche chez les sujets obèses (Bollinger 2017, Hills et al. 2002, Runhaar et al. 2011, Wearing et al. 2006a).

Nos données ont par ailleurs montré que l'augmentation de la masse corporelle et de la masse grasse était associée à une diminution de la stabilité dynamique et de la capacité physique fonctionnelle. En effet, en prenant en compte la taille et l'âge, l'augmentation de la masse corporelle et de la masse grasse était associée à une diminution de la vitesse de marche spontanée et de la distance parcourue en 6 minutes et à une augmentation du temps de double appui. La relation avec le temps de double appui persistait après un ajustement sur la vitesse de marche, ce qui suggère que la diminution de la stabilité dynamique observée chez les sujets obèses ne s'expliquerait pas uniquement par la diminution de la vitesse de marche. Des études avaient déjà décrit une relation positive entre la masse corporelle et le temps de double appui dans la population générale (McKay et al. 2017), mais aucune ne l'avait décrite chez des femmes présentant toutes une obésité sévère. Par ailleurs, indépendamment de l'âge et de l'IMC, la force produite lors du saut vertical et le $\dot{V}\text{O}_2\text{pic}$ absolu étaient associés à une diminution du temps de double appui. Le $\dot{V}\text{O}_2\text{pic}$ absolu était également associé à une augmentation de la vitesse de marche spontanée. Le rôle de la force musculaire dans la stabilité dynamique lors de la marche a été bien démontré chez les personnes âgées (Moxley Scarborough et al. 1999) mais n'avait pas été étudié chez les sujets obèses. Enfin, la durée de MVPA n'était pas associée de façon significative à la stabilité dynamique mais tendait à être associée à la distance parcourue lors du test de marche de 6 minutes, indépendamment de l'âge et de l'IMC. Nos données suggèrent ainsi que la force musculaire et la capacité cardiorespiratoire contribuent à la stabilité dynamique chez les sujets sévèrement obèses, et

que l'AP habituelle contribue au maintien de la capacité physique fonctionnelle ; et ce indépendamment de la composition corporelle.

Enfin, une dernière analyse de l'étude FAMOUS a porté sur les données de stabilité posturale. La vitesse de déplacement du centre de pression lors d'un test orthostatique, l'un des principaux indicateurs d'instabilité posturale, était supérieure aux données habituellement décrites chez des sujets de poids normal (Teasdale et al. 2007). Ces données sont en accord avec les études ayant montré une altération progressive de la stabilité posturale chez les personnes en surpoids et obèses (Teasdale et al. 2007). Nous n'avons cependant pas montré de relation significative entre la stabilité posturale et les paramètres de la composition corporelle au sein de cet échantillon de femmes sévèrement obèses. En revanche, la capacité d'excursion antérieure, qui reflète en partie la capacité à retrouver l'équilibre après sa perturbation, était négativement associée à la masse et à la masse grasse. La diminution de la capacité d'équilibration peut avoir des conséquences négatives sur les activités quotidiennes, en altérant la capacité à réaliser avec efficacité des mouvements pluri-articulaires coordonnés et en exposant à un risque augmenté de chutes (Blaszczyk et al. 2009). Des données ont ainsi montré une augmentation du risque de chutes chez les sujets obèses (Owusu et al. 1998), ce qui suggère l'importance de la capacité d'équilibration chez ces patients (Corbeil et al. 2001). Bien que nous n'ayons pas observé de relation entre la force musculaire et la capacité d'excursion, la diminution de la force musculaire est reconnue comme le principal facteur responsable d'une altération de la capacité d'équilibration (Corbeil et al. 2001). L'entraînement de renforcement musculaire, l'entraînement spécifique de l'équilibre et la perte de poids apparaissent ainsi comme des stratégies susceptibles d'améliorer la capacité d'équilibration chez les patientes obèses.

2- Forces et limites des études

2-1- Forces méthodologiques générales

Une partie importante de ce travail de thèse a porté sur l'analyse de l'AP en vie réelle et de la capacité physique chez des patients obèses. La force de ce travail a consisté à **mesurer de façon concomitante différentes dimensions des capacités cardiorespiratoire, musculaire et fonctionnelle** qui ont le plus souvent été étudiées de façon isolée ; et à les mettre en relation avec les paramètres de l'AP habituelle et de la composition corporelle. L'AP et la sédentarité ont été évaluées à l'aide de différentes méthodes de mesure, à la fois objectives et déclaratives, ce qui nous a permis de mieux caractériser ces comportements chez les patients obèses. Les différents aspects de la capacité physique ont été évalués avec des méthodes de référence (mesure du $\dot{V}O_{2pic}$ lors d'une épreuve d'effort maximale, ergomètre isocinétique ou plateforme de stabilométrie) mais également avec des méthodes innovantes. La plateforme de force dynamique, par exemple, est une méthode éprouvée pour la mesure de la force et le calcul de la puissance musculaire chez les sportifs, mais n'avait jusqu'à présent été que très peu utilisée chez des personnes obèses. L'ensemble de ces mesures a permis de proposer des avancées dans l'application des méthodes de mesure de la capacité physique, et notamment de la fonction musculaire, chez les patients obèses.

Le travail s'est concentré sur une **situation clinique particulière**, l'obésité, tout en approchant des situations variées dans ce cadre clinique somme toute hétérogène. Les différentes étapes pré et post-opératoires du parcours de la chirurgie bariatrique sont en effet caractérisées par des situations médicales et nutritionnelles très contrastées. Par ailleurs, les obésités rares telles que le syndrome de Prader-Willi se distinguent par l'association d'une obésité précoce avec une impulsivité alimentaire sévère et différentes anomalies endocriniennes, cognitives et fonctionnelles.

Différentes approches méthodologiques ont été utilisées au cours de ce travail. L'évaluation de l'efficacité des interventions d'AP dans le contexte de la chirurgie bariatrique a été réalisée au travers d'une revue systématique de la littérature et d'une méta-analyse, mais également au travers d'un essai clinique contrôlé et randomisé (PROMISE). Bien que cet essai n'ait pas fait directement l'objet du travail de thèse, ses données ont été utilisées dans un

objectif observationnel. Des analyses longitudinales ont ainsi été réalisées sur les données de l'étude PROMISE afin d'évaluer l'évolution de l'AP et de la capacité physique à court et long terme après la chirurgie. Des analyses transversales ont par ailleurs été réalisées (FAMOUS) afin de décrire les relations entre l'AP et la capacité physique avant la chirurgie. Ces approches quantitatives ont par ailleurs été complétées par une approche qualitative dans le but de mieux comprendre les usages potentiels des objets connectés d'AP basés sur l'accélérométrie dans la prise en charge des patients.

Enfin, ce travail a été réalisé grâce à la **collaboration de deux équipes aux compétences complémentaires** : le Service de Nutrition (Hôpital Pitié-Salpêtrière, Assistance Publique-Hôpitaux de Paris, Sorbonne Université), lieu de recrutement des patients, spécialisé dans la prise en charge des obésités et dans l'évaluation de l'AP en vie réelle ; le laboratoire Bioingénierie, Tissue et Neuroplasticité (Université Paris-Est), spécialisé dans la biomécanique des tissus de l'appareil locomoteur et du mouvement dans des contextes variés incluant les pathologies chroniques, en particulier neurologiques et neuromusculaires. Cette collaboration a permis un enrichissement mutuel des pratiques et des avancées dans l'analyse de l'AP et du mouvement chez les patients obèses.

2-2- Limites méthodologiques générales

Les études réalisées au cours de ce travail de thèse présentent certaines limites méthodologiques.

Un nombre limité de participants a été inclus dans nos études, ce qui limite la généralisation des résultats. Les patients candidats à la chirurgie bariatrique présentent souvent des pathologies associées complexes, notamment ostéo-articulaires, qui limitaient leur inclusion. Comme nous l'avons évoqué dans notre revue de la littérature, il s'agit d'une limite courante des études sur l'AP réalisées dans le contexte de la chirurgie bariatrique. La généralisation des résultats doit par ailleurs tenir compte du fait que seules des femmes ont été incluses dans nos études. Cela reflète aussi le recrutement hospitalier des services spécialisés dans la prise en charge des patients obèses, à très forte prédominance féminine.

Certains résultats non significatifs pourraient être dus à des limites méthodologiques davantage qu'à une absence réelle de différence. **Le manque de puissance statistique** dû au

nombre limité de participants apparaît en ce sens comme la principale limite. Par ailleurs, nous n'avons inclus que des patientes ayant une obésité sévère et une faible capacité physique, ce qui limitait la possibilité de mettre en évidence des corrélations significatives. Enfin, les comportements d'AP en vie réelle sont caractérisés par une importance variabilité inter-individuelle. Mettre en évidence une modification au cours du temps pourrait nécessiter davantage de participants.

L'absence de groupe témoin dans certaines études constitue une autre limite importante. L'évolution après la chirurgie bariatrique de paramètres comme l'AP et la capacité physique qui évoluent spontanément avec l'âge devrait être comparée à l'évolution chez des patients obèses de même corpulence mais non opérés. Ce type de comparaison est cependant très difficile à entreprendre, à la fois pour des raisons médicales et d'organisation des soins mais aussi en raison des contraintes propres à la recherche clinique. L'évaluation du programme d'entraînement réalisé auprès des patients présentant un syndrome de Prader-Willi a constitué en une comparaison des données « avant-après », sans comparaison avec un groupe témoin. Là encore, la constitution d'un groupe témoin est rendu difficile par la faible prévalence de cette maladie et la complexité de sa prise en charge.

Enfin, **certaines limites liées aux méthodes de mesure de l'AP** peuvent être évoquées. Les accéléromètres Actigraph ont été portés dans toutes les études uniquement pendant les heures d'éveil, ce qui correspondait en 2010, lorsqu'a débuté l'étude PROMISE, à la pratique la plus courante. Plus récemment, certaines études ont mis en place des protocoles de port des accéléromètres pendant 24 h afin d'augmenter la représentativité des données et pouvoir enregistrer les heures de sommeil. L'obtention de données sur 24 h permet de prendre en compte le fait que les comportements sont interdépendants, et que l'augmentation de l'un se fait nécessaire aux dépens d'un autre (Chastin et al. 2015). Ce type d'analyse, nommée « compositionnelle » (*compositional analysis*) paraît particulièrement intéressante pour l'analyse de données longitudinales d'AP. Nous avons cependant fait le choix de maintenir le protocole utilisé dans l'étude PROMISE afin de pouvoir comparer nos données au cours du temps et entre les patients.

3- Perspectives pour la recherche et la prise en charge des patients

3-1- Bénéfices des programmes d'entraînement

Les travaux réalisés au cours de cette thèse ici soulignent le rôle bénéfique de l'AP, notamment sous forme de programme d'entraînement structuré, dans le suivi des patients après une chirurgie bariatrique. Les principaux bénéfices de l'entraînement consistaient en une optimisation de la perte de poids, effet plutôt modeste, et en une amélioration de la capacité physique. S'il s'agit de bénéfices non négligeables, il semble aujourd'hui nécessaire de déterminer si ces effets se maintiennent dans le temps, s'ils s'accompagnent d'une augmentation de l'AP quotidienne et s'ils contribuent à l'amélioration de l'état de santé. La prévention de la reprise de poids à distance de la chirurgie et la rémission des comorbidités, notamment du diabète de type 2, constituent des objectifs majeurs du suivi (Debedat et al. 2018), et seraient susceptibles d'être optimisés par l'AP. Des études incluant un suivi à moyen et long terme et évaluant l'évolution des comorbidités sont ainsi nécessaires. Les données de l'étude PROMISE, dont la fin du recueil des données à 5 ans est prévue en 2019, devraient nous permettre de répondre à certaines de ces questions. L'analyse à distance du *bypass* de nombreux paramètres (force musculaire, capacité cardiorespiratoire, composition corporelle, AP habituelle, qualité de vie, comorbidités, état nutritionnel) nous permettra notamment de vérifier si les patientes ayant bénéficié du programme d'entraînement connaissent une évolution plus favorable de leur force musculaire, de leur composition corporelle, de leur AP quotidienne ou de l'évolution des comorbidités.

Dans le cas de l'obésité, l'objectif thérapeutique ne se résume pas à la perte de poids. Il varie en fonction de nombreux paramètres, tels que l'ancienneté et l'importance de l'obésité, la présence de comorbidités, les conditions de vie du patient... La prise en charge de l'obésité ne s'appuie pas sur le suivi d'un indicateur unique pour évaluer son efficacité. Il semble ainsi important d'inscrire les conseils d'AP et les programmes d'entraînement dans une perspective de médecine personnalisée. Les données issues de la recherche restent cependant insuffisantes. Plusieurs aspects devraient être éclairés par des études menées à plus large échelle : le type d'entraînement (endurance et/ou renforcement musculaire) le plus efficace sur l'évolution des comorbidités, comme par exemple la rémission du diabète ; les profils des

patients (âge, sexe, niveau initial d'AP, pratiques antérieures, présence de comorbidités...) bénéficiant le plus des programmes d'entraînement.

Enfin, l'avancée des connaissances dans ce domaine ne doit pas faire oublier que la description des programmes d'entraînement est souvent très incomplète dans les études publiées. Il semble ainsi essentiel de décrire en détail les modalités d'entraînement (horaires, lieu, séances individuelles ou collectives, supervision) favorisant la participation aux séances et pouvant s'intégrer dans le quotidien des patients. Les réseaux sociaux pourraient également jouer un rôle dans la diffusion d'informations concernant ces programmes ou dans la création d'une liste de structures pouvant accueillir les patients. Ils pourraient également faciliter la co-construction des programmes avec les patients, et ainsi favoriser leur adhésion.

3-2- Évaluation et promotion de l'AP habituelle

Nos travaux ont permis de mieux décrire les profils d'AP des patients à différents stades du parcours de chirurgie bariatrique et ont notamment mis en lumière que l'AP était majoritairement pratiquée en sessions très courtes. On peut se demander si les patientes obèses ne parviennent pas à maintenir une AP d'intensité modérée pendant plus de 5 à 10 minutes en raison d'une limitation de la capacité physique ; ou parce qu'elles n'en ont pas l'occasion au cours de la journée. La marche pratiquée dans le contexte de la quotidienne peut en effet sembler peu propice à la réalisation de sessions prolongées, contrairement à la marche pratiquée au cours des loisirs. L'association d'une mesure objective de l'AP avec une mesure subjective (perception de l'intensité) et une évaluation du contexte dans lequel elle est pratiquée pourrait permettre de mieux comprendre les raisons de la rareté des sessions prolongées de MVPA chez les personnes obèses.

Il apparaît par ailleurs nécessaire de mieux comprendre les bénéfices de l'AP lorsqu'elle est pratiquée en sessions courtes. Si des données de plus en plus nombreuses indiquent l'importance d'interrompre les périodes de sédentarité par des courtes sessions d'AP, il s'agit de déterminer si, pour une même durée totale d'AP, les bénéfices sont identiques quelle que soit la durée des sessions. Cette question est fondamentale pour déterminer si les recommandations d'AP doivent être adaptées pour les patients opérés d'une chirurgie bariatrique. Les recommandations actuelles s'appuient en effet sur les recommandations pour la population générale, alors qu'elles peuvent sembler particulièrement difficiles à atteindre pour ces patients.

Dans le contexte de prise en charge des patients, il est admis que toute AP doit être encouragée, qu'elle soit pratiquée en sessions courtes ou prolongées. Pour une meilleure personnalisation des conseils, des données telles que la durée moyenne des sessions ou le nombre de sessions quotidiennes prolongées présentent un intérêt certain. Les accéléromètres sont les outils de référence pour l'évaluation des profils d'AP. Cependant, les accéléromètres dédiés à la recherche ne sont pas adaptés au contexte clinique en raison de leur coût élevé, du temps d'analyse des données, de l'absence de *feedback* pour les patients et de leur caractère inesthétique. Les objets connectés d'AP pourraient offrir une alternative intéressante, mais ils ne répondent à ce jour pas aux exigences des médecins pour être intégrés à la prise en charge médicale. Le développement et la commercialisation d'objets connectés permettant une mesure fiable de l'AP et recueillant des données d'intérêt sur les profils d'AP semblent ainsi importants pour contribuer à l'amélioration de la prise en charge des patients par l'AP.

3-3- Évaluation de la capacité physique

Les travaux réalisés au cours de ce travail de thèse ont permis d'identifier des méthodes de mesure de la capacité physique adaptées aux personnes obèses et au contexte clinique. Les plateformes de force dynamique et stabilométrique, le tapis électronique d'analyse de la marche et le test de marche de 6 minutes pourraient ainsi être utilisés pour le suivi des patients. Il est cependant aujourd'hui nécessaire de tester ces différentes méthodes auprès d'un plus grand nombre de patients afin, d'une part, de confirmer leur faisabilité et, d'autre part, d'établir des normes facilitant l'interprétation des données. Les cohortes existantes de suivi des patients opérés pourraient inclure ces nouvelles mesures et ainsi favoriser le recueil de données chez ces patients.

La mesure de la capacité physique est une étape importante pour individualiser les programmes d'entraînement et évaluer leur efficacité. Dans le contexte de la chirurgie bariatrique, les données de capacité physique pourraient également contribuer à améliorer la prédiction du risque opératoire ou du succès de la chirurgie. Des données ont suggéré un risque augmenté de complications péri-opératoires chez les patients ayant une très faible capacité cardiorespiratoire (Hennis et al. 2012, McCullough et al. 2006). Des études sont nécessaires pour identifier le rôle prédictif des capacités cardiorespiratoire et musculaires sur le risque de reprise de poids à distance de la chirurgie, sur la rémission des complications, ou sur le risque de dénutrition après la chirurgie.

CONCLUSION GÉNÉRALE

L'AP est reconnue comme un élément essentiel de la prise en charge des patients obèses en raison de ses bénéfices bien démontrés sur la longévité, sur la prévention des principales complications de l'obésité et sur l'amélioration de la capacité physique et de la qualité de vie. Les résultats des études présentées dans cette thèse contribuent à une meilleure compréhension des bénéfices de l'AP dans deux situations particulières, celle de la chirurgie bariatrique et celle des obésités rares.

Les résultats de notre revue de la littérature et méta-analyse ont montré que la participation à un programme d'entraînement après une chirurgie bariatrique optimisait la perte de poids et améliorait la capacité physique mais semblait avoir peu d'effet sur l'évolution de la masse maigre ou de l'AP habituelle. Les patients et les professionnels de santé devraient ainsi être mieux informés des bénéfices potentiels de l'AP dans ce contexte et tenir compte de l'effet plutôt modeste de l'AP sur la perte de poids en tant que telle.

L'étude d'intervention menée auprès de patients présentant un syndrome de Prader-Willi a montré une augmentation de l'AP habituelle et une amélioration de la capacité physique fonctionnelle après un programme d'entraînement individuel et supervisé. Ces données montrent la faisabilité et suggèrent l'efficacité des programmes d'entraînement chez ces patients présentant d'importantes difficultés comportementales ainsi que d'importantes limitations fonctionnelles. La formation préalable des éducateurs sportifs et l'interaction individuelle entre le patient et l'éducateur ont été identifiées comme des facteurs de réussite de ce type de programme.

L'évaluation de l'AP dans des conditions de vie réelle a connu des avancées importantes au cours des dernières décennies, notamment grâce à la diffusion et l'utilisation à large échelle de la technique d'accélérométrie portable. Les accéléromètres permettent une mesure objective de l'AP et permettent ainsi de s'affranchir des biais de mémoire et de désirabilité associés à une surestimation de l'AP. Nos données ont montré que la surestimation de l'AP augmentait avec la corpulence et le degré d'inactivité physique chez les patientes candidates à la chirurgie bariatrique, suggérant ainsi l'intérêt des méthodes de mesure objectives dans ce contexte. Les objets connectés pourraient faciliter la mesure objective de l'AP en routine mais leur déploiement dans un cadre médical nécessite des développements techniques, notamment en ce qui concerne la validité des données et dans le recueil de données d'AP de plus grand intérêt pour les professionnels de santé et les patients.

Un autre avantage des accéléromètres réside dans la possibilité de description de profils d'AP et de sédentarité. Les données d'AP mesurées chez des patientes obèses avant et après une chirurgie bariatrique ont mis en lumière que la grande majorité de l'AP d'intensité modérée était pratiquée en sessions courtes voire très courtes. Un nombre non négligeable de patientes ne pratiquait jamais de sessions de MVPA prolongées au-delà de 10 minutes, alors que ces sessions constituent la base des recommandations d'AP pour la population générale. Un défi actuel de la recherche sur l'AP consiste ainsi à déterminer si le fractionnement de l'AP d'intensité modérée en plusieurs sessions de très courte durée apporte les mêmes bénéfices de santé que la réalisation de sessions prolongées d'au moins 10 minutes.

Enfin, nos travaux ont permis d'identifier plusieurs méthodes d'évaluation de la fonction musculaire adaptées aux patients obèses et au contexte hospitalier. Nous avons notamment montré l'intérêt des tests pluri-articulaires comme le saut vertical pour mesurer la force et la puissance musculaire des membres inférieurs. Les données recueillies à l'aide de ces méthodes ont mis en évidence que l'augmentation de la masse corporelle ou de la masse grasse était associée à une diminution de plusieurs aspects de la capacité physique comme la puissance des membres inférieurs, la stabilité dynamique, la capacité d'excursion antérieure maximale et la distance parcourue en 6 minutes. Indépendamment de la corpulence, le $\dot{V}O_{2pic}$ et la force musculaire étaient associés à la stabilité dynamique et à la distance parcourue en 6 minutes, suggérant l'importance de ces deux dimensions dans le maintien de la capacité physique fonctionnelle chez les patients obèses.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aadahl M, Kjaer M, Jorgensen T. **Associations between overall physical activity level and cardiovascular risk factors in an adult population.** *Eur J Epidemiol.* 2007;22(6):369-78.
- Aadland E, Steene-Johannessen J. **The use of individual cut points from treadmill walking to assess free-living moderate to vigorous physical activity in obese subjects by accelerometry: is it useful?** *BMC Med Res Methodol.* 2012;12:172.
- Abel MG, Hannon JC, Sell K, Lillie T, Conlin G, Anderson D. **Validation of the Kenz Lifecorder EX and ActiGraph GT1M accelerometers for walking and running in adults.** *Appl Physiol Nutr Metab.* 2008;33(6):1155-64.
- ACSM. **American College of Sports Medicine's Guidelines for Exercise Testing and Prescription. 9th edition.** Baltimore, MD: Lippincott; 2014.
- Adams LA, Lymp JF, St Sauver J et al. **The natural history of nonalcoholic fatty liver disease: a population-based cohort study.** *Gastroenterology.* 2005;129(1):113-21.
- Addoh O, Edwards MK, Loprinzi PD. **Considerations for the inclusion of cardiorespiratory fitness as a vital sign in the clinical setting.** *Prev Med.* 2017;96:85-6.
- Afshar S, Seymour K, Kelly SB, Woodcock S, van Hees VT, Mathers JC. **Changes in physical activity after bariatric surgery: using objective and self-reported measures.** *Surg Obes Relat Dis.* 2016;13(3):474-83.
- Amagasa S, Machida M, Fukushima N et al. **Is objectively measured light-intensity physical activity associated with health outcomes after adjustment for moderate-to-vigorous physical activity in adults? A systematic review.** *Int J Behav Nutr Phys Act.* 2018;15(1):65.
- American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines OEP. **Executive summary: Guidelines (2013) for the management of overweight and obesity in adults: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines and the Obesity Society published by the Obesity Society and American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines. Based on a systematic review from the The Obesity Expert Panel, 2013.** *Obesity (Silver Spring).* 2014;22 Suppl 2:S5-39.
- American Thoracic Society, American College of Chest P. **ATS/ACCP Statement on cardiopulmonary exercise testing.** *Am J Respir Crit Care Med.* 2003;167(2):211-77.
- Amiri P, Hubley-Kozey CL, Landry SC, Stanish WD, Astephen Wilson JL. **Obesity is associated with prolonged activity of the quadriceps and gastrocnemii during gait.** *J Electromyogr Kinesiol.* 2015;25(6):951-8.
- Anandacoomarasamy A, Caterson I, Sambrook P, Fransen M, March L. **The impact of obesity on the musculoskeletal system.** *Int J Obes (Lond).* 2008;32(2):211-22.
- Anderson MA, Gieck JH, Perrin DH, Weltman A, Rutt RA, Denegar CR. **The Relationships among Isometric, Isotonic, and Isokinetic Concentric and Eccentric Quadriceps and Hamstring Force and Three Components of Athletic Performance.** *J Orthop Sports Phys Ther.* 1991;14(3):114-20.
- Angrisani L, Santonicola A, Iovino P et al. **IFSO Worldwide Survey 2016: Primary, Endoluminal, and Revisional Procedures.** *Obes Surg.* 2018.
- Angrisani L, Santonicola A, Iovino P et al. **Bariatric Surgery and Endoluminal Procedures: IFSO Worldwide Survey 2014.** *Obes Surg.* 2017;27(9):2279-89.
- ANSES. **Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'Alimentation de l'Environnement et du Travail. Actualisation des repères du PNNS - Révisions des repères relatifs à l'activité physique et à la sédentarité. Rapport d'expertise collective.** . 2016.
- Arena R, Cahalin LP. **Evaluation of cardiorespiratory fitness and respiratory muscle function in the obese population.** *Prog Cardiovasc Dis.* 2014;56(4):457-64.
- Aron-Wisniewsky J, Sokolovska N, Liu Y et al. **The advanced-DiaRem score improves prediction of diabetes remission 1 year post-Roux-en-Y gastric bypass.** *Diabetologia.* 2017.
- Astrand PO, Ryhming I. **A nomogram for calculation of aerobic capacity (physical fitness) from pulse rate during sub-maximal work.** *J Appl Physiol.* 1954;7(2):218-21.
- Ayabe M, Kumahara H, Morimura K, Tanaka H. **Interruption in physical activity bout analysis: an accelerometry research issue.** *BMC Res Notes.* 2014;7:284.
- Baillet A, Audet M, Baillargeon JP et al. **Impact of physical activity and fitness in class II and III obese individuals: a systematic review.** *Obes Rev.* 2014;15(9):721-39.
- Baillet A, Baillargeon JP, Brown C, Langlois MF. **The 6-min Walk Test Reflects Functional Capacity in Primary Care and Obese Patients.** *Int J Sports Med.* 2015;36(6):503-9.
- Baillet A, Boissy P, Tousignant M, Langlois MF. **Feasibility and effect of in-home physical exercise training delivered via telehealth before bariatric surgery.** *J Telemed Telecare.* 2017a;23(5):529-35.
- Baillet A, Mampuya WM, Dionne IJ, Comeau E, Meziat-Burdin A, Langlois MF. **Impacts of Supervised Exercise Training in Addition to Interdisciplinary Lifestyle Management in Subjects Awaiting Bariatric Surgery: a Randomized Controlled Study.** *Obes Surg.* 2016;26(11):2602-10.

- Baillot A, Vallee CA, Mampuya WM et al. **Effects of a Pre-surgery Supervised Exercise Training 1 Year After Bariatric Surgery: a Randomized Controlled Study.** *Obes Surg.* 2017b.
- Barazzoni R, Bischoff SC, Boirie Y et al. **Sarcopenic obesity: Time to meet the challenge.** *Clin Nutr.* 2018.
- Barbat-Artigas S, Pinheiro Carvalho L, Rolland Y, Vellas B, Aubertin-Leheudre M. **Muscle Strength and Body Weight Mediate the Relationship Between Physical Activity and Usual Gait Speed.** *J Am Med Dir Assoc.* 2016;17(11):1031-6.
- Barbat-Artigas S, Pion CH, Leduc-Gaudet JP, Rolland Y, Aubertin-Leheudre M. **Exploring the role of muscle mass, obesity, and age in the relationship between muscle quality and physical function.** *J Am Med Dir Assoc.* 2014;15(4):303 e13-20.
- Barnes PM, Schoenborn CA. **Trends in adults receiving a recommendation for exercise or other physical activity from a physician or other health professional.** *NCHS Data Brief.* 2012;(86):1-8.
- Barry VW, Baruth M, Beets MW, Durstine JL, Liu J, Blair SN. **Fitness vs. fatness on all-cause mortality: a meta-analysis.** *Prog Cardiovasc Dis.* 2014;56(4):382-90.
- Bassett DR, Strath SJ. **Use of pedometers to assess physical activity.** In: *Welk GJ. Physical activity assessments for health-related research USA: Human Kinetics; 2002*, pp. 163-77.
- Basterra-Gortari FJ, Bes-Rastrollo M, Pardo-Fernandez M, Forga L, Martinez JA, Martinez-Gonzalez MA. **Changes in weight and physical activity over two years in Spanish alumni.** *Med Sci Sports Exerc.* 2009;41(3):516-22.
- Beals JW, Skinner SK, McKenna CF et al. **Altered anabolic signaling and reduced stimulation of myofibrillar protein synthesis after feeding and resistance exercise in people with obesity.** *J Physiol.* 2018.
- Beijersbergen CM, Granacher U, Vandervoort AA, DeVita P, Hortobagyi T. **The biomechanical mechanism of how strength and power training improves walking speed in old adults remains unknown.** *Ageing Res Rev.* 2013;12(2):618-27.
- Bellamy N, Buchanan WW, Goldsmith CH, Campbell J, Stitt LW. **Validation study of WOMAC: a health status instrument for measuring clinically important patient relevant outcomes to antirheumatic drug therapy in patients with osteoarthritis of the hip or knee.** *J Rheumatol.* 1988;15(12):1833-40.
- Bellicha A, Ciangura C, Poitou C, Portero P, Oppert JM. **Effectiveness of exercise training after bariatric surgery—a systematic literature review and meta-analysis.** *Obesity Reviews.* 2018.
- Bellicha A, Kieusseian A, Fontvieille AM et al. **A multistage controlled intervention to increase stair climbing at work: effectiveness and process evaluation.** *Int J Behav Nutr Phys Act.* 2016;13:47.
- Benatti FB, Ried-Larsen M. **The Effects of Breaking up Prolonged Sitting Time: A Review of Experimental Studies.** *Med Sci Sports Exerc.* 2015;47(10):2053-61.
- Berglind D, Willmer M, Eriksson U et al. **Longitudinal assessment of physical activity in women undergoing Roux-en-Y gastric bypass.** *Obes Surg.* 2015;25(1):119-25.
- Berglind D, Willmer M, Tynelius P, Ghaderi A, Naslund E, Rasmussen F. **Accelerometer-Measured Versus Self-Reported Physical Activity Levels and Sedentary Behavior in Women Before and 9 Months After Roux-en-Y Gastric Bypass.** *Obes Surg.* 2016;26(7):1463-70.
- Bergouignan A, Momken I, Schoeller DA et al. **Regulation of energy balance during long-term physical inactivity induced by bed rest with and without exercise training.** *J Clin Endocrinol Metab.* 2010;95(3):1045-53.
- Bergouignan A, Rudwill F, Simon C, Blanc S. **Physical inactivity as the culprit of metabolic inflexibility: evidence from bed-rest studies.** *J Appl Physiol (1985).* 2011;111(4):1201-10.
- Berrigan F, Simoneau M, Tremblay A, Hue O, Teasdale N. **Influence of obesity on accurate and rapid arm movement performed from a standing posture.** *Int J Obes (Lond).* 2006;30(12):1750-7.
- Bertrais S, Preziosi P, Mennen L, Galan P, Hercberg S, Oppert JM. **Sociodemographic and geographic correlates of meeting current recommendations for physical activity in middle-aged French adults: the Supplementation en Vitamines et Mineraux Antioxydants (SUVIMAX) Study.** *Am J Public Health.* 2004;94(9):1560-6.
- Besson H, Brage S, Jakes RW, Ekelund U, Wareham NJ. **Estimating physical activity energy expenditure, sedentary time, and physical activity intensity by self-report in adults.** *Am J Clin Nutr.* 2010;91(1):106-14.
- Bilney B, Morris M, Webster K. **Concurrent related validity of the GAITRite walkway system for quantification of the spatial and temporal parameters of gait.** *Gait Posture.* 2003;17(1):68-74.
- Biswas A, Oh PI, Faulkner GE et al. **Sedentary time and its association with risk for disease incidence, mortality, and hospitalization in adults: a systematic review and meta-analysis.** *Ann Intern Med.* 2015;162(2):123-32.
- Blair SN, Kohl HW, 3rd, Paffenbarger RS, Jr., Clark DG, Cooper KH, Gibbons LW. **Physical fitness and all-cause mortality. A prospective study of healthy men and women.** *JAMA.* 1989;262(17):2395-401.

- Blanck HM, McCullough ML, Patel AV et al. **Sedentary behavior, recreational physical activity, and 7-year weight gain among postmenopausal U.S. women.** *Obesity (Silver Spring)*. 2007;15(6):1578-88.
- Blaszczyc JW, Cieslinska-Swider J, Plewa M, Zahorska-Markiewicz B, Markiewicz A. **Effects of excessive body weight on postural control.** *J Biomech*. 2009;42(9):1295-300.
- Blaszczyc JW, Plewa M, Cieslinska-Swider J, Bacik B, Zahorska-Markiewicz B, Markiewicz A. **Impact of excess body weight on walking at the preferred speed.** *Acta Neurobiol Exp (Wars)*. 2011;71(4):528-40.
- Bliddal H, Leeds AR, Christensen R. **Osteoarthritis, obesity and weight loss: evidence, hypotheses and horizons - a scoping review.** *Obes Rev*. 2014;15(7):578-86.
- Blundell JE, Gibbons C, Caudwell P, Finlayson G, Hopkins M. **Appetite control and energy balance: impact of exercise.** *Obes Rev*. 2015;16 Suppl 1:67-76.
- Bohannon RW, Magasi SR, Bubela DJ, Wang YC, Gershon RC. **Grip and knee extension muscle strength reflect a common construct among adults.** *Muscle Nerve*. 2012;46(4):555-8.
- Bollinger LM. **Potential contributions of skeletal muscle contractile dysfunction to altered biomechanics in obesity.** *Gait Posture*. 2017;56:100-7.
- Bond DS, Jakicic JM, Unick JL et al. **Pre- to postoperative physical activity changes in bariatric surgery patients: self report vs. objective measures.** *Obesity (Silver Spring)*. 2010a;18(12):2395-7.
- Bond DS, Jakicic JM, Vithiananthan S et al. **Objective quantification of physical activity in bariatric surgery candidates and normal-weight controls.** *Surg Obes Relat Dis*. 2010b;6(1):72-8.
- Bond DS, Phelan S, Wolfe LG et al. **Becoming physically active after bariatric surgery is associated with improved weight loss and health-related quality of life.** *Obesity (Silver Spring)*. 2009;17(1):78-83.
- Bond DS, Unick JL, Jakicic JM et al. **Objective assessment of time spent being sedentary in bariatric surgery candidates.** *Obes Surg*. 2011;21(6):811-4.
- Bouchard C, Shephard RJ, Stephens T. **Physical Activity, Fitness, and Health: International Proceedings and Consensus Statement.** Champaign, IL, England: Human Kinetics; 1994.
- Bouchard DR, Langlois MF, Boisvert-Vigneault K, Farand P, Paulin M, Baillargeon JP. **Pilot study: can older inactive adults learn how to reach the required intensity of physical activity guideline?** *Clin Interv Aging*. 2013;8:501-8.
- Bray GA, Heisel WE, Afshin A et al. **The Science of Obesity Management: An Endocrine Society Scientific Statement.** *Endocr Rev*. 2018;39(2):79-132.
- Brodie MA, Pliner EM, Ho A et al. **Big data vs accurate data in health research: Large-scale physical activity monitoring, smartphones, wearable devices and risk of unconscious bias.** *Med Hypotheses*. 2018;119:32-6.
- Brown WJ, Kabir E, Clark BK, Gomersall SR. **Maintaining a Healthy BMI: Data From a 16-Year Study of Young Australian Women.** *Am J Prev Med*. 2016;51(6):e165-e78.
- Browning MG, Franco RL, Herrick JE, Arrowood JA, Evans RK. **Assessment of Cardiopulmonary Responses to Treadmill Walking Following Gastric Bypass Surgery.** *Obes Surg*. 2017;27(1):96-101.
- Bulbulian R, Hargan ML. **The effect of activity history and current activity on static and dynamic postural balance in older adults.** *Physiol Behav*. 2000;70(3-4):319-25.
- Bunn JA, Navalta JW, Fountaine CJ, Reece JD. **Current State of Commercial Wearable Technology in Physical Activity Monitoring 2015-2017.** *Int J Exerc Sci*. 2018;11(7):503-15.
- Butler MG, Theodoro MF, Bittel DC, Donnelly JE. **Energy expenditure and physical activity in Prader-Willi syndrome: comparison with obese subjects.** *Am J Med Genet A*. 2007;143A(5):449-59.
- Butte NF, Ekelund U, Westerterp KR. **Assessing physical activity using wearable monitors: measures of physical activity.** *Med Sci Sports Exerc*. 2012;44(1 Suppl 1):S5-12.
- Cameron N, Godino J, Nichols JF, Wing D, Hill L, Patrick K. **Associations between physical activity and BMI, body fatness, and visceral adiposity in overweight or obese Latino and non-Latino adults.** *Int J Obes (Lond)*. 2017;41(6):873-7.
- Campanha-Versiani L, Pereira DA, Ribeiro-Samora GA et al. **The Effect of a Muscle Weight-Bearing and Aerobic Exercise Program on the Body Composition, Muscular Strength, Biochemical Markers, and Bone Mass of Obese Patients Who Have Undergone Gastric Bypass Surgery.** *Obes Surg*. 2017a.
- Campanha-Versiani L, Pereira DAG, Ribeiro-Samora GA et al. **The Effect of a Muscle Weight-Bearing and Aerobic Exercise Program on the Body Composition, Muscular Strength, Biochemical Markers, and Bone Mass of Obese Patients Who Have Undergone Gastric Bypass Surgery.** *Obes Surg*. 2017b;27(8):2129-37.
- Canoy D. **Coronary heart disease and body fat distribution.** *Curr Atheroscler Rep*. 2010;12(2):125-33.
- Capodaglio P, Cimolin V, Tacchini C, Parisio C, Galli M. **Balance control and balance recovery in obesity.** *Curr Obes Rep*. 2012;1:166-73.
- Capodaglio P, Cimolin V, Vismara L et al. **Postural adaptations to long-term training in Prader-Willi patients.** *J Neuroeng Rehabil*. 2011a;8:26.

- Capodaglio P, Menegoni F, Vismara L, Cimolin V, Grugni G, Galli M. **Characterisation of balance capacity in Prader-Willi patients.** *Res Dev Disabil.* 2011b;32(1):81-6.
- Capodaglio P, Vismara L, Menegoni F, Baccalaro G, Galli M, Grugni G. **Strength characterization of knee flexor and extensor muscles in Prader-Willi and obese patients.** *BMC Musculoskelet Disord.* 2009;10:47.
- Carnero EA, Dubis GS, Hames KC et al. **Randomized trial reveals that physical activity and energy expenditure are associated with weight and body composition after RYGB.** *Obesity (Silver Spring).* 2017;25(7):1206-16.
- Carroll S, Dudfield M. **What is the relationship between exercise and metabolic abnormalities? A review of the metabolic syndrome.** *Sports Med.* 2004;34(6):371-418.
- Caruso JF, Olson NM, Taylor ST et al. **Front squat data reproducibility collected with a triple-axis accelerometer.** *J Strength Cond Res.* 2012;26(1):40-6.
- Carvalho LP, Di Thommazo-Luporini L, Aubertin-Leheudre M et al. **Prediction of Cardiorespiratory Fitness by the Six-Minute Step Test and Its Association with Muscle Strength and Power in Sedentary Obese and Lean Young Women: A Cross-Sectional Study.** *PLoS One.* 2015;10(12):e0145960.
- Caspersen CJ, Powell KE, Christenson GM. **Physical activity, exercise, and physical fitness: definitions and distinctions for health-related research.** *Public Health Rep.* 1985;100(2):126-31.
- Castello-Simoes V, Polaquini Simoes R, Beltrame T et al. **Effects of aerobic exercise training on variability and heart rate kinetic during submaximal exercise after gastric bypass surgery--a randomized controlled trial.** *Disabil Rehabil.* 2013;35(4):334-42.
- Castello V, Simoes R, Bassi D, Catai A, Arena R, Borghi-Silva A. **Impact of aerobic exercise training on heart rate variability and functional capacity in obese women after gastric bypass surgery.** *Obes Surg.* 2011;21(11):1739-49.
- Cavagna GA. **Force platforms as ergometers.** *J Appl Physiol.* 1975;39(1):174-9.
- Celis-Morales CA, Lyall DM, Anderson J et al. **The association between physical activity and risk of mortality is modulated by grip strength and cardiorespiratory fitness: evidence from 498 135 UK-Biobank participants.** *Eur Heart J.* 2017;38(2):116-22.
- Celis-Morales CA, Welsh P, Lyall DM et al. **Associations of grip strength with cardiovascular, respiratory, and cancer outcomes and all cause mortality: prospective cohort study of half a million UK Biobank participants.** *BMJ.* 2018;361:k1651.
- Centers for Disease Control and Prevention. **Physical fitness.** In *CDC Glossary of Terms.* Available from: <https://www.cdc.gov/physicalactivity/basics/glossary/index.htm>.
- Centers for Disease Control and Prevention. **Adult participation in aerobic and muscle-strengthening physical activities—United States, 2011.** *MMWR Morb Mortal Wkly Rep.* 2013;62(17):326-30.
- Charreire H, Weber C, Chaix B et al. **Identifying built environmental patterns using cluster analysis and GIS: relationships with walking, cycling and body mass index in French adults.** *Int J Behav Nutr Phys Act.* 2012;9:59.
- Chastin SF, Palarea-Albaladejo J, Dontje ML, Skelton DA. **Combined Effects of Time Spent in Physical Activity, Sedentary Behaviors and Sleep on Obesity and Cardio-Metabolic Health Markers: A Novel Compositional Data Analysis Approach.** *PLoS One.* 2015;10(10):e0139984.
- Chastin SFM, De Craemer M, De Cocker K et al. **How does light-intensity physical activity associate with adult cardiometabolic health and mortality? Systematic review with meta-analysis of experimental and observational studies.** *Br J Sports Med.* 2018.
- Chau JY, Grunseit AC, Chey T et al. **Daily sitting time and all-cause mortality: a meta-analysis.** *PLoS One.* 2013;8(11):e80000.
- Chen KY, Bassett DR, Jr. **The technology of accelerometry-based activity monitors: current and future.** *Med Sci Sports Exerc.* 2005;37(11 Suppl):S490-500.
- Cheng W, Zhang Z, Cheng W, Yang C, Diao L, Liu W. **Associations of leisure-time physical activity with cardiovascular mortality: A systematic review and meta-analysis of 44 prospective cohort studies.** *Eur J Prev Cardiol.* 2018:2047487318795194.
- Chin SH, Kahathuduwa CN, Binks M. **Physical activity and obesity: what we know and what we need to know.** *Obes Rev.* 2016;17(12):1226-44.
- Choi SJ, Files DC, Zhang T et al. **Intramyocellular Lipid and Impaired Myofiber Contraction in Normal Weight and Obese Older Adults.** *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2016;71(4):557-64.
- Chomistek AK, Yuan C, Matthews CE et al. **Physical Activity Assessment with the ActiGraph GT3X and Doubly Labeled Water.** *Med Sci Sports Exerc.* 2017;49(9):1935-44.
- Ciangura C, Bouillot JL, Lloret-Linares C et al. **Dynamics of change in total and regional body composition after gastric bypass in obese patients.** *Obesity (Silver Spring).* 2010;18(4):760-5.
- Cimolin V, Galli M, Grugni G et al. **Gait patterns in Prader-Willi and Down syndrome patients.** *J Neuroeng Rehabil.* 2010;7:28.

- Cimolin V, Galli M, Grugni G et al. **Postural strategies in Prader-Willi and Down syndrome patients.** *Res Dev Disabil.* 2011;32(2):669-73.
- Cimolin V, Vismara L, Galli M, Grugni G, Cau N, Capodaglio P. **Gait strategy in genetically obese patients: a 7-year follow up.** *Res Dev Disabil.* 2014;35(7):1501-6.
- Clarke J, Janssen I. **Sporadic and bouts physical activity and the metabolic syndrome in adults.** *Med Sci Sports Exerc.* 2014;46(1):76-83.
- Clausen JSR, Marott JL, Holtermann A, Gyntelberg F, Jensen MT. **Midlife Cardiorespiratory Fitness and the Long-Term Risk of Mortality: 46 Years of Follow-Up.** *J Am Coll Cardiol.* 2018;72(9):987-95.
- Clément K, Dubern K. **Génétique et épigénétique.** In: Lavoisier editor. *Traité médecine et chirurgie de l'obésité.* Paris2011, pp. 95-104.
- Cloostermans L, Wendel-Vos W, Doornbos G et al. **Independent and combined effects of physical activity and body mass index on the development of Type 2 Diabetes - a meta-analysis of 9 prospective cohort studies.** *Int J Behav Nutr Phys Act.* 2015;12:147.
- Coen PM, Goodpaster BH. **A role for exercise after bariatric surgery?** *Diabetes Obes Metab.* 2016;18(1):16-23.
- Coen PM, Menshikova EV, Distefano G et al. **Exercise and Weight Loss Improve Muscle Mitochondrial Respiration, Lipid Partitioning, and Insulin Sensitivity After Gastric Bypass Surgery.** *Diabetes.* 2015a;64(11):3737-50.
- Coen PM, Tanner CJ, Helbling NL et al. **Clinical trial demonstrates exercise following bariatric surgery improves insulin sensitivity.** *J Clin Invest.* 2015b;125(1):248-57.
- Coleman KJ, Caparosa SL, Nichols JF et al. **Understanding the Capacity for Exercise in Post-Bariatric Patients.** *Obes Surg.* 2017;27(1):51-8.
- Coleman KJ, Ngor E, Reynolds K et al. **Initial validation of an exercise "vital sign" in electronic medical records.** *Med Sci Sports Exerc.* 2012;44(11):2071-6.
- Colles SL, Dixon JB, O'Brien PE. **Hunger control and regular physical activity facilitate weight loss after laparoscopic adjustable gastric banding.** *Obes Surg.* 2008;18(7):833-40.
- Colne P, Frelut ML, Peres G, Thoumie P. **Postural control in obese adolescents assessed by limits of stability and gait initiation.** *Gait Posture.* 2008;28(1):164-9.
- Cometti G, Maffiuletti NA, Pousson M, Chatard JC, Maffulli N. **Isokinetic strength and anaerobic power of elite, subelite and amateur French soccer players.** *Int J Sports Med.* 2001;22(1):45-51.
- Comstock BA, Solomon-Hill G, Flanagan SD et al. **Validity of the Myotest(R) in measuring force and power production in the squat and bench press.** *J Strength Cond Res.* 2011;25(8):2293-7.
- Cooper R, Kuh D, Hardy R, Mortality Review Group on behalf of the FALCon and HALCyon study teams. **Objectively measured physical capability levels and mortality: systematic review and meta-analysis.** *BMJ.* 2010;341:c4467.
- Corbeil P, Simoneau M, Rancourt D, Tremblay A, Teasdale N. **Increased risk for falling associated with obesity: mathematical modeling of postural control.** *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng.* 2001;9(2):126-36.
- Cornelissen VA, Fagard RH. **Effects of endurance training on blood pressure, blood pressure-regulating mechanisms, and cardiovascular risk factors.** *Hypertension.* 2005;46(4):667-75.
- Correia de Faria Santarem G, de Cleve R, Santo MA et al. **Correlation between Body Composition and Walking Capacity in Severe Obesity.** *PLoS One.* 2015;10(6):e0130268.
- Couet C, Jacobi D, Barbe C. **Composition corporelle.** In: Lavoisier editor. *Traité médecine et chirurgie de l'obésité*2011, pp. 401-9.
- Crouter SE, Schneider PL, Bassett DR, Jr. **Spring-levered versus piezo-electric pedometer accuracy in overweight and obese adults.** *Med Sci Sports Exerc.* 2005;37(10):1673-9.
- Crouter SE, Schneider PL, Karabulut M, Bassett DR, Jr. **Validity of 10 electronic pedometers for measuring steps, distance, and energy cost.** *Med Sci Sports Exerc.* 2003;35(8):1455-60.
- Crump C, Sundquist J, Winkleby MA, Sundquist K. **Interactive Effects of Aerobic Fitness, Strength, and Obesity on Mortality in Men.** *Am J Prev Med.* 2017;52(3):353-61.
- Czernichow S, Paita M, Nocca D et al. **Current challenges in providing bariatric surgery in France: A nationwide study.** *Medicine (Baltimore).* 2016;95(49):e5314.
- da Silva RP, Martinez D, Faria CC et al. **Improvement of exercise capacity and peripheral metaboreflex after bariatric surgery.** *Obes Surg.* 2013;23(11):1835-41.
- Dahaghin S, Bierma-Zeinstra SM, Koes BW, Hazes JM, Pols HA. **Do metabolic factors add to the effect of overweight on hand osteoarthritis? The Rotterdam Study.** *Ann Rheum Dis.* 2007;66(7):916-20.
- Dahlgren G, Carlsson D, Moorhead A, Hager-Ross C, McDonough SM. **Test-retest reliability of step counts with the ActivPAL device in common daily activities.** *Gait Posture.* 2010;32(3):386-90.
- Daly RM, Miller EG, Dunstan DW et al. **The effects of progressive resistance training combined with a whey-protein drink and vitamin D supplementation on glycaemic control, body composition and**

- cardiometabolic risk factors in older adults with type 2 diabetes: study protocol for a randomized controlled trial.** *Trials*. 2014;15:431.
- Daniels P, Burns RD, Brusseau TA et al. **Effect of a randomised 12-week resistance training programme on muscular strength, cross-sectional area and muscle quality in women having undergone Roux-en-Y gastric bypass.** *J Sports Sci*. 2017;1-7.
- Dao HH, Frelut ML, Peres G, Bourgeois P, Navarro J. **Effects of a multidisciplinary weight loss intervention on anaerobic and aerobic aptitudes in severely obese adolescents.** *Int J Obes Relat Metab Disord*. 2004;28(7):870-8.
- Davidson LE, Yu W, Goodpaster BH et al. **Fat-Free Mass and Skeletal Muscle Mass Five Years After Bariatric Surgery.** *Obesity (Silver Spring)*. 2018;26(7):1130-6.
- de Gennes C. **Complications ostéo-articulaires.** In: Lavoisier editor. *Traité médecine et chirurgie de l'obésité*. Paris 2011, pp. 225-30.
- de Ledinghen V, Ratzu V, Causse X et al. **Diagnostic and predictive factors of significant liver fibrosis and minimal lesions in patients with persistent unexplained elevated transaminases. A prospective multicenter study.** *J Hepatol*. 2006;45(4):592-9.
- de Souza SA, Faintuch J, Fabris SM et al. **Six-minute walk test: functional capacity of severely obese before and after bariatric surgery.** *Surg Obes Relat Dis*. 2009;5(5):540-3.
- de Souza SA, Faintuch J, Sant'anna AF. **Effect of weight loss on aerobic capacity in patients with severe obesity before and after bariatric surgery.** *Obes Surg*. 2010;20(7):871-5.
- De Vito G, Bernardi M, Forte R, Pulejo C, Macaluso A, Figura F. **Determinants of maximal instantaneous muscle power in women aged 50-75 years.** *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1998;78(1):59-64.
- de Winter M, Rioux BV, Boudreau JG, Bouchard DR, Senechal M. **Physical Activity and Sedentary Patterns among Metabolically Healthy Individuals Living with Obesity.** *J Diabetes Res*. 2018;2018:7496768.
- Debedat J, Sokolovska N, Coupaye M et al. **Long-term Relapse of Type 2 Diabetes After Roux-en-Y Gastric Bypass: Prediction and Clinical Relevance.** *Diabetes Care*. 2018;41(10):2086-95.
- DeFina LF, Haskell WL, Willis BL et al. **Physical activity versus cardiorespiratory fitness: two (partly) distinct components of cardiovascular health? Prog Cardiovasc Dis**. 2015;57(4):324-9.
- Department of Health and Human Services. **Physical Activity Guidelines for Americans.** Washington (DC): Office of Disease Prevention and Health Promotion 2008. Available from: Office of Disease Prevention and Health Promotion.
- Deschenes MR, Kraemer WJ. **Performance and physiologic adaptations to resistance training.** *Am J Phys Med Rehabil*. 2002;81(11 Suppl):S3-16.
- Diabetes Prevention Program Research G, Knowler WC, Fowler SE et al. **10-year follow-up of diabetes incidence and weight loss in the Diabetes Prevention Program Outcomes Study.** *Lancet*. 2009;374(9702):1677-86.
- Diaz KM, Howard VJ, Hutto B et al. **Patterns of Sedentary Behavior and Mortality in U.S. Middle-Aged and Older Adults: A National Cohort Study.** *Ann Intern Med*. 2017;167(7):465-75.
- Ditroilo M, Forte R, McKeown D, Boreham C, De Vito G. **Intra- and inter-session reliability of vertical jump performance in healthy middle-aged and older men and women.** *J Sports Sci*. 2011;29(15):1675-82.
- Dohrn IM, Sjoström M, Kwak L, Oja P, Hagström M. **Accelerometer-measured sedentary time and physical activity-A 15 year follow-up of mortality in a Swedish population-based cohort.** *J Sci Med Sport*. 2017.
- Donnelly JE, Blair SN, Jakicic JM et al. **American College of Sports Medicine Position Stand. Appropriate physical activity intervention strategies for weight loss and prevention of weight regain for adults.** *Med Sci Sports Exerc*. 2009;41(2):459-71.
- Dowd KP, Harrington DM, Donnelly AE. **Criterion and concurrent validity of the activPAL professional physical activity monitor in adolescent females.** *PLoS One*. 2012;7(10):e47633.
- Dowd KP, Szeklicki R, Minetto MA et al. **A systematic literature review of reviews on techniques for physical activity measurement in adults: a DEDIPAC study.** *Int J Behav Nutr Phys Act*. 2018;15(1):15.
- Drager LF, Togeiro SM, Polotsky VY, Lorenzi-Filho G. **Obstructive sleep apnea: a cardiometabolic risk in obesity and the metabolic syndrome.** *J Am Coll Cardiol*. 2013;62(7):569-76.
- Drenowatz C, Gribben N, Wirth MD et al. **The Association of Physical Activity during Weekdays and Weekend with Body Composition in Young Adults.** *J Obes*. 2016;2016:8236439.
- Duvivier B, Bolijn JE, Koster A, Schalkwijk CG, Savelberg H, Schaper NC. **Reducing sitting time versus adding exercise: differential effects on biomarkers of endothelial dysfunction and metabolic risk.** *Sci Rep*. 2018;8(1):8657.
- Duvivier BM, Schaper NC, Hesselink MK et al. **Breaking sitting with light activities vs structured exercise: a randomised crossover study demonstrating benefits for glycaemic control and insulin sensitivity in type 2 diabetes.** *Diabetologia*. 2017;60(3):490-8.

- Dyer AR, Elliott P. **The INTERSALT study: relations of body mass index to blood pressure.** *INTERSALT Co-operative Research Group. J Hum Hypertens.* 1989;3(5):299-308.
- Edwardson CL, Rowlands AV, Bunnell S et al. **Accuracy of Posture Allocation Algorithms for Thigh- and Waist-Worn Accelerometers.** *Med Sci Sports Exerc.* 2016;48(6):1085-90.
- Edwardson CL, Winkler EAH, Bodicoat DH et al. **Considerations when using the activPAL monitor in field-based research with adult populations.** *Journal of Sport and Health Science.* 2017;6(2):162-78.
- Edwen CE, Thorlund JB, Magnusson SP et al. **Stretch-shortening cycle muscle power in women and men aged 18-81 years: Influence of age and gender.** *Scand J Med Sci Sports.* 2014;24(4):717-26.
- Egberts K, Brown W, Brennan L, O'Brien P. **Does exercise improve weight loss after bariatric surgery? A systematic review.** *Obes Surg.* 2012;22(2):335-41.
- Ekelund U, Steene-Johannessen J, Brown WJ et al. **Does physical activity attenuate, or even eliminate, the detrimental association of sitting time with mortality? A harmonised meta-analysis of data from more than 1 million men and women.** *Lancet.* 2016;388(10051):1302-10.
- Elbaz A, Sabia S, Brunner E et al. **Association of walking speed in late midlife with mortality: results from the Whitehall II cohort study.** *Age (Dordr).* 2013;35(3):943-52.
- Emery C, Dinot J, Lafuma A, Sermet C, Khoshnood B, Fagnani F. **[Cost of obesity in France].** *Presse Med.* 2007;36(6 Pt 1):832-40.
- Enright PL, Sherrill DL. **Reference equations for the six-minute walk in healthy adults.** *Am J Respir Crit Care Med.* 1998;158(5 Pt 1):1384-7.
- Epstein LH, Salvy SJ, Carr KA, Dearing KK, Bickel WK. **Food reinforcement, delay discounting and obesity.** *Physiol Behav.* 2010;100(5):438-45.
- Evenson KR, Goto MM, Furberg RD. **Systematic review of the validity and reliability of consumer-wearable activity trackers.** *Int J Behav Nutr Phys Act.* 2015;12:159.
- Evenson KR, Herring AH, Wen F. **Accelerometry-Assessed Latent Class Patterns of Physical Activity and Sedentary Behavior With Mortality.** *Am J Prev Med.* 2017;52(2):135-43.
- Evenson KR, Wen F, Herring AH. **Associations of Accelerometry-Assessed and Self-Reported Physical Activity and Sedentary Behavior With All-Cause and Cardiovascular Mortality Among US Adults.** *Am J Epidemiol.* 2016;184(9):621-32.
- Feito Y, Bassett DR, Thompson DL. **Evaluation of activity monitors in controlled and free-living environments.** *Med Sci Sports Exerc.* 2012a;44(4):733-41.
- Feito Y, Bassett DR, Thompson DL, Tyo BM. **Effects of body mass index on step count accuracy of physical activity monitors.** *J Phys Act Health.* 2012b;9(4):594-600.
- Ferrannini E, Natali A, Bell P, Cavallo-Perin P, Lalic N, Mingrone G. **Insulin resistance and hypersecretion in obesity. European Group for the Study of Insulin Resistance (EGIR).** *J Clin Invest.* 1997;100(5):1166-73.
- Ferrari P, Friedenreich C, Matthews CE. **The role of measurement error in estimating levels of physical activity.** *Am J Epidemiol.* 2007;166(7):832-40.
- Fischer F, Blank C, Dünwald T et al. **Isokinetic Extension Strength Is Associated With Single-Leg Vertical Jump Height.** *Orthop J Sports Med.* 2017;5(11).
- Fishman EI, Steeves JA, Zipunnikov V et al. **Association between Objectively Measured Physical Activity and Mortality in NHANES.** *Med Sci Sports Exerc.* 2016;48(7):1303-11.
- Flint AJ, Hu FB, Glynn RJ et al. **Excess weight and the risk of incident coronary heart disease among men and women.** *Obesity (Silver Spring).* 2010;18(2):377-83.
- Fogelholm M. **Physical activity, fitness and fatness: relations to mortality, morbidity and disease risk factors. A systematic review.** *Obes Rev.* 2010;11(3):202-21.
- Fogelholm M, Malmberg J, Suni J, Santtila M, Kyrolainen H, Mantysaari M. **Waist circumference and BMI are independently associated with the variation of cardio-respiratory and neuromuscular fitness in young adult men.** *Int J Obes (Lond).* 2006;30(6):962-9.
- Freedson PS, Melanson E, Sirard J. **Calibration of the Computer Science and Applications, Inc. accelerometer.** *Med Sci Sports Exerc.* 1998;30(5):777-81.
- Gallart-Aragon T, Fernandez-Lao C, Castro-Martin E, Cantarero-Villanueva I, Cozar-Ibanez A, Arroyo-Morales M. **Health-Related Fitness Improvements in Morbid Obese Patients After Laparoscopic Sleeve Gastrectomy: a Cohort Study.** *Obes Surg.* 2016.
- Galli M, Cimolin V, Vismara L et al. **The effects of muscle hypotonia and weakness on balance: a study on Prader-Willi and Ehlers-Danlos syndrome patients.** *Res Dev Disabil.* 2011;32(3):1117-21.
- Gandek B, Ware JE, Aaronson NK et al. **Cross-validation of item selection and scoring for the SF-12 Health Survey in nine countries: results from the IQOLA Project. International Quality of Life Assessment.** *J Clin Epidemiol.* 1998;51(11):1171-8.
- Gao Y, Silvennoinen M, Pesola AJ, Kainulainen H, Cronin NJ, Finni T. **Acute Metabolic Response, Energy Expenditure, and EMG Activity in Sitting and Standing.** *Med Sci Sports Exerc.* 2017;49(9):1927-34.

- Garber CE, Blissmer B, Deschenes MR et al. **American College of Sports Medicine position stand. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise.** *Med Sci Sports Exerc.* 2011;43(7):1334-59.
- Garcia-Hermoso A, Cavero-Redondo I, Ramirez-Velez R et al. **Muscular Strength as a Predictor of All-Cause Mortality in an Apparently Healthy Population: A Systematic Review and Meta-Analysis of Data From Approximately 2 Million Men and Women.** *Arch Phys Med Rehabil.* 2018.
- Garcia-Vicencio S, Coudeyre E, Kluka V et al. **The bigger, the stronger? Insights from muscle architecture and nervous characteristics in obese adolescent girls.** *Int J Obes (Lond).* 2016;40(2):245-51.
- Garnotel M, Bastian T, Romero-Ugalde HM et al. **Prior automatic posture and activity identification improves physical activity energy expenditure prediction from hip-worn triaxial accelerometry.** *J Appl Physiol (1985).* 2018;124(3):780-90.
- Garvey WT, Mechanick JI, Brett EM et al. **American Association of Clinical Endocrinologists and American College of Endocrinology Comprehensive Clinical Practice Guidelines for Medical Care of Patients with Obesity.** *Endocr Pract.* 2016;22 Suppl 3:1-203.
- Gavin TP, Stallings HW, 3rd, Zwetsloot KA et al. **Lower capillary density but no difference in VEGF expression in obese vs. lean young skeletal muscle in humans.** *J Appl Physiol (1985).* 2005;98(1):315-21.
- Gebel K, Ding D, Bauman AE. **Volume and intensity of physical activity in a large population-based cohort of middle-aged and older Australians: prospective relationships with weight gain, and physical function.** *Prev Med.* 2014;60:131-3.
- Gentile S, Delarozziere JC, Favre F, Sambuc R, San Marco JL. **Validation of the French 'multidimensional fatigue inventory' (MFI 20).** *Eur J Cancer Care (Engl).* 2003;12(1):58-64.
- Genuario SE, Dolgener FA. **The relationship of isokinetic torque at two speeds to the vertical jump.** *Res Q Exerc Sport.* 1980;51(4):593-8.
- Gepner Y, Shelef I, Schwarzfuchs D et al. **Effect of Distinct Lifestyle Interventions on Mobilization of Fat Storage Pools: CENTRAL Magnetic Resonance Imaging Randomized Controlled Trial.** *Circulation.* 2018;137(11):1143-57.
- Gill JMR, Hawari NSA, Maxwell DJ et al. **Validation of a Novel Device to Measure and Provide Feedback on Sedentary Behavior.** *Med Sci Sports Exerc.* 2018;50(3):525-32.
- Girerd X, Rosenbaum D. **Hypertension artérielle.** In: ELavoisier editor. *Traité médecine et chirurgie de l'obésité.* Paris2011, pp. 187-91.
- Giusti V, Theytaz F, Di Vetta V, Clarisse M, Suter M, Tappy L. **Energy and macronutrient intake after gastric bypass for morbid obesity: a 3-y observational study focused on protein consumption.** *Am J Clin Nutr.* 2016;103(1):18-24.
- Glasgow RE, Vogt TM, Boles SM. **Evaluating the public health impact of health promotion interventions: the RE-AIM framework.** *Am J Public Health.* 1999;89(9):1322-7.
- Glazer NL, Lyass A, Esliger DW et al. **Sustained and shorter bouts of physical activity are related to cardiovascular health.** *Med Sci Sports Exerc.* 2013;45(1):109-15.
- Gleeson M, Bishop NC, Stensel DJ, Lindley MR, Mastana SS, Nimmo MA. **The anti-inflammatory effects of exercise: mechanisms and implications for the prevention and treatment of disease.** *Nat Rev Immunol.* 2011;11(9):607-15.
- Goldstone AP, Holland AJ, Hauffa BP, Hokken-Koelega AC, Tauber M, speakers contributors at the Second Expert Meeting of the Comprehensive Care of Patients with PWS. **Recommendations for the diagnosis and management of Prader-Willi syndrome.** *J Clin Endocrinol Metab.* 2008;93(11):4183-97.
- Golightly YM, Allen KD, Ambrose KR et al. **Physical Activity as a Vital Sign: A Systematic Review.** *Prev Chronic Dis.* 2017;14:E123.
- Gonzalez-Bermejo J, Pepin J. **Complications respiratoires.** In: Lavoisier editor. *Traité médecine et chirurgie de l'obésité.* Paris2011, pp. 179-85.
- Gonzalez-Muniesa P, Martinez-Gonzalez MA, Hu FB et al. **Obesity.** *Nat Rev Dis Primers.* 2017;3:17034.
- Goran M, Fields DA, Hunter GR, Herd SL, Weinsier RL. **Total body fat does not influence maximal aerobic capacity.** *Int J Obes Relat Metab Disord.* 2000;24(7):841-8.
- Gradidge PJ, Norris SA, Micklesfield LK, Crowther NJ. **The Role of Lifestyle and Psycho-Social Factors in Predicting Changes in Body Composition in Black South African Women.** *PLoS One.* 2015;10(7):e0132914.
- Granat M, Clarke C, Holdsworth R, Stansfield B, Dall P. **Quantifying the cadence of free-living walking using event-based analysis.** *Gait Posture.* 2015;42(1):85-90.
- Gravante G, Russo G, Pomara F, Ridola C. **Comparison of ground reaction forces between obese and control young adults during quiet standing on a baropodometric platform.** *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2003;18(8):780-2.

- Green JS, Stanforth PR, Rankinen T et al. **The effects of exercise training on abdominal visceral fat, body composition, and indicators of the metabolic syndrome in postmenopausal women with and without estrogen replacement therapy: the HERITAGE family study.** *Metabolism*. 2004;53(9):1192-6.
- Green S, Askew CD. **VO₂peak is an acceptable estimate of cardiorespiratory fitness but not VO₂max.** *J Appl Physiol (1985)*. 2018.
- Grolla E, Andrighetto G, Parmigiani P et al. **Specific treatment of Prader-Willi syndrome through cyclical rehabilitation programmes.** *Disabil Rehabil*. 2011;33(19-20):1837-47.
- Grontved A, Hu FB. **Television viewing and risk of type 2 diabetes, cardiovascular disease, and all-cause mortality: a meta-analysis.** *JAMA*. 2011;305(23):2448-55.
- Gross I, Hirsch HJ, Constantini N et al. **Physical activity and maximal oxygen uptake in adults with Prader-Willi syndrome.** *Eat Weight Disord*. 2017.
- Guadalupe-Grau A, Carnicero JA, Gomez-Cabello A et al. **Association of regional muscle strength with mortality and hospitalisation in older people.** *Age Ageing*. 2015;44(5):790-5.
- Guh DP, Zhang W, Bansback N, Amarsi Z, Birmingham CL, Anis AH. **The incidence of co-morbidities related to obesity and overweight: a systematic review and meta-analysis.** *BMC Public Health*. 2009;9:88.
- Guillet C, Masgrau A, Walrand S, Boirie Y. **Impaired protein metabolism: interlinks between obesity, insulin resistance and inflammation.** *Obes Rev*. 2012;13 Suppl 2:51-7.
- Hagstromer M, Troiano RP, Sjostrom M, Berrigan D. **Levels and patterns of objectively assessed physical activity--a comparison between Sweden and the United States.** *Am J Epidemiol*. 2010;171(10):1055-64.
- Hakkinen K, Kallinen M, Izquierdo M et al. **Changes in agonist-antagonist EMG, muscle CSA, and force during strength training in middle-aged and older people.** *J Appl Physiol (1985)*. 1998;84(4):1341-9.
- Hakkinen K, Kraemer WJ, Newton RU, Alen M. **Changes in electromyographic activity, muscle fibre and force production characteristics during heavy resistance/power strength training in middle-aged and older men and women.** *Acta Physiol Scand*. 2001;171(1):51-62.
- Halbert JA, Silagy CA, Finucane P, Withers RT, Hamdorf PA. **Exercise training and blood lipids in hyperlipidemic and normolipidemic adults: a meta-analysis of randomized, controlled trials.** *Eur J Clin Nutr*. 1999;53(7):514-22.
- Hales CM, Fryar CD, Carroll MD, Freedman DS, Aoki Y, Ogden CL. **Differences in Obesity Prevalence by Demographic Characteristics and Urbanization Level Among Adults in the United States, 2013-2016.** *JAMA*. 2018;319(23):2419-29.
- Ham SA, Kruger J, Tudor-Locke C. **Participation by US adults in sports, exercise, and recreational physical activities.** *J Phys Act Health*. 2009;6(1):6-14.
- Hamer M, Brunner EJ, Bell J et al. **Physical activity patterns over 10 years in relation to body mass index and waist circumference: the Whitehall II cohort study.** *Obesity (Silver Spring)*. 2013;21(12):E755-61.
- Hamer M, Chida Y. **Walking and primary prevention: a meta-analysis of prospective cohort studies.** *Br J Sports Med*. 2008;42(4):238-43.
- Hamilton MT. **The role of skeletal muscle contractile duration throughout the whole day: reducing sedentary time and promoting universal physical activity in all people.** *J Physiol*. 2018;596(8):1331-40.
- Hamilton MT, Hamilton DG, Zderic TW. **Role of low energy expenditure and sitting in obesity, metabolic syndrome, type 2 diabetes, and cardiovascular disease.** *Diabetes*. 2007;56(11):2655-67.
- Hamman RF, Wing RR, Edelstein SL et al. **Effect of weight loss with lifestyle intervention on risk of diabetes.** *Diabetes Care*. 2006;29(9):2102-7.
- Handrigan G, Hue O, Simoneau M et al. **Weight loss and muscular strength affect static balance control.** *Int J Obes (Lond)*. 2010;34(5):936-42.
- Handrigan GA, Berrigan F, Hue O et al. **The effects of muscle strength on center of pressure-based measures of postural sway in obese and heavy athletic individuals.** *Gait Posture*. 2012;35(1):88-91.
- Hankinson AL, Daviglius ML, Bouchard C et al. **Maintaining a high physical activity level over 20 years and weight gain.** *JAMA*. 2010;304(23):2603-10.
- Hansen BH, Holme I, Anderssen SA, Kolle E. **Patterns of objectively measured physical activity in normal weight, overweight, and obese individuals (20-85 years): a cross-sectional study.** *PLoS One*. 2013;8(1):e53044.
- Hardman AE. **Issues of fractionization of exercise (short vs long bouts).** *Med Sci Sports Exerc*. 2001;33(6 Suppl):S421-7; discussion S52-3.
- Hartemann A, Bourron O, Andreelli F. **Insulino-résistance et diabète.** In: Lavoisier editor. *Traité médecine et chirurgie de l'obésité*. Paris. 2011, pp. 193-6.
- Hassannejad A, Khalaj A, Mansournia MA, Rajabian Tabesh M, Alizadeh Z. **The Effect of Aerobic or Aerobic-Strength Exercise on Body Composition and Functional Capacity in Patients with BMI \geq 35 after Bariatric Surgery: a Randomized Control Trial.** *Obes Surg*. 2017a.

- Hassannejad A, Khalaj A, Mansournia MA, Rajabian Tabesh M, Alizadeh Z. **The Effect of Aerobic or Aerobic-Strength Exercise on Body Composition and Functional Capacity in Patients with BMI \geq 35 after Bariatric Surgery: a Randomized Control Trial.** *Obes Surg.* 2017b;27(11):2792-801.
- Haute Autorité de Santé. **Analyse de la posture statique et/ou dynamique sur plateforme de force (posturographie).** 2007.
- Haute Autorité de Santé. **Recommandations de bonne pratique - Obésité : prise en charge chirurgicale chez l'adulte.** 2009.
- Hawley JA, Hargreaves M, Joyner MJ, Zierath JR. **Integrative biology of exercise.** *Cell.* 2014;159(4):738-49.
- Hawley JA, Lundby C, Cotter JD, Burke LM. **Maximizing Cellular Adaptation to Endurance Exercise in Skeletal Muscle.** *Cell Metab.* 2018;27(5):962-76.
- Heber D, Greenway FL, Kaplan LM et al. **Endocrine and nutritional management of the post-bariatric surgery patient: an Endocrine Society Clinical Practice Guideline.** *J Clin Endocrinol Metab.* 2010;95(11):4823-43.
- Helmerhorst HJ, Brage S, Warren J, Besson H, Ekelund U. **A systematic review of reliability and objective criterion-related validity of physical activity questionnaires.** *Int J Behav Nutr Phys Act.* 2012;9:103.
- Hendelman D, Miller K, Baggett C, Debold E, Freedson P. **Validity of accelerometry for the assessment of moderate intensity physical activity in the field.** *Med Sci Sports Exerc.* 2000;32(9 Suppl):S442-9.
- Hennis PJ, Meale PM, Hurst RA et al. **Cardiopulmonary exercise testing predicts postoperative outcome in patients undergoing gastric bypass surgery.** *Br J Anaesth.* 2012;109(4):566-71.
- Henriksen A, Haugen Mikalsen M, Woldaregay AZ et al. **Using Fitness Trackers and Smartwatches to Measure Physical Activity in Research: Analysis of Consumer Wrist-Worn Wearables.** *J Med Internet Res.* 2018;20(3):e110.
- Herring LY, Stevinson C, Carter P et al. **The effects of supervised exercise training 12-24 months after bariatric surgery on physical function and body composition: a randomised controlled trial.** *Int J Obes (Lond).* 2017;41(6):909-16.
- Herring LY, Stevinson C, Davies MJ et al. **Changes in physical activity behaviour and physical function after bariatric surgery: a systematic review and meta-analysis.** *Obes Rev.* 2016;17(3):250-61.
- Heymsfield SB, Wadden TA. **Mechanisms, Pathophysiology, and Management of Obesity.** *N Engl J Med.* 2017;376(15):1492.
- Hickey AM, Freedson PS. **Utility of consumer physical activity trackers as an intervention tool in cardiovascular disease prevention and treatment.** *Prog Cardiovasc Dis.* 2016;58(6):613-9.
- Higgins J. **Analysing data and undertaking meta-analysis.** In: Higgins JPT, Green S, eds. *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions.* Version 5.1.0 [updated March 2011]. In.
- Hills AP, Byrne NM, Wearing S, Armstrong T. **Validation of the intensity of walking for pleasure in obese adults.** *Prev Med.* 2006;42(1):47-50.
- Hills AP, Hennig EM, Byrne NM, Steele JR. **The biomechanics of adiposity--structural and functional limitations of obesity and implications for movement.** *Obes Rev.* 2002;3(1):35-43.
- Hills AP, Hennig EM, McDonald M, Bar-Or O. **Plantar pressure differences between obese and non-obese adults: a biomechanical analysis.** *Int J Obes Relat Metab Disord.* 2001;25(11):1674-9.
- Hoffmann TC, Glasziou PP, Boutron I et al. **Better reporting of interventions: template for intervention description and replication (TIDieR) checklist and guide.** *BMJ.* 2014;348:g1687.
- Holbrook EA, Barreira TV, Kang M. **Validity and reliability of Omron pedometers for prescribed and self-paced walking.** *Med Sci Sports Exerc.* 2009;41(3):670-4.
- Hollman JH, McDade EM, Petersen RC. **Normative spatiotemporal gait parameters in older adults.** *Gait Posture.* 2011;34(1):111-8.
- Holsgaard Larsen A, Caserotti P, Puggaard L, Aagaard P. **Reproducibility and relationship of single-joint strength vs multi-joint strength and power in aging individuals.** *Scand J Med Sci Sports.* 2007;17(1):43-53.
- Hopkins M, Blundell JE. **Energy balance, body composition, sedentariness and appetite regulation: pathways to obesity.** *Clin Sci (Lond).* 2016;130(18):1615-28.
- Hopkins M, King NA, Blundell JE. **Acute and long-term effects of exercise on appetite control: is there any benefit for weight control?** *Curr Opin Clin Nutr Metab Care.* 2010;13(6):635-40.
- Hortobagyi T, Herring C, Pories WJ, Rider P, Devita P. **Massive weight loss-induced mechanical plasticity in obese gait.** *J Appl Physiol (1985).* 2011;111(5):1391-9.
- Horton JF, Stergiou P, Fung TS, Katz L. **Comparison of Polar M600 Optical Heart Rate and ECG Heart Rate during Exercise.** *Med Sci Sports Exerc.* 2017;49(12):2600-7.
- Hothi SS, Tan DK, Partridge G, Tan LB. **Is low VO₂max/kg in obese heart failure patients indicative of cardiac dysfunction?** *Int J Cardiol.* 2015;184:755-62.
- Hsieh HF, Shannon SE. **Three approaches to qualitative content analysis.** *Qual Health Res.* 2005;15(9):1277-88.

- Hu F, Li T, Colditz G, Willett W, Manson J. **Television watching and other sedentary behaviors in relation to risk of obesity and type 2 diabetes mellitus in women.** *JAMA*. 2003;289(14):1785-91.
- Huai P, Xun H, Reilly KH, Wang Y, Ma W, Xi B. **Physical activity and risk of hypertension: a meta-analysis of prospective cohort studies.** *Hypertension*. 2013;62(6):1021-6.
- Huck CJ. **Effects of supervised resistance training on fitness and functional strength in patients succeeding bariatric surgery.** *J Strength Cond Res*. 2015;29(3):589-95.
- Hue O, Berrigan F, Simoneau M et al. **Muscle force and force control after weight loss in obese and morbidly obese men.** *Obes Surg*. 2008;18(9):1112-8.
- Hue O, Simoneau M, Marcotte J et al. **Body weight is a strong predictor of postural stability.** *Gait Posture*. 2007;26(1):32-8.
- Hulens M, Vansant G, Claessens AL, Lysens R, Muls E. **Predictors of 6-minute walk test results in lean, obese and morbidly obese women.** *Scand J Med Sci Sports*. 2003;13(2):98-105.
- Hulens M, Vansant G, Lysens R, Claessens AL, Muls E. **Assessment of isokinetic muscle strength in women who are obese.** *J Orthop Sports Phys Ther*. 2002;32(7):347-56.
- Hulens M, Vansant G, Lysens R, Claessens AL, Muls E, Brumagne S. **Study of differences in peripheral muscle strength of lean versus obese women: an allometric approach.** *Int J Obes Relat Metab Disord*. 2001;25(5):676-81.
- Hupin D, Roche F, Gremeaux V et al. **Even a low-dose of moderate-to-vigorous physical activity reduces mortality by 22% in adults aged ≥ 60 years: a systematic review and meta-analysis.** *Br J Sports Med*. 2015;49(19):1262-7.
- Huvenne H, Dubern B, Clement K, Poitou C. **Rare Genetic Forms of Obesity: Clinical Approach and Current Treatments in 2016.** *Obes Facts*. 2016;9(3):158-73.
- Hwang H, Bowen BP, Lefort N et al. **Proteomics analysis of human skeletal muscle reveals novel abnormalities in obesity and type 2 diabetes.** *Diabetes*. 2010;59(1):33-42.
- Imboden MT, Nelson MB, Kaminsky LA, Montoye AH. **Comparison of four Fitbit and Jawbone activity monitors with a research-grade ActiGraph accelerometer for estimating physical activity and energy expenditure.** *Br J Sports Med*. 2018;52(13):844-50.
- INSERM. **Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale. Expertise Collective. Activité physique : contextes et effets sur la santé.** Paris2008.
- INSERM, Kantar Health, Roche [Internet]. ; . Available from: http://www.roche.fr/content/dam/corporate/roche_fr/doc/obepi_2012.pdf.
- Iossifidou A, Baltzopoulos V, Giakas G. **Isokinetic knee extension and vertical jumping: are they related?** *J Sports Sci*. 2005;23(10):1121-7.
- Izquierdo M, Ibanez J, Gorostiaga E et al. **Maximal strength and power characteristics in isometric and dynamic actions of the upper and lower extremities in middle-aged and older men.** *Acta Physiol Scand*. 1999;167(1):57-68.
- Jacobi D, Ciangura C, Couet C, Oppert J. **Physical activity and weight loss following bariatric surgery.** *Obes Rev*. 2011;12(5):366-77.
- Jaeschke L, Steinbrecher A, Jeran S, Konigorski S, Pischon T. **Variability and reliability study of overall physical activity and activity intensity levels using 24 h-accelerometry-assessed data.** *BMC Public Health*. 2018;18(1):530.
- Jakicic JM, Gregg E, Knowler W et al. **Activity patterns of obese adults with type 2 diabetes in the look AHEAD study.** *Med Sci Sports Exerc*. 2010;42(11):1995-2005.
- Jakicic JM, Marcus BH, Lang W, Janney C. **Effect of exercise on 24-month weight loss maintenance in overweight women.** *Arch Intern Med*. 2008;168(14):1550-9.
- Jakicic JM, Rogers RJ, Davis KK, Collins KA. **Role of Physical Activity and Exercise in Treating Patients with Overweight and Obesity.** *Clin Chem*. 2017.
- Jakicic JM, Tate DF, Lang W et al. **Objective physical activity and weight loss in adults: the step-up randomized clinical trial.** *Obesity (Silver Spring)*. 2014;22(11):2284-92.
- Janiszewski PM, Ross R. **The utility of physical activity in the management of global cardiometabolic risk.** *Obesity (Silver Spring)*. 2009;17 Suppl 3:S3-S14.
- Janssen I, Heymsfield SB, Wang ZM, Ross R. **Skeletal muscle mass and distribution in 468 men and women aged 18-88 yr.** *J Appl Physiol (1985)*. 2000;89(1):81-8.
- Janssen I, Katzmarzyk PT, Ross R. **Waist circumference and not body mass index explains obesity-related health risk.** *Am J Clin Nutr*. 2004;79(3):379-84.
- Jassil FC, Manning S, Lewis N et al. **Feasibility and Impact of a Combined Supervised Exercise and Nutritional-Behavioral Intervention following Bariatric Surgery: A Pilot Study.** *J Obes*. 2015;2015:693829.

- Jensen MD, Ryan DH, Apovian CM et al. **2013 AHA/ACC/TOS guideline for the management of overweight and obesity in adults: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines and The Obesity Society.** *Circulation.* 2014;129(25 Suppl 2):S102-38.
- Jeon CY, Lokken RP, Hu FB, van Dam RM. **Physical activity of moderate intensity and risk of type 2 diabetes: a systematic review.** *Diabetes Care.* 2007;30(3):744-52.
- Jidovtseff B, Harris NK, Crielaard JM, Cronin JB. **Using the load-velocity relationship for 1RM prediction.** *J Strength Cond Res.* 2011;25(1):267-70.
- Josbeno DA, Jakicic JM, Hergenroeder A, Eid GM. **Physical activity and physical function changes in obese individuals after gastric bypass surgery.** *Surg Obes Relat Dis.* 2010;6(4):361-6.
- Josse AR, Atkinson SA, Tarnopolsky MA, Phillips SM. **Increased consumption of dairy foods and protein during diet- and exercise-induced weight loss promotes fat mass loss and lean mass gain in overweight and obese premenopausal women.** *J Nutr.* 2011;141(9):1626-34.
- Julia C, Ciangura C, Capuron L et al. **Quality of life after Roux-en-Y gastric bypass and changes in body mass index and obesity-related comorbidities.** *Diabetes Metab.* 2013;39(2):148-54.
- Kahneman D. **Thinking fast and slow.** Wallingford: Penguin; 2012.
- Kaminsky LA, Arena R, Beckie TM et al. **The importance of cardiorespiratory fitness in the United States: the need for a national registry: a policy statement from the American Heart Association.** *Circulation.* 2013;127(5):652-62.
- Kanoupakis E, Michaloudis D, Fraidakis O, Parthenakis F, Vardas P, Melissas J. **Left ventricular function and cardiopulmonary performance following surgical treatment of morbid obesity.** *Obes Surg.* 2001;11(5):552-8.
- Kapur VK, Auckley DH, Chowdhuri S et al. **Clinical Practice Guideline for Diagnostic Testing for Adult Obstructive Sleep Apnea: An American Academy of Sleep Medicine Clinical Practice Guideline.** *J Clin Sleep Med.* 2017;13(3):479-504.
- Karmeniemi M, Lankila T, Ikaheimo T, Koivumaa-Honkanen H, Korpelainen R. **The Built Environment as a Determinant of Physical Activity: A Systematic Review of Longitudinal Studies and Natural Experiments.** *Ann Behav Med.* 2018;52(3):239-51.
- Karvinen S, Waller K, Silvennoinen M et al. **Physical activity in adulthood: genes and mortality.** *Sci Rep.* 2015;5:18259.
- Kim Y, White T, Wijndaele K, Sharp SJ, Wareham NJ, Brage S. **Adiposity and grip strength as long-term predictors of objectively measured physical activity in 93 015 adults: the UK Biobank study.** *Int J Obes (Lond).* 2017a;41(9):1361-8.
- Kim Y, Wijndaele K, Lee DC, Sharp SJ, Wareham N, Brage S. **Independent and joint associations of grip strength and adiposity with all-cause and cardiovascular disease mortality in 403,199 adults: the UK Biobank study.** *Am J Clin Nutr.* 2017b;106(3):773-82.
- King NA, Hopkins M, Caudwell P, Stubbs RJ, Blundell JE. **Individual variability following 12 weeks of supervised exercise: identification and characterization of compensation for exercise-induced weight loss.** *Int J Obes (Lond).* 2008a;32(1):177-84.
- King W, Hsu J, Belle S et al. **Pre- to postoperative changes in physical activity: report from the longitudinal assessment of bariatric surgery-2 (LABS-2).** *Surg Obes Relat Dis.* 2012;8(5):522-32.
- King WC, Belle SH, Eid GM et al. **Physical activity levels of patients undergoing bariatric surgery in the Longitudinal Assessment of Bariatric Surgery study.** *Surg Obes Relat Dis.* 2008b;4(6):721-8.
- King WC, Chen JY, Bond DS et al. **Objective assessment of changes in physical activity and sedentary behavior: Pre- through 3 years post-bariatric surgery.** *Obesity (Silver Spring).* 2015;23(6):1143-50.
- Kishimoto H, Hata J, Ninomiya T et al. **Midlife and late-life handgrip strength and risk of cause-specific death in a general Japanese population: the Hisayama Study.** *J Epidemiol Community Health.* 2014;68(7):663-8.
- Knowler WC, Barrett-Connor E, Fowler SE et al. **Reduction in the incidence of type 2 diabetes with lifestyle intervention or metformin.** *N Engl J Med.* 2002;346(6):393-403.
- Kodama S, Saito K, Tanaka S et al. **Cardiorespiratory fitness as a quantitative predictor of all-cause mortality and cardiovascular events in healthy men and women: a meta-analysis.** *JAMA.* 2009;301(19):2024-35.
- Konigstein K, Klenk C, Rossmeissl A et al. **The Obesity Factor: How Cardiorespiratory Fitness is Estimated More Accurately in People with Obesity.** *Obesity (Silver Spring).* 2018;26(2):291-8.
- Koster A, Caserotti P, Patel KV et al. **Association of sedentary time with mortality independent of moderate to vigorous physical activity.** *PLoS One.* 2012;7(6):e37696.
- Kozey-Keadle S, Libertine A, Lyden K, Staudenmayer J, Freedson PS. **Validation of wearable monitors for assessing sedentary behavior.** *Med Sci Sports Exerc.* 2011;43(8):1561-7.
- Kraemer WJ, Adams K, Cafarelli E et al. **American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults.** *Med Sci Sports Exerc.* 2002;34(2):364-80.

- Kraus WE, Houmard JA, Duscha BD et al. **Effects of the amount and intensity of exercise on plasma lipoproteins.** *N Engl J Med.* 2002;347(19):1483-92.
- Kujala UM. **Is physical activity a cause of longevity? It is not as straightforward as some would believe. A critical analysis.** *Br J Sports Med.* 2018.
- Kujala UM, Pietila J, Myllymaki T et al. **Physical Activity: Absolute Intensity versus Relative-to-Fitness-Level Volumes.** *Med Sci Sports Exerc.* 2017;49(3):474-81.
- Kyu HH, Bachman VF, Alexander LT et al. **Physical activity and risk of breast cancer, colon cancer, diabetes, ischemic heart disease, and ischemic stroke events: systematic review and dose-response meta-analysis for the Global Burden of Disease Study 2013.** *BMJ.* 2016;354:i3857.
- Lafortuna CL, Fumagalli E, Vangeli V, Sartorio A. **Lower limb alactic anaerobic power output assessed with different techniques in morbid obesity.** *J Endocrinol Invest.* 2002;25(2):134-41.
- Lafortuna CL, Maffiuletti NA, Agosti F, Sartorio A. **Gender variations of body composition, muscle strength and power output in morbid obesity.** *Int J Obes (Lond).* 2005;29(7):833-41.
- Lai PP, Leung AK, Li AN, Zhang M. **Three-dimensional gait analysis of obese adults.** *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2008;23 Suppl 1:S2-6.
- Lavie CJ, Sharma A, Alpert MA et al. **Update on Obesity and Obesity Paradox in Heart Failure.** *Prog Cardiovasc Dis.* 2016;58(4):393-400.
- Layman DK, Evans E, Baum JI, Seyler J, Erickson DJ, Boileau RA. **Dietary protein and exercise have additive effects on body composition during weight loss in adult women.** *J Nutr.* 2005;135(8):1903-10.
- Lee IM, Djousse L, Sesso HD, Wang L, Buring JE. **Physical activity and weight gain prevention.** *JAMA.* 2010;303(12):1173-9.
- Lee IM, Shiroma EJ, Evenson KR, Kamada M, LaCroix AZ, Buring JE. **Accelerometer-Measured Physical Activity and Sedentary Behavior in Relation to All-Cause Mortality: The Women's Health Study.** *Circulation.* 2018;137(2):203-5.
- Lee PH. **Examining Non-Linear Associations between Accelerometer-Measured Physical Activity, Sedentary Behavior, and All-Cause Mortality Using Segmented Cox Regression.** *Front Physiol.* 2016;7:272.
- Leenders NY, Nelson TE, Sherman WM. **Ability of different physical activity monitors to detect movement during treadmill walking.** *Int J Sports Med.* 2003;24(1):43-50.
- Lelard T, Ahmadi S. **Effects of physical training on age-related balance and postural control.** *Neurophysiol Clin.* 2015;45(4-5):357-69.
- Lementowski PW, Zelicof SB. **Obesity and osteoarthritis.** *Am J Orthop (Belle Mead NJ).* 2008;37(3):148-51.
- Leong DP, Teo KK, Rangarajan S et al. **Prognostic value of grip strength: findings from the Prospective Urban Rural Epidemiology (PURE) study.** *Lancet.* 2015;386(9990):266-73.
- Leplege A, Ecosse E, Verdier A, Perneger TV. **The French SF-36 Health Survey: translation, cultural adaptation and preliminary psychometric evaluation.** *J Clin Epidemiol.* 1998;51(11):1013-23.
- Lesinski M, Hortobagyi T, Muehlbauer T, Gollhofer A, Granacher U. **Dose-response relationships of balance training in healthy young adults: a systematic review and meta-analysis.** *Sports Med.* 2015a;45(4):557-76.
- Lesinski M, Hortobagyi T, Muehlbauer T, Gollhofer A, Granacher U. **Effects of Balance Training on Balance Performance in Healthy Older Adults: A Systematic Review and Meta-analysis.** *Sports Med.* 2015b;45(12):1721-38.
- Levine BD. **VO₂max: what do we know, and what do we still need to know?** *J Physiol.* 2008;586(1):25-34.
- Levine JA. **Nonexercise activity thermogenesis (NEAT): environment and biology.** *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 2004;286(5):E675-85.
- Levine JA, Lanningham-Foster LM, McCrady SK et al. **Interindividual variation in posture allocation: possible role in human obesity.** *Science.* 2005;307(5709):584-6.
- Levinger I, Goodman C, Hare DL, Jerums G, Toia D, Selig S. **The reliability of the 1RM strength test for untrained middle-aged individuals.** *J Sci Med Sport.* 2009;12(2):310-6.
- Li J, Li S, Feuers RJ, Buffington CK, Cowan GS. **Influence of body fat distribution on oxygen uptake and pulmonary performance in morbidly obese females during exercise.** *Respirology.* 2001;6(1):9-13.
- Liu B, Hu X, Zhang Q et al. **Usual walking speed and all-cause mortality risk in older people: A systematic review and meta-analysis.** *Gait Posture.* 2016;44:172-7.
- Liu X, Lagoy A, Discenza I et al. **Metabolic and neuroendocrine responses to Roux-en-Y gastric bypass. I: energy balance, metabolic changes, and fat loss.** *J Clin Endocrinol Metab.* 2012;97(8):E1440-50.
- Liu X, Zhang D, Liu Y et al. **Dose-Response Association Between Physical Activity and Incident Hypertension: A Systematic Review and Meta-Analysis of Cohort Studies.** *Hypertension.* 2017;69(5):813-20.
- Livhits M, Mercado C, Yermilov I et al. **Preoperative predictors of weight loss following bariatric surgery: systematic review.** *Obes Surg.* 2012;22(1):70-89.

- Lloret-Linares C, Faucher P, Coupaye M et al. **Comparison of body composition, basal metabolic rate and metabolic outcomes of adults with Prader Willi syndrome or lesional hypothalamic disease, with primary obesity.** *Int J Obes (Lond)*. 2013;37(9):1198-203.
- Lobelo F, Rohm Young D, Sallis R et al. **Routine Assessment and Promotion of Physical Activity in Healthcare Settings: A Scientific Statement From the American Heart Association.** *Circulation*. 2018.
- Lopes VP, Magalhaes P, Bragada J, Vasques C. **Actigraph calibration in obese/overweight and type 2 diabetes mellitus middle-aged to old adult patients.** *J Phys Act Health*. 2009;6 Suppl 1:S133-40.
- Loprinzi PD, Cardinal BJ. **Association between biologic outcomes and objectively measured physical activity accumulated in ≥ 10 -minute bouts and <10 -minute bouts.** *Am J Health Promot*. 2013;27(3):143-51.
- Loprinzi PD, Loenneke JP, Ahmed HM, Blaha MJ. **Joint effects of objectively-measured sedentary time and physical activity on all-cause mortality.** *Prev Med*. 2016;90:47-51.
- Lund MT, Hansen M, Wimmelmann CL et al. **Increased post-operative cardiopulmonary fitness in gastric bypass patients is explained by weight loss.** *Scand J Med Sci Sports*. 2016;26(12):1428-34.
- Lyden K, Keadle SK, Staudenmayer J, Freedson PS. **The activPALTM Accurately Classifies Activity Intensity Categories in Healthy Adults.** *Med Sci Sports Exerc*. 2017;49(5):1022-8.
- Maffiuletti NA, Jubeau M, Munzinger U et al. **Differences in quadriceps muscle strength and fatigue between lean and obese subjects.** *Eur J Appl Physiol*. 2007;101(1):51-9.
- Maniscalco M, Arciello A, Zedda A et al. **Right ventricular performance in severe obesity. Effect of weight loss.** *Eur J Clin Invest*. 2007;37(4):270-5.
- Maniscalco M, Zedda A, Giardiello C et al. **Effect of bariatric surgery on the six-minute walk test in severe uncomplicated obesity.** *Obes Surg*. 2006;16(7):836-41.
- Manohar CU, McCrady SK, Fujiki Y, Pavlidis IT, Levine JA. **Evaluation of the Accuracy of a Triaxial Accelerometer Embedded into a Cell Phone Platform for Measuring Physical Activity.** *J Obes Weight Loss Ther*. 2011;1(106).
- Marathe PH, Gao HX, Close KL. **American Diabetes Association Standards of Medical Care in Diabetes 2017.** *J Diabetes*. 2017;9(4):320-4.
- Marchesi F, De Sario G, Reggiani V et al. **Road Running After Gastric Bypass for Morbid Obesity: Rationale and Results of a New Protocol.** *Obes Surg*. 2015;25(7):1162-70.
- Marcon ER, Baglioni S, Bittencourt L, Lopes CL, Neumann CR, Trindade MR. **What Is the Best Treatment before Bariatric Surgery? Exercise, Exercise and Group Therapy, or Conventional Waiting: a Randomized Controlled Trial.** *Obes Surg*. 2017;27(3):763-73.
- Marshall SJ, Levy SS, Tudor-Locke CE et al. **Translating physical activity recommendations into a pedometer-based step goal: 3000 steps in 30 minutes.** *Am J Prev Med*. 2009;36(5):410-5.
- Maslow AL, Sui X, Colabianchi N, Hussey J, Blair SN. **Muscular strength and incident hypertension in normotensive and prehypertensive men.** *Med Sci Sports Exerc*. 2010;42(2):288-95.
- Masse LC, Fuemmeler BF, Anderson CB et al. **Accelerometer data reduction: a comparison of four reduction algorithms on select outcome variables.** *Med Sci Sports Exerc*. 2005;37(11 Suppl):S544-54.
- Matthews CE. **Calibration of accelerometer output for adults.** *Med Sci Sports Exerc*. 2005;37(11 Suppl):S512-22.
- Matthews CE, Hagstromer M, Pober DM, Bowles HR. **Best practices for using physical activity monitors in population-based research.** *Med Sci Sports Exerc*. 2012;44(1 Suppl 1):S68-76.
- Matthews CE, Keadle SK, Troiano RP et al. **Accelerometer-measured dose-response for physical activity, sedentary time, and mortality in US adults.** *Am J Clin Nutr*. 2016;104(5):1424-32.
- Matthews CE, Kozey Keadle S, Moore SC et al. **Measurement of Active and Sedentary Behavior in Context of Large Epidemiologic Studies.** *Med Sci Sports Exerc*. 2018;50(2):266-76.
- Matthews CE, Moore SC, Sampson J et al. **Mortality Benefits for Replacing Sitting Time with Different Physical Activities.** *Med Sci Sports Exerc*. 2015;47(9):1833-40.
- Matthews L, Kirk A, Macmillan F, Mutrie N. **Can physical activity interventions for adults with type 2 diabetes be translated into practice settings? A systematic review using the RE-AIM framework.** *Transl Behav Med*. 2014;4(1):60-78.
- McCullough PA, Gallagher MJ, Dejong AT et al. **Cardiorespiratory fitness and short-term complications after bariatric surgery.** *Chest*. 2006;130(2):517-25.
- McGraw B, McClenaghan BA, Williams HG, Dickerson J, Ward DS. **Gait and postural stability in obese and nonobese prepubertal boys.** *Arch Phys Med Rehabil*. 2000;81(4):484-9.
- McKay MJ, Baldwin JN, Ferreira P et al. **Spatiotemporal and plantar pressure patterns of 1000 healthy individuals aged 3-101 years.** *Gait Posture*. 2017;58:78-87.
- McMullan, II, McDonough SM, Tully MA, Cupples M, Casson K, Bunting BP. **The association between balance and free-living physical activity in an older community-dwelling adult population: a systematic review and meta-analysis.** *BMC Public Health*. 2018;18(1):431.

- Mechanick JI, Youdim A, Jones DB et al. **Clinical practice guidelines for the perioperative nutritional, metabolic, and nonsurgical support of the bariatric surgery patient--2013 update: cosponsored by American Association of Clinical Endocrinologists, The Obesity Society, and American Society for Metabolic & Bariatric Surgery.** *Obesity (Silver Spring)*. 2013;21 Suppl 1:S1-27.
- Melanson EL, Knoll JR, Bell ML et al. **Commercially available pedometers: considerations for accurate step counting.** *Prev Med*. 2004;39(2):361-8.
- Menegoni F, Galli M, Tacchini E, Vismara L, Cavigioli M, Capodaglio P. **Gender-specific effect of obesity on balance.** *Obesity (Silver Spring)*. 2009;17(10):1951-6.
- Meng H, O'Connor DP, Lee BC, Layne CS, Gorniak SL. **Alterations in over-ground walking patterns in obese and overweight adults.** *Gait Posture*. 2017;53:145-50.
- Mensah K, Maire A, Oppert JM et al. **Assessment of sedentary behaviors and transport-related activities by questionnaire: a validation study.** *BMC Public Health*. 2016;16:753.
- Menz HB, Latt MD, Tiedemann A, Mun San Kwan M, Lord SR. **Reliability of the GAITRite walkway system for the quantification of tempo-spatial parameters of gait in young and older people.** *Gait Posture*. 2004;20(1):20-5.
- Metz L, Thivel D, Peirra B, Richard R, Julian V, Duclos M. **A new equation based on the 6-min walking test to predict VO₂peak in women with obesity.** *Disabil Rehabil*. 2018;40(14):1702-7.
- Migueles JH, Cadenas-Sanchez C, Ekelund U et al. **Accelerometer Data Collection and Processing Criteria to Assess Physical Activity and Other Outcomes: A Systematic Review and Practical Considerations.** *Sports Med*. 2017.
- Miller GD, Nicklas BJ, You T, Fernandez A. **Physical function improvements after laparoscopic Roux-en-Y gastric bypass surgery.** *Surg Obes Relat Dis*. 2009;5(5):530-7.
- Milton K, Macniven R, Bauman A. **Review of the epidemiological evidence for physical activity and health from low- and middle-income countries.** *Glob Public Health*. 2014;9(4):369-81.
- Mingrone G, Bornstein S, Le Roux CW. **Optimisation of follow-up after metabolic surgery.** *Lancet Diabetes Endocrinol*. 2018a;6(6):487-99.
- Mingrone G, Bornstein S, Le Roux CW. **Optimisation of follow-up after metabolic surgery.** *Lancet Diabetes Endocrinol*. 2018b.
- Moholdt T, Wisloff U, Lydersen S, Nauman J. **Current physical activity guidelines for health are insufficient to mitigate long-term weight gain: more data in the fitness versus fatness debate (The HUNT study, Norway).** *Br J Sports Med*. 2014;48(20):1489-96.
- Moir G, Sanders R, Button C, Glaister M. **The influence of familiarization on the reliability of force variables measured during unloaded and loaded vertical jumps.** *J Strength Cond Res*. 2005;19(1):140-5.
- Moore SC, Patel AV, Matthews CE et al. **Leisure time physical activity of moderate to vigorous intensity and mortality: a large pooled cohort analysis.** *PLoS Med*. 2012;9(11):e1001335.
- Morton RW, Murphy KT, McKellar SR et al. **A systematic review, meta-analysis and meta-regression of the effect of protein supplementation on resistance training-induced gains in muscle mass and strength in healthy adults.** *Br J Sports Med*. 2018;52(6):376-84.
- Mouzat A, Dabonneville M, Roux D. **Position des pieds et paramètres stabilométriques.** *STAPS*. 2005;67:144.
- Moxley Scarborough D, Krebs DE, Harris BA. **Quadriceps muscle strength and dynamic stability in elderly persons.** *Gait Posture*. 1999;10(1):10-20.
- Muehlbauer T, Gollhofer A, Granacher U. **Relationship between measures of balance and strength in middle-aged adults.** *J Strength Cond Res*. 2012;26(9):2401-7.
- Muehlbauer T, Gollhofer A, Granacher U. **Associations Between Measures of Balance and Lower-Extremity Muscle Strength/Power in Healthy Individuals Across the Lifespan: A Systematic Review and Meta-Analysis.** *Sports Med*. 2015;45(12):1671-92.
- Mundbjerg L, Ron Stolberg C, Cecere S et al. **Supervised Physical Training Improves Weight Loss After Roux-en-Y Gastric Bypass Surgery: A Randomized Controlled Trial.** *Obesity (Silver Spring)*. 2018a;00:00-.
- Mundbjerg LH, Stolberg CR, Bladbjerg EM, Funch-Jensen P, Juhl CB, Gram B. **Effects of 6 months supervised physical training on muscle strength and aerobic capacity in patients undergoing Roux-en-Y gastric bypass surgery: a randomized controlled trial.** *Clin Obes*. 2018b;8(4):227-35.
- Muschitz C, Kocijan R, Haschka J et al. **The Impact of Vitamin D, Calcium, Protein Supplementation, and Physical Exercise on Bone Metabolism After Bariatric Surgery: The BABS Study.** *J Bone Miner Res*. 2016;31(3):672-82.
- Mutch DM, Clement K. **Unraveling the genetics of human obesity.** *PLoS Genet*. 2006;2(12):e188.
- Myers J, McAuley P, Lavie CJ, Despres JP, Arena R, Kokkinos P. **Physical activity and cardiorespiratory fitness as major markers of cardiovascular risk: their independent and interwoven importance to health status.** *Prog Cardiovasc Dis*. 2015;57(4):306-14.

- Myers J, Prakash M, Froelicher V, Do D, Partington S, Atwood JE. **Exercise capacity and mortality among men referred for exercise testing.** *N Engl J Med.* 2002;346(11):793-801.
- Nauman J, Stensvold D, Coombes JS, Wisloff U. **Cardiorespiratory Fitness, Sedentary Time, and Cardiovascular Risk Factor Clustering.** *Med Sci Sports Exerc.* 2016;48(4):625-32.
- Neunhaeuserer D, Gasperetti A, Savalla F et al. **Functional Evaluation in Obese Patients Before and After Sleeve Gastrectomy.** *Obes Surg.* 2017;27(12):3230-9.
- Ng M, Fleming T, Robinson M et al. **Global, regional, and national prevalence of overweight and obesity in children and adults during 1980-2013: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2013.** *Lancet.* 2014;384(9945):766-81.
- Nichols JF, Morgan CG, Chabot LE, Sallis JF, Calfas KJ. **Assessment of physical activity with the Computer Science and Applications, Inc., accelerometer: laboratory versus field validation.** *Res Q Exerc Sport.* 2000;71(1):36-43.
- Nordstrom M, Hansen BH, Paus B, Kolset SO. **Accelerometer-determined physical activity and walking capacity in persons with Down syndrome, Williams syndrome and Prader-Willi syndrome.** *Res Dev Disabil.* 2013;34(12):4395-403.
- Nunez Lopez YO, Coen PM, Goodpaster BH, Seyhan AA. **Gastric bypass surgery with exercise alters plasma microRNAs that predict improvements in cardiometabolic risk.** *Int J Obes (Lond).* 2017;41(7):1121-30.
- O'Donovan G, Blazevich AJ, Boreham C et al. **The ABC of Physical Activity for Health: a consensus statement from the British Association of Sport and Exercise Sciences.** *J Sports Sci.* 2010;28(6):573-91.
- Oliver N, Onofre T, Carlos R et al. **Ventilatory and Metabolic Response in the Incremental Shuttle and 6-Min Walking Tests Measured by Telemetry in Obese Patients Prior to Bariatric Surgery.** *Obes Surg.* 2015;25(9):1658-65.
- Ong P, Sivanathan R, Borgulya G et al. **Obesity, inflammation and brachial artery flow-mediated dilatation: therapeutic targets in patients with microvascular angina (cardiac syndrome X).** *Cardiovasc Drugs Ther.* 2012;26(3):239-44.
- Onofre T, Carlos R, Oliver N et al. **Effects of a Physical Activity Program on Cardiorespiratory Fitness and Pulmonary Function in Obese Women after Bariatric Surgery: a Pilot Study.** *Obes Surg.* 2017.
- Onofre T, Carlos R, Oliver N et al. **Effects of a Physical Activity Program on Cardiorespiratory Fitness and Pulmonary Function in Obese Women after Bariatric Surgery: a Pilot Study.** *Obes Surg.* 2017;27(8):2026-33.
- Oppert JM, Basdevant A. **Complications cardiovasculaires.** In: Lavoisier editor. *Traité médecine et chirurgie de l'obésité.* Paris2011, pp. 197-202.
- Oppert JM, Bellicha A, Roda C et al. **Resistance training and protein supplementation increase strength after bariatric surgery: a randomized controlled trial.** *Obesity (Silver Spring).* 2018.
- Orendurff MS, Schoen JA, Bernatz GC, Segal AD, Klute GK. **How humans walk: bout duration, steps per bout, and rest duration.** *J Rehabil Res Dev.* 2008;45(7):1077-89.
- Organisation Mondiale de la Santé. **Obesity: preventing and managing the global epidemic.** Geneva. 2000.
- Organisation Mondiale de la Santé. **Recommandations mondiales sur l'activité physique pour la santé.** Genève: Organisation Mondiale de la Santé2008. Available from: Organisation Mondiale de la Santé.
- Ostenberg A, Roos E, Ekdahl C, Roos H. **Isokinetic knee extensor strength and functional performance in healthy female soccer players.** *Scand J Med Sci Sports.* 1998;8(5 Pt 1):257-64.
- Owusu W, Willett W, Ascherio A et al. **Body anthropometry and the risk of hip and wrist fractures in men: results from a prospective study.** *Obes Res.* 1998;6(1):12-9.
- Ozemek C, Cochran HL, Strath SJ, Byun W, Kaminsky LA. **Estimating relative intensity using individualized accelerometer cutpoints: the importance of fitness level.** *BMC Med Res Methodol.* 2013;13:53.
- Paasuke M, Ereline J, Gapeyeva H. **Knee extension strength and vertical jumping performance in nordic combined athletes.** *J Sports Med Phys Fitness.* 2001;41(3):354-61.
- Padwal R, Leslie WD, Lix LM, Majumdar SR. **Relationship Among Body Fat Percentage, Body Mass Index, and All-Cause Mortality: A Cohort Study.** *Ann Intern Med.* 2016;164(8):532-41.
- PAGAC. **Physical Activity Guidelines Advisory Committee Report.** Washington, DC : US Department of Health and Human Services. 2018.
- Pandey A, Garg S, Khunger M et al. **Dose-Response Relationship Between Physical Activity and Risk of Heart Failure: A Meta-Analysis.** *Circulation.* 2015;132(19):1786-94.
- Parsons TJ, Manor O, Power C. **Physical activity and change in body mass index from adolescence to mid-adulthood in the 1958 British cohort.** *Int J Epidemiol.* 2006;35(1):197-204.
- Peeters G, van Gellecum Y, Ryde G, Farias NA, Brown WJ. **Is the pain of activity log-books worth the gain in precision when distinguishing wear and non-wear time for tri-axial accelerometers?** *J Sci Med Sport.* 2013;16(6):515-9.

- Pescatello LS, Kelsey BK, Price TB et al. **The muscle strength and size response to upper arm, unilateral resistance training among adults who are overweight and obese.** *J Strength Cond Res.* 2007;21(2):307-13.
- Pfister T, Matthews CE, Wang Q, Kopciuk KA, Courneya K, Friedenreich C. **Comparison of two accelerometers for measuring physical activity and sedentary behaviour.** *BMJ Open Sport Exerc Med.* 2017;3(1):e000227.
- Physical activity Guidelines Advisory Committee. **Physical Activity Guidelines Advisory Committee Report. Washington, DC : US Department of Health and Human Services.** . 2008.
- Piwek L, Ellis DA, Andrews S, Joinson A. **The rise of consumer health wearables: promises and barriers.** *PLoS Med.* 2016;13(2):e1001953.
- Poirier P, Alpert MA, Fleisher LA et al. **Cardiovascular evaluation and management of severely obese patients undergoing surgery: a science advisory from the American Heart Association.** *Circulation.* 2009;120(1):86-95.
- Poitou-Bernert C. **Prise en charge médicale.** In: Lavoisier editor. *Traité médecine et chirurgie de l'obésité.* Paris2011, pp. 410-3.
- Pouwels S, Wit M, Teijink JA, Nienhuijs SW. **Aspects of Exercise before or after Bariatric Surgery: A Systematic Review.** *Obes Facts.* 2015;8(2):132-46.
- Prince SA, Adamo KB, Hamel ME, Hardt J, Connor Gorber S, Tremblay M. **A comparison of direct versus self-report measures for assessing physical activity in adults: a systematic review.** *Int J Behav Nutr Phys Act.* 2008;5:56.
- Proper KI, Singh AS, van Mechelen W, Chinapaw MJ. **Sedentary behaviors and health outcomes among adults: a systematic review of prospective studies.** *Am J Prev Med.* 2011;40(2):174-82.
- Rahemi H, Nigam N, Wakeling JM. **The effect of intramuscular fat on skeletal muscle mechanics: implications for the elderly and obese.** *J R Soc Interface.* 2015;12(109):20150365.
- Rantalainen T, Nikander R, Heinonen A et al. **Neuromuscular performance and body mass as indices of bone loading in premenopausal and postmenopausal women.** *Bone.* 2010;46(4):964-9.
- Ratziu V, Pais R, Lebray P. **Stéatohépatite métabolique.** In: Lavoisier editor. *Traité médecine et chirurgie de l'obésité.* Paris2011, pp. 208-18.
- Reach G. **Can technology improve adherence to long-term therapies?** *J Diabetes Sci Technol.* 2009;3(3):492-9.
- Rebibo L, Verhaeghe P, Tasseel-Ponche S et al. **Does sleeve gastrectomy improve the gait parameters of obese patients?** *Surg Obes Relat Dis.* 2016.
- Rhea MR, Alvar BA, Burkett LN, Ball SD. **A meta-analysis to determine the dose response for strength development.** *Med Sci Sports Exerc.* 2003;35(3):456-64.
- Ridgers ND, Salmon J, Ridley K, O'Connell E, Arundell L, Timperio A. **Agreement between activPAL and ActiGraph for assessing children's sedentary time.** *Int J Behav Nutr Phys Act.* 2012;9:15.
- Ried-Larsen M, Brond JC, Brage S et al. **Mechanical and free living comparisons of four generations of the Actigraph activity monitor.** *Int J Behav Nutr Phys Act.* 2012;9:113.
- Riera J, Drobnic F, Galilea PA, Pons V. **Comparison of two methods for the measurement of the extensor muscle dynamic force of the inferior limb: Isokinetic dynamometry and vertical jump tests.** *J Sports Med Train Rehabil.* 1994;5(2):137-43.
- Rioux BV, Senechal M, Kwok K et al. **Association Between Physical Activity Intensity and Physical Capacity Among Individuals Awaiting Bariatric Surgery.** *Obes Surg.* 2016.
- Ritov VB, Menshikova EV, He J, Ferrell RE, Goodpaster BH, Kelley DE. **Deficiency of subsarcolemmal mitochondria in obesity and type 2 diabetes.** *Diabetes.* 2005;54(1):8-14.
- Rittweger J, Schiessl H, Felsenberg D, Runge M. **Reproducibility of the jumping mechanography as a test of mechanical power output in physically competent adult and elderly subjects.** *J Am Geriatr Soc.* 2004;52(1):128-31.
- Roberts HC, Denison HJ, Martin HJ et al. **A review of the measurement of grip strength in clinical and epidemiological studies: towards a standardised approach.** *Age Ageing.* 2011;40(4):423-9.
- Rojhani-Shirazi Z, Mansoriyan SA, Hosseini SV. **The effect of balance training on clinical balance performance in obese patients aged 20-50 years old undergoing sleeve gastrectomy.** *European Surgery-Acta Chirurgica Austriaca.* 2016;48(2):105-9.
- Rolland Y, Lauwers-Cances V, Pahor M, Fillaux J, Grandjean H, Vellas B. **Muscle strength in obese elderly women: effect of recreational physical activity in a cross-sectional study.** *Am J Clin Nutr.* 2004;79(4):552-7.
- Rosenberg L, Kipping-Ruane KL, Boggs DA, Palmer JR. **Physical activity and the incidence of obesity in young African-American women.** *Am J Prev Med.* 2013;45(3):262-8.
- Rosenberger ME, Haskell WL, Albinali F, Mota S, Nawyn J, Intille S. **Estimating activity and sedentary behavior from an accelerometer on the hip or wrist.** *Med Sci Sports Exerc.* 2013;45(5):964-75.

- Ross R, Blair SN, Arena R et al. **Importance of Assessing Cardiorespiratory Fitness in Clinical Practice: A Case for Fitness as a Clinical Vital Sign: A Scientific Statement From the American Heart Association.** *Circulation*. 2016;134(24):e653-e99.
- Ross R, Bradshaw AJ. **The future of obesity reduction: beyond weight loss.** *Nat Rev Endocrinol*. 2009;5(6):319-25.
- Ross R, Dagnone D, Jones PJ et al. **Reduction in obesity and related comorbid conditions after diet-induced weight loss or exercise-induced weight loss in men. A randomized, controlled trial.** *Ann Intern Med*. 2000;133(2):92-103.
- Ross R, Janssen I, Dawson J et al. **Exercise-induced reduction in obesity and insulin resistance in women: a randomized controlled trial.** *Obes Res*. 2004;12(5):789-98.
- Ross RM, Murthy JN, Wollak ID, Jackson AS. **The six minute walk test accurately estimates mean peak oxygen uptake.** *BMC Pulm Med*. 2010;10:31.
- Rougier PR. **What insights can be gained when analysing the resultant centre of pressure trajectory?** *Neurophysiol Clin*. 2008;38(6):363-73.
- Rouis M, Coudrat L, Jaafar H et al. **Assessment of isokinetic knee strength in elite young female basketball players: correlation with vertical jump.** *J Sports Med Phys Fitness*. 2015;55(12):1502-8.
- Rousset S, Guidoux R, Paris L et al. **A Novel Smartphone Accelerometer Application for Low-Intensity Activity and Energy Expenditure Estimations in Overweight and Obese Adults.** *J Med Syst*. 2017;41(8):117.
- Rubino F, Nathan DM, Eckel RH et al. **Metabolic Surgery in the Treatment Algorithm for Type 2 Diabetes: A Joint Statement by International Diabetes Organizations.** *Diabetes Care*. 2016;39(6):861-77.
- Rudin RS, Bates DW, MacRae C. **Accelerating innovation in health IT.** *N Engl J Med*. 2016;375(9):815-7.
- Ruiz-Tovar J, Carbajo MA, Jimenez JM et al. **Long-term follow-up after sleeve gastrectomy versus Roux-en-Y gastric bypass versus one-anastomosis gastric bypass: a prospective randomized comparative study of weight loss and remission of comorbidities.** *Surg Endosc*. 2018.
- Runhaar J, Koes BW, Clockaerts S, Bierma-Zeinstra SM. **A systematic review on changed biomechanics of lower extremities in obese individuals: a possible role in development of osteoarthritis.** *Obes Rev*. 2011;12(12):1071-82.
- Ryan CG, Grant PM, Tigbe WW, Granat MH. **The validity and reliability of a novel activity monitor as a measure of walking.** *Br J Sports Med*. 2006;40(9):779-84.
- Saint-Maurice PF, Troiano RP, Berrigan D, Kraus WE, Matthews CE. **Volume of Light Versus Moderate-to-Vigorous Physical Activity: Similar Benefits for All-Cause Mortality?** *J Am Heart Assoc*. 2018a;7(7).
- Saint-Maurice PF, Troiano RP, Matthews CE, Kraus WE. **Moderate-to-Vigorous Physical Activity and All-Cause Mortality: Do Bouts Matter?** *J Am Heart Assoc*. 2018b;7(6).
- Sale DG. **Neural adaptation to resistance training.** *Med Sci Sports Exerc*. 1988;20(5 Suppl):S135-45.
- Samitz G, Egger M, Zwahlen M. **Domains of physical activity and all-cause mortality: systematic review and dose-response meta-analysis of cohort studies.** *Int J Epidemiol*. 2011;40(5):1382-400.
- Santé Publique France. **Étude de santé sur l'environnement, la biosurveillance, l'activité physique et la nutrition (ESTEBAN 2014-2016). Volet Nutrition. Chapitre Corpulence.** 2017.
- Saris WH, Blair SN, van Baak MA et al. **How much physical activity is enough to prevent unhealthy weight gain? Outcome of the IASO 1st Stock Conference and consensus statement.** *Obes Rev*. 2003;4(2):101-14.
- Sasaki JE, John D, Freedson PS. **Validation and comparison of ActiGraph activity monitors.** *J Sci Med Sport*. 2011;14(5):411-6.
- Sasson Z, Rasooly Y, Gupta R, Rasooly I. **Left atrial enlargement in healthy obese: prevalence and relation to left ventricular mass and diastolic function.** *Can J Cardiol*. 1996;12(3):257-63.
- Sattelmair J, Pertman J, Ding EL, Kohl HW, 3rd, Haskell W, Lee IM. **Dose response between physical activity and risk of coronary heart disease: a meta-analysis.** *Circulation*. 2011;124(7):789-95.
- Savonen K, Krachler B, Hassinen M et al. **The current standard measure of cardiorespiratory fitness introduces confounding by body mass: the DR's EXTRA study.** *Int J Obes (Lond)*. 2012;36(8):1135-40.
- Schmid D, Ricci C, Baumeister SE, Leitzmann MF. **Replacing Sedentary Time with Physical Activity in Relation to Mortality.** *Med Sci Sports Exerc*. 2016;48(7):1312-9.
- Schmid D, Ricci C, Leitzmann MF. **Associations of objectively assessed physical activity and sedentary time with all-cause mortality in US adults: the NHANES study.** *PLoS One*. 2015;10(3):e0119591.
- Schneider PL, Crouter SE, Lukajic O, Bassett DR, Jr. **Accuracy and reliability of 10 pedometers for measuring steps over a 400-m walk.** *Med Sci Sports Exerc*. 2003;35(10):1779-84.
- Schwingshackl L, Dias S, Strasser B, Hoffmann G. **Impact of different training modalities on anthropometric and metabolic characteristics in overweight/obese subjects: a systematic review and network meta-analysis.** *PLoS One*. 2013;8(12):e82853.

- Seidell JC, Bjorntorp P, Sjostrom L, Sannerstedt R, Krotkiewski M, Kvist H. **Regional distribution of muscle and fat mass in men--new insight into the risk of abdominal obesity using computed tomography.** *Int J Obes.* 1989;13(3):289-303.
- Seres L, Lopez-Ayerbe J, Coll R et al. **Increased exercise capacity after surgically induced weight loss in morbid obesity.** *Obesity (Silver Spring).* 2006;14(2):273-9.
- Shah M, Snell P, Rao S et al. **High-volume exercise program in obese bariatric surgery patients: a randomized, controlled trial.** *Obesity (Silver Spring).* 2011;19(9):1826-34.
- Shephard R. **A history of physical activity measurement in epidemiology.** In: *Shephard RJ and Tudor-Locke C. The objective monitoring of physical activity: contributions of accelerometry to epidemiology, exercise science and rehabilitation* Suisse: Springer; 2016, pp. 39-84.
- Shephard RJ. **Tests of maximum oxygen intake. A critical review.** *Sports Med.* 1984;1(2):99-124.
- Shephard RJ. **Limits to the measurement of habitual physical activity by questionnaires.** *Br J Sports Med.* 2003;37(3):197-206; discussion
- Shepherd EF, Toloza E, McClung CD, Schmalzried TP. **Step activity monitor: increased accuracy in quantifying ambulatory activity.** *J Orthop Res.* 1999;17(5):703-8.
- Shibata AI, Oka K, Sugiyama T, Salmon JO, Dunstan DW, Owen N. **Physical Activity, Television Viewing Time, and 12-Year Changes in Waist Circumference.** *Med Sci Sports Exerc.* 2016;48(4):633-40.
- Shiroma EJ, Lee IM, Schepps MA, Kamada M, Harris TB. **Physical Activity Patterns and Mortality: The Weekend Warrior and Activity Bouts.** *Med Sci Sports Exerc.* 2018.
- Sjostrom L. **Review of the key results from the Swedish Obese Subjects (SOS) trial - a prospective controlled intervention study of bariatric surgery.** *J Intern Med.* 2013;273(3):219-34.
- Sjostrom L, Lindroos AK, Peltonen M et al. **Lifestyle, diabetes, and cardiovascular risk factors 10 years after bariatric surgery.** *N Engl J Med.* 2004;351(26):2683-93.
- Sjostrom L, Narbro K, Sjostrom CD et al. **Effects of bariatric surgery on mortality in Swedish obese subjects.** *N Engl J Med.* 2007;357(8):741-52.
- Sjostrom L, Peltonen M, Jacobson P et al. **Bariatric surgery and long-term cardiovascular events.** *JAMA.* 2012;307(1):56-65.
- Slemenda C, Brandt KD, Heilman DK et al. **Quadriceps weakness and osteoarthritis of the knee.** *Ann Intern Med.* 1997;127(2):97-104.
- Smith KJ, Gall SL, McNaughton SA et al. **Lifestyle behaviours associated with 5-year weight gain in a prospective cohort of Australian adults aged 26-36 years at baseline.** *BMC Public Health.* 2017;17(1):54.
- Sorensen TI. **Conference on "Multidisciplinary approaches to nutritional problems". Symposium on "Diabetes and health". Challenges in the study of causation of obesity.** *Proc Nutr Soc.* 2009;68(1):43-54.
- Springer BA, Marin R, Cyhan T, Roberts H, Gill NW. **Normative values for the unipedal stance test with eyes open and closed.** *J Geriatr Phys Ther.* 2007;30(1):8-15.
- Spyropoulos P, Pisciotto JC, Pavlou KN, Cairns MA, Simon SR. **Biomechanical gait analysis in obese men.** *Arch Phys Med Rehabil.* 1991;72(13):1065-70.
- Stamatakis E, Kelly P, Strain T, Murtagh EM, Ding D, Murphy MH. **Self-rated walking pace and all-cause, cardiovascular disease and cancer mortality: individual participant pooled analysis of 50 225 walkers from 11 population British cohorts.** *Br J Sports Med.* 2018;52(12):761-8.
- Stamatakis E, Rogers K, Ding D et al. **All-cause mortality effects of replacing sedentary time with physical activity and sleeping using an isothermal substitution model: a prospective study of 201,129 mid-aged and older adults.** *Int J Behav Nutr Phys Act.* 2015;12:121.
- Stegen S, Derave W, Calders P, Van Laethem C, Pattyn P. **Physical fitness in morbidly obese patients: effect of gastric bypass surgery and exercise training.** *Obes Surg.* 2011;21(1):61-70.
- Stenholm S, Mehta NK, Elo IT, Heliovaara M, Koskinen S, Aromaa A. **Obesity and muscle strength as long-term determinants of all-cause mortality--a 33-year follow-up of the Mini-Finland Health Examination Survey.** *Int J Obes (Lond).* 2014;38(8):1126-32.
- Stolberg CR, Mundbjerg LH, Funch-Jensen P, Gram B, Bladbjerg EM, Juhl CB. **Effects of gastric bypass surgery followed by supervised physical training on inflammation and endothelial function: A randomized controlled trial.** *Atherosclerosis.* 2018a;273:37-44.
- Stolberg CR, Mundbjerg LH, Funch-Jensen P, Gram B, Juhl CB, Bladbjerg EM. **Effects of gastric bypass followed by a randomized study of physical training on markers of coagulation activation, fibrin clot properties, and fibrinolysis.** *Surg Obes Relat Dis.* 2018b;14(7):918-26.
- Strath SJ, Holleman RG, Ronis DL, Swartz AM, Richardson CR. **Objective physical activity accumulation in bouts and nonbouts and relation to markers of obesity in US adults.** *Prev Chronic Dis.* 2008;5(4):A131.
- Strath SJ, Kaminsky LA, Ainsworth BE et al. **Guide to the assessment of physical activity: Clinical and research applications: a scientific statement from the American Heart Association.** *Circulation.* 2013;128(20):2259-79.

- Stubbs RJ, Hughes DA, Johnstone AM, Horgan GW, King N, Blundell JE. **A decrease in physical activity affects appetite, energy, and nutrient balance in lean men feeding ad libitum.** *Am J Clin Nutr.* 2004;79(1):62-9.
- Sun JW, Zhao LG, Yang Y, Ma X, Wang YY, Xiang YB. **Association Between Television Viewing Time and All-Cause Mortality: A Meta-Analysis of Cohort Studies.** *Am J Epidemiol.* 2015;182(11):908-16.
- Swartz AM, Bassett DR, Jr., Moore JB, Thompson DL, Strath SJ. **Effects of body mass index on the accuracy of an electronic pedometer.** *Int J Sports Med.* 2003;24(8):588-92.
- Swartz AM, Strath SJ, Bassett DR, Jr., O'Brien WL, King GA, Ainsworth BE. **Estimation of energy expenditure using CSA accelerometers at hip and wrist sites.** *Med Sci Sports Exerc.* 2000;32(9 Suppl):S450-6.
- Swift DL, Johannsen NM, Lavie CJ, Earnest CP, Church TS. **The role of exercise and physical activity in weight loss and maintenance.** *Prog Cardiovasc Dis.* 2014;56(4):441-7.
- Swinburn BA, Sacks G, Hall KD et al. **The global obesity pandemic: shaped by global drivers and local environments.** *Lancet.* 2011;378(9793):804-14.
- Tanner CJ, Barakat HA, Dohm GL et al. **Muscle fiber type is associated with obesity and weight loss.** *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 2002;282(6):E1191-6.
- Tauber M. **Maladies rares.** In: Lavoisier editor. *Traité médecine et chirurgie de l'obésité.* Paris2011, pp. 361-9.
- Teasdale N, Hue O, Marcotte J et al. **Reducing weight increases postural stability in obese and morbid obese men.** *Int J Obes (Lond).* 2007;31(1):153-60.
- Teasdale N, Simoneau M, Corbeil P, Handrigan G, Tremblay A, Hue O. **Obesity alters balance and movement control.** *Curr Obes Rep.* 2013;2(3):235-40.
- Tettero OM, Aronson T, Wolf RJ, Nuijten MAH, Hopman MTE, Janssen IMC. **Increase in Physical Activity After Bariatric Surgery Demonstrates Improvement in Weight Loss and Cardiorespiratory Fitness.** *Obes Surg.* 2018.
- Thomas EL, Brynes AE, McCarthy J et al. **Preferential loss of visceral fat following aerobic exercise, measured by magnetic resonance imaging.** *Lipids.* 2000;35(7):769-76.
- Thompson D, Batterham AM, Peacock OJ, Western MJ, Booso R. **Feedback from physical activity monitors is not compatible with current recommendations: A recalibration study.** *Prev Med.* 2016;91:389-94.
- Thorp AA, Owen N, Neuhaus M, Dunstan DW. **Sedentary behaviors and subsequent health outcomes in adults a systematic review of longitudinal studies, 1996-2011.** *Am J Prev Med.* 2011;41(2):207-15.
- Tikkanen E, Gustafsson S, Ingelsson E. **Associations of Fitness, Physical Activity, Strength, and Genetic Risk With Cardiovascular Disease: Longitudinal Analyses in the UK Biobank Study.** *Circulation.* 2018.
- Tomlinson DJ, Erskine RM, Morse CI, Winwood K, Onambele-Pearson G. **The impact of obesity on skeletal muscle strength and structure through adolescence to old age.** *Biogerontology.* 2016;17(3):467-83.
- Tomlinson DJ, Erskine RM, Morse CI, Winwood K, Onambele-Pearson GL. **Combined effects of body composition and ageing on joint torque, muscle activation and co-contraction in sedentary women.** *Age (Dordr).* 2014a;36(3):9652.
- Tomlinson DJ, Erskine RM, Winwood K, Morse CI, Onambele GL. **The impact of obesity on skeletal muscle architecture in untrained young vs. old women.** *J Anat.* 2014b;225(6):675-84.
- Tomlinson DJ, Erskine RM, Winwood K, Morse CI, Onambele GL. **Obesity decreases both whole muscle and fascicle strength in young females but only exacerbates the aging-related whole muscle level asthenia.** *Physiol Rep.* 2014c;2(6).
- Tompkins J, Bosch PR, Chenowith R, Tiede JL, Swain JM. **Changes in functional walking distance and health-related quality of life after gastric bypass surgery.** *Phys Ther.* 2008;88(8):928-35.
- Tong A, Sainsbury P, Craig J. **Consolidated criteria for reporting qualitative research (COREQ): a 32-item checklist for interviews and focus groups.** *Int J Qual Health Care.* 2007;19(6):349-57.
- Tremblay MS, Aubert S, Barnes JD et al. **Sedentary Behavior Research Network (SBRN) - Terminology Consensus Project process and outcome.** *Int J Behav Nutr Phys Act.* 2017;14(1):75.
- Troiano RP, Berrigan D, Dodd KW, Masse LC, Tilert T, McDowell M. **Physical activity in the United States measured by accelerometer.** *Med Sci Sports Exerc.* 2008;40(1):181-8.
- Tsiokanos A, Kellis E, Jamurtas A, Kellis S. **The relationship between jumping performance and isokinetic strength of hip and knee extensors and ankle plantar flexors.** *Isokinetics and Exercise Science.* 2002;10(2):107-15.
- Tucker JM, Welk GJ, Beyler NK. **Physical activity in U.S.: adults compliance with the Physical Activity Guidelines for Americans.** *Am J Prev Med.* 2011;40(4):454-61.
- Tudor-Locke C. **A preliminary study to determine instrument responsiveness to change with a walking program: physical activity logs versus pedometers.** *Res Q Exerc Sport.* 2001;72(3):288-92.
- Tudor-Locke C. **Outputs available from objective monitors.** In: Shephard RJ and Tudor-Locke C. *The objective monitoring of physical activity: contributions of accelerometry to epidemiology, exercise science and rehabilitation.* Suisse: Springer; 2016a, pp. 85-112.

- Tudor-Locke C. **Protocols for data collection, management and treatment.** In: *Shephard RJ and Tudor-Locke C. The objective monitoring of physical activity: contributions of accelerometry to epidemiology, exercise science and rehabilitation.* Suisse: Springer; 2016b, pp. 113-32.
- Tudor-Locke C, Barreira TV, Brouillette RM, Foil HC, Keller JN. **Preliminary comparison of clinical and free-living measures of stepping cadence in older adults.** *J Phys Act Health.* 2013;10(8):1175-80.
- Tudor-Locke C, Barreira TV, Schuna JM, Jr. **Comparison of step outputs for waist and wrist accelerometer attachment sites.** *Med Sci Sports Exerc.* 2015;47(4):839-42.
- Tudor-Locke C, Brashear MM, Johnson WD, Katzmarzyk PT. **Accelerometer profiles of physical activity and inactivity in normal weight, overweight, and obese U.S. men and women.** *Int J Behav Nutr Phys Act.* 2010;7:60.
- Tudor-Locke C, Camhi SM, Leonardi C et al. **Patterns of adult stepping cadence in the 2005-2006 NHANES.** *Prev Med.* 2011a;53(3):178-81.
- Tudor-Locke C, Camhi SM, Troiano RP. **A catalog of rules, variables, and definitions applied to accelerometer data in the National Health and Nutrition Examination Survey, 2003-2006.** *Prev Chronic Dis.* 2012a;9:E113.
- Tudor-Locke C, Han H, Aguiar EJ et al. **How fast is fast enough? Walking cadence (steps/min) as a practical estimate of intensity in adults: a narrative review.** *Br J Sports Med.* 2018;52(12):776-88.
- Tudor-Locke C, Johnson WD, Katzmarzyk PT. **U.S. population profile of time-stamped accelerometer outputs: impact of wear time.** *J Phys Act Health.* 2011b;8(5):693-8.
- Tudor-Locke C, Rowe DA. **Using cadence to study free-living ambulatory behaviour.** *Sports Med.* 2012b;42(5):381-98.
- Ummels D, Beekman E, Theunissen K, Braun S, Beurskens AJ. **Counting Steps in Activities of Daily Living in People With a Chronic Disease Using Nine Commercially Available Fitness Trackers: Cross-Sectional Validity Study.** *JMIR Mhealth Uhealth.* 2018;6(4):e70.
- Umpierre D, Ribeiro PA, Kramer CK et al. **Physical activity advice only or structured exercise training and association with HbA1c levels in type 2 diabetes: a systematic review and meta-analysis.** *JAMA.* 2011;305(17):1790-9.
- Unick JL, Bond DS, Jakicic JM et al. **Comparison of two objective monitors for assessing physical activity and sedentary behaviors in bariatric surgery patients.** *Obes Surg.* 2012;22(3):347-52.
- Valezi AC, Machado VH. **Morphofunctional evaluation of the heart of obese patients before and after bariatric surgery.** *Obes Surg.* 2011;21(11):1693-7.
- Vargas CB, Picolli F, Dani C, Padoin AV, Mottin CC. **Functioning of obese individuals in pre- and postoperative periods of bariatric surgery.** *Obes Surg.* 2013;23(10):1590-5.
- Vatier C, Henegar C, Ciangura C et al. **Dynamic relations between sedentary behavior, physical activity, and body composition after bariatric surgery.** *Obes Surg.* 2012;22(8):1251-6.
- Vereeck L, Wuyts F, Truijien S, Van de Heyning P. **Clinical assessment of balance: normative data, and gender and age effects.** *Int J Audiol.* 2008;47(2):67-75.
- Verger EO, Aron-Wisniewsky J, Dao MC et al. **Micronutrient and Protein Deficiencies After Gastric Bypass and Sleeve Gastrectomy: a 1-year Follow-up.** *Obes Surg.* 2016;26(4):785-96.
- Verhagen AP, de Vet HC, de Bie RA et al. **The Delphi list: a criteria list for quality assessment of randomized clinical trials for conducting systematic reviews developed by Delphi consensus.** *J Clin Epidemiol.* 1998;51(12):1235-41.
- Vermathen P, Kreis R, Boesch C. **Distribution of intramyocellular lipids in human calf muscles as determined by MR spectroscopic imaging.** *Magn Reson Med.* 2004;51(2):253-62.
- Verreijen AM, Verlaan S, Engberink MF, Swinkels S, de Vogel-van den Bosch J, Weijs PJ. **A high whey protein-, leucine-, and vitamin D-enriched supplement preserves muscle mass during intentional weight loss in obese older adults: a double-blind randomized controlled trial.** *Am J Clin Nutr.* 2015;101(2):279-86.
- Villablanca PA, Alegria JR, Mookadam F, Holmes DR, Jr., Wright RS, Levine JA. **Nonexercise activity thermogenesis in obesity management.** *Mayo Clin Proc.* 2015;90(4):509-19.
- Vincent HK, Ben-David K, Conrad BP, Lamb KM, Seay AN, Vincent KR. **Rapid changes in gait, musculoskeletal pain, and quality of life after bariatric surgery.** *Surg Obes Relat Dis.* 2012;8(3):346-54.
- Vismara L, Cimolin V, Grugni G et al. **Effectiveness of a 6-month home-based training program in Prader-Willi patients.** *Res Dev Disabil.* 2010;31(6):1373-9.
- Vismara L, Romei M, Galli M et al. **Clinical implications of gait analysis in the rehabilitation of adult patients with "Prader-Willi" Syndrome: a cross-sectional comparative study ("Prader-Willi" Syndrome vs matched obese patients and healthy subjects).** *J Neuroeng Rehabil.* 2007;4:14.
- Vuillemin A, Speyer E, Simon C, Ainsworth B, Paineau D. **Revue critique des questionnaires d'activité physique administrés en population française et perspectives de développement.** *Cahiers de Nutrition et de Diététique.* 2012;47:234-41.

- Wadstrom C, Larsson L, Knutsson E, Edstrom L. **The effect of excessive weight loss on skeletal muscle in man. A study of obese patients following gastroplasty.** *Eur J Surg.* 1991;157(5):347-54.
- Wahid A, Manek N, Nichols M et al. **Quantifying the Association Between Physical Activity and Cardiovascular Disease and Diabetes: A Systematic Review and Meta-Analysis.** *J Am Heart Assoc.* 2016;5(9).
- Waldburger R, Schultes B, Zazai R et al. **Comprehensive assessment of physical functioning in bariatric surgery candidates compared with subjects without obesity.** *Surg Obes Relat Dis.* 2016;12(3):642-50.
- Warburton DE, Charlesworth S, Ivey A, Nettlefold L, Bredin SS. **A systematic review of the evidence for Canada's Physical Activity Guidelines for Adults.** *Int J Behav Nutr Phys Act.* 2010;7:39.
- Washburn RA, Szabo AN, Lambourne K et al. **Does the method of weight loss effect long-term changes in weight, body composition or chronic disease risk factors in overweight or obese adults? A systematic review.** *PLoS One.* 2014;9(10):e109849.
- Wearing SC, Hennig EM, Byrne NM, Steele JR, Hills AP. **The biomechanics of restricted movement in adult obesity.** *Obes Rev.* 2006a;7(1):13-24.
- Wearing SC, Hennig EM, Byrne NM, Steele JR, Hills AP. **Musculoskeletal disorders associated with obesity: a biomechanical perspective.** *Obes Rev.* 2006b;7(3):239-50.
- Webster KE, Wittwer JE, Feller JA. **Validity of the GAITRite walkway system for the measurement of averaged and individual step parameters of gait.** *Gait Posture.* 2005;22(4):317-21.
- Wefers JF, Woodlief TL, Carnero EA et al. **Relationship among physical activity, sedentary behaviors, and cardiometabolic risk factors during gastric bypass surgery-induced weight loss.** *Surg Obes Relat Dis.* 2016.
- Weiss EP, Jordan RC, Frese EM, Albert SG, Villareal DT. **Effects of Weight Loss on Lean Mass, Strength, Bone, and Aerobic Capacity.** *Med Sci Sports Exerc.* 2016.
- Welch WA, Alexander NB, Swartz AM, Miller NE, Twardzik E, Strath SJ. **Individualized Estimation of Physical Activity in Older Adults with Type 2 Diabetes.** *Med Sci Sports Exerc.* 2017;49(11):2185-90.
- Welk GJ, Blair SN, Wood K, Jones S, Thompson RW. **A comparative evaluation of three accelerometry-based physical activity monitors.** *Med Sci Sports Exerc.* 2000;32(9 Suppl):S489-97.
- Weston KS, Wisloff U, Coombes JS. **High-intensity interval training in patients with lifestyle-induced cardiometabolic disease: a systematic review and meta-analysis.** *Br J Sports Med.* 2014;48(16):1227-34.
- Whelton PK, Carey RM, Aronow WS et al. **2017 ACC/AHA/AAPA/ABC/ACPM/AGS/APhA/ASH/ASPC/NMA/PCNA Guideline for the Prevention, Detection, Evaluation, and Management of High Blood Pressure in Adults: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Clinical Practice Guidelines.** *J Am Coll Cardiol.* 2017.
- Wijndaele K, Sharp SJ, Wareham NJ, Brage S. **Mortality Risk Reductions from Substituting Screen Time by Discretionary Activities.** *Med Sci Sports Exerc.* 2017;49(6):1111-9.
- Wiklund M, Olséna MF, Olbers T, Cider A. **Physical Fitness and Physical Activity in Swedish Women before and one Year after Roux-en-Y Gastric Bypass Surgery.** *Open Obes J.* 2014;6:38-43.
- Williams PT. **Maintaining vigorous activity attenuates 7-yr weight gain in 8340 runners.** *Med Sci Sports Exerc.* 2007;39(5):801-9.
- Wilmot EG, Edwardson CL, Achana FA et al. **Sedentary time in adults and the association with diabetes, cardiovascular disease and death: systematic review and meta-analysis.** *Diabetologia.* 2012;55(11):2895-905.
- Wilms B, Ernst B, Thurnheer M, Weisser B, Schultes B. **Differential changes in exercise performance after massive weight loss induced by bariatric surgery.** *Obes Surg.* 2013;23(3):365-71.
- Wing RR. **Physical activity in the treatment of the adulthood overweight and obesity: current evidence and research issues.** *Med Sci Sports Exerc.* 1999;31(11 Suppl):S547-52.
- Wisloff U, Castagna C, Helgerud J, Jones R, Hoff J. **Strong correlation of maximal squat strength with sprint performance and vertical jump height in elite soccer players.** *Br J Sports Med.* 2004;38(3):285-8.
- Wolff-Hughes DL, Fitzhugh EC, Bassett DR, Churilla JR. **Total Activity Counts and Bouted Minutes of Moderate-to-Vigorous Physical Activity: Relationships With Cardiometabolic Biomarkers Using 2003-2006 NHANES.** *J Phys Act Health.* 2015;12(5):694-700.
- Woodcock J, Franco OH, Orsini N, Roberts I. **Non-vigorous physical activity and all-cause mortality: systematic review and meta-analysis of cohort studies.** *Int J Epidemiol.* 2011;40(1):121-38.
- Woodlief TL, Carnero EA, Standley RA et al. **Dose response of exercise training following roux-en-Y gastric bypass surgery: A randomized trial.** *Obesity (Silver Spring).* 2015;23(12):2454-61.
- Woods SG, Knehans A, Arnold S et al. **The associations between diet and physical activity with body composition and walking a timed distance in adults with Prader-Willi syndrome.** *Food Nutr Res.* 2018;62.

- Yanovski SZ, Yanovski JA. **Toward Precision Approaches for the Prevention and Treatment of Obesity.** *JAMA.* 2018;319(3):223-4.
- Yates T, Zaccardi F, Dhalwani NN et al. **Association of walking pace and handgrip strength with all-cause, cardiovascular, and cancer mortality: a UK Biobank observational study.** *Eur Heart J.* 2017.
- Yngve A, Nilsson A, Sjoström M, Ekelund U. **Effect of monitor placement and of activity setting on the MTI accelerometer output.** *Med Sci Sports Exerc.* 2003;35(2):320-6.
- Zheng H, Orsini N, Amin J, Wolk A, Nguyen VT, Ehrlich F. **Quantifying the dose-response of walking in reducing coronary heart disease risk: meta-analysis.** *Eur J Epidemiol.* 2009;24(4):181-92.

ANNEXES

Annexe 1 - Questionnaire STAQ

Partie A : Activités à la maison

Au cours des 4 dernières semaines, combien de temps avez-vous consacré en moyenne à des activités ménagères d'intensité moyenne ou élevée à la maison (telles que passer l'aspirateur, laver les sols ou toute autre activité demandant des efforts comparables) : | heures | minutes par semaine

Adresse de votre domicile principal

Rue : _____
 Code postal : |||||
 Commune : _____
 Département : _____
 Pays : _____

Partie B : Activités au travail / études

Avez-vous effectué un travail rémunéré ou bénévole au cours des 4 dernières semaines OU êtes-vous étudiant ?

Oui Non

Si vous n'avez effectué aucun travail rémunéré ou bénévole au cours des 4 dernières semaines OU si n'êtes pas étudiant passez directement à la « Partie C : Déplacements ».

Au cours des 4 dernières semaines combien de temps avez-vous travaillé **au total** (travail rémunéré ou bénévole, études, formation, stages...). **Indiquer le nombre d'heures par semaine sans compter le temps des trajets travail/domicile**

Il y a 4 semaines | H
 Il y a 3 semaines | H
 Il y a 2 semaines | H
 Il y a 1 semaine | H

Type de travail

Nous aimerions connaître le type et la quantité d'activité physique exercée à votre travail. A partir des 4 options qui vous sont offertes, **cochez** celle qui correspond **le mieux à l'ensemble de vos activités au travail** (ou dans le cadre de vos études) **au cours des 4 dernières semaines** :

Activité professionnelle sédentaire (vous êtes assis la plupart du temps)

Activité professionnelle debout (vous êtes debout la plupart du temps sans effort physique intense)
 Par exemple : vendeur, coiffeur, gardien

Travail manuel (votre travail implique des efforts physiques – manutention, utilisation d'outils)
 Par exemple : plombier, électricien, charpentier

Travail manuel intense (votre travail implique des activités physiques très intenses)
 Par exemple : docker, mineur, ouvrier du bâtiment

Placez sur l'échelle de **1 (travail très sédentaire)** à **5 (activité intense)**, l'intensité de l'activité physique demandée par votre travail. Veuillez cocher une seule des options suivantes :

1. Le plus souvent assis
2. Combinaison assis/debout
3. Le plus souvent debout
4. Un peu d'activité physique
5. Travail manuel intense

Partie C : Déplacements

Au cours des 4 dernières semaines quel mode de déplacement avez-vous utilisé **le plus souvent** (en dehors des promenades pour le plaisir ou les loisirs) ?

Veillez cocher une seule case.

- Voiture/Véhicule motorisé
- Transport en commun
- Marche
- Vélo
- Autre transport actif (trottinette, rollers...)

Si vous n'avez effectué aucun travail rémunéré ou bénévole au cours des 4 dernières semaines OU si n'êtes pas étudiant passez directement à la « Section 3 : Déplacements quotidiens utilitaires autres que ceux liés à votre travail etc. ».

Section C.1 : Trajets vers et depuis votre lieu de travail

Pour évaluer vos déplacements vers et depuis votre (vos) lieu(x) de travail habituel(s), indiquer l'adresse de votre lieu de travail principal :

Adresse de votre lieu de travail principal :

Rue : _____

Code postal : |_|_|_|_|_|

Commune : _____

Département : _____

Pays : _____

Au cours des 4 dernières semaines, combien de fois par semaine vous êtes-vous déplacé depuis votre domicile jusqu'au travail (pour l'ensemble de vos activités professionnelles) ?

Nombre de fois/semaine (reportez uniquement les allers) |_|_|

Nous allons maintenant vous demander de préciser combien de fois et combien de temps vous avez utilisé chacun de ces modes de déplacements dans différentes situations.

Indiquez dans le tableau suivant **le nombre de jours par semaine** où vous avez utilisé, **au cours des 4 dernières semaines**, chacun des modes de déplacement suivants pour vous rendre à (et/ou revenir de votre travail)

	Nombre de jours par semaine
Voiture / véhicule motorisé	_
Transport en commun	_
Marche	_
Vélo	_
Autre transport actif (trottinette, rollers)	_

Indiquez maintenant pour chacun des modes de déplacement, la durée moyenne d'utilisation pour vous rendre (revenir de) à votre travail

	Durée moyenne par jour
Voiture / véhicule motorisé	_ _ H _ _ min
Transport en commun	_ _ H _ _ min
Marche	_ _ H _ _ min
Vélo	_ _ H _ _ min
Autre transport (trottinette, rollers)	_ _ H _ _ min

Section C.2 : Déplacements professionnels en dehors de votre lieu de travail habituel

Au cours de votre travail êtes-vous amené à vous déplacer à l'extérieur de votre lieu de travail habituel en dehors des trajets domicile/travail (par exemple pour un rendez-vous client, une visite de site etc.)?

Oui Non

Si **OUI**, merci de compléter les deux tableaux suivants. Indiquez dans le premier tableau **le nombre de jours par semaine** où vous avez utilisé, au cours des **4 dernières semaines**, chacun des modes de déplacement suivants pour des déplacements professionnels **en dehors de votre lieu de travail habituel** (par exemple pour un rendez-vous client, une visite de site etc.)?

	Nombre de jours par semaine
Voiture / véhicule motorisé	__ __
Transport en commun	__ __
Marche	__ __
Vélo	__ __
Autre transport actif (trottinette, rollers)	__ __

Indiquez maintenant pour chacun des modes de déplacement, **la durée moyenne** d'utilisation pour des déplacements professionnels **en dehors de votre lieu de travail habituel**

	Durée moyenne des déplacements (Hr /min)
Voiture / véhicule motorisé	__ __ H __ __ min
Transport en commun	__ __ H __ __ min
Marche	__ __ H __ __ min
Vélo	__ __ H __ __ min
Autre transport actif (trottinette, rollers)	__ __ H __ __ min

Section C.3 : Déplacements quotidiens utilitaires autres que ceux liés à votre travail et à l'exclusion des promenades pour le plaisir ou les loisirs.

Veillez indiquer dans le tableau suivant **le nombre de jours par semaine** où vous avez utilisé, **au cours des 4 dernières semaines**, chacun des modes de déplacement suivants pour vos déplacements quotidiens utilitaires, autres que les déplacements liés à votre travail et à l'exclusion des promenades pour le plaisir ou les loisirs: **par exemple déplacements pour faire des courses (achats alimentaires, poste, bibliothèque, etc.), accompagner les enfants à l'école, rendre visite à un ami/famille, ou aller au cinéma.**

	Nombre de jours par semaine
Voiture / véhicule motorisé	__ __
Transport en commun	__ __
Marche	__ __
Vélo	__ __
Autre transport actif (trottinette, rollers)	__ __

Indiquez maintenant pour chacun des modes de déplacement, **la durée moyenne** d'utilisation pour des déplacements quotidiens utilitaires : **par exemple déplacements pour faire des courses (achats alimentaires, poste, bibliothèque, etc.), accompagner les enfants à l'école, rendre visite à un ami/famille, ou aller au cinéma.**

	Durée moyenne des déplacements (Hr /min)
Voiture / véhicule motorisé	__ __ H __ __ min
Transport en commun	__ __ H __ __ min
Marche	__ __ H __ __ min
Vélo	__ __ H __ __ min
Autre transport actif (trottinette, rollers)	__ __ H __ __ min

Au cours **des 4 dernières semaines**, combien de temps **par jour** avez-vous passé en moyenne à ces activités pendant votre **temps libre (à l'exclusion des heures de travail)**

	Jours travaillés											Jours de repos													
	0 à 15 min/jour	15 à 30 min/jour	30 à 60 min/jour	1h à 2h jour	2h à 3h jour	3h à 4h jour	4h à 5h jour	5h à 6h jour	6h à 9h jour	9h à 12h jour	12h à 15h jour	Plus de 15h jour	0 à 15 min jour	15 à 30 min jour	30 à 60 min jour	1h à 2h jour	2h à 3h jour	3h à 4h jour	4h à 5h jour	5h à 6h jour	6h à 9h jour	9h à 12h jour	12h à 15h jour	Plus de 15h jour	
Regarder la télévision, des DVD ou autres vidéos																									
Utiliser un ordinateur, une tablette informatique, une console de jeux vidéo inactifs																									
Jouer à des jeux vidéo actifs (type Wii®, Kinect®,)																									
Etre assis pour lire, écrire, coudre, tricoter, broder....																									

Partie E : Activité physique globale

Vous considérez-vous comme une personne active physiquement ?

Oui Non

Pratiquez-vous une activité physique pour des raisons de santé ?

Oui Non

Avez-vous grandi dans une famille accordant de la valeur à l'activité physique en général, et au sport, en particulier ?

- Oui beaucoup
 Oui un peu
 Non

Pensez-vous que, pour une bonne hygiène de vie, la pratique régulière d'une activité physique est ...

- Très importante
 Importante
 Moyennement importante
 Peu importante
 Sans intérêt
 Ne sait pas

Temps passé assis

Lors des 4 dernières semaines, combien de temps par jour avez-vous passé assis, en moyenne :

	Jours travaillés											Jours de repos													
	0 à 15 min/jour	15 à 30 min/jour	30 à 60 min jour	1h à 2h jour	2h à 3h jour	3h à 4h jour	4h à 5h jour	5h à 6h jour	6h à 9h jour	9h à 12h jour	12h à 15h jour	Plus de 15h jour	0 à 15 min jour	15 à 30 min jour	30 à 60 min jour	1h à 2h jour	2h à 3h jour	3h à 4h jour	4h à 5h jour	5h à 6h jour	6h à 9h jour	9h à 12h jour	12h à 15h jour	Plus de 15h jour	
Dans les transports et trajets																									
Durant le travail												Non applicable													
Pendant le temps libre et les loisirs (télé, ordinateur, lecture, etc.)																									
Dans les transports et trajets																									

Utilisation des escaliers

Veillez indiquer le nombre de fois par jour où vous avez monté une volée d'escalier (environ 10 marches) en moyenne par jour au cours des 4 dernières semaines.

Veillez cocher une case (✓) à chaque ligne.

Nombre de fois par jour où vous avez monté une volée d'escalier (environ 10 marches)	En moyenne par jour au cours des 4 dernières semaines					
	Aucune	1 à 5 fois/jour	6 à 10 fois/jour	11 à 15 fois/jour	16 à 20 fois/jour	Plus de 20 fois/jour
Pour les jours de la semaine						
Pour les jours du week-end						

Question finale

Les **quatre dernières semaines** correspondent-elles à des semaines représentatives de votre activité physique habituelle ? Oui Non
 Merci de préciser pourquoi

.....

Annexe 2 - Questionnaire WOMAC

DOMAINE DOULEUR

Quelle est l'importance de la douleur ?

1- Lorsque vous marchez sur une surface plane ?

0 (nulle) 1 (minime) 2 (modérée) 3 (sévère) 4 (extrême)

2- Lorsque vous montez ou descendez les escaliers ?

0 (nulle) 1 (minime) 2 (modérée) 3 (sévère) 4 (extrême)

3- La nuit, lorsque vous êtes au lit ?

0 (nulle) 1 (minime) 2 (modérée) 3 (sévère) 4 (extrême)

4- Lorsque vous vous levez d'une chaise ou vous asseyez ?

0 (nulle) 1 (minime) 2 (modérée) 3 (sévère) 4 (extrême)

5- Lorsque vous vous tenez debout ?

0 (nulle) 1 (minime) 2 (modérée) 3 (sévère) 4 (extrême)

DOMAINE RAIDEUR

1- Quelle est l'importance de la raideur de votre articulation lorsque vous vous levez le matin ?

0 (nulle) 1 (minime) 2 (modérée) 3 (sévère) 4 (extrême)

2- Quelle est l'importance de la raideur de votre articulation lorsque vous bougez après vous être assis, couché ou reposé durant la journée ?

0 (nulle) 1 (minime) 2 (modérée) 3 (sévère) 4 (extrême)

DOMAINE FONCTION

1- Descendre les escaliers ?

0 (nulle) 1 (minime) 2 (modérée) 3 (sévère) 4 (extrême)

2- Monter les escaliers ?

0 (nulle) 1 (minime) 2 (modérée) 3 (sévère) 4 (extrême)

3- Vous relever de la position assise ?

0 (nulle) 1 (minime) 2 (modérée) 3 (sévère) 4 (extrême)

4- Vous tenir debout ?

0 (nulle) 1 (minime) 2 (modérée) 3 (sévère) 4 (extrême)

5- Vous pencher en avant ?

0 (nulle) 1 (minime) 2 (modérée) 3 (sévère) 4 (extrême)

6- Marcher en terrain plat ?

0 (nulle) 1 (minime) 2 (modérée) 3 (sévère) 4 (extrême)

7- Entrer et sortir d'une voiture ?

0 (nulle) 1 (minime) 2 (modérée) 3 (sévère) 4 (extrême)

8- Faire vos courses ?

0 (nulle) 1 (minime) 2 (modérée) 3 (sévère) 4 (extrême)

9- Enfiler collants ou chaussettes ?

0 (nulle) 1 (minime) 2 (modérée) 3 (sévère) 4 (extrême)

10- Sortir du lit ?

0 (nulle) 1 (minime) 2 (modérée) 3 (sévère) 4 (extrême)

11- Enlever vos collants ou vos chaussettes ?

0 (nulle) 1 (minime) 2 (modérée) 3 (sévère) 4 (extrême)

12- Vous étendre sur le lit ?

0 (nulle) 1 (minime) 2 (modérée) 3 (sévère) 4 (extrême)

13- Entrer ou sortir d'une baignoire ?

0 (nulle) 1 (minime) 2 (modérée) 3 (sévère) 4 (extrême)

14- Vous asseoir ?

0 (nulle) 1 (minime) 2 (modérée) 3 (sévère) 4 (extrême)

15- Vous asseoir et vous relever des toilettes ?

0 (nulle) 1 (minime) 2 (modérée) 3 (sévère) 4 (extrême)

16- Faire le ménage " à fond " de votre domicile ?

0 (nulle) 1 (minime) 2 (modérée) 3 (sévère) 4 (extrême)

17- Faire l'entretien quotidien de votre domicile ?

0 (nulle) 1 (minime) 2 (modérée) 3 (sévère) 4 (extrême)

Annexe 3 - Questionnaire MFI-20

Parmi les questions suivantes, entourez un numéro entre 1 et 5 qui s'applique le mieux à ce que vous ressentez ces jours-ci.

1- Je me sens en forme

1 (oui, c'est vrai) 2 3 4 5 (non, ce n'est pas vrai)

2- Physiquement je ne me sens capable que de très peu

1 (oui, c'est vrai) 2 3 4 5 (non, ce n'est pas vrai)

3- Je me sens très actif(ve)

1 (oui, c'est vrai) 2 3 4 5 (non, ce n'est pas vrai)

4- J'ai envie de faire plein de choses agréables

1 (oui, c'est vrai) 2 3 4 5 (non, ce n'est pas vrai)

5- Je me sens las(se)

1 (oui, c'est vrai) 2 3 4 5 (non, ce n'est pas vrai)

6- Je crois que j'en fais beaucoup dans la journée

1 (oui, c'est vrai) 2 3 4 5 (non, ce n'est pas vrai)

7- Quand je fais quelque chose, je peux m'y concentrer

1 (oui, c'est vrai) 2 3 4 5 (non, ce n'est pas vrai)

8- Je redoute d'avoir quelque chose à faire

1 (oui, c'est vrai) 2 3 4 5 (non, ce n'est pas vrai)

9- Je me sens faible

1 (oui, c'est vrai) 2 3 4 5 (non, ce n'est pas vrai)

10- Je crois que je fais très peu dans la journée

1 (oui, c'est vrai) 2 3 4 5 (non, ce n'est pas vrai)

11- Je me concentre bien

1 (oui, c'est vrai) 2 3 4 5 (non, ce n'est pas vrai)

12- Je suis reposé(e)

1 (oui, c'est vrai) 2 3 4 5 (non, ce n'est pas vrai)

13- Il me faut beaucoup d'efforts pour me concentrer

1 (oui, c'est vrai) 2 3 4 5 (non, ce n'est pas vrai)

14- Physiquement, je me sens en mauvaise condition

1 (oui, c'est vrai) 2 3 4 5 (non, ce n'est pas vrai)

15- J'ai beaucoup de projets

1 (oui, c'est vrai) 2 3 4 5 (non, ce n'est pas vrai)

16- Je me fatigue facilement

1 (oui, c'est vrai) 2 3 4 5 (non, ce n'est pas vrai)

17- Je n'achève que très peu de choses

1 (oui, c'est vrai) 2 3 4 5 (non, ce n'est pas vrai)

18- J'ai envie de ne rien faire

1 (oui, c'est vrai) 2 3 4 5 (non, ce n'est pas vrai)

19- Mes pensées s'égarer facilement

1 (oui, c'est vrai) 2 3 4 5 (non, ce n'est pas vrai)

20- Physiquement, je me sens en excellente forme

1 (oui, c'est vrai) 2 3 4 5 (non, ce n'est pas vrai)

Annexe 4 - Article n°1 (*Obesity Reviews* 2018)

Effectiveness of exercise training after bariatric surgery – A systematic literature review and meta-analysis. *Obesity Reviews*

Names and affiliations

Alice BELLICHA^{1,2}, Cécile CIANGURA^{1,3}, Christine POITOU^{1,3,4}, Pierre PORTERO², Jean-Michel OPPERT^{1,3}

1- Laboratory Bioengineering, Tissues and Neuroplasticity (BIOTN EA7377), University Paris-Est, Créteil, France

2- Institute of Cardiometabolism and Nutrition (ICAN), Sorbonne University, Paris, France

3- AP-HP, Pitie-Salpetriere University Hospital, Department of Nutrition, Sorbonne University, Centre for Research on Human Nutrition Ile-de-France (CRNH IdF), Paris, France

4- INSERM, UMRS NutriOmics Team, Paris, France

Obesity Treatment

Effectiveness of exercise training after bariatric surgery—a systematic literature review and meta-analysis

A. Bellicha^{1,2} , C. Ciangura^{2,3}, C. Poitou^{2,3,4}, P. Portero¹ and J.-M. Oppert^{2,3} 

¹Laboratory Bioengineering, Tissues and Neuroplasticity (BIOTN EA7377), University Paris-Est, Créteil, France; ²Institute of Cardiometabolism and Nutrition (ICAN), Sorbonne University, Paris, France; ³AP-HP, Pitié-Salpêtrière University Hospital, Department of Nutrition, Sorbonne University, Centre for Research on Human Nutrition Ile-de-France (CRNH IdF), Paris, France; and ⁴INSERM, UMRS NutriOmics Team, Paris, France

Received 21 February 2018; revised 18 May 2018; accepted 9 June 2018

Address for correspondence: J-M Oppert, MD, PhD, AP-HP, Pitié-Salpêtrière University Hospital, Department of Nutrition, Sorbonne University, Centre for Research on Human Nutrition Ile-de-France (CRNH IdF), Hôpital Pitié-Salpêtrière, Service de Nutrition, 47-83 Boulevard de l'Hôpital, 75013 Paris, France. E-mail: jean-michel.oppert@aphp.fr

Summary

We aimed to conduct a systematic review and meta-analysis of controlled trials assessing exercise training programs in patients with obesity undergoing bariatric surgery. We systematically searched exercise training studies performed after bariatric surgery published up to June 2017. Studies reporting changes in body composition, physical fitness, functional capacity, objectively measured physical activity, quality of life or relevant health outcomes were included. The review protocol is available from PROSPERO (CRD42017069380). Meta-analyses were conducted using random-effects models when data were available from at least five articles. Twenty articles were included, describing 16 exercise training programs, of which 15 were included in the meta-analysis. Overall, exercise training was associated with higher weight loss (mean difference: -2.4 kg, 95% CI: -4.2 ; -0.6 , $I^2 = 49%$, $n = 12$), higher fat mass loss (-2.7 kg, 95% CI: -4.5 ; -1.0 , $I^2 = 50%$, $n = 8$) and improved VO_2 max and functional walking (standardized mean difference: 0.86 , 95% CI: 0.29 ; 1.44 , $I^2 = 57%$, $n = 6$; 1.45 , 95% CI: 0.32 ; 2.58 , $I^2 = 89%$, $n = 6$, respectively). Exercise training was not associated with lean body mass changes. In conclusion, exercise training programs performed after bariatric surgery were found effective to optimize weight loss and fat mass loss and to improve physical fitness, although no additional effect on lean body mass loss was found.

Keywords: Bariatric surgery, exercise training, obesity, physical activity.

Introduction

Bariatric surgery is increasingly performed in patients with severe obesity worldwide and in Europe (1). Bariatric surgery leads to marked weight loss, decreased morbidity and mortality, and improved quality of life and physical function (2–4). Clinical guidelines emphasize the need for lifestyle changes, including regular physical activity, to enhance health benefits (5). Objectively measured physical activity data indicate that most patients undergoing obesity surgery have insufficient levels of physical activity (6), suggesting important potential benefits of physical activity interventions in these patients.

Emerging evidence suggests that physical activity might provide important health benefits after obesity surgery. A

positive relationship between self-reported physical activity and the amount of weight loss has been described in a previous review published in 2011 (7). However, evidence came from observational studies only. Two recent reviews published in 2015, synthesizing findings from five (8) and eight (9) intervention studies published at that time, suggested that exercise performed before or after surgery might improve physical fitness and metabolic health, without additional benefits on anthropometry and body composition (8,9). However, both controlled and non-controlled studies were included, which represents a major bias given that bariatric surgery in itself is associated with decreased fat mass and lean body mass (10), improved cardiorespiratory fitness (4) and decreased muscle strength (4).

In addition, the number of studies was insufficient to conduct a meta-analysis. Most recently, a number of controlled trials have described the effects of exercise training on various outcomes related to body composition, physical capacity or health status (11–20). Therefore, a systematic updated overview of this topic, complemented by a meta-analysis, is relevant.

The aim of this review was to propose an updated overview and meta-analysis of the effectiveness of exercise training in patients with severe obesity undergoing bariatric surgery.

Materials and methods

Literature search, selection of studies and data extraction

The systematic review protocol is available from PROSPERO (PROSPERO 2017: CRD42017069380). The literature search was performed in June 2017, using four electronic databases (PubMed, Web of Science, Cochrane Library and EMBASE). Combinations of terms related to bariatric surgery ('bariatric surgery', 'obesity surgery', 'metabolic surgery', 'Roux-en-Y', 'gastric bypass', 'sleeve gastrectomy', 'gastric banding', 'duodenal switch') and to physical activity ('physical activity', 'exercise', 'sedentary', 'endurance', 'resistance training', 'aerobic', 'fitness', 'muscle strength', 'physical capacity') were used in the search. The reference lists of included articles and review articles were also scanned for further eligible studies. The initial inclusion criterion was the implementation of an exercise training program in adult patients with obesity undergoing bariatric surgery. Other inclusion criteria were as follows: (1) articles written in English, (2) controlled trials comparing patients undergoing bariatric surgery receiving either usual care or usual care and exercise training, (3) patients undergoing gastric bypass, sleeve gastrectomy, gastric banding, biliopancreatic diversion or duodenal switch, (4) intervention conducted after bariatric surgery and (5) pre-intervention to post-intervention changes reported for at least one of the following outcomes: anthropometry or body composition, objectively measured physical activity or physical capacity, health-related quality of life, relevant other health outcomes.

The characteristics of included articles were extracted by one reviewer (AB) and checked by a second reviewer (JMO), and included authors, journal, year of publication, study design, sample size, surgical procedure, description of intervention, outcomes, assessment tools, times of measurement and main findings. Emphasis was placed on the description of intervention. The TIDierR checklist (including 12 items: brief name, why, what materials and procedures, who provided, how, where, when and how much, tailoring, modification of intervention throughout trial, strategies to improve or maintain intervention fidelity and extent of intervention fidelity) was used for description of interventions both in exercise and control groups (21).

Quality assessment

The methodological quality of included studies was scored using the Physiotherapy Evidence Database (PEDro) scale (<https://www.pedro.org.au/>) (22). The PEDro scale has been used extensively to assess rehabilitation programs and exercise training interventions (9,23). The PEDro scale is an 11-item checklist (specification of eligibility criteria, random allocation, concealed allocation, baseline comparability, blind subjects, blind therapists, blind assessor, adequate follow up, intention-to-treat-analysis, between groups comparisons, point estimates and variability) receiving a 'yes' or 'no' rating. The total score ranges from 0 to 10 since the first item is not included in the calculation. Trials with a score < 4 were classified as poor-quality, 4–5 as fair-quality, 6–8 as good-quality and ≥ 9 as excellent-quality (9). Quality of each included study was assessed independently by two reviewers (AB, JMO). When opinions differed, consensus was reached through discussion.

Reporting of findings

We reported changes in anthropometry, body composition, physical fitness, functional capacity, objectively measured physical activity, quality of life and health outcomes after exercise training for each individual study (Table S1). Physical fitness included cardiorespiratory fitness (assessed by a maximal exercise test) and maximal muscle strength. Functional capacity was assessed with field-based fitness assessments (e.g. 6-min walk test, sit-to-stand test, half-squat test, arm curl test, chair sit-and-reach test, 8-foot up-and-go). Functional walking refers to the distance walked during walking tests. To facilitate the synthesis of results, we grouped related metabolic outcomes into broader categories, e.g. fasting or postprandial glucose and insulin, HOMA-IR, insulin sensitivity, insulin responsiveness were grouped into a category named 'glucose metabolism'; or total, LDL-cholesterol or HDL-cholesterol and triglycerides into the 'lipid profile' category.

When several follow-up measurements were conducted, we reported results from the first assessment after the end of the exercise training. When results of a single trial were reported in several studies (e.g. the trial by Coen et al. (24) was followed by a series of studies (12,18,25,26)), we selected results from the parent trial or from the study with the largest sample size.

Data analysis

We performed meta-analyses using Review Manager version 5.3 when data were available from at least five studies. We reported the mean and standard deviation (SD) of absolute changes in body mass, fat mass, lean body mass, VO_2 max and functional walking (results of walking tests). Absolute changes were calculated as differences between arithmetic means before and after intervention. Transformation methods

were used for studies that did not provide the SD of absolute change but provided the exact *p*-value for intra-group or inter-group analyses, as suggested by the Cochrane Handbook for systematic reviews of interventions (27). One study was not included in the meta-analysis due to insufficient data despite attempts to contact the study authors.

Data from intention-to-treat analyses were included whenever available in included studies. Pooled-effect estimates were expressed as the weighted mean difference between exercise and control groups for changes in body mass, fat mass and lean body mass. For changes in VO₂max and functional walking, because different walking tests were performed and VO₂max was expressed in values either relative to body mass or to lean body mass, estimates were expressed as the standardized mean difference. Calculations were performed using a random-effects model because of the small number of studies available and their methodological diversity. A *p*-value <0.05 was considered statistically significant. Heterogeneity was measured using the I² test (27).

When the number of studies was insufficient to perform a meta-analysis, we synthesized study findings by presenting the number of studies reporting (1) an improvement (i.e. if a significant positive effect of exercise was found for at least one outcome, and no deterioration was found) or (2) no change (i.e. if no significant difference in any direction was found between exercise and control groups).

Results

Study characteristics and quality

Among the 3,504 articles initially identified, 20 were included in our review (Fig. 1). The main characteristics of the 20 articles are presented in Table 1. Five articles reported results of the same intervention study (12,18,25,26,29), and one study compared two interventions (15). Sixteen distinct intervention studies were therefore included. Studies were published between 2011 and 2017. Five studies were conducted in the USA, three in Brazil, two in Iran and UK and one in Austria, Belgium and Italy. Studies were randomized (nine studies) or non-randomized (six studies) controlled trials. Most studies had limited sample sizes, except for four studies that included more than 50 participants (13,15,17,24). Ten studies included both men and women, the remaining studies included women only. Patients underwent Roux-en-Y gastric bypass (RYGB) in six studies, sleeve gastrectomy in one study and either RYGB, gastric banding or sleeve gastrectomy in the remaining studies. The most frequently reported outcomes were anthropometry (15 studies), body composition (11 studies), physical function, VO₂max and muscle strength (seven, six and six studies, respectively) and health-related quality of life (six studies). Objectively measured physical activity was reported in only four studies, blood pressure, glucose

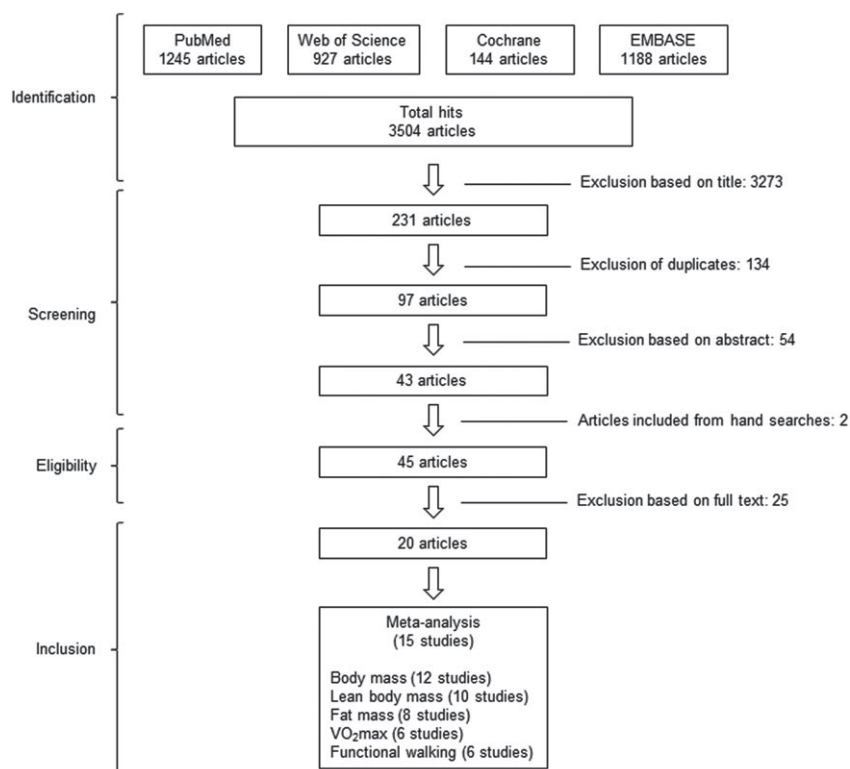


Figure 1 Flow chart of the literature search.

Table 1 Characteristics of included studies (N = 20)

Authors	Country	Study design Sample size Surgery type	Intervention (in addition to usual care)	Outcomes	Measures for corresponding outcomes
Castello et al. (2011) (28)	Brazil	RCT n = 21 W RYGB	Type: END, 3 sessions/week Supervision: total Timing: 3 months, starting 1 month after surgery	- Anthropometry: body weight, WC - Body composition - Physical function - Anthropometry: body weight - Physical function	- Clinical examination - Skinfolds - 6MWT - Clinical examination
Castello-Simoes et al. (2013) (29)	Brazil	RCT n = 19 W RYGB	Type: END, 3 sessions/week Supervision: total Timing: 3 months, starting 1 month after surgery	- Physical function	- 6MWT
Shah et al. (2011) (30)	USA	RCT n = 33 W + M RYGB, GB	Type: END, 5 sessions/week Supervision: total Timing: 3 months, starting 3–42 months after surgery + Behavioural intervention	- Anthropometry: body weight, WC - Body composition - Physical activity - VO ₂ max - Resting energy expenditure - Glucose metabolism: glucose, insulin - Lipid profile: TC, LDL-c, HDL-c, TG - Quality of life	- Clinical examination - DXA - Pedometer - Maximal exercise test - Indirect calorimetry - Blood analyses, oral glucose tolerance test - Blood analyses - SF-36, IWQOL-L
Stegen et al. (2011) (31)	Belgium	NRCT n = 15 W + M RYGB	Type: END + RES, 3 sessions/week Supervision: total Timing: 3 months, starting 1 month after surgery	- Anthropometry: body weight, WC - Body composition - VO ₂ peak - Muscle strength - Muscle fatigue - Physical function	- Clinical examination - Impedance - Maximal exercise test - Weight machines, handgrip dynamometer - Handgrip dynamometer - 6MWT, sit-to-stand test - Clinical examination - DXA
Coen et al. (2015) (24)	USA	RCT n = 128 W + M RYGB	Type: END 3–5 sessions/week Supervision: partial Timing: 6 months, starting 1–3 months after surgery	- Anthropometry: body weight, WC - Body composition - VO ₂ peak - Glucose metabolism: insulin sensitivity - Lipid profile: TC, LDL-c, HDL-c, TG - Blood pressure	- Maximal exercise test - Intravenous glucose tolerance test - Blood analyses - Clinical examination - DXA - Maximal exercise test - Intravenous glucose tolerance test
Coen et al. (2015) (26)	USA	RCT n = 101 W + M RYGB	Type: END 3–5 sessions/week Supervision: partial Timing: 6 months, starting 1–3 months after surgery	- Anthropometry: body weight WC - Body composition - VO ₂ peak - Glucose metabolism: insulin sensitivity - Lipid profile: TC, LDL-c, HDL-c, TG - Blood pressure	- Clinical examination - DXA - Maximal exercise test - Intravenous glucose tolerance test - Blood analyses - Clinical examination - DXA - Maximal exercise test - Intravenous glucose tolerance test
Woodlief et al. (2015) (25)	USA	RCT n = 98 W + M RYGB	Type: END 3–5 sessions/week Supervision: partial Timing: 6 months, starting 1–3 months after surgery	- Glucose metabolism: insulin sensitivity - Intramyocellular lipids - Mitochondrial respiration - Lipid profile: TC, LDL-c, HDL-c, TG - Blood pressure - Anthropometry: body weight - Body composition - VO ₂ peak - Resting metabolic rate	- Muscle biopsy - Muscle biopsy - Blood analyses - Clinical examination - Clinical examination - DXA - Maximal exercise test - Indirect calorimetry

(Continues)

Table 1 (Continued)

Authors	Country	Study design Sample size Surgery type	Intervention (in addition to usual care)	Outcomes	Measures for corresponding outcomes
Carnero et al. (2017) (12)	USA	RCT n = 96 W + M RYGB	Type: END 3–5 sessions/week Supervision: partial Timing: 6 months, starting 1–3 months after surgery	- Glucose metabolism: insulin sensitivity - Mitochondrial respiration - Lipid oxidation - Anthropometry: body weight - Body composition - Skeletal muscle mass - Physical activity and sedentary behavior - VO ₂ peak - Resting metabolic rate - Anthropometry: body weight, WC - Body composition - VO ₂ peak - Glucose metabolism: insulin sensitivity - MicroRNAs profiling - Lipid profile: TC, LDL-c, HDL-c, TG - Blood pressure - Anthropometry: body weight, WC - Body composition - VO ₂ max - Muscle strength - Physical function	- Intravenous glucose tolerance test - Muscle biopsy - Muscle biopsy - Clinical examination - DXA - Computed tomography - Accelerometer - Maximal exercise test - Indirect calorimetry - Clinical examination - DXA - Maximal exercise test - Intravenous glucose tolerance test - Arterialized blood analyses - Blood analyses - Clinical examination - Clinical examination - Impedance - Maximal exercise test - Weight machines, handgrip dynamometer - 6MWT, Sit-to-stand test, chair sit-and-reach test - Clinical examination - 6MWT - Dartmouth COOP
Nunez Lopez et al. (2017) (18)	USA	RCT n = 22 W + M RYGB	Type: END 3–5 sessions/week Supervision: partial Timing: 6 months, starting 1–3 months after surgery	- Anthropometry: body weight, WC - Body composition - VO ₂ peak - Glucose metabolism: insulin sensitivity - MicroRNAs profiling - Lipid profile: TC, LDL-c, HDL-c, TG - Blood pressure - Anthropometry: body weight, WC - Body composition - VO ₂ max - Muscle strength - Physical function	- Clinical examination - DXA - Maximal exercise test - SF-36 - Blood analyses - Blood analyses - Clinical examination - DXA - DXA - Blood analyses - SF-36
Huck et al. (2015) (32)	USA	NRCT n = 15 W + M RYGB, GB	Type: RES 2–3 sessions/week Supervision: total Timing: 3 months, starting 4 months after surgery	- Anthropometry: body weight - Physical function - Quality of life	- Anthropometry: body weight - Clinical examination - Impedance - Maximal exercise test - 6MWT, Sit-to-stand test, chair sit-and-reach test - Clinical examination - 6MWT - Dartmouth COOP
Jassil et al. (2015) (33)	UK	NRCT n = 24 W RYGB, SG	Type: END + RES 1 session/week Supervision: total Timing: 2 months, starting 3–6 months after surgery + behavioural intervention	- Anthropometry: body weight, WC - Body composition - VO ₂ max - Quality of life - Lipid profile: TC, HDL-c, TG - Glucose metabolism: glucose - Anthropometry: body weight - Body composition - Bone mineral density - Bone metabolism markers - Quality of life	- Clinical examination - DXA - Maximal exercise test - SF-36 - Blood analyses - Blood analyses - Clinical examination - DXA - DXA - Blood analyses - SF-36
Marchesi et al. (2015) (34)	Italy	NRCT n = 20 W RYGB	Type: END, 3 sessions/week Supervision: total Timing: 10 months, starting 1–3 year after surgery + behavioural intervention	- Anthropometry: body weight, WC - Body composition - VO ₂ max - Quality of life - Lipid profile: TC, HDL-c, TG - Glucose metabolism: glucose - Anthropometry: body weight - Body composition - Bone mineral density - Bone metabolism markers - Quality of life	- Clinical examination - DXA - Maximal exercise test - SF-36 - Blood analyses - Blood analyses - Clinical examination - DXA - DXA - Blood analyses - SF-36
Muschitz et al. (2016) (17)	Austria	RCT n = 220 W + M RYGB, SG	Type: END + RES, 3 and 2 sessions/week + protein, calcium, vit. D supplementation Supervision: none Timing: 24 months, starting 2 week after surgery	- Anthropometry: body weight, WC - Body composition - VO ₂ max - Quality of life - Lipid profile: TC, HDL-c, TG - Glucose metabolism: glucose - Anthropometry: body weight - Body composition - Bone mineral density - Bone metabolism markers - Quality of life	- Clinical examination - DXA - Maximal exercise test - SF-36 - Blood analyses - Blood analyses - Clinical examination - DXA - DXA - Blood analyses - SF-36

(Continues)

Table 1 (Continued)

Authors	Country	Study design Sample size Surgery type	Intervention (in addition to usual care)	Outcomes	Measures for corresponding outcomes
Rojhani-Shirazi et al. (2016) (20)	Iran	RCT n = 32 W SG	Type: BALANCE 4 sessions/week Supervision: not described Timing: 1 months, starting 5 days after surgery	- Anthropometry: body weight, WC - Balance control	- Clinical examination - Single leg stance, star excursion balance test, get up and go test - Clinical examination - DXA - Weight machines - DXA - Blood analyses - Clinical examination - Pedometer - 6MWT, 8-foot up-and-go, 30-s chair rise, arm curl test, chair sit-and-reach test - Clinical examination - Displacement plethysmography - MRI - Weight machines - Clinical examination - Impedance - Weight machines - Sit-to-stand test, 12-min walk-run test
Campanha-Versiani et al. (2017) (11)	Brazil	NRCT n = 37 W + M RYGB	Type: END + RES 2 sessions/week Supervision: total Duration: 9 months, starting 3 months after surgery	- Anthropometry: body weight - Body composition - Muscle strength - Bone mineral density - Bone turnover markers - Physical activity - Physical function	- Clinical examination - DXA - Weight machines - DXA - Blood analyses - Clinical examination - Pedometer - 6MWT, 8-foot up-and-go, 30-s chair rise, arm curl test, chair sit-and-reach test - Clinical examination - Displacement plethysmography - MRI - Weight machines - Clinical examination - Impedance - Weight machines - Sit-to-stand test, 12-min walk-run test
Coleman et al. (2017) (13)	USA	RCT n = 51 W + M RYGB, SG, lap band	Type: END + RES 2 sessions/week Supervision: total Timing: 6 months, starting 6-24 months after surgery + behavioural intervention	- Anthropometry: body weight - Body composition - Skeletal muscle mass - Muscle strength - Anthropometry: body weight - Body composition - Physical function	- Clinical examination - DXA - Weight machines - DXA - Blood analyses - Clinical examination - Pedometer - 6MWT, 8-foot up-and-go, 30-s chair rise, arm curl test, chair sit-and-reach test - Clinical examination - Displacement plethysmography - MRI - Weight machines - Clinical examination - Impedance - Weight machines - Sit-to-stand test, 12-min walk-run test
Daniels et al. (2017) (14)	USA	RCT n = 16 W RYGB	Type: RES 3 sessions/week Supervision: not described Timing: 3 months, starting 2 months after surgery	- Anthropometry: body weight - Body composition - Skeletal muscle mass - Muscle strength	- Clinical examination - DXA - Weight machines - DXA - Blood analyses - Clinical examination - Pedometer - 6MWT, 8-foot up-and-go, 30-s chair rise, arm curl test, chair sit-and-reach test - Clinical examination - Displacement plethysmography - MRI - Weight machines - Clinical examination - Impedance - Weight machines - Sit-to-stand test, 12-min walk-run test
Hassannejad et al. (2017) (15)	Iran	RCT n = 60 W + M RYGB, SG	Type: END 3-5 sessions/week or END 3-5 sessions/week + RES 3 sessions/week Supervision: none Timing: 3 months, starting 0 (END) to 5 (RES) week after surgery	- Anthropometry: body weight - Body composition - Muscle strength - Physical function	- Clinical examination - DXA - Weight machines - DXA - Blood analyses - Clinical examination - Pedometer - 6MWT, 8-foot up-and-go, 30-s chair rise, arm curl test, chair sit-and-reach test - Clinical examination - Displacement plethysmography - MRI - Weight machines - Clinical examination - Impedance - Weight machines - Sit-to-stand test, 12-min walk-run test
Herring et al. (2017) (16)	UK	RCT n = 24 W + M RYGB, SG, GB	Type: END + RES 3 sessions/week Supervision: total Timing: 3 months, starting 12-24 months after surgery	- Anthropometry: body weight, WC - Body composition - Physical activity and sedentary behaviour - Muscle strength - Physical function - Blood pressure	- Clinical examination - DXA - Weight machines - DXA - Blood analyses - Clinical examination - Pedometer - 6MWT, 8-foot up-and-go, 30-s chair rise, arm curl test, chair sit-and-reach test - Clinical examination - Displacement plethysmography - MRI - Weight machines - Clinical examination - Impedance - Weight machines - Sit-to-stand test, 12-min walk-run test
Onofre et al. (2017) (19)	Brazil	NRCT n = 12 W RYGB, SG	Type: END + RES 3 sessions/week Supervision: total Timing: 3 months, starting 3 months after surgery	- Anthropometry: body weight, WC - VO ₂ peak	- Clinical examination - DXA - Weight machines - DXA - Blood analyses - Clinical examination - Pedometer - 6MWT, 8-foot up-and-go, 30-s chair rise, arm curl test, chair sit-and-reach test - Clinical examination - Displacement plethysmography - MRI - Weight machines - Clinical examination - Impedance - Weight machines - Sit-to-stand test, 12-min walk-run test

Articles are presented in chronological order and articles reporting results from the same trial are presented together. END, endurance training; GB, gastric banding; NA, not available; NRCT, non-randomized controlled trial; RES, resistance training; BALANCE, balance training; RYGB, Roux-en-Y gastric bypass; SG, sleeve gastrectomy; TC, total cholesterol; TG, triglycerides; WC, waist circumference; 6MWT, 6-minute walk test.

metabolism and lipid profile in four, three and three studies, respectively. Preoperative data were collected in six studies.

Study quality

Study quality was rated as poor, fair and good in two, nine and four studies, respectively (Table 2). No study was rated as excellent quality. Most studies reported a measure of variability (15/15) and conducted between-group comparison (14/15). About two-third to three-quarters of studies were randomized, achieved similarity of groups at baseline and specified eligibility criteria.

About half of studies performed intention-to-treat analysis and concealed allocation to experimental groups. Only one third of studies reported changes in one key outcome for at least 85% of study participants. Blinding of participants, therapists or assessors could not be achieved in any study, except for one that mentioned the blinding of all assessors (24).

Description of interventions

Interventions are described in detail in Table S2. Exercise started from 1 week after surgery (20) to 18 months after

Table 2 Results on study quality

	Criteria											Total score	Coding
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
Castello et al. (2011) (28)	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	5	Fair
Shah et al. (2011) (30)	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	5	Fair
Stegen et al. (2011) (31)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	5	Fair
Coen et al. (2015) (24)	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	8	Good
Huck et al. (2015) (32)	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	4	Fair
Jassil et al. (2015) (33)	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	3	Poor
Muschitz et al. (2015) (17)	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	6	Good
Marchesi et al. (2015) (34)	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	3	Poor
Rojhani-Shirazi et al. (2016) (20)	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	4	Fair
Campanha-Versiani et al. (2017) (11)	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	4	Fair
Coleman et al. (2017) (13)	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	1	5	Fair
Daniels et al. (2017) (14)	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	5	Fair
Hassannejad et al. (2017) (15)	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1	6	Good
Herring et al. (2017) (16)	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	6	Good
Onofre et al. (2017) (19)	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	5	Fair

PEDro criteria: (1) specification of eligibility criteria, (2) random allocation, (3) concealed allocation, (4) baseline comparability, (5) blind subjects, (6) blind therapists, (7) blind assessor, (8) adequate follow up, (9) intention-to-treat-analysis, (10) between groups comparisons, (11) point estimates and variability. The first criterion was not included in the calculation of the total score.

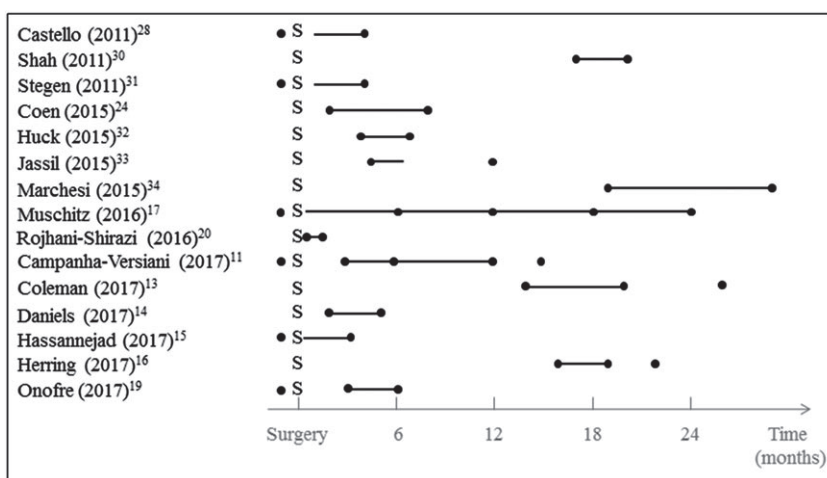


Figure 2 Timing of intervention and assessment. The letter 'S' represents the time of surgery, the circles represent the time of assessment and the lines represent the duration of the exercise training program. Some trials have been reported in different articles. This figure includes only articles that present results of the parent trial.

surgery (34). Duration of exercise training ranged from 1 month (20) to 24 months (17), with a median duration of 3 months (Fig. 2). Endurance training was performed in five studies (15,24,28,30,34), resistance training in two studies (14,32), a combination of endurance and resistance training in eight studies (11,13,15–17,19,31,33) and

balance training in one study (20). Intensity of exercise was usually defined in relative terms, according to maximal heart rate or maximal strength. The intervention included a behavioural component in four studies (physical activity and/or dietary counseling (13,30,33,34) and a protein, calcium and vitamin D supplementation in one study

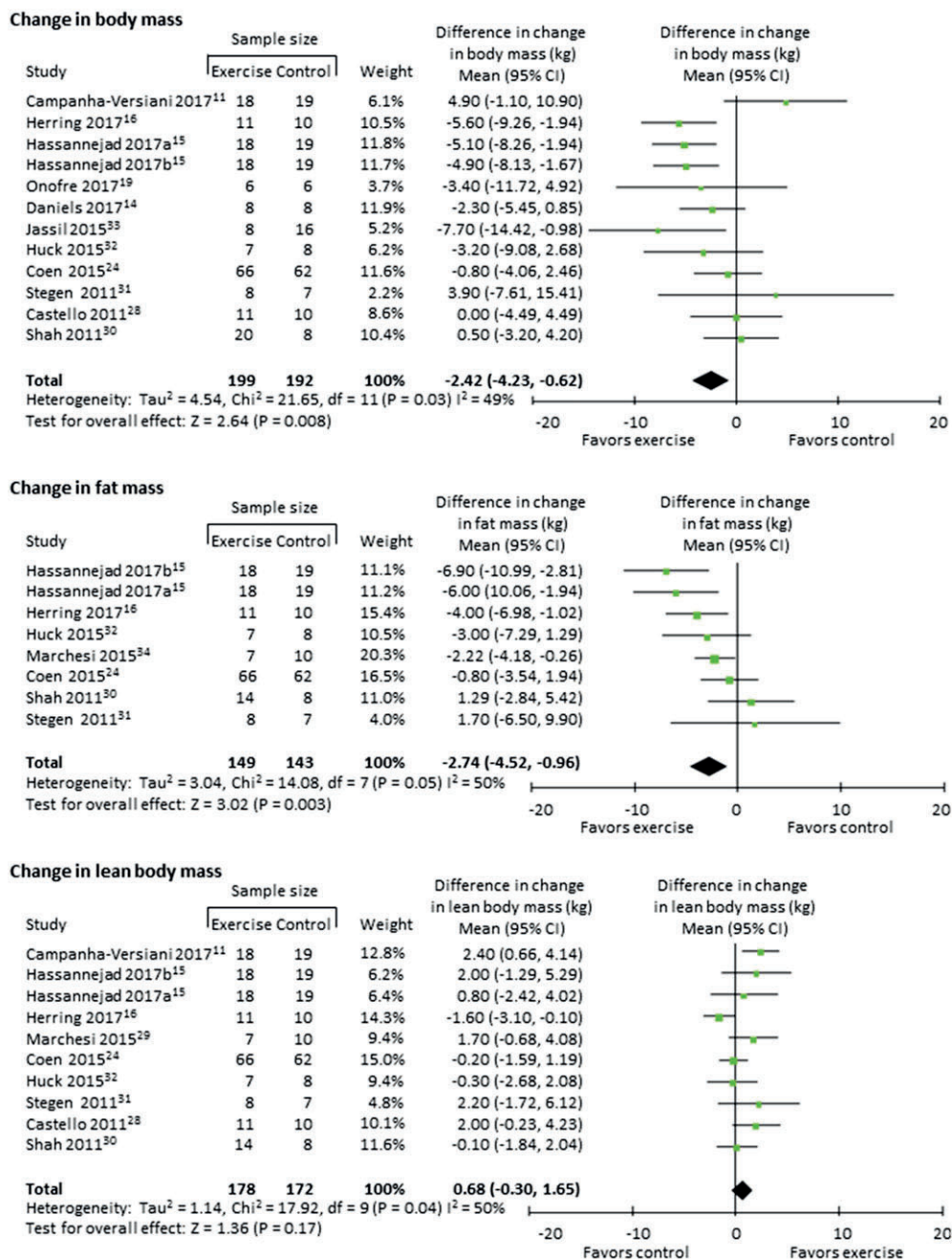


Figure 3 Changes in body mass and body composition after bariatric surgery in exercise group compared to control group. Presents the difference in change in body mass and body composition after bariatric surgery between the participants in the exercise and control groups. The sample size represents the number of participants who completed the trials. Hassannejad 2017a: endurance training. Hassannejad 2017b: endurance and resistance training. [Colour figure can be viewed at wileyonlinelibrary.com]

(17)). Exercise sessions were fully supervised (10 studies (11,13,16,19,28,30–34)), partially supervised (one study (24)) or not supervised (two studies (15,17)). Supervision was not described in one study (20). Supervision was performed by physical activity specialists, physiotherapists, exercise physiologists or experts in physical medicine. Sessions were performed in a hospital or research centre in five studies (16,19,28,30,33), and outdoor (34) or in a private training facility (32) in one study each. Only one study described that sessions were organized in groups (32). One study sought to increase adherence by proposing a variety of exercise modalities (13). Most studies provided no or very little information about the control group. The intervention received by control patients, described in seven studies, included physical activity and/or dietary counselling sessions (11,13,17,19,24,30,32), with multivitamin and mineral supplementation indicated in three studies (11,17,30).

Compliance

The percentage of included participants who completed the study ranged from 60% (11) to 100% (14,19,24) (Table S3). Only two studies performed analysis for completers, defined as patients participating to either a minimum number of

training sessions ($\geq 80\%$) (17) or a minimum duration of training (≥ 120 min/week) (24). In these studies, completers represented around 70% of all participants. Finally, three studies reported attendance to training sessions (16,32,33) that ranged from 75% (33) to 95% (16).

Effectiveness of interventions

Overall, exercise training was associated with a higher loss in body mass (-2.4 kg, 95% CI: $-4.2, -0.6$, $I^2 = 49\%$, $n = 12$ studies) and in fat mass (-2.7 kg, 95% CI: $-4.5, -1.0$, $I^2 = 50\%$, $n = 8$ studies) compared to the control group but was not associated with changes in lean body mass (0.7 kg, 95% CI: $-0.3, 1.7$, $I^2 = 50\%$, $n = 10$ studies) (Fig. 3). Exercise training was also associated with an improvement in VO_{2max} (standardized mean difference: 0.86 , 95% CI: $0.29, 1.44$, $I^2 = 57\%$, $n = 6$ studies), and in functional walking (standardized mean difference: 1.45 , 95% CI: $0.32, 2.58$, $I^2 = 89\%$, $n = 6$ studies) (Fig. 4).

Sub-sample analyses were performed on VO_{2max} expressed relative to body mass, reported in five studies (19,30–32,34). A mean difference of 2.87 mL/kg/min (95% CI: $0.63, 5.12$, $I^2 = 83\%$) was found.

Changes in muscle strength, objectively measured habitual physical activity, metabolic profile and health related-

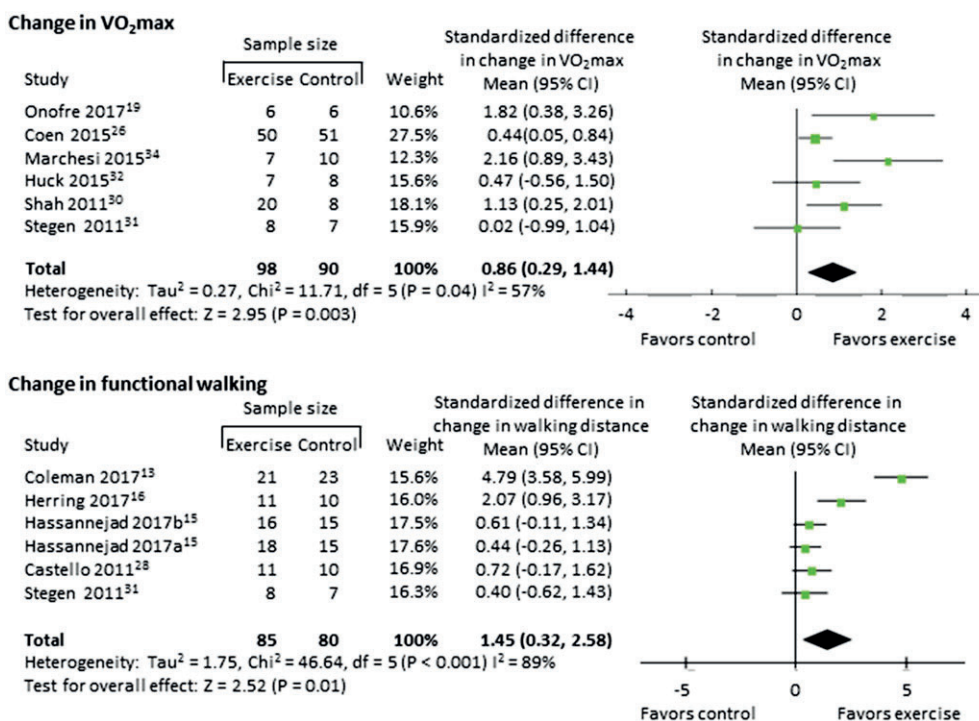


Figure 4 Changes in physical fitness after bariatric surgery in exercise group compared to control group. Presents the difference in change in VO_{2max} and functional walking after bariatric surgery between the participants in the exercise and control groups. The sample size represents the number of participants who completed the trials. Hassannejad 2017a: endurance training. Hassannejad 2017b: endurance and resistance training. [Colour figure can be viewed at wileyonlinelibrary.com]

Table 3 Changes in muscle strength, physical activity, quality of life and metabolic profile in exercise group compared to control group

	Number of studies		
	Measuring the outcome	Reporting no difference between exercise and control groups	Reporting an improvement in exercise group vs. control group
Muscle strength			
Lower-limb 1-RM	3	0	3
Upper-limb 1-RM	4	1	3
Handgrip strength	3	1	2
Physical activity and energy metabolism			
MVPA	2	1	1
Daily steps	3	2	1
Mitochondrial respiration	1	0	1
Resting EE	2	2	0
Quality of life	4	4	0
Metabolic profile			
Glucose metabolism	3	2	1
Lipid profile	3	3	0
Blood pressure	4	3	1

1-RM, 1 repetition maximum or repetition-maximum or 696 maximum weight that can be used to complete 1 repetition; EE, energy expenditure; MVPA, moderate-to-vigorous physical activity.

quality of life were not included in the meta-analysis. Muscle strength increased in most studies in the exercise group compared to the control group (Table 3). Objectively measured physical activity, metabolic profile (glucose metabolism, lipid profile, blood pressure) and health-related quality of life were found unchanged after exercise compared to control in most studies (Table 3).

Discussion

In this systematic review, we provided an updated overview of the effectiveness of exercise training on physical fitness, body composition, objectively measured habitual physical activity, health-related quality of life and health outcomes in patients undergoing bariatric surgery. The review identified 20 articles assessing the effect of 16 distinct exercise training programs performed after surgery. Compared with the previous reviews by Coen et al. (2015) (8) and Pouwels et al. (2015) (9), this review added a number of recent articles published in 2016 and 2017 assessing a combination of endurance and resistance exercise training which, until recently, had received little attention in the context of bariatric surgery. Our main finding was that exercise training performed after bariatric surgery was effective to optimize weight loss and fat mass loss and to improve physical fitness.

This meta-analysis provides evidence of additional benefits of exercise training on body mass and body fat loss after bariatric surgery although no preservation of lean body mass was found. This adds to the body of knowledge previously reviewed by Coen et al. (8) and Pouwels et al. (9) who concluded that there was insufficient evidence for an additional effect of exercise training on body

composition. The amount of additional weight loss observed in our meta-analysis, of approximately 2.5 kg, seems however to represent a relatively modest benefit as compared to the amount of weight lost after bariatric surgery itself (i.e. around 30 to 35% loss of initial weight during the first post-operative year (2)). The relatively small added energy deficit induced by exercise may not be sufficient to substantially influence energy balance (12), especially taking into account that the post-bariatric setting is characterized by a major energy deficit (35). Interestingly, the major part of weight loss seems to be related to loss in body fat, which can be considered as a favourable effect. However, based on results of our meta-analysis, exercise training was not significantly associated with changes in lean body mass, compared to usual care without training. Preserving lean body mass in this context appears to be particularly challenging, which might be explained, at least in part, by the dramatic decrease in protein intake observed in the first months following bariatric surgery (35). When associated with resistance training, protein supplementation is recognized as an important means for preserving lean body mass during dietary-induced weight loss (36). The effects of protein supplementation, with or without resistance training after bariatric surgery, warrant further investigation.

Another major finding of this meta-analysis was that exercise training further improved physical fitness and physical function as assessed by walking tests. Overall, VO_2 max was improved in the exercise training group, compared to the control group, by a mean 2.9 mL/kg/min. Although not included in the meta-analysis, muscle strength also increased after exercise training in most studies, whether assessed as lower-limb (11,14,31) or

upper-limb (11,15,16,31) maximal strength. Cardiorespiratory fitness and muscle strength are predictors of mortality risk both in healthy individuals and in patients with chronic diseases, including obesity (37–40). According to a meta-analysis with a combined sample size of over 100,000 participants, each 1-MET increase in cardiorespiratory fitness was associated with a 15% and 13% reduction in all-cause and cardiovascular mortality, respectively (41). The improvement in cardiorespiratory fitness with exercise training observed in the present meta-analysis is therefore likely to be associated with improved health status after bariatric surgery. Interestingly, additive effects between low cardiorespiratory fitness and muscle strength have been reported (42), which emphasizes the need to promote both dimensions of physical fitness in patients with obesity undergoing bariatric surgery.

Because of a limited number of studies and important methodological heterogeneity, we were not able to compare the effects of different types of exercise training. Given the known principle of specificity of exercise training, stating that the physiological adaptations to exercise are specific to the type of exercise performed (43), we would expect that endurance training would preferentially improve cardiorespiratory fitness, and that resistance training would improve muscle strength. This hypothesis would, however, need to be confirmed in patients undergoing bariatric surgery. Data were also insufficient to determine the minimum amount of exercise needed to optimize weight loss. In secondary analyses of data from the trial by Coen et al. (24), which investigated the effect of a semi-supervised endurance training program, authors reported a significant weight and fat loss only in patients who exercised most, i.e. those who exercised on average 286 min per week (25). The need to increase exercise duration to promote weight loss would be in agreement with the role of physical activity in general in the prevention of weight regain (44). Further analysis of the trial by Coen et al (24) revealed that irrespective of exercise training, patients with the highest level of habitual physical activity based on daily steps experienced higher body weight and body fat loss (12). These findings suggest that increasing total physical activity (i.e. both exercise and incidental physical activity) might be necessary to optimize weight loss and body composition changes after bariatric surgery. However, direction and magnitude of change in habitual physical activity after bariatric surgery is still a matter of discussion. According to recent reviews, data generated from self-reported questionnaires consistently indicated an increase in physical activity whereas data from objective measures indicated no change or only modest increases (4,7,8). Of note is the fact that very few studies included in the present review assessed habitual physical activity using objective methods such as accelerometry (12,16,30). Overall, these findings emphasize the need for a more systematic and detailed assessment of physical fitness and habitual physical activity to gain better

understanding of the role of exercise training and daily activities in the follow-up of bariatric surgery.

Although the overall study quality was rated as fair to good in most studies, a number of studies under-reported important aspects of interventions such as the mode of delivery (individual or group sessions), the potential modifications of the intervention during the course of the study or the use of strategies to improve or maintain adherence, which is a frequent limitation of non-pharmacological interventions (45). Better describing the intervention delivered to both the intervention and control groups would help interpret study results and replicate studies in real-life settings (21). Included studies were also characterized by important variations in terms of intervention (type, duration and timing) and evaluation (timing of assessment, assessment tools, data analysis and reporting). To date, data are insufficient to answer important research questions, such as the effect by type of exercise, relevant intervention duration or intervention timing, the additional effect of supervising exercise sessions and the long-term effect of exercise training. Two thirds of exercise programs lasted 3 months or less, which might be too short to observe a significant impact on health outcomes. Interestingly, Muschitz et al. (17) observed that the preservation of lean body mass became significant only after 18 months of intervention, during the weight stabilization phase. Long-term trials are needed to determine the most effective duration and timing of exercise training programs in patients with obesity undergoing bariatric surgery.

Conclusion

Exercise training programs performed after bariatric surgery were found effective to increase weight loss and fat mass loss and to improve physical fitness, although no additional effect on lean body mass or health outcomes was found compared to usual care follow-up. This meta-analysis provides evidence that exercise training is an effective strategy to optimize follow-up care after bariatric surgery. Both health professionals and patients should be aware of the type of benefits they should expect from an exercise program in this context, especially given the fact that additional weight and fat loss with exercise was of relatively small magnitude. Included studies were characterized by important heterogeneity, precluding an analysis by type and amount of exercise. More studies are needed to identify the most effective and feasible strategies and to better understand the role of daily physical activity in the follow-up of bariatric surgery. Also, important aspects of interventions should be described in more detail to facilitate implementation and maintenance of exercise training programs in post-bariatric patients in routine clinical care.

Conflict of interest statement

No conflict of interest was declared.

Supporting information

Additional supporting information may be found online in the Supporting Information section at the end of the article. <https://doi.org/10.1111/obr.12740>

Table S1. Changes in anthropometry, body composition, objectively measured physical activity, physical fitness, quality of life and health outcomes in exercise and control groups

Table S2. Intervention description (using the TIDieR checklist)

Table S3. Compliance to exercise training program

References

- Angrisani L, Santonicola A, Iovino P, Formisano G, Buchwald H, Scopinaro N. Bariatric Surgery Worldwide 2013. *Obes Surg* 2015; **25**: 1822–1832.
- Sjostrom L, Narbro K, Sjostrom CD *et al.* Effects of bariatric surgery on mortality in Swedish obese subjects. *N Engl J Med* 2007; **357**: 741–752.
- Jakobsen GS, Smastuen MC, Sandbu R *et al.* Association of bariatric surgery vs medical obesity treatment with long-term medical complications and obesity-related comorbidities. *JAMA* 2018; **319**: 291–301.
- Herring LY, Stevinson C, Davies MJ *et al.* Changes in physical activity behaviour and physical function after bariatric surgery: a systematic review and meta-analysis. *Obes Rev* 2016; **17**: 250–261.
- Mechanick JJ, Youdim A, Jones DB *et al.* Clinical practice guidelines for the perioperative nutritional, metabolic, and nonsurgical support of the bariatric surgery patient – 2013 update: cosponsored by American Association of Clinical Endocrinologists, The Obesity Society, and American Society for Metabolic & Bariatric Surgery. *Obesity (Silver Spring)* 2013; **21**(Suppl 1): S1–S27.
- King WC, Chen JY, Bond DS *et al.* Objective assessment of changes in physical activity and sedentary behavior: pre- through 3 years post-bariatric surgery. *Obesity (Silver Spring)* 2015; **23**: 1143–1150.
- Jacobi D, Ciangura C, Couet C, Oppert JM. Physical activity and weight loss following bariatric surgery. *Obes Rev* 2011; **12**: 366–377.
- Coen PM, Goodpaster BH. A role for exercise after bariatric surgery? *Diabetes Obes Metab* 2016; **18**: 16–23.
- Pouwels S, Wit M, Tejjink JA, Nienhuijs SW. Aspects of exercise before or after bariatric surgery: a systematic review. *Obes Facts* 2015; **8**: 132–146.
- Chaston TB, Dixon JB, O'Brien PE. Changes in fat-free mass during significant weight loss: a systematic review. *Int J Obes (Lond)* 2007; **31**: 743–750.
- Campanha-Versiani L, Pereira DA, Ribeiro-Samora GA *et al.* The effect of a muscle weight-bearing and aerobic exercise program on the body composition, muscular strength, biochemical markers, and bone mass of obese patients who have undergone gastric bypass surgery. *Obes Surg* 2017; **27**(8): 2129–2137.
- Carnero EA, Dubis GS, Hames KC *et al.* Randomized trial reveals that physical activity and energy expenditure are associated with weight and body composition after RYGB. *Obesity (Silver Spring)* 2017; **25**: 1206–1216.
- Coleman KJ, Caparosa SL, Nichols JF *et al.* Understanding the capacity for exercise in post-bariatric patients. *Obes Surg* 2017; **27**: 51–58.
- Daniels P, Burns RD, Brusseau TA *et al.* Effect of a randomised 12-week resistance training programme on muscular strength, cross-sectional area and muscle quality in women having undergone Roux-en-Y gastric bypass. *J Sports Sci* 2017: 1–7.
- Hassannejad A, Khalaj A, Mansournia MA, Rajabian Tabesh M, Alizadeh Z. The effect of aerobic or aerobic-strength exercise on body composition and functional capacity in patients with BMI ≥ 35 after bariatric surgery: a randomized control trial. *Obes Surg* 2017.
- Herring LY, Stevinson C, Carter P *et al.* The effects of supervised exercise training 12–24 months after bariatric surgery on physical function and body composition: a randomised controlled trial. *Int J Obes (Lond)* 2017.
- Muschitz C, Kocijan R, Haschka J *et al.* The impact of vitamin D, calcium, protein supplementation, and physical exercise on bone metabolism after bariatric surgery: the BABS study. *J Bone Miner Res* 2016; **31**: 672–682.
- Nunez Lopez YO, Coen PM, Goodpaster BH, Seyhan AA. Gastric bypass surgery with exercise alters plasma microRNAs that predict improvements in cardiometabolic risk. *Int J Obes (Lond)* 2017; **41**: 1121–1130.
- Onofre T, Carlos R, Oliver N *et al.* Effects of a physical activity program on cardiorespiratory fitness and pulmonary function in obese women after bariatric surgery: a pilot study. *Obes Surg* 2017.
- Rojhani-Shirazi Z, Mansoriyan SA, Hosseini SV. The effect of balance training on clinical balance performance in obese patients aged 20–50 years old undergoing sleeve gastrectomy. *Eur Surg-Acta Chir Austriaca* 2016; **48**: 105–109.
- Hoffmann TC, Glasziou PP, Boutron I *et al.* Better reporting of interventions: template for intervention description and replication (TIDieR) checklist and guide. *BMJ* 2014; **348**: g1687.
- Verhagen AP, de Vet HC, de Bie RA *et al.* The Delphi list: a criteria list for quality assessment of randomized clinical trials for conducting systematic reviews developed by Delphi consensus. *J Clin Epidemiol* 1998; **51**: 1235–1241.
- Weston KS, Wisloff U, Coombes JS. High-intensity interval training in patients with lifestyle-induced cardiometabolic disease: a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med* 2014; **48**: 1227–1234.
- Coen PM, Tanner CJ, Helbling NL *et al.* Clinical trial demonstrates exercise following bariatric surgery improves insulin sensitivity. *J Clin Invest* 2015; **125**: 248–257.
- Woodlief TL, Carnero EA, Standley RA *et al.* Dose response of exercise training following roux-en-Y gastric bypass surgery: a randomized trial. *Obesity (Silver Spring)* 2015; **23**: 2454–2461.
- Coen PM, Menshikova EV, Distefano G *et al.* Exercise and weight loss improve muscle mitochondrial respiration, lipid partitioning, and insulin sensitivity after gastric bypass surgery. *Diabetes* 2015; **64**: 3737–3750.
- Higgins JPT. Analysing data and undertaking meta-analysis. In: Higgins JPT, Green S (eds). *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions*. Version 5.1.0 [updated March, 2011]. URL <http://handbook.cochrane.org>.
- Castello V, Simoes RP, Bassi D, Catai AM, Arena R, Borghi-Silva A. Impact of aerobic exercise training on heart rate variability and functional capacity in obese women after gastric bypass surgery. *Obes Surg* 2011; **21**: 1739–1749.

29. Castello-Simoes V, Polaquini Simoes R, Beltrame T *et al.* Effects of aerobic exercise training on variability and heart rate kinetic during submaximal exercise after gastric bypass surgery – a randomized controlled trial. *Disabil Rehabil* 2013; **35**: 334–342.
30. Shah M, Snell PG, Rao S *et al.* High-volume exercise program in obese bariatric surgery patients: a randomized, controlled trial. *Obesity (Silver Spring)* 2011; **19**: 1826–1834.
31. Stegen S, Derave W, Calders P, Van Laethem C, Pattyn P. Physical fitness in morbidly obese patients: effect of gastric bypass surgery and exercise training. *Obes Surg* 2011; **21**: 61–70.
32. Huck CJ. Effects of supervised resistance training on fitness and functional strength in patients succeeding bariatric surgery. *J Strength Cond Res* 2015; **29**: 589–595.
33. Jassil FC, Manning S, Lewis N *et al.* Feasibility and impact of a combined supervised exercise and nutritional-behavioral intervention following bariatric surgery: a pilot study. *J Obes* 2015; **2015**: 693829.
34. Marchesi F, De Sario G, Reggiani V *et al.* Road running after gastric bypass for morbid obesity: rationale and results of a new protocol. *Obes Surg* 2015; **25**: 1162–1170.
35. Verger EO, Aron-Wisniewsky J, Dao MC *et al.* Micronutrient and protein deficiencies after gastric bypass and sleeve gastrectomy: a 1-year follow-up. *Obes Surg* 2016; **26**: 785–796.
36. Verreijen AM, Verlaan S, Engberink MF, Swinkels S, de Vogel-van den Bosch J, Weijs PJ. A high whey protein-, leucine-, and vitamin D-enriched supplement preserves muscle mass during intentional weight loss in obese older adults: a double-blind randomized controlled trial. *Am J Clin Nutr* 2015; **101**: 279–286.
37. Ross R, Blair SN, Arena R *et al.* Importance of assessing cardiorespiratory fitness in clinical practice: a case for fitness as a clinical vital sign: a scientific statement from the American heart association. *Circulation* 2016; **134**: e653–e99.
38. Fogelholm M. Physical activity, fitness and fatness: relations to mortality, morbidity and disease risk factors. A systematic review. *Obes Rev* 2010; **11**: 202–221.
39. Garcia-Hermoso A, Cavero-Redondo I, Ramirez-Velez R *et al.* Muscular strength as a predictor of all-cause mortality in an apparently healthy population: a systematic review and meta-analysis of data from approximately 2 million men and women. *Arch Phys Med Rehabil* 2018.
40. Kim Y, Wijndaele K, Lee DC, Sharp SJ, Wareham N, Brage S. Independent and joint associations of grip strength and adiposity with all-cause and cardiovascular disease mortality in 403,199 adults: the UK Biobank study. *Am J Clin Nutr* 2017; **106**: 773–782.
41. Kodama S, Saito K, Tanaka S *et al.* Cardiorespiratory fitness as a quantitative predictor of all-cause mortality and cardiovascular events in healthy men and women: a meta-analysis. *JAMA* 2009; **301**: 2024–2035.
42. Crump C, Sundquist J, Winkleby MA, Sundquist K. Interactive effects of aerobic fitness, strength, and obesity on mortality in men. *Am J Prev Med* 2017; **52**: 353–361.
43. American college of Sports Medicine. Guidelines for Exercise Testing and Prescription, ninth edn. Wolters Kluwe/Lippincott Williams & Wilkins: Philadelphia, 2014.
44. Saris WH, Blair SN, van Baak MA *et al.* How much physical activity is enough to prevent unhealthy weight gain? Outcome of the IASO 1st Stock Conference and consensus statement. *Obes Rev* 2003; **4**: 101–114.
45. Hoffmann TC, Eructi C, Glasziou PP. Poor description of non-pharmacological interventions: analysis of consecutive sample of randomised trials. *BMJ* 2013; **347**: f3755.

Annexe 5 - Article n°2 (*Obesity* 2018)

Resistance Training and Protein Supplementation Increase Strength After Bariatric Surgery: a Randomized Controlled Trial

Jean-Michel OPPERT¹, Alice BELLICHA^{1,2}, Céline RODA^{3,4,5}, Jean-Luc BOUILLOT⁶, Adriana TORCIVIA⁷, Karine CLÉMENT^{1,8}, Christine POITOU^{1,8}, Cécile CIANGURA¹

1- Department of Nutrition, Pitié-Salpêtrière hospital, Assistance Publique-Hôpitaux de Paris (AP-HP); Sorbonne Université, Institute of Cardiometabolism and Nutrition (ICAN); Paris, France

2- Laboratory of Bioengineering, Tissues and Neuroplasticity (BIOTN), University Paris-Est; Créteil, France

3- ISGlobal, The Barcelona Institute for Global Health; Barcelona, Spain

4- Universitat Pompeu Fabra (UPF); Barcelona, Spain

5- CIBER Epidemiología y Salud Pública (CIBERESP); Barcelona, Spain

6- Department of Visceral Surgery, Ambroise Paré hospital, Assistance Publique-Hôpitaux de Paris (AP-HP); University Versailles-Saint-Quentin; Boulogne, France

7- Department of Digestive and Hepato-Pancreato-Biliary Surgery, Pitié-Salpêtrière hospital, Assistance Publique-Hôpitaux de Paris (AP-HP); Sorbonne Université; Paris, France

8- Nutriomics Team, INSERM, UMR_S U1166; Paris, France

Resistance Training and Protein Supplementation Increase Strength After Bariatric Surgery: A Randomized Controlled Trial

Jean-Michel Oppert^{1*}, Alice Bellicha^{1,2}, Celina Roda^{3,4,5}, Jean-Luc Bouillof⁶, Adriana Torcivia⁷, Karine Clement^{1,8}, Christine Poitou^{1,8}, and Cecile Ciangura¹

Objective: Physical activity and dietary regimens to optimize health outcomes after bariatric surgery are not well known. This study aimed to determine whether resistance training with dietary protein supplementation is effective in maintaining body composition and physical fitness after obesity surgery.

Methods: Seventy-six women with obesity undergoing Roux-en-Y gastric bypass were randomly assigned at the time of surgery to receive either usual care (controls [CON], $n=22$), usual care and additional (whey) protein intake (PRO, $n=31$), or usual care, additional protein intake, and supervised strength training for 18 weeks (PRO+EX, $n=23$). The primary outcome was pre- to 6-month postsurgery change in lean body mass (by dual-energy x-ray absorptiometry). Secondary outcomes included changes in muscle strength (by one-repetition maximum testing).

Results: Loss over time in lean body mass did not differ between groups (CON: mean, -8.8 kg; 95% CI: -10.1 to -7.5 kg; PRO: mean, -8.2 kg; 95% CI: -9.3 to -7.1 kg; PRO+EX: mean, -7.7 kg; 95% CI: -9.0 to -6.5 kg; $P=0.899$). The increase in relative lower-limb muscle strength was higher in the PRO+EX group ($+0.6$ [0.3 to 0.8]) versus $+0.1$ (-0.1 to 0.4) and $+0.2$ (0.0 to 0.4) kg/kg body mass in CON and PRO groups, respectively ($P=0.021$).

Conclusions: Loss in muscle strength observed after bariatric surgery can be overcome by resistance training with additional protein intake.

Obesity (2018) 26, 1709-1720. doi:10.1002/oby.22317

Introduction

In patients with severe obesity, bariatric surgery results in marked and sustained weight loss, decreased mortality (1), and improvement in obesity comorbidities, physical function, and health-related quality of life (2,3). To enhance health benefits, lifestyle changes represent a major component of follow-up after bariatric surgery (2,3). Physical activity is a cornerstone of obesity treatment in general (4); however, in patients undergoing bariatric surgery, little is known about the effects of physical activity on health outcomes, including body composition and physical fitness (5). Randomized controlled trials (RCTs) that have assessed the effects of an exercise training program

in the first year after bariatric surgery are few (6-9). Findings from a narrative review (5) suggested improvements in metabolic health and cardiorespiratory fitness after endurance training, although there was no consistent additional effect on surgery-induced loss in fat mass and lean body mass.

Resistance or strength training is known to increase lean body mass and muscle strength (10). Muscle strength is an important marker related to functional capacity, cardiovascular disease risk factors, and mortality (11-13). Patients undergoing bariatric surgery, such as Roux-en-Y gastric bypass (RYGB), experience a substantial decrease in lean body

¹ Department of Nutrition, Pitié-Salpêtrière Hospital, Assistance Publique-Hôpitaux de Paris (AP-HP), Sorbonne Université, Institute of Cardiometabolism and Nutrition (ICAN), Paris, France. Correspondence: Jean-Michel Oppert (jean-michel.oppert@aphp.fr) ² Laboratory of Bioengineering, Tissues and Neuroplasticity (BIOTN), University Paris-Est, Créteil, France ³ ISGlobal, The Barcelona Institute for Global Health, Barcelona, Spain ⁴ Universitat Pompeu Fabra (UPF), Barcelona, Spain ⁵ CIBER Epidemiología y Salud Pública (CIBERESP), Barcelona, Spain ⁶ Department of Visceral Surgery, Ambroise Paré Hospital, Assistance Publique-Hôpitaux de Paris (AP-HP), University Versailles-Saint-Quentin, Boulogne, France ⁷ Department of Digestive and Hepato-Pancreato-Biliary Surgery, Pitié-Salpêtrière Hospital, Assistance Publique-Hôpitaux de Paris (AP-HP), Sorbonne Université, Paris, France ⁸ Nutriomics Team, INSERM, UMRS U1166, Paris, France.

Funding agencies: This research was supported by grant AOR 09059 from the Programme Hospitalier de Recherche Clinique (PHRC, France).

Disclosure: The authors declared no conflict of interest.

Author contributions: JMO had full access to all of the data in the study and takes responsibility for the integrity of the data and the accuracy of the data analysis. Study concept and design: JMO and CC. Obtained funding: JMO. Study supervision: CC. Acquisition, analysis, or interpretation of data: CC, AB, CR, JLB, AT, KC, CP, and JMO. Performing the gastric bypass surgery: JLB and AT. Drafting of the manuscript: AB and JMO. Statistical analysis: CR. Critical revision of the manuscript for important intellectual content: CC, AB, CR, JLB, AT, KC, CP, and JMO.

Clinical trial registration: ClinicalTrials.gov identifier NCT01113996.

Additional Supporting Information may be found in the online version of this article.

Received: 19 April 2018; **Accepted:** 16 August 2018; **Published online:** 25 October 2018. doi:10.1002/oby.22317

mass (14,15). Bariatric surgery is also associated with a decrease in absolute muscle strength (16). However, when expressed relative to muscle mass, muscle strength was found unchanged, suggesting that the loss of absolute strength might be due to the decrease in muscle mass (8). The effect of resistance training, performed alone or in combination with endurance training, on changes in lean body mass and muscle strength during the first year after bariatric surgery has been assessed in only two RCTs (8,9). Muscle strength was found to be improved in both studies (8,9), whereas lean body mass was found preserved in one study (9) and unchanged in the other (8). Therefore, additional RCTs appear to be needed to further investigate the effectiveness and feasibility of resistance training in the bariatric surgery setting.

Strategies to preserve lean body mass during dietary-induced weight loss in patients with obesity include a combination of resistance training and a sufficient intake of high-quality protein (17). In the first months after bariatric surgery, energy and protein intake is dramatically reduced (3,18). Emerging evidence has suggested that whey protein would help increase protein synthesis during energy deficit in patients with overweight or obesity (19). Whey protein, representing 20% of milk proteins, is rapidly digested with an early rise in blood amino acids and increased stimulation of muscle protein synthesis (20). The effect of additional protein intake in combination with exercise training after bariatric surgery is, however, not known.

The aim of this study was to determine whether resistance training with whey protein supplementation is effective in maintaining lean body mass and muscle strength 6 months after RYGB.

Methods

Study design

We undertook this single-center, open-label, parallel-group RCT between May 1, 2010, and December 31, 2014, at the Department of Nutrition of Pitié-Salpêtrière University Hospital (Assistance Publique-Hopitaux de Paris) in Paris, France. Patients were followed up for 6 months after surgery and underwent the same assessments at visits before and after surgery. The study was approved by the Ethics Committee of Pitié-Salpêtrière Hospital (Paris, France).

Participants

Bariatric surgery (RYGB) was offered to patients following current guidelines (21,22). Inclusion criteria were female gender, age between 18 and 65 years, place of residence in Paris or its region, and BMI of 40 kg/m² or higher or BMI of 35 kg/m² or higher with at least one obesity comorbidity. Exclusion criteria were diagnosis of recent coronary event, uncontrolled hypertension, proliferative diabetic retinopathy or disabling neuropathy, dialysis treatment, orthopedic problems limiting exercise, abnormal cardiac stress test, ongoing or planned pregnancy, refusal to participate in a physical activity program, concurrent participation in a structured physical activity program, and food intolerance to milk protein products. All patients signed an informed written consent to join the study prior to surgery.

Randomization

We randomized patients at the time of surgery to receive usual care with regular medical and nutritional follow-up (control group [CON]),

usual care and additional oral protein intake (protein group [PRO]), or usual care, additional protein intake, and supervised resistance training (protein plus exercise group [PRO+EX]).

Procedures

The same RYGB surgical procedure was performed laparoscopically with an alimentary limb of 1.2 to 1.5 m in length (14). All patients underwent detailed assessments before and 1, 3, and 6 months after surgery. At each visit, body weight and composition, dietary intake, and various blood parameters were assessed. Health-related quality of life was documented before and 3 and 6 months after surgery. Data on muscle strength, cardiorespiratory fitness, physical activity, and obesity comorbidities were collected before and 6 months after surgery.

Usual care. General dietary and physical activity counseling was provided to all participants during planned pre- and postsurgery visits at 1, 3, and 6 months, as part of usual care (21). Dietary advice aimed to progressively increase protein intake to reach a minimum amount of 60 g/d (2,3). Patients were encouraged to perform at least 150 min/wk of moderate-to-vigorous endurance-type physical activity, such as brisk walking (12). All patients received the same initial prescription to prevent vitamin and mineral deficiencies (21), starting 15 days before surgery and including iron (2 × 80 mg/d), calcium (1,000 mg/d), vitamin D (800 IU/d), and a multivitamin and mineral supplement. No other supplement was allowed throughout the study.

Whey protein supplementation. From the first week after surgery, patients randomized to the PRO and PRO+EX groups were prescribed a daily protein supplementation in the form of a whey-protein-enriched powder (Inkospor X-TREME; INKO, Peyruis, France) delivered in 750-g cans to the participants' home by the supplier. Participants were instructed to consume two powder drinks a day, one in the morning and the other in the afternoon or evening, shortly after the end of the exercise session for the PRO+EX group, for a total supplemental whey protein dose of 48 g/d (corresponding to two measuring spoons of 30 g of powder containing 24 g of whey protein mixed with 150 mL of water). Each protein drink provided approximately 464 kJ of energy, 0.9 g of sucrose, 1 g of fat, and 0.3 g of fiber. Patients were asked to return empty cans of protein powder at follow-up visits to assess compliance.

Resistance training program. From week 6 post surgery, participants randomized to the PRO+EX group exercised for 1 hour three times per week on nonconsecutive days over 18 weeks at our center under the supervision of qualified trainers. Each session included 10 minutes of light endurance warming up, 45 minutes of strength training, and 5 minutes of stretching and cooling down. The program was adapted from previous studies (23,24) that demonstrated the safety and effectiveness on body composition of progressive resistance training in patients with obesity and/or type 2 diabetes. The program consisted of six different movements (leg press, leg extension, abdominal crunch, chest press, vertical traction, and biceps curl) involving major muscle groups. Each exercise was repeated in four sets of 8 to 12 repetitions. For all movements except abdominal crunch, repetition maximum or maximum weight that can be used to complete one repetition (1-RM) values estimated before surgery were used to define weight loads during exercise sessions. The starting level was eight repetitions at 50% of 1-RM. The number of repetitions was increased (from 8 to 9 to 12), and then weight loads were increased (from 50%

to 65% to 75% of 1-RM). Resting periods between repetition sets were approximately 60 seconds.

Anthropometry and body composition. Body composition was measured by whole-body fan-beam dual-energy x-ray absorptiometry (DXA) scan (Hologic Discovery W; Hologic, Bedford, Massachusetts) (14). Lean body mass was calculated as weight minus bone mineral content minus fat mass. Body regions (upper limb, lower limb, trunk, and head) were delineated with the use of specific anatomical landmarks. For all patients, right-side half-body scans were carried out from which whole-body composition was extrapolated, as described (25).

Muscle strength. Isometric maximal grip strength was measured using a handgrip dynamometer (Jamar; Sammons Preston Rolyan, Bolingbrook, Canada) (26). The highest value of five maximal trials with each hand was kept for analyses (26). Dynamic maximal strength of lower and upper limbs was measured on strength training equipment (leg press, chest press) (27). After a warm-up set of ten repetitions with a light weight, subjects were asked to complete sets of three repetitions with the greatest strength and speed. Testing began at 50% of their estimated maximal strength, and the load was gradually increased for subsequent sets until failure was reached. The Myotest accelerometer device (Acceltec, Sion, Switzerland) is a valid and reliable tool specifically designed for field-based evaluation of muscle strength, velocity, and power (28,29). During strength testing, the Myotest was laid flat on the weights that moved on the vertical plane. The Myotest measured the maximum velocity (centimeters per second), which we used to establish the load-velocity relationship. Given the linear relationship between load and velocity, the maximal load, i.e., load at zero velocity, can be estimated accurately using the load-velocity relationship (30). The 1-RM, which is a measure of dynamic strength, is then estimated using the following equation: $1\text{-RM} = (0.871 \times \text{load at zero velocity}) - 0.624$ (30). For analysis, strength was expressed as absolute values (kilograms), values relative to body weight and lean body mass, and values adjusted for lean body mass.

Cardiorespiratory fitness and physical activity. VO_2 peak was measured by indirect calorimetry during a graded maximal exercise test on a cycle ergometer (31). The test protocol started at a workload of 30 W and increased by 30 W every 2 minutes until volitional exhaustion. VO_2 peak, determined as the highest attained VO_2 during the test, was expressed in absolute values and relative to body mass and to lean body mass. For assessment of habitual physical activity, participants wore the Actigraph GT3X+ (ActiGraph, LLC, Pensacola, Florida) accelerometer for seven consecutive days during waking hours. Time wear of at least 4 days and at least 8 hours each day defined valid data (32). The number of counts per minute was calculated from movements on the vertical axis. Steps were calculated by censoring steps taken at intensity < 500 counts per minute (33). Freedson cut points were used to quantify sedentary behavior and light-, moderate-, and vigorous-intensity physical activity (34).

Other assessments. Health-related quality of life was assessed with the 36-Item Short Form Health Survey (SF-36) and was summarized in a physical and a mental component score ranging from 0 (poor) to 100 (good) (35). Food and beverage consumption was assessed by a registered dietitian using the dietary history method (36). Energy (kilojoules per day) and macronutrient (grams per day) intakes were calculated using the national food database. Obesity comorbidities were defined through detailed assessment of each patient medical

history and medication use (37). Blood samples were collected after an overnight fast to measure routine parameters (blood count, blood glucose, protein, prealbumin, albumin, 25-OH vitamin D3, vitamin B12, folate, thiamine).

Outcomes

The primary outcome was pre- to 6-month postsurgery change in lean body mass. Secondary outcomes included changes in upper- and lower-limb muscle strength, cardiorespiratory fitness (VO_2 peak), objectively assessed habitual physical activity, dietary protein intake, nutritional status, obesity comorbidities, and health-related quality of life.

Statistical analysis

Based on evidence available at the time the study was designed, it was estimated that subjects lost an average of 16(7.4)% of their lean body mass 6 months after RYGB (14). Sample sizes were determined a priori and based on detection of a preservation effect in lean body mass loss of about one-third in subjects with protein supplementation (i.e., average loss of 10.7[4.9]%) (38). We assumed a similar additional effect in subjects with strength training. Setting an overall power to 80% with α at 0.05 yielded an estimate of 75 patients (with 31 in PRO group, 22 in PRO+EX and CON groups).

Characteristics of interest were summarized with frequencies and percentages for categorical data and means and standard deviations (SD), or medians and 25th and 75th percentiles (P_{25} - P_{75}) for continuous data. Variables that did not meet the assumption of a normal distribution were log-transformed and retested. If the assumption of normality could not be met by transformation, we used nonparametric tests for comparing groups. Baseline preoperative characteristics were analyzed with one-way analysis of variance (ANOVA) or Kruskal-Wallis test (for continuous data) and χ^2 test or Fisher exact test (for categorical data) as appropriate. Linear mixed models were used to estimate and test changes over time. The terms "group," "time," and "group \times time" were included as fixed effects. Each follow-up wave was added to the model as a dummy variable. Changes in muscle strength independent of changes in regional lean mass were estimated by including the regional lean body mass variable as a covariate in the corresponding models. Primary analyses were intention-to-treat (ITT), involving all randomized patients ($n=76$). For analyses of lower-limb muscle strength data, implausible values (1-RM values more than 320 kg) led to exclusion of data from three subjects. All analyses were then repeated on completers defined as subjects taking ≥ 24 g/d additional protein intake (i.e., half of total supplemental whey protein dose) and participating in ≥ 2 exercise sessions per week for 16 weeks (i.e., the lower limit of prescribed exercise frequency). Two-sided P values are reported. The dose-response relationship across randomized groups was examined by performing a test of trend and examining linear and nonlinear (quadratic) contrasts. Results were considered significant at $P < 0.05$. Statistical analyses were performed with Stata software (release 13; Stata Corp., College Station, Texas).

Results

Out of 290 subjects assessed for eligibility, 71 patients were not included because they did not meet inclusion criteria, and 125 refused to

participate (Figure 1). A total of 94 patients were included in the study; 76 were randomized to receive either usual follow-up (CON, $n=22$), usual follow-up and additional protein intake (PRO, $n=31$) or usual follow-up, additional protein intake, and exercise training (PRO+EX, $n=23$) and included in the ITT analysis, with 47 of them meeting the definition of completers. In the PRO and PRO+EX groups, we found no difference between noncompleters ($n=29$) and completers ($n=25$) in baseline characteristics, except for protein intake.

Baseline characteristics were similar between groups (Table 1). Mean (SD) age was 42.4 (9.9) years, body weight was 116.2 (16.2) kg, BMI was 44.0 (5.8), and percent body fat was 50.1% (4.0%). Compared with nonincluded patients, those included had lower BMI (BMI in nonincluded patients: 46.6 (6.4); $P=0.002$) and had similar age (43.1 [12.6] years; $P=0.719$). The median (P_{25} - P_{75}) number of exercise training sessions attended in the PRO+EX group was 35 (15-40). The median (P_{25} - P_{75}) whey protein supplementation was 20.8 (12.5-41.7) g/d in the PRO group and 36.5 (29.2-41.7) g/d in the PRO+EX group. At baseline, five participants reached the physical activity threshold of 150 min/wk of 10-minute bouts of moderate-to-vigorous physical activity (one from the CON group and four from the PRO group).

Table 2 and Table 3 show changes in anthropometry and body composition, muscle strength, cardiorespiratory fitness, habitual physical activity, quality of life, dietary intake, and nutritional status after RYGB according to treatment groups in ITT analysis (Table 2) and in completers only (Table 3). A significant time effect was observed for almost all variables, both in ITT and completers. Overall, 6 months after RYGB, lean body mass decreased by 8.2 (SD 3.1) kg in parallel with a decrease in body weight, BMI, and fat mass (mean [SD], 27.5 [7.4] kg, 10.4 [2.6] kg/m², and 19.6 [4.8] kg, respectively) without significant difference between groups. For lower-limb and upper-limb strength in ITT analysis, when expressed relative to body weight or to lean body mass, there was a significant group effect and group×time interaction. In completers, group×time interaction was significant for lower-limb and upper-limb muscle strength expressed in absolute and relative values. In completers, a dose-response relationship was evidenced for changes in lower- and upper-limb 1-RM between CON, PRO, and PRO+EX groups ($P_{\text{linear}} < 0.05$). Supporting Information Table S1 shows details of changes in dietary intakes.

Figure 2 illustrates the relative change in lower-limb and upper-limb muscle strength in percent change from baseline in completers. In the PRO+EX group after RYGB, increases in muscle strength were

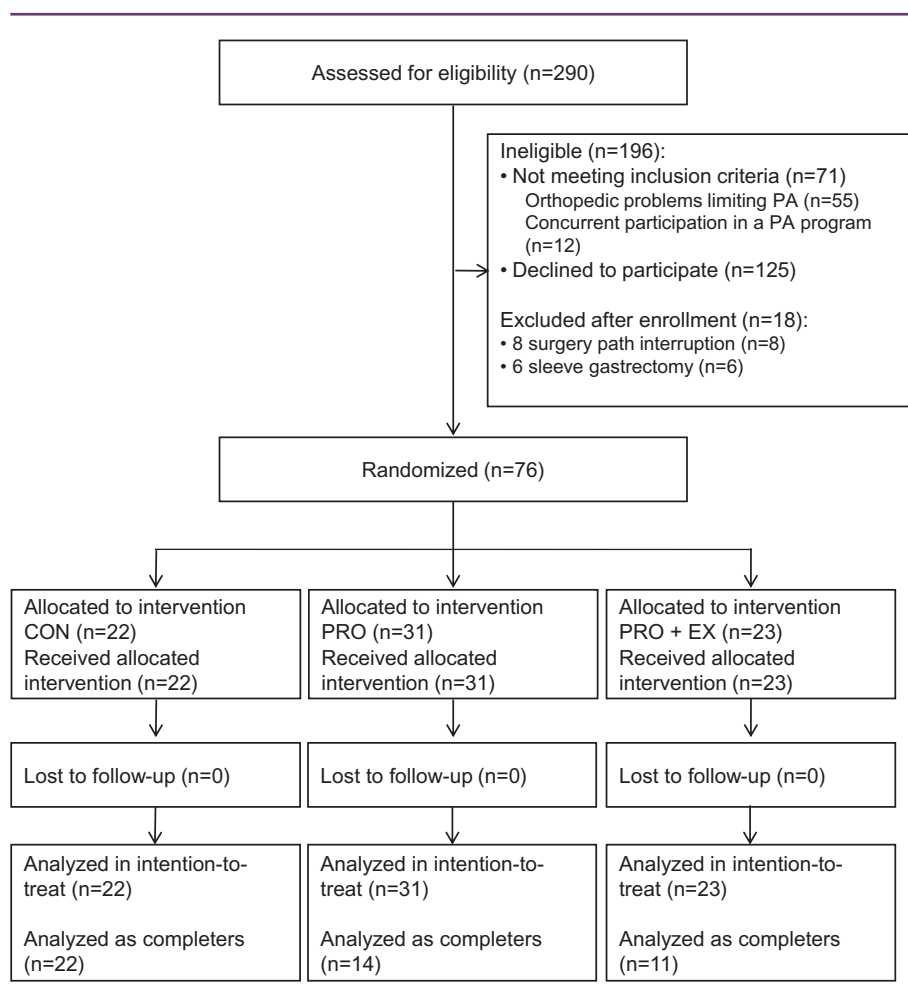


Figure 1 Study flow diagram. Abbreviations: CON, control group; PA, physical activity; PRO, protein intake group; PRO+EX, protein intake and supervised strength training group.

TABLE 1 Baseline preoperative characteristics of patients undergoing Roux-en-Y gastric bypass surgery

	All patients, <i>n</i> = 76	CON, <i>n</i> = 22	Randomized, <i>n</i> = 76		<i>P</i> value
			PRO, <i>n</i> = 31	PRO + EX, <i>n</i> = 23	
Age, y	42.4 (9.9)	43.9 (10.7)	42.5 (8.7)	40.9 (10.8)	0.604 ^a
Anthropometry and body composition					
Body weight, kg (<i>n</i> = 76)	116.2 (16.2)	116.3 (19.3)	115.7 (14.9)	116.7 (15.4)	0.972 ^a
BMI, kg/m ² (<i>n</i> = 76)	44.0 (5.8)	43.6 (6.2)	43.3 (6.0)	45.2 (5.2)	0.484 ^a
Body fat, % (<i>n</i> = 75)	50.1 (4.0)	50.2 (3.4)	49.7 (4.8)	50.4 (3.4)	0.794 ^a
Fat mass (<i>n</i> = 75)					
Total, kg	58.3 (10.9)	58.7 (11.8)	57.4 (10.8)	59.2 (10.5)	0.527 ^a
Trunk fat mass, kg	28.1 (5.5)	27.8 (6.2)	27.8 (5.4)	28.8 (5.1)	0.753 ^a
LBM (<i>n</i> = 75)					
Total, kg	55.5 (6.7)	55.6 (8.4)	55.9 (6.1)	54.8 (5.9)	0.844 ^a
Lower-limb LBM, kg	19.7 (3.3)	19.6 (3.6)	19.7 (3.3)	19.8 (3.1)	0.990 ^a
Upper-limb LBM, kg	4.5 (0.9)	4.3 (0.9)	4.5 (1.0)	4.5 (0.7)	0.552 ^a
Muscle strength					
Handgrip, kgF (<i>n</i> = 76)	32.0 (6.2)	30.6 (5.7)	33.0 (7.0)	32.0 (5.6)	0.388 ^a
Lower-limb 1-RM					
Absolute, kg (<i>n</i> = 71)	179.5 (47.8)	175.7 (53.1)	174.6 (42.0)	189.2 (50.4)	0.519 ^a
Relative to body weight, kg/kg (<i>n</i> = 71)	1.57 (0.45)	1.58 (0.59)	1.52 (0.39)	1.62 (0.38)	0.734 ^a
Relative to lower limb LBM, kg/kgLBM (<i>n</i> = 70)	9.31 (2.85)	9.41 (3.69)	8.94 (2.54)	9.65 (2.31)	0.682 ^a
Upper-limb 1-RM					
Absolute, kg (<i>n</i> = 75)	32.1 (8.1)	31.4 (6.9)	32.1 (8.2)	32.9 (9.2)	0.836 ^a
Relative to body weight, kg/kg (<i>n</i> = 75)	0.28 (0.07)	0.27 (0.05)	0.28 (0.08)	0.28 (0.08)	0.834 ^a
Relative to upper-limb LBM, kg/kgLBM (<i>n</i> = 74)	7.37 (1.89)	7.56 (2.03)	7.31 (1.97)	7.25 (1.70)	0.842 ^a
Cardiorespiratory fitness					
VO₂ peak					
Absolute, L/min (<i>n</i> = 73)	2.10 (0.49)	2.21 (0.50)	2.08 (0.46)	2.02 (0.51)	0.433 ^a
Relative to body weight, mL/min/kg (<i>n</i> = 73)	18.2 (4.2)	19.2 (4.9)	18.1 (3.5)	17.4 (4.3)	0.373 ^a
Relative to LBM, mL/min/kgLBM (<i>n</i> = 73)	38.0 (9.0)	40.1 (10.4)	37.3 (7.5)	36.9 (9.3)	0.421 ^a
Habitual physical activity					
Wear time, min/d (<i>n</i> = 70)	786.0 (74.2)	798.2 (67.7)	784.9 (81.6)	775.2 (71.7)	0.607 ^a
Counts per minute (<i>n</i> = 70)	314.5 (97.8)	295.7 (85.6)	344.7 (116.5)	293.2 (72.4)	0.108 ^a
Steps per day (<i>n</i> = 70)	6,450.2 (2,483.5)	6,573.6 (2,188.7)	6,966.5 (2,843.7)	5,638.5 (2,119.0)	0.174 ^a
LPA, min/d (<i>n</i> = 70)	286.8 (71.4)	282.0 (75.8)	293.8 (76.5)	282.2 (61.8)	0.804 ^a
MVPA, min/d (<i>n</i> = 70), median (P ₂₅ -P ₇₅)	24.6 (16.7-35.9)	25.7 (14.7-33.8)	25.1 (17.7-41.8)	20.9 (15.9-33.7)	0.338 ^b
MVPA in ≥10-min bouts, (<i>n</i> = 70), min/wk, median (P ₂₅ -P ₇₅)	22 (0-67)	29 (0-66)	22.0 (0-109.5)	20 (10-49)	0.740 ^b
Accumulate 150 min/wk MVPA in ≥10-min bouts, No. (%)	5 (7.1)	1 (4.8)	4 (14.3)	0 (0)	0.177 ^d
Quality of life					
Physical dimension (<i>n</i> = 74)	37.7 (6.7)	38.1 (6.5)	37.1 (6.6)	38.1 (7.5)	0.839 ^a
Mental dimension (<i>n</i> = 74)	43.1 (8.0)	44.2 (8.6)	42.8 (7.4)	42.5 (8.5)	0.759 ^a
Comorbidities					
Type 2 diabetes, No. (%), (<i>n</i> = 76)	21 (27.6)	5 (22.7)	8 (25.8)	8 (34.8)	0.636 ^c

TABLE 1 (Continued)

	All patients, <i>n</i> = 76	CON, <i>n</i> = 22	Randomized, <i>n</i> = 76		<i>P</i> value
			PRO, <i>n</i> = 31	PRO + EX, <i>n</i> = 23	
Sleep apnea syndrome, No. (%), (<i>n</i> = 76)	39 (51.3)	10 (45.5)	18 (58.1)	11 (47.8)	0.613 ^c
Hypertension, No. (%), (<i>n</i> = 75)	22 (29.3)	6 (27.3)	10 (33.3)	6 (26.1)	0.821 ^c
Dietary intake					
Energy intake, kJ/d (<i>n</i> = 51)	7,450.4 (1,756.0)	7,358.3 (1,746.9)	7,680.8 (2,196.0)	7,210.0 (8,72.1)	0.724 ^a
Protein, g/d (<i>n</i> = 62)	78.9 (16.3)	80.3 (12.7)	82.0 (19.8)	73.1 (12.9)	0.185 ^a
Protein, g/kg/d (<i>n</i> = 62)	0.69 (0.16)	0.71 (0.12)	0.72 (0.18)	0.65 (0.17)	0.343 ^a
Carbohydrate, g/d (<i>n</i> = 55), median (P ₂₅ -P ₇₅)	208.0 (52.7)	216.9 (64.8)	206.8 (56.5)	199.6 (28.4)	0.673 ^b
Lipid, g/d (<i>n</i> = 55)	69.0 (17.4)	67.3 (18.3)	69.3 (21.0)	70.4 (11.0)	0.877 ^a
Nutritional status					
Hemoglobin, g/dL (<i>n</i> = 76)	13.1 (0.9)	13.0 (0.9)	13.0 (0.8)	13.5 (0.8)	0.078 ^a
Proteinemia, g/L (<i>n</i> = 76)	72.0 (4.1)	72.5 (4.3)	72.0 (4.2)	71.7 (3.9)	0.829 ^a
Albumin, g/L (<i>n</i> = 75)	36.1 (3.9)	36.0 (3.7)	36.2 (4.4)	36.1 (3.4)	0.970 ^a
Prealbumin, g/L (<i>n</i> = 75)	0.25 (0.05)	0.24 (0.06)	0.24 (0.04)	0.25 (0.04)	0.568 ^a
Vitamins					
25(OH) vitamin D3, ng/mL (<i>n</i> = 75)	16.8 (9.0)	18.3 (10.3)	17.7 (9.1)	14.2 (7.0)	0.375 ^a
Thiamine, nmol/L (<i>n</i> = 72)	163.1 (56.1)	166.1 (36.0)	158.3 (74.7)	166.5 (43.8)	0.408 ^a
Serum folate, nmol/L (<i>n</i> = 72)	17.3 (7.5)	19.4 (8.3)	16.7 (7.5)	16.0 (6.5)	0.278 ^a
Erythrocyte folate, nmol/L (<i>n</i> = 54)	1,248.8 (371.6)	1,435.5 (346.2)	1,143.0 (255.2)	1,200.2 (500.9)	0.018^a
B12, pmol/L (<i>n</i> = 74)	348.8 (162.5)	357.7 (248.2)	337.5 (97.2)	355.3 (130.0)	0.897 ^a

Data are means (standard deviations) unless otherwise indicated. *P* value from test performed on log-transformed data for vitamins (except for serum folate). Number of observations for each item may vary because of missing data.

^a*P* value from one-way ANOVA.

^b*P* value from Kruskal–Wallis test.

^c*P* value from χ^2 test.

^d*P* value from Fisher exact test.

1-RM, one-repetition maximum; CON, control group; PRO, protein intake group; PRO+EX, protein intake and supervised strength training group; LBM, lean body mass; LPA, light physical activity; MVPA, moderate-to-vigorous physical activity; No., frequency; *n*, number of observations; P_{*x*}, *x*th percentile.

12% and 13% in absolute values and 43% and 44% relative to body weight for lower and upper limb, respectively (Figure 2). When muscle strength was expressed relative to lean body mass, increases equaled 33% and 30%.

Overall, 6 months after RYGB, VO₂ peak increased by 2.8 (SD 4.9) mL/kg/min and the number of steps by 1,178 (SD 3,082) steps per day. A significant time effect without difference between groups was also observed for changes in handgrip strength, energy, macronutrient intake, and nutritional parameters. Mean (SD) daily protein intake (including the additional protein intake) 6 months after RYGB was 60.2 (17.3), 74.5 (22.4), and 81.4 (27.7) g/d in CON, PRO, and PRO+EX subjects, respectively. No serious adverse effect was recorded.

Discussion

This is the first RCT to test whether resistance training, under supervision for 18 weeks and with protein supplementation in the form of oral intake of whey protein added to the usual diet, was effective in maintaining lean body mass after RYGB. Although body composition changes did not differ across groups, other results show an increase

in muscle strength, which was found to be two to three times higher for lower limbs in the group following the exercise training program and the protein supplementation compared with the group with protein supplementation without exercise and with the group that followed the usual postsurgery medical and nutritional care.

Results also show that surgery-induced weight loss by itself was associated with a series of beneficial health effects, including increased objectively measured habitual physical activity and cardiorespiratory fitness, adding to current evidence indicating an overall improved cardiovascular risk profile in patients after bariatric surgery. Postsurgery improvement in cardiorespiratory fitness has been previously reported in several observational studies (39). Changes in habitual physical activity, however, are still a matter of discussion. According to recent reviews, data generated from self-reported questionnaires consistently indicated an increase in physical activity, whereas data from objective measures indicated no change or only modest increases (5,16,40).

A unique feature of our trial is the design combining muscle strength training and protein supplementation in patients undergoing bariatric surgery. At the time the study was designed and funded, no RCT had

TABLE 2 Changes in anthropometry, body composition, muscle strength, cardiorespiratory fitness, habitual physical activity, and quality of life after Roux-en-Y gastric bypass surgery (intention-to-treat, *n* = 76)

	Change from baseline (95% CI)			<i>P</i>		
	CON, <i>n</i> = 22	PRO, <i>n</i> = 31	PRO+EX, <i>n</i> = 23	Group	Time	Group x time
Anthropometry and body composition						
Body weight, kg	-28.0 (-30.6 to -25.4)	-27.2 (-29.4 to -25.1)	-27.4 (-29.9 to -24.8)	0.970	<0.001	0.664
BMI, kg/m ²	-10.5 (-11.4 to -9.6)	-10.2 (-11.0 to -9.4)	-10.6 (-11.5 to -9.7)	0.503	<0.001	0.686
Fat mass, kg	-19.7 (-21.5 to -17.9)	-19.8 (-21.3 to -18.2)	-19.4 (-21.1 to -17.6)	0.808	<0.001	0.417
LBM, kg	-8.8 (-10.1 to -7.5)	-8.2 (-9.3 to -7.1)	-7.7 (-9.0 to -6.5)	0.803	<0.001	0.899
Lower-limb LBM, kg	-3.6 (-4.3 to -3.0)	-3.0 (-3.6 to -2.5)	-3.2 (-3.8 to -2.6)	0.712	<0.001	0.557
Upper-limb LBM, kg	-0.3 (-0.6 to -0.1)	-0.3 (-0.5 to -0.1)	-0.5 (-0.8 to -0.3)	0.633	<0.001	0.554
Muscle strength						
Handgrip, kgF	-21.0 (-43.1 to 1.1)	-29.1 (-47.5 to -10.6)	-22.9 (-44.1 to -1.4)	0.427	<0.001	0.840
Lower-limb 1-RM						
Absolute, kg	-30.4 (-55.8 to -5.0)	-19.6 (-41.5 to 2.3)	+4.68 (-19.6 to 28.9)	0.012	0.032	0.128
Relative to body weight, kg/kg	+0.12 (-0.14 to 0.38)	+0.22 (-0.01 to 0.44)	+0.59 (0.34 to 0.84)	0.033	<0.001	0.021
Relative to lower-limb LBM, kg/kgLBM	-0.08 (-1.53 to 1.38)	+0.19 (-1.08 to 1.46)	+2.22 (0.83 to 3.60)	0.041	0.055	0.043
Adjusted for lower-limb LBM, kg	-19.3 (-46.3 to 7.7)	-9.1 (-32.3 to 14.2)	+14.6 (-10.9 to 40.2)	0.010	0.584	0.136
Upper-limb 1-RM						
Absolute, kg	-6.2 (-9.9 to -2.6)	-4.8 (-7.9 to -1.7)	-0.5 (-4.0 to 3.0)	0.135	<0.001	0.061
Relative to body weight, kg/kg	+0.02 (-0.02 to 0.06)	+0.03 (-0.01 to 0.06)	+0.09 (0.05 to 0.12)	0.175	<0.001	0.050
Relative to upper-limb LBM, kg/kgLBM	-1.0 (-2.0 to -0.1)	-0.8 (-1.6 to 0.1)	+0.9 (-0.1 to 1.9)	0.242	0.272	0.010
Adjusted for upper-limb LBM, kg	-5.2 (-9.0 to -1.5)	-4.1 (-7.3 to 0.9)	+1.2 (-2.5 to 4.9)	0.123	0.012	0.029
Cardiorespiratory fitness						
VO₂ peak						
Absolute, L/min	-0.4 (-0.6 to -0.2)	-0.3 (-0.4 to -0.1)	-0.1 (-0.3 to 0.1)	0.759	<0.001	0.276
Relative to body weight, mL/min/kg	+1.8 (-0.3 to 3.9)	+2.5 (0.7 to 4.3)	+4.0 (1.9 to 6.1)	0.764	<0.001	0.324
Relative to LBM, mL/min/kgLBM	-1.0 (-5.1 to 3.1)	+0.4 (-3.1 to 3.8)	+3.2 (-0.8 to 7.3)	0.663	0.443	0.335
Habitual physical activity						
Wear time, min/d	-7.5 (-45.7 to 30.6)	-3.0 (-36.4 to 30.4)	-8.3 (-46.5 to 29.8)	0.551	0.561	0.975
Counts per minute	+49.4 (-0.1 to 98.9)	+10.7 (-32.9 to 54.4)	+31.0 (-18.5 to 80.5)	0.337	0.031	0.515
Steps per day	+1,716 (358 to 3,074)	+629 (-560 to 1,819)	+1,022 (-336 to 2,379)	0.164	0.004	0.496
LPA, min/d	+3.1 (-26.5 to 32.6)	-23.7 (-49.7 to 2.3)	+1.5 (-28.1 to 31.0)	0.995	0.445	0.311
MVPA, min/d	+9.6 (1.9 to 17.3)	+5.7 (-1.1 to 12.5)	+5.7 (-2.0 to 13.5)	0.178	0.001	0.717
MVPA in ≥10-min bouts, min/wk	+30.5 (1.2 to 59.9)	+20.3 (-5.7 to 46.4)	+14.8 (-14.6 to 44.1)	0.114	0.009	0.751
Quality of life						
Physical dimension	+8.7 (6.1 to 11.2)	+9.4 (7.2 to 11.6)	+10.0 (7.4 to 12.7)	0.994	<0.001	0.438
Mental dimension	+5.8 (2.3 to 9.3)	+8.2 (5.3 to 11.2)	+8.9 (5.3 to 12.4)	0.929	<0.001	0.800
Dietary intake						
Energy intake, kJ/d	-2,196.2 (-2,920.7 to -1,471.7)	-2,737.2 (-3,362.6 to -2,111.8)	-1,961.9 (-2,715.4 to -1,208.5)	0.492	<0.001	0.526
Protein, g/d	-20.8 (-30.7 to -10.9)	-8.2 (-16.5 to 0.1)	+7.3 (-2.6 to 17.1)	<0.001	<0.001	<0.001

TABLE 2 (Continued)

	Change from baseline (95% CI)			Group	P	
	CON, n=22	PRO, n=31	PRO+EX, n=23		Time	Group x time
Protein, g/kg/d	-0.18 (-0.28 to -0.09)	-0.07 (-0.15 to 0.01)	+0.06 (-0.03 to 0.16)	<0.001	<0.001	<0.001
Carbohydrate, g/d	-75.5 (-100.1 to -50.9)	-79.1 (-101.1 to -57.1)	-79.1 (-104.4 to -53.8)	0.204	<0.001	0.954
Lipid, g/d	-19.6 (-27.0 to -12.2)	-26.3 (-32.9 to -19.7)	-23.1 (-30.7 to -15.4)	0.813	<0.001	0.714
Nutritional status						
Hemoglobin, g/dL	-0.01 (-0.38 to 0.36)	-0.04 (-0.35 to 0.28)	-0.02 (-0.39 to 0.35)	0.030	0.150	0.937
Proteinemia, g/L	-2.0 (-3.7 to -0.3)	-1.6 (-3.0 to -0.1)	-2.0 (-3.7 to -0.4)	0.820	<0.001	0.837
Albumin, g/L	+1.1 (-0.5 to 2.6)	+1.5 (0.2 to 2.8)	+1.0 (-0.6 to 2.5)	0.829	0.001	0.791
Prealbumin, g/L	-0.05 (-0.07 to -0.04)	-0.05 (-0.06 to -0.04)	-0.05 (-0.07 to -0.04)	0.400	<0.001	0.964
Vitamins						
25(OH) Vitamin D3, ng/mL	+11.4 (7.1 to 15.7)	+12.8 (9.2 to 16.4)	+17.6 (13.5 to 21.8)	0.991	<0.001	0.341
Thiamine, nmol/L	+9.9 (-28.0 to 47.8)	+38.3 (10.0 to 66.7)	+38.9 (8.0 to 69.9)	0.119	0.007	0.445
Serum folate, nmol/L	+3.3 (-0.2 to 6.9)	+4.9 (1.9 to 8.0)	+10.7 (7.1 to 14.3)	0.504	<0.001	0.047
Erythrocyte folate, nmol/L	+37.7 (-159.7 to 235.2)	+230.5 (60.5 to 400.5)	+398.8 (180.4 to 617.2)	0.268	<0.001	0.192
B12, pmol/L	-84.9 (-131.5 to -38.3)	-62.1 (-101.7 to -22.6)	-86.5 (-133.6 to -39.5)	0.947	<0.001	0.777

P values for group, time, and interaction (group x time) terms in mixed models; bold values indicate significance with P < 0.05. 1-RM, one-repetition maximum; CON, control group; PRO, protein intake group; PRO+EX, protein intake and supervised strength training group; LBM, lean body mass; LPA, light physical activity; MVPA, moderate-to-vigorous physical activity.

TABLE 3 Changes in anthropometry, body composition, muscle strength, cardiorespiratory fitness, habitual physical activity and quality of life after Roux-en-Y gastric bypass surgery (completers, n=47)

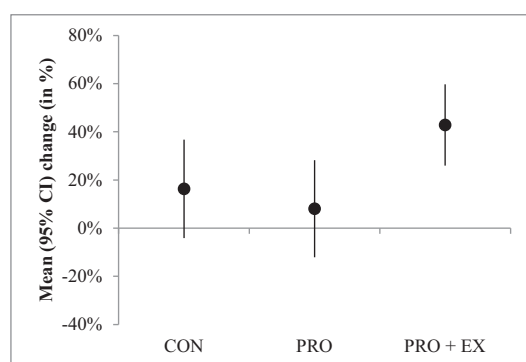
	Change from baseline (95% CI)			Group	P	
	CON, n=22	PRO, n=14	PRO+EX, n=11		Time	Group x time
Anthropometry and body composition						
Body weight, kg	-28.0 (-30.8 to -25.2)	-26.7 (-30.2 to -23.1)	-25.7 (-29.7 to -21.8)	0.760	<0.001	0.751
BMI, kg/m ²	-10.5 (-11.4 to -9.5)	-10.2 (-11.4 to -9.0)	-10.1 (-11.5 to -8.7)	0.291	<0.001	0.811
Fat mass, kg	-19.7 (-21.5 to -17.9)	-19.6 (-21.9 to -17.3)	-17.4 (-20.0 to -14.8)	0.513	<0.001	0.362
Lean body mass, kg	-8.8 (-10.2 to -7.5)	-7.2 (-8.8 to -5.5)	-7.8 (-9.7 to -5.9)	0.771	<0.001	0.624
Lower-limbs LBM, kg	-3.6 (-4.3 to -3.0)	-2.7 (-3.5 to -1.9)	-3.3 (-4.2 to -2.4)	0.695	<0.001	0.318
Upper-limbs LBM, kg	-0.3 (-0.6 to -0.1)	-0.2 (-0.5 to 0.1)	-0.6 (-0.9 to 0.2)	0.524	<0.001	0.798
Muscle strength						
Handgrip, kgF	-21.0 (-46.3 to 4.3)	-28.0 (-59.0 to 3.0)	-3.6 (-38.5 to 31.4)	0.055	0.052	0.577
Lower-limb 1-RM						
Absolute, kg	-30.4 (-54.8 to -6.0)	-31.5 (-64.7 to 1.6)	+17.6 (-15.5 to 50.8)	0.007	0.100	0.048
Relative to body weight, kg/kg	+0.12 (-0.11 to 0.35)	+0.11 (-0.20 to 0.43)	+0.68 (0.37 to 0.99)	0.071	<0.001	0.010
Relative to lower-limb LBM, kg/kgLBM	-0.07 (-1.36 to 1.22)	-0.66 (-2.41 to 1.09)	+3.10 (1.35 to 4.85)	0.066	0.097	0.005
Adjusted for lower-limb LBM, kg	-18.7 (-45.0 to 7.6)	-23.4 (-56.2 to 9.4)	+28.7 (-5.0 to 62.5)	0.012	0.661	0.032
Upper-limb 1-RM						
Absolute, kg	-6.2 (-9.9 to -2.6)	-6.0 (-10.7 to -1.3)	+3.5 (-1.6 to 8.6)	0.002	0.028	0.006
Relative to body weight, kg/kg	+0.02 (-0.02 to 0.06)	+0.02 (-0.03 to 0.07)	+0.13 (0.07 to 0.18)	0.012	<0.001	0.006

TABLE 3 (Continued)

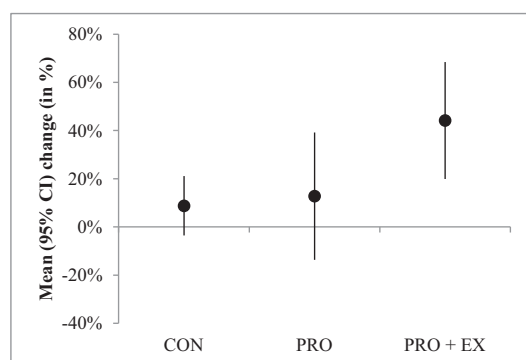
	Change from baseline (95% CI)			P		
	CON, n=22	PRO, n=14	PRO+EX, n=11	Group	Time	Group x time
Relative to upper-limb LBM, kg/kgLBM	-1.0 (-2.0 to -0.1)	-1.1 (-2.4 to 0.1)	+2.0 (0.7 to 3.3)	0.017	0.885	<0.001
Adjusted for upper-limb LBM,kg	-5.2 (-8.9 to -1.4)	-5.4 (-10.1 to -0.7)	+5.3 (0.1 to 10.5)	0.002	0.207	0.002
Cardiorespiratory fitness						
VO₂ peak						
Absolute, L/min	-0.4 (-0.6 to -0.1)	-0.1 (-0.4 to 0.1)	-0.1 (-0.5 to 0.2)	0.277	0.011	0.364
Relative to body weight, mL/min/kg	+1.8 (-0.5 to 4.2)	+3.9 (1.0 to 6.8)	+3.1 (-0.4 to 6.5)	0.131	<0.001	0.541
Relative to LBM mL/min/kgLBM	-0.9 (-5.5 to 3.7)	+2.4 (-3.3 to 8.0)	+2.8 (-3.9 to 9.5)	0.211	0.399	0.553
Habitual physical activity						
Wear time, min/d	-7.5 (-43.9 to 28.8)	-3.3 (-50.8 to 44.3)	+27.4 (-24.3 to 79.1)	0.823	0.681	0.539
Counts per minute	+49.4 (-4.3 to 103.1)	+45.3(-25.6 to 116.3)	(-4.3 to 103.1)	0.254	0.017	0.996
Steps per day	+1,726 (345 to 3,108)	+1,063 (-749 to 2,874)	+2,014 (48 to 3,980)	0.459	0.002	0.764
LPA, min/d	+3.5 (-23.2 to 30.1)	-6.5 (-41.8 to 28.8)	+29.0 (-8.9 to 66.9)	0.353	0.382	0.382
MVPA, min/d	+9.6 (1.0 to 18.2)	+9.2 (-2.2 to 20.6)	+10.3 (-1.94 to 22.5)	0.075	0.002	0.992
MVPA in ≥10-min bouts, min/wk	+30.5 (-2.40 to 63.5)	+15.9 (-28.1 to 59.8)	+17.3 (-29.4 to 64.0)	0.057	0.083	0.836
Quality of life						
Physical dimension	+8.7 (6.2 to 11.2)	+9.3 (6.2 to 12.5)	+10.2 (6.5 to 14.0)	0.764	<0.001	0.543
Mental dimension	+5.8 (2.4 to 9.3)	+6.0 (1.6 to 10.3)	+9.8 (4.7 to 15.0)	0.964	<0.001	0.442
Dietary intake						
Energy intake, kJ/d	-2,182.6 (-2,974.1 to -1,391.0)	-2,628.3 (-3,626.6 to -1,630.1)	-1,668.6 (-2,837.8 to -499.5)	0.104	<0.001	0.894
Protein, g/d	-20.6 (-29.9 to -11.4)	+0.1 (-11.3 to 11.5)	+13.0 (-1.2 to 27.2)	<0.001	<0.001	<0.001
Protein, g/kg/d	-0.18 (-0.27 to -0.10)	+0.01 (-0.10 to 0.12)	+0.11 (-0.03 to 0.24)	<0.001	<0.001	<0.001
Carbohydrate, g/d	-75.4 (-101.7 to -49.0)	-73.4 (-107.8 to -39.0)	-79.8 (-120.1 to -39.5)	0.315	<0.001	0.994
Lipid, g/d	-19.6 (-26.9 to -12.2)	-21.9 (-31.6 to -12.2)	-15.2 (-26.5 to -3.9)	0.388	<0.001	0.868
Nutritional status						
Hemoglobin, g/dL	-0.01 (-0.44 to 0.42)	+0.01 (-0.53 to 0.55)	-0.08 (-0.70 to 0.55)	0.023	0.633	0.949
Proteinemia, g/L	-2.0 (-3.7 to -0.3)	-1.6 (-3.7 to 0.6)	-2.2 (-4.6 to 0.3)	0.822	0.008	0.850
Albumin, g/L	+1.1 (-0.5 to 2.7)	+1.3 (-0.7 to 3.3)	+1.5 (-0.8 to 3.7)	0.146	0.007	0.442
Prealbumin, g/L	-0.05 (-0.07 to -0.04)	-0.05 (-0.06 to -0.03)	-0.06 (-0.08 to -0.04)	0.480	<0.001	0.763
Vitamins						
25(OH) Vitamin D3, ng/mL	+11.4 (7.6 to 15.2)	+12.9 (8.2 to 17.6)	+14.8 (9.5 to 20.1)	0.255	<0.001	0.911
Thiamine, nmol/L	+9.9 (-30.1 to 50.0)	+23.4 (-19.9 to 66.7)	+21.2 (-26.1 to 68.6)	0.233	0.255	0.855
Serum folate, nmol/L	+3.3 (-0.4 to 7.1)	+4.2 (-0.6 to 8.9)	+11.8 (6.4 to 17.2)	0.558	<0.001	0.058
Erythrocyte folate, nmol/L	+41.8 (-143.8 to 227.4)	+281.1 (36.5 to 525.8)	+417.1 (128.1 to 706.0)	0.450	<0.001	0.060
B12, pmol/L	-83.3 (-126.2 to -40.4)	-36.8 (-89.7 to 16.1)	-76.1 (-137.9 to -14.2)	0.904	<0.001	0.546

P values for group, time, and interaction (group×time) terms in mixed models; bold values indicate significance with P<0.05.

1-RM, one-repetition maximum; CON, control group; PRO, protein intake group; PRO+EX, protein intake and supervised strength training group; LBM, lean body mass; LPA, light physical activity; MVPA, moderate-to-vigorous physical activity.



A. Lower limb muscle strength relative to body weight



B. Upper limb muscle strength relative to body weight

Figure 2 Percent change in (A) lower-limb muscle strength and (B) upper-limb muscle strength relative to body weight from baseline to 6 months after Roux-en-Y gastric bypass surgery (completers). Dots represent mean values, and vertical bars extending from dots in both directions represent 95% CI. Abbreviations: CON, control group; PRO, protein intake group; PRO+EX, protein intake and supervised strength training group.

been published testing the effects of exercise training, whatever type, on health outcomes after bariatric surgery. We initially focused on changes in lean body mass based on results of our previous observational study describing changes in body composition through serial DXA assessments after RYGB (14). In that study, in patients closely monitored and following usual care recommendations (21,22), lean body mass loss amounted to about one-third of body weight loss in the 6-month to 1-year time period after RYGB (14). In addition to functional consequences, risk of malnutrition, and reduced capacity to cope with aggression, this loss in lean body mass would induce a decrease in energy expenditure, possibly contributing to weight regain as observed in many patients at long term after surgery (3). Since then, results of several trials have suggested similar changes in lean body mass with exercise training compared with usual care after bariatric surgery (5), in line with the present data. None of these previous trials has, however, investigated the effects of combining strength training with additional protein intake. Indeed, sufficient intake of high-quality protein is necessary to preserve or increase lean body mass through strength training (17). This also explains why we decided not to include an exercise-only group in our trial.

A recent review evidenced decreased muscle strength after bariatric surgery (16). Interestingly, our findings show that gains in muscle

strength can be achieved in the first months following bariatric surgery with progressive moderate-intensity strength training. This gain in muscle strength is likely to be a beneficial effect regarding physical functioning given the major contribution of muscle strength in performing daily living physical activity in persons with obesity (41). In the PRO+EX group, we observed an increase of 12% and 43% on average in lower-limb muscle strength in absolute and relative terms, respectively. Such an increase in absolute strength is lower than that usually reported after resistance training in previously untrained women (42) but is comparable to the gain observed after resistance training following bariatric surgery (8). In a nonrandomized trial, Daniels et al. reported an 18% to 36% increase in lower-limb absolute strength after a 12-week resistance training. Increases in muscle strength of approximately 20% also were found after resistance training when performed during dietary-induced weight loss (43). The decrease in lean body mass associated with weight loss might prevent large gains in absolute strength, and even more so during surgery-induced weight loss. Our findings therefore add to emerging evidence showing that it is feasible to substantially increase muscle strength with physical training, even during marked negative energy balance, leading to important lean body mass loss. This increase in muscle strength was not associated with additional improvements in quality of life, in line with previous studies (44).

Gains in muscle strength as found here might be attributable to neural adaptations rather than muscle hypertrophy. Neural adaptations occurring during the first months of resistance training mainly include increased motor unit activation of the trained muscles and decreased cocontraction of antagonists (10). Uncoupling between muscle strength and mass after long-term resistance training has been well described (10). For example, a 66% increase in strength after a 6-month strength training program performed in middle-aged women under normocaloric conditions was explained by a 34% increase in muscle activation and a 9% increase in muscle cross section (42).

Protein intake appeared sufficient to maintain protein status, although it was found insufficient to observe an effect on lean body mass. In the control group, energy and protein intakes were indeed very low during the first months after surgery, in agreement with previous literature (3). With the use of a whey protein supplement, subjects in the two intervention groups achieved increased protein intake compared with usual care. Protein intake was, on average, more than 60 g/d 3 months after RYGB, which corresponds to thresholds suggested in recent guidelines for bariatric surgery patients (2,3). This was, however, far from recommended protein intake for maintenance of muscle mass during strength training, which typically exceeds 1 g/kg/d (45). The very low protein intake in a context of marked negative energy balance would be a main reason to explain the absence of a significant effect on lean body mass, which was our main hypothesis. Whey protein is known to induce higher increases in muscle protein synthesis compared with other proteins (20). During previous studies of dietary-induced weight loss, whey protein supplementation led to lean mass retention, though the effect size was modest (22). The effect of whey protein on muscle metabolism during negative energy balance as seen after bariatric surgery has not been investigated.

Strengths of the present RCT include the supervised and progressive strength training program, the homogeneous sample, the objective assessment of a large set of health outcomes that were found favorably associated with surgery-induced weight loss, and the careful follow-up of patients at prespecified postsurgery time points that were the same for

all patients. Some limitations should be noted. Adherence to additional protein intake was self-reported. We included only women, and similar investigations should also be performed in men. Mean BMI was higher in nonincluded subjects, which might limit the generalizability of findings. Our assessment of muscle mass was indirect as it was based on DXA-measured lower-limb lean body mass. Since this trial was designed, the number of sleeve gastrectomy procedures has risen sharply (3). Whether our results also apply to different bariatric procedures would need to be studied.

Conclusion

This trial shows that significant improved muscle strength was achieved through the combination of resistance training and additional protein intake for 6 months after RYGB. Although no difference was found regarding weight and lean body mass loss or improvement in cardiorespiratory fitness after bariatric surgery, these findings add to the body of knowledge indicating the adjunct value of physical exercise training in the follow-up care of bariatric surgery in patients with severe obesity. **O**

Acknowledgments

The authors would like to thank the Unite de Recherche Clinique (URC) of Pitie-Salpetriere Hospital in Paris, France, for expert help and support in conducting this study. Individual participant data or any other data will not be available.

© 2018 The Obesity Society

References

- Sjostrom L, Narbro K, Sjostrom CD, et al. Effects of bariatric surgery on mortality in Swedish obese subjects. *N Engl J Med* 2007;357:741-752.
- Mechanick JI, Youdim A, Jones DB, et al. Clinical practice guidelines for the perioperative nutritional, metabolic, and nonsurgical support of the bariatric surgery patient—2013 update: cosponsored by American Association of Clinical Endocrinologists, The Obesity Society, and American Society for Metabolic & Bariatric Surgery. *Obesity (Silver Spring)* 2013;21(suppl 1):S1-27.
- Mingrone G, Bornstein S, Le Roux CW. Optimisation of follow-up after metabolic surgery. *Lancet Diabetes Endocrinol* 2018;6:487-499.
- Jensen MD, Ryan DH, Donato SM, et al. Executive summary: guidelines (2013) for the management of overweight and obesity in adults: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines and the Obesity Society. *Obesity (Silver Spring)* 2014;22(suppl 2):S5-S39.
- Coen PM, Goodpaster BH. A role for exercise after bariatric surgery? *Diabetes Obes Metab* 2016;18:16-23.
- Castello V, Simoes R, Bassi D, Catai A, Arena R, Borghi-Silva A. Impact of aerobic exercise training on heart rate variability and functional capacity in obese women after gastric bypass surgery. *Obes Surg* 2011;21:1739-1749.
- Coen PM, Tanner CJ, Helbling NL, et al. Clinical trial demonstrates exercise following bariatric surgery improves insulin sensitivity. *J Clin Invest* 2015;125:248-257.
- Daniels P, Burns RD, Brusseau TA, et al. Effect of a randomised 12-week resistance training programme on muscular strength, cross-sectional area and muscle quality in women having undergone Roux-en-Y gastric bypass. *J Sports Sci* 2018;36:529-535.
- Hassannejad A, Khalaj A, Mansournia MA, Rajabian Tabesh M, Alizadeh Z. The effect of aerobic or aerobic-strength exercise on body composition and functional capacity in patients with BMI \geq 35 after bariatric surgery: a randomized control trial. *Obes Surg* 2017;27:2792-2801.
- Deschenes MR, Kraemer WJ. Performance and physiologic adaptations to resistance training. *Am J Phys Med Rehabil* 2002;81:S3-S16.
- Cooper R, Kuh D, Hardy R. Mortality Review Group on behalf of the FALCon and HALCyon study teams. Objectively measured physical capability levels and mortality: systematic review and meta-analysis. *BMJ* 2010;341:c4467. doi:10.1136/bmj.c4467
- Physical Activity Guidelines Advisory Committee. 2018 Physical Activity Guidelines Advisory Committee Scientific Report. Washington, DC: US Department of Health and Human Services; 2018.
- Lawman HG, Troiano RP, Perna FM, Wang CY, Fryar CD, Ogden CL. Associations of relative handgrip strength and cardiovascular disease biomarkers in U.S. adults, 2011–2012. *Am J Prev Med* 2016;50:677-683.
- Ciangura C, Bouillot JL, Lloret-Linares C, et al. Dynamics of change in total and regional body composition after gastric bypass in obese patients. *Obesity (Silver Spring)* 2010;18:760-765.
- Chaston TB, Dixon JB, O'Brien PE. Changes in fat-free mass during significant weight loss: a systematic review. *Int J Obes (Lond)* 2007;31:743-750.
- Herring LY, Stevinson C, Davies MJ, et al. Changes in physical activity behaviour and physical function after bariatric surgery: a systematic review and meta-analysis. *Obes Rev* 2016;17:250-261.
- Verreijen AM, Verlaan S, Engberink MF, Swinkels S, de Vogel-van den Bosch J, Weijts PJ. A high whey protein-, leucine-, and vitamin D-enriched supplement preserves muscle mass during intentional weight loss in obese older adults: a double-blind randomized controlled trial. *Am J Clin Nutr* 2015;101:279-286.
- Aron-Wisniewsky J, Verger EO, Bounaix C, et al. Nutritional and protein deficiencies in the short term following both gastric bypass and gastric banding. *PLoS One* 2016;11:e0149588. doi:10.1371/journal.pone.0149588
- Hector AJ, Marcotte GR, Churchward-Venne TA, et al. Whey protein supplementation preserves postprandial myofibrillar protein synthesis during short-term energy restriction in overweight and obese adults. *J Nutr* 2015;145:246-252.
- Miller PE, Alexander DD, Perez V. Effects of whey protein and resistance exercise on body composition: a meta-analysis of randomized controlled trials. *J Am Coll Nutr* 2014;33:163-175.
- Fried M, Hainer V, Basdevant A, et al. Inter-disciplinary European guidelines on surgery of severe obesity. *Int J Obes (Lond)* 2007;31:569-577.
- National Institute for Health. Gastrointestinal surgery for severe obesity: National Institutes of Health Consensus Development Conference Statement. *Am J Clin Nutr* 1992;55:615S-619S.
- Dunstan DW, Vulikh E, Owen N, Jolley D, Shaw J, Zimmet P. Community center-based resistance training for the maintenance of glycemic control in adults with type 2 diabetes. *Diabetes Care* 2006;29:2586-2591.
- Colberg SR, Sigal RJ, Yardley JE, et al. Physical activity/exercise and diabetes: a position statement of the American Diabetes Association. *Diabetes Care* 2016;39:2065-2079.
- Rothney MP, Brychta RJ, Schaefer EV, Chen KY, Skarulis MC. Body composition measured by dual-energy x-ray absorptiometry half-body scans in obese adults. *Obesity (Silver Spring)* 2009;17:1281-1286.
- Roberts HC, Denison HJ, Martin HJ, et al. A review of the measurement of grip strength in clinical and epidemiological studies: towards a standardised approach. *Age Ageing* 2011;40:423-429.
- Daly RM, Miller EG, Dunstan DW, et al. The effects of progressive resistance training combined with a whey-protein drink and vitamin D supplementation on glycaemic control, body composition and cardiometabolic risk factors in older adults with type 2 diabetes: study protocol for a randomized controlled trial. *Trials* 2014;15:431. doi:10.1186/1745-6215-15-431
- Comstock BA, Solomon-Hill G, Flanagan SD, et al. Validity of the Myotest(R) in measuring force and power production in the squat and bench press. *J Strength Cond Res* 2011;25:2293-2297.
- Caruso JF, Olson NM, Taylor ST, et al. Front squat data reproducibility collected with a triple-axis accelerometer. *J Strength Cond Res* 2012;26:40-46.
- Jidovtseff B, Harris NK, Crielaard JM, Cronin JB. Using the load-velocity relationship for 1RM prediction. *J Strength Cond Res* 2011;25:267-270.
- Dao HH, Frelut ML, Peres G, Bourgeois P, Navarro J. Effects of a multidisciplinary weight loss intervention on anaerobic and aerobic aptitudes in severely obese adolescents. *Int J Obes Relat Metab Disord* 2004;28:870-878.
- Unick JL, Bond DS, Jakicic JM, et al. Comparison of two objective monitors for assessing physical activity and sedentary behaviors in bariatric surgery patients. *Obes Surg* 2012;22:347-352.
- Tudor-Locke C, Brashear MM, Johnson WD, Katzmarzyk PT. Accelerometer profiles of physical activity and inactivity in normal weight, overweight, and obese U.S. men and women. *Int J Behav Nutr Phys Act* 2010;7:60. doi:10.1186/1479-5868-7-60
- Freedson PS, Melanson E, Sirard J. Calibration of the Computer Science and Applications, Inc. accelerometer. *Med Sci Sports Exerc* 1998;30:777-781.
- Leplege A, Ecosse E, Verdier A, Perneger TV. The French SF-36 Health Survey: translation, cultural adaptation and preliminary psychometric evaluation. *J Clin Epidemiol* 1998;51:1013-1023.
- Oppert JM, Lahlou N, Laferrere B, Roger M, Basdevant A, Guy-Grand B. Plasma leptin and acute serotonergic stimulation of the corticotropic axis in women who are normal weight or obese. *Obes Res* 1997;5:410-416.
- Gesquiere I, Aron-Wisniewsky J, Foulon V, et al. Medication cost is significantly reduced after Roux-en-Y gastric bypass in obese patients. *Obes Surg* 2014;24:1896-1903.
- Layman DK, Evans E, Baum JI, Seyler J, Erickson DJ, Boileau RA. Dietary protein and exercise have additive effects on body composition during weight loss in adult women. *J Nutr* 2005;135:1903-1910.
- Seres L, Lopez-Ayerbe J, Coll R, et al. Increased exercise capacity after surgically induced weight loss in morbid obesity. *Obesity (Silver Spring)* 2006;14:273-279.
- Jacobi D, Ciangura C, Couet C, Oppert JM. Physical activity and weight loss following bariatric surgery. *Obes Rev* 2011;12:366-377.
- Baillot A, Baillargeon JP, Brown C, Langlois MF. The 6-min walk test reflects functional capacity in primary care and obese patients. *Int J Sports Med* 2015;36:503-509.

42. Hakkinen K, Kallinen M, Izquierdo M, et al. Changes in agonist-antagonist EMG, muscle CSA, and force during strength training in middle-aged and older people. *J Appl Physiol* 1998;84:1341-1349.
43. Josse AR, Atkinson SA, Tarnopolsky MA, Phillips SM. Increased consumption of dairy foods and protein during diet- and exercise-induced weight loss promotes fat mass loss and lean mass gain in overweight and obese premenopausal women. *J Nutr* 2011;141:1626-1634.
44. Shah M, Snell PG, Rao S, et al. High-volume exercise program in obese bariatric surgery patients: a randomized, controlled trial. *Obesity (Silver Spring)* 2011;19:1826-1834.
45. Morton RW, Murphy KT, McKellar SR, et al. A systematic review, meta-analysis and meta-regression of the effect of protein supplementation on resistance training-induced gains in muscle mass and strength in healthy adults. *Br J Sports Med* 2018;52:376-384.

Annexe 6 - Article n°3 (*Journal of Medical Internet Research* 2017)

Prescribing of electronic activity monitors in cardiometabolic diseases: a qualitative interview-based study

Alice Bellicha^{1,2}, Sandrine Macé³, Jean-Michel Oppert^{1,4}

1- Institute of Cardiometabolism and Nutrition (ICAN), University Pierre et Marie Curie-Paris 6, Paris, France.

2- Laboratory of Bioengineering, Tissues and Neuroplasticity (BIOTN), University Paris-Est, Créteil, France.

3- Department of Marketing, Ecole Supérieure de Commerce de Paris-Europe (ESCP Europe), Paris, France

4- AP-HP, Pitie-Salpetriere University Hospital, Department of Nutrition, University Pierre et Marie Curie-Paris 6, Centre for Research on Human Nutrition Ile-de-France (CRNH IdF), Paris, France

Original Paper

Prescribing of Electronic Activity Monitors in Cardiometabolic Diseases: Qualitative Interview-Based Study

Alice Bellicha^{1,2}, MSc; Sandrine Macé³, PhD; Jean-Michel Oppert^{1,4}, MD, PhD

¹Institute of Cardiometabolism and Nutrition, University Pierre et Marie Curie-Paris 6, Paris, France

²Laboratory of Bioengineering, Tissues and Neuroplasticity, University Paris-Est, Créteil, France

³Department of Marketing, Ecole Supérieure de Commerce de Paris-Europe, Paris, France

⁴Assistance Publique-Hôpitaux de Paris, Department of Nutrition, Pitie-Salpetriere University Hospital, Paris, France

Corresponding Author:

Alice Bellicha, MSc

Laboratory of Bioengineering, Tissues and Neuroplasticity

University Paris-Est

8 rue Jean Sarrail

Créteil, 94010

France

Phone: 33 42175782

Email: alice.bellicha@u-pec.fr

Abstract

Background: The prevalence of noncommunicable diseases, including those such as type 2 diabetes, obesity, dyslipidemia, and hypertension, so-called cardiometabolic diseases, is high and is increasing worldwide. Strong evidence supports the role of physical activity in management of these diseases. There is general consensus that mHealth technology, including electronic activity monitors, can potentially increase physical activity in patients, but their use in clinical settings remains limited. Practitioners' requirements when prescribing electronic activity monitors have been poorly described.

Objective: The aims of this qualitative study were (1) to explore how specialist physicians prescribe electronic activity monitors to patients presenting with cardiometabolic conditions, and (2) to better understand their motivation for and barriers to prescribing such monitors.

Methods: We conducted qualitative semistructured interviews in March to May 2016 with 11 senior physicians from a public university hospital in France with expertise in management of cardiometabolic diseases (type 1 and type 2 diabetes, obesity, hypertension, and dyslipidemia). Interviews lasted 45 to 60 minutes and were audiotaped, transcribed verbatim, and analyzed using directed content analysis. We report our findings following the Consolidated Criteria for Reporting Qualitative Research (COREQ) checklist.

Results: Most physicians we interviewed had never prescribed electronic activity monitors, whereas they frequently prescribed blood glucose or blood pressure self-monitoring devices. Reasons for nonprescription included lack of interest in the data collected, lack of evidence for data accuracy, concern about work overload possibly resulting from automatic data transfer, and risk of patients becoming addicted to data. Physicians expected future marketing of easy-to-use monitors that will accurately measure physical activity duration and intensity and provide understandable motivating feedback.

Conclusions: Features of electronic activity monitors, although popular among the general public, do not meet the needs of physicians. In-depth understanding of physicians' expectations is a first step toward designing technologies that can be widely used in clinical settings and facilitate physical activity prescription. Physicians should have a role, along with key health care stakeholders—patients, researchers, information technology firms, the public, and private payers—in developing the most effective methods for integrating activity monitors into patient care.

(*J Med Internet Res* 2017;19(9):e328) doi:[10.2196/jmir.8107](https://doi.org/10.2196/jmir.8107)

KEYWORDS

cardiometabolic diseases; physical activity; physicians' perspectives; prescriptions; mobile health; telemedicine; mHealth; electronic activity monitors; fitness tracker; accelerometer; smart pedometer

Introduction

Physical inactivity is recognized as a leading cause of noncommunicable diseases, including cardiometabolic conditions such as type 2 diabetes, obesity, dyslipidemia, and hypertension [1,2]. Despite the well-established benefits of physical activity for preventive care and management of these diseases, it remains underprescribed by physicians [3]. The rapid expansion of mobile technology, including electronic activity monitors (EAMs), presents an opportunity for encouraging physicians to prescribe physical activity. EAMs typically track daily movement, mainly the number of steps taken, with sensors both recording acceleration and providing feedback to the user via a monitor display or a smartphone app [4]. Two recent randomized controlled trials showed that EAMs associated with individually tailored feedback may increase physical activity in individuals with overweight and obesity or type 2 diabetes [5,6]. However, a mismatch between information technology firms that are developing new technologies and the physicians who use them has been reported [7]. In addition, knowledge about the needs of physicians when prescribing EAMs to patients is very limited. The aims of this qualitative study were therefore (1) to explore how specialist physicians prescribe

EAMs to patients presenting with cardiometabolic conditions, and (2) to better understand physicians' motivations for and barriers to prescribing such monitors.

Methods

Procedures and Participants

We conducted qualitative semistructured interviews to investigate the prescribing of EAMs in patient care, following guidelines from the Consolidated Criteria for Reporting Qualitative Research (COREQ) [8]. This type of analysis is used when prior research on a subject exists but is incomplete or could benefit from further description [9].

Participants were hospital physicians with expertise in management of patients with cardiometabolic diseases (ie, type 1 and type 2 diabetes, obesity, dyslipidemia, and hypertension). Recruitment took place from March-May 2016 in one public university hospital in Paris (Assistance Publique-Hôpitaux de Paris, France). We contacted 11 physicians whom we knew by email and personally invited them to participate. All agreed to participate. We used purposive sampling to achieve a varied composition in terms of their sex, experience, status, and fields of expertise (Table 1).

Table 1. Characteristics of physicians interviewed.

Code	Sex	Age range (years)	Medical specialty	Status
P1	Male	50-59	Obesity	Hospital physician, university professor
P2	Female	30-39	Obesity, diabetes	Hospital physician
P3	Female	50-59	Cardiology, obesity	Hospital physician, private practice
P4	Male	≥60	Obesity, diabetes	Hospital physician, university professor
P5	Male	≥60	Diabetes	Hospital physician, university professor
P6	Female	50-59	Diabetes	Hospital physician
P7	Female	40-49	Diabetes	Hospital physician, university professor
P8	Male	50-59	Endocrinology, dyslipidemia	Hospital physician, university professor
P9	Male	50-59	Endocrinology, dyslipidemia	Hospital physician, university professor
P10	Male	50-59	Hypertension	Hospital physician, university professor
P11	Female	50-59	Obesity	Hospital physician, private practice

Diversity within the sample of specialist physicians was important so as to take into account different opinions and further improve understanding. Among the physicians, 4 were heads of their departments at the time of the study and 1 had headed a department in the recent past. Participants received a verbal explanation on the aim of the study prior to the interviews. The study complied with standards set by the Declaration of Helsinki, and we obtained written consent from all participants.

Interviews

We conducted all interviews at work in the physicians' offices. No one was present besides the participant and the researcher conducting the interviews. Interviews lasted 45 to 60 minutes and were carried out by the first author (AB), a PhD student in sports science who had attended a training course on qualitative research prior to the study. We developed a discussion guide,

including open-ended questions, prior to the first interview. We asked physicians to explain how they handled the issue of physical activity with their patients. As such, we examined 4 stages of physical activity counselling: (1) initial assessment of physical activity, (2) prescription, (3) patient education, and (4) follow-up evaluation [10]. Next, we asked physicians to describe their experiences with EAMs in routine clinical care, motivations for and barriers to prescription, and their expectations. All interviews were audiotaped with the consent of participants and transcribed verbatim. Field notes were made during the interviews to facilitate data analysis and interpretation [8].

Data Analysis

We used thematic analysis via a directed approach [9]. After completion of the interviews, repeated reading of transcripts enabled familiarity with the data. Then, 1 investigator coded the transcripts according to predefined categories (initial

evaluation, prescription, education, and follow-up evaluation). Data that could not be coded using the initial categories were identified and later analyzed to determine whether they represented a new category. We discussed the coding process with each other throughout the analysis. Physicians' comments are presented verbatim (translated from French into English) in the Results and are identified by the physicians' code (Table 1).

Results

Prescribing of Physical Activity

Interviewed physicians consistently recommended physical activity to their patients, mainly orally. Several barriers to prescribing physical activity emerged.

Lack of Evaluation Tools

Prescribing of physical activity was seen as requiring a specific diagnosis, often not available to physicians; they all reported difficulties in accurately assessing physical activity, especially its intensity.

Patients are not aware of their physical activity. They think they perform some physical activity just because they walk. But in reality, that's not physical activity. I want them to sweat. [P10]

Opportunity Cost

Prescribing physical activity was described as a difficult, time-consuming task, especially when compared with prescribing a drug. Discussing physical activity with rather reluctant patients and reinforcing their motivation for physical activity would take more time and require greater involvement.

It's much more difficult to give advice on moving 30 minutes a day than to say "Take this pill." [P2]

In addition, accompanying patients in their daily practice of physical activity, although of prime importance, is not a main task for physicians. They deplored the lack of available solutions for patient follow-up.

Apart from pedometers, we have nothing to propose. There is no physical activity instructor in my department, and this is lacking. [P7]

Perceived Risk

Prescribing physical activity was considered more risky than prescribing drugs, mainly because physical activity cannot generally be accepted as a cure compared with drug treatment, the symbolic nature of which was mentioned.

You can provide a solution in less than 5 minutes with a drug prescription, just by saying "Try this and you'll get better." It's like selling dreams, a cure, in just one sentence, it's extraordinary. With physical activity, you can't do that, unless maybe you find tools that tell you how to prescribe it. [P10]

Also, loss of credibility possibly resulting from lack of efficacy of physical activity appeared to be a barrier to prescription.

When we say to patients "Your blood glucose level will go down" and this does not turn out to be the case, we lose credibility. Whereas with medication, we know it's going to work. [P8]

Prescribing of Electronic Activity Monitors

Experience With Electronic Activity Monitors

Physicians agreed that an increasing number of patients own an EAM.

Many patients have already downloaded an app for tracking physical activity. [P11]

Most physicians said that they spent time analyzing data with patients.

I ask where they stand, if it helps, I encourage them, look at the results and comment on them. [P7]

But only 4 physicians had already recommended either an EAM or the pedometer included in mobile phones, and only on rare occasions.

Perceived Benefits

Physicians acknowledged that EAMs might help patients to assess their physical activity level and might potentially motivate them, providing novelty and a recreational aspect in the context of long-term management of chronic disease. Some physicians also described EAMs as a means of improving the patient-doctor relationship.

It enables us to discuss something concrete. [P2]

Lack of Clinical Utility

Barriers to prescription of EAMs included lack of evidence on data validity and reliability, and lack of interest in data collected. Physicians felt that data collected by EAMs are unsuitable for meeting the goals they define for the patient.

I can't see the benefit of an electronic activity monitor for me. The information isn't useful. [P10]

Patients who bring their connected data, I have no time for that. Their number of steps...it's not a goal I've defined. [P10]

Physicians expected an accurate measurement of relevant outcome (eg, physical activity duration and intensity, time spent sitting) that would be presented in the form of summary scores readily understandable by both the patient and physician. They also wished to personalize criteria such as physical activity goal, type of data synthesized, period of analysis, and prompts and feedback sent to the patient.

Positive feedback, okay, but not all the time. [P4]

Some physicians also suggested that physical activity data should be translated into motivating benefits, such as long-term health improvement (life-years gained), better short-term disease management (lower blood glucose, lower insulin dose, etc), and improved well-being.

Learning and Searching Cost

Physicians reported a lack of knowledge of available devices and difficulty in keeping aware of the continuously growing newly marketed devices.

I can't be asked to learn about the available monitors. I don't have time. It's not the doctor's role. [P8]

Convenience, ease of use, and prior knowledge of EAMs were strongly awaited. Physicians also feared work overload that would result from automatic data transfer, that is, data that would be automatically transferred electronically to the physician between medical consultations.

The problem with connected devices is the additional workload. Patients send me emails all the time. [P2]

In contrast, they did state that they wanted to discuss the data during the medical consultation.

The patient must bring data, otherwise I won't have time to analyze them. [P1]

Monitoring and Privacy Costs

Physicians pointed out the risk of patients becoming addicted to data.

The main problem with self-monitoring is the risk of addiction. [P3]

The question is, how can I correctly use the electronic activity monitor and know I'm making progress, without becoming addicted to it? [P5]

They also highlighted the risk of potential control of insurance coverage over the patients.

If physical activity data are going to be sent to private insurers for a bonus-malus contract, then the answer is no. [P5]

Financial Issues

The high cost of devices was considered a barrier to their prescription. Most physicians recommended a selling price under €50 (about US \$56) so as to be affordable for patients, and by analogy with the price of blood pressure self-monitoring devices. However, they explained that the monitors must have real added value to justify the expense.

Patients are not willing to pay high prices. The monitor must have real added value. [P6]

Reimbursement by public or private insurance was not viewed as essential. Physicians believed that renting the EAMs for a limited time period rather than purchasing it could decrease costs and risk of addiction to data, and emphasize its educational role.

Prescription of Self-Monitoring Devices

Blood pressure or blood glucose self-monitoring devices were frequently prescribed, with the principal aim of improving diagnosis and optimizing drug treatment.

Self-monitoring of blood glucose provides real information on whether the insulin dose is the right one. [P2]

When devices that are connected were available, physicians recommended them because they seem easier to use in everyday life settings. However, they were reticent about automatic data transfer. One physician explained that, in the context of chronic diseases, automatic data transfer goes against the principle of patient autonomy.

Transmitting blood glucose to a nurse who will tell the patient what to do, it's ridiculous, even more so in diabetes, that requires immediate action. [P5]

Discussion

Principal Findings

Activity monitors are becoming increasingly popular among the general public. However, our results suggest that hospital physicians with expertise in management of patients with cardiometabolic diseases have not yet integrated EAMs into routine clinical care, which contrasts with their frequent prescription of other types of self-monitoring devices, such as blood pressure or blood glucose monitors.

While most physicians had never recommended EAMs, they acknowledged their potential to increase patient motivation through precise quantification of physical activity. However, they were concerned about data validity, which has been shown in several published studies to be insufficient [11]. EAMs are consumer-grade monitors often validated by the company only after market launching, without external validation [12].

The physicians we interviewed also questioned the clinical utility of recording step counts. Physicians followed current physical activity guidelines that recommend a given duration and intensity of physical activity but do not recommend a cutoff for steps taken per day [13-15]. Given the inability of patients to accurately estimate intensity, physicians expected this outcome to be measured by EAMs. It is surprising that companies have not yet designed EAMs measuring physical activity intensity, since it could be easily obtained via minute-by-minute analysis of step counts. Walking cadence (ie, number of steps/min) is recognized as a valuable reflection of intensity, and thresholds have been proposed to categorize intensity based on cadence [16]. Cadence has the advantage of being easily interpretable by patients and physicians. Real-time feedback of walking cadence would improve patients' perception of intensity, highlighting the potential educational role of EAMs [17]. Moreover, by helping physicians to assess physical activity, EAMs could overcome a major difficulty in prescribing physical activity.

Beyond EAMs' role in data collection, physicians attach great importance to the feedback provided by EAMs. They expected this to be easily understandable by both patient and physician, and to be presented in the form of summary scores over personalized periods of time. They also suggested that physical activity data be translated into short-term benefits related either to improved disease management (eg, better regulation of blood glucose, reduction in insulin dose) or to improved well-being. Emphasizing the benefits of physical activity would provide patients with immediate concrete rewards [18], which are known to have higher priority than greater but delayed rewards, and

could therefore improve adherence to long-term lifestyle changes [19,20]. This proposition points out a major difference in how physicians use EAMs and blood glucose or blood pressure self-monitoring devices. The latter devices provide direct, more accurate and complete measures of health outcomes than does traditional monitoring. Their main benefits for physicians have been to optimize drug prescriptions and, for patients, to make appropriate treatment choices and motivate lifestyle changes [21]. Therefore, by analogy with widely adopted blood glucose and blood pressure monitors, EAMs could be designed to provide feedback concerning the benefits of physical activity for health outcomes. Such feedback would decrease the perceived risk associated with prescribing of physical activity. A simple translation of physical activity data into health benefits, as suggested by physicians, appears to be a feasible strategy that could be rapidly implemented by companies. Some authors have predicted that, in the near future, a single device will have the capacity to monitor a range of data, including both physical activity and relevant medical data [22], and will provide patients and physicians with a direct measure of physical activity benefits.

A striking finding of this study was that the learning and searching costs associated with use of EAMs prevented physicians from prescribing them. They deplored a lack of information about available EAMs and difficulties with choosing between the ever-growing number of devices on the market. In contrast, they appeared better informed about blood pressure or blood glucose monitors, which are regulated medical devices [23]. Lists of devices that have been independently validated for use in clinical practice are freely available [24], as are guidelines on how to use them for assessment and management of diabetes and hypertension, which is not yet the case for EAMs [21,25]. A broader adoption of EAMs will necessarily involve lowering learning and searching costs for physicians. Over the short term, the effort to gather information on the validity, features, or cost of commercially available EAMs could be assigned to other health care professionals, such as physical activity instructors. Over a longer term, EAMs that meet validity and effectiveness requirements of medical device regulations could be marketed, and the best practices to be shared between physicians and patients would be defined.

Physicians highlighted monitoring risks that patients might experience when using EAMs, especially that of addiction to data. Such risks have been described in patients using blood glucose and blood pressure self-monitoring devices [26,27]. Thus far, studies have suggested a decrease in adherence to EAMs over time, without mentioning the risk of addiction to physical activity data [22]. The physicians interviewed here supported the idea that patients should rent EAMs for a limited time period rather than purchasing them. Renting has the advantage of decreasing both the risk of addiction to data and financial costs that physicians consider too high to be affordable for patients of low socioeconomic status [28]. Physicians also warned against use of data by private insurers who might penalize insufficiently active patients. Such contracts have recently been authorized in some countries [29], although they are not authorized in others. This warning points to the critical

issue of data privacy, now recognized as a priority by companies and regulators [29].

Finally, and surprisingly, all of the physicians we interviewed strongly opposed automatic data transfer, not only because of time constraints, but also because they considered that developing patient autonomy and self-care ability is a major aspect of patient education in the context of chronic diseases. The ability of wearable technology to transmit data to the physician is usually presented as attractive for clinical applications [30]. However, physicians have neither the time nor the desire to receive physical activity data, preferring to discuss data with the patient during the more traditional context of a medical consultation. Our data highlight the need for companies to work closely with physicians to determine when the contact with connected data is clinically useful, which may vary according to the disease, the type of data collected, and individual preferences [7].

Strengths and Limitations

First, this qualitative study provides a perspective on attitudes of hospital physicians regarding EAMs and their integration into patient care. To our knowledge, this is the first study that specifically targeted hospital physicians with expertise in cardiometabolic diseases, a set of conditions with increasing prevalence worldwide. Hospital physicians are opinion leaders in the medical community and influence the prescription habits of their colleagues [31]. Second, we explored barriers to physical activity prescription, a necessary first step in understanding whether and how EAMs might encourage physicians to prescribe physical activity.

Our study has some limitations. First, most physicians interviewed were aged 50 years or older. Younger physicians may have different beliefs regarding EAMs, since adoption of new technologies is higher at younger ages [32]. Second, the relatively small number of participants was also a limitation, although it is acknowledged that the number of participants can be reduced when the degree of expertise increases [33]. Third, the physicians we interviewed were working in a university setting in Paris, France, and the findings may not directly apply to other medical settings around the world. Assessing the views of other profiles of physicians about EAM use would be useful. Fourth, we analyzed data using a directed content analysis, the main limitation being that researchers approach data with an informed and potential bias [9]. To limit bias, we asked only open-ended questions, so as to allow unexpected but relevant themes to emerge. In addition, we discussed coding of transcripts with each other throughout the analysis.

Conclusions

The increased use of EAMs provides a timely opportunity to encourage prescribing of physical activity. EAMs have the potential to improve patient education and motivation through better assessment of physical activity, to enable a more precise prescription of physical activity, and to reinforce the patient-doctor relationship. However, hospital physicians with expertise in management of cardiometabolic diseases have not yet adopted EAMs. To do so, numerous barriers must be overcome. Important adaptations could be rapidly achieved (eg,

measuring physical activity intensity through walking cadence, emphasizing health benefits), while others require more time and effort from key health care stakeholders (eg, defining best practices, regulating data privacy). This study pointed out

questions related to the most effective use of EAMs for management of chronic diseases that should be explored in future studies.

Acknowledgments

AB, JMO, and SM designed the study and discussion guide. AB conducted the interviews, analyzed the data, synthesized results, and drafted the manuscript. SM and JMO supervised data analysis and contributed to writing the manuscript.

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or nonprofit sectors. AB is a PhD student supported by the Institute of Cardiometabolism and Nutrition (ICAN, Paris, France), and the work was part of her PhD.

We would like to acknowledge all physicians who participated in the interviews.

Conflicts of Interest

SM is the Scientific Director of the Internet of Things (IoT) Chair at ESCP Europe, sponsored by Schneider Electric, Société Générale Insurance, and Valeo. JMO reports research grants from Withings, outside the submitted work.

References

1. Lee I, Shiroma EJ, Lobelo F, Puska P, Blair SN, Katzmarzyk PT, Lancet Physical Activity Series Working Group. Effect of physical inactivity on major non-communicable diseases worldwide: an analysis of burden of disease and life expectancy. *Lancet* 2012 Jul 21;380(9838):219-229 [FREE Full text] [doi: [10.1016/S0140-6736\(12\)61031-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(12)61031-9)] [Medline: [22818936](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22818936/)]
2. Physical activity Guidelines Advisory Committee. Physical Activity Guidelines Advisory Committee Report. Washington, DC: US Department of Health and Human Services; 2008.
3. Barnes PM, Schoenborn CA. Trends in adults receiving a recommendation for exercise or other physical activity from a physician or other health professional. *NCHS Data Brief* 2012 Feb(86):1-8 [FREE Full text] [Medline: [22617014](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22617014/)]
4. Hickey AM, Freedson PS. Utility of consumer physical activity trackers as an intervention tool in cardiovascular disease prevention and treatment. *Prog Cardiovasc Dis* 2016;58(6):613-619. [doi: [10.1016/j.pcad.2016.02.006](https://doi.org/10.1016/j.pcad.2016.02.006)] [Medline: [26943981](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26943981/)]
5. Cadmus-Bertram LA, Marcus BH, Patterson RE, Parker BA, Morey BL. Randomized trial of a Fitbit-based physical activity intervention for women. *Am J Prev Med* 2015 Sep;49(3):414-418. [doi: [10.1016/j.amepre.2015.01.020](https://doi.org/10.1016/j.amepre.2015.01.020)] [Medline: [26071863](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26071863/)]
6. Hochberg I, Feraru G, Kozdoba M, Mannor S, Tennenholtz M, Yom-Tov E. Encouraging physical activity in patients with diabetes through automatic personalized feedback via reinforcement learning improves glycemic control. *Diabetes Care* 2016 Apr;39(4):e59-e60. [doi: [10.2337/dc15-2340](https://doi.org/10.2337/dc15-2340)] [Medline: [26822328](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26822328/)]
7. Rudin RS, Bates DW, MacRae C. Accelerating innovation in health IT. *N Engl J Med* 2016 Sep 01;375(9):815-817. [doi: [10.1056/NEJMp1606884](https://doi.org/10.1056/NEJMp1606884)] [Medline: [27579633](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27579633/)]
8. Tong A, Sainsbury P, Craig J. Consolidated criteria for reporting qualitative research (COREQ): a 32-item checklist for interviews and focus groups. *Int J Qual Health Care* 2007 Dec;19(6):349-357 [FREE Full text] [doi: [10.1093/intqhc/mzm042](https://doi.org/10.1093/intqhc/mzm042)] [Medline: [17872937](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17872937/)]
9. Hsieh H, Shannon SE. Three approaches to qualitative content analysis. *Qual Health Res* 2005 Nov;15(9):1277-1288. [doi: [10.1177/1049732305276687](https://doi.org/10.1177/1049732305276687)] [Medline: [16204405](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16204405/)]
10. Garber CE, Blissmer B, Deschenes MR, Franklin BA, Lamonte MJ, Lee I, American College of Sports Medicine. American College of Sports Medicine position stand. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. *Med Sci Sports Exerc* 2011 Jul;43(7):1334-1359. [doi: [10.1249/MSS.0b013e318213fefb](https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318213fefb)] [Medline: [21694556](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21694556/)]
11. Evenson KR, Goto MM, Furberg RD. Systematic review of the validity and reliability of consumer-wearable activity trackers. *Int J Behav Nutr Phys Act* 2015;12(1):159 [FREE Full text] [doi: [10.1186/s12966-015-0314-1](https://doi.org/10.1186/s12966-015-0314-1)] [Medline: [26684758](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26684758/)]
12. Sperlich B, Holmberg H. Wearable, yes, but able...?: it is time for evidence-based marketing claims!. *Br J Sports Med* 2016 Dec 16;1240 [FREE Full text] [doi: [10.1136/bjsports-2016-097295](https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-097295)] [Medline: [27986762](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27986762/)]
13. Thompson D, Batterham AM, Peacock OJ, Western MJ, Booso R. Feedback from physical activity monitors is not compatible with current recommendations: a recalibration study. *Prev Med* 2016 Oct;91:389-394 [FREE Full text] [doi: [10.1016/j.ypmed.2016.06.017](https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2016.06.017)] [Medline: [27330025](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27330025/)]
14. US Department of Health and Human Services. Physical Activity Guidelines for Americans. Washington, DC: US Department of Health and Human Services; 2008.
15. O'Donovan G, Blazevich AJ, Boreham C, Cooper AR, Crank H, Ekelund U, et al. The ABC of Physical Activity for Health: a consensus statement from the British Association of Sport and Exercise Sciences. *J Sports Sci* 2010 Apr;28(6):573-591. [doi: [10.1080/02640411003671212](https://doi.org/10.1080/02640411003671212)] [Medline: [20401789](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20401789/)]

16. Tudor-Locke C, Rowe DA. Using cadence to study free-living ambulatory behaviour. *Sports Med* 2012 May 01;42(5):381-398. [doi: [10.2165/11599170-000000000-00000](https://doi.org/10.2165/11599170-000000000-00000)] [Medline: [22462794](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22462794/)]
17. Bouchard DR, Langlois M, Boisvert-Vigneault K, Farand P, Paulin M, Baillargeon J. Pilot study: can older inactive adults learn how to reach the required intensity of physical activity guideline? *Clin Interv Aging* 2013;8:501-508 [FREE Full text] [doi: [10.2147/CIA.S42224](https://doi.org/10.2147/CIA.S42224)] [Medline: [23662053](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23662053/)]
18. Reach G. Can technology improve adherence to long-term therapies? *J Diabetes Sci Technol* 2009 May 01;3(3):492-499 [FREE Full text] [doi: [10.1177/193229680900300313](https://doi.org/10.1177/193229680900300313)] [Medline: [20144287](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20144287/)]
19. Kahneman D. *Thinking Fast and Slow*. Wallingford, UK: Penguin; 2012.
20. Epstein LH, Salvy SJ, Carr KA, Dearing KK, Bickel WK. Food reinforcement, delay discounting and obesity. *Physiol Behav* 2010 Jul 14;100(5):438-445. [doi: [10.1016/j.physbeh.2010.04.029](https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2010.04.029)] [Medline: [20435052](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20435052/)]
21. American Diabetes Association. 5. Glycemic targets. *Diabetes Care* 2016 Jan;39(Suppl 1):S39-S46. [doi: [10.2337/dc16-S008](https://doi.org/10.2337/dc16-S008)] [Medline: [26696679](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26696679/)]
22. Piwek L, Ellis DA, Andrews S, Joinson A. The rise of consumer health wearables: promises and barriers. *PLoS Med* 2016 Feb;13(2):e1001953 [FREE Full text] [doi: [10.1371/journal.pmed.1001953](https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1001953)] [Medline: [26836780](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26836780/)]
23. Istepanian RSH. Mobile applications for diabetes management: efficacy issues and regulatory challenges. *Lancet Diabetes Endocrinol* 2015 Dec;3(12):921-923. [doi: [10.1016/S2213-8587\(15\)00414-3](https://doi.org/10.1016/S2213-8587(15)00414-3)] [Medline: [26545304](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26545304/)]
24. dabl Educational Trust. *Blood pressure monitors - validations, papers and reviews*. Manchester, UK: dabl Educational Trust Ltd; 2015. URL: <http://www.dableducational.org/> [accessed 2017-05-24] [WebCite Cache ID [6qhQDkf5U](https://www.webcitation.org/6qhQDkf5U)]
25. Parati G, Stergiou GS, Asmar R, Bilo G, de Leeuw P, Imai Y, et al. European Society of Hypertension guidelines for blood pressure monitoring at home: a summary report of the Second International Consensus Conference on Home Blood Pressure Monitoring. *J Hypertens* 2008 Aug;26(8):1505-1526. [doi: [10.1097/HJH.0b013e328308da66](https://doi.org/10.1097/HJH.0b013e328308da66)] [Medline: [18622223](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18622223/)]
26. Fletcher BR, Hinton L, Hartmann-Boyce J, Roberts NW, Bobrovitz N, McManus RJ. Self-monitoring blood pressure in hypertension, patient and provider perspectives: a systematic review and thematic synthesis. *Patient Educ Couns* 2016 Feb;99(2):210-219. [doi: [10.1016/j.pec.2015.08.026](https://doi.org/10.1016/j.pec.2015.08.026)] [Medline: [26341941](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26341941/)]
27. Peel E, Parry O, Douglas M, Lawton J. Blood glucose self-monitoring in non-insulin-treated type 2 diabetes: a qualitative study of patients' perspectives. *Br J Gen Pract* 2004 Mar;54(500):183-188 [FREE Full text] [Medline: [15006123](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15006123/)]
28. Sommer I, Griebler U, Mahlknecht P, Thaler K, Bouskill K, Gartlehner G, et al. Socioeconomic inequalities in non-communicable diseases and their risk factors: an overview of systematic reviews. *BMC Public Health* 2015 Sep 18;15:914 [FREE Full text] [doi: [10.1186/s12889-015-2227-y](https://doi.org/10.1186/s12889-015-2227-y)] [Medline: [26385563](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26385563/)]
29. Armstrong S. What happens to data gathered by health and wellness apps? *BMJ* 2016 Jun 23;353:i3406. [doi: [10.1136/bmj.i3406](https://doi.org/10.1136/bmj.i3406)] [Medline: [27338775](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27338775/)]
30. Murray E. eHealth: where next? *Br J Gen Pract* 2014 Jul;64(624):325-326 [FREE Full text] [doi: [10.3399/bjgp14X680365](https://doi.org/10.3399/bjgp14X680365)] [Medline: [24982470](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24982470/)]
31. Sbarbaro JA. Can we influence prescribing patterns? *Clin Infect Dis* 2001 Sep 15;33(Suppl 3):S240-S244. [doi: [10.1086/321856](https://doi.org/10.1086/321856)] [Medline: [11524726](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11524726/)]
32. Jamoom E, Beatty P, Bercovitz A, Woodwell D, Palso K, Rechtsteiner E. Physician adoption of electronic health record systems: United States, 2011. *NCHS Data Brief* 2012 Jul(98):1-8 [FREE Full text] [Medline: [23050588](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23050588/)]
33. Mason M. Sample size and saturation in PhD studies using qualitative interviews. *Forum Qual Soc Res* 2010 Sep;11(3):art 8.

Abbreviations

COREQ: Consolidated Criteria for Reporting Qualitative Research

EAM: electronic activity monitor

Edited by G Eysenbach; submitted 29.05.17; peer-reviewed by R Rudin; accepted 23.08.17; published 23.09.17

Please cite as:

Bellicha A, Macé S, Oppert JM

Prescribing of Electronic Activity Monitors in Cardiometabolic Diseases: Qualitative Interview-Based Study

J Med Internet Res 2017;19(9):e328

URL: <http://www.jmir.org/2017/9/e328/>

doi: [10.2196/jmir.8107](https://doi.org/10.2196/jmir.8107)

PMID:

Alice Bellicha

Analyse de l'activité physique et du mouvement dans les pathologies cardiométaboliques
Applications à l'évaluation et à l'intervention chez les patients obèses

Résumé

L'activité physique (AP) est un élément essentiel de la prise en charge des patients présentant des pathologies cardiométaboliques, comme les patients obèses, y compris dans des situations spécifiques comme celle de la chirurgie bariatrique ou des obésités rares. La conception et l'évaluation d'interventions d'AP spécifiquement adaptées à ces patients impliquent de mesurer avec précision l'AP habituelle et les différentes dimensions de la capacité physique.

Notre premier objectif était d'évaluer l'efficacité de programmes d'AP dans le contexte de la chirurgie bariatrique et dans celui des obésités rares (syndrome de Prader-Willi). Notre deuxième objectif consistait, d'une part, à identifier des méthodes de mesure de l'AP et des capacités cardiorespiratoire et musculaire pouvant être utilisées chez des patients obèses et, d'autre part, à décrire avec ces méthodes l'AP habituelle et les différentes dimensions de la capacité cardiorespiratoire et de la fonction musculaire (force et puissance musculaires, stabilité posturale et dynamique).

Nos résultats ont montré la faisabilité et l'efficacité de programmes d'entraînement structurés réalisés après une chirurgie bariatrique ou chez des patients présentant un syndrome de Prader-Willi. Les données objectives d'AP recueillies chez ces patients ont mis en évidence des profils d'AP sporadiques très éloignés des recommandations actuelles d'AP pour les patients obèses. Par ailleurs, nos travaux ont permis d'identifier plusieurs méthodes d'évaluation de la fonction musculaire adaptées aux patients obèses. Les données recueillies avec ces différentes méthodes chez des patients candidats à la chirurgie bariatrique ont montré une diminution de la puissance musculaire, de la stabilité dynamique et posturale et de la distance parcourue en 6 minutes avec l'augmentation de la corpulence. Cependant, indépendamment de l'âge et de l'IMC, la capacité cardiorespiratoire et la force musculaire étaient associées à une augmentation de la stabilité dynamique et de la distance parcourue en 6 minutes, suggérant l'importance de ces deux dimensions dans le maintien de la capacité physique fonctionnelle chez des patients sévèrement obèses.

Nos travaux contribuent à une meilleure description de l'AP habituelle et de la capacité de mouvement chez les sujets obèses et à une meilleure compréhension des bénéfices de l'AP et du maintien de la capacité physique chez ces patients.

Mots clés : activité physique, analyse du mouvement, obésité, évaluation, intervention, accéléromètres

Abstract

Physical activity is an essential component in the management of patients with cardiometabolic diseases such as obesity, including patients undergoing bariatric surgery or patients with rare forms of obesity. The design and assessment of interventions specifically tailored to these patients requires accurately measuring habitual physical activity and the different dimensions of physical capacity.

Our first aim was to assess the effectiveness of structured physical activity programs in obese patients undergoing bariatric surgery and in patients with Prader-Willi syndrome. Our second aim was first, to identify methods for the measurement of physical activity and cardiorespiratory and muscular fitness that could be used in obese patients and, second, to describe in detail habitual physical activity and the different dimensions of cardiorespiratory and muscular fitness (muscle strength and power, postural and dynamic stability) using these methods.

Our results showed the feasibility and effectiveness of structured physical activity programs performed after bariatric surgery or in patients with Prader-Willi syndrome. Objective physical activity data collected in these patients showed sporadic physical activity patterns that did not correspond to current physical activity guidelines for obese patients. In addition, we have identified several methods for the assessment of muscular fitness adapted to obese patients. The data collected with these methods in candidates to bariatric surgery showed a decrease in muscle power, dynamic and postural stability and 6-minute walking distance with increasing body mass. However, independently of age and BMI, cardiorespiratory fitness and muscle strength were positively associated with dynamic stability and 6-minute walking distance, suggesting the importance of these two dimensions in the maintenance of physical function in patients with severe obesity.

Our data contribute to a better description of habitual physical activity and movement capacity in obese patients, as an example of cardiometabolic diseases, and to a better understanding of the benefits of physical activity and the maintenance of physical capacity in these patients.

Keywords: physical activity, movement analysis, obesity, evaluation, intervention, accelerometers