



HAL
open science

Effets des bureaux actifs sur la REmise en MOuVEment (plus d'activité physique-moins de sédentarité) et la santé cardiométabolique de professionnels ayant un travail de bureau assis

Terry Guirado

► To cite this version:

Terry Guirado. Effets des bureaux actifs sur la REmise en MOuVEment (plus d'activité physique-moins de sédentarité) et la santé cardiométabolique de professionnels ayant un travail de bureau assis. Education. Université Clermont Auvergne, 2022. Français. NNT : 2022UCFAC040 . tel-03998756

HAL Id: tel-03998756

<https://theses.hal.science/tel-03998756v1>

Submitted on 21 Feb 2023

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.

THÈSE DE SCIENCES

École Doctorale des Sciences de la Vie, Santé, Agronomie, Environnement

En vue de l'obtention du grade de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ CLERMONT AUVERGNE

Discipline : Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives

Spécialité : Activité Physique Adaptée et Santé

Effets des bureaux actifs sur la REmise en
MOuVEment (plus d'activité physique-moins de
sédentarité) et la santé cardiométabolique de
professionnels ayant un travail de bureau assis

Présentée et soutenue publiquement par

Terry GUIRADO

le 08 septembre 2022

Devant le jury composé de

Pr Frédéric Dutheil (PU-PH)

CHU de Clermont-Ferrand

Président

Pr Grégory Ninot (PU)

Université de Montpellier

Rapporteur

Dr Yolande Esquirol (MCU-PH)

Université de Toulouse

Rapporteuse

Dr Sidney Grosprêtre (MCU-HDR)

Université de Bourgogne Franche-Comté

Examineur

Pr Martine Duclos (PU-PH)

CHU de Clermont-Ferrand

Directrice

Dr Lore Metz (MCF-HDR)

Université Clermont Auvergne

Co-encadrante

*« Il n'y a d'homme plus complet que celui qui a beaucoup voyagé, qui a changé
vingt fois la forme de sa pensée et de sa vie »*

Alphonse de Lamartine

REMERCIEMENTS

La thèse est le moment de faire un bilan de trois années de travail universitaire. Pour diverses raisons, les remerciements sont une partie essentielle et importante dans l'écriture de toute thèse. La formalité est souvent privilégiée pour remercier les personnes ayant eu un rôle prépondérant dans le quotidien du doctorant. Ce traditionnel format utilisé laisse place pour cette thèse à des remerciements construits autour d'une description libre et sincère de l'implication des différentes personnes qui seront mentionnées.

Aux membres de mon jury,

Je tiens à remercier chaleureusement le **Professeur Frédéric Dutheil** qui me fait l'honneur d'être le président de ce jury de thèse. Je suis particulièrement reconnaissant envers le **Professeure Yolande Esquirol** et le **Professeur Grégory Ninot** d'avoir accepté d'être rapporteurs de ma thèse. Je remercie singulièrement le **Docteur Sidney Grosprêtre** d'être examinateur de ce travail de thèse.

À mes directrices de thèse,

Aux **Professeure Martine Duclos** et **Docteure Lore Metz**, je tiens à vous remercier d'avoir dirigé ma thèse et de m'avoir conseillé tout au long de cette dernière. Je vous remercie aussi mille fois de m'avoir fait confiance en me proposant de conduire ce projet de thèse. Merci pour tous, mes très chères directrices.

Tout d'abord, **Martine**, merci énormément pour l'incroyable soutien dont tu as fait preuve durant cette thèse. Je te remercie pour ta rigueur, ton sérieux, ton excellence et plus globalement ton encadrement. Merci de m'avoir proposé de participer à tes côtés aux divers événements scientifiques que l'on a faits ensemble, cette confiance que tu m'as accordée m'est très précieuse. Merci de la confiance évidente que tu m'as accordée quand je t'ai expliqué que j'acceptais cette thèse seulement si je pouvais partir au moins chaque année au Népal pour mes projets personnels. Quand je repense à cela je me dis que j'avais un brin de culot et que j'avais en face de moi une personne étant presque plus excitée que moi par les projets personnels que je menais. Si je devais concentrer mes remerciements sur deux caractéristiques précises, ce serait ton humanité et ton grand cœur. Alliée une telle expertise

scientifique et une telle bonté sont rare, je te remercie ainsi de ta grande bienveillance et d'avoir été une source d'inspiration continue durant ces trois dernières années.

Enfin, **Lore**, j'aimerais te remercier pour tout ce que tu as pu faire pour me soutenir durant cette thèse. J'ai un respect infini pour le temps que tu m'as accordé et ton dévouement pour faire de moi un meilleur scientifique. Tu as su être attentive à ce que je pouvais ressentir et vivre durant ces trois années. Tout comme Martine, je ne peux que souligner et te remercier pour l'humanité dont tu fais preuve. Être à tes côtés fut une source d'inspiration et d'apprentissage incroyable pour moi. Tu m'as appris les us et coutumes du monde scientifique qui m'étaient totalement inconnus, il y a encore peu. Je te remercie aussi pour le temps que tu as pris durant l'ensemble des expérimentations, tu as dépassé de loin ce que j'osais espérer de toi. Finalement, cela fait 5 ans que je travaille sous ta direction et je me sens extrêmement chanceux d'avoir été sous ta tutelle. Je pense que beaucoup m'envient et je mesure le privilège que j'ai pu avoir. Je te remercie aussi pour la confiance dont tu m'as fait preuve au regard de l'enseignement. Cela a été une partie intégrante de cette thèse et parmi les moments les plus riches que j'ai eu l'occasion de vivre. Je me rappellerai toujours que tu m'as permis de réaliser mes premières heures d'enseignement avec tes *petits DEUST*. L'équilibre dont tu fais preuve entre ta vie personnelle et ta vie professionnelle fut et est des plus inspirant pour moi. Tu comprendras donc aisément à travers ce petit paragraphe à quel point tu as pu être un modèle pour moi au cours de ce projet de thèse. Merci pour tout.

Aux collaborateurs scientifiques,

Un grand merci à **Pascal Dessenne** d'avoir été un relais au sein de la Caisse Primaire d'Assurance Maladie. Je ne peux imaginer comment aurait été ce projet dans le milieu de l'entreprise sans ton soutien, ton écoute et ton aide si précieuse.

Merci au **Docteur Bruno Pereira** de m'avoir autant aidé dans le monde si complexe des statistiques. J'ai pris énormément de plaisir à travailler dans un domaine qui n'était au départ que peu attractif et cela est entièrement grâce à toi.

Merci aux collaborateurs Strasbourgeois, le **Docteur Audrey Bergouignan** et les doctorants **Pierre** et **Élisa**. Ces collaborations scientifiques furent parmi les premières de cette thèse et furent des plus constructives.

Un immense merci aux collaborateurs ergonomes/anthropologues, les **Docteurs Michel Récopé** et **Joffrey Beaujouan** ainsi que leurs désormais anciens étudiants **Marianne**, **Louis** et

Dorian, d'avoir pris part intégrante dans le projet REMOVE. Ce fut une véritable chance et un plaisir de travailler avec vos expertises dans le champ des sciences humaines.

Je remercie chaleureusement le **Professeure Marie-Ève Mathieu** pour avoir accepté de faire partie des comités de thèse qui ont jalonné ce travail de doctorat. Je n'oublierai pas la bienveillance dont vous avez fait preuve avec le **Professeur Grégory Ninot** lors de ces comités. Votre humanité à tous les deux m'a énormément touché.

Je remercie énormément le **Professeur Jean-Philippe Chaput** d'avoir accordé de son temps et de son expertise à la réalisation d'une revue systématique. Ce fut un véritable plaisir et une chance de collaborer avec vous.

Merci au **Docteur François Favier** de m'avoir invité à présenter mes travaux de thèse au sein du laboratoire DMEM de Montpellier. Ce moment fut l'occasion d'échanges riches et constructifs autour de la place des bureaux actifs dans le secteur tertiaire.

Merci au **Docteur Maéliane Deyra** d'avoir accepté son rôle de marraine durant cette thèse et d'avoir ainsi participer aux différents comités de thèse.

Aux participantes et participants des études expérimentales,

Aux agentes de la **Caisse Primaire d'Assurance Maladie de Clermont-Ferrand**, mille mercis d'avoir pris de votre temps et de votre énergie pour la participation au projet REMOVE. La crise du COVID-19 n'a en rien entaché votre motivation et votre souhait de participer à ces études scientifiques. Pour la bonne tenue des études, vous m'avez fait me déplacer dans l'ensemble du département du Puy-De-Dôme et je vous en remercie, j'ai pu redécouvrir avec plaisir le plus beau département de France. Trois années de thèse dont deux incroyables années à vous côtoyer.

Aux agentes de la **Direction des Relations Internationales et de la Francophonie** et du **Service Commun des Langues Vivantes**, je tiens à vous remercier de votre volonté, de votre disponibilité et de votre bienveillance lors de la réalisation des études expérimentales. Une telle étude n'aurait pu être réalisable sans votre engouement et votre gentillesse.

Aux **personnes de la métropole Clermontoise** ayant été incluses dans les diverses études transversales de ce projet de thèse, je vous remercie infiniment d'avoir participé à ces dernières et de m'avoir permis de ne finalement consacrer qu'un temps minime aux recrutements. Votre motivation et votre disponibilité furent une source d'énergie immense pour la bonne tenue de l'ensemble des expérimentations.

Au service de transport C.vélo,

Merci à l'ensemble des protagonistes permettant d'avoir au sein de Clermont-Ferrand, un système de vélo en libre-service gratuit permettant de se déplacer aisément dans cette belle métropole. J'ai essayé de quantifier le nombre de kilomètres parcouru au guidon de ces machines des plus lourdes mais au bout de quelques centaines de kilomètres et de dénivélé positif j'ai malheureusement perdu le fil. La bonne tenue d'études expérimentales peut se jouer sur des détails et sans la mise à disposition de ses vélos, la logistique aurait été diamétralement différente et bien plus complexe. Enfin, toutes les personnes ayant expérimenté les **C.vélo** comprendront aisément les raisons qui justifient que ces vélos ont été le garant de ma condition physique durant la période des études expérimentales de cette thèse.

Aux membres du laboratoire AME2P,

Tout d'abord, je voudrais remercier les membres de l'équipe **DAPHNÉ** qui m'ont permis de passer d'agréable moment au sein d'un groupe animé par une immense motivation et émulation scientifique. Cette motivation et émulation sont caractérisées par nos enseignants-chercheurs qui ont toujours su répondre présent pendant ma thèse. Merci **David** pour l'ensemble de ton travail et de ton soutien. Ton expertise scientifique et les opportunités que tu as pu me donner scientifiquement font preuve de la confiance que tu as pu m'accorder et je ne pourrai jamais assez te remercier pour cela. Merci **Julien** pour ta bonne humeur communicative et ton sens de l'humour bien à toi. Je te remercie aussi de m'avoir donné un de tes cours pour que je l'enseigne, cela fut un honneur de suivre les traces de celui qui a bercé mes cours magistraux d'ancien étudiant de licence STAPS à Clermont-Ferrand. Merci **Gaël** pour ta bienveillance et ta volonté de te rendre toujours disponible si quelqu'un a besoin d'aide. Tes petites remarques des plus drôles toujours bien positionnées furent des petits moments bien appréciables au regard de toute cette rigueur dont peut faire preuve le monde scientifique. Merci **Laurie** pour tous tes nombreux conseils. Les moments les plus difficiles de cette thèse ont été l'occasion de longues discussions avec toi. Ces discussions m'ont aidé à prendre du recul, à me sentir soutenu, à me donner du courage et de la motivation lorsqu'elle était bien basse avec ce marathon d'expérimentation. Merci beaucoup pour toute ta bienveillance et tes conseils. Pour finir, merci **Daniel** pour le calme que tu as pu montrer à chacune de nos discussions. Ta zénitude est des plus communicatives et elle m'a permis de

prendre aisément du recul à chaque fois que tu es venu discuter dans le bureau. Merci à vous tous les **Grands Chefs** pour ce que vous êtes et ce que vous avez pu faire pour moi.

Très chère **Carole**. Comment te remercier à la hauteur de l'apport que tu as eu durant cette thèse ? Après 6 mois de stage à mes côtés, tu as quand même souhaité continuer à travailler dans le milieu scientifique et en plus dans le domaine de la sédentarité... Magnifique. Tu as pris bien plus de temps que ce que tu aurais dû durant ton stage et tu m'as permis de dormir plus sereinement entre deux journées de *manip'*. Je crois sans me tromper qu'on est deux personnes diamétralement opposées qui ont su trouver, en l'un et l'autre, des choses qui nous manquent individuellement. Très honnêtement, un gigantesque merci d'avoir été un pilier et un rayon de soleil durant ces fameux 6 mois d'expérimentations, sans toi toutes ces investigations n'auraient pu être possibles.

À l'exceptionnel bureau des doctorants de l'équipe DAPHNÉ. Merci d'avoir accepté un homme dans ce bureau qui n'aura connu que des femmes depuis sa création. Après avoir suivi les traces de **Pauline**, j'ai eu la chance de partager d'immenses moments conviviaux et scientifiques avec vous toutes les filles : **Maud, Marwa, Alicia, Mélina, Daniela, Camille, Audrey, Julie, Léna** et **Sarah**. Si je devais toutes vous remercier individuellement pour ce que vous m'avez apporté humainement ou scientifiquement durant cette thèse, cela prendrait bien trop de temps. Alors je crois que pour vous remercier toutes comme il se doit, je m'en réfère à toutes les photos qui ont pu être prises et partagées sur le mur de notre bureau et ces fameux calendriers customisés. Rien qu'en relisant cette dernière phrase, je n'ai que des sourires et des rires en tête... Finalement cela représente bien ce qu'est ce bureau depuis toutes ces années : des personnes souhaitant juste vivre leur thèse de la meilleure façon possible avec des collègues qui deviennent de réels proches. Après 3 années, je crois que je vous laisse de nouveau un bureau entièrement féminin mais en même temps c'est la suite logique pour cet incroyable lieu qu'est : **Le Bureau des Filles**.

Géographiquement positionné à l'exact opposé du bureau des filles, un bureau *at a glance* fut composé de deux hommes à l'humour débordant. Je me demande encore comment vous avez pu et voulu devenir docteur avec autant de talents pour l'humour. Un futur duo comique se profile peut-être à l'avenir qui sait. En tout cas, merci mille fois **Yoann** et **Anthony** de m'avoir aidé tant scientifiquement que moralement.

Merci **Monique** pour ta bienveillance, tes attentions et ton écoute, cela a été un véritable plaisir de partager ces 3 années avec toi. Je pense qu'on sera tous les deux d'accord, ce n'est

pas plus mal que cette thèse se finisse on arrêtera de se faire mutuellement peur dans les couloirs.

Plus globalement, je remercie toutes les personnes que j'ai pu côtoyer au laboratoire entre les enseignants-chercheurs, les doctorants et les personnes venues réaliser des stages. Que ce soit à travers des découpes de bois à la scie sauteuse, des évaluations de stage de master, des congrès, des organisations de *manip'*, les conseils scientifiques de laboratoire et finalement quelques moments collégiaux centrés autour de la boisson et de la nourriture, ce fut une bien belle expérience que de travailler au cœur du **laboratoire AME2P**. Merci à toutes et tous pour l'ensemble des moments partagés.

To my dear Simon Ensor,

Kind of crazy **Simon** to see where I am today while thinking about my actions 8 years ago. You saw in me something that most others did not see or understand. You are one of a kind with an astonishing life. Thank you for the opportunity of sharing my experience with students in your English class. Thank you for believing in me. Thank you for giving me my first experience at an international conference. Thank you for the seeds you sowed with me and others. You have changed the life of many for the good. Thank you for your entire masterpiece life.

À la cellule ALEX,

Merci **Claire** d'avoir été l'une des protagonistes pour l'inclusion des doctorants dans les cellules d'écoute et d'accompagnement concernant les violences sexistes et sexuelles (VSS) ainsi que sur les discriminations. Je te remercie aussi de m'avoir rassuré sur ma légitimité en tant qu'homme pour être apte à écouter des personnes ayant subi des VSS. Les séances d'écoute de VSS ont été des moments extrêmement forts et ont fait partie intégrante de la dernière année de ce travail de thèse. Je remercie l'ensemble des membres pour le soutien mutuel accordé et ces moments partagés en post-écoute, en réunion ou formations. Vous êtes des exemples d'ouverture d'esprit et de bienveillance pour moi. Je remercie toutes les personnes que j'ai écouté durant ces séances, pour m'avoir accordé la confiance nécessaire et essentielle à ces entretiens. Votre courage est inspirant et pousse à n'avoir qu'un immense respect pour vous.

À ma belle-famille,

Je vous remercie mille fois d'avoir été d'une douceur sans pareille avec une personne ayant la malchance d'être allergique aux chats. Merci d'avoir accepté un nouveau membre dans cette belle troupe d'intermittent du spectacle qu'est la **Charmavalry**, je m'y suis senti extrêmement bien intégré. Votre gentillesse alors même que l'on a partagé bon nombre de moments pendant les périodes hautes de la thèse m'a énormément touché. Enfin, j'ai le plaisir de t'annoncer **Mattéo** que tu pourras dorénavant m'appeler Dr. Dre, pour mon grand plaisir d'amateur de musique.

À mes amis les plus proches,

À travers nos nombreuses similarités et différences, nous nous retrouvons toujours autour d'un sentiment commun : l'amour que l'on se porte. Vous avez tous été d'une fraîcheur et d'une joie infinie durant ces trois années. Vous n'avez pas toujours compris ce que je faisais et ce que cela impliquait mais vous avez toujours été présent pour moi, et encore plus dans les moments difficiles. La confiance que vous m'accordez est une véritable chance et je vous remercie de partager mon quotidien. Alors mes chers amis, **Franck, Laurine, Martin, Kiki, Rémi, Thomas, Juliane, Alex, Coco, Tristan, Sylvain** et **Kéké**, je vous remercie d'être des personnes avec un cœur d'une beauté rare.

À ma famille,

Mes très chers parents... Merci de m'avoir inculqué la détermination dans le travail. Les centaines d'heures passées dans cette chocolaterie familiale ne furent pas les plus faciles mais certainement les plus formatrices. Le dévouement que vous accordez à votre métier, à votre passion est une source d'inspiration perpétuelle. Cela coïncide curieusement avec la réalisation de cette thèse mais sur ces trois dernières années je vous ai vu évoluer de manière exponentielle, pour devenir des personnes plus libres et apaisées. Vous n'avez pas eu les opportunités dans la vie pour prendre le temps d'aller à l'école, de faire de longues études pour faire un métier qui vous inspire. Cependant vous avez eu l'école de la vie et vous êtes des artisans passionnés ayant un fils passionné par ce doctorat qu'il a réalisé. Merci pour votre amour. **Marilyn, El Mehdi, Cindy, Christophe** et **Amaya...** Merci de votre présence tout au long de cette thèse. Votre soutien m'est inestimable et a été à plus d'un moment une ressource dans mon quotidien. Je suis plus que chanceux d'avoir une famille comme celle que l'on a. Je

vous aime tous énormément. Enfin, il serait facile de vous dire merci pour tous ce que vous m'apportez, mais plus honnêtement je préfère vous remercier d'être qui vous êtes.

À mes aïeux,

Maria del Carmen Montès Sanchez et **Francisco Lucas Guirado** pour le courage dont vous avez fait preuve pour quitter votre pays de naissance et d'en rejoindre un nouveau. Vos rêves d'une vie meilleure pour vous et votre famille ont payé. J'espère que de là où vous êtes, vous êtes fier et heureux de voir que très exactement 100 années après avoir demandé une nouvelle nationalité, votre arrière-arrière-petit-fils devient docteur. En ce sens, je remercie l'ancien préfet de Dordogne, Mr. **Alexandre Poivert**, pour avoir accepté de donner la nationalité Française à la famille Guirado. Durant cette thèse, la peur de l'autre et le manque de liberté n'ont fait qu'augmenté autour de moi. Pourtant je n'ai jamais perdu foi en l'humanité et c'est en partie grâce à vous. Merci énormément pour votre humanisme.

À Peace For People France et ses bénévoles,

Merci à cette magnifique association remplie d'humanité agissant pour les droits fondamentaux des êtres humains de m'avoir permis de trouver un équilibre durant cette thèse.

Merci à tous les volontaires et les membres de l'association qui m'ont accompagné dans l'ensemble des projets qui ont pu être menés. Une pensée toute particulière à **Marilyn, Franck** et **Célia** pour avoir été au cœur du bureau directeur et de m'avoir soutenu et conseillé durant ces trois années.

Merci à toutes les personnes ayant réalisé des projets humanitaires au Népal avec les équipes de **Peace For People** जनताको लागि शान्ति. Votre confiance en nos actions est une chose inestimable et vous m'avez motivé à concilier la réussite professionnelle avec la réussite associative.

Merci aux **onze étudiants Montpelliérains de STAPS** ayant adhéré à une idée folle : implémenter des programmes d'éducation physique dans le district de Dhading. Votre courage et votre motivation à mettre en œuvre ce projet furent une source d'énergie inestimable. Le temps accordé au projet **KSS Nepala**, coïncidait avec les temps de pause que j'accordais à l'écriture de ce manuscrit de thèse. Vous avez contribué à mon bien-être pour la dernière ligne droite de ma thèse, alors très égoïstement, Dhanyabaad धन्यबाद ।

Merci à cette parenthèse merveilleuse que fut la **Humanity Walk**. Une expérience unique composée de Français et Népalais au cœur et à l'esprit d'une bienveillance rare. Un multiculturalisme, un partage, un apprentissage et une découverte de personnes exceptionnelles. Merci aux Français de la confiance dont vous avez fait preuve à mon égard, merci aux Népalais de me considérer comme un membre de leur famille. Les moments difficiles de cette thèse ne furent que plus faciles à gérer avec le soutien et l'énergie que vous m'avez apportés. Du plus profond de mon cœur, Dhanyabaad धन्यबाद à vous tous.

To my amazing Nepali Family,

I think the proudest people regarding that PhD come from the opposite side of the world, in a paradise place, full of generosity and benevolence.

A tremendous thanks to my Nepali sisters and brothers of the 1st Humanity Walk. **Madhu vai, Geeta didi, Apsara, Sudeep, Binita, Sanu, Ashok, Sudeep** and of course the crazy **Suresh**. You are some of the most amazing people I had the chance to discover in my life and you are each of you a shining wonderful Tara तारा.

What can say to thank the smile of Nepal? **Nabaraj**, you are one of a kind in this world and since the first day we met and you called me "**Mister Guiraïdo**" I knew that only good things will surround me next to you. You barely knew me and yet you did not hesitate to spend time with me and help me to overcome so many difficulties. I am proud to know you and your amazing family. **Sita, Samip** and **Samarpan** gave me so many smiles and laughs. Above everything, thank you so much for providing me happiness when I was down through your Nepali singing freestyle. Best thing in the world.

To **Manjila, Sazana, Ayushka, Monica, Sunika, Sisir, Sandhya** and all the Nepali kids and students who support me for last couple of years. Thanks for your love and your kindness, my PhD was so much sweeter with all your positive thoughts and all the good memories you provided with every moments that we have shared.

Mero **Kabi vai**. Did I already tell you how impressed I am with your accomplishments? About the life you are doing and the courage that you have. Your smile is so big that it vibrates with everyone. You gave and still give me so much courage in my daily life. When I feel disappointed or stressed, I think about you and all the experiences that you had throughout your life. And in a second, I'm feeling much stronger than before. Thanks for the amazing human being that you are, I'm lucky to have you in my life.

Mero **Punam**. Obviously, in 25 years of life, I met a huge number of people. However, the most amazing woman that I met was you. I never met a stronger, braver woman than you. Your courage and devotion are above everything I met before. When I was down during the PhD, I deeply thought of you and every time **Didi** you gave me courage. Your life has changed a lot since the beginning of the PhD but still, Punam, believe me, you are a diamond for the life of everyone who knows you.

To my soulmate brother. Mero **Santosh**. The one and only Mr. President. Firstly, I want to thank your family man. **Indira, Saugat, Kale, your parents, hajur buwa, Pravakar** and honestly all your family. You only have one family however, I feel blessed to have two families... Do you believe that you are reading my PhD acknowledgments? 3h45 or 4h45 of time differences and some 7200 km are separating us and yet you have been one of the strongest support during this entire PhD. You know how you changed my life and how destiny has been fortunate for both of us to enable us crossing our paths. I am a bit speechless, to be honest, my friend. As always so many emotions when writing things about you because you have enlightened my life. You gave me the opportunity to be a better person, a better human being, more human, more open-minded, more free and above everything more alive. You have changed my life forever, you always keep an eye on me to make sure I'm alright. Did I ever doubt during the PhD? For sure, but it was never too long because every time you knew I was in difficulties you gave me hope and happiness. I can't resume in some words how you helped me professionally and personally. It was not the original plan but I will be a Doctor man and this title is definitely for you. You deserve it more than anyone else. I'm proud of you, proud of our relationship and what we have accomplished. Thanks for helping me to grow as a better human being.

À mes meilleurs colocataires,

Thomas, jeune inconscient adepte du danger quotidien. Une collocation somme toute un peu courte mais sacrément intense ; probablement avec l'histoire la plus improbable de l'histoire. Être un Mayennais faisant des études de kinésithérapie au Portugal pour faire un stage Erasmus à Clermont-Ferrand, c'est assez peu commun. Entre ski de fond, cyclisme et trail, entre Craon/Crans, Savoie, Italie, Slovénie, Croatie et Suisse, je pense sans me tromper que tu as été les bouffées d'adrénaline de cette thèse. Ta folie qui te caractérise est l'une de tes plus belles qualités. Ton humanité n'est que peu surprenante, après tout tu viens de Mayenne, tu es forcément exceptionnel. Merci **Thom**, de ta folie inspirante et de ta mise perpétuelle en

danger, c'est comme cela que la vie doit se vivre, tu m'auras inspiré plus d'une fois sur cette thèse.

Fraaaaaaaaaanck... Comment résumer en quelques lignes ce que l'on a pu vivre sur ces trois dernières années ? Comment te remercier de la personne exceptionnelle que tu es ? 36 mois de thèse dont 35 vécues ensemble. bercée par les douces vibes du reggae, de la dub, du rap conscient et du classique, notre collocation *Guiraldenis* aura été d'une douceur sans nom. Des soirées, des rires, des concerts, des festivals, des treks, des jeux, des road trips, de multiples activités physiques... Je me demande bien ce que l'on n'a pas fait sur ces trois années. Toujours dans la plus belle atmosphère possible on aura vu se réaliser des projets plus fous les uns que les autres. L'avantage de vivre avec quelqu'un d'aussi fou que soi, c'est qu'il désinhibe le peu de bon sens qui existe/persiste au fond de soi pour vivre la vie comme elle doit réellement se vivre, en FAST LIFE. Avec les hauts et les bas de la thèse, difficile de trouver de la constance. Pourtant il y en a toujours eu grâce à ta joie, ton bonheur, ta simplicité et ta gentillesse. Toujours de bonne humeur, tu m'as remobilisé un nombre de fois incalculable et je t'en suis reconnaissant à un point que tu ne peux imaginer. On en a souvent rigolé mais tu es quelqu'un de véritablement unique. **Franck, Mon Père, Francky boy, Humain, Franckus**, finalement peu importe les différents noms que j'ai pu utiliser pour te nommer, tu es et tu seras pour toujours UN GÉNIE. Merci d'être toi, merci de faire profiter aux autres de la personne incroyable que tu es.

Mero **Muskan** मेरो मुस्कान, mero **Célia**. Nos chemins se sont croisés au détour d'un projet rempli d'humanité et de bienveillance. Entre un jardin Grec de Kathmandu, des centaines de paysages Espagnoles et un gala Népalais en plein Clermont-Ferrand, tu as été ma plus belle rencontre de cette thèse. Sans toi, je n'aurai pas réalisé tout ce que j'ai pu accomplir que ce soit professionnellement ou personnellement. Le soutien que tu m'as apporté est inestimable et tu es une véritable source d'inspiration pour moi. Ces mots pèsent peu au regard de l'impact que tu as dans ma vie et dans le déroulement de cette thèse. Je ne peux que te dire Dhanyabaad mero **Muskan**. Ma timilai maya garchu. म तिमीलाई माया गर्छु ।

Merci à toutes et à tous. Thanks for everything. धेरै धेरै धन्यबाद ।

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	4
TABLE DES MATIÈRES	15
LISTE DES TABLEAUX	17
LISTE DES FIGURES	18
LISTE DES ABRÉVIATIONS	19
PUBLICATIONS	20
COMMUNICATIONS.....	22
CONTEXTUALISATION.....	24
PARTIE I – REVUE DE LA LITTERATURE.....	27
1. Activité physique, sédentarité et santé	28
1.1. Évolution et définition des concepts	28
1.1.1. La santé.....	28
1.1.2. L'activité physique.....	32
1.1.3. La sédentarité	39
1.2. Données épidémiologiques de l'inactivité physique et de la sédentarité	43
1.2.1. Prévalence dans le monde	43
1.2.2. Prévalence en France	46
1.3. Effets des comportements du mouvement humain sur la santé.....	50
1.3.1. Bénéfices de l'activité physique sur la santé.....	50
1.3.2. Conséquences de la sédentarité sur la santé.....	56
1.3.3. Interaction entre la sédentarité et l'activité physique.....	60
1.4. Recommandations sur les activités physiques et la sédentarité	64
1.4.1. Recommandations officielles	64
1.4.2. Vers une adaptation des recommandations	67
1.5. Le fardeau économique de l'inactivité physique et de la sédentarité	72
1.5.1. Le poids économique de l'inactivité physique	72
1.5.2. Le poids économique de la sédentarité	74
2. Le milieu professionnel comme épice centre de l'épidémie	76
2.1. Évolution historique des modes de vie et des comportements.....	76
2.1.1. De chasseurs-cueilleurs à employés de bureau	76
2.1.2. Caractéristiques comportementales du secteur tertiaire	80
2.2. La santé des travailleurs	81
2.2.1. L'impact médico-économique de l'inactivité physique et de la sédentarité dans le domaine professionnel.....	81
2.2.2. L'entreprise un espace idoine pour agir.....	84

2.3.	Les stratégies améliorant les comportements du mouvement humain au sein des entreprises.....	86
2.3.1.	Les stratégies incitatives et informatives	86
2.3.2.	Les programmes d'activité physique.....	88
2.3.3.	Les actives breaks.....	90
2.3.4.	Les stations de travail actives.....	92
2.4.	Stations de travail actives et caractéristiques psycho-physiologiques	94
2.4.1.	Impacts biomécaniques.....	95
2.4.2.	Impacts sur le bien-être.....	96
2.4.3.	Impacts sur la performance au travail.....	97
2.4.4.	Impacts physiologiques	98
2.5.	Vers une implémentation dans le milieu écologique.....	104
	PARTIE II – CONTRIBUTION PERSONNELLE	106
	OBJECTIFS	107
	MÉTHODOLOGIE	109
	Article 1 : Effets de la mise en mouvement sur la santé de salariés du secteur tertiaire à travers l'utilisation d'un bureau pédalier : protocole de l'étude expérimentale REMOVE.....	118
	Article 2 : Différences de profil métabolique chez les femmes selon leur dépense énergétique (faible vs élevée) pendant un exercice de faible intensité sur un pédalier de bureau	134
	Article 3 : Amélioration des facteurs de risques cardiométaboliques après une intervention de bureau-pédalier de 12 semaines chez des employés de bureau en bonne santé et physiquement inactifs	149
	PARTIE III – DISCUSSION GÉNÉRALE	187
	DISCUSSION	188
	PERSPECTIVES	197
	CONCLUSION.....	199
	RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	200
	ANNEXES.....	240
	RÉSUMÉ.....	284
	ABSTRACT	284

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 – Les relation entre la pratique d’activité physique et la santé au sein de la population adulte de tout âge	51
Tableau 2 – Taxonomie des différentes alternatives de bureau actif déterminée par leur accessibilité et leur design	92
Tableau 3 – Synthèse des résultats des études exploratoires sur les caractéristiques psychophysiological des bureaux actifs	103
Tableau 4 – Réalisation des mesures de la 1 ^{ère} vague (2020) du protocole REMOVE.....	117
Tableau 5 – Réalisation des mesures de la 2 ^{ème} vague (2021) du protocole REMOVE.....	117

LISTE DES FIGURES

Figure 1 – Occurrence des premiers épisodes cliniques de maladies coronarienne en 1949-1952 chez des salariés de la <i>London Transport Executive</i> (a) et de la <i>Global Post Office</i> (b) ..	34
Figure 2 – Les différentes composantes de la dépense énergétique journalière.....	37
Figure 3 - Modèle conceptuel de la terminologie basée sur les mouvements organisés autour d'une période de 24 heures	42
Figure 4 – Profils distincts liés aux comportement sédentaires et à l'activité physique.....	43
Figure 5 – Prévalence par pays de l'inactivité physique chez les hommes (a) et les femmes (b) en 2016.....	45
Figure 6 – Durée quotidienne moyenne (en heures) passée devant un écran chez les adultes, selon le sexe et la classe d'âge, comparaison ENNS 2006 / Esteban 2015.....	48
Figure 7 – Profil d'activité physique et de sédentarité (%) selon le sexe, chez les adultes Français de 18 à 79 ans (n=2180).....	49
Figure 8 – Temps passé aux activités physiques de loisir d'intensité modérée à intense au regard du risque relatif de mortalité (a) et des années de vie gagnées (b) après 40 ans.	52
Figure 9 – Association dose-réponse entre l'activité physique d'intensité légère et le risque de mortalité toutes causes confondues.....	54
Figure 10 – Méta-régression du risque de mortalité toutes causes confondues sur le temps de sédentarité quotidienne d'après des études utilisant des questionnaires (a) et des accéléromètres (b)	57
Figure 11 – Mécanismes potentiels pour le risque de développement de pathologies induites par la position assise	60
Figure 12 – Relations entre le temps passé assis et le niveau d'activité physique avec le risque de mortalité toutes causes confondues.....	62
Figure 13 – Risque de mortalité toutes causes confondues en fonction du temps quotidien passé assis et en activité physique d'intensité modérée à intense	62
Figure 14 – Relation entre le risque de mortalité toutes causes confondues et la composition quotidienne du temps passé en comportements sédentaires et en activités physiques d'intensité légère et modérée à intense.....	71
Figure 15 – Prévalence de télétravail au sein des pays membres de l'Union Européenne.....	79
Figure 16 – Différents types de station de travail active (statique et dynamique)	93
Figure 17 – Variabilités inter-études du coût énergétique de la position debout par rapport à la position assise.....	100
Figure 18 – Schéma de l'étude REMOVE.....	110
Figure 19 – Schéma de la visite expérimentale de l'étude REMOVE.....	111
Figure 20 – La stratégie « <i>s'asseoir moins et bouger plus</i> ».....	196

LISTE DES ABRÉVIATIONS

ACSM : American College of Sports Medicine

AME2P : Laboratoire des adaptations métaboliques à l'exercice en condition physiologiques et pathologiques

ANSES : Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'Alimentation, de l'Environnement et du Travail

Cpm : Count(s) par minute

CRP-us : protéine C-réactive ultrasensible

Dollar américain : US\$

Dollar international : INT\$

ELISA : Technique d'immunoabsorption par enzyme liée

ENNS : Étude Nationale Nutrition Santé

GPAQ : Global Physical Activity Questionnaire

HDL-cholestérol : Lipoprotéines de haute densité

HOMA-IR : Modèle d'homéostasie de la résistance à l'insuline

IMC : Indice de masse corporelle

INCA : Individuelle Nationale des Consommations Alimentaire

IPAQ : International Physical Activity Questionnaire

LDL-cholestérol : Lipoprotéines de basse densité

MET : Équivalent métabolique – Metabolic Equivalent Task

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

PNNS : Programme National Nutrition Santé

RPAQ : Recent Physical Activity Questionnaire

RR : Risque relatif

SUMER : Surveillance Médicale des Expositions aux Risques Professionnels

PUBLICATIONS

Publications scientifiques relatives à la thèse

Guirado, T., Chambonnière, C., Chaput, J. P., Metz, L., Thivel, D., & Duclos, M. (2021). Effects of classroom active desks on children and adolescents' physical activity, sedentary behavior, academic achievements and overall health: a systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(6), 2828.

<https://doi.org/10.3390/ijerph18062828> (**Publié**) - **Annexe**

Guirado, T., Metz, L., Pereira, B., Bergouignan, A., Thivel, D., & Duclos, M. (2021). Effects of cycling workstation to get tertiary employee moving on their overall health: study protocol for a REMOVE trial. *Trials*, 22(1), 1-14. <https://doi.org/10.1186/s13063-021-05317-2> (**Publié**)

Guirado, T., Bourdier, P., Pereira, B., Le Roux, E., Bergouignan, A., Birat, A., Isacco, L., Thivel, D., Duclos, M., & Metz, L. (2022). Metabolic profile in women differs between high versus low energy spenders during a low intensity exercise on a cycle-desk. *Scientific Reports*, 12(1), 9928. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-14002-6> (**Publié**)

Guirado, T., Metz, L., Pereira, B., Brun, C., Birat, A., Boscaro, A., Bergouignan, A., Thivel, D., & Duclos, M. (2022). A 12-week cycling workstation intervention improves cardiometabolic risk factors in healthy inactive office workers. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, online ahead of print. <https://doi.org/10.1097/JOM.0000000000002583> (**Publié**)

Publications scientifiques non relatives à la thèse

Chambonnière, C., Fearnbach, N., Pelissier, L., Genin, P., Fillon, A., Boscaro, A., Bonjean L., Bailly M., Siroux J., **Guirado T.**, Pereira B, Thivel D., & Duclos, M. (2021). Adverse Collateral Effects of COVID-19 Public Health Restrictions on Physical Fitness and Cognitive Performance in Primary School Children. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(21), 11099. <https://doi.org/10.3390/ijerph182111099> (**Publié**) - **Annexe**

COMMUNICATIONS

Communication orales et affichées relatives à la thèse

Communications nationales

POSTER | Guirado, T., Metz, L., Bourdier, P., Le Roux, E., Birat, A., Pereira, B., Isacco, L., Bergouignan, A., Thivel, D., Duclos, M. (2020). The REMOVE study: High vs low spenders in energy expenditure during a light cycling exercise. 23^{ème} Journées Scientifique de l'École Doctorale des Sciences de la Vie, de la Santé, Agronomie, Environnement (JED), Clermont-Ferrand (France). **(Présenté) – Annexe**

COMMUNICATION ORALE | Guirado, T., Bourdier, P., Le Roux, E., Birat, A., Pereira, B., Isacco, L., Bergouignan, A., Thivel, D., Metz, L., Duclos, M. (2021). Profil de dépense énergétique sur du pédalier-bureau et santé cardiométabolique : The REMOVE study. 20^{ème} Journées d'Etudes Francophones en Activités Physiques Adaptées (JEFAPA), Caen (France). **(Présentée)**

COMMUNICATION ORALE | Guirado, T. (2022). Effets de l'utilisation du bureau actif (pédalier de bureau) sur la santé globale d'employés du secteur tertiaire : l'étude REMOVE. Laboratoire Dynamique Du Muscle et Métabolisme (DMEM), Université de Montpellier (France), speaker invité. **(Présentée)**

Communications internationales

COMMUNICATION ORALE | Guirado, T., Brun, C., Boscaro, A., Pereira, B., Isacco, L., Thivel, D., Metz, L., Duclos, M. (2021). Effects of cycling workstation to get tertiary employee moving on their overall health: The REMOVE study. 19^{ème} Congrès de l'Association des Chercheurs en Activités Physiques et Sportives (ACAPS), Montpellier (France). **(Présentée)**

COMMUNICATION ORALE | Guirado, T., Metz, L., Pereira, B., Brun, C., Birat, A., Boscaro, A., Thivel, D., Duclos, M. (2022). Effets de bureaux actifs sur la santé cardio-métabolique de salariés sains du secteur tertiaire. 10th Non Pharmacological Intervention Society Conference (NPIS), Paris (France). **(Présentée)**

COMMUNICATION ORALE | Guirado, T., Metz, L., Pereira, B., Brun, C., Birat, A., Boscaro, A., Thivel, D., Duclos, M. (2022). Effects of 12-weeks cycling workstation intervention on cardiometabolic risk factors in healthy office workers: the REMOVE study. 21st meeting of International Society of Behavioral Nutrition and Physical Activity (ISBNPA), Phoenix (Arizona, USA/Hybrid). **(Présentée)**

POSTER | Guirado, T., Metz, L., Pereira, B., Brun, C., Birat, A., Boscaro, A., Thivel, D., Duclos, M. (2022). A 12-week cycling workstation intervention improves cardiometabolic risk factors in healthy office workers: the REMOVE study. 8th International Conference on Ambulatory Monitoring of Physical Activity and Movement (ICAMPAM), Keystone (Colorado, USA). **(Présenté) – Annexe**

CONTEXTUALISATION

Historiquement, la santé a toujours été une des préoccupations principales pour l'espèce humaine. Au fil des âges, ce concept a évolué en fonction des avancées techniques, technologiques, des courants de pensées et des savoirs. À l'instar de nos sociétés occidentales, le concept de santé est passé d'une notion régie par les croyances religieuses au cours du Moyen-Âge (Canguilhem, 1991), à une absence de maladie au cours du XVIII^{ème} siècle, jusqu'à la définition actuelle de l'Organisation Mondiale de la Santé qui définit la santé comme « *un état complet de bien-être physique, mental et social qui ne consiste pas seulement en l'absence de maladie ou d'infirmité* ». Malgré une stabilisation, voire une légère baisse ces dernières années dans les pays développés, il y a eu une augmentation conséquente de l'espérance de vie, après la Seconde Guerre Mondiale, menant à un vieillissement de la population. Les principales raisons expliquant le vieillissement de la population sont l'accès à l'enseignement, les progrès de la médecine, la qualité et l'accès aux services de santé (OCDE, 2017). Ces progrès ont entraîné une modification de nos problématiques de santé avec la disparition de certaines maladies et l'émergence de nouvelles comme les maladies chroniques non transmissibles. Ces nouvelles pathologies non contagieuses se définissent par un caractère évolutif et par un développement généralement lent et progressif altérant la vie quotidienne des personnes touchées (surveillance médicale et/ou limitation dans le déroulement des activités quotidiennes) (Goodman et al., 2013).

À travers l'émergence de concepts, tels que l'espérance de vie en bonne santé (Wilk, 1991), la qualité de vie représente une priorité pour les politiques de santé publique avec un objectif clair : être dans une démarche du mieux-être, du mieux vivre, du mieux vieillir. Cependant les politiques de santé doivent se baser sur des connaissances et méthodes éprouvées pour s'assurer de la bonne réalisation des plans et des objectifs nationaux. Ainsi, il apparaît évident et nécessaire de mieux caractériser, identifier et comprendre les facteurs de risque de santé dans le but de développer des politiques de santé publique adaptées et efficaces permettant une diminution des risques de morbi-mortalité à tout âge.

Au regard des différents facteurs de risques sur la santé, la promotion de l'activité physique et la lutte contre la sédentarité représentent des stratégies majeures contre l'apparition de maladies chroniques non transmissibles. Au sein de la société, l'inactivité physique et la sédentarité augmentent continuellement depuis plusieurs décennies entraînant une baisse constante des temps passés aux activités physiques et une dangereuse progression des comportements sédentaires (Enquête Esteban, 2017; INCA 3, 2017). Cette progression étant

considérable, l'inactivité physique représente aujourd'hui la 4^{ème} cause de mortalité dans le monde avec 7,2 % des décès de toutes causes (Katzmarzyk et al., 2021).

L'augmentation de ces comportements délétères se caractérise à travers l'expansion continue des activités tertiaires au sein de notre société. En effet, ce secteur d'activité a largement contribué au développement des comportements sédentaires à travers la généralisation des emplois de bureau (Choi et al., 2010). La littérature a de surcroît montré que le temps passé en comportements sédentaires était essentiellement d'origine professionnelle avec des périodes prolongées et ininterrompues de la position assise (Ryan et al., 2011). Par exemple, il a été montré que sur une journée de travail, des salariés du secteur tertiaire passent en moyenne plus de trois quarts de leur temps dans cette position (Wick et al., 2016). Ces risques sont d'autant plus importants, qu'en France, le secteur tertiaire représente 76,6 % des emplois (International Labour Organization, 2020).

Ainsi, l'espace de travail apparaît comme un espace idoine et déterminant pour agir sur la santé des individus, à travers une implémentation de stratégies ayant pour objectif conjoint de diminuer le temps passé assis et d'augmenter l'activité physique. Parmi les stratégies les plus innovantes et prometteuses, les stations de travail actives dynamiques, telles que les tapis-bureaux et les pédaliers de bureau portatifs, émergent comme des moyens potentiels permettant d'améliorer les comportements liés au mouvement des salariés (Dupont et al., 2019). Malgré un intérêt croissant de la littérature scientifique dans ce domaine, les études se concentrent essentiellement sur des populations à risques comme les personnes en situation de surpoids ou d'obésité (Josaphat et al., 2019). Actuellement, beaucoup d'interrogations subsistent sur les effets et les potentiels impacts de ces stratégies sur des personnes en bonne santé dans un objectif de prévention primaire. C'est dans ce contexte général que ce travail de thèse a été effectué auprès d'individus sains normo-pondérés afin de questionner l'intérêt l'utilisation de bureaux actifs pour optimiser la santé globale.

PARTIE I – REVUE DE LA LITTERATURE

1. Activité physique, sédentarité et santé

La santé, l'activité physique et la sédentarité sont des concepts plus ou moins récents ayant évolué dans leurs définitions à travers les âges. De par l'évolution des connaissances et la multidisciplinarité des recherches associées à ces notions, il apparaît essentiel de détailler la place historique de ces termes et de les définir spécifiquement afin de permettre une entière compréhension de ce travail de thèse. Au-delà de l'aspect historique et sémantique de ces termes, nous décrirons les mécanismes et les conséquences des différents aspects de ces comportements sur la santé des individus. Nous présenterons les recommandations officielles liées à ces différents comportements tout en précisant leurs prévalences au sein de la population. Aussi, nous présenterons le poids financier que représentent l'inactivité physique et la sédentarité pour la santé publique afin d'avoir une vision globale et précise de l'impact économique de ces comportements. Ainsi, ce chapitre nous permettra de caractériser les concepts susmentionnés tout en comprenant l'impact qu'ils représentent au sein de nos sociétés contemporaines.

1.1. Évolution et définition des concepts

1.1.1. La santé

De tout temps, la santé fut une priorité centrale dans le quotidien de l'Humanité. Les premiers écrits liés à la notion de soins et de santé remontent dès l'époque Mésopotamienne et celle de l'Égypte Antique (à partir du II^{ème} millénaire av. JC). Les pratiques médicales des peuples Assyro-Babyloniens et Égyptiens étaient étroitement liées à celle de la magie (Contenau, 1938; Nunn, 2002). Les maladies possédant pour l'époque une origine divinatoire, le soin était un savant mélange de prières couplées à des rituels de guérison et de traitement médicamenteux (Manniche, 1989; Pinch, 1995). Malgré une lente laïcisation de leurs médecines, il faudra attendre la Grèce Antique et le travail de philosophes Helléniques pour observer une séparation nette entre le responsable religieux et le médecin, supprimant la notion de divin du terme santé. Poursuivant les travaux de plusieurs savants Grecs, Hippocrate de Cos (460-377 av. JC) a défini les bases fondamentales de la médecine moderne et fut l'un des premiers à considérer la santé comme un phénomène naturel. Ses travaux s'inscrivent sur

les notions philosophiques d'Empédocle (490-434 av. JC), qui considérait la Nature comme étant constituée de quatre éléments fondamentaux (air/sang, feu/bile jaune, eau/lymphe et terre/bile noire) (Kingsley, 1995). Ainsi, pour Hippocrate dans le « *Théorie des Humeurs* », la santé d'un individu résulterait de l'équilibre harmonieux de ces différentes dimensions (Jones, 1868). Il est important de préciser que cette théorie estimait que la Nature avait des origines divines mais que ces origines n'avaient aucune justification sur l'évolution des éléments dans la vie d'un individu, ne réfutant ainsi pas une existence divine mais en ne la considérant pas dans la notion de santé.

À la suite des travaux d'Hippocrate des théories divergentes ont émergé, à l'image de celle des atomes du philosophe Épicure (341-270 av. JC) qui considérait que la Nature était composée soit de particules insécables soit de vide, excluant entièrement le rôle du divin (Clay, 1998). S'inspirant de la philosophie d'Épicure, un médecin grec du nom d'Asclépiade de Bithynie (120-40 av. JC) officiant à Rome, considérait le corps comme un maillage de molécules fait d'atomes et définira les maladies à travers une altération de la forme des molécules et/ou de la libre circulation de ces dernières dans le corps (Gumpert, 1794). De plus, Asclépiade considérait qu'il était nécessaire pour les médecins d'assister les personnes pour leur permettre d'être en bonne santé physique et mentale ainsi que d'aider à maintenir cette situation le plus longtemps possible (Yapijakis, 2009). Il conceptualisa aussi la notion de pathologies aiguës et chroniques en expliquant que des maladies pouvaient être de courte durée ou temporaires alors que d'autres étaient incurables (Epicurus et al., 1994). Par ailleurs, il conseilla, au regard de la prise en charge des maladies chroniques, d'agir au mieux pour améliorer le confort du patient, mettant au premier plan les prémices du concept de qualité de vie. De par les connaissances actuelles en notre possession, Asclépiade est considéré comme l'un des premiers médecins qui conceptualisa une théorie de la santé similaire à celle de notre époque contemporaine. Pourtant, les travaux d'Asclépiade n'auront pas le même impact intellectuel que ceux d'Hippocrate sur les générations subséquentes et ce sont les travaux et pensées de ce dernier qui se propageront de façon significative. Bien que sa conception de la santé fût entièrement définie par des processus naturels, Hippocrate considérait la Nature à travers des origines divines, ce qui permettra aux religions Chrétiennes et Musulmanes de s'appuyer sur ses travaux pour les adapter à leur foi (Temkin and Gourevitch, 1991).

Au cœur du Moyen-Âge, les institutions religieuses prennent la responsabilité des questions de santé en s'appropriant et détournant les pensées des philosophes Grecs pour revenir à une explication divine des maladies. En Occident, les autorités ecclésiastiques contrôlent de manière vigoureuse et autoritaire l'accès au soin et définissent la santé à travers une dimension religieuse la considérant comme une absence de maladie permise par la volonté de « Dieu » (Canguilhem, 1991). C'est un véritable recul au regard des avancées réalisées à l'époque Antique et cette vision de pensée va perdurer jusqu'au Bas Moyen-Âge (du XI^{ème} au XV^{ème} siècle) où l'on observera progressivement un retrait du clergé dans le domaine médical (Durand et al., 2018a).

Entre la Renaissance et le XVIII^{ème} siècle, nous observons un développement de techniques médicales, la progression des connaissances en physiologie (circulation sanguine, respiration), la formation de plus en plus aboutie des médecins et l'institutionnalisation des soins (développement des hôpitaux). De nouveaux paradigmes sont proposés avec l'idée centrale commune que le corps humain est une machine et où la personne morale est éludée au profit du patient, permettant de se concentrer sur ce qui est malade au sein de son corps (Durand et al., 2018b). Ainsi, à partir des Temps Modernes (XVII^{ème} et XVIII^{ème} siècle), la santé se basant sur des observations anatomo-cliniques, est considérée comme une absence de maladie (Meyer and Triadou, 1996). Au cours des années qui suivirent cette conception de la santé va s'ancrer institutionnellement dans les métiers de la santé. Pourtant, des voix dissonantes émergent durant l'ère industrielle, où le corps infirmier met par exemple en évidence la nécessité de considérer la santé à travers une vision holistique en ne se concentrant pas seulement sur la maladie. Ce corps de métier promeut la santé à travers « *l'ensemble des forces vives physiques, affectives, psychiques, sociales, mobilisables pour affronter, compenser la maladie, la dépasser ou y faire face* » (Collière, 1982).

La considération de la santé devient de plus en plus importante et primordiale au sein des sociétés. L'impact subséquent des progrès de la médecine éveille la société sur les possibilités de la médecine et les politiques sur les enjeux économiques liés à une société en bonne santé. Plusieurs organisations sanitaires internationales existaient avec la volonté d'améliorer la santé au sein des populations des États membres. Au sortir de la Seconde Guerre Mondiale, les représentants de 61 États se sont réunis afin d'adopter la constitution d'une organisation internationale visant à réunir les organismes sanitaires préexistants et de promouvoir la santé

à travers l'ensemble de la population mondiale. Cette constitution permettra de créer en 1948 l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) et de définir de façon universelle la santé comme « *un état de complet bien-être physique, mental et social et ne consiste pas seulement en une absence de maladie ou d'infirmité* ». Pour la première fois de l'Histoire, une définition de la santé fait consensus au niveau international en incluant sa dimension multifactorielle tout en mettant en son centre l'individu comme un être complexe et unique.

Toutefois, cette définition fut rapidement questionnée de par son impraticabilité et ses fondements trop théoriques avec par exemple l'utilisation du mot « complet » qui apparaît utopique, inatteignable et plus proche du concept de bonheur que de la santé (Saracci, 1997). Progressivement, la définition de la santé a été précisée avec des concepts plus adaptés à la réalité et plus concrets. La Charte d'Ottawa pour la promotion de la santé (1986) inclut la notion collective comme individuelle avec une vision moins théorique en précisant que « *l'individu, ou le groupe, doit pouvoir identifier et réaliser ses ambitions, satisfaire ses besoins et évoluer avec son milieu ou s'y adapter. La santé est donc perçue comme une ressource de la vie quotidienne, et non comme le but de la vie; c'est un concept positif mettant l'accent sur les ressources sociales et personnelles, et sur les capacités physiques* » (World Health Organization, 1986). Nous observons que cette définition valorise un dynamisme continu de la notion de santé au-delà du simple « état » que caractérisait la définition originelle et met en avant la cause multifactorielle des maladies ce qui va apparaître comme un élément essentiel dans notre conception de la santé : la qualité de vie.

D'après l'OMS (1994), la qualité de vie se définit par « *la perception qu'a un individu de sa place dans l'existence, dans le contexte de la culture et du système de valeurs dans lesquels il vit, en relation avec ses objectifs, ses attentes, ses normes et ses inquiétudes* » (WHOQOL Group, 1994). Cette définition fait le contour d'un grand champ conceptuel soulignant la nécessité de prendre en considération tous les facteurs pouvant altérer le bien-être de l'individu. Elle fait écho à un concept similaire : l'espérance de vie en bonne santé. Au-delà de vivre plus longtemps, il faut vivre avec la meilleure qualité de vie et la meilleure santé possible afin de mieux vieillir. Ce concept d'espérance de vie en bonne santé fait sens au regard de la forte augmentation d'occurrence de maladies chroniques non transmissibles au sein de nos sociétés contemporaines. Ces pathologies non contagieuses sont caractéristiques de par leur lente et progressive évolution. Elles sont souvent associées à la notion de comorbidité en

raison de la possibilité qu'un individu soit affecté par plusieurs de ces maladies. Parmi ces pathologies, nous pouvons citer par exemple l'hypertension artérielle, le diabète de type 2, l'hypercholestérolémie, les accidents cardiovasculaires ou bien encore l'obésité. Les facteurs de risque responsables de l'augmentation de ces maladies sont divers et variés : les comportements alimentaires, la pollution atmosphérique, le manque d'activité physique, la sédentarité, la consommation d'alcool ou bien encore le tabac (OCDE, 2021).

Dans une volonté de réduire le risque d'apparition de ces maladies chroniques non transmissibles, des stratégies non médicamenteuses, telles que la pratique de l'activité physique et la réduction de la sédentarité, ont émergé et se sont progressivement implantées au cœur des outils de prévention visant à améliorer la santé générale des individus (World Health Organization, 2019).

1.1.2. L'activité physique

L'activité physique et ses bienfaits sur le corps humain sont connus depuis plusieurs milliers d'années. Durant l'antiquité, des civilisations mettaient déjà en exergue les bénéfices liés à la pratique d'une activité physique. Malgré l'absence de date précise (de 2600 à 300 av. JC) (Curran, 2008), la médecine Chinoise à travers le traité *Huang Di Nei Jing (Yellow Emperor's Book of Internal Medicine)* mettait en avant les bienfaits des exercices physiques pour permettre d'être en parfaite harmonie entre le corps physique et l'esprit (Veith, 1949). Toujours sur le continent Asiatique et plus spécifiquement en Inde, des traces de la pratique du yoga ont été retrouvées des millénaires avant notre ère (de 3000 à 2000 av. JC) permettant de mettre en avant la pratique d'activités physiques à travers des exercices posturaux. En effet, grâce au traité *Yoga Sūtra* ayant codifié le yoga (de 200 av. JC à 300 ap. JC), on observe qu'au sein des 8 piliers qui régissent la philosophie du yoga se trouve les āsanās, un terme correspondant à l'aspect physique du yoga caractérisé par différentes postures permettant de favoriser le bien-être de l'individu (Miller, 1996). Au sein de la civilisation grecque, nous pouvons lire dans les écrits d'Hippocrate que l'exercice physique possède un rôle non négligeable dans le vieillissement car il permet de renforcer et d'entretenir l'ensemble des parties du corps qui sont destinées à la réalisation d'exercices lors d'un effort. Dans ces mêmes travaux, Hippocrate évoque le terme « inactif », où l'auteur Grec note que si les parties du corps étant employées à la réalisation d'efforts sont inactives alors elles seront plus à même

d'être malades, d'avoir des troubles du développement et de vieillir de façon plus rapide (Littré, 1844). L'éveil des consciences observable durant l'Antiquité ne sera cependant pas poursuivi en raison d'une absence de recherches portant sur les activités physiques au cours du Moyen-Âge (Rieu, 2010).

Au XVI^{ème} siècle, le médecin Christobal Mendez rédige plusieurs traités, dans le *Book of Bodily Exercise*, sur l'importance et les bienfaits de l'activité physique sur la santé des individus (Méndez et al., 1960). Au regard de l'histoire des activités physiques, son travail est novateur puisqu'il structure le contexte des activités physiques en précisant quand celles-ci devraient être pratiquées. Bien que ce travail soit basé sur des observations et des anecdotes, ces écrits sont une véritable mise en lumière d'idées structurées considérant l'activité physique comme un traitement viable pour la rémission de certaines maladies. Puis, favorisés par les recherches de médecins tel que Fernand Lagrange, l'émergence et la promotion des doctrines hygiénistes au cours du XIV^{ème} siècle, permettent le développement de l'activité physique comme méthode prophylactique (Andrieu, 1993; Lagrange, 1896). Durant le XX^{ème} siècle, de plus en plus d'intérêt est porté aux bienfaits de l'activité physique et la nécessité d'en pratiquer, augmentant considérablement les recherches sur ce sujet et menant à la production de programmes callisthéniques dans les écoles et gymniques dans les espaces militaires ou dans des gymnases privés (Piard, 2001). Favorisés par les impacts des guerres mondiales sur la société civile, les activités physiques subissent ainsi un véritable essor au sein de la population générale. Mis en avant par les instances politiques, ces activités permettent de « régénérer » et garantir la bonne santé de la population française tout en l'orientant dans une démarche d'accès au loisir (Raude and Prouteau, 1950). Malgré une structuration grandissante des activités physiques à travers des espaces institutionnalisés visant à la performance, l'activité physique est aussi promue comme vecteur pour l'amélioration de la condition physique et la santé des individus à tout âge (Lamb et al., 1950; Neilson, 1933; Streit and McNeely, 1950; Terfous, 2010).

Dans les années 1950, les recherches menées par le professeur Jeremiah Morris mettent pour la première fois en avant l'association entre l'activité physique et les risques pour la santé (Morris and Crawford, 1958; Morris and Heady, 1953; Morris and Raffle, 1954; Morris et al., 1953). En effet, l'occurrence de maladies coronariennes était plus faible et moins sévère au sein d'une population de travailleurs physiquement actifs (contrôleurs de bus et facteurs) que chez des travailleurs moins actifs (chauffeurs de bus et standardistes) (**Figure 1**) (Morris and

Crawford, 1958; Morris et al., 1953). Par ailleurs, la communauté scientifique considère que ces travaux ont permis la genèse et le développement de la discipline visant à étudier les effets de l'activité physique (Blair et al., 2010). Ainsi, dans la seconde moitié du XX^{ème} siècle, cette discipline va observer un véritable essor au regard de l'intérêt scientifique qu'elle suscite.

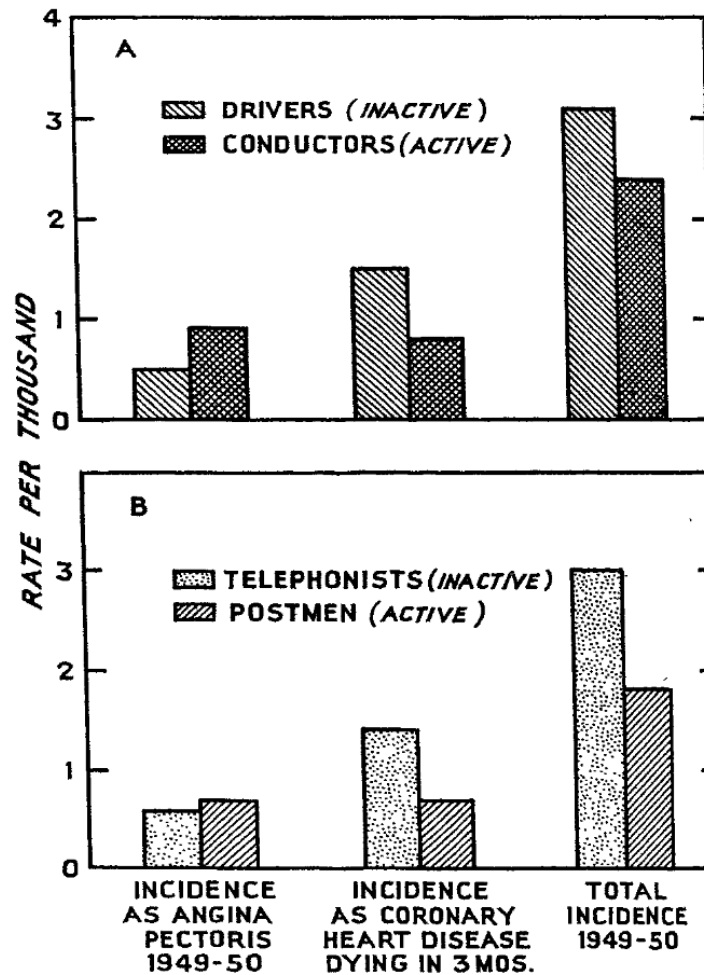


Figure 1 – Occurrence des premiers épisodes cliniques de maladies coronarienne en 1949-1952 chez des salariés de la *London Transport Executive* (a) et de la *Global Post Office* (b)

Drivers, conducteurs de bus ; conductors, contrôleurs ; telephonists, standardistes ; postmen, postiers.

Issue de Morris *et al.* (1953)

Dans une volonté d'harmonisation et de d'homogénéisation des concepts scientifiques, Caspersen *et al.* (1985) ont défini la notion d'activité physique et d'exercice physique (Caspersen et al., 1985). Ainsi, **l'activité physique** est considérée comme « *tout mouvement corporel produit par la contraction des muscles squelettiques et augmentant la dépense énergétique au-dessus de la dépense de repos* », et **l'exercice physique**, quant à lui, est défini comme « *une sous-catégorie d'activités physiques planifiées, structurées, répétées et réalisées*

afin d'améliorer ou de maintenir la condition physique » (Caspersen et al., 1985). Afin de comprendre ce que représente l'activité physique dans sa globalité, il est nécessaire de préciser que **le sport** est « *une partie du spectre de l'activité physique et correspond à toute pratique institutionnalisée, organisée et régit par des règles spécifiques* » (Pociello, 1981; Thivel et al., 2018). Ainsi, l'activité physique peut être classifiée en deux sous domaines : l'activité physique structurée comprenant le sport ou l'exercice physique (Khan et al., 2012) et l'activité physique non-structurée comprenant toutes les activités physiques du quotidien non planifiées comme les activités physiques pendant les transports ou au domicile (Strath et al., 2013), qu'elles soient consciemment (volontaire) ou inconsciemment (involontaire) réalisées. Ces activités physiques involontaires sont un sous compartiment des activités physiques incluant par exemple des activités de maintien postural ou de gigotements (Dulloo et al., 2012). De plus pour comprendre au mieux une activité physique il faut considérer le domaine de pratique au sein duquel l'activité est réalisée. Ainsi nous dénombrons 4 contextes d'activité différents (Strath et al., 2013) :

- **Les activités physiques professionnelles** sont réalisées au sein de l'espace de travail. Elles incluent des tâches manuelles, la marche ou bien encore le port d'objets.
- **Les activités physiques domestiques** sont réalisées au sein du foyer que ce soit en intérieur ou en extérieur. Elles incluent les travaux ménagers, de jardinage, de bricolage etc...
- Les **activités physiques liées aux transports** sont réalisées lors de déplacements visant à aller dans un autre endroit. Elles incluent le fait de faire du vélo, de la marche, de la trottinette, prendre des escaliers ou tout autre type de transport actif.
- Les **activités physiques de loisir** sont réalisées à des fins récréatives selon la volonté propre de l'individu. Ces activités peuvent inclure par exemple la pratique des sports ou d'exercices physiques.

Au sein de ces quatre contextes d'activité, nous pouvons préciser que ces activités peuvent être réalisées de manière autonome ou supervisée par un professionnel spécialisé (éducateurs sportifs, enseignants en activité physique adaptée) (Haute Autorité de Santé, 2019). Enfin pour entièrement caractériser une activité physique il faut considérer quatre dimensions essentielles (Strath et al., 2013):

- **La modalité** correspond au type d'activité pratiquée (marche, football, course à pied). Aussi, elle définit les particularités physiologiques et biomécaniques de l'activité physique (activités aérobies, renforcement musculaire, équilibre).
- **La fréquence** correspond aux nombres de fois qu'est réalisée une activité physique sur une période donnée (jour, semaine, mois, année).
- **La durée** correspond aux temps (minutes ou heures) durant laquelle l'activité physique est réalisée sur une période donnée (jour, semaine, mois, année)
- **L'intensité** correspond à la demande métabolique d'une activité physique. Elle représente la dépense énergétique relative à l'activité physique réalisée par un individu.

Ainsi, le terme de dépense énergétique est important dans la notion d'activité physique puisqu'il est au cœur de sa définition et de sa caractérisation. L'activité physique est une des trois composantes de la dépense énergétique journalière et peut représenter en moyenne entre 10 % et 30 % de cette dernière, voire jusqu'à 50% suivant le volume d'activité physique réalisé par un individu (Levine, 2004). Brièvement, nous pouvons préciser que les deux autres composantes de la dépense énergétique journalière sont le métabolisme de base, correspondant à l'énergie quotidienne nécessaire au maintien des systèmes biochimiques du corps lorsque celui-ci est au repos et la thermogénèse alimentaire, définie comme la dépense énergétique liée à la consommation alimentaire, incluant la digestion, l'absorption, l'assimilation et le stockage des nutriments (**Figure 2**) (Dulloo et al., 2012; de Jonge and Bray, 1997; Ravussin and Bogardus, 1992). À travers ces définitions et caractéristiques, nous observons que l'activité physique correspond à l'ensemble des activités entraînant une dépense énergétique supérieure aux valeurs de repos. Elle est un paramètre clé dans la régulation de la dépense énergétique journalière puisqu'elle est le paramètre le plus variable à travers les activités physiques volontaires ou spontanées et l'intensité de ces dernières (Lam and Ravussin, 2016; Levine, 2004).

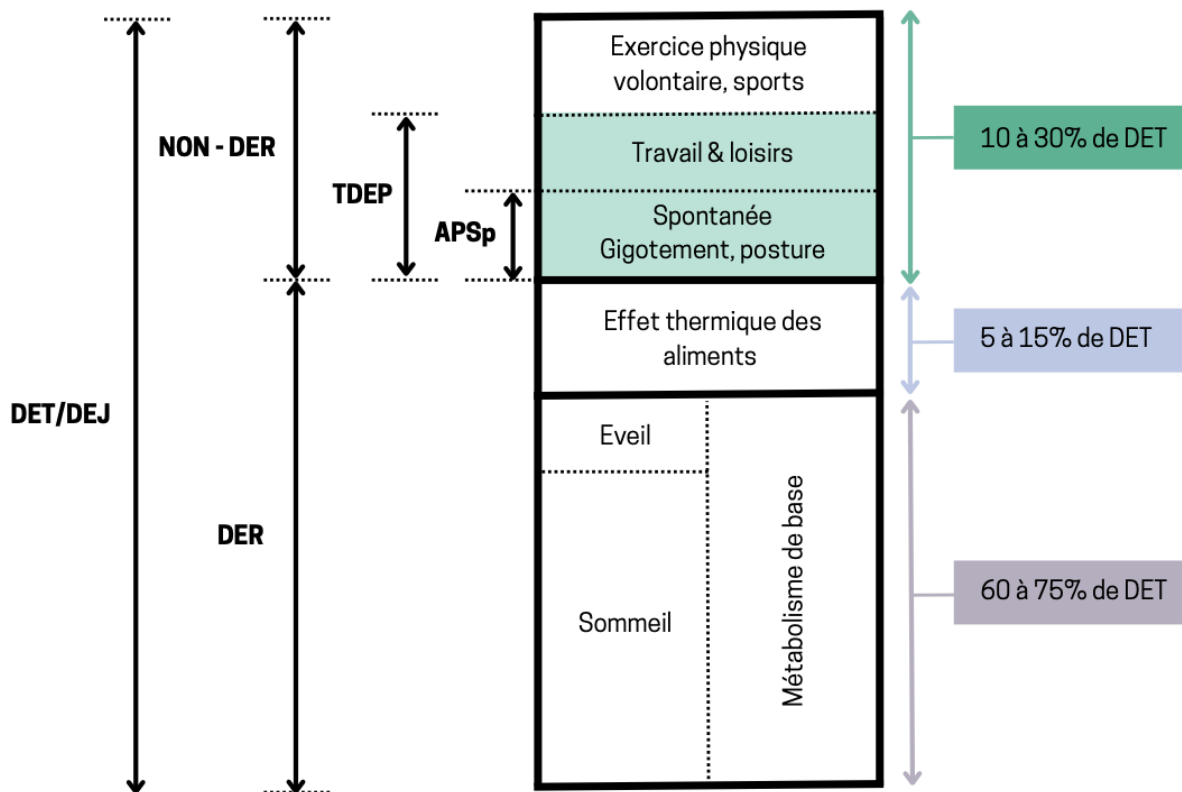


Figure 2 – Les différentes composantes de la dépense énergétique journalière

APSp, activité physique spontanée ; DER, dépense énergétique de repos ; DET/DEJ, dépense énergétique totale/journalière ; NON-DER, dépense énergétique non au repos ; TDEP, thermogénèse différentielle de l'exercice physique.

Traduite et adaptée de Dulloo *et al.* (2012) et Casanova *et al.* (2019)

De surcroît, la dépense énergétique est une mesure indicative de l'intensité de l'activité physique réalisée. La quantité d'énergie dépensée lors d'une activité physique est généralement quantifiée en kilocalories ou à travers ce que l'on appelle l'équivalent métabolique (MET). Le MET est défini comme le rapport entre la charge métabolique et un métabolisme de base standard à $1.0 \text{ kcal.kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$ (Ainsworth *et al.*, 2000; Dill, 1936). Ainsi, on observe que les METs sont convertibles en kilocalories où 1 MET correspond à $1.0 \text{ kcal.kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$ ou bien encore $3.5 \text{ mL O}_2.\text{kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ (Strath *et al.*, 2013). À travers l'augmentation de la consommation d'oxygène suivant l'intensité de l'effort, l'approche couramment utilisée pour quantifier l'intensité d'une activité physique est de se servir de la dépense énergétique de repos comme multiple. Pour étayer nos propos, prenons l'explication de Strath *et al.*, qui précise qu'une « activité nécessitant une consommation d'oxygène de $10,5 \text{ mL O}_2.\text{kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ équivaut à 3 METs (soit 3 fois le niveau de repos) ». Comme précédemment mentionnées, les

METs ont été construit à travers un métabolisme de base stable n'incluant pas l'hétérogénéité des réponses énergétiques propres à chaque individu. En effet, les METs ne prennent par exemple pas en compte les variabilités inter-individuelles génétiques, de la composition corporelle (masse grasse et masse maigre), de l'âge, du sexe/genre, de la condition physique et du rendement mécanique (Ainsworth et al., 2011; Browning et al., 2006; Detrembleur et al., 2003; Ravussin and Bogardus, 1989). Ces caractéristiques nous permettent de comprendre que les METs n'ont pas la vocation première à quantifier précisément le coût énergétique d'une activité réalisée par un individu mais de permettre d'avoir une classification globale des activités physiques déterminée par leurs intensités (Ainsworth et al., 2000).

Ainsi, en utilisant les dimensions de l'activité physique (intensité, durée et fréquence), il est possible de déterminer le volume d'activité physique d'un individu. Des chercheurs ont travaillé sur une base de données ressource, accessible à tous, permettant de connaître de façon rapide les intensités de différentes activités du quotidien : le compendium des activités physiques (Ainsworth et al., 2011). De plus, une classification, basée sur les METs, a émergé au fil des recherches scientifiques, afin de créer des seuils d'intensité pour différencier les différentes activités. Cette classification définit les intensités relatives des mouvements humains comme suit : activités d'intensité correspondant à des comportements sédentaires (1.0-1.5 METs), activités physiques de faible intensité (1.6-2.9 METs), d'intensité modérée à intense (3-5.9 METs), d'intensité vigoureuse/intense (6-8.9 METs) et d'intensité très vigoureuse/intense (≥ 9 METs) (World Health Organization, 2010).

Il est important de mettre en avant le fait que les comportements sédentaires, mentionnés précédemment, sont différents du terme d'inactivité physique. À travers une mauvaise utilisation et communication de ces deux termes au sein de rapports scientifiques ou de communications de santé publique, des confusions d'utilisation ont émergé de façon récurrente durant de nombreuses années. Ainsi, l'inactivité physique correspond « à la *non-atteinte des recommandations internationales d'activité physique* » (Thivel et al., 2018) alors que la sédentarité, qui est une notion centrée sur des postures spécifiques et une faible dépense énergétique, sera définie et caractérisée dans la sous-partie suivante. Les recommandations d'activité physique seront présentées de façon détaillé dans la sous-partie « **Recommandations sur les activités physiques et la sédentarité** ».

1.1.3. La sédentarité

L'étymologie et la sémantique sont deux disciplines permettant de mieux comprendre et appréhender la signification des mots à travers leurs origines. Ainsi, si l'on s'intéresse au terme de « sédentarité », on observe que son origine provient du mot latin *sedentarius*, lui-même issue du terme *sedens*, traduisible par « être assis » (Gaffiot, 1934). Le concept de sédentarité dans le champ de la physiologie humaine, est à l'image de son étymologie, caractérisé par le fait d'être en position assise. Comme observé dans la sous-partie précédente, durant l'Antiquité l'activité physique est promue pour ses bienfaits sur le corps et l'esprit mais l'implication de la position assise sur des troubles de la santé n'est pas spécifiquement mise en lumière. En effet, à travers l'histoire de la Grèce puis de la Rome antique, des auteurs comme Herodicus (Vème siècle av. JC) considéré comme l'un des précurseurs de la médecine du sport, ou encore Galien (129-201 ap. JC) l'un des derniers grands médecins de son époque, mettaient essentiellement en avant les liens entre la pratique d'activité physique et leurs effets bénéfiques sur le traitement de maladies (Broutet, 1813; Norström, 1912). Malgré les doutes pouvant être posés sur la signification réelle des termes employés, la notion de repos en tant que problème pour la santé est tout de même évoquée dès l'Antiquité. À travers la traduction des écrits de Galien dans *De boni et mali succi cibis*, Nicolas Dally (1857) nous rapporte que « pour la santé, le plus grand danger résulte d'un repos complet, de même que le plus grand bien résulte d'un exercice modéré » (Dally, 1857). À l'heure actuelle, ne pouvant considérer cette utilisation du terme « repos complet » comme un synonyme de la sédentarité, nous pouvons tout de même observer que la pensée de l'époque tendait vers l'idée que l'excès de repos entraînait une apparition de problème de santé. Ces prémices d'idée pouvant effleurer le concept de sédentarité resteront pendant plusieurs siècles en suspens, à l'image de la recherche sur les activités physiques. Il faudra attendre la Renaissance avant de voir des scientifiques s'intéresser aux problématiques d'un temps excessif passé en position assise.

En effet, les travaux du professeur et médecin Bernardino Ramazzini dans son ouvrage *De Morbis Artificum Diatriba* (1700), ont mis en lumière l'apparition de problèmes de santé liés à l'accumulation du temps passé assis (Ramazzini, 1777). S'intéressant à la santé des travailleurs, il observa les problématiques découlant de posture prolongée de professionnels dans différents secteurs d'activité. À l'image d'un ergonomiste moderne, il s'intéressa de façon

spécifique aux mouvements des travailleurs pouvant altérer leur état de santé. De par ses observations, il releva que l'une des causes principales provoquant les maladies touchant les secrétaires et les greffiers était « *l'usage où ils sont d'être continuellement assis* » représentatif d'une « *vie sédentaire* » (Ramazzini, 1777). Ces observations étaient, par ailleurs, plus précises concernant les tailleurs et les ouvrières à l'aiguille où ils observaient des effets physiologiques, comme la « *disposition vicieuse dans les organes* », et psychologiques, avec « *une abondance nuisible d'humeurs* » en raison de leur vie sédentaire (Ramazzini, 1777). Enfin, il nota aussi que tous les travailleurs sédentaires n'avaient pas nécessairement des problèmes de santé liés à leur posture assise. Il observa que les potiers de terre ou encore les tisserands, bien qu'assis, à travers « *les mouvements qu'ils exécutent ... rendent leur santé plus robuste* » (Ramazzini, 1777). Finalement dès le XVIII^{ème} siècle, Ramazzini caractérisa à travers ses observations les prémices du concept moderne de sédentarité dans le champ de la physiologie humaine, à savoir un manque de production de mouvement en étant assis.

Malgré les travaux du mouvement hygiéniste au cours du XIV^{ème} siècle, le terme de sédentarité mis du temps à émerger et à éprouver l'intérêt de la communauté scientifique, attendant la fin des années 1970 pour s'inscrire au sein des recherches scientifiques. Cependant avec l'essor des études sur l'activité physique le terme de sédentarité évolua à travers deux voies différentes : une suivant l'étymologie du mot considérant la sédentarité comme le reflet du temps passé assis avec une faible dépense d'énergie et la seconde représentation la caractérisant par le manque ou l'absence d'activité physique à des intensités modérées à intenses. Cette dichotomie sémantique a provoqué de nombreuses confusions et erreurs dans l'interprétation ou la diffusion de productions scientifiques (Pate et al., 2008; Sedentary Behaviour Research Network, 2012). En effet, les recherches définissant un groupe comme « sédentaire » correspondaient, dans de nombreux travaux en lien avec les sciences du sport, à des individus ne déclarant pas pratiquer d'activités physiques d'intensité modérée ou intense (Pate et al., 2008). Finalement, ces sujets étaient assignés à ce groupe « sédentaire » sans évaluation de leurs comportements sédentaires mais sur la seule base de leur inactivité physique (Brown and Jones, 1977; Folinsbee et al., 1983; Steinhaus et al., 1988; Williams et al., 1986). Entre les années 1990 et 2010, cette proportion toujours plus conséquente de travaux considérant la sédentarité comme de l'inactivité physique à mener des institutions internationales à la définir de cette manière (Bijnen et al., 1994; World Health Organization, 2010). Avec l'augmentation continue dans les années 2000 et 2010 d'études portant sur

l'impact biologique et sanitaire de la sédentarité (Dunstan et al., 2004; Hamilton et al., 2008; Hu et al., 2003a; Owen et al., 2010; van Uffelen et al., 2010), la communauté scientifique s'est réunie avec comme volonté de mettre un terme à la pluralité de significations que possédait le terme « sédentaire » et d'obtenir une définition universelle et consensuelle (Sedentary Behaviour Research Network, 2012; Tremblay et al., 2017).

Ainsi en 2017, le Réseau de Recherche sur le Comportement Sédentaire a défini la sédentarité comme le « *temps cumulé assis, incliné ou allongé, pendant la période d'éveil, au cours duquel la dépense énergétique est égale à la dépense énergétique de repos* » (Tremblay et al., 2017). De ce fait, la sédentarité n'est pas seulement définie par une composante posturale (liée à la position de l'individu), elle comprend aussi une composante énergétique avec une dépense énergétique devant être inférieure à 1.5 METs. Pour caractériser et mesurer la sédentarité, Tremblay *et al.* (2010) ont proposé l'utilisation de la formule SITT où les acronymes signifient sur une période de temps donnée (jour ou semaine) : 'S' la fréquence/nombre d'épisodes sédentaires, 'I' les interruptions d'épisodes sédentaires, 'T' le temps passé cumulé en comportements sédentaires et le dernier 'T' le type/mode de comportements sédentaires. Cette caractérisation des comportements du mouvement humain a mené le Réseau de Recherche sur le Comportement Sédentaire à illustrer ces potentialités à travers un modèle conceptuel explicite permettant d'entrevoir l'entièreté des possibilités de mouvements réalisables sur une journée (**Figure 3**) (Tremblay et al., 2017).

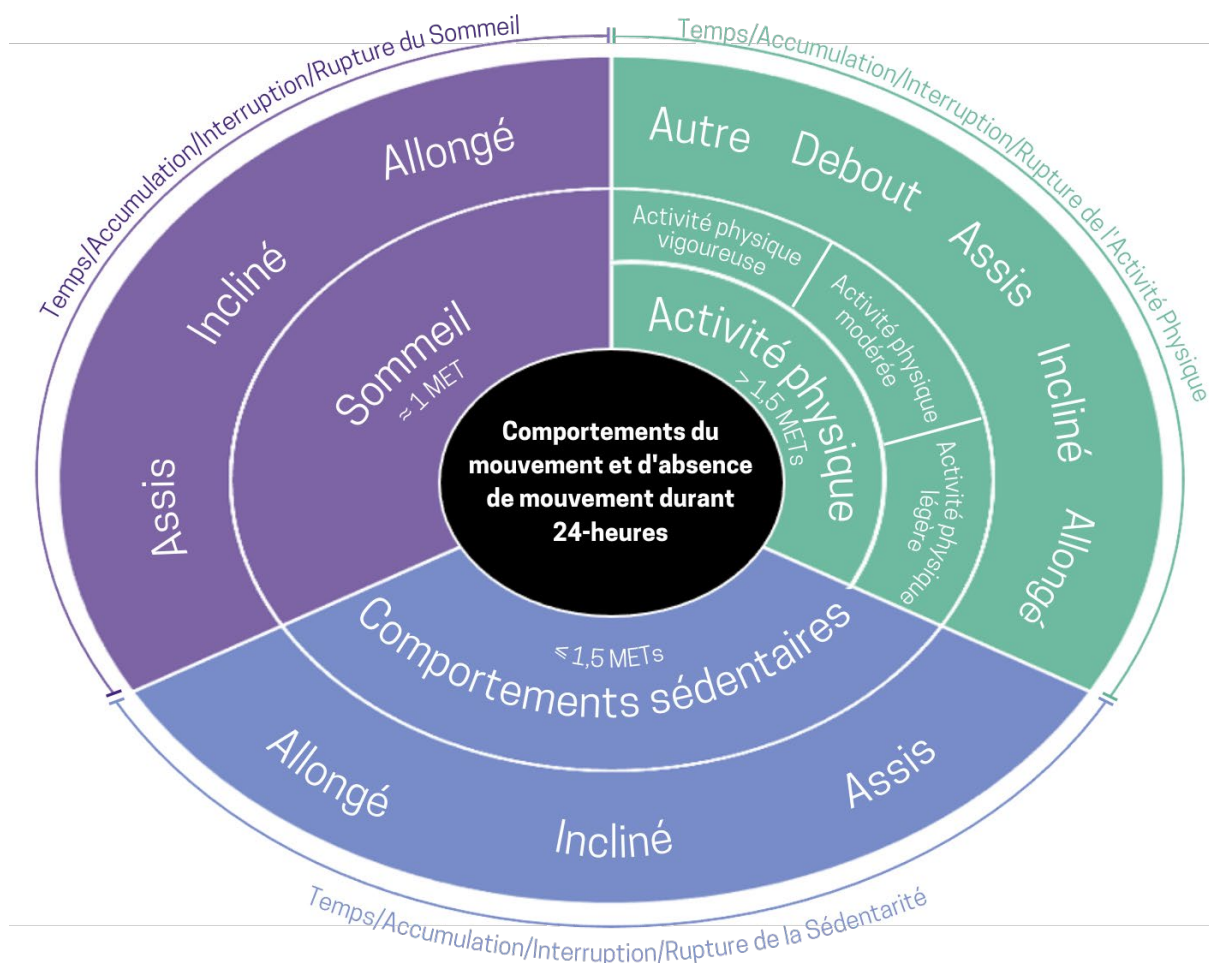


Figure 3 - Modèle conceptuel de la terminologie basée sur les mouvements organisés autour d'une période de 24 heures

Issue et traduite de Tremblay *et al.* (2017)

Ainsi, on observe la différence et la complémentarité existante entre les notions d'activité physique et de sédentarité. Cette différence a permis l'émergence de différents profils pour caractériser les individus au regard de leur comportement quotidien (**Figure 4**) (Saunders et al., 2014). Par exemple, des individus peuvent être considérés comme physiquement actifs et sédentaires (un individu pratiquant 6h d'activité physique d'intensité modérée et passant la majorité de sa journée assis avec 12h de comportement sédentaire par jour) alors qu'à l'inverse des individus peuvent être physiquement inactifs mais non sédentaires (un individu ne respectant pas les recommandations d'activité physique sur la semaine mais passe l'ensemble de ses journées debout en ne passant que quelques minutes assis par jour).

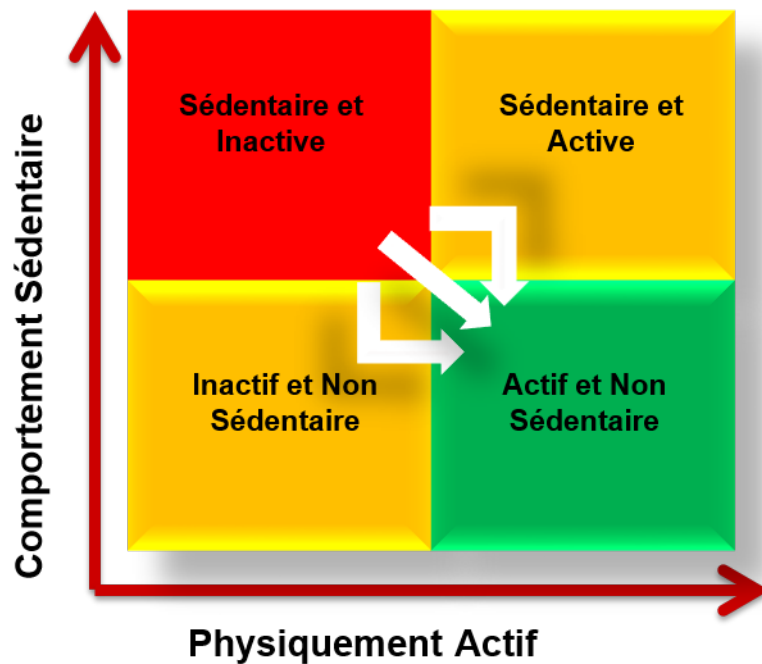


Figure 4 – Profils distincts liés aux comportement sédentaires et à l’activité physique

Issue et traduite de Saunders *et al.* (2014)

Ces catégorisations permettent de classer de manière rapide les comportements des individus et de les profiler lors d’études épidémiologiques. De manière générale, ces études se basent sur deux seuils spécifiques pour caractériser un individu comme sédentaire, à savoir un temps journalier de comportements sédentaires supérieur à 3h ou 7h. Ces précisions sont nécessaires afin de comprendre les données issues des études épidémiologiques évaluant la prévalence des comportements sédentaires et d’activité physique au sein des populations.

1.2. Données épidémiologiques de l’inactivité physique et de la sédentarité

1.2.1. Prévalence dans le monde

À partir du début des années 2000, l’OMS a recueilli les données nationales de 34 pays sur la pratique d’activité physique de loisir permettant de produire les premières estimations de l’inactivité physique à des échelles régionales et internationales (Bull *et al.*, 2004). Ce travail n’incluant qu’un faible nombre de pays (essentiellement des pays à revenu élevé) a mis en

avant de grandes disparités méthodologiques dans le recueil de données et le besoin qu'un plus grand nombre de pays produisent des estimations au regard du niveau d'activité physique de leurs populations. De plus, ce travail se concentrant exclusivement sur les activités physiques de loisir ne permet pas d'entrevoir la pratique journalière globale d'activité physique. Un recueil de données fut réalisé en 2008 pour 122 pays (Hallal et al., 2012) puis mis à jour en 2010 pour 146 pays (Sallis et al., 2016) afin de calculer l'effet de l'inactivité physique sur le développement de maladies chroniques non transmissibles. À travers les données collectées en 2010, on observe que la prévalence d'inactivité physique dans la population adulte mondiale est de 23,8 %, allant de 14,8 % pour l'Asie du Sud-Est jusqu'à 38,2 % pour les pays de la Méditerranée Orientale (Sallis et al., 2016). En regardant de plus près la proportion d'inactivité physique par classification de revenu, on remarque que les pays à haut taux de revenu ont une population adulte physiquement plus inactive que celles à faible revenu (28,7 % vs 14,8 %). Cette disparité peut s'expliquer par plusieurs paramètres, tels que l'augmentation du revenu médian ou l'urbanisation et tertiarisation de la société (Bauman et al., 2012; Pratt et al., 2012). Ces données déjà alarmantes continueront d'augmenter dans les années suivantes. En effet, en 2016, une analyse regroupant 1,9 millions de participants s'est intéressée à actualiser la prévalence d'inactivité physique dans le monde (Guthold et al., 2018). Ces données indiquent que la prévalence d'inactivité physique représente plus d'un quart (27,5 %) de la population adulte mondiale. Ces chiffres suivent les données issues du recueil de 2010 où l'inactivité physique était toujours deux fois plus importante dans les pays à haut revenu que ceux à faible revenu (36,8 % vs 16,2 %). À l'échelle mondiale, nous pouvons aussi relever une proportion de femmes physiquement inactives plus importante que celle des hommes (**Figure 5**). Cette différence prononcée est plus conséquente dans différentes parties du globe, à savoir le Moyen-Orient, l'Asie centrale et du sud. Guthold *et al.* (2018) ont émis l'hypothèse que cette différence est favorisée par les normes culturelles et sociales menant à une faible participation des femmes au sein des pratiques d'activités sportives dans ces régions (Guthold et al., 2018).

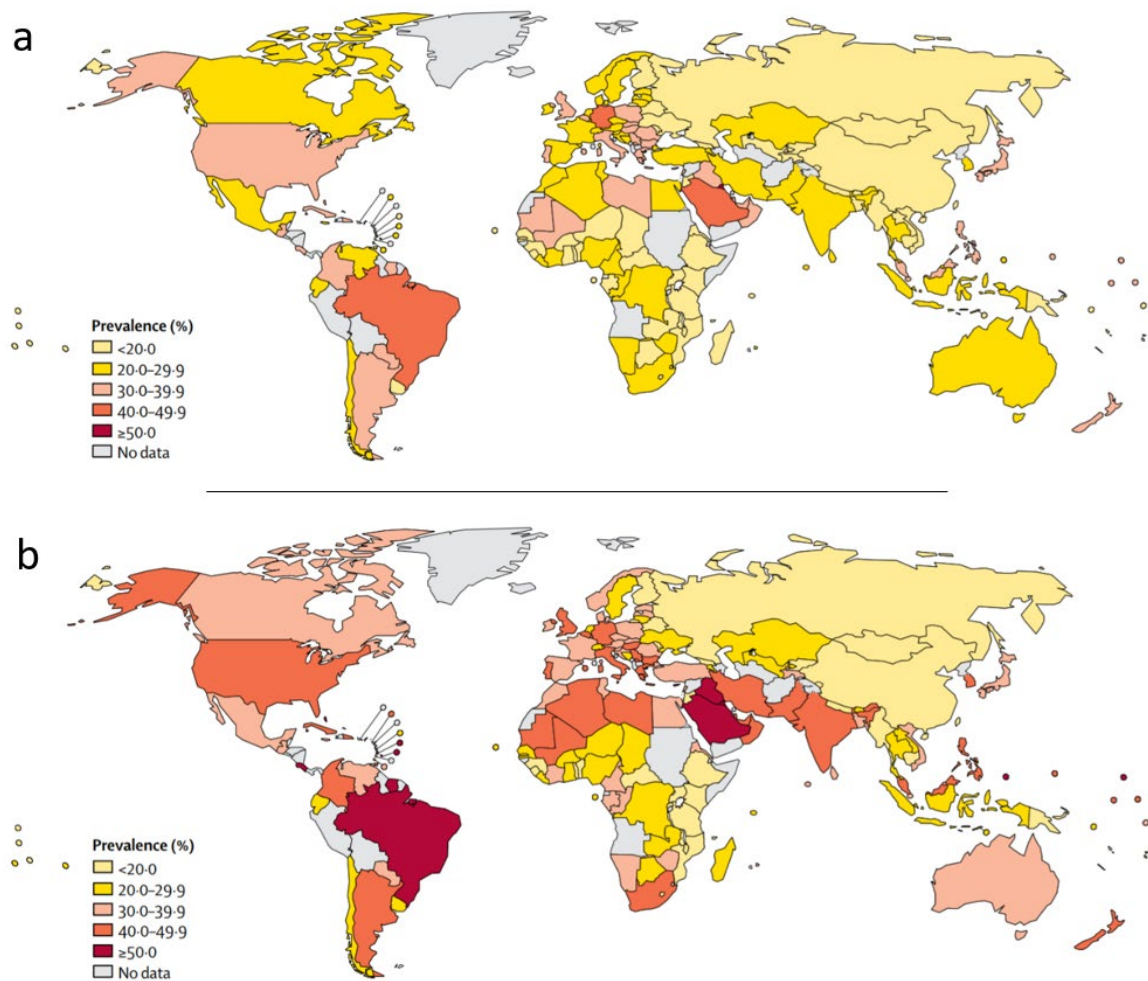


Figure 5 – Prévalence par pays de l’inactivité physique chez les hommes (a) et les femmes (b) en 2016

Issue de Guthold *et al.* (2018)

À l’échelle mondiale, la sédentarité est bien moins souvent monitorée que l’activité physique (Klepac Pogrmilovic *et al.*, 2018). Pour preuve, l’OMS n’a produit aucun rapport au regard de la prévalence de la sédentarité au niveau mondiale. À l’initiative d’un groupe de travail international (Sedentary Behaviour Council Global Monitoring Initiative Working Group), seulement 62 pays (dont 90 % des pays sont à moyen ou haut revenu) ont été répertoriés comme ayant des données valides de temps passé en position assise au sein de la population adulte mondiale (Mclaughlin *et al.*, 2020). Au cœur de l’Union Européenne (UE), parmi les 16 pays membres sur les 27 ayant un système régulier de surveillance de l’activité physique, seulement 10 d’entre eux évaluent la sédentarité (Sorić *et al.*, 2021). Toujours à l’échelle de l’UE, on observe que la sédentarité est souvent moins étudiée que le niveau d’activité physique (27/44 vs 38/44) à travers les différents systèmes de surveillances évaluant les

comportements liés à la santé des adultes (Bel-Serrat et al., 2017). Ce constat est d'autant plus problématique que plusieurs suivis longitudinaux évaluent la sédentarité, à travers les spectres du temps passé assis et/ou devant les écrans, sans considérer les composantes multidimensionnelles de cette dernière (Bel-Serrat et al., 2017; Sorić et al., 2021). Malgré ces limites méthodologiques et la trop faible proportion de pays considérant la surveillance de la sédentarité comme une priorité, on observe une très grande prévalence de la sédentarité dans le quotidien des adultes dans le monde, spécifiquement dans les pays les plus riches (Mclaughlin et al., 2020). Par exemple aux États-Unis, à travers des méthodes objectives (accélérométrie), le temps passé en position assis représente en moyenne entre 5,5 et 8 heures par jour pour un adulte (Matthews et al., 2008; Schuna et al., 2013; Yang et al., 2019). Au Canada, une récente étude a mis en avant que les adultes, ayant un emploi à temps plein tout secteur d'activité confondu, passent entre 65 et 73 % de leur journée en comportements sédentaires (Prince et al., 2020). En cumulant les données objectives de cinq études transversales européennes, (Angleterre, Portugal, Norvège et Suède), Loyen *et al.* (2017) rapporte qu'en moyenne les participants passent entre 8 et 9 heures par jour en comportements sédentaires (Loyen et al., 2017). De surcroît, cette étude souligne que 80 % des sujets inclus accumulent au moins 7,5 heures par jour de comportements sédentaires et 32 % en accumulent plus de 10 heures par jour (Loyen et al., 2017).

En France, ces caractéristiques des comportements du mouvement humain ne diffèrent pas grandement des pays présentés précédemment et sont suivis régulièrement à travers des études transversales menées par des organismes de recherche publique.

1.2.2. Prévalence en France

Les premières études épidémiologiques évaluant l'activité physique des Français datent des années 1960. À cette époque, les études se concentraient sur la pratique sportive et l'on observait qu'un adulte sur douze seulement pratiquait une activité physique sportive régulière (Le Roux, 1970). Il est intéressant de noter qu'à cette période-ci, 42,4 % des adultes précisaient n'avoir jamais pratiqué de sport dans leur vie (Le Roux, 1970). Lors des 35 années suivantes, plusieurs études vont essayer d'évaluer la pratique sportive des Français. Cependant, les études épidémiologiques vont évoluer au rythme des avancées et consensus scientifiques sur le domaine. En effet, les disparités méthodologiques et les diverses définitions utilisées pour

caractériser l'activité physique et la sédentarité ne permettent pas d'observer un suivi longitudinal voire comparatif des comportements des Français au fil des âges. Il faudra attendre les premiers questionnaires spécifiques d'activité physique et de sédentarité (*International Physical Activity Questionnaire* (IPAQ), *Global Physical Activity Questionnaire* (GPAQ) and *Recent Physical Activity Questionnaire* (RPAQ)) pour entrevoir des estimations plus précises et reproductibles du temps passé aux activités physiques et de sédentarité (Golubic et al., 2014; Hallal and Victora, 2004; Herrmann et al., 2013).

En 2001, le ministère chargé de la santé a développé le Programme National Nutrition Santé (PNNS). Ce programme avait pour but d'améliorer la santé des individus à travers les aspects nutritionnels et l'hygiène de vie, comprenant les activités physiques. Afin d'observer les évolutions des comportements nutritionnels et d'activité physique de la population, des études épidémiologiques furent nécessaires pour obtenir des données descriptives. Ce programme a permis la promotion d'études épidémiologiques rigoureuses sur cette thématique. En 2006, l'Étude Nationale Nutrition Santé (ENNS) a évalué les apports alimentaires, l'état nutritionnel et l'activité physique (déterminée par la version courte en face-à-face de l'IPAQ (Craig et al., 2002)) de la population Française représentant ainsi un outil de surveillance pour les indicateurs de suivi du PNNS (Étude Nationale Nutrition Santé, 2007). L'ENNS rapporte qu'à cette période 63,2 % des Français déclaraient être physiquement actifs, avec 63,9 % pour les hommes et 62,5 pour les femmes. La sédentarité, étant évaluée en dehors du temps de travail lors de l'étude, fut analysée à travers le temps passé devant un écran. On observait que la durée d'utilisation moyenne d'un téléphone et/ou ordinateur par jour pour les adultes de cette étude était de 3 heures et 21 minutes. L'ENNS précisait que 53,3 % des adultes, indépendamment de l'âge et du sexe, passaient 3 heures ou plus devant des écrans que ce soit sur des jours travaillés ou de repos. Ces données d'activité physique et de sédentarité ont pu servir de repère pour les études successives voulant observer l'évolution des comportements des Français.

Dix années après l'ENNS, l'Étude de Santé sur l'Environnement, la Biosurveillance, l'Activité physique et la Nutrition (Esteban) a été menée dans l'objectif d'obtenir des données pour observer l'évolution des comportements précédemment évalués (déterminés par le RPAQ) (Enquête Esteban, 2017). Au regard de l'activité physique, on observe que la proportion d'adulte physiquement actif a légèrement diminué dans l'enquête Esteban (61,3 %) en

comparaison de l'ENNS (63,2 %). Cependant les hommes déclaraient être plus actifs physiquement lors de l'enquête Esteban que lors de l'ENNS (63,9 % vs 70,4 %), alors que ces résultats étaient inversés pour les femmes avec une diminution de la pratique d'activité physique au cours du temps (62,5 % vs 52,6 %). Cependant, l'étude remarque, aussi bien pour les hommes que pour les femmes, qu'au-delà d'être physiquement actifs, les adultes Français pratiquent des activités physiques d'intensité plus faible qu'auparavant. Toujours en comparant les données entre 2006 et 2015, on observe une très forte augmentation (53 %) du temps moyen passé quotidiennement devant les écrans hors temps de travail, indépendamment de l'âge et du sexe (**Figure 6**). Plus globalement, on observe que 88,8 % des adultes avaient un temps de sédentarité journalier supérieur à 3 heures dont 40,8 % déclaraient plus de 7h. En moyenne, ces activités sédentaires représentent 6 heures et 35 minutes par jour. Toutefois, ces résultats sont à pondérer au regard de l'hétérogénéité méthodologique existante entre les deux études épidémiologiques, causée par l'utilisation de deux questionnaires différents (IPAQ et RPAQ).

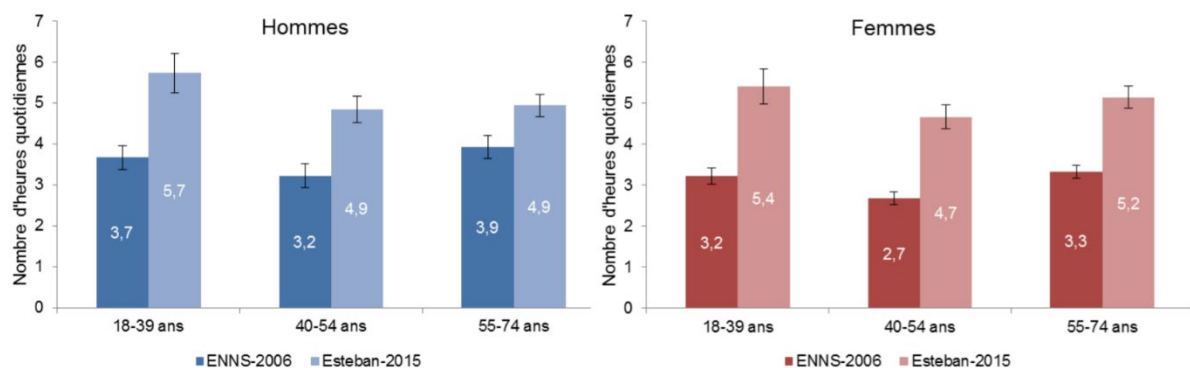


Figure 6 – Durée quotidienne moyenne (en heures) passée devant un écran chez les adultes, selon le sexe et la classe d'âge, comparaison ENNS 2006 / Esteban 2015

Les écrans incluent le temps de télévision, ordinateur et console de jeux en dehors d'une activité professionnelle.

Issue de l'enquête Esteban (2017)

D'autres recherches épidémiologiques nous renseignent sur les comportements des Français à l'image de l'étude Individuelle Nationale des Consommations Alimentaire (INCA). Le rapport INCA 3 a relevé les comportements d'activité physique et de sédentarité (déterminés par le RPAQ) de plus de 3000 adultes permettant de mettre en exergue la proportion des différents profils liés aux comportements du mouvement humain (INCA 3, 2017). De façon similaire à l'enquête Esteban, on remarque que les hommes comparés aux femmes tendent à être

physiquement plus actifs (72,5 % vs 53,6 %) mais aussi légèrement plus sédentaires (85,3 % vs 82,8 %) (**Figure 7**). Au-delà de ces données globales, on observe que seulement 11,5 % des hommes et 10,6 % des femmes sont physiquement actifs et passent moins de 3 heures à des activités sédentaires (**Figure 7**). Ces données sont particulièrement inquiétantes de par la forte progression des comportements d'inactivité physique et de sédentarité au fil des années. Pour exemple, un quart des hommes (24,3 %) et deux femmes sur cinq (39,8 %) sont considérés comme des personnes étant physiquement inactifs et ayant une accumulation conséquente d'activité sédentaire dans leur quotidien.

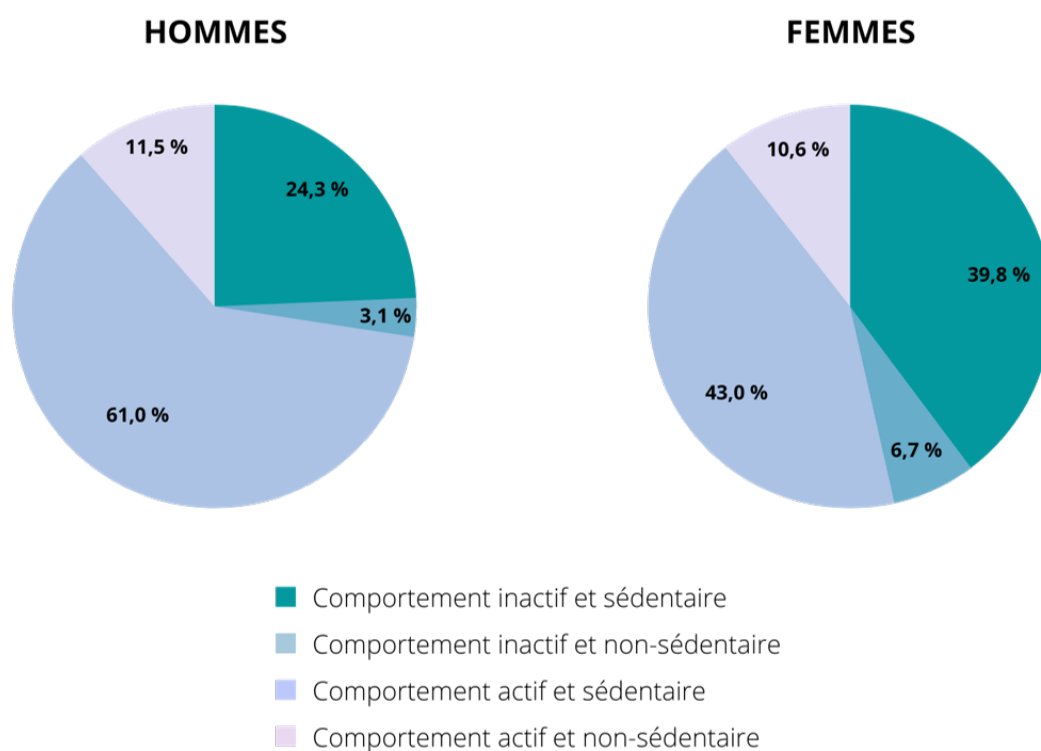


Figure 7 – Profil d'activité physique et de sédentarité (%) selon le sexe, chez les adultes Français de 18 à 79 ans (n=2180)

Issue du rapport INCA 3 (2017)

Cette alarmante proportion d'inactivité physique et de sédentarité a continué d'augmenter dans le quotidien des Français comme en attestent les rapports réalisés durant les confinements de la crise du COVID-19. Un rapport de l'Observatoire National de l'Activité Physique et de la Sédentarité (ONAPS) relève que lors du premier confinement en France, 36,4 % des adultes déclaraient avoir diminué leur niveau d'activité physique et 24,6 % des adultes avoir augmenté leur temps passé assis (Observatoire national de l'activité physique et de la

sédentarité, 2020). Plus alarmant encore, parmi les personnes qui étaient non sédentaires avant le confinement, trois quarts (74,2 %) d'entre eux avaient augmenté leur niveau de sédentarité. Ces données, certes issues d'une période rare et exceptionnelle du quotidien de la population, démontrent tout de même l'augmentation continue et non négligeable des comportements du mouvement délétère pour la santé des individus. Pour preuve, le dernier rapport en date de l'Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'Alimentation, de l'Environnement et du Travail (ANSES) basé sur les résultats de l'étude INCA 3, a mis en avant que seulement 5 % des adultes ont une activité physique suffisante pour avoir un « *niveau de protection acceptable* » pour la santé (contrebalancer les effets délétères de la sédentarité) (ANSES, 2022).

Ainsi l'inactivité physique et la sédentarité sont omniprésentes dans le quotidien des populations françaises et plus globalement mondiales. Ces comportements entraînent des adaptations physiologiques et psychologiques importantes sur les individus et possèdent ainsi des effets conséquents sur la santé, comme nous avons le voir dans la partie subséquente.

1.3. Effets des comportements du mouvement humain sur la santé

Depuis plusieurs années, les recherches portant sur les effets de l'activité physique et la sédentarité sur la santé sont de plus en plus nombreuses. Au regard de la thématique de ce travail de thèse, nous allons détailler les effets de l'activité physique et des comportements sédentaires sur la santé dans la population adulte. Nous allons nous appuyer sur des revues systématiques, méta-analyses et des 'overviews' de revues systématiques pour étayer nos propos. Ces travaux méthodologiques font un état des lieux des études existantes sur un sujet spécifique et permettent de faire un bilan rigoureux de ces évidences.

1.3.1. Bénéfices de l'activité physique sur la santé

De par l'histoire qu'ont connues les activités physiques, la vaste majorité des connaissances que nous avons actuellement repose sur les effets des activités physiques d'intensité modérée à élevée. Des sociétés savantes se sont réunies afin de mettre en avant les données issues de la littérature et leur fiabilité à travers des synthèses de la littérature ou des analyses de revues systématiques préexistantes (Ross et al., 2020; US Department of Health and Human Services,

2018). Ces synthèses ont permis de mettre en avant les effets bénéfiques de la pratique d'activité physique d'intensité modérée à intense, indépendamment du temps total pratiqué, sur le risque de mortalité toutes causes confondues, les capacités cognitives, la qualité de vie ou bien sur la diminution de la morbidité : les maladies cardiovasculaires (incidence et mortalité), l'hypertension artérielle, surpoids/obésité, le diabète de type 2, différents cancers (sein, vessie, pancréas, colon, endomètre, œsophage, estomac, rein), la démence, l'anxiété ou bien encore la dépression (**Tableau 1**) (Arem et al., 2015; Aune et al., 2015; Behrens and Leitzmann, 2013; Bize et al., 2007; Ekelund et al., 2016; Ensari et al., 2015; Etnier et al., 2006; Fernandes et al., 2017; Huai et al., 2013; Keimling et al., 2014; Kyu et al., 2016; Lee et al., 2010; Mammen and Faulkner, 2013; Mandolesi et al., 2018; Moore et al., 2016; O'Donovan et al., 2017; Psaltopoulou et al., 2016; Roig et al., 2013; Schmid et al., 2015; Singh et al., 2014; Warburton et al., 2010; Wolin et al., 2009; Wu et al., 2013).

Tableau 1 – Les relation entre la pratique d'activité physique et la santé au sein de la population adulte de tout âge

Adultes de toutes âges	
Mortalité toutes causes confondues	Risque diminué
Paramètres cardiométaboliques	Diminution de l'incidence et de la mortalité cardiovasculaires (y compris les maladies cardiaques et les accidents vasculaires cérébraux) Diminution de l'incidence d'hypertension artérielle Incidence plus faible du diabète de type 2
Cancer	Diminution de l'incidence des cancers de la vessie, du sein, du côlon, de l'endomètre, de l'œsophage, des reins, de l'estomac et du poumon
Santé mentale	Réduction du risque de démence Amélioration de la fonction cognitive Amélioration de la fonction cognitive à la suite d'épisodes d'activité aérobie Amélioration de la qualité de vie Amélioration du sommeil Diminution des sentiments d'anxiété et de dépression chez les personnes en bonne santé et les personnes atteintes de syndromes cliniques préexistants Réduction de l'incidence de la dépression
Statut pondéral	Réduction du risque de prise de poids excessive Perte de poids et prévention de la reprise de poids après la perte de poids initiale lorsqu'une dose suffisante d'activité physique modérée à vigoureuse est atteinte Un effet supplémentaire sur la perte de poids lorsqu'il est combiné avec une restriction alimentaire modérée

Issu, adapté et traduit du US Department of Health and Human Services (2018)

Il est important de préciser que même une petite quantité d'activité physique (inférieure aux recommandations internationales) induira des bénéfices pour la santé. Wen *et al.* (2011) ont montré une réduction de la mortalité de 14% et une espérance de vie augmentée de 3 années, dès 15 minutes d'activité physique d'intensité modérée (Wen et al., 2011). Dans la même direction, chaque 15 minutes d'activité physique additionnelles réalisées à cette intensité entraînent une réduction du risque de mortalité toutes causes confondues de 4% (Wen et al.,

2011). En effet, Moore *et al.* (2012) ont décrit un effet dose-réponse non linéaire de l'activité physique sur le risque de mortalité toutes causes confondues (Moore et al., 2012). En se concentrant sur le risque de mortalité, on observe que plus le niveau d'activité physique initial est faible plus les bénéfices immédiats seront importants alors que plus la pratique est conséquente et plus les effets tendent à s'équilibrer (**Figure 8a**). Dans le même sens, on peut constater qu'à partir de 40 ans, la pratique d'activité physique d'intensité modérée à intense permet de gagner en moyenne 3,4 années comparée à une absence de pratique et l'atteinte de 15 Mets-heure/semaine (\approx 300 min de marche rapide) ou plus prodigue les plus grandes années de vie gagnées (**Figure 8b**).

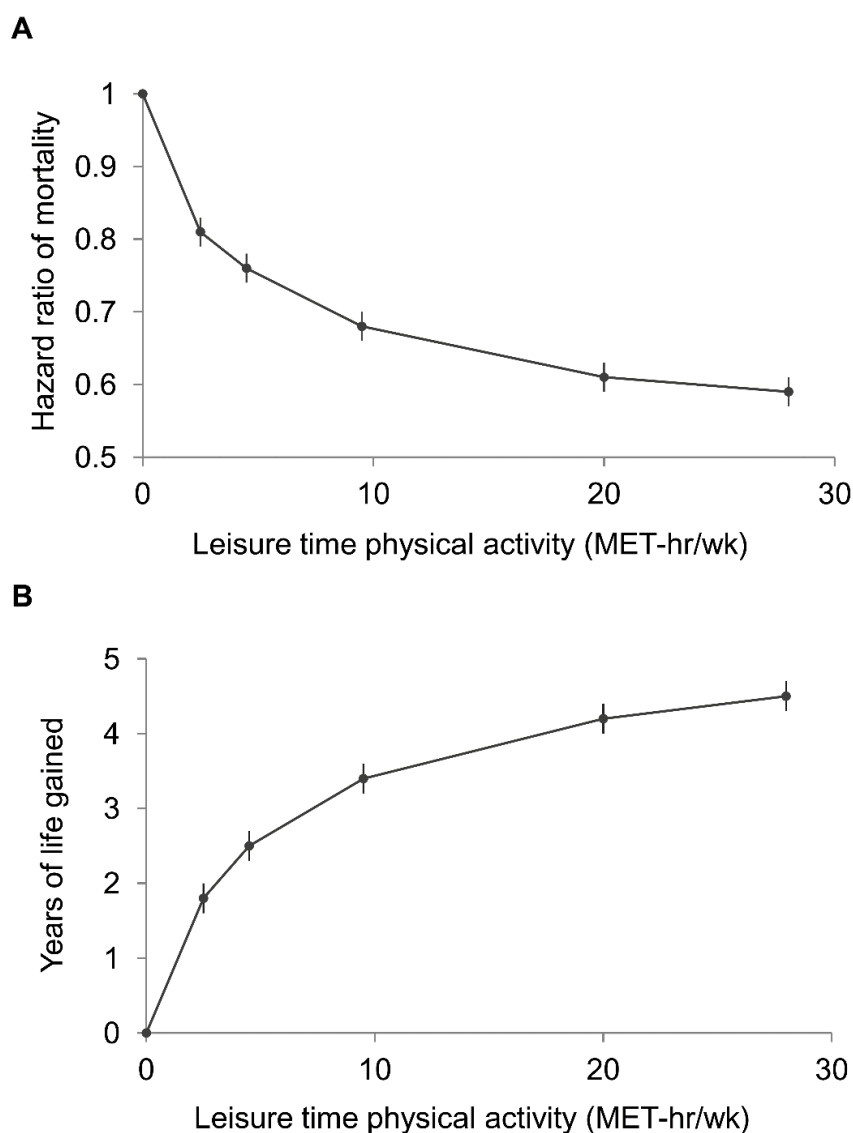


Figure 8 – Temps passé aux activités physiques de loisir d'intensité modérée à intense au regard du risque relatif de mortalité (a) et des années de vie gagnées (b) après 40 ans.

Si l'on se concentre sur des activités physiques plus spécifiques, telles que les activités de renforcement musculaire, on remarque que ces activités physiques spécifiques, de façon similaire aux activités aérobies, sont associées à une réduction du risque de mortalité toutes causes confondues et du développement de pathologies cardiovasculaires tout en améliorant les capacités physiques (El-Kotob et al., 2020). Toutefois, une relation dose-réponse n'est pas observée par les études scientifiques s'étant intéressées à ces paramètres (Saeidifard et al., 2019). Actuellement, les effets du renforcement musculaire sur d'autre facteur de santé sont plus incertains ou ne sont pas encore assez étudiés (El-Kotob et al., 2020).

De surcroît, il nous apparaît primordial de s'intéresser aux effets des activités physiques d'intensité légère (1,5-2,9 METs). Récemment, de nombreuses études se sont intéressées à quantifier les bénéfices de ces activités physiques qui représentent la majorité des activités physiques du quotidien. La littérature scientifique a observé une association positive entre la quantité journalière d'activité physique d'intensité légère avec le risque de mortalité toutes causes confondues (Chastin et al., 2019; Ekelund et al., 2019a). Similairement aux activités physiques d'intensité modérée à intense (**Figure 8**), la pratique à des intensités faibles révèle une relation dose-réponse non linéaire avec le risque de mortalité (**Figure 9**) (Ekelund et al., 2019a). L'inclusion d'études ayant analysé exclusivement l'activité physique avec des accéléromètres souligne la qualité et la robustesse des résultats observés (Ekelund et al., 2019a).

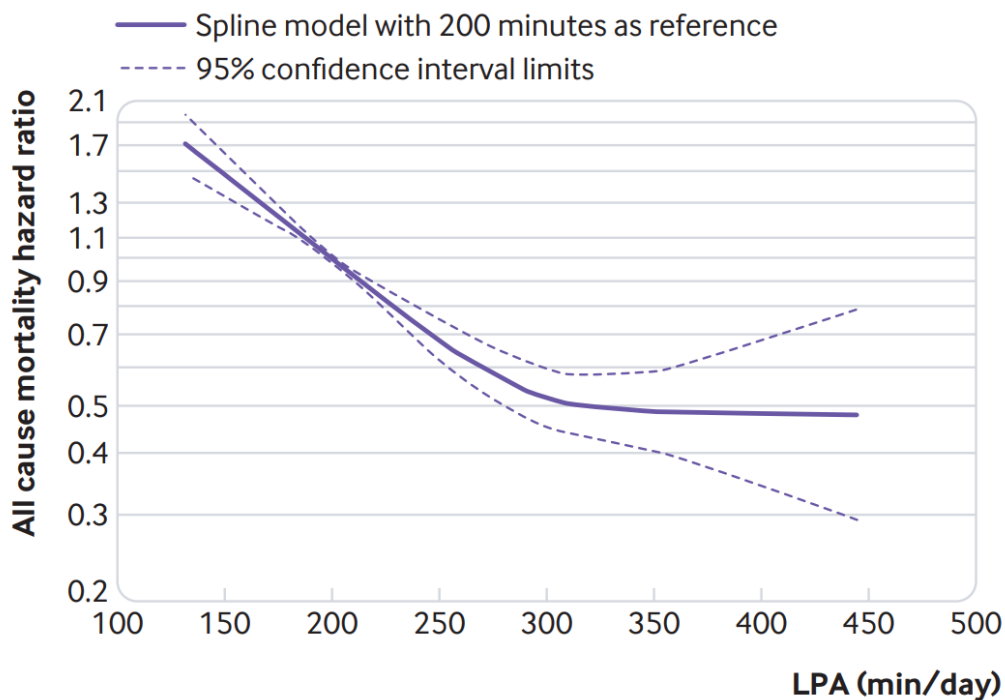


Figure 9 – Association dose-réponse entre l'activité physique d'intensité légère et le risque de mortalité toutes causes confondues

Analyse multivariée modélisée par une fonction spline cubique restreinte avec des nœuds aux 25^{ème}, 50^{ème} et 75^{ème} centile de la distribution des données de la médiane aux quartiles (des moins au plus actifs). La référence d'exposition (200 minutes) a été défini comme la médiane des médianes du groupe de référence (le groupe le moins actif).

Issue de Ekelund *et al.* (2019)

Il est à noter que des accumulations aiguës d'activités physiques à ces intensités entraînent des améliorations des concentrations plasmatiques postprandiales d'insuline et de glucose (Chastin *et al.*, 2019). D'après une analyse statistique de données issues d'études prospectives, Chastin *et al.* (2019) ont rapporté une diminution de 29 % du risque de mortalité pour des individus doublant leur temps journalier en activités physiques d'intensité légère (Chastin *et al.*, 2019). Les travaux sur cette thématique de recherche n'en sont pour l'instant qu'à leurs prémices et de futures études sont nécessaires pour quantifier les effets des activités physiques d'intensité faible sur différents paramètres de santé et de potentiels effets dose-réponse suivant ces paramètres. L'intérêt porté à ces activités est d'autant plus nécessaire que ces intensités légères apparaissent comme des plus accessibles pour l'ensemble de la population, indépendamment de leur condition physique (personnes âgées, individus ayant des pathologies chroniques).

Les raisons justifiant ces bénéfiques psycho-physiologiques s'expliquent par de très nombreux mécanismes et adaptations physiologiques, soulignant finalement des effets positifs sur la plupart des systèmes physiologiques de l'organisme (Anderson and Durstine, 2019; Booth et al., 2012; Neuffer et al., 2015). L'objectif de ce paragraphe est ainsi de décrire succinctement les principales implications mécanistiques de l'activité physique au niveau physiologique. L'une des principales adaptations de l'organisme est liée à l'amélioration de la fonction myocardique, à travers une augmentation de la force du myocarde et une réduction de la demande en oxygène de ce dernier (Beck et al., 2013; Farinatti et al., 2018). Toujours dans le domaine cardiovasculaire, l'activité physique quotidienne permet une diminution de la pression artérielle systolique et du niveau de catécholamine plasmatique (au repos et durant les activités physiques sous-maximales). De plus, elle permet une amélioration de la fonction endothéliale, en augmentant l'activité du monoxyde d'azote dans les vaisseaux sanguins (Reimers et al., 2009). L'activité physique permet aussi d'améliorer le statut inflammatoire d'un individu en améliorant sa fonction lymphatique permettant une diminution des cellules pro-inflammatoires (Hespe et al., 2016). D'un point de vue métabolique, l'activité physique permet une amélioration de la sensibilité à l'insuline et au glucose, ainsi qu'une augmentation de la production et de la disponibilité de protéines impliquées dans le métabolisme du glucose (transporteur de glucose de type 4) (Agosti et al., 2009; Kirwan et al., 2017). Elle permet aussi des adaptations moléculaires dans les aires cérébrales (augmentation du taux d'acide ribonucléique messager de facteur neurotrophique dérivé du cerveau – BDNF mRNA), menant à une amélioration des propriétés fonctionnelles et structurelles neurales (Hötting and Röder, 2013; Matthews et al., 2009; Morgan et al., 2015). Ces adaptations permettent d'améliorer la cognition et réduisent le risque de développer des troubles psychologiques. Les adaptations sus-mentionnées montrent une partie de l'impact considérable de l'activité physique sur différents systèmes physiologiques du corps humain et soulignent les bienfaits associés à sa pratique dans le quotidien de la population.

Ainsi, on observe que l'activité physique, peu importe sa modalité, son intensité, sa durée et son volume, engendre de nombreux bénéfices pour la santé des individus (Ekelund et al., 2019a) et doit ainsi être promue de façon importante au sein du quotidien de la population. Pourtant l'activité physique, aussi bénéfique soit-elle, est de plus en plus faible dans notre

quotidien et laisse progressivement la place et de façon continue aux comportements sédentaires.

1.3.2. Conséquences de la sédentarité sur la santé

Les comportements sédentaires, faisant partie intégrante du quotidien de l'Homme du XXI^{ème} siècle, suscitent l'intérêt de la communauté scientifique au regard des effets potentiels qu'ils pouvaient avoir sur la santé des individus. Les études portant sur la sédentarité sont plus récentes que celles sur l'activité physique mais sont toutefois en quantités suffisantes pour permettre de tirer quelques conclusions robustes sur ses effets. À l'image de l'activité physique, des synthèses de la littérature ou des analyses de revues systématiques ont été récemment réalisées permettant la production de différents postulats sur les effets des comportements sédentaires sur la santé, indépendamment du niveau d'activité physique (Katzmarzyk et al., 2019; Saunders et al., 2020; US Department of Health and Human Services, 2018). La littérature scientifique met en avant les différences de paradigme au regard de la notion d'« *indépendance* ». En effet, il apparaît cohérent que les notions d'activité physique et de sédentarité soit « *interdépendant* », si nous considérons que l'ensemble des mouvements éveillés au cours d'une journée soit composé de ces deux types de comportement. Toutefois, comme le précise Dempsey *et al.* (2020), que ce soit « d'une perspective biologique (effets/voies physiologiques distinctes), d'une perspective d'intervention comportementale (paramètres/déterminants uniques) ou bien d'un point de vue épidémiologique (ajustement aux covariables, modifications/interactions des effets et/ou l'évaluation de corrélation entre les comportements) », la sédentarité peut être naturellement considérée comme une notion indépendante de l'activité physique (Dempsey et al., 2020). De ce fait, l'ensemble des données, relatifs aux mécanismes physiologiques et aux conséquences des comportements sédentaires présentées dans ce paragraphe, sont à considérer comme un paramètre indépendant du niveau d'activité physique.

Ainsi, la littérature scientifique a mis en avant l'association entre une accumulation de comportements sédentaires et la mortalité de toute cause, le développement du diabète de type 2 ou de pathologies cardiovasculaires (incidence et mortalité) (Biswas et al., 2015; Chau et al., 2013; Ekelund et al., 2016; Wilmot et al., 2012). Pour donner une valeur quantitative à ses associations, Ekelund *et al.* (2019) ont souligné qu'au sein d'une population ayant le même

niveau d'activité physique, des personnes restant assis plus de 8 heures par jour avaient une augmentation de 32 % d'un risque de décès d'une pathologie cardiovasculaire que des individus passant moins de 4 heures dans cette position (Ekelund et al., 2019b). La littérature met aussi en avant une relation dose-réponse entre l'accumulation du temps de sédentarité et le risque de mortalité toutes causes confondues, où le risque est d'autant plus important que la quantité de comportements sédentaires est conséquente. En moyenne, les études scientifiques rapportent une augmentation plus rapide du risque de mortalité à partir d'un seuil journalier d'accumulation de comportements sédentaires compris entre 6 et 9,5 heures (Chau et al., 2013; Ekelund et al., 2019a; Ku et al., 2018, 2019; Patterson et al., 2018). Cet écart conséquent peut être justifié par la diversité des méthodes utilisées pour quantifier la sédentarité des individus. On peut observer un risque de mortalité plus important à travers des données issues de questionnaires auto-rapportés (**Figure a**) que de valeurs objectives déterminées par accélérométrie (**Figure 10b**), suggérant une surestimation des risques de mortalité évalués par les questionnaires (Ku et al., 2018). Suivant les études, chaque heure passée en comportements sédentaires augmente le risque de mortalité de 1 % jusqu'à 8 % (par heure supplémentaire au-delà de 8 heures de sédentarité accumulées) (Chau et al., 2013; Patterson et al., 2018).

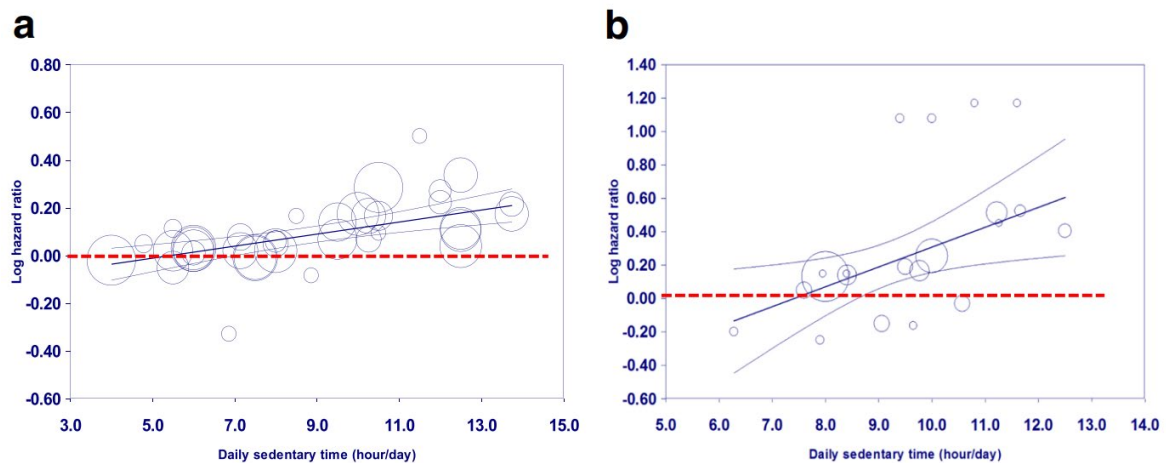


Figure 10 – Méta-régression du risque de mortalité toutes causes confondues sur le temps de sédentarité quotidienne d'après des études utilisant des questionnaires (a) et des accéléromètres (b)

Chaque étude est représentée par un cercle. La taille de chaque cercle est proportionnelle au poids de l'étude. La ligne centrale et les lignes supérieures et inférieures montrent les valeurs prédites et leurs intervalles de confiance à 95 %. Les modèles de méta-régression ont été ajustés en fonction du temps de suivi de chaque étude.

Une récente 'overview' de revues systématiques a souligné que de hauts niveaux de sédentarité étaient associés négativement avec la fonction cognitive, la dépression et la qualité de vie des adultes (Saunders et al., 2020). Plusieurs études se sont intéressées aux effets potentiels de la sédentarité sur le statut pondéral. L'hétérogénéité des résultats ne permet pas de conclure pour l'heure, à un potentiel lien de cause à effet sur ce paramètre (Campbell et al., 2018; Katzmarzyk et al., 2019). Il en est de même concernant les effets de la sédentarité sur le développement de cancers. L'étiologie et le caractère évolutif de chaque cancer nécessitent des études spécifiques s'intéressant aux liens entre sédentarité et le développement d'un cancer. Actuellement, une relation modérée est observée entre l'accumulation de sédentarité et l'occurrence de certains cancers tel que le cancer des poumons, du colon, de l'ovaire et de l'endomètre (Biller et al., 2021; Schmid and Leitzmann, 2014; Shen et al., 2014). Des résultats hétérogènes sont rapportés sur les effets concernant les ruptures de longues périodes de sédentarité. Toutefois, Saunders *et al.* (2020) suggèrent que des bénéfices sont observés sur certains marqueurs cardiométaboliques et sur la composition corporelle en limitant les longues périodes de sédentarité (Saunders et al., 2020).

L'ensemble des conséquences liées à l'accumulation de comportements sédentaires s'expliquent par différents mécanismes et de multiples adaptations physiologiques. Les principales composantes impactées par l'excès de temps assis et qui entraînent les différentes problématiques de santé sus-mentionnées dans ce paragraphe sont la fonction vasculaire, la pression artérielle, le métabolisme du glucose et le débit sanguin cérébral (**Figure 11**) (Dunstan et al., 2021). La position assise entraîne une dérégulation de la fonction vasculaire en diminuant le débit sanguin et les contraintes de cisaillement, menant eux-mêmes à une réduction la disponibilité du monoxyde d'azote (Thosar et al., 2012, 2014). Cette diminution de la disponibilité du monoxyde d'azote va augmenter la production de vasoconstricteur, telle l'endothéline 1, altérant la fonction vasculaire (Thosar et al., 2012). Plusieurs mécanismes expliquent ces adaptations physiologiques, telles que i) la réduction de l'activité musculaire et de la demande énergétique ; ii) l'augmentation de la pression hydrostatique (intra-vaisseau sanguin) dû à une période prolongée d'exposition de la force gravitationnelle sur les membres inférieurs ; iii) l'augmentation de l'activité sympathique et de la viscosité sanguin (Ray et al., 1993; Restaino et al., 2015; Walsh et al., 2017). Dans la continuité du domaine cardiovasculaire, l'augmentation de la pression artérielle dans les membres inférieurs

s'explique par les caractéristiques biomécaniques de la position assise. En effet, cette position entraîne inéluctablement la flexion et l'angulation des artères des membres inférieurs à travers les adaptations posturales de la hanche et des genoux, augmentant la résistance vasculaire périphérique (Dempsey et al., 2018; Walsh et al., 2017). Au regard du métabolisme du glucose, le principal mécanisme justifiant d'altérations liées à la position assise concerne la capacité des muscles striés squelettiques à capter ces molécules de glucose. Deux voies permettent la translocation des transporteurs de glucose de type 4 vers la paroi membranaire du muscle strié squelettique, à savoir une voie médiée par l'insuline et l'autre par la contraction musculaire. L'accumulation de temps passé en position assise diminue l'expression de certaines protéines impliquées dans chacune des voies de translocation des transporteurs de glucose de type 4, réduisant ainsi les capacités de l'organisme à réguler son métabolisme glucidique (Bergouignan et al., 2016a). Enfin, les altérations du débit sanguin cérébral sont étroitement liées et la résultante des trois problématiques mentionnées précédemment, que ce soit avec des comportements sédentaires aigus ou chroniques, augmentant les risques de développer des pathologies mentales, comme la démence et la dépression, et des accidents vasculaires cérébraux (Willie et al., 2014).

Les travaux sur cette thématique n'en sont qu'à leurs prémices, comme l'étude de la sédentarité dans sa globalité. L'ensemble de ces travaux permet de mettre en avant les effets indépendants de la sédentarité sur la santé globale des individus. Les recherches scientifiques sur le sujet ont explosé ces quinze dernières années et nous pouvons émettre l'hypothèse que de futurs liens de santé seront faits au regard de l'accumulation du temps passé assis.

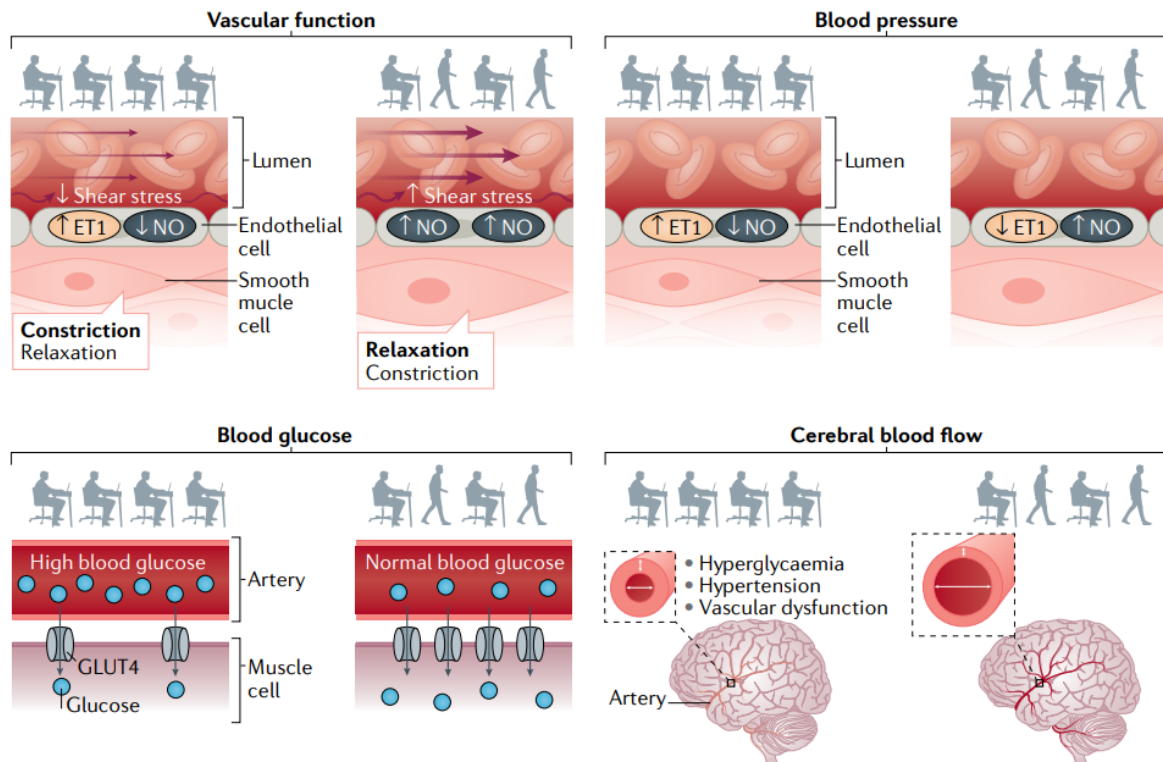


Figure 11 – Mécanismes potentiels pour le risque de développement de pathologies induites par la position assise

Artery, artère; blood glucose, glucose sanguin; blood pressure, pression artérielle; cerebral blood flow, débit sanguin cérébral; endothelial cell, cellule endothéliale; ET1, endothéline 1; GLUT4, transport de glucose de type 4; high, élevé; hyperglycaemia, hyperglycémie; muscle cell, cellule musculaire; NO, monoxyde d'azote; shear stress, contrainte de cisaillement; smooth muscle cell, cellule de muscle lisse; vascular dysfunction, dysfonction vasculaire; ↑, augmentation; ↓, diminution.

Issue de Dunstan *et al.* (2021)

1.3.3. Interaction entre la sédentarité et l'activité physique

La sédentarité et l'activité physique font partie du spectre journalier des comportements du mouvement humain. Au-delà de leurs effets indépendants, la littérature scientifique s'est intéressée à déterminer les effets associés de ces comportements. Pour exemple, la méta-analyse de Biswas *et al.* (2015) a mis en avant qu'un faible niveau d'activité physique associé à un fort de niveau de sédentarité aggravait de façon considérable les risques pour la santé en comparaison à des individus physiquement actifs et très sédentaires (Biswas *et al.*, 2015). D'après leurs travaux, pour un même temps passé en comportements sédentaires, un niveau d'activité physique élevé diminue de 30 % les risques de mortalité de toute cause. Ces

observations sont concordantes avec les résultats de Chau *et al.* (2013), qui en comparant le risque de décès de personnes assises 10 heures par jour comparées à des personnes assises seulement 1h par jour, observe pour les plus sédentaires un risque supérieur de 34 % (ajusté au niveau d'activité physique) et de 52 % (non ajusté au niveau d'activité physique) (Chau *et al.*, 2013). Ces études nous montrent que le temps consacré aux activités physiques peut diminuer la relation entre la sédentarité et le risque de mortalité sans pour autant la supprimer totalement. Elles précisent aussi un risque accru de mortalité en combinant trop de sédentarité et trop peu d'activité physique. En 2016, une méta-analyse, incluant des données de plus d'un million d'individus, a analysé l'association entre le temps passé assis et le niveau d'activité physique sur le risque de mortalité toutes causes confondues (Ekelund *et al.*, 2016). Cette étude a différencié les temps passés en position assise et les niveaux d'activités physiques en différent sous-groupe, permettant d'observer les effets associés et indépendant de ces deux comportements sur le risque de décès (**Figure 12**). Les résultats de cette étude sont cohérents avec les précédents travaux détaillés, où plus le niveau d'activité physique augmente plus il diminue les effets délétères liés à la sédentarité. Une relation similaire existe à travers le temps passé en position assise comme variable d'ajustement. Pour un même niveau d'activité physique, plus le temps passé en position assise est important plus il augmente les risques de mortalité. Il faut atteindre des valeurs équivalentes à 60-75 minutes par jour d'activité physique d'intensité modérée à intense pour limiter les conséquences sur la santé liées au temps passé en position assise. De façon plus globale, la littérature actuelle tend à promouvoir toute diminution des comportements sédentaires, au profit d'activité physique de quelque intensité (Chastin *et al.*, 2021). De façon plus globale, Dunstan *et al.* (2021) se sont basés sur les données des travaux d'Ekelund *et al.* (2016) pour réaliser une représentation du risque de mortalité au regard de différents temps journaliers passés en activité physique (<5, 5-29, 30-60 et >60 minutes/jour) et en comportements sédentaires (<4, 4-6, 6-8 et >8 heures/jour) (**Figure 13**) (Dunstan *et al.*, 2021; Ekelund *et al.*, 2016).

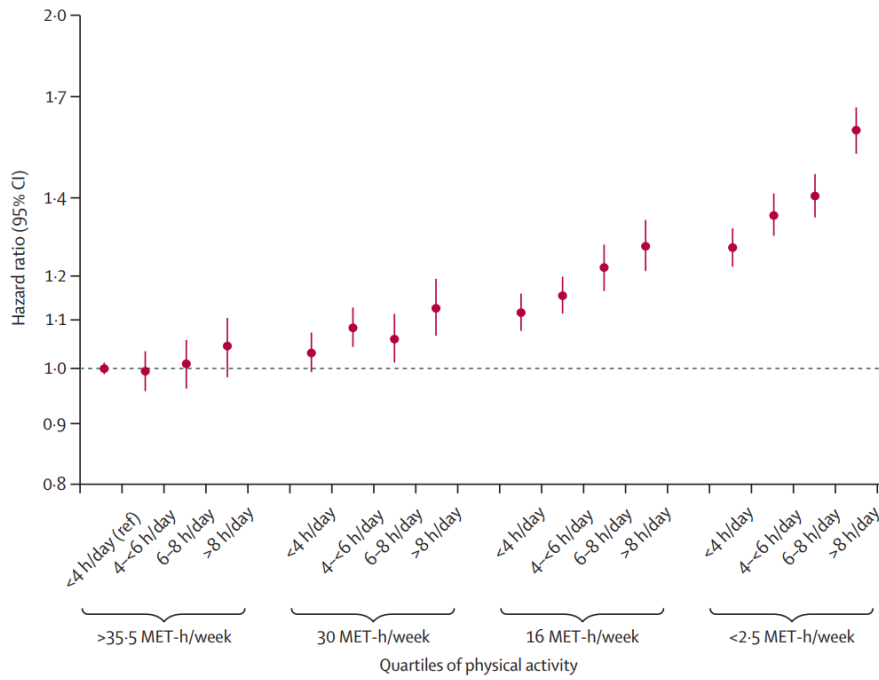


Figure 12 – Relations entre le temps passé assis et le niveau d’activité physique avec le risque de mortalité toutes causes confondus

<2.5 MET-h/week est équivalent à environ 5 min d’activité d’intensité modérée par jour ; 16 MET-h/week à environ 25 à 35 min d’activité d’intensité modérée par jour ; 30 MET-h/week à environ 50 à 65 min d’activité d’intensité modérée par jour ; > 35,5 MET-h/week à environ 60 à 75 min d’activité d’intensité modérée par jour.

Issue d’Ekelund *et al.* (2016)

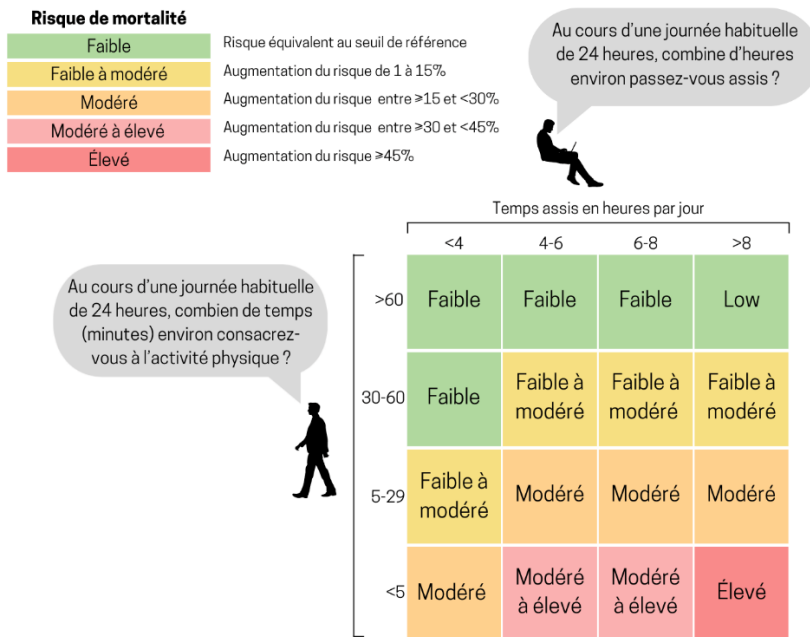


Figure 13 – Risque de mortalité toutes causes confondus en fonction du temps quotidien passé assis et en activité physique d’intensité modérée à intense

Issue et traduite de Dunstan *et al.* (2021), préalablement construite sur les données issues d’Ekelund *et al.* (2016)

Il est à noter que ces résultats obtenus sur le risque de mortalité toutes causes confondues apparaissent similaires pour la mortalité liée aux pathologies cardiovasculaires (Ekelund et al., 2016). Une récente étude utilisant des résultats issus d'une autre base de données a mis en avant des observations similaires (Stamatakis et al., 2019a). Issue de données extraites d'accéléromètres, von Rosen *et al.* (2020) ont mis en avant les bénéfices liés aux activités physiques à des intensités plus faibles (von Rosen et al., 2020). En effet, les résultats ont montré le lien positif entre mortalité et comportements sédentaires mais une association négative entre le nombre de décès et l'activité physique d'intensité légère. Ces résultats soutiennent l'hypothèse que l'activité physique, indépendamment de son intensité entraîne des effets protecteurs sur la santé des individus. Les résultats présentés ont été préalablement affinés en ajustant différents paramètres tel que l'âge et le sexe, mettant en avant que les effets délétères du manque d'activité physique et de l'excès de sédentarité peuvent impacter n'importe quels individus et ceux-ci à tout âge. Certaines des études présentées ont aussi ajusté leurs résultats à l'indice de masse corporelle, mettant en avant les effets négatifs de ces comportements indépendamment du statut pondéral (Chau et al., 2013; Ekelund et al., 2016; Stamatakis et al., 2019a).

Au-delà des mécanismes physiologiques propres à chaque comportement, il est intéressant de présenter comment ces derniers peuvent interagir entre eux. En effet, l'accumulation prolongée et ininterrompue de la position assise induit le développement de ce que l'on nomme la « *résistance à l'exercice* », réduisant les réponses adaptatives aiguës liées à un exercice physique (Akins et al., 2019). Divers travaux ont observé que des personnes pratiquant une heure d'activité physique d'intensité modérée après 4 jours passés en position assise de façon prolongée (>13 heures/jour) n'engendrait pas de modification significative de plusieurs paramètres sanguins, tels que les niveaux sériques de glucose, d'insuline et de triglycérides (Akins et al., 2019; Kim et al., 2016). Ces données mettent en avant l'atténuation des effets bénéfiques de la pratique d'activité physique en raison de l'accumulation de comportements sédentaires et soulignent la nécessité d'augmenter aussi bien les comportements d'activité physique que de réduire le temps total et prolongé en position assise. Toutefois, de futurs travaux restent nécessaires pour investiguer les mécanismes justifiant cette « *résistance à l'exercice* ».

À travers l'occurrence de diverses pathologies et le risque de mortalité, cette partie nous a permis de mettre en avant les effets joints et indépendant de la sédentarité et de l'activité physique sur la santé des individus. Ces problématiques de santé associées à ces comportements ont poussé les pouvoirs publics à définir des recommandations basées sur les évidences scientifiques disponibles dans le but d'informer la population des comportements bénéfiques à adopter dans le quotidien.

1.4. Recommandations sur les activités physiques et la sédentarité

1.4.1. Recommandations officielles

Les recommandations mondiales d'activité physique ont fluctué ces 70 dernières années au fil des avancées scientifiques et des effets bénéfiques observés. Les premières recommandations d'activité physique pour obtenir des bénéfices sur la santé et la condition physique se sont basées sur des études comparatives entre différents profils d'entraînement physique (Cureton, 1947; Karvonen et al., 1957; Yakovlev et al., 1961). À partir de ces études exploratoires, des comités d'expert se sont réunis dans les années 1960-1970, afin de proposer des recommandations pour améliorer la santé et/ou la capacité physique des individus (American College of Sports Medicine, 1975; American Heart Association, 1972; President's Council on Physical Fitness, 1965). Ces recommandations se concentraient spécifiquement sur les effets de l'activité physique d'intensité élevée afin d'améliorer la condition physique pour prévenir les risques de mortalité. À titre d'exemple, l'American College of Sports Medicine (ACSM) recommandait « *une fréquence d'entraînement de 3 à 5 jours par semaine, une intensité d'entraînement de 60 à 90 % de la fréquence cardiaque maximale (équivalant à 50 à 85 % de la consommation maximale d'oxygène ou de la fréquence cardiaque de réserve), une durée de 15 à 60 minutes par séance d'entraînement, et l'utilisation rythmique et aérobie de grands groupes musculaires dans le cadre d'activités comme la course ou le jogging, la marche ou la randonnée, la natation, le patinage, le vélo, l'aviron, le ski de fond, le saut à la corde et divers sports ou jeux d'endurance* » (American College of Sports Medicine, 1978).

À partir des années 1980, de plus en plus d'études issues de la littérature (Gettman et al., 1982; Hickson et al., 1980; Messier and Dill, 1985) rapportent les bénéfices du renforcement

musculaire et sont donc inclus aux recommandations de l'époque (American College of Sports Medicine, 1990). À la même période, Haskell (1985) mit en lumière la nécessité de dissocier la condition physique et la santé dans l'évaluation des effets de l'activité physique (Haskell, 1985). En effet, avant ces travaux, la littérature avançait l'idée que l'amélioration de certains paramètres de la condition physique, tel que la capacité cardiorespiratoire, permettrait d'améliorer la santé des individus. Pourtant, à travers différents travaux de recherche mettant en avant l'activité physique d'intensité modérée (Després and Lamarche, 1994; Gordon et al., 1983; Salonen et al., 1988), il a été souligné que « *la quantité et la qualité d'exercice physique nécessaires pour obtenir des bienfaits pour la santé peuvent différer de ce qui est recommandé pour la condition physique* » (American College of Sports Medicine, 1990).

À la fin des années 1990, deux rapports vont être publiés mettant en avant la nécessité de réaliser des activités physiques d'intensité modérée entre 20 et 30 minutes quotidiennement (au minimum 5 jours par semaine) avec des sessions de 10 minutes minimum (American College of Sports Medicine, 1998; U.S. Department of Health and Human Services, 1996). Il est à noter que les objectifs de ces rapports différaient, le *Surgeon General Report* (1996) tendait à avoir des recommandations pour une population la plus large possible alors que le rapport de l'ACSM (1998) se concentrait principalement sur la pratique d'exercice physique pour améliorer la condition physique. Ces divergences de paradigme vont progressivement s'estomper grâce aux études, de plus en plus nombreuses, démontrant les bénéfices associés à la pratique de tout type d'activité physique d'intensité modérée sur la santé (Hu et al., 2003b; Sato et al., 2007; Wagner et al., 2001). Ces études vont orienter durablement les priorités des recommandations officielles en ciblant l'activité physique comme vecteur essentiel de la santé générale de la population (American College of Sports Medicine et al., 2007; US Department of Health and Human Services, 2008; World Health Organization, 2010). Les années suivantes verront quelques précisions apportées à ces recommandations avec par exemple la suppression des sessions de 10 minutes. La littérature ayant montré que la réduction du risque de mortalité liée à la pratique d'activité physique d'intensité modérée était indépendante de la façon dont cette dernière était accumulée (Glazer et al., 2013; Saint-Maurice et al., 2018).

Ainsi à la suite de ces évolutions progressives, les recommandations actuelles d'activité physique prescrites pour les adultes par l'OMS sont de pratiquer entre « 150 à 300 minutes par semaine à une activité d'endurance d'intensité modérée ; ou pratiquer au moins 75 à 150 minutes d'activité d'endurance d'intensité soutenue ; ou une combinaison équivalente d'activités d'intensité modérée et soutenue tout au long de la semaine ». L'OMS précise que les individus « peuvent porter à plus de 300 minutes la pratique d'une activité d'endurance d'intensité modérée ; ou pratiquer plus de 150 minutes d'activité d'endurance d'intensité soutenue ; ou une combinaison équivalente d'activités d'intensité modérée et soutenue tout au long de la semaine, afin d'en retirer des bienfaits supplémentaires pour la santé ». Il est aussi recommandé de pratiquer « 2 fois par semaine ou davantage des activités de renforcement musculaire d'intensité modérée ou supérieure, qui sollicitent les principaux groupes musculaires, celles-ci procurant des bienfaits supplémentaires pour la santé » (Bull et al., 2020). En France, les recommandations sont identiques à celles prescrites par l'OMS. Toutefois il est important de préciser que les organismes de santé publique français mettent aussi en avant des messages clés au cœur de leurs recommandations. Santé Publique France décrit dans ses recommandations « qu'un peu d'activité physique c'est déjà bien, plus c'est encore mieux » ou bien encore l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES) précise que « seul ou accompagné, toutes les occasions sont bonnes pour bouger ». On comprend ainsi que toutes les occasions sont pertinentes pour réaliser des activités physiques et que le fait d'en pratiquer quelques minutes est déjà bénéfique pour les individus.

La sédentarité, n'ayant eu une définition universelle et consensuelle qu'en 2017, possède des recommandations bien plus récentes comparées à celles d'activité physique. Dès 2011, les recommandations d'activité physique au Canada mettaient en avant qu'aucune ligne directrice sur les comportements sédentaires basée sur des données probantes n'existait dans le monde soulignant la nécessité de futurs travaux dans ce domaine (Tremblay et al., 2011). L'ACSM et le département de santé du gouvernement australien promurent pour la première fois des recommandations au regard des comportements sédentaires (American College of Sports Medicine, 2011; Australian Government Department of Health, 2014). Les données de l'époque ne permettaient pas de consensus sur une relation entre des problèmes de santé et un seuil précis de sédentarité accumulée quotidiennement (Bauman et al., 2013). Les

recommandations étaient donc essentiellement centrées sur la nécessité que les adultes limitent au mieux les périodes prolongées en position assise et de rompre fréquemment ces longues périodes de position assise (American College of Sports Medicine, 2011; Australian Government Department of Health, 2014). Ces limites qualitatives et quantitatives sont toujours d'actualité et n'ont que très peu bouleversé les premières directives sur le sujet comme en attestent les dernières recommandations internationales (Bull et al., 2020).

Ainsi, les dernières recommandations de l'OMS informaient que les adultes « *devraient limiter leur temps de sédentarité. Le fait de remplacer la sédentarité par une activité physique quelle qu'en soit l'intensité (y compris légère) est bénéfique pour la santé. Afin d'amoindrir les effets néfastes d'un niveau de sédentarité élevé, les adultes devraient s'efforcer à dépasser les niveaux recommandés d'activité physique d'intensité modérée à soutenue* » (Bull et al., 2020). En France, les recommandations sont similaires à celle de l'OMS avec toutefois des précisions temporelles. En effet, Santé Publique France recommande de rompre la sédentarité toutes les 2 heures avec de la marche et de limiter le temps passé assis devant les écrans (Santé Publique France, 2019).

Les recommandations subissent de perpétuelles évolutions de par les recherches scientifiques et les nouvelles avancées de ces dernières. Pour preuve, nous avons pu observer les nombreux changements de recommandation d'activité physique et la genèse de celles sur la sédentarité. On peut aisément émettre l'hypothèse que les recommandations actuelles ne seront plus d'actualité dans les prochaines années. Des études scientifiques émergent et mettent en avant des notions non prises en compte dans les recommandations actuelles entraînant des apports réflexifs sur la nécessité d'enrichir les directives internationales sur l'activité physique et la sédentarité.

1.4.2. Vers une adaptation des recommandations

Durant de nombreuses années, l'activité physique comme vecteur de santé publique reposait sur le besoin de pratiquer des activités physiques d'intensité modérée et/ou vigoureuse. De récentes études se sont intéressées à dépasser ce spectre des intensités pour évaluer l'impact total de l'activité physique journalière sur la santé des individus. À travers l'utilisation d'une méthode objective (accélérométrie), des études épidémiologiques ont validé l'hypothèse que

le volume total d'activité physique, indépendamment de son intensité, était positivement associé à une réduction du risque de mortalité toutes causes confondues (Evenson et al., 2017; Lee et al., 2018). L'utilisation de l'accélérométrie a permis de mettre en avant le rôle de différentes intensités d'activité physique et l'effet non négligeable des intensités légères sur la santé (Ekelund et al., 2019a; Fishman et al., 2016; Matthews et al., 2016). Plusieurs revues systématiques et méta-analyses de la littérature ont mis en évidence les bienfaits de l'activité physique d'intensité légère, indépendamment de celle d'intensité modérée, sur la santé cardiométabolique et la diminution du risque de mortalité (Amagasa et al., 2018; Chastin et al., 2019; Füzéki et al., 2017; Qiu et al., 2021). Ces activités constituant pour près de 80 % des activités physiques totales journalières (Prince et al., 2019) représentent un véritable levier de mise en mouvement de la population. En effet, les bénéfices apportés par ces activités physiques sont plus facilement accessibles pour la population puisque présentes dans tous les aspects de notre quotidien. Elles peuvent permettre d'impacter positivement des personnes ne pouvant réaliser des activités physiques d'intensité modérée et/ou intense. Des recommandations nationales, comme celle du Canada, recommandent de réaliser plusieurs heures par jour des « *activités physiques d'intensité légère, incluant des périodes en position debout* », le principe étant que la position debout se substitue à du temps équivalent passé assis (Ross et al., 2020). Si ces bénéfices sont de plus en plus prouvés, il est à noter que des études longitudinales à grande échelle permettraient de consolider ces observations et ainsi justifier l'inclusion pérenne de ces activités physiques d'intensité légère au sein des recommandations.

La prise en compte de la lutte contre la sédentarité dans les recommandations fait écho au grand intérêt porté à cette thématique depuis quelques années. Actuellement, les effets délétères et indépendants de la sédentarité sont bien démontrés dans la littérature scientifique (Biswas et al., 2015; Chau et al., 2013; Ekelund et al., 2016) mais des questions restent en suspens concernant les profils d'accumulation de ce temps passé en comportements sédentaires. Des études de plus en plus nombreuses se sont intéressées aux effets de santé que pouvaient avoir ces 'breaks de sédentarité' dans l'objectif de comprendre, si pour une même durée, la fragmentation de la sédentarité entraînerait de meilleurs bénéfices. À travers des études transversales, la fragmentation de la sédentarité serait faiblement associée à un meilleur métabolisme glucidique (van der Berg et al., 2016). L'impact

de cette interruption de la sédentarité entraîne des résultats divergents dans la littérature sur les facteurs cardiométaboliques (van der Berg et al., 2016; Healy et al., 2008, 2011) limitant toute conclusion sur les effets de ces comportements. En effet, une méta-analyse de Chastin *et al.* (2015) relève que cette fragmentation est surtout associée de façon récurrente à des marqueurs d'adiposité (Chastin et al., 2015). Cependant comme l'indique Stamatakis *et al.* (2019), cette association pourrait s'expliquer par le fait que les personnes en situation d'obésité s'assoient de façon continue durant de plus longues périodes (Stamatakis et al., 2019b). D'autres études mettent en avant les effets bénéfiques de l'interruption du temps de sédentarité (Diaz et al., 2017a, 2017b; Jefferis et al., 2019). Cependant, en raison de limites méthodologiques (utilisation d'accéléromètre porté à la taille, définition d'un 'break' et les diverses méthodes d'évaluation), il est difficile d'affirmer que cette interruption de la sédentarité n'est en réalité pas liée à une pratique d'activité physique (absence de dissociation entre la position debout et un mouvement ambulatoire) (Chastin et al., 2015). Finalement, la littérature scientifique rapporte de nombreuses études transversales sur ce sujet tout en rapportant des résultats ne permettant pas d'obtenir un consensus sur la question. Certaines recommandations nationales (Australian Government Department of Health, 2014; New Zealand Ministry of Health, 2015, 2020) suggèrent de fragmenter la sédentarité malgré les preuves de faible qualité existant actuellement dans le domaine. De futures études longitudinales et interventionnelles de longue durée sont nécessaires pour permettre une meilleure caractérisation des effets de l'accumulation de la sédentarité dans le quotidien des individus. Dans l'attente de travaux plus robustes méthodologiquement sur la fragmentation de la sédentarité, les recommandations pourraient être plus mesurées dans leur communication et diffuser exclusivement la nécessité de « *rester moins assis et de bouger plus* » ou de rompre ses temps de sédentarité par des activités physiques de quelconque intensité.

Depuis l'émergence de recommandations sur les mouvements humains, l'activité physique et la sédentarité ont toujours été dissociées et discutées de manière distincte. Pourtant, ces mouvements humains peuvent être considérés au cœur d'un même ensemble puisque le sommeil, l'activité physique et les comportements sédentaires représentent la totalité des mouvements réalisés durant la journée (Pedišić, 2014). Cet angle d'approche permet de considérer que le changement d'un temps consacré à un mouvement spécifique va de facto

entraîner une compensation de ce changement par une combinaison d'autres mouvements (Pedišić, 2014). Pour illustrer ce propos, nous pouvons citer l'exemple de Janssen *et al.* (2020) qui précise qu'une « *personne réduisant son temps de sédentarité de 60 minutes par jour, va simultanément augmenter le temps combiné qu'elle passe à dormir, en activité physique d'intensité faible, modérée et/ou vigoureuse d'un total de 60 minutes par jour* » (Janssen *et al.*, 2020). À travers ce spectre, étudier les effets joints de l'activité physique et de la sédentarité sur la santé pourrait permettre de quantifier les risques associés à certaines combinaisons de comportement accumulés quotidiennement. Cette conceptualisation orienterait ainsi les recommandations non plus à travers des seuils mais par un équilibre à avoir au regard de l'accumulation des comportements du mouvement. Chastin *et al.* (2021) ont résumé cette idée à travers la proposition suivante : « *Pendant la journée, quelle est la proportion de temps que l'on devrait passer à des activités physiques d'intensité modérée pour obtenir des bénéfices de santé au regard du temps accumulé en comportements sédentaires ?* » (Chastin *et al.*, 2021). Ces travaux actuels permettent, à partir d'une quantité donnée de temps de sédentarité, de modéliser la proportion d'activité physique d'intensité légère et modérée à intense à devoir réaliser pour diminuer le risque de mortalité (**Figure 14**) (Chastin *et al.*, 2021). Les études portant sur cette thématique n'en sont qu'à leurs prémices et comprennent de nombreuses limites. Pourtant, ces études prometteuses permettent d'imaginer un avenir où une personne pourra se saisir individuellement des recommandations et, tout en prenant en compte de ses contraintes personnelles, pourra connaître l'impact potentiel de sa pratique d'activité physique journalière sur sa santé.

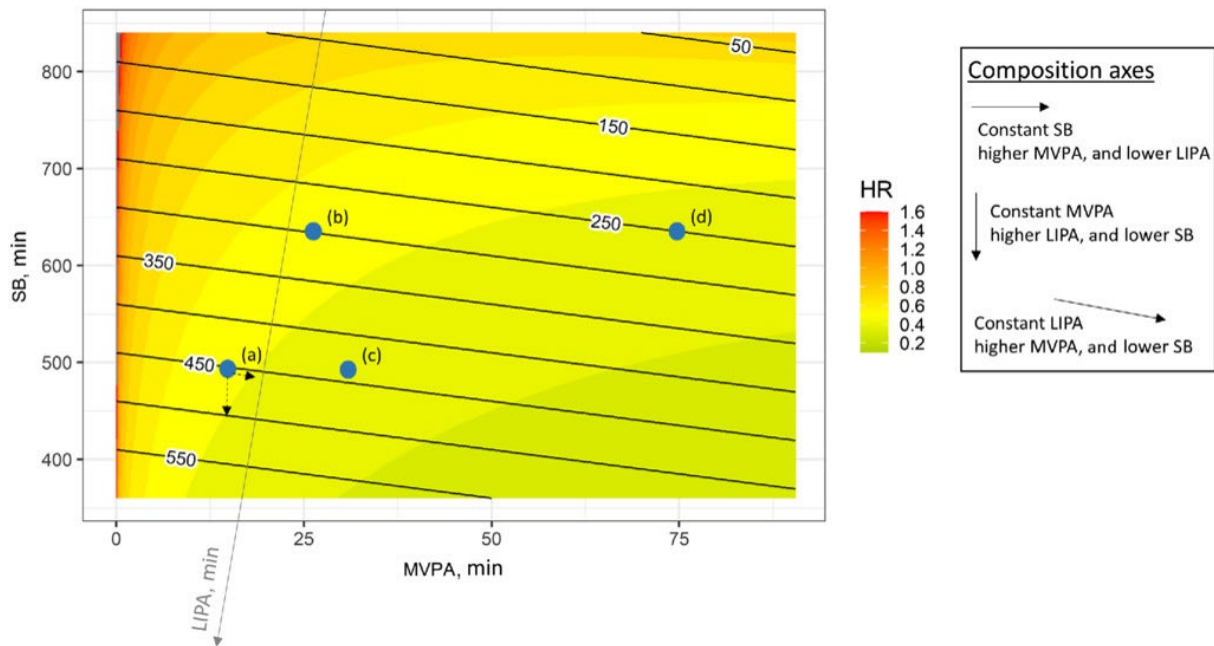


Figure 14 – Relation entre le risque de mortalité toutes causes confondues et la composition quotidienne du temps passé en comportements sédentaires et en activités physiques d'intensité légère et modérée à intense

HR, risque relatif; LIPA, activité physique d'intensité légère; MVPA, activité physique d'intensité modérée à intense; SB, comportements sédentaires. Les différents points correspondent : (a), MVPA = 13 min, LIPA = 7.5 h, SB = 8.3 h, HR = 0.50 ; (b) MVPA = 26 min, LIPA = 5 h, SB = 10.5 h, HR = 0.50 ; (c) MVPA = 30 min, LIPA = 7.2 h, SB = 8.3 h, HR = 0.30 ; (d) MVPA = 75 min, LIPA = 4.2 h, SB = 10.5 h, HR = 0.30.

Issue de Chastin *et al.* (2021)

Cette volonté grandissante de quantifier les risques de santé associés à la combinaison de temps passé aux activités physiques (de différentes intensités) et de sédentarité ouvre l'espoir de recommandations de santé publique permettant à tout un chacun d'adapter ses comportements journaliers au regard de son propre contexte et de ses capacités, voire de ses préférences. De plus, cette approche permet de mettre en exergue les limitations des recommandations actuelles et de tendre vers des directives plus souples où la pratique d'activité physique, même en dessous des seuils recommandés, est déjà bénéfique pour la santé de la population (de Souto Barreto, 2015).

Ainsi, nous avons pu voir les conséquences sanitaires délétères que provoquent le manque de mouvement chez l'Homme et la difficulté pour les populations de respecter les recommandations. Au-delà des aspects spécifiques à la santé des individus, il est essentiel d'observer l'impact économique que pèsent ses comportements au sein des sociétés.

1.5. Le fardeau économique de l'inactivité physique et de la sédentarité

Depuis plusieurs années, un groupe d'expert (Global Burden of Disease Risk Factors Collaborators) publie de manière régulière des rapports (Global Burden of Disease) faisant une synthèse de l'exposition mondiale de différents facteurs de risque pour la santé et leur responsabilité dans le développement de maladies. Pour exemple, ces rapports informent de l'impact des différents facteurs de risque sur la proportion d'incapacités physiques ajustée aux années de vie des individus. En 2010, un niveau d'activité physique trop faible représentait le 10^{ème} facteur de risque sur le paramètre susmentionné (Lim et al., 2012), alors qu'en 2019 il était classé 19^{ème} (Murray et al., 2020). En d'autres termes, en l'espace de moins de 10 ans, le nombre de morts imputable à un faible niveau d'activité physique aurait diminué de 3.2 millions à 1.2 millions (Lim et al., 2012; Murray et al., 2020). Cette mise en exergue de la grande variabilité de résultats a été soulignée dans la littérature et repose en partie sur la considération de l'activité physique à travers son seul volume total, excluant son aspect multidimensionnel (Stamatakis et al., 2021). Ainsi, estimer l'impact de l'inactivité physique est un processus complexe, souvent sous-estimé et pourtant essentiel dans la compréhension de son impact économique au sein des sociétés. Malgré des évidences scientifiques de plus en plus nombreuses, ces rapports n'incluent pas la sédentarité parmi les facteurs de risques augmentant le risque de morbi-mortalité. Cette partie va nous permettre de détailler les coûts estimés liés à l'inactivité physique et à la sédentarité, tout en mettant en avant les potentielles sous-estimations des coûts au regard des paramètres étudiés.

1.5.1. Le poids économique de l'inactivité physique

L'importante proportion d'inactivité physique n'est pas sans conséquence puisqu'elle est considérée comme la quatrième cause de mortalité dans le monde (Lee et al., 2012). Les maladies chroniques non transmissibles responsables de cette forte mortalité représentent un fléau à l'échelle mondiale et posent des problèmes de santé publique. En effet, ces pathologies sont responsables pour près de 71 % des décès dans le monde, équivalent à 41 millions de morts chaque année (World Health Organization, 2020).

L'inactivité physique, en lien avec ses effets sur la morbi-mortalité de la population, engendre des conséquences au niveau économique. À partir des coûts de santé directs, de pertes

financières liés à la productivité et la proportion d'invalidité ajustée aux années de vie des individus, Ding *et al.* (2016) ont estimé le coût économique imputable à l'inactivité physique (Ding et al., 2016). Pour donner de plus amples informations sur la méthodologie de l'étude, on peut noter que les coûts de santé et les problématiques de santé individuelles ont été estimés à partir de seulement 5 pathologies (maladie coronarienne, accident vasculaire cérébral, diabète de type 2, cancer du sein et du côlon). Les pertes de productivité ont été déterminées par les coûts de friction, qui sont définis dans ce cas précis par les coûts associés au temps moyen (environ 3 mois) pour remplacer le décès d'un employé (Koopmanschap et al., 1995). Cette méthodologie nous informe que les données issues de cette étude doivent être prises avec du recul car certainement très sous-estimées. En effet, plusieurs pathologies associées à l'inactivité physique n'ont pas été incluses dans l'étude (pathologies respiratoires, hypertension artérielle, la dépression ou encore différents cancers tel que ceux de la prostate, de l'œsophage et de l'endomètre) et les facteurs liés à la productivité ne prennent pas en compte des données essentielles tels que, l'absentéisme et le présentéisme (présence au travail avec un problème de santé), pour ne citer que ces exemples. Toutefois, cette étude permet d'entrevoir l'impact économique de l'inactivité physique. Ding *et al.* (2016) rapporte que l'inactivité physique représente un coût de santé, à l'échelle mondiale, de 53,8 milliards de dollars international (INT\$), dont 31,2 pour le secteur public, 13,7 pour le secteur privé et 9,7 à la charge des ménages (Ding et al., 2016). Ces chiffres des plus alarmants ne sont pourtant qu'une infime partie du coût réel de l'inactivité physique et représentent un véritable poids sur les systèmes de santé mondiaux. Une récente étude de Hafner *et al.* (2020), souligne qu'une population mondiale physiquement active permettrait d'économiser, sur une période allant de 2020 à 2050, un total estimé entre 6 et 8.6 billions de dollars américains (US\$) (Hafner et al., 2020). Ces données ont été exclusivement estimées en considérant l'impact d'une population physiquement active sur mortalité, le taux d'absentéisme en travail et le présentéisme. Ces estimations sont certes très prudentes mais confirment le poids considérable que pèse le manque d'activité physique sur les systèmes économiques mondiaux. À l'échelle de la France, l'inactivité physique représente 1,35 milliards INT\$ de coûts directs et indirects (Ding et al., 2016). Le coût des frais de santé induit par l'inactivité physique représente plus d'1 milliards INT\$, dont 75 % des coûts totaux financés par le secteur public. Les coûts directs représentant donc 350 millions INT\$. Toutefois, un récent rapport mené par les instances gouvernementales françaises a estimé le coût de l'inactivité physique

en France à 140 milliards d'euros, justifier à 90% par « *le coût social de la mortalité, environ 5% au coût des pertes de bien-être liées à la maladie et le reste aux dépenses de soins* » (Meurisse et al., 2022). À une échelle individuelle, ce même rapport a estimé que l'atteinte des recommandations d'activité physique permettrait à une personne âgée entre 20 et 39 ans d'économiser 840 euros par an, et pour la tranche d'âge allant de 40 à 74 ans, le montant s'élèverait à 23 275 euros par an.

Au regard des différences considérables rapportées par les différentes études et synthèses scientifiques, il apparaît primordial de réaliser des études plus complètes et précises pour envisager de comprendre le réel poids et impact économique liés au manque d'activité physique.

1.5.2. Le poids économique de la sédentarité

La sédentarité, indépendamment de l'activité physique, représente un facteur de risque considérable dans le développement de maladies chroniques non transmissibles et la mortalité de toute cause (Katzmarzyk et al., 2019). Une étude Australienne a déterminé que les comportements assis prolongés étaient responsables de 6,9 % des décès de toute cause (van der Ploeg et al., 2012). En raison de sa définition consensuelle récente, peu d'études internationales et nationales se sont intéressées aux coûts de santé liés aux comportements sédentaires (Nguyen et al., 2022).

Au Royaume-Uni, une étude britannique a déterminé les frais de santé liés à un excès quotidien de comportements sédentaires (≥ 6 heures), représentant un coût d'environ 0,7 milliard de livre sterling sur l'année 2016 (Heron et al., 2019). Ces données sont très probablement sous-estimées au regard des limites méthodologiques, similaires à l'étude de Ding *et al.* (2016) et décrites précédemment dans ce manuscrit (Ding et al., 2016; Heron et al., 2019). Trois études transversales de la littérature ont estimé les coûts de sédentarité à une échelle individuelle et non institutionnelle (Peeters et al., 2014; Rosenberg et al., 2015; Yu and Schwingel, 2018). La première est une étude australienne évaluant les coûts de santé individuelle liés à l'accumulation du temps passé assis chez des femmes d'âge moyen (Peeters et al., 2014). Cette étude n'a pas trouvé de différence significative au niveau des frais de santé annuels pour des femmes ayant des temps en position assise plus ou moins importante. Les

deux autres études se sont intéressées à des populations adultes âgées en Chine (Yu and Schwingel, 2018) et aux États-Unis (Rosenberg et al., 2015). Ces deux études ont estimé pour une population d'adultes âgée une augmentation des coûts annuels liés aux frais de santé, comprise entre 35 et 126 US\$ par heure de sédentarité quotidienne supplémentaire (Rosenberg et al., 2015; Yu and Schwingel, 2018). Ces données sont probablement sous-estimées au regard de la méthode utilisée pour caractériser le temps passé assis (questionnaires) (Celis-Morales et al., 2012). De plus, ces données sont déterminées à partir de la proportion de temps passé assis et ne considèrent pas la sédentarité à travers sa composante multidimensionnelle. En France, aucune analyse économique n'est pour l'heure réalisée pour observer l'effet de la sédentarité sur le système de santé et la productivité des entreprises. Actuellement, les données sur les coûts associés à la sédentarité sont limitées mais soulignent leur impact non négligeable sur l'aspect économique des systèmes de santé (Nguyen et al., 2022).

À l'échelle internationale et nationale, de futures analyses utilisant des méthodes objectives sont nécessaires pour entrevoir les impacts économiques directs et indirects liés aux comportements sédentaires. Cette meilleure compréhension économique pourrait permettre une plus grande implication des pouvoirs publics et des politiques de santé publique.

L'histoire des recherches sur le mouvement humain nous a permis d'observer l'intérêt constant de l'espèce humaine sur cette thématique. Si les concepts d'activité physique et de sédentarité sont plus ou moins récents, les recherches portant sur les effets de ces derniers sur la santé des individus ne cessent de croître. L'évolution de nos sociétés et modes de vie ont entraîné l'explosion de l'inactivité physique et des comportements sédentaires au cœur de nos quotidiens. De par les aspects économiques et de santé, ces comportements deviennent progressivement des priorités pour les politiques de santé publique. Dans un modèle économique de plus en plus orienté vers la tertiarisation des emplois, le quotidien des Hommes est rythmé par les problématiques liées au manque de mouvement. Le milieu professionnel est au centre de ces enjeux de santé public et représente un espace essentiel d'intervention pour prévenir les populations de l'apparition de maladies chroniques non transmissibles.

2. Le milieu professionnel comme épicode de l'épidémie

L'évolution de l'espèce humaine a permis de progressivement passer d'un mode de vie où l'activité physique était essentielle à la survie, à un quotidien rythmé par des comportements sédentaires toujours plus conséquents. Ces comportements quotidiens centrés sur une forte proportion de sédentarité et de moins en moins d'activité physique se retrouvent inévitablement et en particulier dans le domaine professionnel. Au cours du dernier siècle, le secteur des services est devenu le principal domaine d'activité professionnelle et de par ses caractéristiques environnementales, il possède un très fort risque d'exposition à des comportements délétères du mouvement humain. Cette forte exposition en fait de facto un espace à fort potentiel pour agir vers un environnement de travail plus sain où l'activité physique et la baisse du temps passé assis seraient mises en avant. Différentes stratégies ont émergé au cours des dernières années afin de promouvoir le mouvement dans l'entreprise. Parmi la diversité de stratégies étudiées, l'utilisation de bureaux actifs émerge comme l'une des plus prometteuses méthodes pour combattre conjointement la sédentarité et le manque d'activité physique journalier.

2.1. Évolution historique des modes de vie et des comportements

La littérature scientifique a montré que notre génome d'Homme du XXI^{ème} siècle est sensiblement le même que celui de nos ancêtres d'il y a 10000 ans (Macaulay et al., 1999). Sachant que les réponses physiologiques à nos environnements sont conditionnées par notre génome (Chauveau et al., 2013), il nous apparaît pertinent d'observer les évolutions comportementales que nous avons pu avoir à travers l'histoire.

2.1.1. De chasseurs-cueilleurs à employés de bureau

Pour survivre, l'être humain s'est toujours adapté à son environnement. Si l'on remonte à la Préhistoire, les Hommes du Paléolithique (Homo erectus, Homo habilis, Homo neanderthalensis, Homo denisovensis et Homo sapiens) étaient ce que l'on nomme conventionnellement des « chasseurs-cueilleurs » (Aiello and Wheeler, 1995). Nos ancêtres étaient dans l'obligation de parcourir régulièrement de grandes distances pour couvrir leurs

besoins vitaux en nourriture et en eau, à travers l'utilisation de la chasse, la pêche et la cueillette (Cordain et al., 1998; Hambrecht and Gielen, 2005). Deux types de mobilité existaient, à savoir la mobilité résidentielle, caractérisée par l'ensemble des membres d'un groupe se déplaçant d'un endroit à un autre, et la mobilité logistique étant définie par les mouvements de personnes à partir d'un emplacement résidentiel temporaire (Binford, 1980). Grâce à des études sur des peuples chasseurs-cueilleurs contemporains, il a été estimé que nos ancêtres parcouraient entre 10 et 15 kilomètres de marche minimum par jour (Leonard and Robertson, 1992; O'Keefe et al., 2011). La survie de l'Homme était dépendante de sa capacité à se mouvoir afin de pouvoir subvenir à ses besoins tout en échappant aux différents prédateurs (Kelly, 1983). Notre génome s'est ainsi adapté à ce mode de vie rythmé autour des activités physiques et d'une dépense énergétique journalière élevée (Booth et al., 2000). Pourtant progressivement notre quantité d'activité physique journalière va diminuer à travers différentes révolutions.

Au cours de l'ère Néolithique, la révolution agricole va bouleverser le quotidien des Hommes en les poussant à vivre continuellement au même endroit, leur permettant de se sédentariser et de mettre fin à une vie dictée par le nomadisme. L'Homme s'installe afin de cultiver la terre tout en domestiquant les animaux passant de chasseur-cueilleur à agriculteur-éleveur (Chauveau et al., 2013). La littérature estime que la productivité alimentaire liée à l'agriculture n'était pas foncièrement supérieure à celle des chasseurs-cueilleurs mais qu'elle permettait une meilleure prévisibilité et sécurité alimentaire (obtention de nourriture non soumise aux résultats de la chasse et de la cueillette) (Pontzer et al., 2012). Les facteurs sociaux et démographiques aident aussi à expliquer l'émergence et le développement de l'agriculture au sein de l'espèce humaine menant à une structuration de communautés en villages (Bowles, 2011). À travers la demande physique de l'agriculture, les Hommes étaient toujours physiquement actifs mais ces modifications du mode vie ont entraîné une réduction de l'activité physique totale et expliqueraient partiellement les altérations structurelles de la masse osseuse observées sur les individus de cette période (Nowlan et al., 2011; Ryan and Shaw, 2015). Ces observations mettent en évidence l'impact délétère de la réduction d'activité physique chez ces populations qui va pourtant se poursuivre à travers une « série évolutive » d'étapes pendant plusieurs siècles. En effet, en Europe, entre le Néolithique et le Moyen-Âge, l'agriculture va voir se succéder « *les cultures manuelles sur abattis-brûlis des temps préhistoriques, la céréaliculture à l'araire de l'Antiquité, la céréaliculture à la charrue*

du Moyen-Âge, la polyculture-élevage sans jachère de l'Époque Moderne » (Mazoyer and Roudart, 2017).

Par ailleurs, l'Époque Moderne est le théâtre de l'un des plus grands bouleversements de l'histoire humaine : la révolution industrielle. En 1769, l'invention et le brevetage de la machine à vapeur par James Watt vont révolutionner le système économique mondial. La société qui était à dominante agricole se transforme progressivement en une société industrielle où la production de biens manufacturés va devenir la norme. Soutenue par la progression constante de la mécanisation dans tous les secteurs économiques (agricole, industrielle et tertiaire), la machine devient l'outil indispensable de tous les secteurs d'activité. Cette mécanisation va entraîner une baisse continue de l'activité physique au sein des populations, avec la machine accompagnant les tâches que l'humain faisait seul par le passé. De nombreux emplois restent très demandant en termes d'activité physique mais au fil des progrès techniques et technologiques, l'agriculteur étant majoritairement devenu ouvrier va ainsi être secondé par la machine. Au-delà du contexte professionnel, la révolution industrielle va durablement changer nos rapports aux transports. De par l'utilisation de la machine à vapeur, la locomotive et le bateau se démocratisent dans la société que ce soit pour le transport de marchandises mais aussi pour le transport de personnes. L'utilisation du pétrole et de l'électricité à partir de la fin du XIX^{ème} siècle va permettre une accélération d'outils étant au service de l'Homme que ce soit dans le domaine du transport ou dans le domaine professionnel. Par la suite, la robotisation et l'automatisation de l'industrie vont une nouvelle fois transformer le milieu économique avec la diminution des besoins en termes d'Hommes dans les entreprises. Les machines étant autonomes et faisant le travail de l'Homme, le secteur industriel diminue de façon continue depuis le XX^{ème} siècle au profit du secteur tertiaire. La diminution de ce secteur d'activité va s'amplifier à partir de l'invention et l'utilisation de nouvelles technologies numériques et digitales.

Au milieu du XX^{ème} siècle, avec la création des ordinateurs, la diffusion de ces derniers va permettre une accessibilité de ce produit dans le monde entier. Cet outil numérique va s'implémenter durablement dans le quotidien des individus que ce soit dans le domaine domestique ou professionnel. Outre les ordinateurs, ce sont l'ensemble des outils liés aux technologies de l'informatique, des télécommunications et de l'internet qui va bouleverser le système économique mondial. L'ensemble de ces nouvelles technologies va entraîner l'essor des activités de service et promouvoir le secteur tertiaire comme vecteur et pilier du tissu

économique des pays développés. Pour illustrer nos propos, nous pouvons regarder l'évolution des différents secteurs d'activité en France entre 1962 et 2020 : l'agriculture est passée de 16 % à 2,3 %, le secteur secondaire (industrie et construction) de 38,9 % à 19,7 % et le secteur tertiaire de 45,1 à 76,6 (dont 1,4 % d'activité indéterminée en 2020) (Insee, 2021; Marchand, 2010). Cette transition est d'autant plus marquée, qu'une autre évolution a progressé continuellement et spécifiquement au sein du secteur tertiaire : le télétravail. Le télétravail est défini comme le fait de travailler à distance de son entreprise à travers l'utilisation de technologies de l'information et de la communication (Sullivan, 2003). Avant même la pandémie de COVID-19, de plus en plus de pays mettaient en avant et adoptaient le télétravail (Buomprisco et al., 2021). En 2005, 7,3 % des travailleurs français déclaraient télétravailler régulièrement voire même exclusivement de cette manière (Welz and Wolf, 2010). En 2019, en France, environ 23 % des employés télétravaillaient de temps à autre ou régulièrement (**Figure 15**) (Milasi et al., 2021).

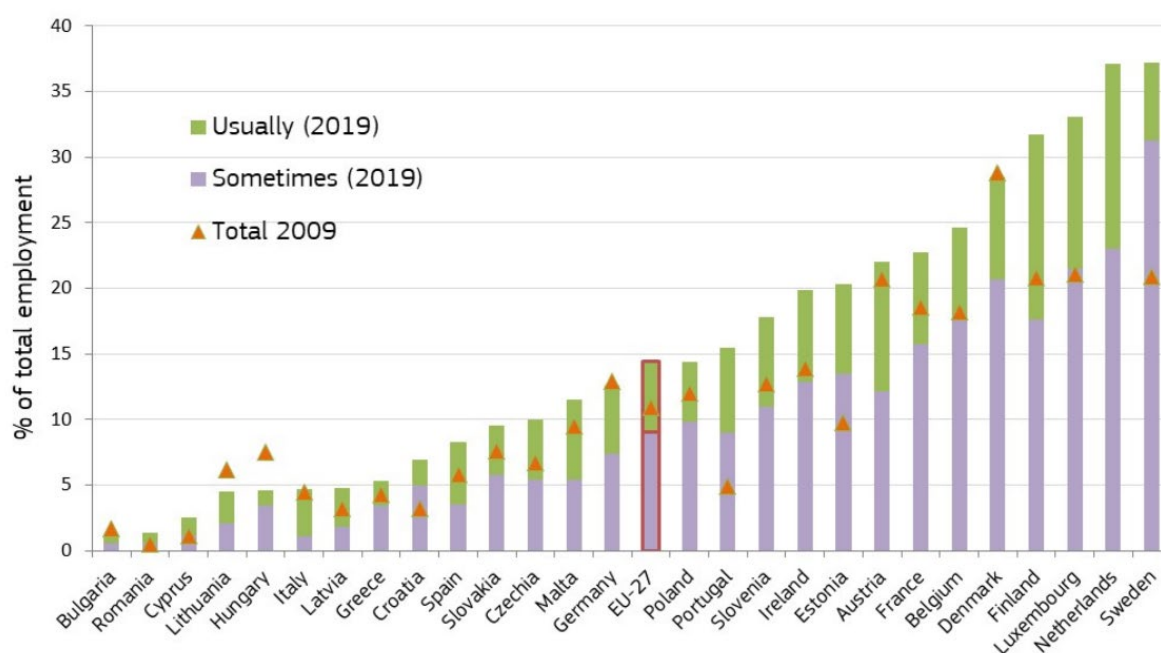


Figure 15 – Prévalence de télétravail au sein des pays membres de l'Union Européenne

Issue de Milasi et al. (2021) depuis la source : Eurostat, LFS, Variable code : lfsa_ehomp

Alors que le secteur tertiaire est devenu prépondérant dans la représentation des travailleurs, notre dépense énergétique liée aux activités physiques n'a jamais été aussi faible à l'échelle de notre histoire. En effet, un employé du secteur tertiaire dépense au minimum deux fois moins d'énergie qu'un Homo sapiens du Néolithique (Cordain et al., 1998). Afin de mieux

comprendre les adaptations comportementales auxquels nous faisons face, il apparaît nécessaire de décrire le spectre des mouvements réalisés quotidiennement par les personnes travaillant au sein du secteur tertiaire.

2.1.2. Caractéristiques comportementales du secteur tertiaire

Au fil des âges, la proportion d'activité physique liée au travail n'a cessé de diminuer en raison des différentes révolutions susmentionnées devenant une activité non nécessaire à nos besoins vitaux dans notre quotidien (O'Keefe et al., 2011; Tremblay et al., 2008). Aux États-Unis, entre 1960 et 2008, la proportion d'emplois demandant une activité physique d'intensité modérée à intense est passée de 48 % à 20 % (Church et al., 2011).

Dans le même temps, cette diminution des activités physiques au travail s'est faite au profit d'une augmentation considérable des comportements sédentaires. En 2021, 28,5 % des travailleurs civils Américains (tout emploi n'étant pas dans le secteur militaire, agricole ou l'auto-entreprenariat) avaient un emploi sédentaire (U.S. Bureau of Labor Statistics, 2021). Une étude australienne a observé que 48,5 % du temps total hebdomadaire passé à des intensités équivalentes à des comportements sédentaires se déroulait durant les heures de travail (Parry and Straker, 2013). À l'échelle d'une journée, on observe que les salariés ayant des emplois principalement en position assise passent entre 60 et 85 % de leur journée de travail en comportements sédentaires (Clemes et al., 2014; Parry and Straker, 2013; Ryan et al., 2011; Thorp et al., 2012; Waters et al., 2016; Wick et al., 2016). Ces données sont d'autant plus alarmantes que cette tendance observée lors des jours travaillés est similaire les jours non-travaillés (Smith et al., 2015). Des inquiétudes se posent aussi sur l'accumulation des comportements sédentaires dans les emplois du secteur tertiaire. En effet, la littérature montre que l'accumulation prolongée du temps de sédentarité lors du travail est réalisée de façon ininterrompue augmentant le risque d'effets délétères pour la santé (Ryan et al., 2011). Ces dernières années, la prévalence de télétravail a fortement augmenté favorisée par une importante proportion des emplois pouvant être entièrement réalisés à domicile représentant environ 37 % des emplois aux États-Unis (Dingel and Neiman, 2020). Les confinements obligatoires assignés par différents États dans le monde lors de la crise sanitaire du COVID-19 ont permis un développement rapide de cette modalité de travail (Eyméoud et al., 2021). Les personnes étant en télétravail augmentent de façon non négligeable leur sédentarité

quotidienne et diminuent le temps passé aux activités physiques comparées à des travailleurs étant sur le site de l'entreprise (Fukushima et al., 2021; McDowell et al., 2020). Ces réductions peuvent être potentiellement expliquées par la diminution des déplacements actifs liés aux activités professionnelles (les trajets domicile-travail ou bien les trajets liés à la pause méridienne) et les modifications environnementales liées à l'espace de travail (taille de bureau, distance avec la machine à café et les espaces de pause) (Smith et al., 2015; Zimring et al., 2005).

Ainsi, le développement et l'accroissement continus des comportements sédentaires dans le secteur du travail sont prépondérants depuis plusieurs années. Cette accumulation importante couplée à une diminution des niveaux d'activité physique n'est pas sans conséquence pour la santé des travailleurs. De surcroît, les problèmes de santé associés à ces comportements représentent un véritable poids économique pour le secteur public comme le secteur privé.

2.2. La santé des travailleurs

2.2.1. L'impact médico-économique de l'inactivité physique et de la sédentarité dans le domaine professionnel

À l'échelle internationale, les coûts annuels liés à la perte de productivité en raison de l'inactivité physique des salariés ont été estimés à 13,7 milliards INT\$ (Ding et al., 2016). Comme nous l'avons vu précédemment dans ce manuscrit, ces coûts au sein du secteur privé sont fortement sous-estimés. Dans leurs calculs, Ding *et al.* (2016) n'ont par exemple pas inclus les coûts liés à l'absentéisme, le présentéisme ou les soins informels, définis comme les soins apportés de façon non rémunérée à un individu dépendant (généralement un proche d'une famille) (Triantafillou et al., 2010). Cette analyse globale permet toutefois d'avoir un premier aperçu de l'impact d'un comportement, en l'occurrence l'inactivité physique pour cet exemple. En se concentrant sur quelques pathologies étant étroitement liées à la sédentarité et au manque d'activité physique, nous pouvons observer l'impact médico-économique de manière plus précise. L'observation des coûts directs et indirects de différentes pathologies

en lien avec l'inactivité physique et la sédentarité peut nous permettre de mieux caractériser le fardeau économique de ces comportements dans le domaine professionnel.

Pour rappel, la sédentarité n'a pour l'heure pas été démontrée comme facteur de risque dans le développement de l'obésité (Campbell et al., 2018; Katzmarzyk et al., 2019). Au contraire, le manque d'activité physique est considéré comme un facteur de risque pour le développement de l'obésité (Lee et al., 2010). La part d'obésité au sein des professions du secteur tertiaire a augmenté de manière considérable ces dernières années. Pour exemple, aux États-Unis, les personnes travaillant en tant que personnel administratif avaient une prévalence d'obésité de 10,4 % pour les hommes et 7,5 % pour les femmes en 1986, alors qu'en 2002 elle était de 27 % pour les hommes et 24,9 % pour les femmes (Caban et al., 2005). Les dernières données américaines, datant de 2011, nous montrent que 27,6 % des travailleurs américains étaient en situation d'obésité (Gu et al., 2014). Cette augmentation constante de l'obésité au sein de la population, de surcroît celle des travailleurs, n'est pas sans conséquence. Le poids économique lié à cette croissance du statut pondéral des travailleurs est considérable. Des études datant des années 1990 avaient déjà estimé que la part des coûts directs imputables à l'obésité représentait entre 4,3 % et 7,8 % du budget annuel alloué à la santé (Allison et al., 1999; Colditz, 1992). Plus récemment, une étude de Finkelstein *et al.* (2010) a estimé les coûts directs (ensemble des frais médicaux) et les coûts indirects (absentéisme et présentéisme) de l'obésité dans le milieu professionnel américain (Finkelstein et al., 2010). Les données issues de cette étude transversale rapportent qu'annuellement les coûts directs liés à l'obésité sont estimés à 30,3 milliards de US\$ et les coûts indirects à 42,8 milliards.

Au-delà de l'obésité, une accumulation d'évidences scientifiques tend à associer la sédentarité et le manque d'activité physique au développement de troubles musculosquelettiques, localisés à des endroits récurrents tel que les lombaires, les cervicales et les poignets/mains (Baker et al., 2018; Cagnie et al., 2007; Gerr et al., 2002; Holth et al., 2008; Korhonen et al., 2003; Rocha et al., 2005; Westgaard and Winkel, 1996). Les troubles musculosquelettiques ne cessent d'augmenter depuis plusieurs années et sont à l'échelle mondiale la deuxième cause d'années vécues avec une incapacité physique (Sebbag et al., 2019). Des données épidémiologiques issues des États-Unis vont dans cette direction où l'on observe une augmentation de 21 % du nombre de troubles musculosquelettiques entre les périodes 1996-

1998 et 2012-2014 (Yelin et al., 2019). Pour donner des valeurs chiffrées de ces travaux, nous pouvons préciser que sur la période susmentionnée, la proportion de personnes ayant ces problématiques de santé est passée de 76 à 107,5 millions de personnes. En moyenne, entre 12 % et 14 % des Américains vont voir chaque année un médecin pour des douleurs au niveau des lombaires. Toujours en 2014, l'incidence économique de ces troubles musculosquelettiques représentait aux États-Unis un coût estimé entre 321,6 et 882,5 milliards de US\$, équivalent à un peu moins de 6 % du produit intérieur brut du pays. Pour préciser la méthodologie utilisée pour déterminer le coût financier, ces données ont été déterminées par des coûts directs, estimés par les frais liés aux soins et des coûts indirects déterminés par les pertes de salaires liés aux jours de travail manqués et des salaires potentiellement moins élevés en raison des problématiques de santé. De plus, nous pouvons détailler les données de prévalence et de coûts à l'échelle Française. D'après des données issues du rapport annuel de l'Assurance Maladie Française, les troubles musculosquelettiques sont aujourd'hui la première cause de maladies professionnelles, représentant 87 % des maladies déclarées (L'Assurance Maladie, 2018). En moyenne, 30 % des arrêts de travail sont la résultante d'un trouble musculosquelettique et ces arrêts sont en moyenne d'une durée de 2 mois lors de douleurs localisées au niveau dorsal. En 2017, ces occurrences généraient des conséquences économiques importantes car elles représentaient un coût annuel pour les entreprises estimé à 2 milliards d'euros, exclusivement calculé par l'augmentation des frais liés aux « cotisations accidents du travail et maladies professionnelles » (cotisation AT/MP). Ces données particulièrement élevées mettent en avant l'impact non négligeable de cette problématique sur le système de santé et le poids évident que celle-ci pèse sur les entreprises. De plus, il nous apparaît primordial de développer les effets psychologiques de l'inactivité physique et la sédentarité dans le milieu du travail. Les recherches scientifiques ont observé une association entre le temps passé assis et une santé psychique détériorée (Teychenne et al., 2010, 2015). Les personnes ayant une quantité importante de temps passé en position assise tout en étant devant un écran (caractéristiques des emplois de bureau avec l'utilisation d'ordinateurs) observent des symptômes plus sévères de dépression et d'anxiété (Rebar et al., 2014). Par ailleurs, des recherches ont montré que les salariés du secteur tertiaire avaient un risque accru de dépression et d'anxiété comparé à d'autres professionnels, tel que les salariés du secteur secondaire (Kang et al., 2016). Au début des années 2000, plusieurs études

américaines ont estimé que lors de l'année écoulée, environ 6,4 % de travailleurs avaient déjà eu des épisodes dépressifs sévères et 11,1 % des troubles anxieux (Grant et al., 2004; Kessler et al., 2006). En France sur la même période, les données étaient comparables avec 13 % de personnes, ayant un emploi, déclarant des troubles anxieux généralisés (Leray et al., 2011). Au regard du coût financier, une étude américaine a estimé les coûts directs liés à la dépression en incluant les frais d'hospitalisation, les consultations et les frais médicamenteux. Les coûts directs de la dépression représentaient ainsi un coût d'environ 26 milliards de US\$ pour l'année 2000 (Greenberg et al., 2003). Kessler *et al.* (2006) ont déterminé que les cas de dépressions sévères aux États-Unis engendraient une absence au travail d'environ 27,2 jours par an (Kessler et al., 2006). Toujours aux États-Unis, une étude a estimé que la dépression engendrait des pertes de productivités mensuelles d'environ 2 milliards de US\$ tout en augmentant le risque de perdre son emploi pour les personnes malades (Birnbaum et al., 2010).

Dans cette sous-partie, les problématiques de santé que nous avons brièvement développées possèdent des causes multifactorielles diverses et ne sont pas exclusivement liées à l'inactivité physique et la sédentarité. De nombreuses limites existent au regard de la méthodologie utilisée pour calculer les coûts directs et indirects en lien avec le développement de diverses pathologies. Les estimations réalisées ne peuvent être représentatives qu'au sein du pays où l'enquête a été menée. Les différences entre les systèmes de santé, les évolutions liées à la prise en charge des pathologies et l'impact financier sont propres à chaque salarié et donc à chaque entreprise limitant toute conclusion définitive sur ce sujet. Cependant, estimer l'impact médico-économique de ces comportements au cœur du domaine professionnel, nous permet de comprendre le besoin évident et vital d'agir en faveur d'un environnement de travail où l'activité physique et plus globalement le mouvement sont mis en valeur.

2.2.2. L'entreprise un espace idoine pour agir

Nous avons précédemment détaillé le temps quotidien moyen passé en comportements sédentaires et en activité physique chez les salariés du secteur tertiaire, tout en précisant les problématiques de santé liées à ces pratiques comportementales. Alors que les personnes ayant un emploi à temps complet passent en moyenne entre 50 et 60 % de leur journée sur leur lieu de travail, il apparaît évident que l'entreprise est un endroit à fort potentiel pour

implémenter des stratégies visant à améliorer les comportements du mouvement chez les salariés (Green, 1988; Healy and Goode, 2018; Parry and Straker, 2013).

Si l'entreprise présente un fort potentiel pour diminuer la sédentarité et augmenter l'activité physique des salariés, c'est aussi évidemment en raison de son risque d'exposition. Depuis 2008, en France, la loi permet de s'assurer de la santé des individus au sein de l'environnement professionnel, comme le précise l'article L4121-1 du Code du travail où « *l'employeur prend les mesures nécessaires pour assurer la sécurité et protéger la santé physique et mentale des travailleurs* ». Cette obligation reste toutefois théorique et peine à être mise en place aux regards des comportements que nous décrivons dans ce manuscrit. Cette difficile application s'explique par le manque de considération de ces comportements comme risques professionnels. Pour preuve, en observant le dernier rapport sur la Surveillance Médicale des Expositions aux Risques Professionnels (SUMER), on peut remarquer l'absence de l'excès du temps passé en position assise et le manque d'activité physique comme risque professionnel. La catégorie « *contraintes posturales et articulaires au travail* » ne possède aucune des caractéristiques de ces comportements dans le thème des risques physiques et inclut même le « *déplacement à pied* » comme risque professionnel. Malgré l'émergence d'évidences de plus en plus robustes, la sédentarité et le manque d'activité physique peinent à être valorisés, à un niveau législatif, comme des problématiques de santé et facteurs de risque au travail. Pourtant, cela tend progressivement à changer à travers des politiques de santé publique mettant en avant la nécessité de promouvoir le mouvement humain au cœur des sociétés et plus particulièrement au sein des entreprises (Kraus et al., 2015; Pate, 2009).

Différentes instances internationales, tels que l'OMS ou le Forum Économique Mondial, suggèrent à tous les employeurs de proposer des espaces de travail sécuritaires pour leurs employés afin de garantir leur bien-être physique, mental et social (World Health Organization, 2008). Cette amélioration des espaces de travail pour la santé des employés est bénéfique pour les responsables d'entreprise. En effet, des revues systématiques ont observé que des interventions visant à promouvoir la santé et le bien-être des employés entraînaient une amélioration de la productivité au travail grâce à une diminution des arrêts maladies (van Dongen et al., 2011; Kuoppala et al., 2008). Cette valorisation d'un espace de travail sain est d'autant plus marquée que l'on observe un changement clair ces dernières années concernant l'importance que l'on donne au travail. L'objectif principal des employés n'est plus de travailler pour une seule et même entreprise au cours de sa carrière, mais d'être dans une structure

proposant un environnement de travail agréable et sécuritaire. Dans une époque, où un employé sera partie prenante de multiples organisations professionnelles durant sa vie, un environnement mettant en avant le mouvement pour le bien-être physique, mental et social ne peut qu'être qu'attractif pour des employés sensibles à ces thématiques (Okely et al., 2018).

L'entreprise se révèle être un espace à privilégier pour agir contre la sédentarité et pour l'activité physique au regard de l'impact médico-économique que pèsent ces comportements sur les finances du secteur privé. Malgré ces évidences théoriques, le chemin permettant de transformer l'espace de travail en un environnement moins sédentaire et physiquement plus actif reste encore long. De plus, différentes instances de santé publique et la législation française incitent voire obligent les entreprises à agir en faveur de la santé de leurs employés. Les recherches visant à améliorer ces comportements au sein de l'entreprise n'en sont qu'à leurs prémices et peuvent potentiellement expliquer l'actuel manque de considération de ces comportements au sein des entreprises (Okely et al., 2018). Ces observations nous poussent à nous interroger sur les moyens développés pour augmenter le temps d'activité physique toutes intensités confondues et diminuer le temps passé assis dans l'espace de travail.

2.3. Les stratégies améliorant les comportements du mouvement humain au sein des entreprises

Depuis le début des années 1980, différentes stratégies ont émergé afin de diminuer le temps passé en position assise et d'augmenter l'activité physique au travail. Nous allons détailler les principales méthodes utilisées afin d'améliorer les comportements du mouvement humain dans l'environnement professionnel, nous permettant de comprendre les bénéfices et les limites de ces différentes implémentations.

2.3.1. Les stratégies incitatives et informatives

Les premières recherches réalisées dans le domaine professionnel ont eu pour objectif d'évaluer l'implémentation de stratégies informatives. Ces stratégies sont basées sur l'éducation et les conseils donnés aux employés. Parmi ces premières études, ces implémentations étaient centrées autour de l'éducation sur les thématiques de l'activité

physique et des apports nutritionnels (Cockcroft et al., 1994; Lovibond et al., 1986; Robison et al., 1992). Au-delà des méthodes incitatives, des stratégies informatives ont émergé avec l'objectif d'informer et de motiver les participants à travers des outils tels que des podomètres et accéléromètres permettant un retour sur l'activité physique quotidienne réalisée (Tudor-Locke, 2002). Par la suite des stratégies informatives se sont vues couplées à des méthodes incitatives. Pour donner un exemple de ce type d'intervention, Reijonsaari *et al.* (2012) ont conduit une étude randomisée et contrôlée pendant 12 mois où les sujets, recevant l'intervention, étaient équipés d'un accéléromètre leur indiquant leur activité physique journalière tout en ayant des conseils par téléphone ou par internet pour augmenter leur temps d'activité physique (Reijonsaari et al., 2012). L'ensemble de ces stratégies comprend diverses méthodes et outils tels que, des rappels motivationnels, des rapports sur l'activité physique réalisée, des ateliers éducatifs, des réunions/séminaires d'informations, des modifications de posture (réunion debout ou en marchant) et des jeux/concours par équipes. Ce type d'implémentation suggère une amélioration de la santé globale tout en augmentant la productivité au travail (à travers le présentéisme) et en diminuant le risque d'arrêts maladies (Cancelliere et al., 2011; Hutchinson and Wilson, 2012; Kuoppala et al., 2008). Une récente méta-analyse de Mulchandani *et al.* (2019) va dans le sens des précédents travaux cités, suggérant que ce type de stratégies améliorent de façon significative l'indice de masse corporelle et le tour de taille, sans pour autant statuer sur une modification potentielle de marqueurs cardiométaboliques (Mulchandani et al., 2019). Les auteurs ont mis en avant la forte hétérogénéité des études et une trop faible proportion d'étude évaluant différents marqueurs sanguins pour expliquer cette absence d'impact cardiométabolique. Il semblerait que les implémentations conciliant plusieurs dimensions soient plus efficaces que des stratégies uniques. Des études ont montré qu'une intervention multidimensionnelle (combinaison de newsletters, conseils, challenge de pas quotidien, un environnement tourné vers une augmentation de l'activité physique et une diminution de la sédentarité) de 3 mois entraînait une amélioration du poids, du tour de taille, de la pression artérielle diastolique, du temps passé assis, de la distance de marche et du temps passé à des activités physiques (volume total et d'intensité modérée à intense) comparé à un groupe ne recevant que les newsletters (Lin et al., 2017, 2018). Dans le même sens, une étude a observé l'effet de la réception de messages téléphoniques incitatifs sur la d'activité physique et a observé que les sujets recevant ces messages tendaient à maintenir un niveau d'activité physique plus élevé

que ceux n'en recevant pas, soulignant le potentiel non négligeable des stratégies incitatives à améliorer les comportements du mouvement dans l'espace professionnel (Fournier et al., 2017).

Cependant les recherches étudiant les stratégies incitatives, informatives ou combinées possèdent plusieurs limites, au regard de leurs implémentations et de leurs effets avérés. En effet, les études sur ce domaine sont extrêmement hétérogènes et présentent des risques élevés de biais méthodologiques (biais d'attrition en particulier) (Freak-Poli et al., 2020; Mulchandani et al., 2019). Ces hétérogénéités méthodologiques entraînent des résultats divergents concernant les effets de ces stratégies sur les niveaux d'activité physique et de sédentarité (Arrogi et al., 2017; Reijonsaari et al., 2012). Il est à noter que la proportion d'abandon lors d'implémentation de stratégies incitatives n'est pas négligeable et pose la question de la viabilité à long terme de ces stratégies (Aittasalo et al., 2017; Mackenzie et al., 2015). Finalement, on observe que les stratégies incitatives et informatives représentent un premier maillon d'une intervention et sont souvent couplées à d'autres stratégies, telles que des programmes d'activités physiques (Fournier et al., 2017; Glanz et al., 2015). De surcroît, de plus en plus d'entreprises se montrent sensibles à l'implémentation d'outils permettant la pratique des activités physiques (aérobie et/ou de renforcement musculaire) au sein de l'espace de travail.

2.3.2. Les programmes d'activité physique

Depuis plusieurs années, de nombreuses entreprises tendent à implémenter des stratégies permettant de réaliser des activités physiques d'intensité modérée à intense. La pratique de ces activités physiques varie suivant les contextes où l'on peut observer soit des pratiques libres avec la mise à disposition de « salle de sport », soit des pratiques encadrées avec un enseignant spécialisé dans l'enseignement d'activité physique. Cette mise à disposition de ces salles peut être réalisée sur le temps de travail où en dehors du temps de travail.

À partir des années 1990, les premières études ayant évalué les effets d'un programme d'activités physiques structurées au sein de l'environnement professionnel ont émergé, se concentrant principalement sur les effets de ces derniers sur les troubles musculosquelettiques (Proper et al., 2003). Les études portant sur ce sujet suggéraient une efficacité des programmes d'activités physiques au travail pour diminuer les douleurs

musculosquelettiques (Moreira-Silva et al., 2016; Pedersen et al., 2009; Sjögren et al., 2005). Différentes études ont été menées pour observer les effets de ces programmes sur les adaptations physiologiques des salariés du secteur tertiaire. Une récente étude de Hunter *et al.* (2018) a observé qu'un programme d'activité physique de 8 semaines combinant des exercices aérobies d'intensité modérée à intense et du renforcement musculaire entraînait une augmentation des capacités cardiorespiratoires et de la force des membres inférieurs (Hunter et al., 2018). De façon intéressante, ces résultats ont été retrouvés dans les deux groupes de cette étude, à savoir un groupe étant supervisé individuellement par un professionnel et l'autre ne l'étant pas.

De récentes études réalisées par notre équipe de recherche ont montré qu'un programme d'activité physique en entreprise permettait une amélioration de divers indicateurs de santé, tel que le pourcentage de masse grasse, certains paramètres de la condition physique, l'anxiété ou encore la dépression (Genin et al., 2017, 2018a). Malgré l'individualisation/diversité des activités physiques, la supervision par un professionnel et le fait que le programme soit réalisé au sein de l'entreprise, 55 % des participants ayant démarré l'étude ne sont pas allés à son terme (Genin et al., 2018a). Cette proportion d'abandon n'est pas un cas isolé, car différentes études ont observé des dynamiques similaires (Jakobsen et al., 2015; Pedersen et al., 2009). De manière intéressante, Genin *et al.* (2018) ont rétrospectivement observé les profils d'activité physiques des sujets ayant abandonné le programme (Genin et al., 2018b). L'analyse des données a montré que la majorité des personnes ayant abandonné le programme étaient des personnes physiquement inactives (77 % d'inactifs vs 35 % d'actifs). Ces observations ont été en partie justifiées par le gain de temps que procurent les installations d'activité physique sur le lieu du travail. En effet, les personnes physiquement actives, engagées de manière régulière dans ce programme, expliquaient que la réalisation d'activité physique sur leur lieu de travail leur permettait de gagner du temps dans leur quotidien et que l'absence de structure ne les empêcherait pas de pratiquer une activité physique à l'extérieur.

Finalement les personnes ciblées pour ce type d'intervention, à savoir les personnes physiquement inactives, ne sont pas celles adhérant le plus aux programmes d'activités physiques. Plusieurs études se sont intéressées à des programmes d'activités physiques pour les employés de bureau à travers des programmes réalisés en dehors de l'environnement de travail (Fang et al., 2019; Kinnafick et al., 2018). En effet, les programmes d'activités physiques

ne peuvent pas toujours être implémentés dans le milieu professionnel en raison d'un environnement non adaptable et d'un coût trop important pour les entreprises, suggérant une difficulté évidente de développement à l'ensemble des sociétés existantes. De plus, ce type d'intervention permet d'augmenter le niveau d'activité physique des individus mais ne cible pas pour autant les comportements sédentaires. Un employé peut par exemple être assis durant sa journée de travail puis en finissant sa journée pratiquer une activité physique dans la salle allouée par son employeur. Des stratégies visant de manière régulière à interrompre le temps passé assis pour pratiquer une activité physique, pendant le temps de travail, apparaissent comme des solutions potentielles pour permettre une modification des mouvements quotidiens des personnes.

2.3.3. Les actives breaks

L'émergence des études favorisant l'activité physique et limitant la sédentarité a aussi permis le développement de stratégies visant à rompre la position assise en pratiquant des exercices physiques pendant le temps de travail. Ces interruptions de la sédentarité couplées à une pratique d'activité physique de courtes durées et d'intensité modérée et intense sont appelées communément les « active breaks », traduisibles par « pauses actives ». L'un des avantages principaux des pauses actives est la possibilité de ne pas utiliser de structures (salle d'activités physiques) pour les réaliser permettant d'être plus facilement intégrables dans des petites et moyennes entreprises. Cette stratégie propose une certaine liberté quant à la réalisation de ces interruptions en les faisant seules ou de manières collectives.

Une étude a observé que la pratique de 30 minutes de marche à intensité modérée (continue ou 5 minutes toutes les heures) pour 6 heures de temps de travail assis augmentait l'énergie et la vigueur perçues par les participants sans altérer les fonctions cognitives (Bergouignan et al., 2016b). Une récente étude a réalisé un protocole similaire avec une population composée exclusivement de femmes et a observé des résultats allant dans la même direction (Christmas et al., 2019). Gurd *et al.* (2018) ont observé que la pratique de sprint (8 fois 20 secondes de courses à intensité élevée séparée par 10 secondes de repos) entre 2 et 4 fois par semaine durant 3 mois améliorait la condition physique des participants et la mobilité des membres inférieurs (Gurd et al., 2018). Cependant, cette étude de faisabilité a obtenu un très faible taux de participation. En effet, sur les 747 employés de l'entreprise ciblée, seulement 31 ont

participé et 11 ont fini le protocole, suggérant une difficulté de réalisation et d'implémentation malgré les bénéfices physiologiques. Plus globalement, une revue systématique de Barr-Anderson *et al.* (2011) a montré que la pratique quotidienne de courtes périodes d'activités physiques (<15 minutes) dans l'espace de travail entraînait une augmentation modeste des niveaux d'activités physiques chez les participants, notamment les sujets les plus physiquement inactifs (Barr-Anderson *et al.*, 2011). Les études sur cette thématique visent à interrompre le temps passé assis, pour autant cela ne diminue pas nécessairement le temps de sédentarité total sur la journée et ne permet donc pas d'agir contre la combinaison délétère de « trop de sédentarité, pas assez d'activité physique ». L'une des problématiques que nous pouvons aussi relever est la nécessité d'interrompre son travail pour réaliser une pause active. Une récente étude s'est intéressée aux effets d'active breaks de faible intensité (position debout) lors de réunions de travail, permettant ainsi de travailler tout en interrompant la position assise (Mansfield *et al.*, 2018). Les auteurs ont relevé une difficulté pour les participants de leur étude à rester debout sur une longue période. De plus, des difficultés techniques (associées au travail des individus) et pratiques (associées à un inconfort social et psychologique) ont été perçues lors des réunions en position debout. Les problématiques éprouvées pourraient être potentiellement limitées par une adhésion forte de la hiérarchie grâce à une promotion de ces comportements au sein de l'entreprise mais ne s'adapteraient pour autant pas à la sensibilité propre à chaque individu. La réussite de ces stratégies réside ainsi dans un équilibre entre le soutien hiérarchique et les perceptions intra-individuelles (Pronk, 2021).

Finalement, les pauses actives sont difficiles à mettre en place dans le contexte professionnel sur le long terme et de futures études sont nécessaires pour évaluer la faisabilité de ces implémentations à grandes échelles. En effet, le fait de réaliser un sprint ou des activités physiques intenses peut entraîner de l'inconfort à travers une tenue de travail non adaptée pour ces activités, une augmentation de la sudation et de la fatigue. De plus, de nombreuses personnes dans le secteur tertiaire ont un métier de contact (face-à-face avec une personne) rendant difficile ces pauses actives. Généralement, ces interventions ne sont pas intégrées au processus de production de l'entreprise (arrêt du travail pour les réaliser ou temporalité non adaptée) et à l'environnement de travail devenant des projets non prioritaires pour les structures et donc pour les employés (Holtermann *et al.*, 2021; Ramos *et al.*, 2019). Une des possibilités envisagées pour remédier aux différentes problématiques susmentionnées serait

d'implémenter des stratégies réalisables de manière individuelle, durant le temps de travail sans interruption des tâches réalisées, au moment choisi par l'individu, accessible à tout type d'employé indépendamment des capacités physiques et permettant d'induire une dépense énergétique supérieure à celle du seuil de sédentarité (>1.5 METs).

2.3.4. Les stations de travail actives

Afin de pouvoir réaliser des tâches professionnelles tout en limitant son temps passé assis et augmenter son activité physique, des stations de travail dites « actives » ont émergé. Ces stations de travail actives, aussi appelées « bureaux actifs », permettent de modifier la posture dans laquelle l'individu travaille, que ce soit en étant debout, en marchant ou en pédalant. Ces stations de travail permettent aussi d'augmenter la demande musculaire et d'augmenter la dépense énergétique lors des changements de positions et/ou lors de la mise en mouvement des individus. De manière générale, ces bureaux actifs sont scindés en deux catégories distinctes, i) les stations de travail statiques permettant à l'utilisateur de maintenir la position debout en continue ou d'alterner entre cette position et celle assise grâce à des bureaux spécifiques tels que les bureaux debout (chaise à hauteur modulable) ou assis-debout (hauteur de bureau modulable), ii) les stations de travail dynamiques mettant en mouvement l'individu à travers des activités principalement orientées vers le pédalage ou la marche sur des appareils spécifiques tels que les pédaliers de bureau, les tapis-bureaux ou les vélos bureaux (**Tableau 2** et **Figure 16**).

Tableau 2 – Taxonomie des différentes alternatives de bureau actif déterminée par leur accessibilité et leur design

<i>Bureaux actifs</i>	Design						Accessibilité	
	Mouvement		Position		Posture		Distribution	
	Statique	Dynamique	Fixe	Ajustable	Assis	Debout	Dédiée/individuelle	Partagée
Bureau debout	✓	✗	✓	✗	✗	✓	✓	✓
Bureau assis-debout	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓
Tapis-bureau	✗	✓	L'un ou l'autre mais pas les deux		Seulement debout ou pouvant faire les deux		✓	✓
Vélo-bureau/Bureau pédalier	✗	✓	✗	✓	✓	✗	✓	✓

Issu, adapté et traduit de Tudor-Locke *et al.* (2014)



Figure 16 – Différents types de station de travail active (statique et dynamique)

De gauche à droite : bureau debout (statique) – bureau pédalier (dynamique) – tapis-bureau (dynamique).

Issue de Dupont *et al.* (2019)

Plusieurs études se sont intéressées aux effets des stations de travail actives sur la réduction du temps passé assis. Plusieurs revues de la littérature ont observé que l'utilisation de bureaux assis-debout entraînait une réduction du temps passé assis comprise entre un minimum et un maximum allant de 20 à 125 minutes par jour, avec en général une réduction moyenne de 60 à 100 minutes par jour (Hutcheson *et al.*, 2018; Neuhaus *et al.*, 2014; Shrestha *et al.*, 2018). Les données sur les tapis bureaux sont moins nombreuses et précises que sur les stations de travail statiques. Malgré une très forte hétérogénéité méthodologique, la littérature rapporte une diminution passée en position assise et une augmentation de l'activité physique avec l'utilisation de tapis-bureaux (Josaphat *et al.*, 2019; Shrestha *et al.*, 2018; Zhu *et al.*, 2020). Les études sont encore plus rares sur les bureaux permettant de pédaler mais les résultats tendent à soutenir une augmentation de l'activité physique (Commissaris *et al.*, 2016; Josaphat *et al.*, 2019; Shrestha *et al.*, 2018). Au regard du temps passé en comportements sédentaires, les résultats sont conflictuels avec des études mettant en avant une diminution de la sédentarité (Carr *et al.*, 2012, 2013) quand un autre groupe de recherche observe des résultats inverses (Crespo *et al.*, 2016; Zeigler *et al.*, 2016). Cette hétérogénéité peut s'expliquer par la méthodologie utilisée, où les travaux menés par l'équipe du professeur Glenn A. Gaesser ont utilisé un accéléromètre porté au poignet du bras non-dominant pour déterminer le temps sédentaire (Crespo *et al.*, 2016; Zeigler *et al.*, 2016). Cependant, le fait de pédaler n'entraîne pas un mouvement de la part du poignet ne permettant pas de différencier un temps assis

statique et un temps assis en activité physique. En ce sens, les travaux de Carr *et al.* sont plus robustes et fiables de par l'utilisation d'accéléromètre porté au niveau de la cheville (Carr et al., 2012, 2013). Dans la même direction, de récentes méta-analyses ont suggéré que les interventions adaptant l'environnement de travail (stations de travail actives) pour promouvoir le mouvement en entreprise étaient plus efficaces que des interventions centrées sur les comportements propres à chaque individu (stratégies informatives et incitatives) et l'environnement social (réunions actives) (Blackburn et al., 2020; Lam et al., 2022; Peachey et al., 2020). Ces résultats suggèrent qu'au sein d'un certain contexte, en l'occurrence un espace de travail régi par un certain cadre et de nombreuses règles/lois, des interventions unidimensionnelles, tels que la mise à disposition de bureaux actifs, seraient finalement plus pertinentes pour faciliter l'adhésion des employés (Blackburn et al., 2020; Gardner et al., 2016).

Nous avons précédemment identifiés les bénéfices apportés par la réduction de la sédentarité et l'augmentation de l'activité physique de toute intensité (Chastin et al., 2021). Les postes de travail actifs, qu'ils soient statiques ou dynamiques, émergent comme une solution des plus prometteuses en permettant aux employés de diminuer leur temps passé en comportements sédentaires tout en augmentant leur volume d'activité physique durant les heures travaillées. Les stations de travail actives permettent aussi de combler les limites des stratégies précédemment détaillées en étant une stratégie réalisable en autonomie, durant le temps de travail tout en réalisant ses tâches professionnelles. Dans le but de comprendre les effets globaux des stations de travail actives, il apparaît évident et nécessaire de détailler les différents effets physiologiques, psychologiques et anatomiques de ces derniers.

2.4. Stations de travail actives et caractéristiques psycho-physiologiques

Après avoir précédemment défini les stations de travail actives et leurs effets sur la sédentarité et le niveau d'activité physique, nous allons préciser les caractéristiques biomécaniques, physiologiques et psychologiques de ces outils. Cette caractérisation va nous permettre de comprendre de façon précise l'impact de ces stations de travail sur ses utilisateurs.

2.4.1. Impacts biomécaniques

Comme nous l'avons vu précédemment à travers le **Tableau 2**, les stations de travail actives possèdent des différences posturales (assis ou debout), de mouvement (statique ou dynamique) et peuvent varier au regard de leur position (fixe ou ajustable) (Tudor-Locke et al., 2014). Ces différences notables entraînent inévitablement des adaptations biomécaniques propres à chaque station et nous imposent d'observer les effets de ces dernières sur les utilisateurs.

Des études ont démontré le risque de développer des troubles musculosquelettiques, en particulier des douleurs lombaires, à travers une période prolongée en position statique (Picavet and Schouten, 2000). En ce sens, la position debout prolongée, comme on peut l'être sur un bureau debout, peut augmenter le risque de développer des troubles musculosquelettiques (Gregory and Callaghan, 2008; Nelson-Wong and Callaghan, 2014). Pourtant de nombreuses études ont démontré une réduction des douleurs dans les régions lombaires et cervicales à travers l'utilisation d'un bureau assis-debout (Davis and Kotowski, 2014; Husemann et al., 2009; Karakolis and Callaghan, 2014; Pronk et al., 2012). Ces observations peuvent s'expliquer par la possibilité des participants de s'asseoir (chaise ou bureau ajustable) permettant de rompre cette position statique, suggérant les bureaux assis-debout comme des outils à utiliser de manière précautionneuse en veillant à alterner régulièrement de position (Agarwal et al., 2018). Les postes de travail dynamiques entraînent une augmentation de l'activation musculaire comparée aux bureaux assis et debout (Botter et al., 2016). Pour le tapis-bureau, cette augmentation se caractérise par une augmentation significative des muscles des membres inférieurs et de la région scapulaire, plus particulièrement les trapèzes. Cette dernière observation est justifiée par la production de mouvement de la partie supérieure du tronc nécessitant une stabilisation du corps lors de la marche. Cette activation supplémentaire peut entraîner une fatigue et une tension musculaire dans ces zones. Au vu de ces données, des études sont nécessaires pour étudier les caractéristiques biomécaniques des tapis-bureaux afin d'assurer la sécurité des utilisateurs (Dupont et al., 2019). Pour les bureaux permettant le pédalage durant le travail, de récentes études n'ont pas mis en avant une augmentation de l'inconfort ou de douleurs musculosquelettiques (Baker et al., 2019; Yoon et al., 2019). Cependant, des études complémentaires sont nécessaires pour mieux comprendre les différences entre les stations

de travail permettant de pédaler (vélo-bureau et pédalier de bureau). En effet, la position d'un individu sur un vélo-bureau est stable mais la position d'un pédalier peut être modifiée et variable (le pédalier lui-même, le bureau ou la chaise utilisée) suggérant des adaptations biomécaniques différentes entre celles-ci (Elmer and Martin, 2014).

Actuellement, nous n'avons que peu de recul pour déterminer si les stations de travail dynamiques permettent une réduction des troubles musculosquelettiques que ce soit à une échelle aiguë ou chronique. Les recherches sur cette thématique restent peu nombreuses et de futures études sont nécessaires pour permettre de connaître les impacts biomécaniques des différentes stations permettant à l'avenir de conseiller au mieux les utilisateurs au regard de chaque bureau actif.

2.4.2. Impacts sur le bien-être

Le bien-être mental des travailleurs dans l'environnement professionnel et dans la réalisation de ses tâches est une composante non négligeable de la productivité d'une entreprise (Robertson and Cooper, 2011). En effet, le bien-être est un maillon essentiel de la santé globale d'un individu impactant de façon directe ses performances au travail.

À l'image de l'évaluation des adaptations biomécaniques, le bien-être n'est que très peu évalué au sein des recherches scientifiques. La majorité des études évaluant les effets des bureaux actifs statiques sur le bien-être n'ont pas observé de modification significative (Chambers et al., 2019). Des études ont toutefois observé des changements bénéfiques à travers l'utilisation de ce type de bureau. Pronk *et al.* (2012) ont observé une amélioration de l'éveil, du niveau de bonheur et de stress (Pronk et al., 2012). Dutta *et al.* (2014) ont obtenu des résultats similaires avec une amélioration globale du bien-être et de l'énergie avec une diminution de la fatigue (Dutta et al., 2014). Une étude réalisée en laboratoire, ayant évalué le stress de manière objective, a observé que l'utilisation de bureau debout ou de tapis-bureau entraînait une diminution significative du cortisol salivaire, suggérant un effet des bureaux actifs sur la régulation du stress (Gilson et al., 2017). Une étude de Sliter *et al.* (2014) a évalué l'ennui, le stress, l'éveil et la satisfaction liés à une tâche réalisée entre 4 stations de différentes : stations de travail en position assise, debout, en marchant et en pédalant (Sliter and Yuan, 2015). Cette étude a montré que l'utilisation de bureaux actifs dynamiques permettait d'améliorer l'éveil et de diminuer l'ennui, potentiellement justifié par les bénéfices

liés à la pratique d'activité physique de faible intensité (Chandrasekaran et al., 2021). L'utilisation de tapis-bureau a permis de diminuer de façon significative les paramètres de stress perçus et d'améliorer la satisfaction liée à une tâche réalisée comparée aux stations assises et debout. Les résultats de cette étude sur les pédaliers tendent à montrer des effets délétères sur le sentiment de stress et la satisfaction liée à la tâche réalisée. Cependant, les auteurs ont noté que l'installation de cette station de travail n'était que peu adaptée pour les participants lors de l'étude. Les résultats concernant la station de travail permettant de pédaler sont donc à considérer avec réserve. De plus, une étude s'étant intéressée spécifiquement à la station de travail avec un pédalier a observé des effets positifs sur la motivation et le moral des participants comparés à un bureau assis (Pilcher and Baker, 2016). Finalement, les résultats observés sur le bien-être au travail ne permettent pas de tirer de conclusions définitives sur les bénéfices des stations de travail actives. Toutefois, les résultats des études évaluant les effets des bureaux actifs dynamiques tendent à valider des bénéfices significatifs sur le bien-être général des individus, justifiés par les bénéfices que peuvent procurer les activités physiques de faible intensité sur cette composante (Netz et al., 2005).

2.4.3. Impacts sur la performance au travail

Le secteur tertiaire est un domaine de grande compétitivité où la productivité des entreprises dépend énormément des capacités cognitives et motrices des employés (Kalakoski et al., 2020). La performance au travail est un enjeu clé des entreprises et les effets des bureaux actifs sur cette composante représentent un élément déterminant pour envisager des implémentations dans les espaces de travail.

La majorité des études ayant étudié les performances au travail liées à l'utilisation de bureau debout n'a pas observé d'altération cognitive comparée au bureau assis. De plus, ces observations présentent des résultats similaires sur des tâches motrices, telles que l'utilisation de clavier et de souris (Dupont et al., 2019; MacEwen et al., 2015). Des résultats contradictoires sur la mémorisation à court terme ont été observés sur les études évaluant les effets de tapis-bureau (Ojo et al., 2018). La réduction des performances pourrait être attribuée à l'intensité de l'exercice physique demandée aux participants des études (Cao et al., 2016). De plus, la majorité des études étant des études transversales, des études longitudinales permettraient d'avoir une meilleure interprétation des résultats (Ojo et al., 2018). Au regard

des performances motrices (utilisation d'un clavier et d'une souris), les tapis-bureaux entraînent une diminution des capacités, potentiellement expliquée par l'augmentation de l'activité musculaire pour équilibrer le corps lors de la marche et diminuant les capacités de coordination de tâches sur l'ordinateur (Botter et al., 2016; Fedorowich et al., 2015). En comparant les capacités de mémorisation à court terme en utilisant les stations de travail assises et celles actives (statiques et dynamiques), nous remarquons que ces capacités sont améliorées de manière plus importante à travers l'utilisation de stations actives de pédalage (Mullane et al., 2017). La revue systématique de Dupont *et al.* (2019) a mis en avant une absence de réduction des tâches motrices lors de l'utilisation de bureau pédalier (Dupont et al., 2019). Des travaux mettent aussi en avant qu'un bureau permettant de pédaler procure une vitesse de traitement de données supérieure aux autres stations de travail actives (Mullane et al., 2017; Torbeyns et al., 2016a).

Finalement, les données actuelles mettent en valeur que les stations de travail actives n'ont que peu d'impact sur une baisse de la productivité et de la performance des utilisateurs (Frodsham et al., 2020; Ramos et al., 2019). Toutefois, les utilisateurs de bureau debout et de bureau-pédalier présentent une perception d'effort significativement moins importante que lors de l'utilisation de tapis-bureau (Dupont et al., 2019; Podrekar et al., 2020). Cet élément est prépondérant de par la nécessité de combiner une activité physique et la réalisation de tâches professionnelles. Au vu des effets précédemment détaillés, les stations de travail assis-debout et utilisant un pédalier émergent comme les stations de travail produisant le moins d'impact cognitif et moteur sur les utilisateurs de ces stations.

2.4.4. Impacts physiologiques

Les bureaux actifs représentent des stratégies ambitieuses au regard des modifications comportementales qu'ils peuvent entraîner. Au-delà de l'ensemble des effets précédemment détaillés, il est nécessaire d'examiner les adaptations physiologiques que génèrent ces bureaux actifs. La mise en exergue des effets physiologiques est nécessaire pour comprendre l'impact potentiel de ces stratégies sur la santé globale des individus.

Une revue de la littérature menée par Tudor-Locke *et al.* (2014) a mis en avant des résultats contradictoires existant concernant la dépense énergétique des bureaux debout (Tudor-Locke et al., 2014). En effet, des études ont mis en avant des augmentations significatives de la

dépense énergétique en étant debout comparé à la position assise tandis que d'autres résultats observent des coûts énergétiques similaires (Tudor-Locke et al., 2014). Des travaux conduits par Miles-Chan *et al.* (2013) ont permis d'observer les réponses énergétiques des individus se mettant en position debout (Miles-Chan et al., 2013). Ces travaux ont observé une grande variabilité au regard des réponses énergétiques avec des individus augmentant significativement leur dépense énergétique en se mettant en position debout (> 5 % de variation) tandis que d'autres observaient une dépense équivalente à celle étant assis (< 5 % de variation). De manière intéressante, les sujets dépensant plus d'énergie lors de ce changement de position ne réagissaient pas de manière équivalente. Certains sujets considérés comme « *Responder Dropper* » observaient, après 5 premières minutes passées debout, une réduction de la fréquence cardiaque s'approchant de valeur équivalente à celle assise. Une revue de la littérature conduite par Miles-Chan et Dulloo (2017) a mis en évidence la variabilité inter-individuelle de la dépense énergétique des individus étant en position debout (**Figure 17**) (Miles-Chan and Dulloo, 2017). Cette étude précise ainsi que le pourcentage de variation entre la position assise et celle debout statique peut varier entre -15 % et +35 %, suggérant des effets peu satisfaisants de la station de travail debout dans un objectif d'augmentation de la dépense énergétique. Cette grande variabilité pourrait être justifiée par l'augmentation de la fréquence cardiaque lors de la mise en position debout et suggère ainsi une utilisation des bureaux assis-debout plutôt que des bureaux debout pour permettre une alternance régulière de la posture.

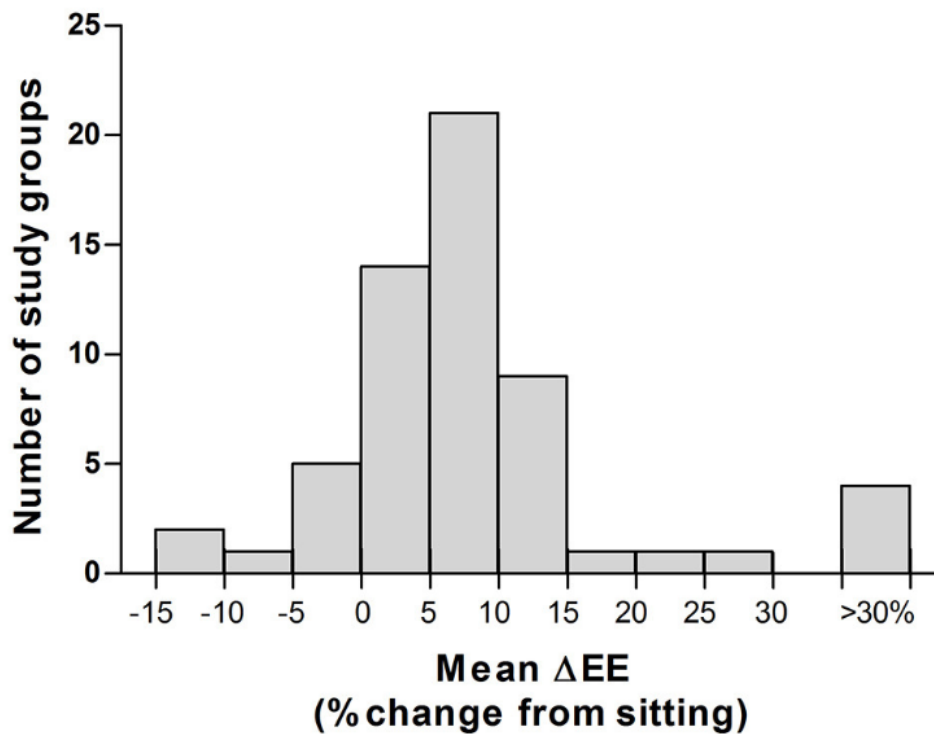


Figure 17 – Variabilités inter-études du coût énergétique de la position debout par rapport à la position assise

Histogramme de tous les coûts énergétiques de la position assise issues de toutes les études publiées entre 1952 et 2017 (n=32 études, 59 groupes).

Issue de Miles-Chan & Dulloo (2017)

Les bureaux actifs dynamiques induisent une dépense énergétique significativement supérieure aux bureaux conventionnels et debout (Tudor-Locke et al., 2014). De façon cohérente, les études mettent en avant une dépense énergétique plus importante pour des vitesses de marche ou des puissances développées lors du pédalage plus importantes (Botter et al., 2016; Cox et al., 2011; Tronarp et al., 2018). Au regard des études évaluant la dépense énergétique, les vitesses utilisées sur les tapis-bureaux étaient de 0.6, 1.6 et 2.5 kilomètres par heure et les puissances de pédalage étaient comprises entre 9 et 20 Watts (Botter et al., 2016; Cox et al., 2011; J. Carr et al., 2014; Levine and Miller, 2007; Schuna et al., 2020). Ces études, s'étant concentrées essentiellement sur une population en situation de surpoids/obésité, ont montré que la dépense énergétique observée sur ces stations actives dynamiques correspondait à des activités physiques d'intensité légère (1,5-2,9 METs). Au regard de la diminution de la sédentarité que procurent les stations de travail dynamiques, ces stratégies apparaissent comme des plus pertinentes grâce à une augmentation substantielle de la dépense énergétique des utilisateurs, supérieure au seuil de sédentarité.

Une récente étude a observé que la mise en position debout durant 10 minutes toutes les heures n'augmentait pas la fréquence cardiaque comparée à une position assise (Altenburg et al., 2019). Pourtant, une autre étude a observé sur une durée identique une augmentation significative de la fréquence cardiaque en étant en position debout (Miles-Chan et al., 2013). Différentes études ayant étudié les effets de l'utilisation de bureau debout tout en travaillant ont observé une augmentation significative de la fréquence cardiaque comparée à une station de travail en position assise (Botter et al., 2016; Cox et al., 2011). À l'image de la dépense énergétique, la fréquence cardiaque augmente de façon significative lors de l'utilisation de bureau actif dynamique comparé aux stations de travail assises et debout (Botter et al., 2016; Straker et al., 2009). Ces observations ont été récemment validées par une méta-analyse de la littérature scientifique (Podrekar et al., 2020).

Très peu d'études se sont intéressées aux effets des bureaux actifs sur la pression artérielle et l'ensemble de ces études se sont concentrées sur une population en situation de surpoids/obésité (Dupont et al., 2019). Parmi ces quelques études, nous pouvons observer des résultats contradictoires avec une pression artérielle systolique soit diminuée ou soit sans aucun changement d'observé (Cox et al., 2011; Zeigler et al., 2016). Les résultats de Zeigler et al. (2016) observant une réduction de la pression artérielle systolique peuvent être expliqués par les caractéristiques de la population, étant exclusivement des sujets préhypertendus (Zeigler et al., 2016). Au regard des travaux actuels sur ce sujet, Josaphat et al. (2019) précisent qu'il est actuellement impossible de conclure sur les effets des bureaux debout, de par la diversité de résultats observés dans la littérature (Josaphat et al., 2019). Au-delà de la pression artérielle, des études de la littérature mettent en avant l'augmentation de troubles cardiovasculaires, tel que des insuffisances veineuses dans les membres inférieurs, à travers un temps prolongé en position debout, indépendamment du sexe ou de la composition corporelle (Łastowiecka-Moras, 2021; Tüchsen et al., 2005). Par ailleurs, les résultats de la littérature présentent une grande diversité concernant les effets des bureaux actifs dynamiques sur la pression artérielle, avec une absence de modification ou des adaptations potentielles sur la pression artérielle systolique et diastolique (Bouchard et al., 2016; Champion et al., 2018; Chia et al., 2015; Cox et al., 2011; Torbeyns et al., 2016b; Zeigler et al., 2016). De récentes méta-analyses de la littérature ont observé que les évidences actuelles ne permettaient pas de mettre en avant des adaptations significatives de la pression artérielle à travers l'utilisation des tapis-bureaux et des bureaux-pédaliers (Oye-Somefun et al., 2021;

Podrekar et al., 2020). Pourtant, l'activité physique d'intensité légère a démontré des effets positifs sur une diminution de la pression artérielle mais la courte durée des interventions pourrait justifier le manque d'adaptation sur cette composante, mettant en avant la nécessité d'études longitudinales de longue durée (Podrekar et al., 2020). Au regard des réponses cardiovasculaires, les bureaux actifs dynamiques présentent des adaptations physiologiques intéressantes avec une augmentation de la fréquence cardiaque et une diminution de la pression artérielle (systolique et diastolique) chez des sujets en surpoids ou obèses (Podrekar et al., 2020).

En complément des effets cardiovasculaires, plusieurs études se sont intéressées à l'évolution de marqueurs cardiométaboliques liés à l'utilisation de bureaux actifs. Une récente étude réalisée chez des sujets en surpoids ou obèse a observé qu'une utilisation de bureau assis-debout pendant 24 semaines permettait de diminuer différents marqueurs cardiométaboliques tels que le cholestérol total, les triglycérides et l'insulinémie (Bodker et al., 2021). Chez une population similaire, différentes études ont montré les bénéfices des bureaux debout sur la glycémie à jeun et postprandiale ainsi que la concentration de glucose interstitiel sur 24 heures (Buckley et al., 2014; Crespo et al., 2016; Healy et al., 2017). De même que pour les paramètres mentionnés précédemment, très peu d'études ont évalué l'évolution de marqueurs cardiométaboliques en lien avec l'utilisation de bureau-actif dynamique (Podrekar et al., 2020). Parmi ces quelques études, les interventions suggèrent une diminution de la glycémie et l'insulinémie mais ne permettent pas de mettre en avant d'autres améliorations.

Au regard des adaptations physiologiques liées à l'utilisation des bureaux actifs, nous observons un cruel manque de données robustes permettant de conclure sur les effets de ces derniers. Toutefois, les études existantes tendent à montrer des bénéfices accrus pour les bureaux actifs dynamiques, justifiés en partie par une augmentation conséquente de la dépense énergétique comparée aux stations de travail assise et debout. De futures études évaluant les effets de l'utilisation de bureaux actifs dynamiques sur les adaptations cardiométaboliques sont nécessaires afin de permettre une meilleure compréhension de ces effets à court, moyen et long terme. L'ensemble des résultats des études scientifiques sur les stations de travail actives et de leurs effets psycho-physiologiques est synthétisé dans le **Tableau 3**.

Tableau 3 – Synthèse des résultats des études exploratoires sur les caractéristiques psycho-physiologiques des bureaux actifs

	<i>Statique</i>		<i>Dynamique</i>	
	Bureau debout	Bureau assis-debout	Tapis-bureau	Vélo-bureau/Bureau pédalier
Impacts biomécaniques	Risques de troubles musculosquelettiques	Nécessité d'alterner régulièrement de position pour réduire les risques de troubles musculosquelettiques	Augmentation de l'activation musculaire (membres inférieurs et région scapulaire) Risque de fatigue et de tensions musculaires dans les zones activées	Augmentation de l'activation musculaire Pas d'augmentation de l'inconfort et de douleurs musculosquelettiques Nécessité d'études évaluant les différences entre vélo-bureau et bureau pédalier
Impacts sur le bien-être	Amélioration de l'éveil, du niveau de bonheur et de bien-être Amélioration régulation du stress		Amélioration de l'éveil, de la régulation du stress et de la satisfaction liée à une tâche réalisée Diminution de l'ennui	Amélioration de l'éveil, de la motivation et du moral Diminution de l'ennui Résultats contradictoires sur le stress et la satisfaction liée à une tâche réalisée
Impacts sur la performance au travail	Pas d'altérations cognitives Pas de modification sur l'utilisation du clavier et de la souris		Résultats contradictoires sur la mémorisation à court terme Diminution des performances motrices et de la coordination nécessaire pour les tâches sur l'ordinateur	Amélioration de la mémoire à court terme et de la vitesse de traitement des données Pas de réduction des tâches motrices
Impacts physiologiques	Résultats hétérogènes et variabilité inter-individuelle sur la dépense énergétique et la fréquence cardiaque Résultats contradictoires sur la pression artérielle Augmentation de troubles cardiovasculaires (insuffisances veineuses) Réduction de marqueurs cardiométaboliques chez des sujets obèses		Augmentation de la dépense énergétique et de la fréquence cardiaque Résultats contradictoires sur la pression artérielle Réduction de marqueurs cardiométaboliques chez des sujets obèses	Augmentation de la dépense énergétique et de la fréquence cardiaque Résultats contradictoires sur la pression artérielle Réduction de marqueurs cardiométaboliques chez des sujets obèse

Pour conclure cette partie, nous observons que de futures études portant sur l'ensemble des sujets abordés permettraient de comprendre de façon plus précise les adaptations qu'ont les utilisateurs de ces stratégies. La grande majorité des études ont été réalisées sur des sujets en surpoids ou obèses et les données sur une population normo-pondérée en prévention primaire manquent. Actuellement, on observe de façon claire que les bénéfices associés à chacune des stations de travail ne sont pas équivalents. À travers les études que nous avons décrites nous observons la potentialité d'observer de plus grand bénéfices biomécaniques, de bien-être et physiologiques avec l'utilisation de station dynamique (pédalage ou marche) comparé aux stations statiques. Les effets sur la performance au travail tendent toutefois à valoriser les bureaux assis-debout et les bureaux-pédaliers. Au regard de l'ensemble des paramètres détaillés, les bureaux actifs dynamiques permettant de pédaler émergent comme l'une des stratégies les plus prometteuses pour contrebalancer les effets délétères de la sédentarité et de l'inactivité physique sur la santé globale des employés de bureau en permettant de ne pas impacter les performances au travail.

2.5. Vers une implémentation dans le milieu écologique

Les bienfaits apportés par l'utilisation des stations de travail actives ne doivent pas omettre l'objectif premier de ces stations : l'implémentation dans l'entreprise. En effet, aussi bénéfiques soient-elles, ces stations doivent être implémentées au mieux possible dans les entreprises pour pouvoir être utilisées par les personnes travaillant à des postes à forte exposition de comportements sédentaires.

L'implémentation dans le milieu écologique représente donc un aspect non négligeable et à considérer pour permettre une diffusion des bureaux actifs dans les entreprises. En effet, comme le précise Genin *et al.* (2019), les stratégies visant à promouvoir le mouvement dans l'entreprise doivent considérer la cohérence et la compatibilité avec l'environnement de travail (Genin et al., 2019). De par les évidences actuelles, les bureaux actifs dynamiques sont certes à promouvoir dans les espaces de travail mais l'implémentation dans les entreprises est difficile, expliquée par les limites financières et de design de ces outils. Les vélos-bureaux et les tapis de marche sont des outils onéreux (de 500 à 3500 US\$), ayant un manque évident de mobilité en raison de leurs poids et ils présentent un volume considérable limitant leur installation dans des bureaux de taille réduite (Carr et al., 2012). Ces caractéristiques peuvent

potentiellement obliger une restructuration de l'environnement de travail pour les entreprises, réduisant la probabilité d'une implémentation de ces stratégies au sein de ces dernières. Afin de contrebalancer ces problématiques, les pédaliers de bureaux ont émergé comme un outil prometteur au regard de leurs capacités à être positionnés sous un bureau sans grande modification de l'espace de travail, à être facilement utilisables et par leur faible coût (Carr et al., 2012).

Actuellement, les résultats que nous avons pu détailler dans cette première partie du manuscrit, ne permettent pas de postuler sur une stratégie spécifique et précise à mettre en place dans les entreprises pour réduire la sédentarité et augmenter l'activité physique. Le nombre limité d'études, les petites tailles d'échantillon, l'hétérogénéité des travaux et le manque d'études rigoureuses (randomisées, contrôlées, multicentriques et à long terme) expliquent le manque de connaissances actuelles auxquelles nous faisons face (Shrestha et al., 2018). Enfin, la sédentarité et l'inactivité physique augmentent de façon considérable le risque de mortalité, indépendamment du statut pondéral des individus (Ekelund et al., 2016; Stamatakis et al., 2019a), justifiant le besoin d'études portant sur des populations saines normo-pondérés pour observer et comprendre les effets potentiels de l'utilisation de pédalier de bureau en prévention primaire.

PARTIE II – CONTRIBUTION PERSONNELLE

OBJECTIFS

Au regard de la revue de la littérature précédemment détaillée, les effets délétères sur la santé des individus liés au manque d'activité physique et à l'excès de temps passé à des comportements sédentaires sont évidents. Les diverses évolutions sociétales ont abouti à une diminution chronique de l'activité physique au profit de la sédentarité, particulièrement dans le milieu professionnel. En effet, ces comportements apparaissent de manière considérable au sein de l'espace de travail et l'une des solutions les plus prometteuses pour améliorer ces comportements du mouvement est l'utilisation de bureau actif durant le temps de travail. Divers bureaux actifs existent et ceux considérés comme dynamiques présentent les meilleurs bénéfices pour améliorer la santé. Parmi ces stratégies, les pédaliers de bureau émergent comme une stratégie financièrement accessible et aisément implémentable au sein de l'espace de travail. Il semble donc nécessaire de questionner l'intérêt de l'utilisation de cette stratégie dans le but d'optimiser les comportements humains permettant de promouvoir un mode de vie plus actif et sain.

En ce sens, ce travail de doctorat a eu pour objectif de questionner l'intérêt de l'utilisation de pédaliers de bureau pour améliorer la santé globale des salariés du secteur tertiaire. Cet objectif s'est décliné à travers les sous-objectifs ci-dessous :

- **Valider scientifiquement** un protocole expérimental utilisant de façon randomisée un pédalier de bureau 60 minutes par jour travaillé vs un groupe contrôle durant 3 mois auprès de salariés du secteur tertiaire afin de mesurer ses effets sur les niveaux d'activité physique et de sédentarité, la composition corporelle, les capacités physiques, les facteurs de risques cardiométaboliques, les adaptations énergétiques, les paramètres psychologiques et ergonomiques, ainsi que les effets de l'ajout de 3 mois supplémentaires (protocole décrit dans l'**Article 1**).
- **Étude 1** : **Explorer** les profils énergétiques de femmes salariées du secteur tertiaire lors de l'utilisation d'un pédalier de bureau à faible intensité et **caractériser** les paramètres cardiométaboliques associés à ces profils (**Article 2**).
- **Étude 2** : **Évaluer** les effets de l'utilisation d'un pédalier de bureau 60 minutes par jour travaillé durant 3 mois auprès de femmes salariées du secteur tertiaire et ses effets

sur les niveaux d'activité physique et de sédentarité, la composition corporelle, les capacités physiques et les marqueurs cardiométaboliques (**Article 3**).

La méthodologie des articles 2 et 3 a été conduite sur la base du protocole expérimental REMOVE publié dans l'article 1.

Ce travail de thèse a été effectué au sein de la ville de Clermont-Ferrand avec des établissements du secteur tertiaire ayant accepté d'être partenaires et volontaires pour la réalisation des protocoles expérimentaux. Au regard des difficultés imposées par la pandémie du SARS-CoV-2, le rectorat de l'académie de Clermont-Ferrand a préféré se retirer du projet et seules l'Université Clermont Auvergne et la Caisse Primaire d'Assurance Maladie de Clermont-Ferrand ont participé aux études permettant de répondre à nos objectifs. En effet, les études issues des articles 2 et 3 se sont déroulées entre janvier 2020 et juin 2021, des périodes caractérisés par un contexte sanitaire et social français bouleversé par divers confinements, nous obligeant à modifier les dates d'évaluation et à adapter le protocole initial.

MÉTHODOLOGIE

La méthodologie qui va être décrite dans cette partie est issue de l'étude expérimentale REMOVE, qui a fait l'objet d'une publication scientifique, afin de valider scientifiquement son protocole exploratoire (**article 1**) (Guirado et al., 2021). Toutefois, en raison du contexte sanitaire et social associé à la pandémie du SARS-CoV-2, des adaptations ont été nécessaires afin de permettre la mise en œuvre du protocole. Le protocole initial est décrit en première partie de cette section (tel qu'il a été pensé et publié) puis dans la deuxième partie, les modifications apportées seront expliquées.

Plan général de l'étude

L'étude REMOVE est un essai prospectif, exploratoire, randomisé, contrôlé, multicentrique, ouvert, à deux bras parallèles chez des employés de bureau du secteur tertiaire. Quarante employés du secteur tertiaire devaient être recrutées chaque année, sur une période de deux ans, pour participer à ce protocole (n=80). Le recrutement des sujets a été fait au sein de deux établissements professionnels du secteur tertiaire, comprenant six structures d'accueil différentes, où les participantes ont ensuite été réparties en deux groupes : i) INT, un groupe interventionnel devant pédaler durant 6 mois à raison de 60 minutes par jour travaillé ; ii) CTRL, un groupe contrôle ne devant pas changer ses habitudes de vie pendant 3 mois puis sur les 3 mois suivants pédaler à raison de 60 minutes par jour travaillé. Pour être inclus dans l'étude, les sujets devaient être physiquement inactifs (moins de 150 minutes d'activité physique modérée à vigoureuse par semaine), avoir un indice de masse corporelle (IMC) inférieur à 29,9 kg/m², travailler à hauteur de 80% d'un temps plein et dont le trois quart de ce temps était en position assise, être capable d'utiliser un pédalier de bureau au travail et/ou en télétravail, ne pas allaiter ou être enceinte, ne pas avoir de troubles cardiovasculaires ou métaboliques, ne pas suivre de régime (durant au moins les 6 derniers mois), ne pas prendre de traitement médicamenteux (à l'exception de la pilule contraceptive) et avoir un poids corporel stable (<3kg au cours des 6 mois précédant l'inclusion). L'affectation des participantes aux groupes INT et CTRL a été réalisée de manière randomisée avec un ratio de 1:1 stratifié par centre (six structures de travail), âge et IMC. Une lettre d'information a été donnée à chaque sujet et le consentement éclairé de l'ensemble des participantes a été

obtenu. L'étude REMOVE a été approuvée par le Comité de Protection des Personnes (IDF VIII 19 09 66) et a été enregistrée sur ClinicalTrials.gov (NCT04153214).

Protocole expérimental

Avant toute inclusion, un examen médical complet pour évaluer l'admissibilité a été effectué pour l'ensemble des sujets. Avant chaque visite expérimentale (au début du protocole et après 12 mois d'intervention), il a été demandé aux sujets de maintenir leurs activités du quotidien et de ne pas consommer de produits stimulants (thé, café), ainsi que d'éviter les situations stressantes lors des 24 heures précédant la journée d'évaluation. Après un jeûne de 12 heures, les sujets se sont présentés à 8 heures au laboratoire des adaptations métaboliques à l'exercice en condition physiologiques et pathologiques (AME2P), situé à Clermont-Ferrand. Les paramètres anthropométriques, la composition corporelle, les paramètres biologiques, les adaptations énergétiques au repos et à l'exercice, la condition aérobie, les capacités musculaires, les niveaux de stress et d'anxiété, la qualité et de vie, les contraintes professionnelles, les comportements alimentaires, ainsi que le temps passé en activité physique et en comportements sédentaires ont été mesurés au début du protocole (T0), 3 mois après (T1) et 6 mois après (T2) (110 et 111). De plus, les comportements d'activité physique et de sédentarité ont été aussi quantifiés au cours d'une évaluation réalisée exclusivement pour le groupe INT lors de leur dernière semaine de pédalage à 3 mois (T1ppm) et à 6 mois pour les deux groupes (T2ppm) (110).

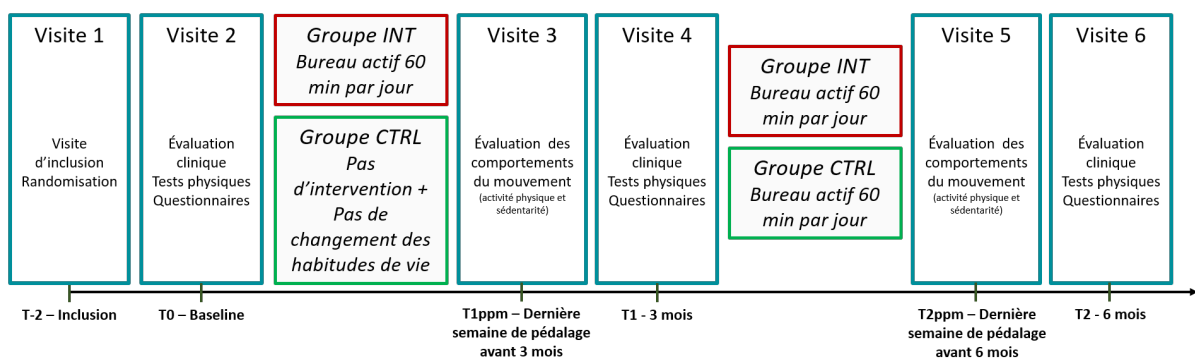


Figure 18 – Schéma de l'étude REMOVE

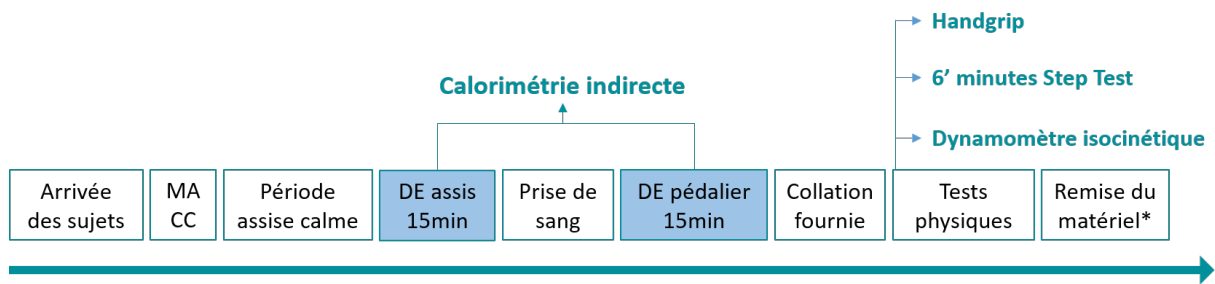


Figure 19 – Schéma de la visite expérimentale de l'étude REMOVE

CC, composition corporelle ; DE, dépense énergétique ; MA, mesures anthropométriques ; *, accéléromètre/inclinomètre/cardiofréquence/mètre/questionnaires

Il a été demandé au groupe INT de pédaler sur un pédalier de bureau (DeskCycle, 3D Innovations LLC., Greeley, CO, États-Unis) pendant 12 semaines, 60 minutes par jour travaillé, à raison de 2 séances de 30 minutes (matin et après-midi) en réalisant la prescription de façon continue ou fractionnée. Chaque participant du groupe INT a reçu une visite de familiarisation pour permettre une utilisation adéquate du pédalier et pour permettre une adaptation de leurs postes de travail en ajustant leurs sièges avec le pédalier. L'ensemble des sujets ont effectué toutes leurs sessions de pédalage à la même intensité (niveau de résistance mécanique positionné au niveau 2 sur 8) permettant de pédaler à un minimum de résistance (entre 16 et 25 Watts). Le temps et la distance de pédalage réalisés étant affichés sur le moniteur du pédalier, il a été demandé aux participants de remplir chaque jour leurs activités. Un membre de l'équipe de recherche a recueilli les données des participants chaque semaine. Il a été indiqué au groupe CTRL de maintenir leurs activités quotidiennes habituelles (activité physique et alimentation) pendant les 3 premiers mois puis sur les 3 suivants de réaliser la même prescription que le groupe INT.

Mesures

Mesures anthropométriques et composition corporelle

La taille des participantes a été obtenue avec une toise à 0.1 cm près et le poids par une balance calibrée (SECA, Les Mureaux, France). Un mètre-ruban a été utilisé pour déterminer la circonférence de la taille à 0.5 cm près et le rapport tour de taille/taille a ensuite été calculé. La composition corporelle a été évaluée à jeun avec une balance impédancemètre bioélectrique (Tanita MC-780, Arlington Heights, États-Unis) pour déterminer la masse grasse et la masse maigre en pourcentage et en kilogramme (Wang et al., 2013).

Paramètres biologiques

Il a été demandé aux sujets de rester confortablement installé sur une chaise longue pour obtenir un échantillon sanguin à jeun. Avant les analyses, tous les échantillons de sang ont été centrifugés et le plasma a été conservé congelé dans des aliquots à -80 °C. Des dosages enzymatiques commerciaux (Dimension Vista® system, Siemens Healthcare Diagnostics Inc., Newark, États-Unis) ont été utilisés pour évaluer les niveaux de glucose plasmatique, de triglycérides, de lipoprotéines de basse densité (LDL-cholestérol), de lipoprotéines de haute densité (HDL-cholestérol), de cholestérol total, de protéine C-réactive ultrasensible (CRP-us). L'insuline a été mesurée par des dosages immunoenzymatiques par chimiluminescence (Siemens Immulite® 2000, Siemens Healthcare Diagnostic, Gwynedd, Royaume-Uni). L'évaluation du modèle d'homéostasie de la résistance à l'insuline (HOMA-IR) a été déterminée par la formule suivant : $\text{insulinémie à jeun (mU/L)} \times \text{glycémie à jeun (mmol/L)} / 22.5$ (Wallace et al., 2004).

Dépense énergétique au repos et à l'exercice

Après étalonnage de l'appareil, la calorimétrie indirecte avec un masque (MetaMax 3b, Cortex Biophysik, Leipzig, Allemagne) a été utilisée pour mesurer la consommation d'oxygène (VO_2) et la production de dioxyde de carbone (VCO_2) permettant de déterminer la dépense énergétique et l'oxydation des substrats. Un cardiofréquencemètre (Polar A300, Polar, Kempele, Finlande) a été utilisé pour la durée de l'investigation. Avant de réaliser l'épreuve de repos, les sujets étaient assis calmement pendant 15 minutes. Pour la condition de repos, les sujets sont restés allongés pendant une période de 20 minutes. À la suite de cette période, il a été demandé aux sujets de rester calme, de ne pas parler et d'éviter tout mouvement. Les échanges gazeux ont ensuite été enregistrés pendant 15 minutes minimum et seules les 5 dernières minutes furent analysées, comme suggéré précédemment dans la littérature et furent considéré comme la mesure de la condition 'repos' (Compher et al., 2006). Pour la condition d'exercice, les sujets ont été soumis à un exercice d'intensité légère de 30 minutes sur un pédalier de bureau (DeskCycle, 3D Innovations LLC., Greeley, CO, USA) avec une résistance fixée à 2 sur 8 et à un rythme de 50 révolutions par minute durant l'ensemble du test, équivalent à une puissance de ≈ 16 watts. Un investigateur de l'étude a supervisé l'entièreté de l'exercice pour s'assurer que les participantes respectaient la vitesse demandée et pour relever à la fin du test la distance parcourue pour s'assurer que les conditions de

l'activité soient similaires entre les sujets. Après les 30 minutes d'exercices, les sujets avaient une minute de récupération. Les échanges gazeux ont été mesurés durant toute la durée de l'exercice et lors de la récupération. La dépense énergétique a été déterminée par l'équation de Weir, le quotient respiratoire par le rapport entre la VCO_2 et la VO_2 et l'utilisation des substrats par les équations de Péronnet & Massicotte (Péronnet and Massicotte, 1991; Weir, 1949)

Condition Physique

Les participantes ont effectué un 6 minutes Step Test en portant un cardiofréquencemètre (Polar A300, Polar, Kempele, Finlande) pour déterminer leur capacité aérobie (Chatterjee et al., 2004). La fréquence cardiaque a été relevée avant le test, à la fin de ce dernier, après 30 et 60 secondes de récupération réalisée en position assise statique. Un test de handgrip sur les bras dominants et non-dominants a été effectué (Leong et al., 2015). Trois mesures ont été réalisées et seulement la meilleure fut enregistrée. Ensuite, les sujets ont été assis confortablement avec une articulation de la hanche positionnée à 105° de flexion et attachée avec des sangles Velcro au niveau du tronc, de la hanche et de la jambe gauche d'un dynamomètre isocinétique (Biodex System 2, Biodex, Shirley, États-Unis). La force et la puissance ont été évaluées en contraction isométrique durant 3 secondes à travers une contraction maximale volontaire (CMV) à un angle du genou de 90° et en concentrique durant une CMV à une vitesse de $60^\circ/s$ et de $120^\circ/s$.

Niveaux d'activité physique et de sédentarité

Au lendemain de T0, il a été demandé aux participantes de porter pendant 7 jours avec au moins un jour de week-end un accéléromètre ActiGraph wGT3X-BT (AG) (ActiGraph, Inc., Pensacola, FL) pour déterminer le temps passé en activité physique et un inclinomètre activPAL3 micro (AP3) (PAL Technologies Limited, Glasgow, Royaume-Uni) pour caractériser le temps passé en comportements sédentaires. À T1, les participantes du groupe CTRL ont porté les deux appareils de nouveau pendant 7 jours, tandis que le groupe INT les a portés deux fois 7 jours pour évaluer le temps passé en activité physique et en comportements sédentaires durant la dernière semaine d'utilisation du pédalier de bureau (T1ppm) et 7 jours sans le pédalier (T1). Les deux groupes ont ensuite porté les appareils deux fois 7 jours à T2ppm et T2. L'ensemble des données analysées de chaque moniteur indiquaient au minimum

4 jours d'enregistrement (incluant un jour week-end) avec un temps de port d'au minimum 10 heures par jour (Aguilar-Farias et al., 2019; Tudor-Locke et al., 2012). Bien que l'accéléromètre fut enlevé la nuit et que l'inclinomètre fut porté en continu, seul les moments où chaque participant portait les deux appareils ont été analysés.

Il a été demandé aux sujets de porter l'accéléromètre sur la hanche droite grâce à une ceinture élastique pendant les heures éveillées. Les données ont été recueillies à une fréquence de 60 Hertz et converties en « counts » par période de 60 secondes à l'aide du logiciel du fabricant (ActiLife version 6.13.4). Le temps où l'appareil ne fut pas porté a été défini par l'algorithme suivant : 90 minutes avec 0 « count » par minute (cpm) avec une tolérance de 2 minutes d'activité lorsqu'elle est placée entre deux créneaux de 30 minutes avec 0 « count » par minute (Choi et al., 2012). L'intensité de l'activité relative aux comportements sédentaires a été calculée à partir de l'axe vertical et l'activité physique avec la magnitude des vecteurs. Les comportements sédentaires ont été définis par les données inférieures à 150 cpm (Kozey-Keadle et al., 2011). L'activité physique d'intensité légère a été obtenue par la soustraction des données de comportements sédentaires avec les données inférieures à 2689 cpm, l'activité physique d'intensité modérée à intense par les données comprises entre 2690 et 6166 cpm et l'activité physique d'intensité vigoureuse par les données supérieures à 6467 cpm (Sasaki et al., 2011). Le nombre de périodes d'activité physique d'intensité modérée à intense supérieur à 10 minutes et le temps moyen de ces périodes ont été analysés.

L'inclinomètre a été positionné dans une douille en nitrile et fixé à la ligne médiane antérieure de la cuisse droite des participantes à l'aide d'un patch adhésif. L'appareil a été porté en continu durant la phase d'enregistrement (24/24 heures). Les données ont été enregistrées sur des périodes de 15 secondes à une fréquence de 20 Hertz, puis analysées avec le logiciel du fabricant (activPAL software, version 8.11.6.94). Le temps passé en position assise et allongée a été extrait et considéré en tant que comportements sédentaires. Le temps passé dans des positions autres que celles sus-mentionnées a été considéré en tant que comportements dits 'debout'. Le nombre de transition entre la position assise et celle debout et leur taux relatif au temps passé en comportements sédentaires (breaks de comportements sédentaires par heure de sédentarité) ont été déterminés (Lyden et al., 2012). De plus, une analyse a été réalisée concernant le nombre de périodes d'accumulation de comportements sédentaires inférieurs à 30 minutes, compris entre 30 et 60 minutes, ainsi que le temps moyen de ces accumulations.

Stress et anxiété

Afin d'évaluer les niveaux de stress et d'anxiété, différentes évaluations ont été menées à travers des méthodes subjectives et objectives. Parmi les mesures objectives, la mesure d'anandamide plasmatique à jeun a été évaluée par des dosages utilisant la technique d'immunoabsorption par enzyme liée (ELISA) (Cloud-Clone Corporation, Houston, Texas, États-Unis). De plus, la mesure de la variabilité sinusale de la fréquence cardiaque durant 24 heures a été évaluée par un cardiofréquencemètre (Zephyr BioHarness, Zephyr Technology, Annapolis, USA) et analysée suivant les recommandations de la « Task Force » (Heart Rate Variability, 1996). Pour compléter ces mesures, une évaluation des niveaux de stress à domicile et au travail a été menée par le remplissage d'une échelle visuelle analogique, déterminée par une ligne horizontale de 100 millimètres et classant le niveau de stress de très faible (1 – absence de stress) à très élevé (100 – stress maximal) (Lesage and Berjot, 2011). Le questionnaire Two Factor Equanimity Scale a été utilisé pour évaluer la capacité d'équilibre attentionnel, émotionnel et cognitif de l'esprit (Ekman et al., 2005; Juneau et al., 2020).

Qualité de vie et contraintes professionnelles

Différents questionnaires ont été administrés aux sujets pour déterminer la qualité de vie de ces derniers et les contraintes professionnelles associées à leur quotidien. Le Job Content Questionnaire a été utilisé pour évaluer le lien entre les caractéristiques de l'espace de travail avec la santé et le bien-être, s'appuyant sur le modèle de « demande-contrôle » (Karasek, 1979; Karasek et al., 2007). Afin de déterminer le déséquilibre entre les efforts consentis au travail et les récompenses associées à ces derniers, le Effort-Reward Imbalance Questionnaire a été administré aux sujets (Siegrist et al., 2004, 2019). Les douleurs ressenties dans 10 zones anatomiques distinctes (nuque/cou, épaule/bras, coude/avant-bras, main/poignet, doigts, haut du dos, bas du dos, hanche/cuisse, genou/jambe et cheville/pied) durant les 12 derniers mois, les 7 derniers jours et au moment du remplissage du Nordic Musculoskeletal Questionnaire ont été relevées (Descatha et al., 2007; Gourmelen et al., 2007; Kuorinka et al., 1987). Enfin, 5 échelles visuelles analogiques ont été fournies pour évaluer la fatigue mentale, la fatigue physique, le burnout, la qualité de vie et la qualité du sommeil, déterminée par une ligne horizontale de 100 millimètres et classant les paramètres évalués de très faible (1) à très élevé (100) (Dutheil et al., 2012).

Comportements alimentaires

Deux questionnaires complémentaires ont été administrés pour évaluer les comportements alimentaires des sujets (Blundell et al., 2010). La version française révisée du Three-Factor Eating Questionnaire a été utilisée pour évaluer trois domaines distincts : l'alimentation incontrôlée, l'alimentation émotionnelle et les restrictions cognitives (de Lauzon-Guillain et al., 2009). Les réponses ont été codées suivant les instructions de Cappelleri *et al.* (2009) (Cappelleri et al., 2009). Le second questionnaire utilisé a été la version française du Dutch Eating Behaviour Questionnaire, codé suivant les instructions de Lluch *et al.* (1996) et permettant d'évaluer aussi trois domaines distincts : l'alimentation externe, restrictive et émotionnelle (Lluch et al., 1996).

Modifications du protocole expérimental

Les études expérimentales de ces travaux de thèse se sont déroulées en plein cœur de la pandémie mondiale du SARS-CoV-2, impactant de ce fait la bonne tenue du protocole original (**Article 1**). En effet pour la 1^{ère} vague de l'étude REMOVE nous n'avons pas pu réaliser les évaluations à T1ppm et T1, nous permettant seulement d'avoir accès aux données initiales des sujets (**Tableau 4**), ayant mené aux résultats présentés dans l'étude 1 (**Article 2**). Pour la seconde vague, l'augmentation du temps consacré à l'inclusion des sujets a entraîné la nécessité de réduire la durée du protocole REMOVE à 3 mois pour permettre sa réalisation (**Tableau 5**) et les données issues de cette vague sont présentées au sein de l'étude 2 (**Article 3**). Ainsi, les adaptations apportées à la réalisation des études REMOVE se situent dans la durée totale d'investigation et aucune modification méthodologique liée aux mesures exploratoires ou à l'intervention n'ont eu lieu.

Tableau 4 – Réalisation des mesures de la 1^{ère} vague (2020) du protocole REMOVE

Mesures	T0	T1ppm	T1	T2ppm	T2
Niveaux d'activité physique et de sédentarité	✓	X	X	X	X
Mesures anthropométriques	✓		X		X
Composition corporelle	✓		X		X
Paramètres biologiques	✓		X		X
Dépense énergétique au repos et à l'exercice	✓		X		X
Condition physique	✓		X		X
Stress et anxiété	✓		X		X
Qualité de vie et contraintes professionnelles	✓		X		X
Comportements alimentaires	✓		X		X

Tableau 5 – Réalisation des mesures de la 2^{ème} vague (2021) du protocole REMOVE

Mesures	T0	T1ppm	T1	T2ppm	T2
Niveaux d'activité physique et de sédentarité	✓	✓	✓	X	X
Mesures anthropométriques	✓		✓		X
Composition corporelle	✓		✓		X
Paramètres biologiques	✓		✓		X
Dépense énergétique au repos et à l'exercice	✓		✓		X
Condition physique	✓		✓		X
Stress et anxiété	✓		✓		X
Qualité de vie et contraintes professionnelles	✓		✓		X
Comportements alimentaires	✓		✓		X

Article 1 : Effets de la mise en mouvement sur la santé de salariés du secteur tertiaire à travers l'utilisation d'un bureau pédalier : protocole de l'étude expérimentale REMOVE

Résumé

Introduction : Les comportements sédentaires et les faibles niveaux d'activité physique sont des prédicteurs de morbidité et de mortalité. Les employés du secteur tertiaire passent une grande partie de leur temps quotidien en position assise et de nouvelles stratégies efficaces sont nécessaires pour réduire le temps sédentaire et augmenter l'activité physique. Dans ce contexte, l'étude REMOVE vise à évaluer la faisabilité et les effets sur la santé d'une intervention de 24 semaines auprès des employés de bureau.

Méthode : Une étude comparative randomisée, prospective, ouverte, multicentrique, parallèle à deux bras sera menée auprès d'employés de bureau. Les employés de bureau (N=80) qui ont 80 d'équivalent temps plein et 75% de ce temps en position assise seront recrutés au sein d'établissements tertiaires de Clermont-Ferrand, France. Les sujets seront affectés aléatoirement à l'une des deux interventions suivantes : i) PPM6 : pratique de deux fois trente minutes de bureau-pédalier (à l'aide d'un appareil d'exercice portatif à pédales – PPM) par jour de travail pendant six mois, ou ii) CTL_PPM3 : trois mois sans intervention (contrôle) suivi de 3 mois pendant lesquels les travailleurs seront invités à utiliser deux fois 30 min le PPM par jour travaillé. Au départ (T0), à 3 mois (T1) et à 6 mois (T2) après le début des interventions, les temps d'activité physique et de comportements sédentaires pendant 7 jours (accéléromètres 3 dimensions), la composition corporelle (impédance bioélectrique), la condition physique (aérobie, force des membres supérieurs et inférieurs), les paramètres métaboliques (échantillons de sang à jeun), la dépense énergétique au repos et durant un exercice de pédalage (calorimétrie indirecte), les niveaux auto-rapportés de stress, d'anxiété, de la qualité de vie au travail et des contraintes professionnelles (questionnaires), les comportements alimentaires (questionnaires) seront mesurés. Une approche ergonomique basée sur des observations et des entretiens individuels sera utilisée pour identifier les paramètres qui pourraient déterminer l'adhésion.

Discussion : L'étude REMOVE sera la première étude contrôlée et randomisée à évaluer les effets des bureaux-pédaliers sur des mesures objectives d'activité physique et de comportements sédentaire pendant et en dehors des heures de travail et sur les principaux résultats physiologiques et psychologiques en matière de santé. Cette étude fournira des renseignements importants sur la faisabilité et la mise en œuvre de ces postes de travail actifs chez les employés de bureau et sur les bénéfices potentiels pour la santé.

STUDY PROTOCOL

Open Access

Effects of cycling workstation to get tertiary employee moving on their overall health: study protocol for a REMOVE trial



Terry Guirado^{1,2,3,4}, Lore Metz^{1,2*}, Bruno Pereira⁵, Audrey Bergouignan^{6,7}, David Thivel^{1,2} and Martine Duclos^{2,3,4}

Abstract

Background: Sedentary behaviour (SB) and low levels of physical activity (PA) are predictors of morbidity and mortality. Tertiary employees spend a considerable amount of their daily time seated and new efficient strategies to both reduce sedentary time and increase physical activity are needed. In that context, the REMOVE study aims at evaluating the health effects of a 24-week cycling desk intervention among office workers.

Methods: A prospective, open-label, multicentre, two-arm parallel, randomized controlled trial (RCT) will be conducted in office-sitting desk workers. Office workers ($N = 80$) who have 0.8 full time equivalent hours (FTE) and 75% of this time in a sitting position will be recruited from tertiary worksites in Clermont-Ferrand, France. Subjects will be randomly assigned to one of the two following interventions: (i) PPM6: performance of two 30 min of cycling desk (using portable pedal exercise machine—PPM) per working day for 6 months or (ii) CTL_PPM3: 3 months with no intervention (control) followed by 3 months during which workers will be asked to complete two 30 min of PPM per working day. At baseline (T0), at 3 months (T1) and at 6 months (T2) after the start of the interventions, primary outcomes; 7-day PA and SB (3D-accelerometers), secondary outcomes; body composition (bioelectrical impedance), physical fitness (aerobic fitness, upper and lower limb strength), metabolic outcomes (fasting blood samples), self-perceived stress, anxiety, quality of life at work and job strain (questionnaires), tertiary outcomes; resting metabolic rate and cycling energy expenditure (indirect calorimetry) and eating behaviours (questionnaires) will be measured. An ergonomic approach based on observations and individual interviews will be used to identify parameters that could determine adherence.

Discussion: The REMOVE study will be the first RCT to assess the effects of cycling workstations on objectively measured PA and SB during working and non-working hours and on key physiological and psychological health outcomes. This study will provide important information regarding the implementation of such cycling workstations in office workers and on the associated potential health benefits.

* Correspondence: lore.metz@uca.fr

¹EA 3533, Laboratory of the Metabolic Adaptations to Exercise under Physiological and Pathological Conditions (AME2P), UE3533, Clermont Auvergne University, F-63171 63170 Aubiere CEDEX, 80026 Clermont-Ferrand, BP, France

²Auvergne Research Center for Human Nutrition (CRNH), 63000 Clermont-Ferrand, France

Full list of author information is available at the end of the article



© The Author(s). 2021 **Open Access** This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>. The Creative Commons Public Domain Dedication waiver (<http://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/>) applies to the data made available in this article, unless otherwise stated in a credit line to the data.

Trial registration: [ClinicalTrials.gov NCT04153214](https://clinicaltrials.gov/ct2/show/study/NCT04153214). Registered on November 2019, version 1

Keywords: Sedentary behaviours, Physical activity, Cycling workstation, Randomized controlled trial, Workplace, Tertiary societies, Prevention

Background

Sedentary behaviour (SB) is defined as any waking behaviour characterized by an energy expenditure ≤ 1.5 metabolic equivalents (METs), while in a sitting, reclining or lying posture [1, 2]. Time spent sedentary and low levels of physical activity (PA) are known to be major predictors of cardiometabolic risks [3, 4]. Epidemiological studies further suggest that people engaged in prolonged (uninterrupted) have higher cardio-metabolic risks than people who regularly break up their sitting time, independent of the total time spent sitting and physically active [5, 6].

SB has continuously increased over the last century due to environmental changes, including technology, structure of industries, automation and computerisation [7–9]. With the emergence and expansion of the tertiary activities, the occupation domain has largely contributed to the general adoption of SB, especially with the generalization of the desk-bound activities [10]. For instance, during an 8-h working day, office workers spend on average about 77% of the time sitting, 18% standing and only 5% in other activities [11]. Office workers are therefore particularly vulnerable to the adverse health effects of SB.

Thus, the workplace represents an ideal setting to implement strategies to promote PA and reduce SB, especially prolonged SB, and thus improve employee's health [12, 13]. Recently, various strategies to reduce sedentary time in the workplace have been developed [14]. The use of active workstations such as desks coupled with a treadmill, a cycling station or step have been reported to reduce sedentary time at work and increase PA [15] along with positive health effects [16]. Most of these studies were conducted in individuals suffering from overweight or obesity and tested whether such workstations were efficient to increase daily energy expenditure. However, data in normal weight people to support the preventative effect of such strategies remain scarce [17]. In addition, the long-term effectiveness of programs using active workstations to increase PA and reduce SB on time spent sedentary (total duration, average duration of each bout, number of breaks, etc.) and physically active but also on key biological parameters have not been determined yet [18, 19]. Assessing the effect of such a strategy on physical fitness is particularly relevant given that both endurance capacity [20–22] and muscle strength [23] are powerful predictors of mortality and morbidity independent of the health status of the individuals.

Interventions should not only focus on the operational feasibility but also consider the potential side-effects on the employees' work task quality and productivity. Interventions aiming at increasing PA and reducing SB in office workers should assess the coherence and compatibility with the working environment, structuration, culture and the way they live and experience their work [24].

To date, results on the effects of interventions in the work environment to reduce SB are not clear-cut, potentially because of the limited number of studies, the relatively low samples sizes, the heterogeneity in the study designs and the lack of highly rigorous studies. Based on this observation, Shrestha et al. concluded on the need for long-term, multi-place, randomized controlled studies with objective measurement of PA and SB not only during the work period but also outside of work [19]. On top of these methodological issues is the use of treadmills or cycling desks in most of the available studies; the implementation of these devices is however limited because of their high cost, large size (that may not fit in small offices) and lack of portability [25]. Portable pedal machine (PPM) have been recently designed and proposed for such interventions. They can be settled under a desk, sparing a lot of space, and are easy to use. They open new possibilities for the development of strategies aiming at fighting against SB in tertiary worksite [16, 25].

Objectives

The primary objective of this study is to evaluate the effects of a cycling workstation program (30 min twice a day) for 3 months among tertiary employees on PA and SB during working and non-working days. Our secondary objective is to assess the effect of this cycling workstation program on body composition, physical fitness and cardiometabolic risk factors (composite measure of fasting glucose, insulin, triglycerides, HDL-cholesterol, LDL-cholesterol, C-reactive protein or CRP, blood pressure and heart rate variability) and psychological parameters. Our third objective is to do an ergonomic assessment and determine the effects of this cycling workstation program on resting metabolic rate, cycling energy expenditure, eating behaviour and the implementation of the device in the worksite. Finally, we will extend the initial 3-month intervention with 3 additional months and thus test the 6-month effects of the intervention on the above-mentioned outcomes.

Hypothesis

We hypothesize that the daily use of a cycling workstation for 3 months will increase PA and reduce SB on both working and non-working days and will improve physical and psychological health outcomes compared to a control condition with no intervention. The addition of three extra months of intervention (i.e. 6 months total) will further improve the study parameters compared to the effects that will be observed after 3 months of intervention.

Methods and analysis

Study design

The REMOVE study is a prospective, exploratory, randomized, controlled, open-label, multicentre, two-arm parallel trial in office-sitting desk workers (Fig. 1).

Eighty tertiary employees from Clermont-Ferrand (France) will be recruited to participate in this protocol. Three worksites of moderate size ($n = 80$ employees across the 3 sites) will be randomly assigned to one of the two interventions: (1) CTL_PPM3, an intervention with two consecutive periods: 3 months with no change of working conditions (CTL: control phase) and 3 months of PPM use (PPM3), and (2) PPM6, an intervention with 6 months of PPM use. Tests will be performed on both groups at baseline (T0), after 3 (T1) and 6 months (T2) of the intervention. Information sheets will be given to all the participants and written informed consent will be obtained for each participant. This study has been approved by the ethical authorities (CPP IDF VIII 19 09 66) and registered as a clinical trial under the reference number NCT04153214 (clinicaltrials.gov).

Study setting and eligibility

Worksites will be recruited in Clermont-Ferrand, Region Rhones-Alpes-Auvergne, France. Selected worksites will be drawn from distinct work sectors: administration of the Universities, healthcare administration and school board.

Study eligibility

Worksite eligibility criteria

Worksites will be selected if they respond to the following criteria: desk-bound job employees, no use of sit-stand desk or other active working station, every CEO agrees that participants will do the three test sessions (2 h each) during working hours. The worksites will not interact between each other.

Participant eligibility criteria

Participation is voluntary. Participants will be recruited if they fulfil the following criteria: aged 18–61 years, BMI ≤ 29.9 kg/m², are employed more than 80% full time with 75 % of this time in a sitting position (seated office work such as computer or telephone-based work), do not have a contact job where the PPM can be badly experienced by the visitor, do not practice PA more than 2.5 h per week, are able to cycle for 30-min per session and 60-min per day and agree to be randomized.

Participant exclusion criteria

Employees will not be included if they have acute or chronic infections, oncological diseases, joint replacements or any surgery within the previous 6 weeks, psychiatric disorders, are pregnant or breastfeeding women,

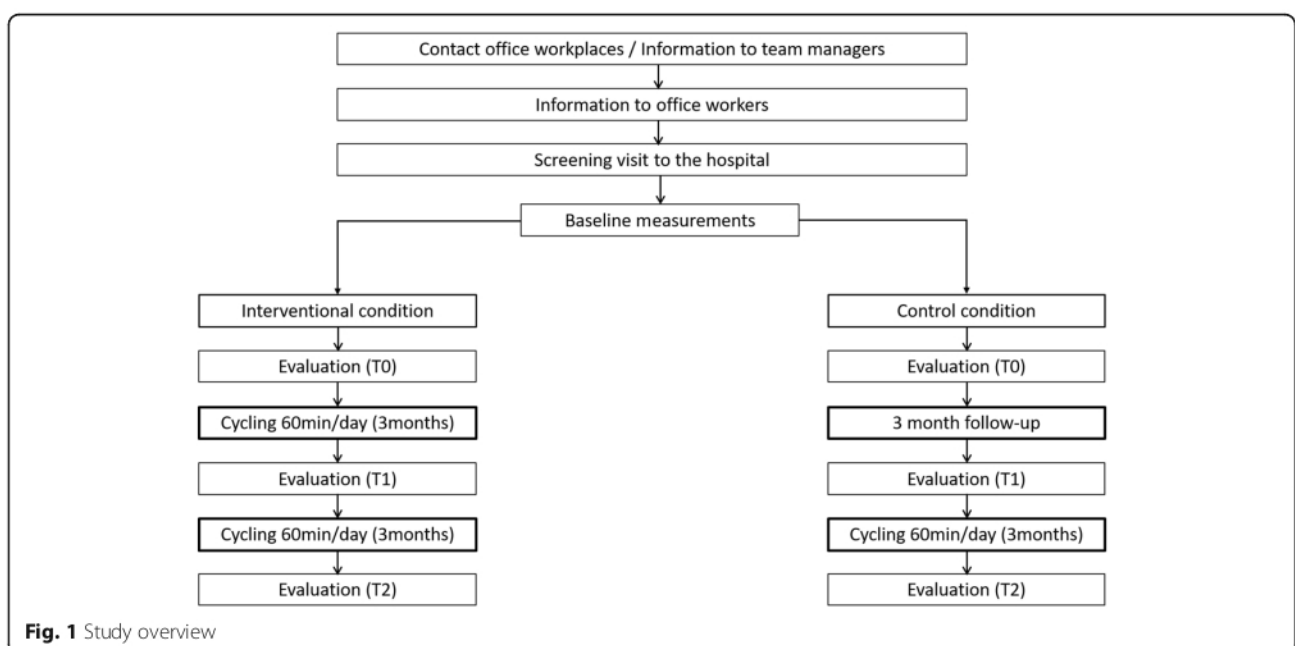


Fig. 1 Study overview

have diabetes treated with insulin and any condition that might affect the use of the PPM.

Protocol status

Recruitment of participants

At the selected sites, an informal session will be conducted among employees, detailing the objectives of the study and the protocol. Following this first meeting, volunteers will inform their managers and the investigators of their willingness to participate. Then, they will have a screening visit with a member of the study team to verify inclusion and exclusion criteria and sign a written informed consent. Prior to any inclusion, study requirements will be repeated and participants will be able to withdraw from the study at any time without giving any explanation.

Randomization

A permuted-block randomization (i.e. random block sizes) will be conducted by the study biostatistician using a computer-generated random allocation (Stata software, version 15, StataCorp, College Station, US), with a 1:1 ratio allocation, ensuring complete randomness of the assignment of a patient to each randomized group. The randomization will be stratified by centre. The randomization and allocation process will be performed by the statistician involved in this study. Physicians will be involved for the enrolment participants.

Intervention

The objective of the study is to replace 30 min of sedentary time by 30 min of PA of light intensity (LPA), twice a day, during the five working days (i.e. 60 min/day). Therefore, office workers should accumulate 5 h of LPA per week. This study design choice was motivated by recent observations from epidemiological studies. The replacement of 60 min per day of sedentary time by LPA has been associated with a decrease in the risk of all-cause mortality by 40% in a study [26] and 18 % in another one [27].

Volunteers will be provided PPM (DeskCycle, 3D Innovations LLC., Greeley, CO, USA). The device requires only little space and can be slipped under the desk while using it or not.

Subjects enrolled in PPM6 group will be equipped with a PPM under their desk and will use it 60 min per working day (30 min continuously in the morning and 30 min in the afternoon) during 6 months.

Subjects in the CTL_PPM3 group will maintain their habitual daily activities during the first 3 months. Then, they will also have a PPM under their desk and will use it 60 min per working day (30 min in the morning and 30 min in the afternoon) during the next 3 months. The time of use in the morning or afternoon is left to the choice of the subjects and may change from one day to another.

Before using the PPM, every participant will have a familiarization visit for the use of the device. Thus, if needed, their workstation will be adapted to adjust their seat with the Deskcycle. While the PPM proposes 8 levels of magnetic resistance, all the participants will perform their cycling exercises at the same intensity (resistance level 2) that allows to pedal with a minimum of resistance. The speed will be chosen by participants to not disturb them during their work. PPM has a monitor to inform users about the completed total distance, duration of exercise, speed of cycling and revolutions per minute (RPM). Subjects will fill up a notebook on a Microsoft Excel files to inform investigators of what he/she did at each session of cycling (performed : yes or no, completed distance, time and duration of cycling) that will be gathered every week by the study team. This information will be used to estimate participants' adherence to the intervention.

Notebooks will inform us if participants properly completed the intervention. Pop-up reminders will be sent via emails to the participants twice a day (1 h before lunch break and 1 h before the end of daywork) and will contain information regarding the overall effects of sedentary time on health and on the benefits of PA. Pop-up notifications will be used if participants will not reach three times in a working week the 30 min per half-day. Such motivational approach has been shown to be efficient and will be used here to motivate participants to maintain the requested 60 min of cycling per day [25]. Every week, a member of the research team will meet the participants at their workplace to have direct feedback on their use of the PPM and to keep their level of engagement as high as possible. Each participant should keep their daily activities and care without any modification except those asked in the protocol.

Data collection

All measurements will be performed on three different occasions: baseline (T0), 3 months (T1) and 6 months (T2). Figure 1 and Table 1 present the overall study. All the clinical measurements will be done at the Laboratory of the Metabolic Adaptations to Exercise under Physiological and Pathological Conditions, in Clermont-Ferrand (France).

Socio-demographic data

At baseline, socio-demographic data including age, gender, education level, marital status, household composition, number of children living in the household and employment status (i.e. length of tenure, working hours, overtime hours and job classification) will be collected. Also, medications and/or altered doses of an existing treatment over the last 3 months will be recorded. At T1 and T2, participants will be asked to report any life events that may have occurred over the past 3 months that may have affected their health or wellbeing.

Table 1 Measurements timeline for both groups

Measurements timeline for both groups			
Measurement	Baseline	3 months	6 months
Socio-demographic data	X		
Objectively measured of PA and SED	X	X	X
Self-reported lifestyle behaviours	X	X	X
Health-related outcomes	X	X	X
Body composition	X	X	X
Physical fitness	X	X	X
Metabolic outcomes	X	X	X
Stress and anxiety	X	X	X
Life span and quality	X	X	X
Resting metabolic rate	X	X	X
Satisfaction and adherence			X

Primary outcomes

Physical activity level and sedentary time

Two devices will be used, to ensure a more precise evaluation of PA [28]. Daily light, moderate, and vigorous PA will be measured objectively with the tri-axial Actigraph GT3x-BT monitor (AG) (Actigraph LLC, Pensacola, FL, USA). This monitor will be worn at the waist above the right hip with an elastic belt during 5 days [29]. Participants will be asked to wear AG during all their waking hours, except during water-based activities. This device is accurate to classify PA in daily life environments [30] and have been validated in adult population [31].

The second device used is an activPAL3 micro (AP) (PAL Technologies Limited, Glasgow, UK; default settings) worn on the mid-line of the right thigh. This inclinometer monitor will be worn continuously during the same 5 days than the AG except during water-based activities. ActivPAL3 micro has been validated to evaluate time spent sitting/lying, standing, walking, number of sedentary bouts and number of breaks of those sedentary bouts [32, 33]. Participants will be asked to precisely indicate when they will use the PPM since AP might not be sensitive enough to detect this behaviour [34].

During each measurement period, subjects will report their exact bed time, wake up time, time they start wearing the activity monitors and time when they took them off. Participants will also be asked to report the time they arrive at work and leave from work as well as any period of not wearing the monitors. This information will be used to calculate the variables from the activity devices during the entire day on both working and non-working days. Time spent active and sedentary will also be assessed during the working hours and non-working hours of the working days.

Secondary outcomes

Health-related outcomes

Blood pressure will be measured three times at each visit on the right arm of the participant who will be in a seated position. Only the last value will be reported.

For anthropometric measurements, participants will wear light indoor clothing without shoes. Body height will be assessed with a stadiometer. Value will be taken to the closest 0.1 cm. Body weight will be assessed to the closest 0.1 kg with a scale (Tanita MC-780, Tanita, USA, Arlington Heights). Thereby, body mass index will be calculated using following formula $BMI = \text{weight}(\text{kg}) / \text{height}(\text{m})^2$.

Waist circumference (WC) will be measured with a tape measure to the nearest 0.5 cm, and WC to height ratio (WHtR) will be calculated. This ratio is a better predictor of intra-abdominal fat mass than WC alone [35] in both men and women [36].

Body composition

FM distribution, assessed by WHtR, and total FM are good predictors of cardiovascular disease [37], cardio-metabolic disease [38] and some cancers including colorectal [39, 40], prostate [41], liver [42] and breast [43] cancers.

FFM has a high metabolic activity, plays a major role in metabolism (whole-body protein metabolism [44], post-prandial glucose uptake) and is the main determinant of resting energy expenditure [45].

Body composition will be evaluated in fasting conditions with a bioelectrical impedance (Tanita MC-780, USA, Arlington Heights) to determine absolute values of fat mass (FM) and fat-free mass (FFM). This device has shown a good reliability to obtain FM and FFM for adults [46] with different levels of PA [47] compared to measurements with dual-energy X-ray absorptiometry (DXA), considered to be the gold-standard method.

Physical fitness

Systematic review and meta-analysis reported that a low cardiorespiratory fitness is associated with higher risks of morbidity and mortality for people in good health [48, 49] or with chronic disease [50, 51]. Reduced muscle strength, as measured by grip strength, has also been associated with an increased risk of all-cause and cardiovascular mortality in socio-culturally and economically diverse countries [52].

Aerobic fitness will be evaluated with the Step Test. The step used for this test will be at a height of 16.25 inches (41.3 cm) for men and 11.8 inches (30 cm) for women. Stepping up and down will last for 6 min at the rate of 24 cycles per minute, set by a metronome. Subjects will wear a heart rate monitor Zephyr™ BioHarness™ (Zephyr Technology, Annapolis, USA) during the test. Heart rate will be

recorded at the end of the test, after 30 s and 60 s of recovery. This test has been found reliable for healthy adults and is highly reproducible [53].

Low muscle mass and strength is associated with higher risk of mortality [54]. Muscle strength will be evaluated through upper and lower limb strength. A handgrip dynamometer will be used with dominant hand to assess upper limb strength. Three measurements will be made and only the best one will be registered. This method has already proved its efficiency and reliability with healthy adults [23, 55, 56] and in clinical use [57].

Lower limb strength will be assessed through a knee-extension power test on an isokinetic dynamometer (Biodex System 2, Biodex, Shirley, USA). Torque and power data will be corrected for gravity and will be digitized and exported at a rate of 2 kHz to an external data acquisition system (PowerLab 8/35; ADInstrument, New South Wales, Australia) driven by the LabChart 7.3 Pro software (ADInstrument, New South Wales, Australia). This isokinetic dynamometer has been validated and found reliable for isometric and concentric assessment [58, 59]. Subjects will be seated comfortably with a hip joint at 105° of flexion and will be attached on the trunk, the hip and the left leg to the dynamometer chair with Velcro straps to provide a complete stability during every maximal contraction. The dynamometer lever arm will be attached to the right leg by a strap positioned 1–2 cm above the lateral malleolus. Torque will be measured at a knee joint angle of 90°. Participants will perform three isometric 3 s-Maximum Voluntary Contraction (MVC) with 2 min of rest between each try. Peak torque values will be checked during data collection and an additional test will be done when there is a torque variation higher than 10% between the three tests. Then, only the best one will be reported.

Concentric torque will also be measured during three MVCs performed at a velocity of 60°/s and 120°/s. The extension will be at their maximal abilities when the flexion will be done at their own comfort speed. Between the two different velocities, subject will have 2 min of rest. Only the best peak power will be reported.

Metabolic outcomes

Large volumes of SB sedentary time increase cardiometabolic risks and inflammatory biomarkers [60]. Reducing SB with an increasing of PA are more favourable to preserve metabolic health [61, 62].

Basal blood samples will be drawn after a 12-h overnight fast by a nurse. It will be asked to every subject to keep their usual daily activities. However, they will be instructed to avoid high intensity exercise and stressful situations on the day before the test and to avoid caffeine consumption and nicotine in the morning before the test.

Blood will be centrifuged and plasma will be kept frozen in aliquots at – 80 °C until analysis in batch. All samples will be shipped to laboratories on dry ice at each end of evaluation period (T0, T1, T2).

Lipids profile and inflammatory markers will be measured using a Dimension Vista® system (Siemens Healthcare GmbH, Erlangen, Germany). Plasma triglycerides will be measured with Dimension Flex™ reagent cartridges (inter-assay CV = 3% at 68 mg/dL, 2% at 384 mg/dL) (intra-assay CV = 4% at 68 mg/dL, 2% at 384 mg/dL). Plasma LDL-cholesterol will be assessed with Dimension Flex™ reagent cartridges (inter-assay CV = 2% at 50 mg/dL, 2% at 145 mg/dL) (intra-assay CV = 4% at 50 mg/dL, 4% at 145 mg/dL). Plasma HDL-cholesterol will be measured with Dimension Flex™ reagent cartridges (inter-assay CV = 1.6% at 47 mg/dL, 1.9% at 69 mg/dL) (intra-assay CV = 2.3% at 47 mg/dL, 2.1% at 67 mg/dL). Plasma glucose will be measured with Dimension Flex™ reagent cartridges (inter-assay CV = 2% at 75 mg/dL, 1% at 379 mg/dL) (intra-assay CV = 3% at 75 mg/dL, 2% at 379 mg/dL). Plasma insulin will be assessed with IMMULITE® 2000 System (inter-assay CV = 7.3% at 7.67 µIU/mL, 5% at 26.4 µIU/mL) (intra-assay CV = 5.5% at 7.67 µIU/mL, 3.9% at 26.4 µIU/mL). Insulin resistance will be determined with the use of the homeostasis model assessment of insulin resistance (HOMA-IR) [63]. Plasma high sensitivity C-reactive protein will be measured with Dimension Flex™ reagent cartridges (inter-assay CV = 4.8% at 0.115 mg/dL, 5.4% at 0.346 mg/dL) (intra-assay CV = 4% at 0.115 mg/dL, 4.4% at 0.346 mg/dL).

Stress and anxiety

High levels of SB have been associated with increased risks for mental disturbances [64] such as stress [65], depression [66, 67] or anxiety [68]. On the other hand, meta-analysis demonstrated that regular PA decreases anxiety [69] and depression [70]. Stress and anxiety will be measured by questionnaires and objective methods (blood anandamide levels and heart rate variability). Plasma N-arachidonyl ethanolamine, also known as anandamide (AEA), is a lipid which is involved in pain perception, anxiety and depression and in stress response [71]. It has been shown that anxiety inversely correlates with blood AEA levels in humans [72, 73]. Blood AEA will be measured by enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) (Cloud-Clone Corporation, Houston, TX, USA) (inter-assay CV < 12%, intra-assay: CV < 10%; detection range 2.47–200 ng/mL).

Heart rate variability is a cardiovascular risk marker [74] associated with burnout [75] and chronic stress [76]. It is also an indirect measure of autonomic nervous system [77, 78]. It will be evaluated during 24 h with heart rate monitor Zephyr™ BioHarness™ (Zephyr Technology,

Annapolis, USA), and analysed according to the “Task Force recommendations” [79].

Stress level at work [80] and at home will be assessed by a visual analogic scale (VAS) on a horizontal line of 100 mm, ranging from very low (1—no stress) to very high (100—maximal stress).

Equanimity is the ability to have an attentional, emotional and cognitive balance of the mind [81]. This parameter will be evaluated with the Two Factor Equanimity Scale (EQUA-S), which has been validated [82].

Quality of life at work and job strain

A socio-ecological approach suggests to evaluate individual behaviour with a multiple level factors focused on the social and physical environment [83]. Reducing SB with an increasing of moderate-to-vigorous PA can be a strategy to improve the quality of life (QOL) [84]. To our knowledge, no study has assessed the effect of increasing light PA and reducing SB on the worksite on QOL.

The Job Content Questionnaire is one of the most widely used questionnaires; it relates the characteristics of a workplace to health and well-being [85] and relies on the demand-control model [86]. This test has shown a good reliability with middle-aged adults [87]. The imbalance between high efforts spent at work and low rewards received will be assessed by the effort-reward imbalance (ERI) questionnaire designed by Siegrist [88]. This questionnaire has also been validated in this population [89].

Pain will be evaluated by the Nordic Musculoskeletal Questionnaire (NMQ) [90, 91]. This questionnaire has been validated in working population [92] including office workers [93].

To evaluate the QOL at work, five different VAS for mental and physical fatigue, burnout, life and sleep quality will be used. These VAS will be on a horizontal line of 100 mm, ranging from very low (1) to very high (100) [77].

Exploratory outcomes

Resting metabolic rate and cycling energy expenditure

Resting metabolic rate (RMR) will be measured by indirect calorimetry (FitMate™ -COSMED, Rome, Italy) [94]. This method with FitMate™ device has been validated in healthy adults [95]. Before the test, gas analysis will be calibrated following the instructions of the manufacturer's recommendations. Subjects will stay 20 min in a chair and remain calm in a quiet place. O₂ consumption will be measured for 15 min minimum and the last 5 min will be reported [96]. RMR will be calculated using the Weir's equation [97].

Participants will undergo a 30-min exercise testing using the DeskCycle device. The objective will be to demonstrate that this exercise is of light-intensity. It will

also allow to observe whether there is a metabolic adaptation after 3 and 6 months of using the PPM. During the exercise testing, energy expenditure and substrate utilization will be calculated by measuring gas exchange by indirect calorimetry with a portable device (MetaMax 3b; Cortex Biophysik, Leipzig, Germany). This device has been validated for gas exchange measurements during exercise [98]. Before each test, gas analysis will be calibrated according to the manufacturer's recommendations. Subject will be seated in a comfortable position to pedal and in a thermoneutral environment. The resistance will be set at 2 and RPM at 50 during the whole test. Gas exchange will be measured for 30 min. Energy expenditure will be derived from calorimetry-measured VO₂ and VCO₂ using Weir's equation [97]. Substrate utilization will be derived using Peronnet and Massicotte equation [99].

Eating behaviours

Modern sedentary behaviours are known to promote food overconsumption [100, 101], which coupled with low levels of energy expenditure can favour chronic positive energy balance and long-term weight gain. The effect of the intervention on eating behaviours will be determined using two complementary questionnaires [102]. A revised version of the Three-Factor Eating Questionnaire (TFEQ R21) [103] will be used to assess three different domains: uncontrolled eating, emotional eating and cognitive restraint. Answers will be coded following the instruction of Cappelleri et al. [104]. The Dutch Eating Behaviour Questionnaire (DEBQ) will also be used for assessing three different domains: external, restrained and emotional eating. Answers will be coded following the instruction of Lluch et al [105]. Both questionnaire exist in French language and have been adapted to the French population [103, 105, 106].

Ergonomic assessment

Satisfaction and adherence will be evaluated 6 months (T2) after baseline measurements.

A lack of adherence to programs aiming at increasing PA in tertiary employees has been reported multiple times [107, 108]. Genin et al. postulated that interventions targeting PA and SB in tertiary employees should not only consider the operational feasibility but also the coherence and compatibility with the working environment, structuration, functioning as well as the workers and the way they live and experience their work [24]. Therefore, an ergonomic approach is needed to improve the implementation of such an intervention in future studies but also to optimize future guidelines on strategies to reduce SB in tertiary worksite.

A satisfaction questionnaire will be given to all participants at the end of the program. A one-on-one interview

will be done by an ergonomic specialist with each participant. This interview will aim to better understand (1) how PA on the workstation has been conciliated with the work tasks performed by the subject and (2) reasons of subject's involvement in the prescription of PA. To achieve this objective, an analysis of the subject's diary will be carried out as well as a direct, semi-direct or open interview on the participant's motivations. These interviews will be recorded with the permission of each participant. These recordings are essential for the analysis of the verbal data collected.

Sample size and power calculation

Sample size estimation is based on CONSORT 2010 statement for the comparison between randomized groups. In these statements, Eldridge et al. suggested "that the size of a trial should be related to the size of the future definitive RCT and for such a trial designed with 90% power and two sided 5% significance" [109]. They "recommend trial sample sizes for each treatment arm of 75, 25, 15, and 10 for standardized effect sizes that are extra small (0.1), small (0.2), medium (0.5), or large (0.8), respectively". Considering a two-sided type I error at 5% and a statistical power greater than 80%, an effect size of 1 can be assumed for the PA and SB levels score with 18 patients per group. To take into account the lost to follow-up, a maximum of 80 patients (20 by arm, 50% females) will be included in the study.

Statistical analyses

Statistical analyses will be conducted using Stata software (version 15, StataCorp, College Station, USA). A two-sided p value of less than 0.05 will be considered to indicate statistical significance. Participants will be described at baseline and between-group comparison will be tested using an unpaired t test for the following variables: compliance with eligibility criteria, demographic characteristics, clinical characteristics and medication. A possible difference between groups in any of these characteristics will be determined by both clinical and statistical considerations. The number of patients included and the inclusion curve will be presented by group.

The primary endpoint (time spent in PA and SB) will be compared between groups by Student's t test or the non-parametric Mann-Whitney test if assumptions of parametric tests are not met. The normality will be studied using Shapiro-Wilk test. The homoscedasticity will be analysed with Fisher-Snedecor test. The results will be expressed using effect size and 95% confidence interval. Intention-to-treat analysis will be considered for the primary analysis. In order to prevent attrition bias, imputation of the missing data is planned. The statistical analysis plan also provides for an additional per-protocol analysis. Then, the analysis of the primary outcome will

be completed by multivariable analysis using a linear mixed model to compare PA and SB score between randomized groups taking into account (i) covariates determined according to univariate results and to clinical relevance (gender, age and baseline PA and SB) and (ii) centre as random-effects (to measure between- and within-centres variability). The normality of the residuals from linear regression will be studied. If necessary, a logarithmic transformation of the dependent variable will be proposed. The results will be expressed using effect-sizes and 95% confidence intervals.

The comparisons between the randomized groups will be performed (1) as aforementioned for continuous secondary endpoints and (2) using the chi-squared or Fisher exact tests for categorical variables. For non-Gaussian data, results will be presented using median difference and 95% confidence intervals estimated using quantile regression model. For categorical parameters, the results will be expressed using absolute differences and 95% confidence intervals. The multivariable analysis associated to dichotomous endpoints will be generalized linear mixed model, with logit link function, and centre as random-effect. As secondary endpoints will be exploratory, no type I error correction will be applied, but the results will be expressed with odds ratios and 95% confidence intervals.

Longitudinal data will be analysed using random-effects regressions, modelling between and within patient effect, as random-effect, in addition to centre effect. The following fixed effects will be studied: randomization group, time-points evaluation and their interaction.

According to clinical relevance and to the European Medicines and Consolidated Standards of Reporting Trials recommendations, planned subgroup analyses will be proposed after completion of the study. *Subgroup* \times *randomization group* interaction will be added to the in regression models with factors such as gender or age used for the subgroup analysis.

Particular attention, mainly descriptive, will be paid to study the adherence of participants and identify barriers and challenges to their motivations and ability to perform the PA intervention. A sensitivity analysis will be performed to study the statistical nature of missing data and to determine the most appropriate approach to the imputation of missing data: maximum bias (e.g. last observation carried forward, baseline observation carried forward) or estimation proposed by Verbeke and Molenberghs for repeated data. A study of patients' abandoning will be proposed considering this parameter as a censored data, and consequently using the Kaplan-Meier to estimate it and log-rank for the comparison between groups.

Data management

The Innovation and Clinical Research Direction (ICRD) of the University Hospital of Clermont-Ferrand carried

out the method for data management but will not have any authority or interfere in the data entry. Qualitative and quantitative data will be entered in paper-based case report forms and electronically into a database by TG. Regular verification will be conducted to ensure the accuracy of the coding and entry by members of the REMOVE team. Access to all the information regarding the study and to the database will be restricted and controlled. The electronic data forms will be kept safe in a specific computer in the research laboratory with access code needed. All paper-based form related to the trial will be kept in locked closets. While updating the database, a complete back-up will be executed twice weekly. These back-ups will be stored on two external hard drives kept either off-site and among the research laboratory.

Monitoring

Coordinating centre

The coordinating team will meet regularly, every 2 months, being composed of the principal investigator and the co-investigators. The principal investigator will supervised and coordinated the co-investigators during the trial.

Data monitoring committee (21a)

ICRD has also the role of the data monitoring committee. The committee may ask at any moment of the trial a report to the data management team to ensure the validity and the safety of the data. The committee will not review or discuss data pertaining to trial progress and have no competing interests.

Harms (22)

We do not anticipate any harm in this study. While the intervention aims to increase physical activity with very low exercise intensity, no unexplained adverse events are expected. However, if any adverse events occur during the intervention, the principal investigator will be informed. Regarding the magnitude of the harms, the principal investigator might inform the sponsor and terminate the study.

Auditing (23)

The sponsor might regularly audit the process of the whole study to ensure that all ethical rules are respected. An audit procedure will be executed at the end of inclusion to ensure the validity of the written informed consents. Another one will be performed after the first measurements (T0) to ensure that case report forms have been correctly fulfilled. There will not be any other auditing conducted during the intervention program, based on the low-risk intervention of this study.

Ethics and dissemination (24–31c)

Ethics

Ethics approval and consent to participate have been obtained from the ethical authorities (Comité de Protection des Personne Ile de France VIII 19 09 66). Written, informed consent will be obtained from all participants.

Any modification to the protocol that affects trial methodology and outcomes will require a formal amendment. The amendment will be agreed upon by the principal investigator and has to be approved by the ethics committee.

Consent and ancillary studies

One of the study medical investigators (under the supervision and coordination of the principal investigator) will meet individually every subjects that expressed their willingness to participate in the present study. During the screening visit, participants will sign a written informed consent to validate their inclusion. Every participant will provide written consent for the possibility of ancillary studies. Regarding this disposition, there will be no additional consent for this study.

Confidentiality

All participants' information will be collected in a pseudonymous form to ensure a complete anonymity of their data throughout the research process. Participants will be informed of the confidentiality and the anonymity of their data in the information note and the ethical application. Furthermore, participants will take notice of their ability of withdrawal from the study and to withdraw/amend parts of their data at any moment.

Data will be kept safe in a specific computer in the research laboratory with access code needed. Only the principal investigator will be allowed to open the specific session for data access.

Dissemination

The results of the REMOVE trial will be disseminated to participants and the collaborating tertiary societies. The study findings will be presented at national and international conferences. The results will also be submitted to peer-review journals regardless of the magnitude or direction of the outcomes.

Authorship rules will be respected based on the International Committee of Medical Journal Editors recommendations.

Discussion

Recent literature has recognized time spent in SB and levels of PA as major predictors of cardiometabolic risks [3, 4]. With the “tertiarisation” of our societies, the worksite has become a place where SB have significantly increased [110]. It is also considered as a new strategic

setting to conduct public health interventions aiming at reducing time spent sedentary. Using the constrained time employees spent seated to promote body motion appears as a promising alternative to fight against SB. In addition to work-induced sedentariness, job stress can also increase the risks of coronary heart disease [111], chronic diseases [112] and sick leave [113]. Both PA and SB are associated with decreased and increased anxiety, respectively [68, 69].

The REMOVE study will tend to provide new insight in a field that remains poorly explored [16, 25] with a potentially huge impact on global health. While the use of active desks has been mainly tested in individuals with overweight or obesity [17], the REMOVE study will determine the impact of active desk—PPM—on PA behaviour and health outcomes in healthy employees during 3 and 6 months using a primary prevention approach. The objective assessment of the effects of worksite PPM on PA and SB will be extended to the entire day and week, including non-working days. To our knowledge, this trial will be the first one to assess the medium and long-term effects of the use of cycling desk (PPM) on the physical, cardiometabolic, psychological and overall health of tertiary employees.

The literature has shown that active workstations can help to reduce SB and increase PA at work. Implementation of treadmills or cycling desks remains limited due to their high cost, large size and their lack of practicality for some population [25, 114]. Standing desk has not been shown to be a very efficient strategy as it may increase musculoskeletal risk [115] and venous insufficiency [116] without any change in energy expenditure [117]. The strength of the present study is the use of PPM device. PPM can be easily settled under a desk, spares a lot of place, is easy to use and allows any worksite to potentially implement this PPM in their offices.

Recent evidence associated LPA with a significant decrease in total and cardiovascular mortality [26]. Cardiometabolic health and especially glycaemic control are improved with LPA [118]. On top of that, multiple short periods of PA (<10 min) have been shown to be more attractive for the sedentary populations than longer continuous bouts, while they still significantly improve physical fitness [119, 120]. Accumulated and continuous exercises have shown to elicit similar effects on physical fitness, cardiovascular and cardiometabolic parameters in inactive and sedentary populations [121, 122].

While the actual literature in this field has been shown to suffer from the use of subjective measurements and from a high methodological heterogeneity, the REMOVE project will use objective methods, which will provide with robust data. Our design, proposing two 3-month phases is also a strength of the present work as it will give the opportunity to evaluate the medium and long-

term effects of the intervention, as well as key information on the long-term adherence of office workers.

Moreover, implementing PPM in multiple sites will avoid any cluster effect and reinforce the generalizability of our results [123].

Our team has previously described an important dropout rate during worksite programs that proposed on-site PA during non-working hours among office workers [108]. By contrast, this study is an interventional study, and subjects will be monitored and motivated individually every day by receiving reminders (if time spent cycling <60 min/day) and an on-site personal visit each week. The purpose of these intervention components is to decrease dropout rate and help subjects to modify their behaviours.

Another strength of the REMOVE project is the implication of the companies' management teams, as recently suggested [24]. Every period of experimental measures (T0, T1, T2) will last about 2 h. Measurement times will be taken on working hours and employers have accepted to pay every participant during the study visits. It is essential that participants receive financial and psychological support from their direction to be fully engaged in the research project [124]. Based on the available evidence, we are convinced of the positive effect of this protocol and its future long-term implementation within companies.

Finally, the REMOVE project proposes an innovative approach through its multidisciplinary structure by combining physiological, psychological and ergonomic assessment. Cardiometabolic parameters and psychological well-being are frequently questioned in studies focusing on tertiary employee's health. The REMOVE project is going one-step further by integrating the ergonomic assessment to the study.

It is important to understand why our intervention can be effective but also to identify the potential barriers and challenges that can limit adherence to the proposed program. This will be assessed in the ergonomic component of the study. It will evaluate the impact of the trial on office workers and see the strengths and weaknesses of this implementation in tertiary societies. The ergonomic evaluation will also observe how the PPM will change the workspace and the quality of work. This assessment is crucial to allow further implementation in companies.

At the end of the study, all employees (participants and non-participants) and managers will have a feedback on the study results. The expected positive results will motivate employers to implement PPM in their enterprises but also employees to start or continue this type of PA, perhaps in addition to more structured PA outside of work [124].

In conclusion, this study has substantial interest because the tertiary sector represents between 60 and 80 %

of workers in western countries [125]. It is time to stop focusing on treatment and disease management and to shift our efforts towards the prevention of the risks of preventable diseases, especially those associated with large volumes of SB. If our hypotheses are confirmed, results from our study will have important clinical, scientific but also societal implications. It will open new venues for future public health policies to protect people from the development of cardiometabolic disorders related to their occupation.

Trial status

Specific societies with tertiary employees have been contacted since January 2020. The study was planned to start in September 2020, but due to COVID-19, the recruitment phase has been delayed. Finally, recruitment finished on 15 March 2021. The study is anticipating to be completed on September 2021. This version is V1-07-08-2020.

Abbreviations

AEA: N-arachidonyl ethanolamine; AG: Actigraph GT3x-BT; AP: ActivPAL3 micro; EQUA-S: The Two Factor Equanimity Scale; ERI: Effort-reward imbalance; FFM: Fat-free mass; FM: Fat mass; METs: Metabolic equivalents; NMQ: Nordic Musculoskeletal Questionnaire; PA: Physical activity; PPM: Portable pedal machine; RMR: Resting metabolic rate; RPAQ: Recent Physical Activity Questionnaire; SB: Sedentary behaviours; VAS: Visual analogue scale; WHtR: Waist to height ratio; 1-RM: One-repetition maximum

Acknowledgements

We are grateful to I-SITE program of Clermont Auvergne University for funding salary of PhD student on this project.

Authors' contributions

TG, LM, MD and DT designed the study; TG, LM, DT, BP, AB and MD contributed significantly to the writing and revision of the manuscript. The authors have neither financial conflict nor other conflicts of interest to disclose. All the authors read and approved the final manuscript.

Funding

The study is integrally funded by University Hospital of Clermont-Ferrand and the I-SITE program of Clermont Auvergne University. The funding source has no role in the study design, collection, analysis, interpretation of data, writing the manuscript and the decision to submit the manuscript for publication. The funding source will not have an authority over any of these activities.

Availability of data and materials

The principal investigator will be given access to the full data sets. The datasets analysed during the present study may be shared from the corresponding author on reasonable request with the approval of the principal investigator and the sponsor. The French model consent form is available from the corresponding author on request.

Declarations

Ethics approval and consent to participate

We declare that this work has been approved with the ethical authorities (Comité de Protection des Personne Ile de France VII 19 09 66) and registered as a clinical trial under the reference number NCT04153214 (clinicaltrials.gov). Written, informed consent will be obtained from all participants.

Consent for publication

Not applicable

Competing interests

The authors declare that they have no competing interests.

Author details

¹EA 3533, Laboratory of the Metabolic Adaptations to Exercise under Physiological and Pathological Conditions (AME2P), UE3533, Clermont Auvergne University, F-63171 63170 Aubiere CEDEX, 80026 Clermont-Ferrand, BP, France. ²Auvergne Research Center for Human Nutrition (CRNH), 63000 Clermont-Ferrand, France. ³Department of Sport Medicine and Functional Explorations, Clermont-Ferrand University Hospital, G. Montpied Hospital, Clermont-Ferrand, France. ⁴INRA, UMR 1019, Clermont-Ferrand, France. ⁵Clermont-Ferrand University Hospital, Biostatistics Unit (DRCI), Clermont-Ferrand, France. ⁶Université de Strasbourg, CNRS, IPHC UMR 7178, F-67000 Strasbourg, France. ⁷Division of Endocrinology, Metabolism and Diabetes, Anschutz Health & Wellness Center, University of Colorado, Anschutz Medical Campus, Aurora, CO, USA.

Received: 11 August 2020 Accepted: 7 May 2021

Published online: 22 May 2021

References

1. Sedentary Behaviour Research Network. Letter to the editor: standardized use of the terms 'sedentary' and 'sedentary behaviours'. *Appl Physiol Nutr Metab Physiol Appl Nutr Metab*. 2012 Jun;37(3):540–2.
2. Tremblay MS, Aubert S, Barnes JD, Saunders TJ, Carson V, Latimer-Cheung AE, et al. Sedentary Behavior Research Network (SBRN) - Terminology Consensus Project process and outcome. *Int J Behav Nutr Phys Act*. 2017 10;14(1):75.
3. Acosta-Manzano P, Segura-Jiménez V, Coll-Risco I, Borges-Cosic M, Castro-Piñero J, Delgado-Fernández M, et al. Association of sedentary time and physical fitness with ideal cardiovascular health in perimenopausal women: The FLAMENCO project. *Maturitas*. 2019;120:53–60. <https://doi.org/10.1016/j.maturitas.2018.11.015>.
4. van der Velde JHPM, Schaper NC, Stehouwer CDA, van der Kallen CJH, Sep SJS, Schram MT, et al. Which is more important for cardiometabolic health: sedentary time, higher intensity physical activity or cardiorespiratory fitness? The Maastricht Study. *Diabetologia*. 2018;61(12):2561–9. <https://doi.org/10.1007/s00125-018-4719-7>.
5. Belletiere J, Winkler EAH, Chastin SFM, Kerr J, Owen N, Dunstan DW, et al. Associations of sitting accumulation patterns with cardio-metabolic risk biomarkers in Australian adults. *PLoS One*. 2017;12(6):e0180119. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180119>.
6. Diaz KM, Goldsmith J, Greenlee H, Strizich G, Qi Q, Mossavar-Rahmani Y, et al. Prolonged, uninterrupted sedentary behavior and glycemic biomarkers among US Hispanic/Latino adults: the HCHS/SOL (Hispanic Community Health Study/Study of Latinos). *Circulation*. 2017;136(15):1362–73. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.116.026858>.
7. Ashford NA, Caldart CC. Technology, law, and the working environment. Washington, DC: Revised Edition: Island Press; 1996.
8. Autor DH, Levy F, Mumane RJ. The skill content of recent technological change: an empirical exploration. *Q J Econ*. 2003;118(4):1279–333. <https://doi.org/10.1162/003355303322552801>.
9. Freeman RB. America Works: thoughts on an Exceptional U.S. labor market. New York: Russell Sage Foundation; 2007.
10. Choi B, Schnall PL, Yang H, Dobson M, Landsbergis P, Israel L, et al. Sedentary work, low physical job demand, and obesity in US workers. *Am J Ind Med*. 2010;53(11):1088–101. <https://doi.org/10.1002/ajim.20886>.
11. Wick K, Faude O, Schwager S, Zahner L, Donath L. Deviation between self-reported and measured occupational physical activity levels in office employees: effects of age and body composition. *Int Arch Occup Environ Health*. 2016;89(4):575–82. <https://doi.org/10.1007/s00420-015-1095-1>.
12. Dugdill L, Brettell A, Hulme C, McCluskey S, Long AF. Workplace physical activity interventions: a systematic review. *Int J Workplace Health Manag*. 2008;1(1):20–40. <https://doi.org/10.1108/17538350810865578>.
13. Genin PM, Dutheil F, Larras B, Esquirol Y, Boirie Y, Tremblay A, et al. Promoting physical activity and reducing sedentary time among tertiary workers: position stand from the French National ONAPS. *J Phys Act Health*. 2019 Sep 1;16(9):677–8. <https://doi.org/10.1123/jpah.2019-0154>.
14. León-Muñoz LM, Martínez-Gómez D, Balboa-Castillo T, López-García E, Guallar-Castillón P, Rodríguez-Artalejo F. Continued sedentariness, change in

- sitting time, and mortality in older adults. *Med Sci Sports Exerc.* 2013;45(8):1501–7. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3182897e87>.
15. Torbeyns T, Bailey S, Bos I, Meeusen R. Active workstations to fight sedentary behaviour. *Sports Med Auckl NZ.* 2014;44(9):1261–73. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0202-x>.
 16. Dupont F, Léger P-M, Begon M, Lecot F, Sénécal S, Labonté-Lemoyne E, et al. Health and productivity at work which active workstation for which benefits: a systematic review. *Occup Environ Med.* 2019;76(5):281–94. <https://doi.org/10.1136/oemed-2018-105397>.
 17. Josaphat K-J, Kugathasan TA, Reid RER, Begon M, Léger P-M, Labonté-Lemoyne E, et al. Use of active workstations in individuals with overweight or obesity: a systematic review. *Obesity.* 2019;27(3):362–79. <https://doi.org/10.1002/oby.22388>.
 18. Canu M-H, Foureau J, Coq J-O, Dannhoffer L, Cieniewski-Bernard C, Stevens L, et al. Interplay between hypoactivity, muscle properties and motor command: how to escape the vicious deconditioning circle? *Ann Phys Rehabil Med.* 2019;62(2):122–7. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2018.09.009>.
 19. Shrestha N, Kukkonen-Harjula KT, Verbeek JH, Ijaz S, Hermans V, Pedisic Z. Workplace interventions for reducing sitting at work. *Cochrane Database Syst Rev.* 2018;12:CD010912.
 20. Mark DB, Lauer MS. Exercise capacity: the prognostic variable that doesn't get enough respect. *Circulation.* 2003;108(13):1534–6. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.0000094408.38603.7E>.
 21. 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. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa011858>.
 22. Wen CP, Wai JPM, Tsai MK, Yang YC, Cheng TYD, Lee M-C, et al. Minimum amount of physical activity for reduced mortality and extended life expectancy: a prospective cohort study. *Lancet Lond Engl.* 2011;378(9798):1244–53. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(11\)60749-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(11)60749-6).
 23. Leong DP, Teo KK, Rangarajan S, Lopez-Jaramillo P, Avezum A, Orlandini A, et al. Prognostic value of grip strength: findings from the Prospective Urban Rural Epidemiology (PURE) study. *Lancet Lond Engl.* 2015;386(9990):266–73. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(14\)62000-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(14)62000-6).
 24. Genin P, Beaujouan J, Thivel D, Duclos M. Is workplace an appropriate setting for the promotion of physical activity? A new framework for worksite interventions among employees. *Work Read Mass.* 2019;62(3):421–6.
 25. Carr LJ, Walaska KA, Marcus BH. Feasibility of a portable pedal exercise machine for reducing sedentary time in the workplace. *Br J Sports Med.* 2012;46(6):430–5. <https://doi.org/10.1136/bjsm.2010.079574>.
 26. Ekelund U, Tarp J, Steene-Johannessen J, Hansen BH, Jefferis B, Fagerland MW, et al. Dose-response associations between accelerometry measured physical activity and sedentary time and all cause mortality: systematic review and harmonised meta-analysis. *BMJ.* 2019;21:366.
 27. Matthews CE, Keadle SK, Troiano RP, Kahle L, Koster A, Brychta R, 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. <https://doi.org/10.3945/ajcn.116.135129>.
 28. Stamatakis E, Ekelund U, Ding D, Hamer M, Bauman AE, Lee I-M. Is the time right for quantitative public health guidelines on sitting? A narrative review of sedentary behaviour research paradigms and findings. *Br J Sports Med.* 2019;53(6):377–82. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-099131>.
 29. Aguilar-Farias N, Martino-Fuentealba P, Salom-Díaz N, Brown WJ. How many days are enough for measuring weekly activity behaviours with the ActiPAL in adults? *J Sci Med Sport.* 2019;22(6):684–8. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2018.12.004>.
 30. Ozemek C, Kirschner MM, Wilkerson BS, Byun W, Kaminsky LA. Intermonitor reliability of the GT3X+ accelerometer at hip, wrist and ankle sites during activities of daily living. *Physiol Meas.* 2014;35(2):129–38. <https://doi.org/10.1088/0967-3334/35/2/129>.
 31. Troiano RP, Berrigan D, Dodd KW, Mâsse LC, Tilert T, McDowell M. Physical activity in the United States measured by accelerometer. *Med Sci Sports Exerc.* 2008;40(1):181–8. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e31815a51b3>.
 32. Grant PM, Ryan CG, Tigbe WW, Granat MH. The validation of a novel activity monitor in the measurement of posture and motion during everyday activities. *Br J Sports Med.* 2006;40(12):992–7. <https://doi.org/10.1136/bjsm.2006.030262>.
 33. 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. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31820ce174>.
 34. An H-S, Kim Y, Lee J-M. Accuracy of inclinometer functions of the activPAL and ActiGraph GT3X+: A focus on physical activity. *Gait Posture.* 2017;51:174–80. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2016.10.014>.
 35. Ashwell M, Cole TJ, Dixon AK. Ratio of waist circumference to height is strong predictor of intra-abdominal fat. *BMJ.* 1996;313(7056):559–60. <https://doi.org/10.1136/bmj.313.7056.559d>.
 36. Swainson MG, Batterham AM, Tsakirides C, Rutherford ZH, Hind K. Prediction of whole-body fat percentage and visceral adipose tissue mass from five anthropometric variables. *PLOS ONE.* 2017;12(5):e0177175. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0177175>.
 37. Jean-Pierre D. Body fat distribution and risk of cardiovascular disease. *Circulation.* 2012;126(10):1301–13.
 38. Goossens GH. The metabolic phenotype in obesity: fat mass, body fat distribution, and adipose tissue function. *Obes Facts.* 2017;10(3):207–15. <https://doi.org/10.1159/000471488>.
 39. Andreasson A, Hagström H, Sköldberg F, Önnérhag K, Carlsson AC, Schmidt PT, et al. The prediction of colorectal cancer using anthropometric measures: a Swedish population-based cohort study with 22 years of follow-up. *United Eur Gastroenterol J.* 2019;7(9):1250–60. <https://doi.org/10.1177/2050640619854278>.
 40. Bardou M, Barkun AN, Martel M. Obesity and colorectal cancer. *Gut.* 2013;62(6):933–47. <https://doi.org/10.1136/gutjnl-2013-304701>.
 41. Morán Pascual E, Martínez Samiento M, Budía Alba A, Broseta Rico E, Cámara Gómez R, Boronat TF. Central body fat mass measured by bioelectrical impedanceometry but not body mass index is a high-grade prostate cancer risk factor. *Urol Int.* 2017;98(1):28–31. <https://doi.org/10.1159/000447249>.
 42. Motamed N, Rabiee B, Hemasi GR, Ajdarkosh H, Khonsari MR, Maadi M, et al. Body roundness index and waist-to-height ratio are strongly associated with non-alcoholic fatty liver disease: a population-based study. *Hepat Mon.* 2016;16(9):e39575.
 43. Rohan TE, Heo M, Choi L, Datta M, Freudenheim JL, Kamensky V, et al. Body fat and breast cancer risk in postmenopausal women: a longitudinal study. *J Cancer Epidemiol.* 2013;2013:1–13. <https://doi.org/10.1155/2013/754815>.
 44. Wolfe RR. The underappreciated role of muscle in health and disease. *Am J Clin Nutr.* 2006;84(3):475–82. <https://doi.org/10.1093/ajcn/84.3.475>.
 45. Ravussin E, Burnand B, Schutz Y, Jéquier E. Twenty-four-hour energy expenditure and resting metabolic rate in obese, moderately obese, and control subjects. *Am J Clin Nutr.* 1982;35(3):566–73. <https://doi.org/10.1093/ajcn/35.3.566>.
 46. Wang J-G, Zhang Y, Chen H-E, Li Y, Cheng X-G, Xu L, et al. Comparison of two bioelectrical impedance analysis devices with dual energy X-ray absorptiometry and magnetic resonance imaging in the estimation of body composition. *J Strength Cond Res.* 2013;27(1):236–43. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31824f2040>.
 47. Verney J, Schwartz C, Amiche S, Pereira B, Thivel D. Comparisons of a multi-frequency bioelectrical impedance analysis to the dual-energy X-Ray absorptiometry scan in healthy young adults depending on their physical activity level. *J Hum Kinet.* 2015;47(1):73–80. <https://doi.org/10.1515/hukin-2015-0063>.
 48. Kodama S, Saito K, Tanaka S, Maki M, Yachi Y, Asumi M, 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. <https://doi.org/10.1001/jama.2009.681>.
 49. Laukkanen JA, Zaccardi F, Khan H, Kurl S, Jae SY, Rauramaa R. Long-term change in cardiorespiratory fitness and all-cause mortality: a population-based follow-up study. *Mayo Clin Proc.* 2016;91(9):1183–8. <https://doi.org/10.1016/j.jmayocp.2016.05.014>.
 50. Wei M, Kampert JB, Barlow CE, Nichaman MZ, Gibbons LW, Paffenbarger J RS, et al. Relationship between low cardiorespiratory fitness and mortality in normal-weight, overweight, and obese men. *JAMA.* 1999;282(16):1547–53. <https://doi.org/10.1001/jama.282.16.1547>.
 51. Wei M, Gibbons LW, Kampert JB, Nichaman MZ, Blair SN. Low cardiorespiratory fitness and physical inactivity as predictors of mortality in men with type 2 diabetes. *Ann Intern Med.* 2000;132(8):605–11. <https://doi.org/10.7326/0003-4819-132-8-200004180-00002>.
 52. Leong DP, Teo KK. Predicting cardiovascular disease from handgrip strength: the potential clinical implications. *Expert Rev Cardiovasc Ther.* 2015;13(12):1277–9. <https://doi.org/10.1586/14779072.2015.1101342>.

53. Chatterjee S, Chatterjee P, Mukherjee PS, Bandyopadhyay A. Validity of Queen's College step test for use with young Indian men. *Br J Sports Med.* 2004;38(3):289–91. <https://doi.org/10.1136/bjism.2002.002212>.
54. Li R, Xia J, Zhang X, Gathirua-Mwangi WG, Guo J, Li Y, et al. Associations of muscle mass and strength with all-cause mortality among US older adults. *Med Sci Sports Exerc.* 2018;50(3):458–67. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001448>.
55. Kuh D, Bassey EJ, Butterworth S, Hardy R, Wadsworth MEJ. Grip strength, postural control, and functional leg power in a representative cohort of British men and women: associations with physical activity, health status, and socioeconomic conditions. *J Gerontol Ser A.* 2005;60(2):224–31. <https://doi.org/10.1093/gerona/60.2.224>.
56. Rantanen T, Harris T, Leveille SG, Visser M, Foley D, Masaki K, et al. Muscle strength and body mass index as long-term predictors of mortality in initially healthy men. *J Gerontol Ser A.* 2000;55(3):M168–73. <https://doi.org/10.1093/gerona/55.3.M168>.
57. Norman K, Stobäus N, Gonzalez MC, Schulzke J-D, Pirlich M. Hand grip strength: outcome predictor and marker of nutritional status. *Clin Nutr.* 2011;30(2):135–42. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2010.09.010>.
58. Brown LE, Whitehurst M, Bryant JR, Buchalter DN. Reliability of the Biodex system 2 isokinetic dynamometer concentric mode. *Isokinet Exerc Sci.* 1993;3(3):160–3. <https://doi.org/10.3233/IES-1993-3307>.
59. Taylor NAS, Sanders RH, Howick EI, Stanley SN. Static and dynamic assessment of the Biodex dynamometer. *Eur J Appl Physiol.* 1991;62(3):180–8. <https://doi.org/10.1007/BF00643739>.
60. Healy GN, Matthews CE, Dunstan DW, Winkler EAH, Owen N. Sedentary time and cardio-metabolic biomarkers in US adults: NHANES 2003–06. *Eur Heart J.* 2011;32(5):590–7. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehq451>.
61. Hamer M, Stamatakis E, Steptoe A. Effects of substituting sedentary time with physical activity on metabolic risk. *Med Sci Sports Exerc.* 2014;46(10):1946–50. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000317>.
62. Healy GN, Wijndaele K, Dunstan DW, Shaw JE, Salmon J, Zimmet PZ, et al. Objectively measured sedentary time, physical activity, and metabolic risk: the Australian Diabetes, Obesity and Lifestyle Study (AusDiab). *Diabetes Care.* 2008;31(2):369–71. <https://doi.org/10.2337/dc07-1795>.
63. Matthews DR, Hosker JP, Rudenski AS, Naylor BA, Treacher DF, Turner RC. Homeostasis model assessment: insulin resistance and β -cell function from fasting plasma glucose and insulin concentrations in man. *Diabetologia.* 1985;28(7):412–9. <https://doi.org/10.1007/BF00280883>.
64. Hamer M, Stamatakis E. Prospective study of sedentary behavior, risk of depression, and cognitive impairment. *Med Sci Sports Exerc.* 2014;46(4):718–23. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000156>.
65. Endrighi R, Steptoe A, Hamer M. The effect of experimentally induced sedentariness on mood and psychobiological responses to mental stress. *Br J Psychiatry.* 2016;208(3):245–51. <https://doi.org/10.1192/bjp.bp.114.150755>.
66. Teychenne M, Ball K, Salmon J. Physical activity, sedentary behavior and depression among disadvantaged women. *Health Educ Res.* 2010;25(4):632–44. <https://doi.org/10.1093/her/cyq008>.
67. Teychenne M, Ball K, Salmon J. Sedentary behavior and depression among adults: a review. *Int J Behav Med.* 2010;17(4):246–54. <https://doi.org/10.1007/s12529-010-9075-z>.
68. Stubbs B, Vancampfort D, Firth J, Schuch FB, Hallgren M, Smith L, et al. Relationship between sedentary behavior and depression: a mediation analysis of influential factors across the lifespan among 42,469 people in low- and middle-income countries. *J Affect Disord.* 2018;229:231–8. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2017.12.104>.
69. Stubbs B, Vancampfort D, Rosenbaum S, Firth J, Cosco T, Veronese N, et al. An examination of the anxiolytic effects of exercise for people with anxiety and stress-related disorders: a meta-analysis. *Psychiatry Res.* 2017;249:102–8. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2016.12.020>.
70. Netz Y. Is the comparison between exercise and pharmacologic treatment of depression in the clinical practice guideline of the American College of Physicians evidence-based? *Front Pharmacol.* 2017;8:257. <https://doi.org/10.3389/fphar.2017.00257>.
71. Gunduz-Cinar O, Hill MN, McEwen BS, Holmes A. Amygdala FAAH and anandamide: mediating protection and recovery from stress. *Trends Pharmacol Sci.* 2013;34(11):637–44. <https://doi.org/10.1016/j.tips.2013.08.008>.
72. Dlugos A, Childs E, Stuhr KL, Hillard CJ, de Wit H. Acute stress increases circulating anandamide and other N-acyl ethanolamines in healthy humans. *Neuropsychopharmacology.* 2012;37(11):2416–27. <https://doi.org/10.1038/npp.2012.100>.
73. Hill MN, Miller GE, Ho W-SV, Gorzalka BB, Hillard CJ. Serum Endocannabinoid content is altered in females with depressive disorders: a preliminary report. *Pharmacopsychiatry.* 2008;41(2):48–53. <https://doi.org/10.1055/s-2007-993211>.
74. Assoumou HGN, Pichot V, Barthelemy J. c., Dauphinot V, Celle S, Gosse P, et al. Metabolic syndrome and short-term and long-term heart rate variability in elderly free of clinical cardiovascular disease: the PROOF study. *Rejuvenation Res.* 2010;13(6):653–63. <https://doi.org/10.1089/rej.2010.1019>.
75. Díaz-Rodríguez L, Arroyo-Morales M, Fernández-de-las-Peñas C, García-Lafuente F, García-Royo C, Tomás-Rojas I. Immediate effects of Reiki on heart rate variability, cortisol levels, and body temperature in health care professionals with burnout. *Biol Res Nurs.* 2011;13(4):376–82. <https://doi.org/10.1177/1099800410389166>.
76. Lucini D, Riva S, Pizzinelli P, Pagani M. Stress management at the worksite: reversal of symptoms profile and cardiovascular dysregulation. *Hypertension.* 2007;49(2):291–7. <https://doi.org/10.1161/01.HYP.0000255034.42285.58>.
77. Duthheil F, Boudet G, Perrier C, Lac G, Ouchchane L, Chamoux A, et al. JOBSTRESS study: comparison of heart rate variability in emergency physicians working a 24-hour shift or a 14-hour night shift — A randomized trial. *Int J Cardiol.* 2012;158(2):322–5. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2012.04.141>.
78. Li X, Yu S, Chen H, Lu C, Zhang K, Li F. Cardiovascular autonomic function analysis using approximate entropy from 24-h heart rate variability and its frequency components in patients with type 2 diabetes. *J Diabetes Investig.* 2015;6(2):227–35. <https://doi.org/10.1111/jdi.12270>.
79. Heart Rate Variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. *Eur Heart J.* 1996;17(3):354–81.
80. Lesage FX, Berjot S. Validity of occupational stress assessment using a visual analogue scale. *Occup Med.* 2011;61(6):434–6. <https://doi.org/10.1093/occmed/kqr037>.
81. Ekman P, Davidson RJ, Ricard M, Alan WB. Buddhist and psychological perspectives on emotions and well-being. *Curr Dir Psychol Sci.* 2005;14(2):59–63. <https://doi.org/10.1111/j.0963-7214.2005.00335.x>.
82. Juneau C, Pellerin N, Trives E, Ricard M, Shankland R, Dambrun M. Reliability and validity of an equanimity questionnaire: the two-factor equanimity scale (EQUA-S). *PeerJ.* 2020;8:e9405. <https://doi.org/10.7717/peerj.9405>.
83. Glass TA, McAtee MJ. Behavioral science at the crossroads in public health: extending horizons, envisioning the future. *Soc Sci Med.* 2006;62(7):1650–71. <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2005.08.044>.
84. Kim J, Im J-S, Choi Y-H. Objectively measured sedentary behavior and moderate-to-vigorous physical activity on the health-related quality of life in US adults: The National Health and Nutrition Examination Survey 2003–2006. *Qual Life Res.* 2017;26(5):1315–26. <https://doi.org/10.1007/s11136-016-1451-y>.
85. Karasek R, Choi B, Ostergren P-O, Ferrario M, Smet PD. Testing two methods to create comparable scale scores between the job content questionnaire (JCQ) and JCQ-like questionnaires in the European JACE study. *Int J Behav Med.* 2007;14(4):189–201. <https://doi.org/10.1007/BF03002993>.
86. Karasek RA. Job demands, job decision latitude, and mental strain: implications for job redesign. *Adm Sci Q.* 1979;24(2):285–308. <https://doi.org/10.2307/2392498>.
87. Canivet C, Choi B, Karasek R, Moghaddassi M, Staland-Nyman C, Östergren P-O. Can high psychological job demands, low decision latitude, and high job strain predict disability pensions? A 12-year follow-up of middle-aged Swedish workers. *Int Arch Occup Environ Health.* 2013;86(3):307–19. <https://doi.org/10.1007/s00420-012-0766-4>.
88. Siegrist J, Starke D, Chandola T, Godin I, Marmot M, Niedhammer I, et al. The measurement of effort–reward imbalance at work: European comparisons. *Soc Sci Med.* 2004;58(8):1483–99. [https://doi.org/10.1016/S0277-9536\(03\)00351-4](https://doi.org/10.1016/S0277-9536(03)00351-4).
89. Siegrist J, Wahrendorf M, Goldberg M, Zins M, Hoven H. Is effort–reward imbalance at work associated with different domains of health functioning? Baseline results from the French CONSTANCES study. *Int Arch Occup Environ Health.* 2019;92(4):467–80. <https://doi.org/10.1007/s00420-018-1374-8>.
90. Descatha A, Roquelaure Y, Chastang J-F, Evanoff B, Melchior M, Mariot C, et al. Validity of Nordic-style questionnaires in the surveillance of upper-limb work-related musculoskeletal disorders. *Scand J Work Environ Health.* 2007;33(1):58–65. <https://doi.org/10.5271/sjweh.1065>.

91. Kuorinka I, Jonsson B, Kilbom A, Vinterberg H, Biering-Sørensen F, Andersson G, et al. Standardised Nordic questionnaires for the analysis of musculoskeletal symptoms. *Appl Ergon*. 1987;18(3):233–7. [https://doi.org/10.1016/0003-6870\(87\)90010-X](https://doi.org/10.1016/0003-6870(87)90010-X).
92. Roquelaure Y, Ha C, Lederc A, Touranchet A, Sauteron M, Melchior M, et al. Epidemiologic surveillance of upper-extremity musculoskeletal disorders in the working population. *Arthritis Care Res*. 2006;55(5):765–78. <https://doi.org/10.1002/art.22222>.
93. Gourmelen J, Chastang J-F, Ozguler A, Lanoë J-L, Ravaud J-F, Lederc A. Frequency of low back pain among men and women aged 30 to 64 years in France. Results of two national surveys. *Ann Réadapt Médecine Phys*. 2007;50(8):640–4. <https://doi.org/10.1016/j.annmp.2007.05.009>.
94. Ferrannini E. The theoretical bases of indirect calorimetry: a review. *Metabolism*. 1988;37(3):287–301. [https://doi.org/10.1016/0026-0495\(88\)90110-2](https://doi.org/10.1016/0026-0495(88)90110-2).
95. Nieman DC, Austin MD, Benezra L, Pearce S, McInnis T, Unick J, et al. Validation of Cosmed's FitMate™ in measuring oxygen consumption and estimating resting metabolic rate. *Res Sports Med*. 2006;14(2):89–96. <https://doi.org/10.1080/15438620600651512>.
96. Compher C, Frankenfield D, Keim N, Roth-Yousey L. Best practice methods to apply to measurement of resting metabolic rate in adults: a systematic review. *J Am Diet Assoc*. 2006;106(6):881–903. <https://doi.org/10.1016/j.jada.2006.02.009>.
97. Weir JB de V. New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. *J Physiol*. 1949;109(1–2):1–9. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1949.sp004363>.
98. Macfarlane DJ, Wong P. Validity, reliability and stability of the portable Cortex Metamax 3B gas analysis system. *Eur J Appl Physiol*. 2012;112(7):2539–47. <https://doi.org/10.1007/s00421-011-2230-7>.
99. Péronnet F, Massicotte D. Table of nonprotein respiratory quotient: an update. *Can J Sport Sci J Can Sci Sport*. 1991;16(1):23–9.
100. Chaput J-P, Klingenberg L, Astrup A, Sjödén AM. Modern sedentary activities promote overconsumption of food in our current obesogenic environment. *Obes Rev*. 2011;12(5):e12–20. <https://doi.org/10.1111/j.1467-789X.2010.00772.x>.
101. Chaput JP, Tremblay A, Pereira B, Boirie Y, Duclos M, Thivel D. Food intake response to exercise and active video gaming in adolescents: effect of weight status. *Br J Nutr*. 2016;115(3):547–53. <https://doi.org/10.1017/S0007114515004602>.
102. Blundell J, Graaf CD, Hulshof T, Jebb S, Livingstone B, Lluch A, et al. Appetite control: methodological aspects of the evaluation of foods. *Obes Rev*. 2010;11(3):251–70. <https://doi.org/10.1111/j.1467-789X.2010.00714.x>.
103. de Lauzon-Guillain B, Musher-Eizenman D, Leporc E, Holub S, Charles MA. Parental feeding practices in the United States and in France: relationships with child's characteristics and parent's eating behavior. *J Am Diet Assoc*. 2009;109(6):1064–9. <https://doi.org/10.1016/j.jada.2009.03.008>.
104. Cappelleri JC, Bushmakin AG, Gerber RA, Leidy NK, Sexton CC, Lowe MR, et al. Psychometric analysis of the Three-Factor Eating Questionnaire-R21: results from a large diverse sample of obese and non-obese participants. *Int J Obes*. 2009;33(6):611–20. <https://doi.org/10.1038/ijo.2009.74>.
105. Lluch A, Kahn J, Stricker-Krongrad A, Ziegler O, Drouin P, Méjean L. Internal validation of a French version of the Dutch eating behaviour questionnaire. *Eur Psychiatry*. 1996;11(4):198–203. [https://doi.org/10.1016/0924-9338\(96\)88391-X](https://doi.org/10.1016/0924-9338(96)88391-X).
106. de Lauzon B, Romon M, Deschamps V, Lafay L, Boys J-M, Karlsson J, et al. The Three-Factor Eating Questionnaire-R18 is able to distinguish among different eating patterns in a general population. *J Nutr*. 2004;134(9):2372–80. <https://doi.org/10.1093/jn/134.9.2372>.
107. Genin PM, Degoutte F, Finaud J, Pereira B, Thivel D, Duclos M. Effect of a 5-month worksite physical activity program on tertiary employees overall health and fitness. *J Occup Environ Med*. 2017;59(2):e3–e10. <https://doi.org/10.1097/JOM.0000000000000945>.
108. Genin PM, Dessenne P, Finaud J, Pereira B, Thivel D, Duclos M. Health and fitness benefits but low adherence rate: effect of a 10-month onsite physical activity program among tertiary employees. *J Occup Environ Med*. 2018;60(9):e455–62. <https://doi.org/10.1097/JOM.0000000000001394>.
109. Eldridge SM, Chan CL, Campbell MJ, Bond CM, Hopewell S, Thabane L, et al. CONSORT 2010 statement: extension to randomised pilot and feasibility trials. *Pilot Feasibility Stud*. 2016;2:1–2.
110. Saidj M, Menai M, Charreire H, Weber C, Enaud C, Aadahl M, et al. Descriptive study of sedentary behaviours in 35,444 French working adults: cross-sectional findings from the ACTI-Cités study. *BMC Public Health*. 2015;15(1):379. <https://doi.org/10.1186/s12889-015-1711-8>.
111. Wirtz PH, von Känel R. Psychological stress, inflammation, and coronary heart disease. *Curr Cardiol Rep*. 2017;19(11):1–10.
112. Sorensen G, Landsbergis P, Hammer L, Amick BC, Linnan L, Yancey A, et al. Preventing chronic disease in the workplace: a workshop report and recommendations. *Am J Public Health*. 2011;101(S1):S196–207. <https://doi.org/10.2105/AJPH.2010.300075>.
113. O'Brien KE, Beehr TA. Managing employees' occupational stress. *Stress Qual Work Life Interpers Occup Stress*. 2016;181–98.
114. Thompson WG, Foster RC, Eide DS, Levine JA. Feasibility of a walking workstation to increase daily walking. *Br J Sports Med*. 2008;42(3):225–8. <https://doi.org/10.1136/bjsm.2007.039479>.
115. MacEwen BT, MacDonald DJ, Burr JF. A systematic review of standing and treadmill desks in the workplace. *Prev Med*. 2015;70:50–8. <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2014.11.011>.
116. Caldwell AR, Gallagher KM, Harris BT, Rosa-Caldwell ME, Payne M, Daniels B, et al. Prolonged standing increases lower limb arterial stiffness. *Eur J Appl Physiol*. 2018;118(10):2249–58. <https://doi.org/10.1007/s00421-018-3956-2>.
117. Miles-Chan JL, Dulloo AG. Posture allocation revisited: breaking the sedentary threshold of energy expenditure for obesity management. *Front Physiol*. 2017;8. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00420>.
118. Chastin SFM, Craemer MD, Cocker KD, Powell L, Cauwenberg JV, Dall P, 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*. 2019;53(6):370–6. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2017-097563>.
119. Barr-Anderson DJ, AuYoung M, Whitt-Glover MC, Glenn BA, Yancey AK. Integration of short bouts of physical activity into organizational routine: a systematic review of the literature. *Am J Prev Med*. 2011;40(1):76–93. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2010.09.033>.
120. Macfarlane DJ, Taylor LH, Cuddihy TF. Very short intermittent vs continuous bouts of activity in sedentary adults. *Prev Med*. 2006;43(4):332–6. <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2006.06.002>.
121. Murphy MH, Lahart I, Carlin A, Murtagh E. The effects of continuous compared to accumulated exercise on health: a meta-analytic review. *Sports Med*. 2019;49(10):1585–607. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01145-2>.
122. Shambrook P, Kingsley M, Taylor N, Gordon B. Accumulated or continuous exercise for glycaemic regulation and control: a systematic review with meta-analysis. *BMJ Open Sport Exerc Med*. 2018;4(1):e000470. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2018-000470>. eCollection 2018.
123. Begg MD, Parides MK. Separation of individual-level and cluster-level covariate effects in regression analysis of correlated data. *Stat Med*. 2003;22(16):2591–602. <https://doi.org/10.1002/sim.1524>.
124. Ramos S, Maheronaghsh S, Vila-Chã C, Vaz M, Santos J. The influence of active workstations on work performance, productivity indicators and sedentary time: a systematic review. *Occup Environ Saf Health*. 2019:477–83. https://doi.org/10.1007/978-3-030-14730-3_51.
125. Insee. Emploi, chômage, revenus du travail. Insee Références; 2018.

Publisher's Note

Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Ready to submit your research? Choose BMC and benefit from:

- fast, convenient online submission
- thorough peer review by experienced researchers in your field
- rapid publication on acceptance
- support for research data, including large and complex data types
- gold Open Access which fosters wider collaboration and increased citations
- maximum visibility for your research: over 100M website views per year

At BMC, research is always in progress.

Learn more biomedcentral.com/submissions



Article 2 : Différences de profil métabolique chez les femmes selon leur dépense énergétique (faible *vs* élevée) pendant un exercice de faible intensité sur un pédalier de bureau

Le contexte sanitaire et social lié à la crise du SARS-CoV-2 a nécessité l'arrêt du protocole REMOVE en mars 2020, empêchant la tenue des évaluations à T1ppm et T1. Toutefois, la collecte de données réalisée en janvier 2020 (T0) nous a permis d'explorer les caractéristiques physiologiques de notre cohorte pour permettre une meilleure compréhension de celle-ci. En l'occurrence, de précédentes études se sont intéressées aux caractéristiques énergétiques propres à chaque individu entre la position assise et debout (Miles-Chan et al., 2013). Il a été rapporté une variabilité inter-individuelle significative de la dépense énergétique lors de la mise en position statique debout, mettant en avant des sujets considérés comme « *répondeurs* », augmentant de façon substantielle leur dépense énergétique (>5%) et d'autres catégorisés comme « *non-répondeurs* », ne présentant pas ou peu (<5%) de modification de leur dépense énergétique. Ces observations interrogent sur la capacité des bureaux debout à se positionner comme un bureau actif permettant d'augmenter la dépense énergétique. Diverses études se sont intéressées au coût énergétique associé à l'utilisation de bureaux actifs dynamiques et les observations s'accordent sur une augmentation significative de la dépense énergétique comparée à la position assise statique ($\approx 2-4 \text{ kcal}\cdot\text{min}^{-1}$) (Tudor-Locke et al., 2014). Cependant, aucune de ces études n'a pu identifier les paramètres permettant d'expliquer cette hétérogénéité dans les réponses énergétiques. Pourtant, comprendre les caractéristiques individuelles relatives aux profils énergétiques permettrait une meilleure optimisation et individualisation des stratégies d'utilisation de bureau actif.

Ainsi, l'objectif de cette étude a été de comparer la composition corporelle, la condition physique et des paramètres biologiques d'individus caractérisés par des profils énergétiques hétérogènes lors d'un exercice de faible intensité sur un pédalier de bureau. Nous avons émis l'hypothèse que les participantes présentant un profil énergétique plus efficient seraient caractérisées par une meilleure composition corporelle, santé cardiométabolique et condition physique.

Résumé

Les bureaux actifs sont des stratégies émergentes visant à réduire le temps de sédentarité pendant le travail. Une grande variabilité inter-individuelle du profil de la dépense énergétique a été identifiée et doit être explorée pour mieux optimiser et individualiser ces stratégies. Par conséquent, la présente étude visait à comparer le profil métabolique et physique de personnes caractérisées comme énergétiquement dépensiers (H-Spenders) par rapport à des économes (L-Spenders) basé sur la dépense énergétique au cours d'un exercice de pédalier de bureau à faible intensité. 28 femmes en bonne santé occupant des postes administratifs ont été incluses. Les paramètres anthropométriques, la composition corporelle et le profil métabolique à jeun ont été évalués. La dépense énergétique a été déterminée par calorimétrie indirecte, au repos et pendant un l'activité de pédalage durant 30 minutes. Les sujets ont été classés dans les catégories H-Spenders et L-Spenders en utilisant la médiane de la différence entre la dépense énergétique au repos et pendant l'exercice de 30 minutes. Les H-Spenders avaient une dépense énergétique moyenne plus élevée ($p < 0.001$) et une oxydation des glucides ($p = 0.009$) pendant l'exercice. Les H-Spenders présentaient des valeurs pour l'insuline plasmatique à jeun ($p = 0,002$) et l'HOMA-IR ($p = 0.002$) et les valeurs pour le HDL-cholestérol ($p = 0.014$) plus élevées que celles des L-Spenders. Le pourcentage de masse grasse était significativement plus élevé chez les H-Spenders ($p = 0.034$). Les individus dépensant plus d'énergie pendant un exercice de pédalage de faible intensité ont présenté un profil métabolique moins sain par rapport aux L-Spenders. Des études futures devront déterminer si l'utilisation chronique de bureaux-pédaliers pendant le temps de travail peut améliorer le profil énergétique en ce qui concerne les paramètres métaboliques.



OPEN

Metabolic profile in women differs between high versus low energy spenders during a low intensity exercise on a cycle-desk

Terry Guirado^{1,2,3,4,✉}, Pierre Bourdier⁵, Bruno Pereira⁷, Elisa Le Roux⁵, Audrey Bergouignan^{5,6}, Anthony Birat^{1,2}, Laurie Isacco^{1,2}, David Thivel^{1,2}, Martine Duclos^{2,3,4} & Lore Metz^{1,2}

Active-desks are emerging strategies aiming at reducing sedentary time while working. A large inter-individual variability in energy expenditure (EE) profile has been identified and has to be explored to better optimize and individualize those strategies. Thus the present study aimed at comparing the metabolic and physical profile of individuals characterized as high spenders (H-Spenders) *versus* low spenders (L-Spenders) based on EE during a cycle-desk low intensity exercise. 28 healthy women working in administrative positions were enrolled. Anthropometric, body composition and fasting metabolic profile parameters were assessed. EE was determined by indirect calorimetry, at rest and during a 30-min cycle-desk use. Participants were categorized as H-Spenders and L-Spenders using the median of the difference between EE at rest and during the 30-min exercise. H-Spenders had higher mean EE ($p < 0.001$) and carbohydrate oxidation ($p = 0.009$) during exercise. H-Spenders displayed higher values for fasting plasma insulin ($p = 0.002$) and HOMA-IR ($p = 0.002$) and lower values for HDL-cholesterol ($p = 0.014$) than L-Spenders. The percentage of body fat mass was significantly higher in H-Spenders ($p = 0.034$). Individuals expending more energy during a low intensity cycling exercise presented a less healthy metabolic profile compared with L-Spenders. Future studies will have to explore whether the chronic use of cycle-desks during work time can improve energy profile regarding metabolic parameters.

Over the last century, the technological revolution (i.e. work automation, increase in transports use) led to tremendous changes in human behaviors favoring a global reduction in physical activities (PA) and an increase in sedentary behaviors (SB)¹, particularly in high-income countries^{2,3}. The independent and joint effects of those more recently adopted behaviors raise the risks of cardio-metabolic morbidity and all-cause mortality^{2,4}. With the growth of desk-bound activities in the work environment, SB have taken an important part in individuals' daily time⁵ resulting in a reduction in PA and total energy expenditure (EE)⁶. Active workstations (sit-to-stand, treadmill or cycle-desks) have been suggested as potential solutions to counterbalance the excessive amount of time spent seated at work^{7,8}. Standing desks have been suggested to increase slightly but significantly EE at work ($\approx 1.2 \text{ kcal}\cdot\text{min}^{-1}$)⁹ compared with sitting position. However, this strategy may not benefit everyone to the same extent; inter-individual variability has been previously reported in energy during a sit-to-stand protocol^{10,11}. Some individuals displayed a significant increase in EE during a steady-state standing position compared to a sitting position, while only a small increase in EE was detected in others in response to this postural change. These previous results from Miles-Chan and al.^{10,11} raised questions regarding standing as an effective strategy to increase EE in the overall population. The variability in EE adaptation has been associated with some health parameters such as body fat mass that is positively correlated with the energy cost of standing posture in healthy

¹EA 3533, Laboratory of the Metabolic Adaptations to Exercise Under Physiological and Pathological Conditions (AME2P), BP 80026, UE3533, Clermont Auvergne University, 63170 Aubiere CEDEX, France. ²Auvergne Research Center for Human Nutrition (CRNH), 63000 Clermont-Ferrand, France. ³Department of Sport Medicine and Functional Explorations, Clermont-Ferrand University Hospital, G. Montpied Hospital, Clermont-Ferrand, France. ⁴INRA, UMR 1019, Clermont-Ferrand, France. ⁵Université de Strasbourg, CNRS, IPHC, UMR 7178, 67000 Strasbourg, France. ⁶Division of Endocrinology, Metabolism and Diabetes, Anschutz Health and Wellness Center, University of Colorado, Anschutz Medical Campus, Aurora, CO, USA. ⁷Clermont-Ferrand University Hospital, Biostatistics Unit (DRCI), Clermont-Ferrand, France. ✉email: terry.guirado@uca.fr

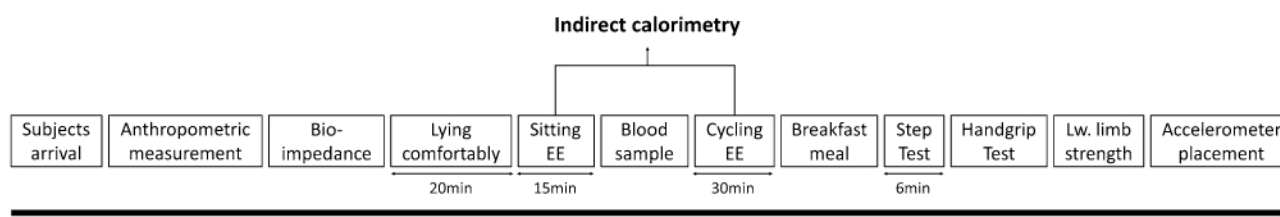


Figure 1. Schematic representation of the experimental design. EE, energy expenditure; Lw., lower.

inactive individuals¹². Several studies have questioned the energetic cost of other different dynamic workstations such as walking on a treadmill or cycling desk^{9,13}. While these studies obviously reported a substantial increase in EE ($\approx 2\text{--}4 \text{ kcal}\cdot\text{min}^{-1}$) compared to seating position^{9,14,15}, cycling desks have been suggested to be the best active workstation in terms of work and psychobiological performances¹³. Nevertheless, none of the studies investigating EE during cycle-desk utilization have identified the parameters that could explain these different energy profiles. Several authors have noticed that training status can influence cycling gross efficiency^{16,17}, with higher trained subjects being more efficient (i.e. more thrifty). However, the exercise intensities used in these studies are moderate to high and might not be representative of EE adaptations during low intensity exercise on a cycle-desk. Hence, it remains unknown whether the energetic profile of individuals during low intensity activities such as cycle-desk can be explained by specific anthropometric, body composition, cardiometabolic parameters or physical fitness. Indeed, understanding the characteristics of individuals' energetic profiles will enable a better optimization and individualization of active-desks strategies. In this context, the present study is the first to aim at comparing body composition, the cardiometabolic and physical fitness profile of individuals characterized as spenders *versus* non-spenders during a low intensity cycle-desk exercise, based on EE measurement. We hypothesized that participants with a more efficient energy profile will present healthier body composition, metabolic health and physical fitness.

Methods

Participants. Twenty-eight healthy women, administrative employees, with a body mass index (BMI) ranging from 18.5 to 29.9 kg/m² and aged between 18 to 60 years, participated in the present study. To be included in the study participants had to: i) be engaged in less than 150 min of moderate-to-vigorous physical activity per week based on self-reported data; ii) declare having regular menstrual cycles; iii) not be pregnant or lactating; iv) be free of any cardiovascular or metabolic disorders; v) not be dieting; vi) be free of any medication (excepted oral contraceptive); and vii) have a stable body weight (< 3 kg change during the 6 months prior to screening). This study was approved by the French ethical committee (Comité de Protection Personne Ile De France VIII 19 09 66) and all methods were performed in accordance with the relevant guidelines and regulations. Written informed consent was obtained for all participants in the present study.

Experimental design. After a full medical examination to assess eligibility, all subjects were asked to join the laboratory (laboratory AME2P, Aubière, France) for an experimental visit between January 6th and January 24th, 2020. Subjects were asked to keep their habitual daily activities, avoid any stressful situations and not consume caffeine for the 24 h prior to the test day. All participants completed this experimental session (Fig. 1) during the follicular phase of their menstrual cycle. Subjects reported to the laboratory at ~ 08.00 am, after a 12-h overnight fast. Evaluation started with body composition assessment and EE at rest was then investigated. Blood sample was obtained before a light intensity cycling exercise during which EE was measured. Participants' physical fitness was evaluated on the same day after a standardized breakfast meal. Finally, before leaving the laboratory, participants received an accelerometer to be worn for the following 7 days in order to assess their daily physically active and sedentary time.

Anthropometric measurement and body composition. Height was measured with a stadiometer at the nearest 0.1 cm, waist circumference (WC) was measured with a tape measure at the nearest 0.5 cm and WC to height ratio (WHtR) was calculated. Body weight was assessed using a calibrated scale (SECA, Les Mureaux, France) and fat mass percentage (%FM) and fat-free mass (FFM-kg) were evaluated by bioelectrical impedance (Tanita MC-780, USA, Arlington Heights), following the manufacturer's instructions.

Energy expenditure and substrate oxidation. After calibration of the device, indirect calorimetry with a facemask (MetaMax 3b, Cortex Biophysik, Leipzig, Germany) was used to measure VO_2 and VCO_2 for EE and substrate oxidation assessment. A heart rate monitor (Polar A300, Polar, Kempele, Finland) was used for the length of the experiment. Prior to resting condition subjects were sitting quietly for 15 min. For resting condition, subjects were lying comfortably in a deckchair in a thermoneutral environment for at least 20 min. After this period, subjects were asked to stay calm, not speak and avoid any movement. Gas exchanges were recorded for 15 min minimum and only the last 5 min were analyzed as previously suggested¹⁸ and were defined as "Rest" time measure.

During the exercise condition, subjects were submitted to a 30-min light exercise using a cycle-desk (Desk-Cycle, 3D Innovations LLC., Greeley, CO, USA) with a resistance set at 2 out of 8 per design of the ergometer and

a revolution per minute (RPM) at 50 during the whole test, representing a power of ~ 16 Watts. An investigator supervised that participants respected the speed during the cycling test and reported at the end of the exercise the distance covered to ensure the test condition was similar between subjects. After the 30-min exercise testing, subjects had 1-min of recovery. Gas exchanges were measured during the entire exercise test and recovery period. EE, using Weir's equation¹⁹, respiratory quotient (RQ; $VCO_2/V\dot{O}_2$) and substrate utilization, using Péronnet & Massicotte equations²⁰ were calculated for the whole 30-min exercise session and also at rest, and after 5 (Start), 10, 20, 30 min of exercise. Mean values of the last 2 min of each period were considered for analysis as done in previous studies²¹. The first minute of recovery was also considered for analysis.

Cardiometabolic outcomes. Systolic and diastolic blood pressures were measured in a seated position using an auditory stethoscope with a blood pressure cuff adapted to the arm circumference. Subjects remained comfortably installed on a deckchair to collect a fasting blood sample. Plasma glucose, triglycerides, light-density lipoprotein cholesterol (LDL-cholesterol), high-density lipoprotein cholesterol (HDL-cholesterol) and total cholesterol were measured by enzymatic commercial assays. Insulin was assessed by chemiluminescent enzyme immunoassays. The enzymatic kits can be found in Supplemental file 1. All blood samples were centrifuged and plasma was kept frozen in aliquots at $-80\text{ }^\circ\text{C}$ prior to analyses. The homeostasis model assessment of insulin resistance (HOMA-IR) was calculated by the following formula: fasting blood insulin (mU/L) x fasting blood glucose (mmol/L) / 22.5²².

Physical fitness. *Aerobic fitness.* Participants performed a 6 min step test as described before²³. Participants wore a heart rate monitor (Polar A300, Polar, Kempele, Finland) to continuously record heart rate from the start to the end of the test, 30 s and 1 min in recovery.

Upper and lower limb strength. Participants performed a handgrip test as described in previous studies²⁴. Then, participants were seated with a hip joint at 105° of flexion and were attached on the trunk, the hip and the left leg to the dynamometer chair (Biodex System 2, Biodex, Shirley, USA) with Velcro straps. Torque was measured on isometric 3 s-Maximum Voluntary Contraction (MVC) and on concentric MVC at a velocity of $60^\circ/\text{sec}$ and $120^\circ/\text{sec}$.

Daily physical activity and sedentary time. From the day after the experiment, every subject was asked to wear triaxial accelerometers (ActiGraph wGT3X-BT, ActiGraph, Inc., Pensacola, FL) during 7 days with at least one weekend day. Participants wore the device on the right hip²⁵ on an elastic belt. Data were collected at a frequency of 60 Hz and converted to counts per 1 s epoch using the manufacturer's software (ActiLife version 6.13.4). Non wear time was defined as 90 min of 0 count per minute (cpm) with an allowance of 2 min of activity when it is placed between two 30-min windows of 0 cpm²⁶. To be accepted in the analysis, accelerometer data had to be at least 4 days (including 1 weekend day) of wear with a monitor wear time of ≥ 10 h/day (600 min/day)²⁷. SB was calculated with the vertical axis and PA with vector magnitude. SB was defined as < 150 counts min^{-1} ²⁸, light intensity PA (LIPA) was obtained by subtracting SB and data below 2689 counts min^{-1} , MVPA was defined as 2,690–6166 counts min^{-1} , vigorous PA (VPA) was defined as < 6467 counts min^{-1} ²⁹.

Statistical analyzes. The sample size was estimated in order to compare the metabolic and physical profile of individuals characterized as high spenders (H-Spenders) versus low spenders (L-Spenders) based on EE during a cycle-desk low intensity exercise. To highlight significant differences greater than 1 point effect-size, 14 participants by group (H-Spenders vs. L-Spenders) were needed for 80% satisfactory statistical power and a two-sided type I error at 5%.

Statistical analysis was performed using Stata software (version 15, StataCorp, College Station, Texas, USA). Data were presented as mean and standard deviation. The Shapiro–Wilk test was used to test the assumption of distribution normality for quantitative parameters. Energy profile was determined by categorizing difference between EE at rest and 27 min of exercise (3–27 min) (Delta Exo-Rest) according to statistical distribution, i.e. to median of the sample^{30,31}. This categorization enabled to have two different groups: High Spenders (H-Spenders) and Low Spenders (L-Spenders). The comparisons between groups (above versus below the median value), were performed by repeated-measures ANOVA and post-hoc Bonferroni test was used for multiple comparisons with significance levels set at $p < 0.05$. The statistical tests were two-sided, with type I error at 0.05. Then, a sensitivity analysis was conducted to guaranty that these analyzes realized according to median value were robust and that conclusions can be supported by the results. Delta Exo-Rest was categorized according to values ranged between interquartile ranges. The comparisons were performed as aforementioned. More precisely, for each value of Delta Exo-Rest between first and third quartile, continuous variables were compared among $<$ or \geq of each value of Delta Exo-Rest. The results were expressed as Hedges' effect size (ES) and 95% confidence intervals, and were interpreted according to Cohen's rules of thumb, which defines effect-size bounds as: small (ES: 0.2), medium (ES: 0.5) and large (ES: 0.8: grossly perceptible and therefore large). Multivariate analysis was conducted using multiple linear regression to adjust results on weight of participants. The assumption of residuals normality was analyzed as aforementioned. When appropriate, a logarithmic transformation was applied. As these analyzes could be considered as exploratory, individual p-values have been reported without applying any mathematical correction but with specific attention to the magnitude of differences (i.e. ES), according to several works reported in the literature like those discussed by Bender and Lange³². Furthermore, principal component analysis was also performed to investigate relationships between quantitative variables using R software (R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria). This statistical method was useful for analyzing assets as elements of

Variables	Low spenders	High spenders
N	14	14
Age (years)	41.9 (10.9)	37.7 (7.6)
Height (cm)	164.4 (4.7)	163.8 (7.3)
Body weight (kg)	58.4 (4.6)	64.5 (11.8)
BMI (kg/m ²)	21.6 (1.7)	23.9 (3.8)
Body fat mass (%)	25.9 (5.9)	31.5 (6.6)*
Body fat-free mass (kg)	40.9 (2.4)	41.4 (4.8)
Waist circumference (cm)	73.2 (6.0)	82.0 (11.3)
Waist circumference/height	0.44 (0.04)	0.50 (0.07)*
Systolic blood pressure (mmHg)	112.1 (5.8)	121.1 (14.9)
Diastolic blood pressure (mmHg)	70.0 (6.0)	76.1 (8.4)
Glucose (mmol/L)	4.79 (0.32)	5.12 (0.90)
Insulin (mIU/L)	4.04 (1.72)	9.25 (6.46)**
HOMA-IR	0.86 (0.36)	2.30 (2.35)**
Total cholesterol (g/L)	1.73 (0.45)	1.68 (0.25)
HDL-Cholesterol (g/L)	0.66 (0.09)	0.54 (0.13)*
LDL-Cholesterol (g/L)	0.99 (0.24)	1.00 (0.27)
Triglycerides (g/L)	0.83 (0.38)	0.72 (0.28)

Table 1. Characteristics of the study population. BMI, body mass index; HOMA-IR, homeostatic model assessment of insulin resistance; HDL, high-density lipoprotein cholesterol; LDL, light-density lipoprotein cholesterol. Values are presented as mean score (standard deviation) or percentage. Boldface indicates statistical significance (* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$), respectively with Mann–Whitney test.

quantitative variables in order to i) uncover the underlying relationships and structures of the measured variables (latent constructs) and ii) to aggregate subjects into clusters such that each cluster represents a topic.

Results

Anthropometric, body composition and cardiometabolic outcomes. H-Spenders and L-Spenders were aged 37.7 ± 7.6 and 41.9 ± 10.9 y.o., respectively, with a mean BMI of 23.9 ± 3.8 and 21.6 ± 1.7 kg/m². H-Spenders had a higher percentage of body fat mass ($p = 0.034$) and WHtR ($p = 0.025$) and lower fasting plasma concentration of HDL-C ($p = 0.014$) compared to L-Spenders (Table 1). A lower insulin sensitivity was observed for H-Spenders compared to L-Spenders, as indicated by greater plasma insulin concentrations ($p = 0.002$) and HOMA-IR ($p = 0.002$) values (Table 1). No other between-group significant difference was reported in body composition and cardiometabolic outcomes (Table 1).

Daily physical activity, sedentary time and physical fitness. As displayed in Table 2, no significant difference was observed between the two groups for aerobic fitness, upper and lower limb strength, total and segmented (by intensities) physical activity levels and sedentary time (Table 2). Based on the recorded physically active and sedentary time, our population can be considered sedentary and physically inactive¹.

Energy expenditure, heart rate and substrate oxidation. Overall, Delta Exo-Rest for EE showed large variability (0.5 to 1.8 kcal.min) (Fig. 2). Mean EE during the 30-min exercise increased significantly compared to mean resting EE in both H-Spenders (2.26 ± 0.2 vs 0.98 ± 0.12 kcal/min, $p < 0.001$) and L-Spenders (1.91 ± 0.15 vs 0.93 ± 0.11 kcal/min, $p < 0.001$). There was no between-group difference in EE at rest (0.98 ± 0.12 vs 0.93 ± 0.12 kcal/min, respectively). However, H-Spenders had higher EE than L-Spenders at every time point of the exercise test: start (2.38 ± 0.19 vs 1.93 ± 0.16 kcal/min, $p < 0.001$, respectively), 10 min (2.26 ± 0.18 vs 1.92 ± 0.13 kcal/min, $p < 0.001$, respectively), 20 min (2.21 ± 0.22 vs 1.88 ± 0.15 kcal/min, $p < 0.001$, respectively), and 30 min (2.18 ± 0.17 vs 1.92 ± 0.15 kcal/min, $p < 0.001$, respectively) (Fig. 3A). At 1 min-recovery, EE was not significantly different between the groups (1.56 ± 0.30 vs 1.39 ± 0.20 kcal/min, H-Spenders vs L-Spenders, respectively).

The light cycling exercise significantly increased heart rate compared to resting position in both H-Spenders (86 ± 11 vs 70 ± 12 beats/min, $p < 0.001$) and L-Spenders (81 ± 10 vs 68 ± 9 beats/min, $p < 0.001$) with no differences between the two groups. This increase was consistent across the entire duration of cycling for both groups (Fig. 3B).

RQ was similar between H-Spenders and L-Spenders at rest (0.84 ± 0.05 vs 0.83 ± 0.04 , respectively) but was significantly higher in H-Spenders during the whole duration of exercise compared to L-Spenders ($p = 0.021$) (Fig. 4A). Taking all data together, there was a time effect ($p = 0.009$) for carbohydrates (CHO) oxidation, which was significantly higher during exercise compared to rest ($p = 0.008$) and recovery ($p = 0.006$). Resting CHO oxidation was significantly higher in H-Spenders compared to L-Spenders (3.33 ± 1.2 vs 2.82 ± 0.94 mg/min/kgFFM, $p = 0.017$, respectively). No significant difference was observed between groups at start, while H-Spenders oxidized significantly more CHO than L-Spenders during cycling at 10 min (6.52 ± 2.28 vs 4.53 ± 1.48 mg/min/

Variables	Low spenders	High spenders
N	14	14
Valid days of accelerometer wear	5.7 (0.4)	6.0 (0)
Weekdays	3.9 (0.3)	4.0 (0)
Weekend days	1.8 (0.4)	2.0 (0)
Number of minutes of accelerometer data (min/day)	352.9 (64.3)	368.9 (55.4)
Sedentary time (%/daily waking hours)	87.8 (2.9)	87.9 (3.1)
Total physical activity (%/daily waking hours)	12.2 (2.9)	12.0 (3.1)
LPA (%)	3.1 (1.1)	3.4 (1.1)
MVPA (%)	7.9 (1.9)	7.7 (2.7)
VPA (%)	1.2 (0.5)	0.9 (0.4)
Handgrip dominant hand (kg)	29.1 (4.7)	29.3 (4.7)
Handgrip non-dominant hand (kg)	28.0 (4.8)	26.5 (5.0)
Rest heart rate step test (bpm)	65.8 (6.8)	74.8 (12.7)
Heart rate step test (bpm)	147.9 (18.0)	160.3 (16.7)
Heart rate step test + 30 (bpm)	124.5 (19.9)	136.0 (19.3)
Heart rate step test + 60 (bpm)	106.2 (20.1)	118.1 (17.6)
Isometric strength (nm)	136.1 (31.7)	131.1 (36.6)
Isokinetic power 60°/sec (w)	142.7 (33.2)	140.1 (34.0)
Isokinetic power 120°/sec (w)	236.5 (55.7)	215.1 (60.5)

Table 2. Physical activity level, sedentary time and physical fitness of the study population. LPA, light intensity physical activity; MVPA, moderate-to-vigorous physical activity; VPA, vigorous physical activity. Values are presented as mean score (standard deviation) or percentage.

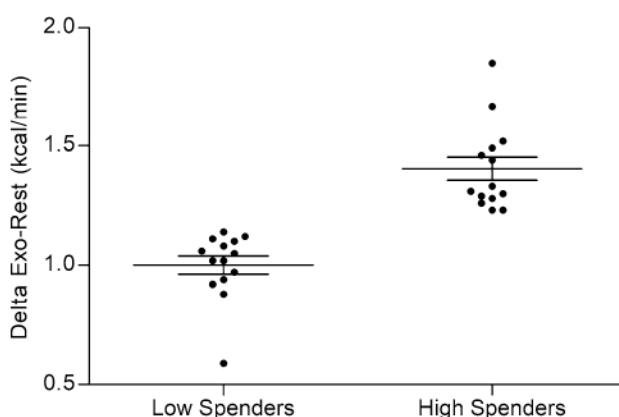


Figure 2. Characterization of Delta Exo-Rest between H-Spenders and L-Spenders. Data are presented as mean \pm SEM.

FFM, $p = 0.009$, respectively), 20 min (6.52 ± 2.34 vs 4.79 ± 1.47 mg/min/kgFFM, $p = 0.049$, respectively) and 30 min (6.47 ± 2.15 vs 4.14 ± 1.38 mg/min/kgFFM, $p = 0.008$, respectively). No significant difference was reported at recovery between groups and compared to rest.

There was also a time effect for lipid oxidation, which was higher during exercise compared to rest for both H-Spenders (3.88 ± 1.55 vs 1.28 ± 0.33 mg/min/kgFFM, $p < 0.001$) and L-Spenders (3.85 ± 1.48 vs 1.27 ± 0.34 mg/min/kgFFM, $p < 0.001$). A group effect was noticed at the start of exercise and during recovery, with H-Spenders oxidizing more lipid than L-Spenders at start (5.94 ± 1.69 vs 4.76 ± 1.03 mg/min/kgFFM, $p = 0.030$, respectively) and oxidizing less lipid than L-Spenders during recovery (2.1 ± 0.44 vs 4.84 ± 2.34 mg/min/kgFFM, $p = 0.002$, respectively). No significant difference was reported for any other time of the exercise test.

Relative to total EE at rest, there was no significant difference in CHO oxidation in percentage between H-Spenders and L-Spenders ($53.5 \pm 17.8\%$ vs $49.5 \pm 14.9\%$, $p = 0.26$) or for lipid oxidation ($46.5 \pm 15.5\%$ vs $50.4 \pm 12.4\%$, $p = 0.46$) (Fig. 4B). During exercise, CHO oxidation was representing a greater percentage of total EE ($44 \pm 10.9\%$ vs $35.7 \pm 8.6\%$, $p = 0.050$) and lipid oxidation a lower percentage ($56 \pm 8.9\%$ vs $64.3 \pm 7.2\%$, $p = 0.045$) in H-Spenders compared to L-Spenders (Fig. 4C). No specific correlation were found between EE or substrate oxidation parameters and body composition, anthropometric data or blood parameters.

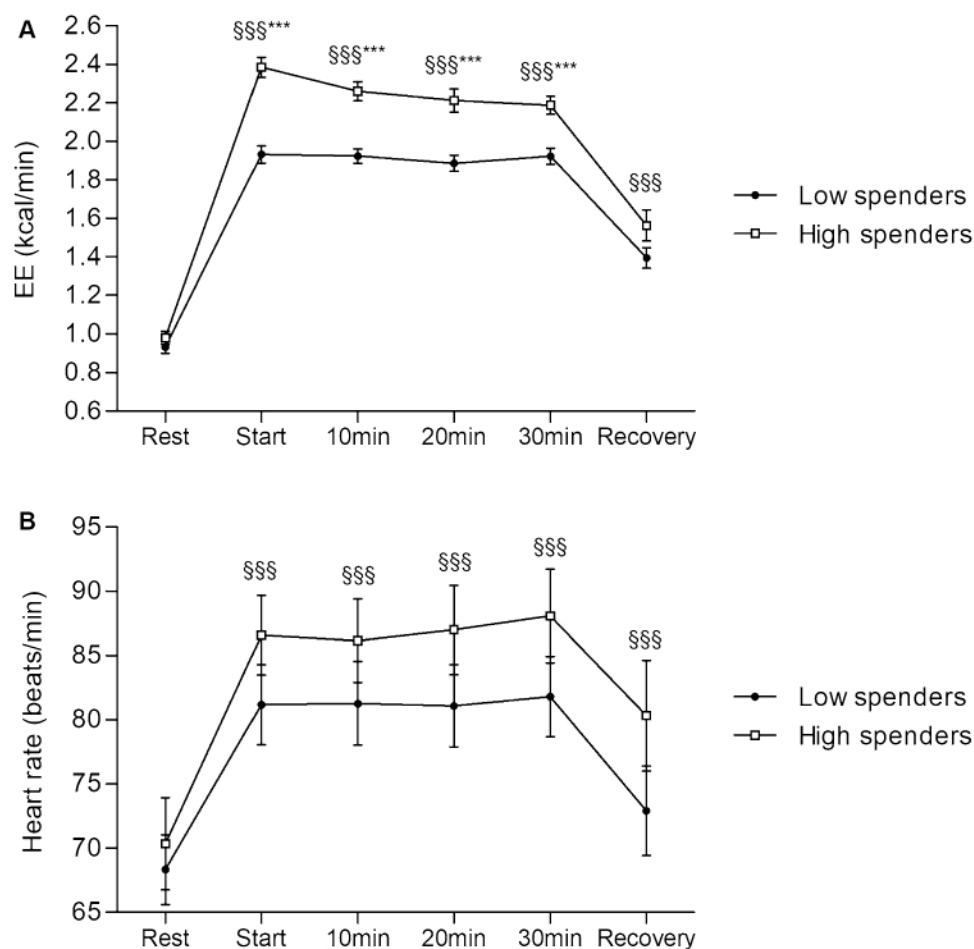


Figure 3. Comparison of EE (A), heart rate (B), from resting condition to light cycling exercise and recovery in each EE response group: H-Spenders and L-Spenders. Data are presented as mean \pm SEM. \$\$\$, time effect at $p < 0.001$; ***, significantly different between low spenders and high spenders at $p < 0.001$.

Principal component analysis. Lastly, the associations between the different parameters studied were illustrated by a principal component analysis (Fig. 5). Our data has shown a strong correlation between Delta Exo-Rest and some cardiometabolic parameters, such as inulin, HOMA-IR, LDL-cholesterol, glucose and triglycerides (Fig. 5). Also, the variability of energy expenditure between rest and low intensity cycling was strongly associated with higher values of body composition and anthropometric parameters (fat mass, fat-free mass, BMI, WC and WC/height) (Fig. 5).

Discussion

Active workstations are currently promoted to decrease office-related sedentary time and increase PA in a public health perspective. The aim of the present study was to examine associations between energy expenditure during a low intensity exercise on a cycle-desk device and body composition, cardiometabolic parameters and physical fitness of tertiary employees. Our data shows that two energetic profiles (H-Spenders or L-Spenders) can be identified in premenopausal women. More importantly, those two profiles show significant differences in anthropometric data, body composition (fat mass and WHtR) and metabolic outcomes (insulin, HOMA-IR, and HDL-Cholesterol), with H-Spenders presenting a less healthy metabolic profile.

Our results show that a light intensity cycle-desk exercise can significantly increase EE between 1.9 and 2.4 METs compared to resting. This result is in line with previous studies^{14,33} and demonstrates that light intensity cycling allows to increase EE above EE associated with sedentary activities (i.e. 1.5 METs). A number of studies have questioned the effect of cycle-desk use on EE^{14,21,34} but, none of them has looked for the potential factors that could explain this EE variability. Heterogeneity in energy responses has been reported in other studies from a sitting position to a steady-state standing position^{10,11} with individuals characterized as “energy-savers” or “energy-spenders”. While studies of Miles-Chan et al.¹⁰ reported only 18% of their subject having a significant increase in EE compared to sitting (increase $> 5\%$ resting EE), all subjects of our study significantly increased their EE during the low-intensity cycling session. Differences in the magnitude of responses between the two studies are likely explained by the higher energetic demand induced by cycle-desk used in the present study compared to the standing position alone (1.9 to 2.3 METs vs ~ 1.2 METs)⁹.

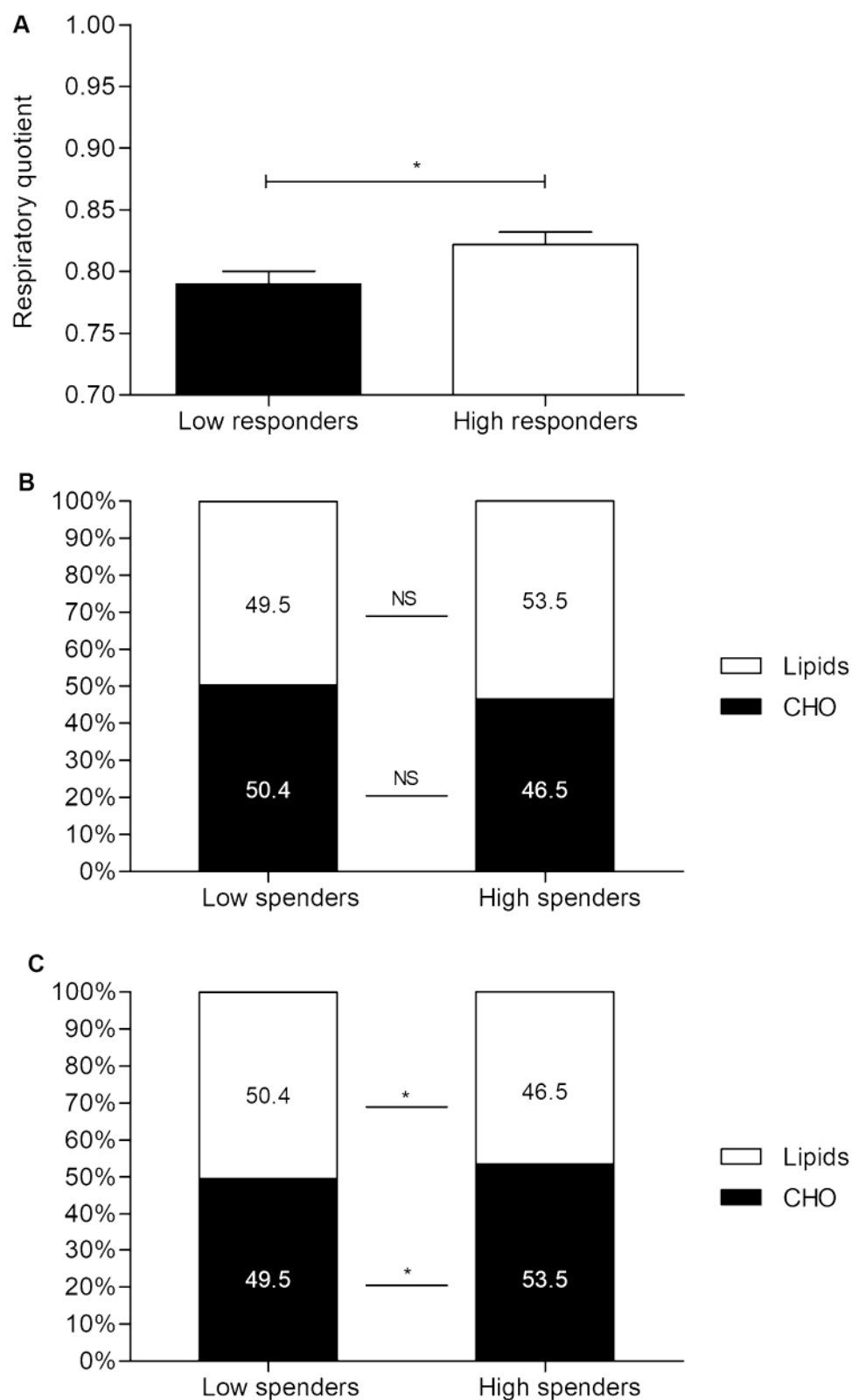


Figure 4. Respiratory quotient (A) during light cycling exercise. Substrate oxidation during Rest (B) and light cycling exercise (C). (A) data are presented as mean ± SEM. (B) and (C) data are expressed as mean percentage of CHO and lipids consumption relating to total energy expenditure. NS, not statistically significant; *, significantly different between low spenders and high spenders at $p < 0.05$.

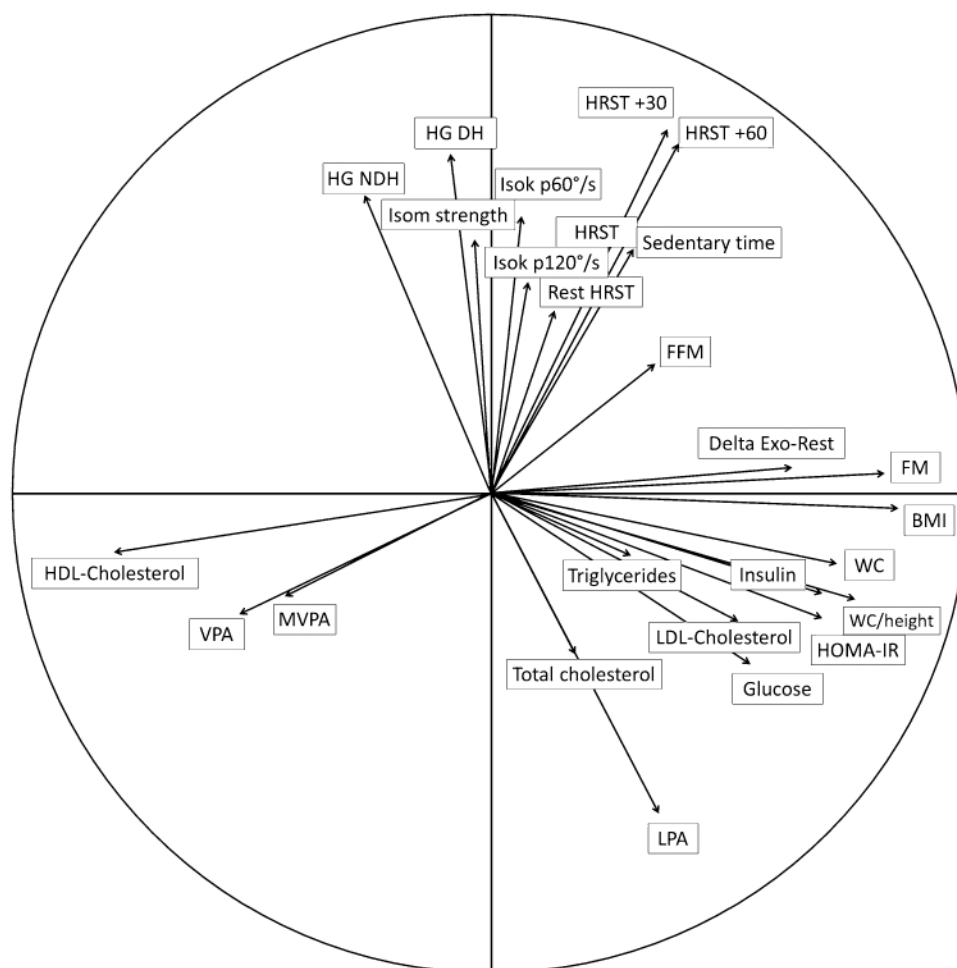


Figure 5. Principal component analysis of the study parameters. BMI, body mass index; DH, dominant hand; FFM, fat-free mass; FM, fat mass; HG, handgrip; HOMA-IR, homeostatic model assessment of insulin resistance; HDL, high-density lipoprotein cholesterol; HRST, heart rate step test; Isok, isokinetic; Isom, isometric; LDL, light-density lipoprotein cholesterol; LPA, light intensity physical activity; MVPA, moderate-to-vigorous physical activity; NDH, non-dominant hand; VPA, vigorous physical activity; WC, waist circumference.

Light-intensity cycling was more demanding for H-Spenders who were eliciting higher EE at each period of exercise than L-Spenders. During exercise, H-Spenders oxidized more CHO, both in total amounts and relatively to EE, but a lower percentage of lipids compared to the L-Spenders, while H-Spenders had significantly more fat mass than L-Spenders. Relationships between fat mass percentage, body weight and substrate oxidation during exercise have been investigated in several studies with no clear association between these parameters^{35,36}. Studies comparing substrate oxidation during exercise in women with normal weight and overweight did not show clear differences^{35,36}. It suggests that excess of fat mass does not necessarily result in a decrease in the ability to oxidize lipids. However, fat mass localization in normal or overweighted subjects seems to be more associated with substrate oxidation during exercise^{37,38} than percentage of fat mass per se, with lower body fat mass profile being associated with better ability to oxidize lipids. In this line, we found that H-Spenders displayed higher %FM and WHtR, suggesting higher abdominal repartition of fat mass in individuals with this energy profile. The ability to rely predominantly on lipids or carbohydrates during submaximal exercise has been associated with the concept of metabolic flexibility, which is defined as the capacity to adjust fuel utilization to changes in fuel availability³⁹. Metabolic state associated with glucose intolerance or insulin resistance has been shown to favor CHO oxidation during low intensity exercise compared to control subjects⁴⁰ and has been associated with metabolic inflexibility⁴¹. The metabolic challenge induced in our study by a 30-min low intensity cycling exercise suggests that H-Spenders are less metabolically flexible than L-Spenders as they are less able to rely on lipids during a low intensity exercise⁴². Physical fitness and training status are also known to influence the ability to preferentially rely on lipids during low and moderate intensity exercise⁴³. Thus, the H-Spenders and L-Spenders profiles could have been explained by differences in physical capacities of the subjects. This appears however unlikely here since heart rate during step test and higher and lower limb strength did not differ significantly between the two groups.

The potential mechanisms explaining heterogeneity in energy profile have been poorly investigated in previous studies questioning strategies to decrease SB during work time. Miles-Chan et al.¹⁰ did not find any association between body weight or height and EE when comparing energy cost in sitting vs standing positions. In a second study of the same research group, the energy cost of standing posture maintenance was positively correlated with body weight and WC¹². Recently, Amaro-Gahete et al.⁴⁴ showed that FFM could partly explain differences in EE profiles in sitting vs. standing position. Although H-Spenders had a higher percentage of fat mass, no difference in FFM was observed. These results are also concordant with the study of Chen et al.⁴⁵, in which were reported relationships between energy efficiency and fat mass during walking, with subjects with obesity having decreased work efficiency compared to individuals with normal-weight during normal-speed walking. We further examined the cardiometabolic parameters of the two energy profiles. Our results suggest that H-Spenders showed a less healthy cardiometabolic profile as indicated by higher levels of fasting insulin, HOMA-IR and lower level of HDL-Cholesterol than L-Spenders. Metabolic profile and substrate oxidation during exercise of H-Spenders further feature similarities with those of subjects with obesity and/or type 2 diabetes⁴⁰.

Individualization of exercise programs is a cornerstone of health management. Our results suggest that physical activity level and fitness capacities are not sufficient to discriminate people and that an energy evaluation at rest and during exercise should be assessed to personalize prescription. In light of our results, we can assume the H-Spenders benefit more from the same cycle-desk program than L-Spenders. Depending on the energy profile, it could be expected that cycle-desk use recommendations may need to differ in terms of time and/or intensity of pedaling. Given the increased demand and/or necessity in the utilization of active desks, this could have important implications for metabolic health management.

One potential limitation needs to be considered. We only studied women, thus those results are only applicable to the female population. However, Miles-Chan et al.¹⁰ reported different energetic profiles among male individuals during an activity at a lower intensity suggesting that the existence of different energy profiles might not be sex dependent. Nevertheless, the relation with body composition or metabolic profile could depend on this factor as shown by Chen et al.⁴⁵. It is well known that hormonal status affects EE and two of our participants were taking oral contraceptives. Currently, there is no clear scientific evidence that oral contraceptives could induce modification of EE at rest or during exercise.

Conclusion

This study confirms that light cycling exercise enables to increase EE compared to resting but, inter-individual heterogeneity exists in the magnitude of energetic response. Differences in physical fitness, habitual time spent active or sedentary are not explaining this inter-individual variability. However, female individuals who spend less energy during a low intensity cycling activity present a healthier metabolic profile than those who displayed higher EE. Identification of energy profile could represent a strategy to better individualize the use of dynamic workstations to optimize EE during workdays. Future studies will need to investigate whether long-term utilization of light-intensity cycling desk at work can improve metabolic health outcomes of sedentary office workers, especially those with less healthy metabolic profiles.

Received: 25 October 2021; Accepted: 31 May 2022

Published online: 15 June 2022

References

1. Tremblay, M. S. et al. Sedentary behavior research network (SBRN)—terminology consensus project process and outcome. *Int. J. Behav. Nutr. Phys. Act.* **14**, 75 (2017).
2. Ekelund, U. 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. *The Lancet* **388**, 1302–1310 (2016).
3. Kohl, H. W. et al. The pandemic of physical inactivity: global action for public health. *The Lancet* **380**, 294–305 (2012).
4. van der Velde, J. H. P. M. et al. Which is more important for cardiometabolic health: sedentary time, higher intensity physical activity or cardiorespiratory fitness? The Maastricht Study. *Diabetologia* **61**, 2561–2569 (2018).
5. Choi, B. et al. Sedentary work, low physical job demand, and obesity in US workers. *Am. J. Ind. Med.* **53**, 1088–1101 (2010).
6. Church, T. S. et al. Trends over 5 decades in US occupation-related physical activity and their associations with obesity. *PLoS ONE* **6**, e19657 (2011).
7. Elmer, S. J. & Martin, J. C. A cycling workstation to facilitate physical activity in office settings. *Appl. Ergon.* **45**, 1240–1246 (2014).
8. MacEwen, B. T., MacDonald, D. J. & Burr, J. F. A systematic review of standing and treadmill desks in the workplace. *Prev. Med.* **70**, 50–58 (2015).
9. Tudor-Locke, C., Schuna, J. M., Frensham, L. J. & Proenca, M. Changing the way we work: Elevating energy expenditure with workstation alternatives. *Int. J. Obes.* **38**, 755–765 (2014).
10. Miles-Chan, J. L., Sarafian, D., Montani, J.-P., Schutz, Y. & Dulloo, A. Heterogeneity in the energy cost of posture maintenance during standing relative to sitting: Phenotyping according to magnitude and time-course. *PLoS ONE* **8**, e65827 (2013).
11. Miles-Chan, J. L. et al. Standing economy: does the heterogeneity in the energy cost of posture maintenance reside in differential patterns of spontaneous weight-shifting? *Eur. J. Appl. Physiol.* **117**, 795–807 (2017).
12. Monnard, C. R. & Miles-Chan, J. L. Energy cost of standing in a multi-ethnic cohort: Are energy-savers a minority or the majority? *PLoS ONE* **12**, e0169478 (2017).
13. Dupont, F. et al. Health and productivity at work: which active workstation for which benefits? A systematic review. *Occup. Environ. Med.* **76**, 281–294 (2019).
14. Carr, L. J., Walaska, K. A. & Marcus, B. H. Feasibility of a portable pedal exercise machine for reducing sedentary time in the workplace. *Br J Sports Med* **46**, 430–435 (2012).
15. Levine, J. A. & Miller, J. M. The energy expenditure of using a “walk-and-work” desk for office workers with obesity. *Br. J. Sports Med.* **41**, 558–561 (2007).
16. Hopker, J. G. H. G., Coleman, D. A. C. A. & Wiles, J. D. W. D. Differences in efficiency between trained and recreational cyclists. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* <https://doi.org/10.1139/H07-070> (2007).

17. Hopker, J. G. *et al.* The influence of training status, age, and muscle fiber type on cycling efficiency and endurance performance. *J. Appl. Physiol.* **115**, 723–729 (2013).
18. Compber, C., Frankenfield, D., Keim, N. & Roth-Yousey, L. Best practice methods to apply to measurement of resting metabolic rate in adults: A systematic review. *J. Am. Diet. Assoc.* **106**, 881–903 (2006).
19. Weir, J. B. de V. New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. *J. Physiol.* **109**, 1–9 (1949).
20. Péronnet, F. & Massicotte, D. Table of nonprotein respiratory quotient: An update. *Can. J. Sport Sci.* **16**, 23–29 (1991).
21. Peterman, J. E., Kram, R. & Byrnes, W. C. Factors affecting the increased energy expenditure during passive cycling. *Eur. J. Appl. Physiol.* **112**, 3341–3348 (2012).
22. Wallace, T. M., Levy, J. C. & Matthews, D. R. Use and abuse of HOMA modeling. *Diabetes Care* **27**, 1487–1495 (2004).
23. Chatterjee, S., Chatterjee, P., Mukherjee, P. S. & Bandyopadhyay, A. Validity of Queen's College step test for use with young Indian men. *Br. J. Sports Med.* **38**, 289–291 (2004).
24. Leong, D. P. *et al.* Prognostic value of grip strength: Findings from the Prospective Urban Rural Epidemiology (PURE) study. *Lancet* **386**, 266–273 (2015).
25. Aadland, E. & Ylvisåker, E. Reliability of the Actigraph GT3X+ accelerometer in adults under free-living conditions. *PLoS ONE* **10**, e0134606 (2015).
26. Choi, L., Ward, S. C., Schnelle, J. F. & Buchowski, M. S. Assessment of wear/nonwear time classification algorithms for triaxial accelerometer. *Med. Sci. Sports Exerc.* **44**, 2009–2016 (2012).
27. Tudor-Locke, C., Camhi, S. M. & Troiano, R. P. A Catalog of rules, variables, and definitions applied to accelerometer data in the national health and nutrition examination survey, 2003–2006. *Prev. Chronic Dis.* **9**, (2012).
28. Kozey-Keadle, S., Libertine, A., Lyden, K., Staudenmayer, J. & Freedson, P. S. Validation of wearable monitors for assessing sedentary behavior. *Med. Sci. Sports Exerc.* **43**, 1561–1567 (2011).
29. Sasaki, J. E., John, D. & Freedson, P. S. Validation and comparison of ActiGraph activity monitors. *J. Sci. Med. Sport.* **14**, 411–416 (2011).
30. Reinhardt, M. *et al.* A human thrifty phenotype associated with less weight loss during caloric restriction. *Diabetes* **64**, 2859–2867 (2015).
31. Hollstein, T. *et al.* Recharacterizing the metabolic state of energy balance in thrifty and spendthrift phenotypes. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* **105**, 1375–1392 (2020).
32. Bender, R. & Lange, S. Adjusting for multiple testing—when and how?. *J. Clin. Epidemiol.* **54**, 343–349 (2001).
33. Schuna, J. M., Hsia, D. S., Tudor-Locke, C. & Johannsen, N. M. Energy expenditure while using workstation alternatives at self-selected intensities. *J. Phys. Act. Health* **16**, 141–148 (2020).
34. Tronarp, R. *et al.* Office-cycling: A promising way to raise pain thresholds and increase metabolism with minimal compromising of work performance. *Biomed. Res. Int.* **2018**, e5427201 (2018).
35. Blaize, A. N., Potteiger, J. A., Claytor, R. P. & Noe, D. A. Body fat has no effect on the maximal fat oxidation rate in young, normal, and overweight women. *J. Strength Condition. Res.* **28**, 2121–2126 (2014).
36. Kerhervé, H. A., Harvey, L. M., Eagles, A. N., McLellan, C. & Lovell, D. Similar rates of fat oxidation during graded submaximal exercise in women of different body composition. *PLoS ONE* **15**, e0242551 (2020).
37. Kanaley, J. A., Cryer, P. E. & Jensen, M. D. Fatty acid kinetic responses to exercise. Effects of obesity, body fat distribution, and energy-restricted diet. *J. Clin. Invest.* **92**, 255–261 (1993).
38. Isacco, L. *et al.* Fat mass localization alters fuel oxidation during exercise in normal weight women. *Med. Sci. Sports Exerc.* **45**, 1887–1896 (2013).
39. Kelley, D. E. & Mandarino, L. J. Fuel selection in human skeletal muscle in insulin resistance: A reexamination. *Diabetes* **49**, 677–683 (2000).
40. Pérez-Martin, A. *et al.* Balance of substrate oxidation during submaximal exercise in lean and obese people. *Diabetes Metab.* **27**, 466–474 (2001).
41. Rudwill, F. *et al.* Metabolic inflexibility is an early marker of bed-rest-induced glucose intolerance even when fat mass is stable. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* <https://doi.org/10.1210/jc.2017-02267> (2018).
42. Rynders, C. A., Bergouignan, A., Kealey, E. & Bessesen, D. H. Ability to adjust nocturnal fat oxidation in response to overfeeding predicts 5-year weight gain in adults. *Obesity* **25**, 873–880 (2017).
43. Brun, J.-F., Romain, A.-J. & Mercier, J. Maximal lipid oxidation during exercise (Lipoxmax): From physiological measurements to clinical applications. Facts and uncertainties. *Sci. Sports* **26**, 57–71 (2011).
44. Amaro-Gahete, F. J. *et al.* Energy expenditure differences across lying, sitting, and standing positions in young healthy adults. *PLoS ONE* **14**, e0217029 (2019).
45. Chen, K. Y., Acra, S. A., Donahue, C. L., Sun, M. & Buchowski, M. S. Efficiency of walking and stepping: relationship to body fatness. *Obes. Res.* **12**, 982–989 (2004).

Acknowledgements

We are grateful to I-SITE program of Clermont Auvergne University for funding salary of PhD student on this project.

Author contributions

T.G., L.M., M.D. and D.T. designed the study; T.G., P.B., E.L.R. and A.B. performed the experiments; T.G., L.M., D.T., L.L., B.P., A.B. and M.D. contributed significantly to the writing and revision of the manuscript. All the authors read and approved the final manuscript.

Competing interests

The authors declare no competing interests.

Additional information

Supplementary Information The online version contains supplementary material available at <https://doi.org/10.1038/s41598-022-14002-6>.

Correspondence and requests for materials should be addressed to T.G.

Reprints and permissions information is available at www.nature.com/reprints.

Publisher's note Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Open Access This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

© The Author(s) 2022

CONCLUSION DE L'ARTICLE 2

Les résultats de cette étude mettent en lumière une variabilité inter-individuelle des réponses énergétiques au cours d'une activité physique légère sur un pédalier de bureau au sein de salariés en bonne santé d'entreprise du secteur tertiaire. En effet, nous avons pu observer deux profils distincts, l'un considéré comme « *dépensier* » et l'autre comme « *économe* », où le premier cité présente une dépense énergétique moyenne significativement plus élevée que ceux considérés comme « *économe* » (2.26 ± 0.20 vs 1.91 ± 0.15 kcal/min). Cette différence de réponse énergétique se caractérise par des paramètres cardiométaboliques significativement différents sur des données spécifiques telles que la masse grasse, le ratio tour de taille-taille, le HDL-cholestérol, l'insuline et l'indice HOMA-IR où les sujets étant considérés comme « *économes* » présentent un profil métabolique plus sain. Au-delà de ces caractéristiques, les deux groupes ne présentent pas la même oxydation des substrats énergétiques avec le groupe « *dépensier* » oxydant plus de glucides que de lipides comparé au groupe « *économe* ». Par ailleurs, la littérature scientifique a observé qu'un état métabolique pathologique, comme la résistance à l'insuline ou l'intolérance au glucose, s'accompagne d'une tendance de l'organisme à utiliser majoritairement les glucides lors d'activités d'intensité légère (alors que ce sont les lipides qui devraient être utilisés), soulignant un risque d'« *inflexibilité métabolique* » (Rudwill et al., 2018). La population de cette étude était de poids normal et métaboliquement saine, pourtant au regard du profil métabolique et de l'oxydation des substrats à l'exercice, les sujets « *dépensiers* » présentent des caractéristiques se rapprochant de celles d'individus souffrant d'obésité ou de diabète de type 2 (Pérez-Martin et al., 2001).

Ces résultats soulignent qu'en fonction du profil métabolique des individus, les bénéfices associés à la pratique d'un pédalier de bureau ne seront pas équivalents et que de ce fait émerge la nécessité potentielle d'individualiser les stratégies d'utilisation des bureaux actifs afin que l'ensemble des pratiquants obtiennent des bénéfices équivalents sur la santé globale. Ainsi, suite à cette première étude, l'objectif a été d'évaluer les effets de l'utilisation à moyen terme d'un pédalier de bureau à faible intensité durant le temps de travail sur la santé cardiométabolique d'une population saine.

Article 3 : Amélioration des facteurs de risques
cardiométaboliques après une intervention de bureau-pédalier
de 12 semaines chez des employés de bureau en bonne santé
et physiquement inactifs

De façon similaire à l'étude précédemment détaillée, la mise en place du protocole REMOVE a été bouleversé en raison du contexte sanitaire et social français. L'une des conséquences de ce contexte exceptionnel fut la difficulté de recruter des individus, nous obligeant à augmenter la durée d'inclusion des personnes. Ainsi, le protocole REMOVE a été adapté avec la réduction de la durée de l'étude à 3 mois pour permettre la réalisation de cette dernière. Après avoir observé des profils cardiométaboliques hétérogènes au sein d'une population métaboliquement saine issue de salariées d'entreprise du secteur tertiaire, il apparaissait nécessaire d'évaluer les effets potentiels de la pratique régulière d'un pédalier de bureau pendant les heures de travail sur la santé cardiométabolique de cette population. En effet, les effets de cette stratégie sur des prédicteurs de morbidité et de mortalité, tels que des biomarqueurs cardiométaboliques et des paramètres de la condition physique restent actuellement inexplorés (Shrestha et al., 2018). De plus, les effets de l'utilisation chronique de pédalier de bureau sur les comportements sédentaires et le temps consacré aux activités physiques toutes intensités confondues demeurent peu investigués, malgré leurs effets considérables sur la santé globale des individus.

Ainsi, l'objectif de cette étude randomisée et multicentrique a été d'évaluer les effets de 12 semaines de pédalage, à raison de 60 minutes par jour travaillé, sur les paramètres biologiques, de composition corporelle, de condition physique, de comportement du mouvement (activité physique et comportements sédentaires) chez des salariées en bonne santé du secteur tertiaire. Nous avons émis l'hypothèse que la pratique de 60 minutes par jour travaillé durant 12 semaines d'un pédalier de bureau réduirait le temps passé en comportements sédentaires et augmenteraient le temps d'activité physique durant les jours de la semaine, tout en améliorant leur santé cardiométabolique.

Résumé

Objectif : Évaluer les effets d'une intervention d'un pédalier portatif (60 minutes par jour de travail) pendant 12 semaines sur les facteurs de risque cardiométaboliques chez des employés du secteur tertiaire en bonne santé.

Méthode : Les paramètres anthropométriques, la composition corporelle, les marqueurs cardiométaboliques/inflammatoires, la condition physique, l'activité physique et le temps de sédentarité mesurés avant et après l'intervention ont été comparés entre les employés du secteur tertiaire en bonne santé qui utilisaient un pédalier portatif (INT, n=17) et ceux qui ne l'ont pas utilisé (CTRL, n=15).

Résultats : Le groupe INT a amélioré le Δ protéine C-réactive ultra-sensible ($p=0.008$), le Δ cholestérol total ($p=0,028$) et le Δ LDL-cholestérol ($p=0,048$) par rapport au groupe CTRL (Δ : T1-T0). L'intervention a réduit le temps quotidien passé en position assise ($p\leq 0.01$) et augmenté le temps passé à des activités physique d'intensité légère ($p\leq 0.01$) et des activités physiques d'intensité modérée à vigoureuse ($p\leq 0.01$) par rapport aux valeurs initiales.

Conclusion : Ces résultats suggèrent que la promotion de l'activité physique pendant les jours travaillés peut réduire les effets négatifs de l'excès de temps passé en position assise sur la santé.

A 12-week cycling workstation intervention improves cardiometabolic risk factors in healthy inactive office workers

Terry Guirado, MSc^{1,2,3}, Lore Metz, PhD^{1,2}, Bruno Pereira, PhD⁴, Carole Brun, MSc^{1,2},
Anthony Birat, MSc^{1,2}, Audrey Boscaro, MSc^{1,2}, Audrey Bergouignan, PhD^{5,6},
David Thivel, PhD^{1,2}, Martine Duclos, MD, PhD^{2,3,7}

¹Laboratory of the Metabolic Adaptations to Exercise under Physiological and Pathological Conditions, (AME2P), UE3533, Clermont Auvergne University, 63170 Aubiere CEDEX, France;

²Auvergne Research Center for Human Nutrition (CRNH), 63000 Clermont-Ferrand, France,
³INRAE, UMR 1019, Clermont-Ferrand, France;

⁴Clermont-Ferrand University Hospital, Biostatistics Unit (DRCI), Clermont-Ferrand, France;

⁵Université de Strasbourg, CNRS, IPHC UMR 7178, F-67000 Strasbourg, France;

⁶Division of Endocrinology, Metabolism and Diabetes, Anschutz Health & Wellness Center, University of Colorado, Anschutz Medical Campus, Aurora, CO, USA;

⁷Department of Sport Medicine and Functional Explorations, Clermont-Ferrand University Hospital, G. Montpied Hospital, Clermont-Ferrand, France.

Corresponding author

Terry Guirado

Clermont Auvergne University, EA 3533, Laboratory of the Metabolic Adaptations to Exercise under Physiological and Pathological Conditions (AME2P), BP 80026, F-63171 Aubière CEDEX, France

Phone and fax: +33 473405488

terry.guirado@uca.fr

Funding

The study is integrally funded by University Hospital of Clermont-Ferrand and the I-SITE program of Clermont Auvergne University.

Acknowledgments

We are grateful to the Chair Health in Motion – La Santé en Mouvement of the University Clermont Auvergne for providing scientific support and expertise.

Author's contributions

TG, LM, MD and DT designed the study; TG, CB and AB performed the experiments; TG, LM, DT, BP, AB and MD contributed significantly to the writing and revision of the manuscript. All the authors read and approved the final manuscript.

Conflict of Interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Ethics approval

This study was approved by the French ethical committee (Comité de Protection Personne Ile De France VIII 19 09 66).

ACCEPTED

Abstract

Objectives: To evaluate the effects of a portable pedal machine intervention (60-min per working day) for 12 weeks on healthy tertiary employees' cardiometabolic risk factors.

Methods: Anthropometric parameters, body composition, cardiometabolic/inflammatory markers, physical fitness, physical activity and sedentary time measured before and after the intervention were compared between office healthy workers who used a portable pedal machine (INT, n=17) and those who did not (CTRL, n=15).

Results: The INT group improved Δ ultra-sensitive C-reactive protein ($p=0.008$), Δ total-cholesterol ($p=0.028$) and Δ LDL-cholesterol ($p=0.048$) compared to the CTRL group (Δ : T1-T0). The intervention reduced daily sitting time ($p\leq 0.01$) and increased time spent at light intensity ($p\leq 0.01$) and moderate-to-vigorous ($p\leq 0.01$) physical activity compared to baseline values.

Conclusion: These findings suggest that promoting physical activity during workdays can reduce the negative health effects of spending too much time sitting and inactive.

Keywords: cycling workstation, cardiometabolic risk, light intensity physical activity, sedentary time, primary prevention

Introduction

Over the last century, the constant increase of automation, mechanisation and computerised occupational activities has led to an increase in sedentary behaviours (SB) and a reduction in physical activity (PA)^{1,2}. It has been clearly established that independent and joint effects of those recently adopted behaviours increase the risk of cardiometabolic morbidity and all-cause mortality^{3,4}. The use of desk is widespread in office-based professions causing an increase in daily sitting exposure and its associated adverse health effects^{5,6}. The time spent in sedentary activities is well characterised among office workers with more than three-quarter of their working time spent sitting⁷. Strategies have been implemented in tertiary companies, such as onsite PA programs, to improve workers' health⁸. While those programs specifically engaged people meeting the PA recommendations, it has been shown that being physically active could be insufficient to prevent the deleterious effects of SB³ raising the need for interventions to also decrease sedentary time (ST) during working days. Recently, active workstations have been promoted as potential strategies to reduce ST, while increasing PA with associated positive health effects⁹. Usage of treadmills and cycling desks has been questioned because of their high cost, size requirements and lack of portability¹⁰. Thus the use of portable pedal machines (PPM) represent a promising strategy to overcome these limitations¹¹. Although PPM have demonstrated their efficiency in individuals with overweight and obesity, the effectiveness of these strategies remains less known in normal-weight individuals¹². Specifically, the effects of such strategies on predictors of mortality and morbidity such as cardio-metabolic risk biomarkers¹³ and physical fitness¹⁴ have not yet been determined. Similarly, the impact of a PPM program on PA and SB during either week or weekend days (e.g. total duration, average duration of each bout, sedentary breaks) remains poorly studied¹³. Indeed, several research gaps have been identified when it comes to intervention involving PPM,

such as a limited number of studies, low sample sizes, heterogeneity in the study design and a lack of highly rigorous studies¹³. Interventional, multi-centre, randomised controlled studies are thus needed to explore the impact of PPM use on cardiometabolic risk factors in a free-living, sedentary and inactive healthy tertiary workers. Hence, the aim of the present study was to evaluate the effects of a 12-week randomised multicentric PPM intervention (60-min per working day) on body composition, biological parameters, physical fitness, PA and ST in healthy tertiary employees. We hypothesised that 60-min of PPM use per working day during 12 weeks will decrease ST during weekdays and improve cardiometabolic health outcomes.

Methods

Subjects

Participants were informed and recruited among two tertiary societies in Clermont-Ferrand, France. To be included in the study, subjects were required to: i) be physically inactive (i.e. less than 150min of moderate-to-vigorous PA per week)² based on interview-reported data conducted by the study's principal investigator (MD); ii) have a body mass index (BMI) ≤ 24.9 kg/m²; iii) have 0.8 full-time equivalent hours and 75% of this time in a sitting position; iv) be capable to use a PPM at work and/or during teleworking; v) not be pregnant or lactating vi) be free of any cardiovascular or metabolic disorders; vii) not be dieting (during at least 6 months); viii) be free of any medication (excepted oral contraceptive); and iv) have a stable body weight (<3 kg change during the 6 months prior to screening). While no men was interested in participating in the study, forty women working at six different worksites started the protocol in February 2021 (T0) and were randomly assigned to the control group (CTRL; n = 20) or intervention group (INT; n = 20). Subjects were randomised to the INT and CTRL groups with a 1:1 allocation stratified by centre

(i.e. the six worksites), age and body mass index. Five participants (3 CTRL and 2 INT) had medical impairments during the trial leading to their exclusion from the study and three CTRL subjects did not want to participate at the second time of measurement in May 2021 (T1). Thirty-two participants (15 CTRL and 17 INT) (mean age 43.9 ± 8.7 years; working time 37.5 ± 3.2 hours/week) therefore completed the study. This study was approved by the French ethical committee (CPP IDF VIII 19 09 66) and all participants gave their written consent. This study was registered at ClinicalTrials.gov (NCT04153214).

Experimental design

A full medical examination to assess eligibility was conducted for all subjects. Prior to each experimental visit (i.e. at baseline and at the end of the 12 weeks intervention), subjects were requested to avoid any stressful situations, to abstain from stimulant (coffee, tea) for 24h prior to the test day and maintain their habitual daily activities. Subjects reported to the laboratory at ~08.00 am, after a 12-hour overnight fast. Anthropometric measurements, body composition, biological parameters, aerobic fitness, muscle capacities, daily PA and ST were measured at baseline (T0) and after 12 weeks (T1). Daily PA and ST were also measured one week before the end of the program as illustrated in the study overview (supplementary figure 1). Subjects in the CTRL group were asked to keep their habitual daily physical behaviour and diet during the whole duration of the study. Subjects in the INT group were instructed to cycle on a PPM (DeskCycle, 3D Innovations LLC., Greeley, CO, USA) for 12 weeks during 60 min per working day; either continuously or fractionated. Every subject in the INT group first performed a familiarization visit to properly use the device and their workstations were adapted to adjust their seat with the PPM. Participants performed all their cycling at the same intensity (magnetic resistance level 2 out of 8)

allowing them to pedal with a minimum of resistance (between 16 and 25 Watts). The amount of cycled time and the distance covered were displayed on the PPM monitor and reported every day by the participants. A member of the research team collected the diaries on-site every week.

Measurements

Anthropometric measurement and body composition

Height was obtained with a stadiometer at the nearest 0.1 cm and body weight was measured using a calibrated scale (SECA, Les Mureaux, France). A tape measure was used to determine waist circumference (WC) at the nearest 0.5 cm and WC to height ratio (WHtR) was calculated. Body composition was assessed in fasting conditions with a bioelectrical impedance (Tanita MC-780, USA, Arlington Heights) to determine fat mass (FM) and fat-free mass (FFM) in kilograms and the percentage of FM¹⁵.

Biological parameters

Participants were asked to remain comfortably installed on a deckchair to obtain a fasting blood sample. Prior to analyses, all blood samples were centrifuged and plasma was kept frozen in aliquots at -80°C. Enzymatic commercial assays (Dimension Vista® system, Siemens Healthcare Diagnostics Inc., Newark, USA) were used to assess plasma glucose, triglycerides, light-density lipoprotein cholesterol (LDL-cholesterol), high-density lipoprotein cholesterol (HDL-cholesterol), total cholesterol and ultra-sensitive c-reactive protein (us-CRP). Insulin was measured by chemiluminescent enzyme immunoassays (Siemens Immulite® 2000, Siemens Healthcare Diagnostic, Gwynedd, UK). The homeostasis model assessment of insulin resistance

(HOMA-IR) was determined by the following formula: fasting blood insulin (mU/L) x fasting blood glucose (mmol/L) / 22.5¹⁶.

Physical fitness

Participants performed a 6 min step test to determine their aerobic fitness¹⁷. Participants wore a heart rate monitor (Polar A300, Polar, Kempele, Finland) during the test. Heart rate was reported before the test, at the end, after 30 s and 60 s of recovery.

Upper and lower limb strength was assessed for all participants. A handgrip test on both dominant and non-dominant arms was performed by participants¹⁸. Three measurements were made and only the best one was registered. Then, participants were seated comfortably with a hip joint at 105° of flexion and were attached to the trunk, the hip and the left leg to the isokinetic dynamometer (Biodex System 2, Biodex, Shirley, USA) with Velcro straps. Torque was evaluated on isometric 3s-Maximum Voluntary Contraction (MVC) at a knee joint angle of 90° and on concentric MVC at a velocity of 60°/sec and 120°/sec.

Daily time spent physically active and sedentary

The day following T0, participants wore continuously during 7 days with at least one weekend day an ActiGraph wGT3X-BT accelerometer (AG) (ActiGraph, Inc., Pensacola, FL) to determine PA and an activPAL3 (AP) inclinometer (PAL Technologies Limited, Glasgow, UK) to characterise ST. At T1, participants in CTRL group wore both devices again during 7 days while INT group wore them twice during 7 days to assess PA and ST during 7 days corresponding to their last week of using the PPM device (T1_{ppm}) and the next 7 days without the PPM (T1). Every

monitors' data analysed reported at least 4 days (including 1 weekend day) of wear with a monitor wear time of ≥ 10 hours/day (600 min/day)^{19,20}. While the accelerometer was removed at night and the inclinometer was worn all day, only the time where every participant wore both the inclinometer and accelerometer were analysed.

Subjects were asked to wear AG on the right hip on an elastic belt during waking hours. Data were collected at a frequency of 60 Hz and converted to counts per 60 s epoch using the manufacturer's software (ActiLife version 6.13.4). Non-wear time was defined as 90 minutes of 0 count per minute (cpm) with an allowance of 2 minutes of activity when it is placed between two 30-min windows of 0 cpm²¹. The intensity of activity related to SB was calculated with vertical axis and PA with vector magnitude. SB was defined as <150 counts min^{-1} ²², light intensity PA (LIPA) was obtained by subtracting SB and data below 2,689 counts min^{-1} , moderate-to-vigorous PA (MVPA) was defined as 2,690-6166 counts min^{-1} , vigorous PA (VPA) was defined as <6467 counts min^{-1} ²³. The number of MVPA bouts ≥ 10 min (N-MVPA bouts) and the average time of those MVPA bouts (AT-MVPA) were reported.

The AP device was positioned in a nitrile sleeve and attached to the anterior midline of the right thigh participants' using an adhesive patch. The monitor was worn continuously for 24 hours. Data were recorded in 15s epochs at a frequency of 20Hz and analysed with activPAL software (version 8.11.6.94). Time spent in lying and sitting positions were extracted and considered as ST. The time spent in positions nor in lying nor in sitting was extracted and considered as upright behaviours (UB). The number of sit-to-stand transitions and their rate relative to ST (ST breaks in

breaks.sed.hr⁻¹) were determined²⁴. We also analysed the number of sedentary bouts for <30min, 30-60min and the mean bouts time.

Statistical analyses

Statistical analysis was performed using Stata software (version 15, StataCorp, College Station, Texas, US). Tests were two-sided with type I error at 0.05. Data were presented as mean and standard deviation. The assumption of distribution normality was studied with the Shapiro-Wilk test. The between-group comparisons were performed with Student's t test or the non-parametric Mann-Whitney test if the assumptions of parametric tests were not met. The homoscedasticity was analysed with the Fisher-Snedecor test. For correlated repeated measures, mixed models were performed with time (T0 vs. T1), group (CTRL vs. INT) and time-by-group interaction as fixed effects and within-subject variability as random-effect. The relationships between anthropometric measurements, body composition, physical fitness and biological parameters were explored using Pearson or Spearman correlation coefficient according to statistical distribution and applying a Sidak's type I error correction to take into account multiple comparisons. The sample size estimation was calculated according (i) to differences reported in the literature²⁵ and (ii) to effect-size bounds recommended by Cohen's (Cohen, 1988): small (ES: 0.2), medium (ES: 0.5) and large (ES: 0.8, "grossly perceptible and therefore large"). Power calculation based on previous work²⁵ suggested that a sample size of 17 participants in each group would allow detection of an effect size of 1 for the PA and SB levels considering a two-sided type I error at 5% and a statistical power greater than 80%.

Results

Anthropometric measurement and body composition

At baseline, there was no difference for age (CTRL: 43.7 ± 9.7 and INT: 44.9 ± 8.6 years) and BMI (CTRL: 23.3 ± 3 and INT: 23.7 ± 3.5 kg.m²) between the two groups. Changes in anthropometric and body mass and composition outcomes are displayed in Table 1. Twelve weeks of intervention significantly reduced WHtR (0.47 ± 0.04 vs 0.46 ± 0.04 , $p < 0.05$) in the INT group, but not in the CTRL group (0.46 ± 0.04 vs 0.46 ± 0.04 , $p > 0.05$; Table 1). No other intra-group difference was observed. No group, time or interaction effects were observed for any of the other outcomes.

Biological parameters

Table 2 and Figure 1 show the results of biological parameters for both groups. None of the subjects had metabolic syndrome or isolated metabolic abnormality. Fasting plasma glucose increased by ~5% in both groups (time effect: $p \leq 0.001$) (Table 2). The INT group significantly improved Δ us-CRP (-0.11 ± 1.3 mg/L, $p = 0.008$; interaction: $p \leq 0.05$; Figure 1A), Δ total cholesterol (-0.06 ± 0.1 g/L, $p = 0.028$; interaction: $p = 0.016$; Figure 1B) and Δ LDL-cholesterol (-0.09 ± 0.3 mmol/L, $p = 0.048$; interaction: $p < 0.05$; Figure 1C) compared to the CTRL group after 12-weeks (Table 2). There was no other group or interaction effects regarding biological parameters.

Physical fitness

Aerobic fitness, lower and upper limbs strength data are shown in Table 1. No change in resting heart rate was observed in both groups. In contrast, step test heart rate significantly decrease in post-exercise (157.3 ± 19.2 vs 153.1 ± 18.5 , $p = 0.012$), +30 sec (133.9 ± 20 vs 128.2 ± 18.2 , $p = 0.017$)

and +60 sec (116.9±18.2 vs 110.5±16.4, p=0.008) after the exercise in the INT group, and only at +60 sec (117.5±14.3 vs 111.2±13.9, p=0.05) after the exercise in the CTRL group (time effect: p≤0.05 for all) (Table 1). Regarding lower limb strength, only the CTRL group significantly increased isometric strength (139.2±30.5 vs 147.2±28.9, p=0.036; Table 1). There was no other time, group or interaction effects regarding physical fitness parameters.

Daily time spent physically active and sedentary

In addition to the baseline (T0) and 12-week (T1) evaluations, supplementary measures have been conducted (T1_{ppm}) during the last week of the PPM program in the INT group (i.e. subjects still using the PPM at work for 60min/day) (Supplementary figure 1). The detailed results for PA and ST are fully described in the Supplementary table 1. Mean values of daily LIPA (Figure 2A, 2B and 2C) and MVPA (Figure 2D, 2E and 2F) for the entire week, weekdays and weekend days are displayed in Figure 2. Mean percentages of daily ST and UB for the entire week, weekdays and weekend days are displayed in Figure 3 (Figure 3A, 3B and 3C). Figure 3 is also presenting ST breaks for different time analyses (Figure 3D, 3E and 3F).

In the INT group, daily mean LIPA was significantly higher at T1_{ppm} than at T0 over the entire week (217.9±60.9 vs 245.9±64.2 min/day, p=0.03) (Figure 2A) and on weekdays (201.2±56 vs 227.1±54.2 min/day, p=0.01) (Figure 2B) whereas no significant change was reported on weekend days (Figure 2C). MVPA increased significantly in the INT group between T0 and T1_{ppm} (22.9±12.1 vs 31.9±20.4 min/day, p=0.007) during weekdays (Figure 2E) whereas no significant change was observed for all days and weekend days (Figure 2D and 2F). Between T0 and T1_{ppm}, there was a significant decrease in ST and increase in UB in the INT group on weekdays (p≤0.01)

(Figure 3B) and a tendency for the 1-week period ($p=0.084$) (Figure 3A). ST breaks tended to increase between T0 and T1_{ppm} in the INT group when all days of measurement when considered ($p=0.065$) (Figure 3D). No other significant change was reported in VPA, N-MVPA bouts, AT-MVPA, ST bouts 30-60min, +60 min and ST bouts mean in the INT group (Supplementary table 1).

When data collected at T0 and T1 (i.e. PPM has been removed from subjects office), daily mean LIPA increased significantly for CTRL group between T0 and T1 during all days (209.5 ± 51.1 vs 231.9 ± 50.9 min/day, $p=0.01$) (Figure 2A) and during weekend days (229.6 ± 75.4 vs 266.8 ± 73.6 min/day, $p=0.003$), (Figure 2B) but not during weekdays (Figure 2C). Although no change in daily LIPA was noted in the INT group (Figure 2A, 2B and 2C), daily mean MVPA increased significantly in the INT group between T0 and T1 (22.9 ± 12.1 vs 29.3 ± 14.7 min/day, $p<0.05$) during weekdays only (Figure 2E); no change was observed for all days and weekend days (Figure 2D and 2F). Daily MVPA did not change in the CTRL group regardless of the days of the week (Figure 2D, 2E and 2F). There was a significant decrease in ST and an increase in UB for the CTRL group in all days ($p<0.05$) (Figure 3A) and a tendency for weekend days ($p=0.088$) (Figure 3B). In the INT group, a decrease in ST and an increase in UB between T0 and T1 was observed only on the weekdays ($p<0.05$) (Figure 3B). ST breaks significantly increased in the INT group between T0 and T1 during weekdays ($p\leq 0.01$), while this parameter tended to increase in the CTRL group for all days ($p=0.061$) and weekend days ($p=0.078$) (Figure 3D and 3F). No other significant change was reported in VPA, N-MVPA bouts, AT-MVPA, ST bouts 30-60min, +60 min and ST bouts mean in both groups (Supplementary table 1).

Discussion

Active workstations have been promoted as an alternative to mitigate the deleterious effects of the insufficient PA level and the excessive amount of ST during working hours in tertiary employees. Our results showed that 60 minutes per working day of light intensity cycling using a PPM for 12 weeks significantly reduce ST while increasing LIPA and MVPA in healthy tertiary employees. These changes in time spent in SB and PA were associated with improved cardiometabolic (total cholesterol, LDL-cholesterol) and inflammatory (us-CRP) outcomes.

To our knowledge, this is the first study to objectively assess in free-living conditions the impact of a daily 60-min PPM use on daily PA/SB. The implementation of cycling workstations onsite has shown that self-used devices are used approximatively during 30 min per day (between 23 and 31 min per day)^{11,26}. In our study, based on self-reported data, the INT group respected the daily duration of 60 min per day (59 ± 8 min) during the 12-weeks intervention. Mansoubi *et al.*²⁷ observed that the use of sit-to-stand desks on working days generated compensations in terms of PA and ST during weekend days. By contrast, our results showed that using PPM as an active workstation can significantly reduce ST (~ -31.3 min/day) and increase both LIPA ($\sim +26$ min) and MVPA ($\sim +9$ min) during weekdays without leading to any significant compensation during weekend days. Based on inclinometer measurements, the significant reduction in ST during weekdays is in line with other studies assessing the effects of cycling workstation^{11,26}. Behavioural adaptations occurring from the PPM use could have applicable results for clinical meanings for tertiary employees, such as a reduction of all-cause mortality risks.

Indeed a harmonised meta-analysis²⁸ in almost 35 000 participants reported an inverse dose-response relationship between higher levels of device-measured total and intensity-specific PA and mortality in normal weight individuals. In addition, low ST independently of total PA was associated with lower mortality risk in those with normal weight, indicating the need to both promote PA and prevent SB. Similarly, Chastin *et al.*²⁹ recommended to rethink the recommendations of PA and SB by taking into account the joint association of PA and ST on health outcomes. By extrapolating the results of Chastin *et al.*²⁹, we could expect a reduction of the risk of all-cause mortality when using the PPM with a reduction of the hazard ratio (HR) from 0.7 at T0 to 0.5 at T1_{ppm}. Future studies are warranted to determine whether such an intervention would provide with sustained health benefits and an ultimate prevention of early mortality.

In comparison to other active workstations, such as treadmill, our findings show that PPM use enabled to increase of PA and a reduction of ST³⁰. Interestingly, our results emphasised that the positive behavioural changes, which occurred from the daily use of the PPM, persist the week following the stop of its use. Based on our results, ST breaks during the entire week tend to increase between the start and the end of the protocol in both groups, potentially explained by the occurrence of ST breaks in weekend days in the CTRL group and in weekdays in the INT one. Similar to previous research³¹ conducted in our laboratory, being in a control group in this population elicits positive benefits, such as the increase of PA and the reduction in ST during weekend days, potentially explained by influence-based contagion (i.e. although the CTRL group were asked to keep their daily habits, our study aiming to improve PA/SB may affect those subjects as a peer influence)³². More generally, those findings emphasised the necessity of analysing ST

and PA as segmented parts such as total, week and weekend days to have a better understanding of behavioural changes induced by an intervention program¹³.

While active workstations have been reported to favour body weight improvements in people with overweight or obesity¹², little is known regarding the use of such active workstations among normal-weight individuals. To our knowledge, Alkhajah *et al.*³³ run the only study testing the effects of a 12-week active workstation (sit-to-stand program) intervention among healthy office workers, but showed no significant changes FFM and FM. Our results are in line since we did not observe any significant modification of our participants' body composition. Thus, like the use of sit-to-stand desks³³, cycling workstations may be insufficient to generate changes in body composition in this population, likely because of the low intensity and associated energy expenditure of the interventions but also the relatively short duration of the intervention. Nevertheless, the present study reported a positive effect of PPM use on WThR illustrated by a decrease of this parameter after intervention. This is consistent with the findings of Carr *et al.*²⁶ who reported a significant decrease in WC in response to a 12-week cycling workstation intervention among individuals with obesity. Those results are of particular relevance in a context of primary prevention against the known adverse health effects of intra-abdominal fat accumulation in both people with overweight/obesity and normal-weight one³⁴.

Studies have reported an association of sitting accumulation patterns with cardio-metabolic risk biomarkers³⁵ highlighting the necessity to promote strategies that could decrease daily sitting time. Few studies have assessed the effect of active workstations on biological parameters and none of them has focused on normal-weight individuals. In this study, we showed for the first time

that three months of PPM intervention can improve key cardio-metabolic risk biomarkers. The observed decrease in total cholesterol and LDL-cholesterol following the 3 months of PPM use is in line with results obtained in a 9-month treadmill intervention in overweight and obese adults³⁶. Another study also reported that 12 weeks of PPM intervention in obese workers reduced plasma total and LDL cholesterol concentrations while an increase was observed in the CTRL group; changes did not reach significance though²⁶. Secondly, our results showed that the PPM use is accompanied by a decrease in us-CRP. Those results can be compared with those from Fernandes *et al.*'s study³⁷ showing that initiation or maintenance of PA in middle-aged adults mitigate the low-grade inflammatory state independent of body weight and sex. Although the relationship between a decreasing in ST and inflammatory markers does not seem to be clear-cut, some studies reported that replacing ST by LIPA and/or MVPA in middle-aged adults enabled to reduce inflammatory markers³⁸. While a low-grade chronic inflammatory state has demonstrated its role in the risk of developing vascular and metabolic disorders³⁹, those results could be of particular interest to improve cardiometabolic health. Future studies should assess the impact of active workstations on other key inflammatory markers (e.g. C3, IL-6, TNF- α , white blood cells) to have a better understanding of the evolution of inflammatory status, especially over the longer term.

To our knowledge, this is the first study to assess the impact of active workstations on physical fitness in normal-weight healthy adults. According to our results, this intervention favoured an improvement of the participants' aerobic fitness during and in response to a submaximal exercise. Based on a maximal aerobic test, Perterman *et al.*⁴⁰ found similar results in individuals with overweight after the use of cycling workstations for 4 weeks. Similar to the INT group, aerobic fitness tended to increase in the CTRL group, which can be potentially explained

by the increase in LIPA after 12 weeks (all days and weekend days). Indeed, Blom *et al.*⁴¹ observed that interventions aiming to increase LIPA improve aerobic fitness in obese adults. It has been reported that habitual LIPA is a great indicator of better strength performance on the lower limb⁴². The increase in daily LIPA observed by the end of the intervention in both groups may explain the improved isometric lower limb strength in the CTRL group and the non-significant improvement of the isometric and isokinetic (60°/s) performance in the INT group.

Some limitations should be considered in the interpretation of our results. The relatively modest sample size might be considered as one of the limitations, outlining the difficulty to recruit and maintain participants in an onsite program during the COVID-19 pandemic. Regarding the volunteers interested in the protocol, only women were studied and our results are only applicable to the female population. However, the inclusion of only female individuals is in line with the repartition of male/female in the French services sector, specifically in public and social administration⁴³. Finally, participants have self-reported information concerning their use of the PPM and no objective assessment has been conducted to ensure the validity of the reported data. However, if they have over/under estimated their PPM use, the objective changes in PA/SB and improvements in cardiometabolic outcomes and fitness testify of the efficacy of the PPM.

Conclusion

Implementation of PPM in worksite amongst inactive normal-weight healthy women both decreases daily time spent in SB and increases PA along with improvements in anthropometric (WHtR) and cardiometabolic health risk factors. Those findings support the use of such strategies for primary prevention to enable tertiary workers to mitigate the deleterious effects of spending

too much time sitted and being inactive. Future studies should investigate the effects and the adherence of a longer duration program to determine the potential long-term health benefits.

ACCEPTED

References

1. Choi B, Schnall PL, Yang H, et al. Sedentary work, low physical job demand, and obesity in US workers. *Am J Ind Med.* 2010;53(11):1088-1101. doi:10.1002/ajim.20886
2. 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. doi:10.1186/s12966-017-0525-8
3. 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. *The Lancet.* 2016;388(10051):1302-1310. doi:10.1016/S0140-6736(16)30370-1
4. van der Velde JHPM, Schaper NC, Stehouwer CDA, et al. Which is more important for cardiometabolic health: sedentary time, higher intensity physical activity or cardiorespiratory fitness? The Maastricht Study. *Diabetologia.* 2018;61(12):2561-2569. doi:10.1007/s00125-018-4719-7
5. Parry S, Straker L. The contribution of office work to sedentary behaviour associated risk. *BMC Public Health.* 2013;13(1):296. doi:10.1186/1471-2458-13-296
6. Church TS, Thomas DM, Tudor-Locke C, et al. Trends over 5 decades in U.S. occupation-related physical activity and their associations with obesity. *PLoS ONE.* 2011;6(5):e19657. doi:10.1371/journal.pone.0019657
7. Wick K, Faude O, Schwager S, Zahner L, Donath L. Deviation between self-reported and measured occupational physical activity levels in office employees: effects of age and body composition. *Int Arch Occup Environ Health.* 2016;89(4):575-582. doi:10.1007/s00420-015-1095-1

8. Genin PM, Dessenne P, Finaud J, Pereira B, Thivel D, Duclos M. Health and Fitness Benefits But Low Adherence Rate: Effect of a 10-Month Onsite Physical Activity Program Among Tertiary Employees. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*. 2018;60(9):e455. doi:10.1097/JOM.0000000000001394
9. Zeigler ZS, Mullane SL, Crespo NC, Buman MP, Gaesser GA. Effects of Standing and Light-Intensity Activity on Ambulatory Blood Pressure. *Med Sci Sports Exerc*. 2016;48(2):175-181. doi:10.1249/MSS.0000000000000754
10. Dupont F, Léger PM, Begon M, et al. Health and productivity at work: which active workstation for which benefits: a systematic review. *Occup Environ Med*. 2019;76(5):281-294. doi:10.1136/oemed-2018-105397
11. Carr LJ, Walaska KA, Marcus BH. Feasibility of a portable pedal exercise machine for reducing sedentary time in the workplace. *Br J Sports Med*. 2012;46(6):430-435. doi:10.1136/bjism.2010.079574
12. Josaphat KJ, Kugathasan TA, Reid RER, et al. Use of Active Workstations in Individuals with Overweight or Obesity: A Systematic Review. *Obesity*. 2019;27(3):362-379. doi:10.1002/oby.22388
13. Shrestha N, Kukkonen-Harjula KT, Verbeek JH, Ijaz S, Hermans V, Pedisic Z. Workplace interventions for reducing sitting at work. *Cochrane Database Syst Rev*. 2018;12:CD010912. doi:10.1002/14651858.CD010912.pub5
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. doi:10.1056/NEJMoa011858

15. Wang JG, Zhang Y, Chen HE, et al. Comparison of two bioelectrical impedance analysis devices with dual energy X-ray absorptiometry and magnetic resonance imaging in the estimation of body composition. *J Strength Cond Res.* 2013;27(1):236-243. doi:10.1519/JSC.0b013e31824f2040
16. Wallace TM, Levy JC, Matthews DR. Use and abuse of HOMA modeling. *Diabetes Care.* 2004;27(6):1487-1495. doi:10.2337/diacare.27.6.1487
17. Chatterjee S, Chatterjee P, Mukherjee PS, Bandyopadhyay A. Validity of Queen's College step test for use with young Indian men. *British Journal of Sports Medicine.* 2004;38(3):289-291. doi:10.1136/bjism.2002.002212
18. 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):266-273. doi:10.1016/S0140-6736(14)62000-6
19. Aguilar-Farias N, Martino-Fuentealba P, Salom-Diaz N, Brown WJ. How many days are enough for measuring weekly activity behaviours with the ActivPAL in adults? *Journal of Science and Medicine in Sport.* 2019;22(6):684-688. doi:10.1016/j.jsams.2018.12.004
20. 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.* 2012;9. doi:10.5888/pcd9.110332
21. Choi L, Ward SC, Schnelle JF, Buchowski MS. Assessment of wear/nonwear time classification algorithms for triaxial accelerometer. *Med Sci Sports Exerc.* 2012;44(10):2009-2016. doi:10.1249/MSS.0b013e318258cb36

22. 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):1561-1567. doi:10.1249/MSS.0b013e31820ce174
23. Sasaki JE, John D, Freedson PS. Validation and comparison of ActiGraph activity monitors. *J Sci Med Sport.* 2011;14(5):411-416. doi:10.1016/j.jsams.2011.04.003
24. Lyden K, Kozey-Keadle SL, Staudenmayer JW, Freedson PS. Validity of two wearable monitors to estimate breaks from sedentary time. *Med Sci Sports Exerc.* 2012;44(11):2243-2252. doi:10.1249/MSS.0b013e318260c477
25. Eldridge SM, Chan CL, Campbell MJ, et al. CONSORT 2010 statement: extension to randomised pilot and feasibility trials. *Pilot Feasibility Stud.* 2016;2. doi:10.1186/s40814-016-0105-8
26. Carr LJ, Karvinen K, Peavler M, Smith R, Cangelosi K. Multicomponent intervention to reduce daily sedentary time: a randomised controlled trial. *BMJ Open.* 2013;3(10):e003261. doi:10.1136/bmjopen-2013-003261
27. Mansoubi M, Pearson N, Biddle SJH, Clemes SA. Using Sit-to-Stand Workstations in Offices: Is There a Compensation Effect? *Med Sci Sports Exerc.* 2016;48(4):720-725. doi:10.1249/MSS.0000000000000802
28. Tarp J, Fagerland MW, Dalene KE, et al. Device-measured physical activity, adiposity and mortality: a harmonised meta-analysis of eight prospective cohort studies. *Br J Sports Med.* Published online December 7, 2021. doi:10.1136/bjsports-2021-104827
29. Chastin SFM, McGregor DE, Biddle SJH, et al. Striking the Right Balance: Evidence to Inform Combined Physical Activity and Sedentary Behavior Recommendations. *J Phys Act Health.* 2021;18(6):631-637. doi:10.1123/jpah.2020-0635

30. Koepp GA, Manohar CU, McCrady-Spitzer SK, et al. Treadmill desks: A 1-year prospective trial. *Obesity (Silver Spring)*. 2013;21(4):705-711. doi:10.1002/oby.20121
31. Genin PM, Degoutte F, Finaud J, Pereira B, Thivel D, Duclos M. Effect of a 5-Month Worksite Physical Activity Program on Tertiary Employees Overall Health and Fitness. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*. 2017;59(2):e3. doi:10.1097/JOM.0000000000000945
32. Aral S, Muchnik L, Sundararajan A. Distinguishing influence-based contagion from homophily-driven diffusion in dynamic networks. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2009;106(51):21544-21549. doi:10.1073/pnas.0908800106
33. Alkhajah TA, Reeves MM, Eakin EG, Winkler EAH, Owen N, Healy GN. Sit–Stand Workstations: A Pilot Intervention to Reduce Office Sitting Time. *American Journal of Preventive Medicine*. 2012;43(3):298-303. doi:10.1016/j.amepre.2012.05.027
34. Swainson MG, Batterham AM, Tsakirides C, Rutherford ZH, Hind K. Prediction of whole-body fat percentage and visceral adipose tissue mass from five anthropometric variables. *PLOS ONE*. 2017;12(5):e0177175. doi:10.1371/journal.pone.0177175
35. Bellettiere J, Winkler EAH, Chastin SFM, et al. Associations of sitting accumulation patterns with cardio-metabolic risk biomarkers in Australian adults. *PLoS ONE*. 2017;12(6):e0180119. doi:10.1371/journal.pone.0180119
36. John D, Thompson DL, Raynor H, Bielak K, Rider B, Bassett DR. Treadmill Workstations: A Worksite Physical Activity Intervention in Overweight and Obese Office Workers. *Journal of Physical Activity and Health*. 2011;8(8):1034-1043. doi:10.1123/jpah.8.8.1034

37. Fernandes RA, Ritti-Dias RM, Balagopal PB, et al. Self-initiated physical activity is associated with high sensitivity C-reactive protein: A longitudinal study in 5,030 adults. *Atherosclerosis*. 2018;273:131-135. doi:10.1016/j.atherosclerosis.2018.02.011
38. Phillips CM, Dillon CB, Perry JJ. Does replacing sedentary behaviour with light or moderate to vigorous physical activity modulate inflammatory status in adults? *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*. 2017;14(1):138. doi:10.1186/s12966-017-0594-8
39. Hotamisligil GS. Inflammation and metabolic disorders. *Nature*. 2006;444(7121):860-867. doi:10.1038/nature05485
40. Peterman JE, Morris KL, Kram R, Byrnes WC. Cardiometabolic Effects of a Workplace Cycling Intervention. *J Phys Act Health*. 2019;16(7):547-555. doi:10.1123/jpah.2018-0062
41. Blom EE, Aadland E, Solbraa AK, Oldervoll LM. Healthy Life Centres: a 3-month behaviour change programme's impact on participants' physical activity levels, aerobic fitness and obesity: an observational study. *BMJ Open*. 2020;10(9):e035888. doi:10.1136/bmjopen-2019-035888
42. Osuka Y, Yabushita N, Kim M, et al. Association between habitual light-intensity physical activity and lower-extremity performance: A cross-sectional study of community-dwelling older Japanese adults. *Geriatrics & Gerontology International*. 2015;15(3):268-275. doi:10.1111/ggi.12268
43. International Labour Organization. Global Employment Trends 2020. Geneva: International Labour Organization. Published 2020.

Figures legends

Figure 1. Evolution of us-CRP (A), total cholesterol (B) and LDL-cholesterol (C) for each group. Data are expressed as Δ (delta: value T1 - value T0, considering participants with full data collection at both T0 and T1 only) as mean \pm SEM.

Figure 2. Comparison of light intensity physical activity and moderate-to-vigorous physical activity for each group during all, week, weekend days. Comparison of mean \pm SEM light intensity physical activity for all days (A), weekdays (B), weekend days (C) and moderate-to-vigorous physical activity for all days (D), weekdays (E), weekend days (F). Time effect at $p < 0.05$; *, at $p < 0.01$; **, NS, not statistically significant.

Figure 3. Comparison of sedentary time (ST), upright behaviours (UB) and sedentary breaks (ST breaks) for each group during all, week, weekend days. Comparison of mean \pm SEM ST and UB for all days (A), weekdays (B), weekend days (C) and ST breaks for all days (D), weekdays (E), weekend days (F). Time effect at $p < 0.05$; *, at $p < 0.01$; **, NS, not statistically significant.

Supplementary figure 1.docx

Supplementary table 1.docx

Figure 1

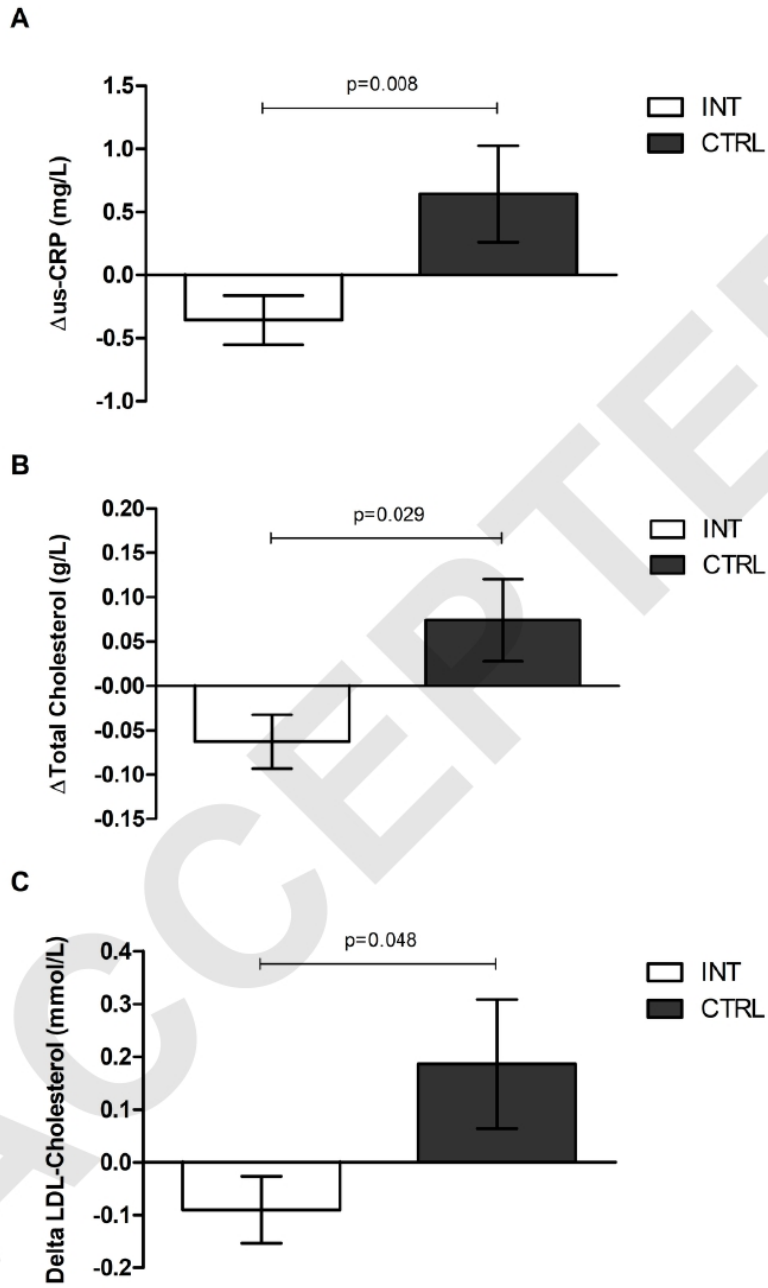


Figure 2

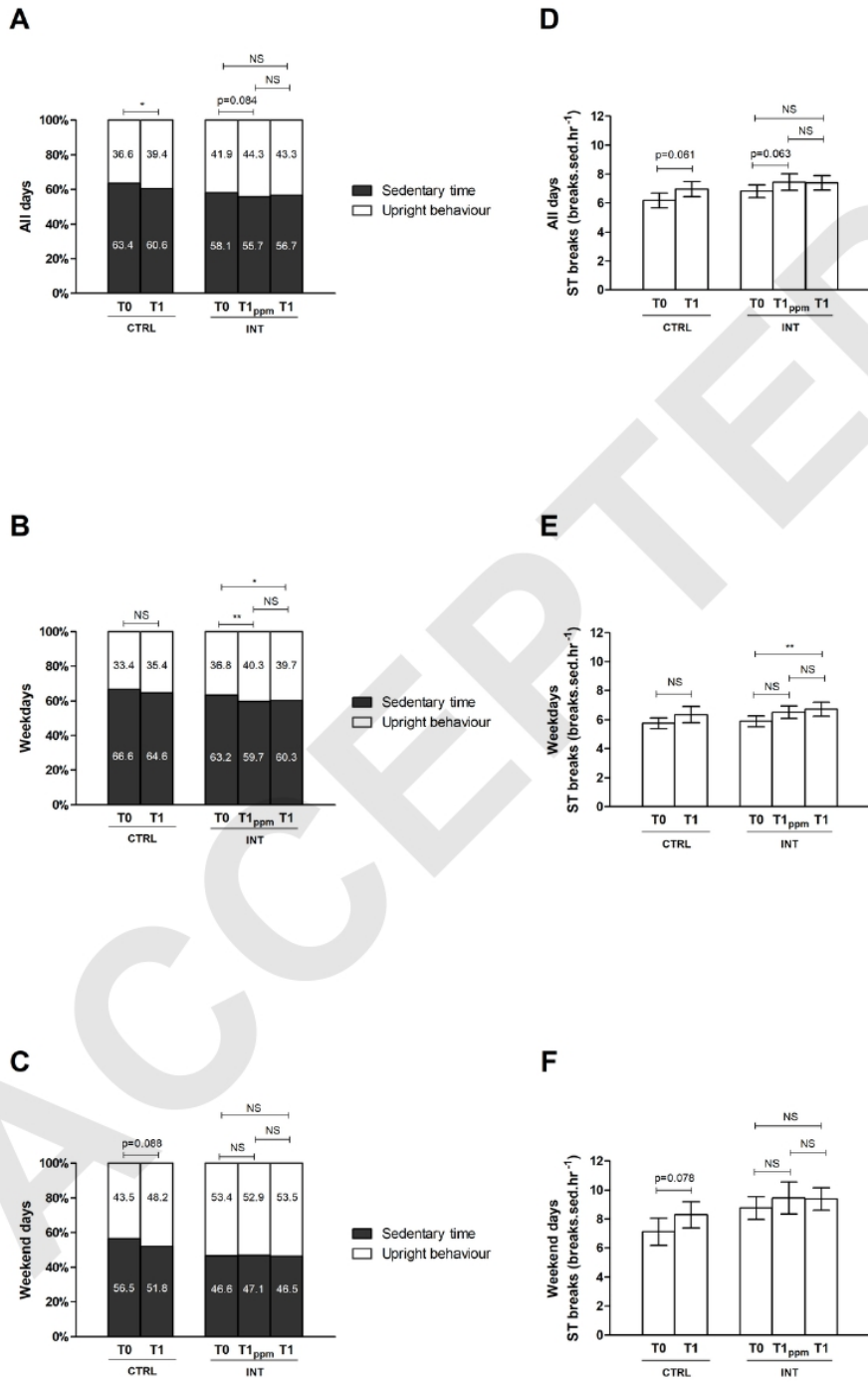


Figure 3

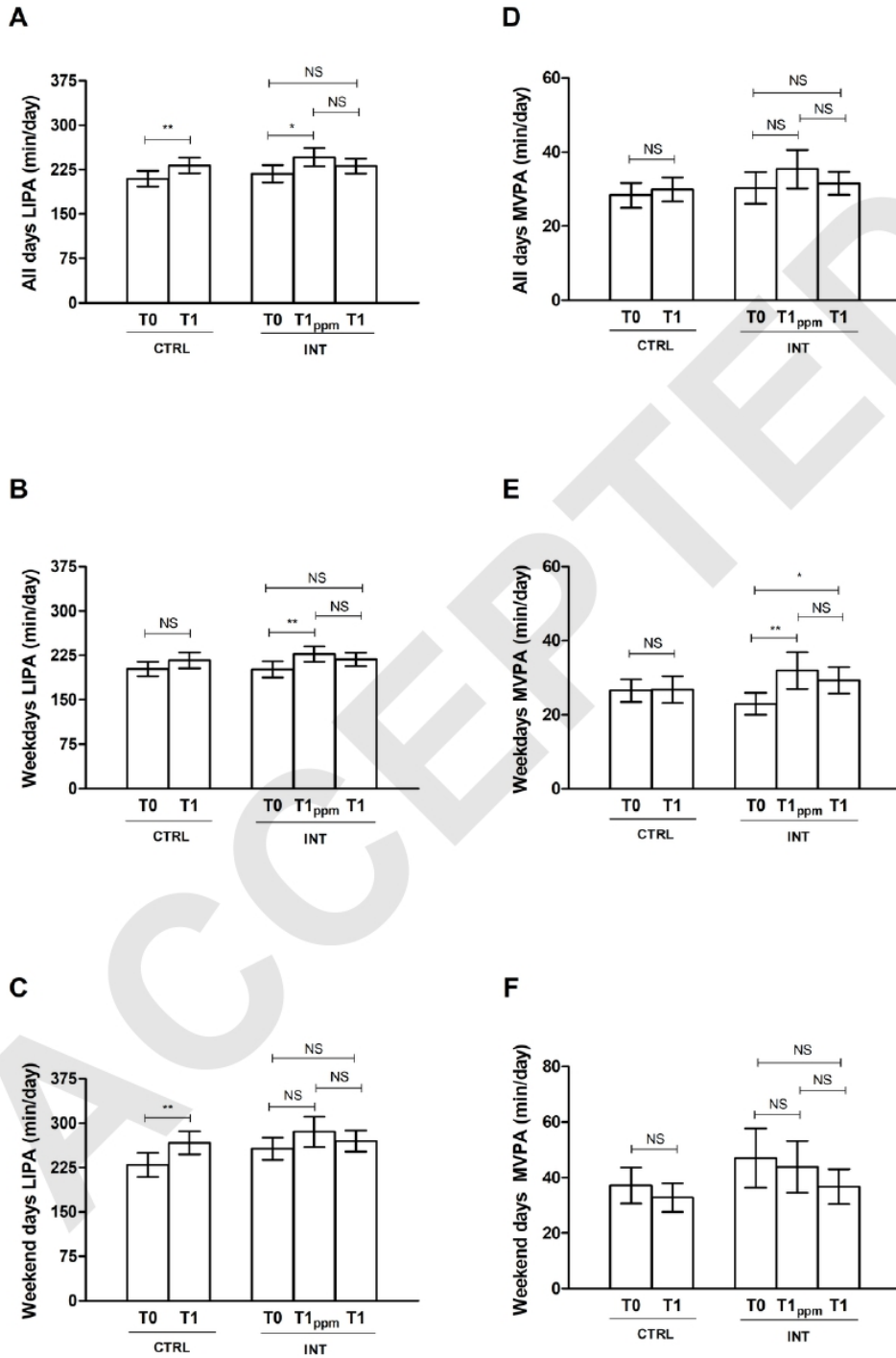


Table 1. Anthropometric measurement, body composition and physical fitness in the control (CTRL) and intervention (INT) groups at baseline (T0) and after 3 months of intervention (T1).

	CTRL			INT			Time effect	Group effect	Interaction
	T0	T1	p value	T0	T1	p value			
Anthropometric and body composition parameters									
Body weight (kg)	59.7 (8.8)	59.6 (8.6)	0.887	63.1 (9.6)	63.2 (9.8)	0.836	0.747	0.983	0.955
BMI (kg/m ²)	23.3 (3)	23.4 (2.9)	0.532	23.7 (3.5)	23.4 (3)	0.586	0.740	0.575	0.262
Body fat mass (%)	30 (5.7)	30.1 (5.6)	0.056	30.4 (5.5)	29.7 (5.7)	0.276	0.090	0.428	0.805
Total fat free-mass (kg)	39.3 (4.2)	39.6 (4)	0.083	41.3 (4)	41.2 (4.3)	0.173	0.224	0.585	0.805
Waist circumference (cm)	74.1 (6.4)	74.1 (6.7)	0.572	76.8 (6.4)	76.2 (7)	0.059	0.843	0.651	0.635
Waist circumference/height	0.46 (0.04)	0.46 (0.04)	1.000	0.47 (0.04)	0.46 (0.04)	0.039	0.903	0.961	0.160
Physical fitness parameters									
Handgrip dominant hand (kg)	27.8 (6.1)	28.3 (5.2)	0.346	28.2 (4.5)	28.8 (4.7)	0.897	0.879	0.714	0.625
Handgrip non-dominant hand (kg)	26 (5.6)	26.6 (6)	0.065	26.7 (3.5)	27.8 (3.8)	0.113	0.409	0.714	0.332
Rest heart rate step test (bpm)	66.7 (7.4)	66.6 (5.9)	0.977	63.1 (6.4)	64.6 (5.8)	0.245	0.662	0.171	0.356
Heart rate step test (bpm)	154.9 (13.3)	149.4 (14.2)	0.108	157.3 (19.2)	153.1 (18.5)	0.012	0.004	0.259	0.375
Heart rate step test +30 (bpm)	134.2 (13.7)	127.1 (14)	0.069	133.9 (20)	128.2 (18.2)	0.017	0.034	0.266	0.414
Heart rate step test +60 (bpm)	117.5 (14.3)	111.2 (13.9)	0.050	116.9 (18.2)	110.5 (16.4)	0.008	0.001	0.315	0.542
Isometric strength (N)	139.2 (30.5)	147.2 (28.9)	0.036	153.2 (35.9)	160.5 (36.3)	0.084	0.020	0.801	0.736
Isokinetic power 60°/sec (W)	133 (42.3)	133.4 (45.6)	0.776	139.3 (26.5)	145.6 (29.1)	0.093	0.936	0.393	0.598
Isokinetic power 120°/sec (W)	199.9 (55.6)	208.8 (67.4)	0.112	214.9 (43.6)	220.5 (46)	0.722	0.116	0.556	0.397

BMI, body mass index; CTRL, control group; INT, intervention group. Values are presented as mean score (standard deviation) or percentage.

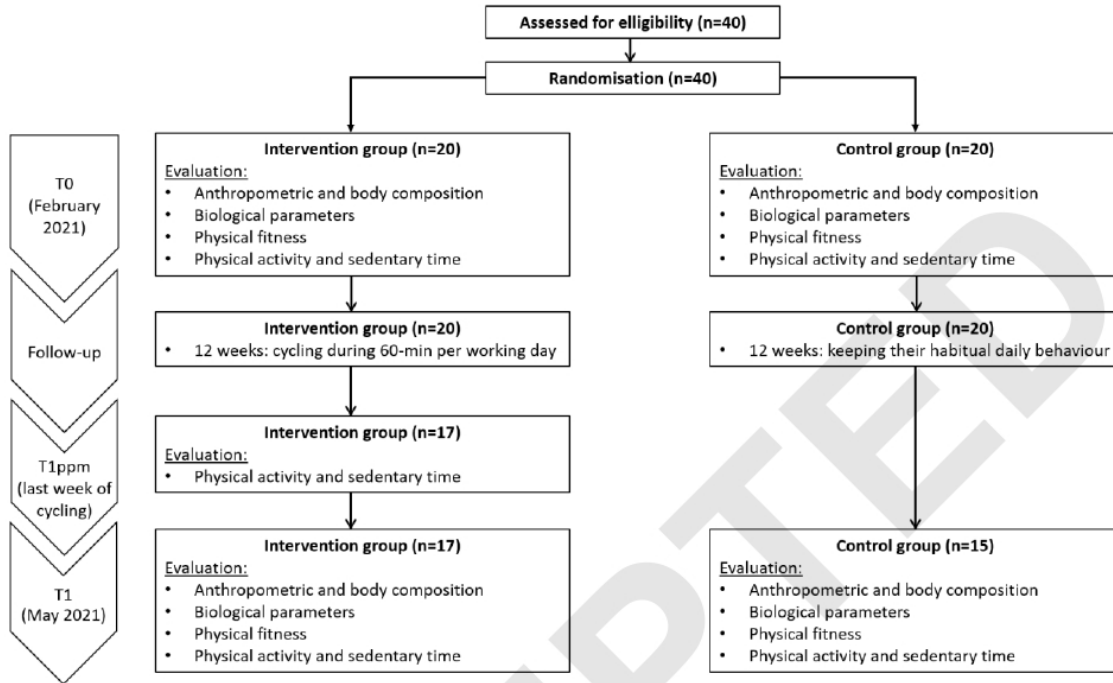
Table 2. Biological parameters in the control (CTRL) and intervention (INT) groups at baseline (T0) and after 3 months of intervention (T1).

	CTRL			INT			Δ p value	Time effect	Group effect	Interaction
	T0	T1	Δ	T0	T1	Δ				
Glucose (mmol/L)	4.84 (0.3)	5.08 (0.4)	0.24 (0.2)	4.78 (0.3)	5.06 (0.3)	0.28 (0.2)	0.790	0.001	0.918	0.920
Insuline (mIU/L)	7.01 (3.8)	8.25 (3.9)	3.11 (5.6)	5.43 (3.5)	7.26 (4.1)	3.44 (5.3)	0.287	0.487	0.244	0.504
HOMA-IR	1.51 (0.9)	1.89 (1)	0.78 (1.3)	1.14 (0.7)	1.67 (1)	0.86 (1.2)	0.287	0.290	0.389	0.705
Total cholesterol (g/L)	1.81 (0.2)	1.88 (0.3)	0.07 (0.2)	1.90 (0.4)	1.83 (0.4)	-0.06 (0.1)	0.029	0.839	0.472	0.016
HDL-Cholesterol (g/L)	0.57 (0.1)	0.56 (0.1)	0 (0.1)	0.59 (0.1)	0.57 (0.1)	-0.02 (0.1)	0.470	0.769	0.297	0.315
LDL-Cholesterol (mmol/L)	2.85 (0.4)	3.04 (0.6)	0.19 (0.5)	2.96 (1)	2.87 (1)	-0.09 (0.3)	0.048	0.477	0.754	0.043
Triglycerides (g/L)	0.68 (0.3)	0.7 (0.2)	0.03 (0.2)	0.79 (0.3)	0.77 (0.3)	-0.01 (0.2)	0.506	0.733	0.523	0.752
us-CRP (mg/L)	1.12 (1.1)	1.89 (2)	0.64 (1.5)	1.86 (1.8)	1.5 (1.5)	-0.36 (0.8)	0.008	0.630	0.173	0.050

CTRL, control group; HOMA-IR, homeostatic model assessment of insulin resistance; HDL, high-density lipoprotein cholesterol; LDL, light-density lipoprotein cholesterol; PPM3, intervention group; us-CRP, ultra-sensitive C-reactive protein; Δ, delta (value T1 - value T0, considering participants with full data collection at both T0 and T1 only).

Values are presented as mean score (standard deviation).

Supplementary figure 1. Study overview



Supplementary table 1. Physical activity and sedentary time (total, weekday and weekend day) in the control (CTRL) and intervention (INT) groups at baseline (T0), last week of cycling for interventional group (T1ppm) and after 3 months of intervention (T1).

	CTRL			INT						Time effect	Group effect	Interaction	
	T0	T1	p value	T0	T1		p value						
					T1ppm	T1	T0-T1ppm	T0-T1	T1ppm-T1				
All days	LIPA (min/day)	209.5 (51.1)	231.9 (50.9)	0.010	217.9 (60.9)	245.9 (64.2)	231.1 (51.6)	0.030	0.246	0.177	0.500	0.742	0.479
	MVPA (min/day)	29.4 (12.9)	28.8 (12.8)	0.887	30.2 (17.7)	35.4 (21.5)	31.5 (12.8)	0.188	0.136	0.463	0.868	0.935	0.486
	VPA (min/day)	1.34 (2.2)	1.1 (1.9)	0.799	1.9 (5.8)	1.4 (3)	1.3 (2.5)	0.662	0.499	0.445	0.831	0.761	0.858
	N-MVPA bouts (nbr/day)	0.6 (0.6)	0.6 (0.7)	0.851	0.5 (0.4)	0.8 (0.8)	0.6 (0.3)	0.077	0.163	0.929	0.732	0.322	0.509
	AT-MVPA (min)	18 (13.9)	12.4 (8.6)	0.149	17.6 (17.45)	14.9 (8.5)	15.8 (8.3)	0.392	0.796	0.535	0.124	0.935	0.389
	ST (%)	63.4 (7.6)	60.6 (7.2)	0.047	58.1 (6.7)	55.7 (8.8)	56.7 (7.2)	0.084	0.162	0.287	0.034	0.086	0.502
	Upright behaviours (%)	36.6 (7.6)	39.4 (7.2)	0.047	41.9 (6.7)	44.3 (8.8)	43.3 (7.2)	0.084	0.162	0.287	0.034	0.086	0.502
	ST (min/day)	551.8 (72.3)	522.7 (63.7)	0.078	496.1 (55.2)	479 (72.7)	499.7 (64.5)	0.332	0.943	0.039	0.253	0.057	0.145
	Upright behaviours (min/day)	313 (65.9)	337.2 (65.6)	0.047	352.9 (67)	376.9 (85.3)	376.3 (67.6)	0.124	0.102	0.758	0.010	0.081	0.963
	ST breaks (breaks.sed.hr-1)	6.17 (2)	7 (2)	0.061	6.8 (1.8)	7.4 (2.4)	7.4 (2.1)	0.065	0.266	0.981	0.030	0.245	0.659
	ST bouts 30-60min (nbr)	3 (0.8)	3.2 (0.8)	0.460	3 (0.6)	3 (1)	3.1 (0.8)	0.918	0.897	0.636	0.996	0.600	0.837
	ST bouts +60min (nbr)	1.4 (0.8)	1.1 (0.7)	0.060	1.3 (0.6)	1.1 (0.6)	1.2 (0.6)	0.375	0.287	0.518	0.062	0.490	0.400
	ST bouts mean (min)	54.1 (8.8)	53.3 (9.9)	0.733	53.4 (8.3)	50.5 (9.7)	50.4 (7.6)	0.150	0.287	0.906	0.671	0.344	0.635
Weekdays	LIPA (min/day)	201.9 (47.6)	216.4 (51.8)	0.156	201.2 (56)	227.1 (54.2)	218 (47.8)	0.010	0.102	0.538	0.640	0.952	0.986
	MVPA (min/day)	26.5 (11.8)	26.8 (13.9)	0.910	22.9 (12.1)	31.9 (20.4)	29.3 (14.7)	0.007	0.031	0.309	0.960	0.532	0.096
	VPA (min/day)	1.8 (3.1)	0.8 (1.4)	0.260	1.7 (5.8)	1.5 (3.3)	1 (2.3)	0.847	0.866	0.237	0.395	0.805	0.858
	N-MVPA bouts (nbr/day)	0.5 (0.6)	0.6 (0.8)	0.861	0.3 (0.3)	0.6 (0.8)	0.5 (0.4)	0.017	0.031	0.753	0.713	0.103	0.325
	AT-MVPA (min)	19.1 (17.2)	10.2 (8.5)	0.028	14.9 (20)	11.4 (10.6)	13.4 (8.9)	0.384	0.334	0.300	0.148	0.544	0.498
	ST (%)	66.6 (6.9)	64.6 (8.5)	0.256	63.2 (6.9)	59.7 (7.7)	60.3 (8.2)	0.010	0.039	0.554	0.132	0.381	0.637
	Upright behaviours (%)	33.4 (6.9)	35.4 (8.5)	0.256	36.8 (6.9)	40.3 (7.7)	39.7 (8.2)	0.010	0.039	0.554	0.132	0.381	0.637
	ST (min/day)	592.2 (66.5)	564.5 (84.2)	0.111	552.2 (64.3)	520.9 (69.1)	539.7 (76.1)	0.163	0.266	0.331	0.060	0.183	0.465
	Upright behaviours (min/day)	296.3 (64.5)	305.9 (71.5)	0.426	319.3 (66.6)	349.2 (77.3)	352.7 (76.1)	0.031	0.017	0.619	0.029	0.138	0.212
	ST breaks (breaks.sed.hr-1)	5.7 (1.5)	6.3 (2.2)	0.173	5.9 (1.5)	6.5 (1.8)	6.7 (2)	0.330	0.010	0.381	0.041	0.543	0.826
	ST bouts 30-60min (nbr)	3.5 (1)	3.6 (1.2)	0.834	3.4 (0.7)	3.4 (1.3)	3.5 (0.7)	0.955	0.925	0.836	0.752	0.490	0.622
	ST bouts +60min (nbr)	1.6 (1)	1.3 (0.9)	0.109	1.7 (0.8)	1.4 (0.7)	1.4 (0.7)	0.193	0.123	0.609	0.173	0.878	0.900
	ST bouts mean (min)	53.3 (10.9)	54.4 (10.5)	0.955	55.7 (7.1)	54.4 (11.7)	53.1 (8.1)	0.543	0.227	0.463	0.225	0.178	0.064
Weekend days	LIPA (min/day)	229.6 (75.4)	266.8 (73.6)	0.003	257.1 (74.7)	285.4 (105)	269.8 (71.7)	0.167	0.756	0.352	0.011	0.185	0.254
	MVPA (min/day)	37.2 (24.2)	32.8 (20)	0.638	47 (42.9.9)	43.8 (38.5)	36.8 (25.1)	0.673	0.148	0.959	0.573	0.399	0.536
	VPA (min/day)	0.3 (0.5)	1.8 (4.6)	0.686	1.1 (3.2)	1.4 (3.3)	1.7 (6.5)	0.857	0.655	0.352	0.134	0.618	0.455
	N-MVPA bouts (nbr/day)	0.8 (0.9)	0.7 (1.1)	0.515	0.9 (1.1)	1.1 (1.4)	0.8 (1)	0.590	0.779	0.969	0.931	0.823	0.951
	AT-MVPA (min)	16.6 (17.1)	8.5 (9.9)	0.197	15.5 (18.8)	10.2 (8.8)	11 (12.5)	0.237	0.328	0.955	0.048	0.778	0.393
	ST (%)	56.5 (14.2)	51.8 (12.1)	0.088	46.6 (8.4)	47.1 (14.7)	46.5 (8.7)	0.806	0.679	0.215	0.069	0.025	0.392
	Upright behaviours (%)	43.5 (14.2)	48.2 (12.1)	0.088	53.4 (8.4)	52.9 (14.7)	53.5 (8.7)	0.806	0.679	0.215	0.069	0.025	0.392
	ST (min/day)	462.1 (130.8)	431.7 (106)	0.334	370.7 (56.2)	386.8 (121.6)	386.1 (76.6)	0.619	0.959	0.958	0.603	0.028	0.289
	Upright behaviours (min/day)	350.6 (113.6)	403.3 (112.3)	0.012	426.8 (88.4)	437 (138.6)	441.9 (77.6)	0.586	0.408	0.877	0.007	0.112	0.259
	ST breaks (breaks.sed.hr-1)	7.1 (3.7)	8.3 (3.5)	0.078	8.8 (3.3)	9.4 (4.6)	9.4 (3.1)	0.328	0.796	0.918	0.133	0.164	0.687
	ST bouts 30-60min (nbr)	2 (1.1)	2.3 (1.3)	0.320	2 (1)	2.1 (1.6)	2 (1)	0.946	0.845	0.925	0.235	0.824	0.113
	ST bouts +60min (nbr)	1.1 (1)	0.7 (0.7)	0.116	0.4 (0.6)	0.6 (0.8)	0.4 (0.4)	0.374	0.799	0.638	0.029	0.010	0.110
	ST bouts mean (min)	56.2 (15.5)	50.7 (15.7)	0.394	48.6 (17.7)	42.5 (21.6)	43.3 (14.7)	0.271	0.469	0.999	0.150	0.122	0.634

AT-MVPA, average time of moderate-to-vigorous physical activity bouts; CTRL, control group; INT, intervention group; LPA, light intensity physical activity; N-MVPA, number of moderate-to-vigorous physical activity bouts; MVPA, moderate-to-vigorous physical activity; ST, sedentary time; VPA, vigorous physical activity.

Values are presented as mean score (standard deviation) or percentage.

CONCLUSION DE L'ARTICLE 3

Les résultats de cette étude montrent que l'utilisation d'un pédalier de bureau à intensité légère chez une population métaboliquement saine et normo-pondérée, à raison de 60 minutes par jour travaillé durant 12 semaines, réduit significativement le temps passé en comportements sédentaires (~ -31.3 minutes/jour) et augmente le temps passé à des activités physiques d'intensité légère (~ +26 minutes/jour) et d'intensité modérée (~ +9 minutes/jour) au cours des jours de la semaine. Ces adaptations comportementales sont associées à une amélioration des paramètres métaboliques (cholestérol total et LDL-cholestérol), inflammatoires (CRP-us), anthropométriques (tour de taille-taille) et de la condition physique (capacité aérobie pendant et après un effort sous-maximal). Au-delà de l'effet de l'intervention, il est intéressant de relever que les participantes du groupe contrôle, malgré les consignes de ne pas changer leurs habitudes vie, ont réduit leurs comportements sédentaires et augmenté leur pratique d'activités physiques d'intensité légère, plus spécifiquement durant les jours non travaillés (week-end). Ces résultats au sein du groupe contrôle sont similaires à ceux de précédentes études menées au sein de notre laboratoire, mettant en avant les aspects positifs générés par la participation à un protocole de recherche, malgré son inclusion en tant que sujet contrôle (Genin et al., 2017).

Cette étude met en exergue les effets bénéfiques de l'utilisation d'une stratégie de bureau actif dynamique pour améliorer la santé cardiométabolique et les comportements du mouvement de salariées saines et normo-pondérées d'entreprises du secteur tertiaire. Ces résultats soulignent ainsi l'utilité d'utiliser de telles stratégies en prévention primaire pour réduire les effets délétères de l'excès de temps passé en position assis et du manque d'activité physique. De futures études sont nécessaires pour évaluer l'adhésion et les effets d'un programme de pédalier de bureau d'une durée plus importante pour déterminer les effets à long terme sur la santé globale. De plus, des études complémentaires sont nécessaires pour évaluer l'impact de la durée, de la fréquence et de l'intensité de la pratique de cet outil sur la santé des individus.

PARTIE III – DISCUSSION GÉNÉRALE

DISCUSSION

L'activité physique est depuis de nombreuses années au centre de l'intérêt scientifique au regard des effets psycho-physiologiques associés à sa pratique. Plus récemment, les recherches autour de la sédentarité et de ses effets sur la santé n'ont cessé d'augmenter en raison des effets délétères associés à l'accumulation de ce type de comportement. Différentes évolutions techniques et technologiques ont progressivement entraîné une réduction de l'activité physique dans toutes ses composantes, à travers le développement des activités tertiaires. Actuellement, l'espace de travail représente un lieu de forte exposition aux comportements sédentaires et diverses stratégies ont été implémentées pour réduire la sédentarité et l'inactivité physique dans le milieu professionnel. Parmi l'ensemble des stratégies étudiées, les bureaux actifs dynamiques représentent l'outil le plus prometteur pour concilier la réalisation des tâches professionnelles et d'une activité physique du salarié. Toutefois, la majorité des études se sont intéressées aux effets de ces derniers sur des populations en situation de surpoids et d'obésité. Malgré leur fort potentiel, les pédaliers de bureau n'ont été que très peu étudiés au sein des différentes recherches scientifiques et des études sont nécessaires pour évaluer les effets de ces derniers sur des populations saines en prévention primaire.

C'est dans ce contexte que ce travail de doctorat visait à questionner l'intérêt de l'utilisation de pédaliers de bureau pour optimiser la santé globale de travailleurs du secteur tertiaire. Afin de répondre à cet objectif, nous avons tout d'abord souhaité valider scientifiquement un protocole expérimental ayant une méthodologie de type exploratoire, randomisée, contrôlée et multicentrique pour évaluer les effets de l'utilisation d'un pédalier de bureau 60 minutes par jour travaillé durant 3 mois auprès de salariés du secteur tertiaire et ses effets sur les niveaux d'activité physique et de sédentarité, la composition corporelle, les capacités physiques, les facteurs de risques cardiométaboliques, les adaptations énergétiques, les paramètres psychologiques et ergonomiques, ainsi que les effets de l'ajout de 3 mois supplémentaires. Nos résultats publiés sont prometteurs et montrent pour la première fois, à travers un protocole validé (Guirado et al., 2021) les effets bénéfiques de leur utilisation (Guirado et al., 2022b, 2022a).

La mise en place de ce protocole expérimental avait pour projet initial de se tenir sur deux vagues distinctes réalisées sur une période de deux années. Toutefois, le contexte sanitaire et

social relatif à la pandémie mondiale du SARS-CoV-2 a entraîné l'arrêt du protocole avant les premières évaluations intermédiaires (3 mois). À partir des données obtenues lors de la première évaluation du protocole, nous avons souhaité nous intéresser aux caractéristiques de la cohorte incluse pour rechercher si différents profils se détachaient afin de permettre une meilleure compréhension des réponses de cette population. Ainsi, l'analyse des données a montré une variabilité inter-individuelle de la dépense énergétique lors d'un exercice de faible intensité sur un pédalier de bureau. La caractérisation de profils cardiométaboliques associée à l'hétérogénéité des réponses énergétiques à un exercice de faible intensité a mené à la publication du premier article original de ces travaux de thèse (Guirado et al., 2022a). Les résultats de cette étude permettent d'observer deux profils énergétiques distincts, l'un considéré comme « *dépensier* » et l'autre comme « *économe* », où le phénotype dépensier est associé à une dépense énergétique moyenne significativement plus élevée que le phénotype économe (2.26 ± 0.20 vs 1.91 ± 0.15 kcal/min – **article 2**). Cette différence de réponse énergétique se caractérisait par des paramètres cardiométaboliques différents sur des données tels que la masse grasse, le ratio tour de taille sur la taille, le cholestérol HDL, l'insuline et l'indice HOMA-IR où les sujets étant considérés comme « *économes* » présentaient un profil métabolique plus sain. Ces données soulignent qu'au sein même d'une population considérée comme physiologiquement saine, il existe une diversité de profils énergétiques et cardiométaboliques et il apparaît intéressant d'observer les effets de l'utilisation d'un pédalier de bureau sur la santé globale de ces individus. De plus, ces données suggèrent la possibilité d'une prescription individualisée de ces pédaliers de bureau.

La mise en place de la deuxième vague du protocole REMOVE a ainsi permis de mettre en place l'évaluation des effets de l'utilisation d'un pédalier de bureau à raison de 60 minutes par jour travaillé pendant 12 semaines sur des paramètres physio-psychologiques auprès de salariées du secteur tertiaire. L'exploitation et l'analyse des données issues de la mise en place de ce protocole a mené à la publication d'un article s'intéressant spécifiquement aux effets de l'intervention sur les comportements du mouvement (activité physique et sédentarité) et sur différents facteurs de risques cardiométaboliques (paramètres biologiques, capacité physique, composition corporelle et mesures anthropométriques) (Guirado et al., 2022b). Les résultats de cette étude ont montré que la pratique d'une activité physique d'intensité faible sur un pédalier de bureau à hauteur de 60 minutes par jour travaillé durant 12 semaines réduit significativement le temps en comportements sédentaires (≈ -31.3 minutes/jour) tout en

augmentant le temps consacré aux activités physiques que ce soit à des intensités faibles ($\approx +26$ minutes/jour) ou modérées ($\approx +9$ minutes/jour) lors des jours ouvrés, chez des femmes normo-pondérées et métaboliquement saines. Les améliorations des comportements du mouvement sont associées à une amélioration de certains marqueurs cardiométaboliques (LDL-cholestérol et total cholestérol) et inflammatoires (CRP-us), ainsi que des paramètres anthropométriques (ratio tour de taille-taille) et de la condition aérobie (pendant et après un effort sous-maximal) au sein de cette cohorte. Ces résultats sont cliniquement significatifs puisqu'il est bien démontré qu'une diminution du LDL-cholestérol de 1 mmol/L est associée à une réduction d'environ 33% du risque de mortalité causé par une cardiopathie ischémique chez une population âgée de 40 à 59 ans (Prospective Studies Collaboration, 2007). Par ailleurs, il s'agit de facteurs de risques cardiovasculaires dont l'accumulation augmente le risque à moyen et long termes de développer des pathologies cardiovasculaires.

Il est nécessaire de préciser que l'ensemble des données obtenues lors des différentes vagues du protocole REMOVE n'ont pas encore été entièrement analysées (qualité de vie, contraintes professionnelles, stress et anxiété, comportements alimentaires) et que ces paramètres en cours de traitement feront l'objet de futures publications.

Au-delà des données présentées dans les différents articles de cette thèse, nous sommes en capacité de présenter quelques résultats préliminaires issus de l'analyse longitudinale du protocole REMOVE, nous permettant d'explorer et de mieux comprendre les effets d'un programme d'activité physique réalisé sur un pédalier de bureau dans le milieu professionnel sur des composantes énergétiques et psychologiques. Rappelons que nous avons observé que la cohorte de cette étude ne possédait pas les mêmes caractéristiques énergétiques que la précédente (première vague). En effet, l'ensemble des sujets (groupe contrôle et interventionnel) présentait des données énergétiques similaires entre eux, pouvant être considérées comme « *économe* », en les comparant aux données obtenues à travers l'étude transversale. Ces premiers résultats tendent à indiquer un effet cohorte-dépendant au regard de l'hétérogénéité des réponses de la dépense énergétique à l'effort et suggèrent la nécessité de réaliser des études avec des cohortes plus importantes pour permettre une meilleure compréhension et caractérisation de la variabilité inter-individuelle de la dépense énergétique au sein de population ayant des caractéristiques variables (sexe, statut pondéral, composition corporelle, statut hormonal, présence de pathologies métaboliques) permettant ainsi de

décélérer de potentiels profils intra-groupes. Ces futures évaluations permettraient d'envisager de potentielles individualisations, concernant les prescriptions liées à l'utilisation de pédalier de bureau.

Ces propos prennent encore plus de sens au regard de l'effet de l'utilisation d'un pédalier de bureau sur les adaptations énergétiques à l'effort après 3 mois d'intervention. Les résultats préliminaires, issus de l'analyse des données obtenues au cours du protocole de l'étude 2, suggèrent des adaptations physiologiques à l'effort entre T0 et T1. En s'intéressant à la composante métabolique, des adaptations ont été observées avec une amélioration des substrats oxydés à l'effort. En effet, entre T0 et T1 (durée de 3 mois), la proportion d'oxydation des lipides est restée stable (1.04 ± 0.25 vs 1.04 ± 0.17 kcal.min⁻¹) alors que celle des glucides a significativement diminué (1.02 ± 0.23 vs 0.83 ± 0.12 kcal.min⁻¹, $p=0.001$) pour le groupe interventionnel. Ces données soulignent une amélioration de la flexibilité métabolique au sein d'une population métaboliquement saine. Par contre, il n'existe pas de modification significative de la différence entre la dépense énergétique à l'effort et celle de repos entre T0 et T1 (Delta Rest-exo) (1.03 ± 0.18 vs 0.98 ± 0.18 kcal.min⁻¹, $p=0.522$), ce qui suggère que pour un même effort réalisé (intensité et durée) avant et après la réalisation d'un programme d'activité physique, les réponses énergétiques sont similaires mais les améliorations observées liées à l'oxydation des substrats soulignent une meilleure utilisation des réserves lipidiques et l'impact positif d'une augmentation chronique de l'activité physique de faible intensité sur cette composante. Ces résultats sont en lien avec ceux de la littérature scientifique qui ont observé une association positive entre l'oxydation des substrats à l'effort et le niveau d'activité physique (Bergouignan et al., 2013). Ainsi, nous pouvons supposer que les résultats observés seront identiques en fonction du phénotype (économe vs dépensier) mais cela reste à démontrer. Des études sont toutefois nécessaires pour valider cette hypothèse mais cela serait particulièrement intéressant au regard du profil cardiométabolique à risque des sujets considérés comme « dépensiers » (Guirado et al., 2022a).

Au-delà de la composante énergétique et métabolique, nous avons administré différents questionnaires aux sujets de l'étude REMOVE, afin d'évaluer différents paramètres psychosociaux, tels que les contraintes professionnelles, la qualité de vie, les comportements, ainsi que le stress et l'anxiété. L'un des premiers résultats préliminaires que nous pouvons détailler concerne l'évaluation de l'équanimité par le Two Factor Equanimity Scale pour notre cohorte.

L'un des paramètres évalués par ce questionnaire porte sur l'indépendance hédonique, permettant d'investiguer le détachement émotionnel et motivationnel en réponse à un stimulus positif/plaisant. L'indépendance hédonique est négativement associée à des comportements addictifs comme par exemple liés à l'alimentation (Juneau et al., 2020). De façon intéressante, l'étude longitudinale REMOVE a observé des améliorations statistiquement significatives pour le groupe interventionnel après 12 semaines d'intervention de certains paramètres des questionnaires d'équanimité et de comportements alimentaires, comme par exemple une augmentation du score évaluant l'indépendance hédonique (T0 vs T1 : 4.9 ± 0.6 ; 5.2 ± 0.8 , $p=0.011$) ainsi qu'une réduction du score du DEBQ scorant l'alimentation émotionnelle (T0 vs T1 : 2.65 ± 0.6 ; 2.45 ± 0.5 , $p=0.008$) et du score du TFEQ concernant l'alimentation incontrôlée (T0 vs T1 : 1.82 ± 0.5 ; 1.71 ± 0.4 , $p=0.013$), suggérant une amélioration de l'équilibre émotionnel des individus ayant eu accès au pédalier ; bien que les valeurs des questionnaires ne décelaient pas de troubles du comportement alimentaire au sein de cette cohorte.

Au regard des données de la qualité de vie et des contraintes professionnelles, il n'y a pas eu de changement significatif dans les deux groupes. Ces résultats soulignent l'absence d'effets délétères liés à la pratique du pédalier au sein du contexte professionnel. En effet, des études ont mis en avant les difficultés liées à la pratique d'activité physique durant le temps professionnel en raison d'une atmosphère non adaptée (Mansfield et al., 2018). Toutefois, en regardant plus précisément les résultats de différents scores du Job Content Questionnaire, évaluant le soutien social émanant de la hiérarchie et des collègues, nous n'observons pas de changement significatif pour les groupes pédaliers et contrôles. Bien que nous n'ayons pas évalué l'impact sur les performances cognitives au travail, des études ont mis en avant des capacités équivalentes lors de l'utilisation de station dynamique en comparaison d'une station assise, si l'intensité reste à des niveaux équivalents à des activités physiques d'intensité légère (Dupont et al., 2019). Le score de la charge psychologique au travail ne montre pas d'évolution entre T0 et T1 pour le groupe pédalier, suggérant que l'implémentation du pédalier n'a pas impacté l'atmosphère de travail. Ces résultats peuvent s'expliquer par les avantages fonctionnels du pédalier de bureau, caractérisés par la liberté de pratique de l'utilisateur en lien avec le moment, la durée, l'intensité, la fréquence d'utilisation et sa discrétion (glissé sous le bureau) réduisant ainsi de potentielles problématiques d'interactions sociales avec les membres du bureau n'utilisant pas de pédalier de bureau. Nous avons aussi évalué différents

paramètres, à travers des échelles visuelles analogiques, tels que le burnout, le stress au travail et au domicile, la fatigue mentale et physique, ainsi que la qualité de vie et de sommeil, sans pour autant relever de modifications statistiquement significatives au sein des deux groupes de l'étude. Par exemple, les données relatives à la qualité du sommeil ont présenté des données similaires entre T0 et T1 pour les deux groupes. Toutefois, nous avons pu remarquer des données moyennes assez faibles pour ce paramètre, avec une qualité du sommeil pouvant être considérée comme « moyenne ». Ces observations sont cohérentes avec les données de la littérature qui rapportent une association négative entre la qualité du sommeil et le temps passé en comportements sédentaires, indépendamment du niveau d'activité physique, avec un risque de détérioration plus important pour un temps de sédentarité accumulé de manière prolongée (Kinoshita et al., 2022; Yang et al., 2017). La réduction du temps total de sédentarité au profit d'activité physique d'intensité légère et modérée à intense apparaît comme prometteur pour permettre une amélioration de la qualité du sommeil. Cependant, les résultats au sein de notre cohorte ne vont pas dans cette direction et ne montrent pas d'effets liés à l'intervention de pédaliers de bureau sur cette composante. Similairement à la littérature actuelle, nous pouvons nous interroger sur le temps nécessaire à consacrer aux activités physiques et à l'intensité de ces dernières pour générer de potentiels changements bénéfiques sur le sommeil des individus (Kakinami et al., 2017; Wang and Boros, 2021). En ce sens, des études supplémentaires sont nécessaires pour évaluer de façon objective la qualité du sommeil et observer les effets potentiels de l'utilisation chronique d'un pédalier de bureau (durée, fréquence et intensité) sur cette composante.

Il est intéressant de discuter aussi des résultats du groupe contrôle. En effet, malgré la demande faite auprès de ce groupe de ne pas modifier leurs habitudes de la vie quotidienne, nous avons pu observer des modifications notables et significatives concernant différents paramètres. Le groupe contrôle a diminué après 12 semaines le temps passé en comportements sédentaires (jours semaines + week-end), potentiellement expliqué par une diminution de ces comportements durant les jours du week-end (Guirado et al., 2022b). De façon similaire, le groupe contrôle a augmenté son temps passé en activité physique d'intensité légère de manière significative durant la période totale d'enregistrement (jours semaines + week-end) et spécifiquement durant les jours du week-end. Ces modifications

comportementales peuvent aussi expliquer une amélioration des adaptations métaboliques à l'effort, avec des données relatives à l'oxydation des lipides stables (0.96 ± 0.28 vs 1.00 ± 0.16 kcal.min⁻¹) et une diminution significative de l'oxydation des glucides (1.04 ± 0.25 vs 0.80 ± 0.12 kcal.min⁻¹, $p=0.006$). Pourtant, ces résultats ne sont pas surprenants au regard des résultats de précédentes études expérimentales. Par exemple, l'étude de Genin *et al.* (2017) a observé dans un protocole implémentant durant 5 mois un programme d'activité physique en entreprise, et malgré une absence d'intervention, une amélioration de certains paramètres tels que les niveaux d'activité physique, la masse grasse, la distance réalisée sur un test de 6 minutes marche et la perception individuelle de la santé globale pour le groupe contrôle (Genin *et al.*, 2017). Différents mécanismes psychologiques peuvent justifier ce type d'adaptation comportementale engendrant des bénéfices pour les groupes contrôles, bien que ces améliorations soient plus modestes que pour les groupes interventionnels. Le premier mécanisme pouvant être mentionné est « *l'effet de simple mesure ou l'effet de simple exposition* » qui entraîne des changements comportementaux d'individus sans intervention auprès de ces derniers, justifiés par la simple participation à des visites expérimentales (Morwitz and Fitzsimons, 2004). En d'autres termes, ce phénomène explique que la mesure d'un paramètre spécifique peut modifier le comportement associé à ce paramètre *a posteriori*, comme nous pouvons le voir par exemple avec le groupe contrôle concernant les données liées à l'activité physique. Le second mécanisme pouvant être cité est la « *contagion par influence* », à travers une influence par les pairs (Aral and Nicolaides, 2017; Aral *et al.*, 2009). Par « les pairs », nous considérons deux paramètres ayant pu influencer les comportements du groupe contrôle. Le premier proviendrait de l'influence des investigateurs scientifiques de l'étude, qui en menant une étude visant à réduire les comportements sédentaires du quotidien tout en augmentant la pratique d'activité physique aurait influencé les sujets, même ceux n'utilisant pas le pédalier. La seconde serait issue du groupe interventionnel qui en utilisant le pédalier influencerait les comportements du groupe contrôle en les incitant à améliorer leurs comportements du mouvement. Malgré l'incertitude des raisons expliquant les comportements du groupe contrôle, il est finalement intéressant de noter que l'inclusion dans un protocole expérimental tend à entraîner des adaptations positives pour les sujets étant dans le groupe contrôle. Ces résultats soulignent les effets potentiellement bénéfiques que pourrait induire un milieu professionnel favorisant au sein de son écosystème la pratique de l'activité physique. Malgré l'absence d'interventions directes,

l'environnement dans lequel les personnes se trouvent pourrait être ainsi impacté positivement par ce dernier. Toutefois, ces données ne restent que des suppositions et des études exploratoires sont nécessaires pour valider ces propos.

Enfin, l'une des forces de notre étude interventionnelle est la forte adhésion et observance de notre protocole expérimental au sein du groupe interventionnel. En effet, seulement deux personnes ont été exclues du groupe interventionnel pour des raisons médicales indépendantes de l'étude, et l'observance de l'ensemble des sujets au regard de la prescription d'activité physique a été respectée (59 ± 8 minutes de pédalage par jour travaillé sur les 60 minutes demandées). Dans une autre étude menée par Carr *et al.* (2012), un pédalier de bureau était mis à la disposition de salariés du secteur tertiaire pendant 4 semaines à travers une utilisation libre et où la durée moyenne d'utilisation était de 23.4 (± 20.4) minutes (Carr *et al.*, 2012). Malgré un temps moyen d'utilisation stable durant l'entièreté de leur protocole, cette même étude a observé une forte diminution concernant l'adhésion avec moins de 20% des participants initiaux ayant continué à utiliser le pédalier après 4 semaines de pratique. Ces résultats soulignent la nécessité de trouver des stratégies/moyens pour améliorer l'adhésion de la population ciblée. Il est aussi intéressant de relever que l'une des limites des données de notre étude réside dans la méthodologie subjective du relevé de ces dernières, à savoir le remplissage auto-rapporté par les participantes de l'étude. Les études de Carr *et al.* (2012, 2013) utilisaient des pédaliers enregistrant automatiquement la pratique des sujets et permettaient d'avoir un feedback/retour objectif de leur pratique mais soulignant aussi un aspect motivationnel pour les sujets (Carr *et al.*, 2012, 2013). En effet, les résultats de ces études ont rapporté que les sujets trouvaient ce feedback comme le meilleur moyen de diminuer leur temps de sédentarité, comme l'atteste le fort taux de connexion quotidienne sur le site web, rapportant les données de pratique (71.3%) (Carr *et al.*, 2013). Malgré le caractère subjectif du remplissage de données, nous pouvons supposer que le fait de noter les caractéristiques associées à la pratique du pédalier sur des relevés quotidiens a pu servir d'outil motivationnel, similairement aux études menées par Lucas J. Carr, pouvant partiellement justifier de l'excellente observance relevée dans notre étude. De façon intéressante, la seconde étude de Carr *et al.* (2013) a ajouté en plus de l'accès au pédalier, l'accès à un site web motivationnel pour favoriser la pratique du pédalier, permettant de trouver du contenu informationnel avec par exemple la phrase « *essayons de pédaler 5*

minutes supplémentaires pendant la pause méridienne » (Carr et al., 2013). L'ajout de cette méthode incitative a permis d'augmenter le temps de pratique du pédalier en comparaison de leur précédente étude (31 vs 23 minutes par jour travaillé). L'ensemble de ces résultats sont prometteurs car ils mettent en avant des stratégies permettant de mettre en mouvement des personnes ayant des comportements (faible activité physique couplée à une forte sédentarité) à fort facteur de risque pour la santé, étant eux-mêmes une population ayant démontré des difficultés d'adhésion à des stratégies d'amélioration des comportements du mouvement dans le milieu professionnel (Genin et al., 2018b). Ainsi, les stratégies de bureaux actifs permettent de respecter la stratégie du « *s'asseoir moins et bouger plus* » mise en avant par Dunstan *et al.* (2021), suggérant des étapes progressives et transitoires pour permettent à terme de réaliser des activités physiques à des durées et intensités plus conséquentes (Figure 20) (Dunstan et al., 2021).

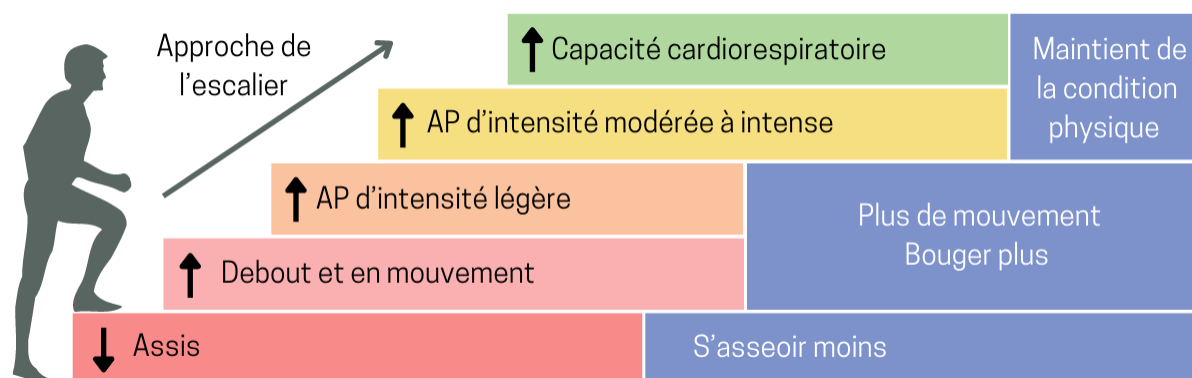


Figure 20 – La stratégie « *s'asseoir moins et bouger plus* »

« *S'asseoir moins et bouger plus* » pourrait être abordée dans une pratique clinique au moyen d'une « approche en escalier ». Cette approche implique des étapes de transition modestes, en commençant par réduire le temps total passé en position assise, en augmentant d'abord le temps en position debout et en déplacement, puis en augmentant en pratiquant des activités physique d'intensité légère. L'augmentation progressive des mouvements en s'asseyant moins et en se déplaçant plus peut constituer une 'base' pour la transition vers des activités physiques de plus grande intensité à long terme. La première étape pourrait être une petite étape, mais gérable, axée sur l'interruption du temps assis au profit d'une activité physique d'intensité légère avant de prendre une plus grande marche en incorporant plus d'intensité légère au cours de la journée.

Issue et traduite de Dunstan *et al.* (2021)

PERSPECTIVES

Au-delà des perspectives mentionnées dans la partie discussion de ce manuscrit de thèse, il nous apparaît cohérent de mettre en avant différents sujets de recherches futures dans le domaine des interventions liées à l'utilisation de pédalier de bureau. Tout d'abord, il serait intéressant de reconduire le protocole REMOVE sur sa durée initiale (6 mois), afin de voir si la prescription imposée pendant 3 mois supplémentaires génère des bénéfices significatifs sur la santé globale des individus et si cette prescription prolongée est respectée. En effet, les participantes avaient connaissance de l'arrêt du protocole après 3 mois d'étude et il serait intéressant d'investiguer leur observance sur une plus longue durée. De plus, il serait pertinent d'avoir une phase de suivi pour observer l'adhésion à long terme des personnes à ce type de stratégie. Ces investigations à posteriori sont particulièrement intéressantes pour connaître les évolutions comportementales des individus. À travers une utilisation libre de pédalier de bureau, les études de Carr *et al.* (2012, 2013) ont rapporté une durée moyenne d'utilisation d'environ 23 et 31 minutes par jour travaillé (Carr et al., 2012, 2013). Qu'en serait-il auprès d'une population ayant suivi une prescription pendant une durée donnée et qui aurait un accès libre à la suite de cette supervision ? Ces mêmes travaux ont mis en avant les effets couplés d'une stratégie incitative/informative et de la mise à disposition d'un pédalier de bureau. Il serait pertinent d'évaluer les différences entre une prescription seule et une prescription accompagnée de conseils et/ou de messages motivationnels pour voir les bénéfices potentiels de stratégies multiples.

Les résultats des travaux de cette thèse sont positifs et prometteurs en raison des améliorations comportementales et physiologiques associées à l'utilisation d'un pédalier de bureau et ouvrent de larges perspectives pour l'utilisation et l'implémentation de ces derniers en prévention primaire. Rappelons que les sujets de notre étude passaient en moyenne durant une journée travaillée entre 7.5 et 11 heures en comportements sédentaires, ce qui correspond au temps moyen recensé chez les Français du même âge. Ainsi, il est nécessaire d'investiguer ce domaine de recherche pour inverser les évolutions comportementales de ces dernières décennies et tendre vers une réduction continue des comportements sédentaires au profit des activités physiques. Afin d'atteindre ces objectifs, il apparaît primordial de mener des recherches permettant à terme de proposer une individualisation de prescription et de

programmation (fréquence, durée et intensité) au regard de l'implémentation de pédalier de bureau au sein d'employés du secteur tertiaire.

CONCLUSION

Pour conclure, les travaux réalisés dans le cadre de ce travail de doctorat ont permis de questionner l'intérêt de l'utilisation de pédaliers de bureau dans l'objectif d'améliorer la santé globale d'individus travaillant dans le secteur tertiaire.

Ainsi, ce travail de doctorat s'est concrétisé par :

- I. La validation scientifique d'un protocole expérimental implémentant l'utilisation d'une stratégie de bureau actif dans l'espace de travail de salariés du secteur tertiaire et permettant l'évaluation des niveaux d'activité physique et de sédentarité, de la composition corporelle, des capacités physiques, des facteurs de risques cardiométaboliques, des adaptations énergétiques, des paramètres psychologiques et ergonomiques liés à l'utilisation des pédaliers de bureau ;
- II. L'exploration de deux profils énergétiques (dépensiers vs économes) et la caractérisation des paramètres métaboliques spécifiques liées à ces profils lors de l'utilisation d'un pédalier de bureau à faible intensité.
- III. La mise en place d'une étude longitudinale permettant d'évaluer chez des femmes salariées du secteur tertiaire en bonne santé l'effet de l'utilisation d'un pédalier de bureau à raison de 60 minutes par jour travaillé durant 12 mois sur la composition corporelle, des marqueurs biologiques, les capacités physiques, ainsi que les niveaux d'activité physique et de sédentarité

À l'heure où les comportements humains et leurs activités associées favorisent la diminution de l'activité physique au profit de la sédentarité, il nous semble que ce travail doctoral a permis d'enrichir la littérature concernant une caractérisation de profils métaboliques liés à une inter-variabilité individuelle du métabolisme énergétique lors d'un exercice de faible intensité sur un pédalier de bureau. De plus, des apports substantiels ont été réalisés concernant les bénéfices liés à l'utilisation d'un pédalier de bureau dans une démarche de prévention primaire, nous permettant d'entrevoir à terme la possibilité de proposer des programmes d'activités physiques individualisés et appropriés auprès de salariés d'entreprises du secteur tertiaire.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Agarwal, S., Steinmaus, C., and Harris-Adamson, C. (2018). Sit-stand workstations and impact on low back discomfort: a systematic review and meta-analysis. *Ergonomics* 61, 538–552. <https://doi.org/10.1080/00140139.2017.1402960>.
- Agosti, V., Graziano, S., Artiaco, L., and Sorrentino, G. (2009). Biological mechanisms of stroke prevention by physical activity in type 2 diabetes. *Acta Neurologica Scandinavica* 119, 213–223. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0404.2008.01080.x>.
- Aguilar-Farias, N., Martino-Fuentealba, P., Salom-Diaz, N., and Brown, W.J. (2019). How many days are enough for measuring weekly activity behaviours with the ActivPAL in adults? *Journal of Science and Medicine in Sport* 22, 684–688. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2018.12.004>.
- Aiello, L.C., and Wheeler, P. (1995). The Expensive-Tissue Hypothesis: The Brain and the Digestive System in Human and Primate Evolution. *Current Anthropology* 36, 199–221. .
- Ainsworth, B.E., Haskell, W.L., Whitt, M.C., Irwin, M.L., Swartz, A.M., Strath, S.J., O'Brien, W.L., Bassett, D.R., Schmitz, K.H., Emplaincourt, P.O., et al. (2000). Compendium of physical activities: an update of activity codes and MET intensities. *Med Sci Sports Exerc* 32, S498-504. <https://doi.org/10.1097/00005768-200009001-00009>.
- Ainsworth, B.E., Haskell, W.L., Herrmann, S.D., Meckes, N., Bassett, D.R., Tudor-Locke, C., Greer, J.L., Vezina, J., Whitt-Glover, M.C., and Leon, A.S. (2011). 2011 Compendium of Physical Activities: a second update of codes and MET values. *Med Sci Sports Exerc* 43, 1575–1581. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31821e312>.
- Aittasalo, M., Livson, M., Lusa, S., Romo, A., Vähä-Ypyä, H., Tokola, K., Sievänen, H., Mänttari, A., and Vasankari, T. (2017). Moving to business – changes in physical activity and sedentary behavior after multilevel intervention in small and medium-size workplaces. *BMC Public Health* 17, 1–14. <https://doi.org/10.1186/s12889-017-4229-4>.
- Akins, J.D., Crawford, C.K., Burton, H.M., Wolfe, A.S., Vardarli, E., and Coyle, E.F. (2019). Inactivity induces resistance to the metabolic benefits following acute exercise. *Journal of Applied Physiology* 126, 1088–1094. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00968.2018>.
- Allison, D.B., Zannolli, R., and Narayan, K.M. (1999). The direct health care costs of obesity in the United States. *Am J Public Health* 89, 1194–1199. <https://doi.org/10.2105/ajph.89.8.1194>.
- Altenburg, T.M., Rotteveel, J., Serné, E.H., and Chinapaw, M.J.M. (2019). Standing is not enough: A randomized crossover study on the acute cardiometabolic effects of variations in sitting in healthy young men. *Journal of Science and Medicine in Sport* 22, 790–796. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2018.12.016>.
- Amagasa, S., Machida, M., Fukushima, N., Kikuchi, H., Takamiya, T., Odagiri, Y., and Inoue, S. (2018). Is objectively measured light-intensity physical activity associated with health outcomes after adjustment for moderate-to-vigorous physical activity in adults? A systematic

review. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity* 15, 65. <https://doi.org/10.1186/s12966-018-0695-z>.

American College of Sports Medicine (1975). Guidelines for graded exercise testing and exercise prescription (Lea & Febiger).

American College of Sports Medicine (1978). American College of Sports Medicine position statement on the recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining fitness in healthy adults. *Med Sci Sports* 10, vii–x.

American College of Sports Medicine (1990). Position stand. The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness in healthy adults. *Med Sci Sports Exerc* 22, 265–274.

American College of Sports Medicine (1998). Position Stand. The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in healthy adults. *Med Sci Sports Exerc* 30, 975–991. <https://doi.org/10.1097/00005768-199806000-00032>.

American College of Sports Medicine (2011). 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* 43, 1334–1359. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318213fefb>.

American College of Sports Medicine, Sawka, M.N., Burke, L.M., Eichner, E.R., Maughan, R.J., Montain, S.J., and Stachenfeld, N.S. (2007). American College of Sports Medicine position stand. Exercise and fluid replacement. *Med Sci Sports Exerc* 39, 377–390. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e31802ca597>.

American Heart Association (1972). Exercise testing and training of apparently healthy individuals: a handbook for physicians (Dallas: American Heart Assoc.).

Anderson, E., and Durstine, J.L. (2019). Physical activity, exercise, and chronic diseases: A brief review. *Sports Medicine and Health Science* 1, 3–10. <https://doi.org/10.1016/j.smhs.2019.08.006>.

Andrieu, G. (1993). L'éducation physique au XXe siècle: une histoire des pratiques (Ed. Actio).

ANSES (2022). Évaluation des risques liés aux niveaux d'activité physique et de sédentarité des adultes de 18 à 64 ans, hors femmes enceintes et ménopausées (Maisons-Alfort).

Aral, S., and Nicolaides, C. (2017). Exercise contagion in a global social network. *Nat Commun* 8, 14753. <https://doi.org/10.1038/ncomms14753>.

Aral, S., Muchnik, L., and Sundararajan, A. (2009). Distinguishing influence-based contagion from homophily-driven diffusion in dynamic networks. *Proc Natl Acad Sci U S A* 106, 21544–21549. <https://doi.org/10.1073/pnas.0908800106>.

- Arem, H., Moore, S.C., Patel, A., Hartge, P., Berrington de Gonzalez, A., Visvanathan, K., Campbell, P.T., Freedman, M., Weiderpass, E., Adami, H.O., et al. (2015). Leisure Time Physical Activity and Mortality: A Detailed Pooled Analysis of the Dose-Response Relationship. *JAMA Internal Medicine* 175, 959–967. <https://doi.org/10.1001/jamainternmed.2015.0533>.
- Arrogi, A., Schotte, A., Bogaerts, A., Boen, F., and Seghers, J. (2017). Short- and long-term effectiveness of a three-month individualized need-supportive physical activity counseling intervention at the workplace. *BMC Public Health* 17, 52. <https://doi.org/10.1186/s12889-016-3965-1>.
- Aune, D., Norat, T., Leitzmann, M., Tonstad, S., and Vatten, L.J. (2015). Physical activity and the risk of type 2 diabetes: a systematic review and dose–response meta-analysis. *Eur J Epidemiol* 30, 529–542. <https://doi.org/10.1007/s10654-015-0056-z>.
- Australian Government Department of Health (2014). Australia’s physical activity and sedentary behaviour guidelines for adults (18–64 years).
- Baker, R., Coenen, P., Howie, E., Williamson, A., and Straker, L. (2018). The Short Term Musculoskeletal and Cognitive Effects of Prolonged Sitting During Office Computer Work. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 15, 1678. <https://doi.org/10.3390/ijerph15081678>.
- Baker, R., Coenen, P., Howie, E., Williamson, A., and Straker, L. (2019). The musculoskeletal and cognitive effects of under-desk cycling compared to sitting for office workers. *Applied Ergonomics* 79, 76–85. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2019.04.011>.
- Barr-Anderson, D.J., AuYoung, M., Whitt-Glover, M.C., Glenn, B.A., and Yancey, A.K. (2011). Integration of Short Bouts of Physical Activity Into Organizational Routine: A Systematic Review of the Literature. *American Journal of Preventive Medicine* 40, 76–93. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2010.09.033>.
- Bauman, A., Curac, N., King, L., Venugopal, K., and Merom, D. (2012). Active, healthy cities – how does population physical activity vary between Australian cities? *Health Promotion Journal of Australia* 23, 201–207. <https://doi.org/10.1071/HE12201>.
- Bauman, A.E., Chau, J.Y., Ding, D., and Bennie, J. (2013). Too Much Sitting and Cardio-Metabolic Risk: An Update of Epidemiological Evidence. *Curr Cardiovasc Risk Rep* 7, 293–298. <https://doi.org/10.1007/s12170-013-0316-y>.
- Beck, D.T., Martin, J.S., Casey, D.P., and Braith, R.W. (2013). Exercise Training Reduces Peripheral Arterial Stiffness and Myocardial Oxygen Demand in Young Prehypertensive Subjects. *American Journal of Hypertension* 26, 1093–1102. <https://doi.org/10.1093/ajh/hpt080>.
- Behrens, G., and Leitzmann, M.F. (2013). The association between physical activity and renal cancer: systematic review and meta-analysis. *Br J Cancer* 108, 798–811. <https://doi.org/10.1038/bjc.2013.37>.

Bel-Serrat, S., Huybrechts, I., Thumann, B.F., Hebestreit, A., Abuja, P.M., de Henauw, S., Dubuisson, C., Heuer, T., Murrin, C.M., Lazzeri, G., et al. (2017). Inventory of surveillance systems assessing dietary, physical activity and sedentary behaviours in Europe: a DEDIPAC study. *European Journal of Public Health* 27, 747–755.

<https://doi.org/10.1093/eurpub/ckx023>.

van der Berg, J.D., Stehouwer, C.D.A., Bosma, H., van der Velde, J.H.P.M., Willems, P.J.B., Savelberg, H.H.C.M., Schram, M.T., Sep, S.J.S., van der Kallen, C.J.H., Henry, R.M.A., et al. (2016). Associations of total amount and patterns of sedentary behaviour with type 2 diabetes and the metabolic syndrome: The Maastricht Study. *Diabetologia* 59, 709–718.

<https://doi.org/10.1007/s00125-015-3861-8>.

Bergouignan, A., Antoun, E., Momken, I., Schoeller, D.A., Gauquelin-Koch, G., Simon, C., and Blanc, S. (2013). Effect of contrasted levels of habitual physical activity on metabolic flexibility. *J Appl Physiol* (1985) 114, 371–379. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00458.2012>.

Bergouignan, A., Latouche, C., Heywood, S., Grace, M.S., Reddy-Luthmoodoo, M., Natoli, A.K., Owen, N., Dunstan, D.W., and Kingwell, B.A. (2016a). Frequent interruptions of sedentary time modulates contraction- and insulin-stimulated glucose uptake pathways in muscle: Ancillary analysis from randomized clinical trials. *Sci Rep* 6, 32044. <https://doi.org/10.1038/srep32044>.

Bergouignan, A., Legget, K.T., De Jong, N., Kealey, E., Nikolovski, J., Groppe, J.L., Jordan, C., O’Day, R., Hill, J.O., and Bessesen, D.H. (2016b). Effect of frequent interruptions of prolonged sitting on self-perceived levels of energy, mood, food cravings and cognitive function. *Int J Behav Nutr Phys Act* 13, 1–12. <https://doi.org/10.1186/s12966-016-0437-z>.

Bijnen, F.C.H., Caspersen, C.J., and Mosterd, W.L. (1994). La sédentarité, facteur de risque de coronaropathie : exposé de l’OMS et de la Société et fédération internationale de cardiologie. *Bulletin de l’Organisation Mondiale de La Santé* 1994 ; 72(2) : 195-198.

Biller, V.S., Leitzmann, M.F., Sedlmeier, A.M., Berger, F.F., Ortmann, O., and Jochem, C. (2021). Sedentary behaviour in relation to ovarian cancer risk: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Epidemiol* 36, 769–780. <https://doi.org/10.1007/s10654-020-00712-6>.

Binford, L.R. (1980). Willow Smoke and Dogs’ Tails: Hunter-Gatherer Settlement Systems and Archaeological Site Formation. *American Antiquity* 45, 4–20. <https://doi.org/10.2307/279653>.

Birnbaum, H.G., Kessler, R.C., Kelley, D., Ben-Hamadi, R., Joish, V.N., and Greenberg, P.E. (2010). Employer burden of mild, moderate, and severe major depressive disorder: mental health services utilization and costs, and work performance. *Depression and Anxiety* 27, 78–89. <https://doi.org/10.1002/da.20580>.

Biswas, A., Oh, P.I., Faulkner, G.E., Bajaj, R.R., Silver, M.A., Mitchell, M.S., and Alter, D.A. (2015). Sedentary time and its association with risk for disease incidence, mortality, and hospitalization in adults: a systematic review and meta-analysis. *Ann. Intern. Med.* 162, 123–132. <https://doi.org/10.7326/M14-1651>.

Bize, R., Johnson, J.A., and Plotnikoff, R.C. (2007). Physical activity level and health-related quality of life in the general adult population: A systematic review. *Preventive Medicine* 45, 401–415. <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2007.07.017>.

Blackburn, N.E., Wilson, J.J., McMullan, I.I., Caserotti, P., Giné-Garriga, M., Wirth, K., Coll-Planas, L., Alias, S.B., Roqué, M., Deidda, M., et al. (2020). The effectiveness and complexity of interventions targeting sedentary behaviour across the lifespan: a systematic review and meta-analysis. *Int J Behav Nutr Phys Act* 17, 53. <https://doi.org/10.1186/s12966-020-00957-0>.

Blair, S.N., Davey Smith, G., Lee, I.-M., Fox, K., Hillsdon, M., McKeown, R.E., Haskell, W.L., and Marmot, M. (2010). A Tribute to Professor Jeremiah Morris: The Man Who Invented the Field of Physical Activity Epidemiology. *Annals of Epidemiology* 20, 651–660. <https://doi.org/10.1016/j.annepidem.2010.06.001>.

Blundell, J., Graaf, C.D., Hulshof, T., Jebb, S., Livingstone, B., Lluch, A., Mela, D., Salah, S., Schuring, E., Knaap, H.V.D., et al. (2010). Appetite control: methodological aspects of the evaluation of foods. *Obesity Reviews* 11, 251–270. <https://doi.org/10.1111/j.1467-789X.2010.00714.x>.

Bodker, A., Visotcky, A., Gutterman, D., Widlansky, M.E., and Kulinski, J. (2021). The impact of standing desks on cardiometabolic and vascular health. *Vasc Med* 26, 374–382. <https://doi.org/10.1177/1358863X211001934>.

Booth, F.W., Gordon, S.E., Carlson, C.J., and Hamilton, M.T. (2000). Waging war on modern chronic diseases: primary prevention through exercise biology. *Journal of Applied Physiology* 88, 774–787. <https://doi.org/10.1152/jappl.2000.88.2.774>.

Booth, F.W., Roberts, C.K., and Laye, M.J. (2012). Lack of exercise is a major cause of chronic diseases. *Compr Physiol* 2, 1143–1211. <https://doi.org/10.1002/cphy.c110025>.

Botter, J., Ellegast, R.P., Burford, E.-M., Weber, B., Könemann, R., and Commissaris, D.A.C.M. (2016). Comparison of the postural and physiological effects of two dynamic workstations to conventional sitting and standing workstations. *Ergonomics* 59, 449–463. <https://doi.org/10.1080/00140139.2015.1080861>.

Bouchard, D.R., Strachan, S., Johnson, L., Moola, F., Chitkara, R., McMillan, D., Myrie, S., and Giesbrecht, G. (2016). Using Shared Treadmill Workstations to Promote Less Time Spent in Daily Low Intensity Physical Activities: A Pilot Study. *Journal of Physical Activity and Health* 13, 111–118. <https://doi.org/10.1123/jpah.2014-0451>.

Bowles, S. (2011). Cultivation of cereals by the first farmers was not more productive than foraging. *PNAS* 108, 4760–4765. <https://doi.org/10.1073/pnas.1010733108>.

Broutet, G. de (1813). *La science de la santé, soit pour le moral, soit pour le physique, ou hygiène encyclopédique*. (Avignon), p. 67.

Brown, W.J., and Jones, P.R. (1977). The distribution of body fat in relation to habitual activity. *Ann Hum Biol* 4, 537–550. <https://doi.org/10.1080/03014467700002531>.

Browning, R.C., Baker, E.A., Herron, J.A., and Kram, R. (2006). Effects of obesity and sex on the energetic cost and preferred speed of walking. *J Appl Physiol* (1985) *100*, 390–398. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00767.2005>.

Buckley, J.P., Mellor, D.D., Morris, M., and Joseph, F. (2014). Standing-based office work shows encouraging signs of attenuating post-prandial glycaemic excursion. *Occup Environ Med* *71*, 109–111. <https://doi.org/10.1136/oemed-2013-101823>.

Bull, F., Armstrong, T.P., Dixon, T., Ham, S., Neiman, A., and Pratt, M. (2004). Physical Inactivity. In *Comparative Quantification of Health Risks. Global & Regional Burden of Disease Attributable to Selected Major Risk*, (World Health Organization), pp. 729–882.

Bull, F.C., Al-Ansari, S.S., Biddle, S., Borodulin, K., Buman, M.P., Cardon, G., Carty, C., Chaput, J.-P., Chastin, S., Chou, R., et al. (2020). World Health Organization 2020 guidelines on physical activity and sedentary behaviour. *Br J Sports Med* *54*, 1451–1462. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2020-102955>.

Buomprisco, G., Ricci, S., Perri, R., and Sio, S.D. (2021). Health and Telework: New Challenges after COVID-19 Pandemic. *EUROPEAN J ENV PUBLI* *5*, em0073. <https://doi.org/10.21601/ejeph/9705>.

Caban, A.J., Lee, D.J., Fleming, L.E., Gómez-Marín, O., LeBlanc, W., and Pitman, T. (2005). Obesity in US Workers: The National Health Interview Survey, 1986 to 2002. *Am J Public Health* *95*, 1614–1622. <https://doi.org/10.2105/AJPH.2004.050112>.

Cagnie, B., Danneels, L., Van Tiggelen, D., De Loose, V., and Cambier, D. (2007). Individual and work related risk factors for neck pain among office workers: a cross sectional study. *Eur Spine J* *16*, 679–686. <https://doi.org/10.1007/s00586-006-0269-7>.

Campbell, S.D.I., Brosnan, B.J., Chu, A.K.Y., Skeaff, C.M., Rehrer, N.J., Perry, T.L., and Peddie, M.C. (2018). Sedentary Behavior and Body Weight and Composition in Adults: A Systematic Review and Meta-analysis of Prospective Studies. *Sports Med* *48*, 585–595. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0828-6>.

Cancelliere, C., Cassidy, J.D., Ammendolia, C., and Côté, P. (2011). Are workplace health promotion programs effective at improving presenteeism in workers? a systematic review and best evidence synthesis of the literature. *BMC Public Health* *11*, 1–11. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-11-395>.

Canguilhem, G. (1991). *Le normal et le pathologique*. PUF.

Cao, C., Liu, Y., Zhu, W., and Ma, J. (2016). Effect of Active Workstation on Energy Expenditure and Job Performance: A Systematic Review and Meta-analysis. *Journal of Physical Activity and Health* *13*, 562–571. <https://doi.org/10.1123/jpah.2014-0565>.

Cappelleri, J.C., Bushmakin, A.G., Gerber, R.A., Leidy, N.K., Sexton, C.C., Lowe, M.R., and Karlsson, J. (2009). Psychometric analysis of the Three-Factor Eating Questionnaire-R21: results from a large diverse sample of obese and non-obese participants. *International Journal of Obesity* *33*, 611–620. <https://doi.org/10.1038/ijo.2009.74>.

Carr, L.J., Walaska, K.A., and Marcus, B.H. (2012). Feasibility of a portable pedal exercise machine for reducing sedentary time in the workplace. *Br J Sports Med* 46, 430–435. <https://doi.org/10.1136/bjism.2010.079574>.

Carr, L.J., Karvinen, K., Peavler, M., Smith, R., and Cangelosi, K. (2013). Multicomponent intervention to reduce daily sedentary time: a randomised controlled trial. *BMJ Open* 3, e003261. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2013-003261>.

Casanova, N., Beaulieu, K., Finlayson, G., and Hopkins, M. (2019). Metabolic adaptations during negative energy balance and their potential impact on appetite and food intake. *Proceedings of the Nutrition Society* 78, 279–289. <https://doi.org/10.1017/S0029665118002811>.

Caspersen, C.J., Powell, K.E., and Christenson, G.M. (1985). Physical activity, exercise, and physical fitness: definitions and distinctions for health-related research. *Public Health Rep* 100, 126–131. .

Celis-Morales, C.A., Perez-Bravo, F., Ibañez, L., Salas, C., Bailey, M.E.S., and Gill, J.M.R. (2012). Objective vs. Self-Reported Physical Activity and Sedentary Time: Effects of Measurement Method on Relationships with Risk Biomarkers. *PLOS ONE* 7, e36345. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0036345>.

Chambers, A.J., Robertson, M.M., and Baker, N.A. (2019). The effect of sit-stand desks on office worker behavioral and health outcomes: A scoping review. *Applied Ergonomics* 78, 37–53. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2019.01.015>.

Champion, R.B., Smith, L.R., Smith, J., Hirlav, B., Maylor, B.D., White, S.L., and Bailey, D.P. (2018). Reducing prolonged sedentary time using a treadmill desk acutely improves cardiometabolic risk markers in male and female adults. *Journal of Sports Sciences* 36, 2484–2491. <https://doi.org/10.1080/02640414.2018.1464744>.

Chandrasekaran, B., Pesola, A.J., Rao, C.R., and Arumugam, A. (2021). Does breaking up prolonged sitting improve cognitive functions in sedentary adults? A mapping review and hypothesis formulation on the potential physiological mechanisms. *BMC Musculoskeletal Disorders* 22, 274. <https://doi.org/10.1186/s12891-021-04136-5>.

Chastin, S.F.M., Egerton, T., Leask, C., and Stamatakis, E. (2015). Meta-analysis of the relationship between breaks in sedentary behavior and cardiometabolic health. *Obesity* 23, 1800–1810. <https://doi.org/10.1002/oby.21180>.

Chastin, S.F.M., Craemer, M.D., Cocker, K.D., Powell, L., Cauwenberg, J.V., Dall, P., Hamer, M., and Stamatakis, E. (2019). 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* 53, 370–376. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2017-097563>.

Chastin, S.F.M., McGregor, D.E., Biddle, S.J.H., Cardon, G., Chaput, J.-P., Dall, P.M., Dempsey, P.C., DiPietro, L., Ekelund, U., Katzmarzyk, P.T., et al. (2021). Striking the Right Balance:

Evidence to Inform Combined Physical Activity and Sedentary Behavior Recommendations. *J Phys Act Health* 18, 631–637. <https://doi.org/10.1123/jpah.2020-0635>.

Chatterjee, S., Chatterjee, P., Mukherjee, P.S., and Bandyopadhyay, A. (2004). Validity of Queen's College step test for use with young Indian men. *British Journal of Sports Medicine* 38, 289–291. <https://doi.org/10.1136/bjism.2002.002212>.

Chau, J.Y., Grunseit, A.C., Chey, T., Stamatakis, E., Brown, W.J., Matthews, C.E., Bauman, A.E., and Ploeg, H.P. van der (2013). Daily Sitting Time and All-Cause Mortality: A Meta-Analysis. *PLOS ONE* 8, e80000. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0080000>.

Chauveau, P., Fouque, D., Combe, C., and Aparicio, M. (2013). Évolution de l'alimentation du paléolithique à nos jours : progression ou régression ? *Néphrologie & Thérapeutique* 9, 202–208. <https://doi.org/10.1016/j.nephro.2013.03.011>.

Chia, M., Chen, B., and Suppiah, H.T. (2015). Office sitting made less sedentary: A future-forward approach to reducing physical inactivity at work.

Choi, B., Schnall, P.L., Yang, H., Dobson, M., Landsbergis, P., Israel, L., Karasek, R., and Baker, D. (2010). Sedentary work, low physical job demand, and obesity in US workers. *Am. J. Ind. Med.* 53, 1088–1101. <https://doi.org/10.1002/ajim.20886>.

Choi, L., Ward, S.C., Schnelle, J.F., and Buchowski, M.S. (2012). Assessment of wear/nonwear time classification algorithms for triaxial accelerometer. *Med Sci Sports Exerc* 44, 2009–2016. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318258cb36>.

Christmas, B.C.R., Taylor, L., Cherif, A., Sayegh, S., and Bailey, D.P. (2019). Breaking up prolonged sitting with moderate-intensity walking improves attention and executive function in Qatari females. *PLOS ONE* 14, e0219565. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219565>.

Church, T.S., Thomas, D.M., Tudor-Locke, C., Katzmarzyk, P.T., Earnest, C.P., Rodarte, R.Q., Martin, C.K., Blair, S.N., and Bouchard, C. (2011). Trends over 5 decades in U.S. occupation-related physical activity and their associations with obesity. *PLoS ONE* 6, e19657. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0019657>.

Clay, D. (1998). *Paradosis and Survival: Three Chapters in the History of Epicurean Philosophy* (University of Michigan Press).

Clemes, S.A., O'Connell, S.E., and Edwardson, C.L. (2014). Office workers' objectively measured sedentary behavior and physical activity during and outside working hours. *J Occup Environ Med* 56, 298–303. <https://doi.org/10.1097/JOM.000000000000101>.

Cockcroft, A., Gooch, C., Ellinghouse, C., Johnston, M., and Michie, S. (1994). Evaluation of a programme of health measurements and advice among hospital staff. *Occupational Medicine* 44, 70–76. <https://doi.org/10.1093/occmed/44.2.70>.

Colditz, G.A. (1992). Economic costs of obesity. *Am J Clin Nutr* 55, 503S-507S. <https://doi.org/10.1093/ajcn/55.2.503s>.

Collière, M.F. (1982). *De la pratique des femmes soignantes aux soins infirmiers* (Paris: Inter Éditions).

Commissaris, D.A., Huysmans, M.A., Mathiassen, S.E., Srinivasan, D., Koppes, L.L., and Hendriksen, I.J. (2016). Interventions to reduce sedentary behavior and increase physical activity during productive work: a systematic review. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health* 42, 181–191. .

Compher, C., Frankenfield, D., Keim, N., and Roth-Yousey, L. (2006). Best Practice Methods to Apply to Measurement of Resting Metabolic Rate in Adults: A Systematic Review. *Journal of the American Dietetic Association* 106, 881–903. <https://doi.org/10.1016/j.jada.2006.02.009>.

Contenau, G. (1938). *La médecine en Assyrie et en Babylonie. La Médecine à Travers Le Temps et l'espace*.

Cordain, L., Gotshall, R.W., and Eaton, S.B. (1998). Physical Activity, Energy Expenditure and Fitness: An Evolutionary Perspective. *Int J Sports Med* 19, 328–335. <https://doi.org/10.1055/s-2007-971926>.

Cox, R.H., Guth, J., Siekemeyer, L., Kellems, B., Brehm, S.B., and Ohlinger, C.M. (2011). Metabolic Cost and Speech Quality While Using an Active Workstation. *Journal of Physical Activity and Health* 8, 332–339. <https://doi.org/10.1123/jpah.8.3.332>.

Craig, C.L., Russell, S.J., and Cameron, C. (2002). Reliability and validity of Canada's Physical Activity Monitor for assessing trends. *Med Sci Sports Exerc* 34, 1462–1467. <https://doi.org/10.1097/00005768-200209000-00010>.

Crespo, N.C., Mullane, S.L., Zeigler, Z.S., Buman, M.P., and Gaesser, G.A. (2016). Effects of Standing and Light-Intensity Walking and Cycling on 24-h Glucose. *Med Sci Sports Exerc* 48, 2503–2511. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001062>.

Cureton, T.K. (1947). *Physical fitness workbook: a manual of conditioning exercises and standards, tests and rating scales for evaluating physical fitness* (St. Louis: C.V. Mosby).

Curran, J. (2008). The Yellow Emperor's Classic of Internal Medicine. *BMJ* 336, 777. <https://doi.org/10.1136/bmj.39527.472303.4E>.

Dally, N. (1857). *Cinésiologie, ou Science du mouvement dans ses rapports avec l'éducation, l'hygiène et la thérapie, études historiques, théoriques et pratiques*. (Paris: Librairie Centrale des Sciences), p. 214.

Davis, K.G., and Kotowski, S.E. (2014). Postural Variability: An Effective Way to Reduce Musculoskeletal Discomfort in Office Work. *Hum Factors* 56, 1249–1261. <https://doi.org/10.1177/0018720814528003>.

Dempsey, P.C., Larsen, R.N., Dunstan, D.W., Owen, N., and Kingwell, B.A. (2018). Sitting Less and Moving More. *Hypertension* 72, 1037–1046. <https://doi.org/10.1161/HYPERTENSIONAHA.118.11190>.

Dempsey, P.C., Matthews, C.E., Dashti, S.G., Doherty, A.R., Bergouignan, A., Roekel, E.H. van, Dunstan, D.W., Wareham, N.J., Yates, T.E., Wijndaele, K., et al. (2020). Sedentary Behavior and Chronic Disease: Mechanisms and Future Directions. *Journal of Physical Activity and Health* 17, 52–61. <https://doi.org/10.1123/jpah.2019-0377>.

Descatha, A., Roquelaure, Y., Chastang, J.-F., Evanoff, B., Melchior, M., Mariot, C., Ha, C., Imbernon, E., Goldberg, M., and Leclerc, A. (2007). Validity of Nordic-style questionnaires in the surveillance of upper-limb work-related musculoskeletal disorders. *Scand J Work Environ Health* 33, 58–65. .

Després, J.P., and Lamarche, B. (1994). Low-intensity endurance exercise training, plasma lipoproteins and the risk of coronary heart disease. *J Intern Med* 236, 7–22. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2796.1994.tb01114.x>.

Detrembleur, C., Dierick, F., Stoquart, G., Chantraine, F., and Lejeune, T. (2003). Energy cost, mechanical work, and efficiency of hemiparetic walking. *Gait & Posture* 18, 47–55. [https://doi.org/10.1016/S0966-6362\(02\)00193-5](https://doi.org/10.1016/S0966-6362(02)00193-5).

Diaz, K.M., Howard, V.J., Hutto, B., Colabianchi, N., Vena, J.E., Safford, M.M., Blair, S.N., and Hooker, S.P. (2017a). Patterns of Sedentary Behavior and Mortality in U.S. Middle-Aged and Older Adults. *Ann Intern Med* 167, 465–475. <https://doi.org/10.7326/M17-0212>.

Diaz, K.M., Goldsmith, J., Greenlee, H., Strizich, G., Qi, Q., Mossavar-Rahmani, Y., Vidot, D.C., Buelna, C., Brintz, C.E., Elfassy, T., et al. (2017b). Prolonged, Uninterrupted Sedentary Behavior and Glycemic Biomarkers Among US Hispanic/Latino Adults: The HCHS/SOL (Hispanic Community Health Study/Study of Latinos). *Circulation* 136, 1362–1373. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.116.026858>.

Dill, D.B. (1936). The economy of muscular exercise. *Physiological Reviews* 16, 263–291. <https://doi.org/10.1152/physrev.1936.16.2.263>.

Ding, D., Lawson, K.D., Kolbe-Alexander, T.L., Finkelstein, E.A., Katzmarzyk, P.T., van Mechelen, W., and Pratt, M. (2016). The economic burden of physical inactivity: a global analysis of major non-communicable diseases. *The Lancet* 388, 1311–1324. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(16\)30383-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(16)30383-X).

Dingel, J.I., and Neiman, B. (2020). How many jobs can be done at home? *Journal of Public Economics* 189, 104235. <https://doi.org/10.1016/j.jpubeco.2020.104235>.

van Dongen, J.M., Proper, K.I., van Wier, M.F., van der Beek, A.J., Bongers, P.M., van Mechelen, W., and van Tulder, M.W. (2011). Systematic review on the financial return of worksite health promotion programmes aimed at improving nutrition and/or increasing physical activity. *Obesity Reviews* 12, 1031–1049. <https://doi.org/10.1111/j.1467-789X.2011.00925.x>.

Dulloo, A.G., Jacquet, J., Montani, J.-P., and Schutz, Y. (2012). Adaptive thermogenesis in human body weight regulation: more of a concept than a measurable entity? *Obesity Reviews* 13, 105–121. <https://doi.org/10.1111/j.1467-789X.2012.01041.x>.

Dunstan, D.W., Salmon, J., Owen, N., Armstrong, T., Zimmet, P.Z., Welborn, T.A., Cameron, A.J., Dwyer, T., Jolley, D., Shaw, J.E., et al. (2004). Physical Activity and Television Viewing in Relation to Risk of Undiagnosed Abnormal Glucose Metabolism in Adults. *Diabetes Care* 27, 2603–2609. <https://doi.org/10.2337/diacare.27.11.2603>.

Dunstan, D.W., Dogra, S., Carter, S.E., and Owen, N. (2021). Sit less and move more for cardiovascular health: emerging insights and opportunities. *Nat Rev Cardiol* 18, 637–648. <https://doi.org/10.1038/s41569-021-00547-y>.

Dupont, F., Léger, P.-M., Begon, M., Lecot, F., Sénécal, S., Labonté-Lemoyne, E., and Mathieu, M.-E. (2019). Health and productivity at work: which active workstation for which benefits: a systematic review. *Occup Environ Med* 76, 281–294. <https://doi.org/10.1136/oemed-2018-105397>.

Durand, G., Duplantie, A., Laroche, Y., and Laudy, D. (2018a). Le Moyen Âge (du Ve au XVe siècle). In *Histoire de l'éthique médicale et infirmière : Contexte socioculturel et scientifique*, (Montréal: Presses de l'Université de Montréal), pp. 59–99.

Durand, G., Duplantie, A., Laroche, Y., and Laudy, D. (2018b). Le début des Temps modernes (XVIIe et XVIIIe siècles). In *Histoire de l'éthique Médicale et Infirmière : Contexte Socioculturel et Scientifique*, (Montréal: Presses de l'Université de Montréal), pp. 137–179.

Dutheil, F., Boudet, G., Perrier, C., Lac, G., Ouchchane, L., Chamoux, A., Duclos, M., and Schmidt, J. (2012). JOBSTRESS study: Comparison of heart rate variability in emergency physicians working a 24-hour shift or a 14-hour night shift — A randomized trial. *International Journal of Cardiology* 158, 322–325. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2012.04.141>.

Dutta, N., Koeppe, G.A., Stovitz, S.D., Levine, J.A., and Pereira, M.A. (2014). Using Sit-Stand Workstations to Decrease Sedentary Time in Office Workers: A Randomized Crossover Trial. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 11, 6653–6665. <https://doi.org/10.3390/ijerph110706653>.

Ekelund, U., Steene-Johannessen, J., Brown, W.J., Fagerland, M.W., Owen, N., Powell, K.E., Bauman, A., and Lee, I.-M. (2016). 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. *The Lancet* 388, 1302–1310. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(16\)30370-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(16)30370-1).

Ekelund, U., Tarp, J., Steene-Johannessen, J., Hansen, B.H., Jefferis, B., Fagerland, M.W., Whincup, P., Diaz, K.M., Hooker, S.P., Chernofsky, A., et al. (2019a). Dose-response associations between accelerometry measured physical activity and sedentary time and all cause mortality: systematic review and harmonised meta-analysis. *BMJ* 366. <https://doi.org/10.1136/bmj.l4570>.

Ekelund, U., Brown, W.J., Steene-Johannessen, J., Fagerland, M.W., Owen, N., Powell, K.E., Bauman, A.E., and Lee, I.-M. (2019b). Do the associations of sedentary behaviour with cardiovascular disease mortality and cancer mortality differ by physical activity level? A systematic review and harmonised meta-analysis of data from 850 060 participants. *Br J Sports Med* 53, 886–894. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2017-098963>.

Ekman, P., Davidson, R.J., Ricard, M., and Alan Wallace, B. (2005). Buddhist and Psychological Perspectives on Emotions and Well-Being. *Curr Dir Psychol Sci* 14, 59–63. <https://doi.org/10.1111/j.0963-7214.2005.00335.x>.

El-Kotob, R., Ponzano, M., Chaput, J.-P., Janssen, I., Kho, M.E., Poitras, V.J., Ross, R., Ross-White, A., Saunders, T.J., and Giangregorio, L.M. (2020). Resistance training and health in adults: an overview of systematic reviews. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 45, S165–S179. <https://doi.org/10.1139/apnm-2020-0245>.

Elmer, S.J., and Martin, J.C. (2014). A cycling workstation to facilitate physical activity in office settings. *Applied Ergonomics* 45, 1240–1246. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2014.03.001>.

Enquête Esteban (2017). Etude de santé sur l'environnement, la biosurveillance, l'activité physique et la nutrition (Esteban). Santé Publique France.

Ensari, I., Greenlee, T.A., Motl, R.W., and Petruzzello, S.J. (2015). Meta-Analysis of Acute Exercise Effects on State Anxiety: An Update of Randomized Controlled Trials Over the Past 25 Years. *Depression and Anxiety* 32, 624–634. <https://doi.org/10.1002/da.22370>.

Epicurus, L.P., Gerson, B., and Inwood (1994). *The Epicurus Reader Selected Writings and Testimonia*.

Etnier, J.L., Nowell, P.M., Landers, D.M., and Sibley, B.A. (2006). A meta-regression to examine the relationship between aerobic fitness and cognitive performance. *Brain Research Reviews* 52, 119–130. <https://doi.org/10.1016/j.brainresrev.2006.01.002>.

Étude Nationale Nutrition Santé (2007). Situation nutritionnelle en France en 2006 selon les indicateurs d'objectif et les repères du Programme national nutrition santé (PNNS). Unité de Surveillance et d'épidémiologie Nutritionnelle, Institut de Veille Sanitaire, Université de Paris 13, Conservatoire National Des Arts et Métiers 74. .

Evenson, K.R., Herring, A.H., and Wen, F. (2017). Accelerometry-Assessed Latent Class Patterns of Physical Activity and Sedentary Behavior With Mortality. *American Journal of Preventive Medicine* 52, 135–143. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2016.10.033>.

Eyméoud, J.-B., Petrosky-Nadeau, N., Santaaulalia-Llopis, R., and Wasmer, E. (2021). Labor Dynamics and Actual Telework Use during Covid-19: Skills, Occupations and Industries (Barcelona Graduate School of Economics).

Fang, Y.-Y., Huang, C.-Y., and Hsu, M.-C. (2019). Effectiveness of a physical activity program on weight, physical fitness, occupational stress, job satisfaction and quality of life of overweight employees in high-tech industries: a randomized controlled study. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics* 25, 621–629. <https://doi.org/10.1080/10803548.2018.1438839>.

Farinatti, P., Monteiro, W., Oliveira, R., and Crisafulli, A. (2018). Cardiorespiratory responses and myocardial function within incremental exercise in healthy unmedicated older vs. young men and women. *Aging Clin Exp Res* 30, 341–349. <https://doi.org/10.1007/s40520-017-0776-x>.

Fedorowich, L.M., Emery, K., and Côté, J.N. (2015). The effect of walking while typing on neck/shoulder patterns. *Eur J Appl Physiol* 115, 1813–1823. <https://doi.org/10.1007/s00421-015-3163-3>.

Fernandes, J., Arida, R.M., and Gomez-Pinilla, F. (2017). Physical exercise as an epigenetic modulator of brain plasticity and cognition. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews* 80, 443–456. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2017.06.012>.

Finkelstein, E.A., DiBonaventura, M. daCosta, Burgess, S.M., and Hale, B.C. (2010). The costs of obesity in the workplace. *J Occup Environ Med* 52, 971–976. <https://doi.org/10.1097/JOM.0b013e3181f274d2>.

Fishman, E.I., Steeves, J.A., Zipunnikov, V., Koster, A., Berrigan, D., Harris, T.A., and Murphy, R. (2016). Association between Objectively Measured Physical Activity and Mortality in NHANES. *Med Sci Sports Exerc* 48, 1303–1311. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000885>.

Folinsbee, L.J., Wallace, E.S., Bedi, J.F., and Horvath, S.M. (1983). Exercise respiratory pattern in elite cyclists and sedentary subjects. *Med Sci Sports Exerc* 15, 503–509. .

Fournier, M., d'Arripe-Longueville, F., and Radel, R. (2017). Testing the effect of text messaging cues to promote physical activity habits: a worksite-based exploratory intervention. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 27, 1157–1165. <https://doi.org/10.1111/sms.12730>.

Freak-Poli, R.L., Cumpston, M., Albarqouni, L., Clemes, S.A., and Peeters, A. (2020). Workplace pedometer interventions for increasing physical activity. *Cochrane Database of Systematic Reviews* <https://doi.org/10.1002/14651858.CD009209.pub3>.

Frodsham, K.M., Randall, N.R., Carbine, K.A., Rodeback, R.E., LeCheminant, J.D., and Larson, M.J. (2020). Does type of active workstation matter? A randomized comparison of cognitive and typing performance between rest, cycling, and treadmill active workstations. *PLOS ONE* 15, e0237348. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0237348>.

Fukushima, N., Machida, M., Kikuchi, H., Amagasa, S., Hayashi, T., Odagiri, Y., Takamiya, T., and Inoue, S. (2021). Associations of working from home with occupational physical activity and sedentary behavior under the COVID-19 pandemic. *Journal of Occupational Health* 63. <https://doi.org/10.1002/1348-9585.12212>.

Füzéki, E., Engeroff, T., and Banzer, W. (2017). Health Benefits of Light-Intensity Physical Activity: A Systematic Review of Accelerometer Data of the National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES). *Sports Med* 47, 1769–1793. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0724-0>.

Gaffiot, F. (1934). *Dictionnaire illustré Latin-Français*. (Paris: Hachette), p. 1414.

Gardner, B., Smith, L., Lorencatto, F., Hamer, M., and Biddle, S.J. (2016). How to reduce sitting time? A review of behaviour change strategies used in sedentary behaviour reduction

interventions among adults. *Health Psychology Review* 10, 89–112.
<https://doi.org/10.1080/17437199.2015.1082146>.

Genin, P., Beaujouan, J., Thivel, D., and Duclos, M. (2019). Is workplace an appropriate setting for the promotion of physical activity? A new framework for worksite interventions among employees. *Work* 62, 421–426. <https://doi.org/10.3233/WOR-192873>.

Genin, P.M., Degoutte, F., Finaud, J., Pereira, B., Thivel, D., and Duclos, M. (2017). Effect of a 5-Month Worksite Physical Activity Program on Tertiary Employees Overall Health and Fitness. *Journal of Occupational and Environmental Medicine* 59, e3.
<https://doi.org/10.1097/JOM.0000000000000945>.

Genin, P.M., Dessenne, P., Finaud, J., Pereira, B., Thivel, D., and Duclos, M. (2018a). Health and Fitness Benefits But Low Adherence Rate: Effect of a 10-Month Onsite Physical Activity Program Among Tertiary Employees. *Journal of Occupational and Environmental Medicine* 60, e455. <https://doi.org/10.1097/JOM.0000000000001394>.

Genin, P.M., Pereira, B., Thivel, D., and Duclos, M. (2018b). Employees' adherence to worksite physical activity programs: Profiles of compliers versus non-compliers. *Work* 60, 507–510. <https://doi.org/10.3233/WOR-182745>.

Gerr, F., Marcus, M., Ensor, C., Kleinbaum, D., Cohen, S., Edwards, A., Gentry, E., Ortiz, D.J., and Monteilh, C. (2002). A prospective study of computer users: I. Study design and incidence of musculoskeletal symptoms and disorders. *American Journal of Industrial Medicine* 41, 221–235. <https://doi.org/10.1002/ajim.10066>.

Gettman, L.R., Ward, P., and Hagan, R.D. (1982). A comparison of combined running and weight training with circuit weight training. *Med Sci Sports Exerc* 14, 229–234. .

Gilson, N.D., Hall, C., Renton, A., Ng, N., and Hippel, W. von (2017). Do Sitting, Standing, or Treadmill Desks Impact Psychobiological Indicators of Work Productivity? *Journal of Physical Activity and Health* 14, 793–796. <https://doi.org/10.1123/jpah.2016-0712>.

Glanz, K., Rimer, B.K., and Viswanath, K. (2015). *Health Behavior: Theory, Research, and Practice* (John Wiley & Sons).

Glazer, N.L., Lyass, A., Esliger, D.W., Blease, S.J., Freedson, P.S., Massaro, J.M., Murabito, J.M., and Vasan, R.S. (2013). Sustained and Shorter Bouts of Physical Activity are Related to Cardiovascular Health. *Med Sci Sports Exerc* 45, 109–115.
<https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31826beae5>.

Golubic, R., May, A.M., Benjaminsen Borch, K., Overvad, K., Charles, M.-A., Diaz, M.J.T., Amiano, P., Palli, D., Valanou, E., Vigl, M., et al. (2014). Validity of electronically administered Recent Physical Activity Questionnaire (RPAQ) in ten European countries. *PLoS ONE* 9, e92829. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0092829>.

Goodman, R.A., Posner, S.F., Huang, E.S., Parekh, A.K., and Koh, H.K. (2013). Defining and Measuring Chronic Conditions: Imperatives for Research, Policy, Program, and Practice. *Prev Chronic Dis* 10, E66. <https://doi.org/10.5888/pcd10.120239>.

- Gordon, D.J., Witztum, J.L., Hunninghake, D., Gates, S., and Glueck, C.J. (1983). Habitual physical activity and high-density lipoprotein cholesterol in men with primary hypercholesterolemia. The Lipid Research Clinics Coronary Primary Prevention Trial. *Circulation* 67, 512–520. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.67.3.512>.
- Gourmelen, J., Chastang, J.-F., Ozguler, A., Lanoë, J.-L., Ravaud, J.-F., and Leclerc, A. (2007). Frequency of low back pain among men and women aged 30 to 64 years in France. Results of two national surveys. *Annales de Réadaptation et de Médecine Physique* 50, 640–644. <https://doi.org/10.1016/j.annrmp.2007.05.009>.
- Grant, B.F., Stinson, F.S., Dawson, D.A., Chou, S.P., Dufour, M.C., Compton, W., Pickering, R.P., and Kaplan, K. (2004). Prevalence and Co-occurrence of Substance Use Disorders and Independent Mood and Anxiety Disorders: Results From the National Epidemiologic Survey on Alcohol and Related Conditions. *Archives of General Psychiatry* 61, 807–816. <https://doi.org/10.1001/archpsyc.61.8.807>.
- Green, K.L. (1988). Issues of Control and Responsibility in Workers' Health. *Health Education Quarterly* 15, 473–486. <https://doi.org/10.1177/109019818801500407>.
- Greenberg, P.E., Kessler, R.C., Birnbaum, H.G., Leong, S.A., Lowe, S.W., and Corey-Lisle, P.K. (2003). The Economic Burden of Depression in the United States: How Did It Change Between 1990 and 2000? *J Clin Psychiatry* 64, 5373. .
- Gregory, D.E., and Callaghan, J.P. (2008). Prolonged standing as a precursor for the development of low back discomfort: An investigation of possible mechanisms. *Gait & Posture* 28, 86–92. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2007.10.005>.
- Gu, J.K., Charles, L.E., Bang, K.M., Ma, C.C., Andrew, M.E., Violanti, J.M., and Burchfiel, C.M. (2014). Prevalence of Obesity by Occupation Among US Workers. *J Occup Environ Med* 56, 516–528. <https://doi.org/10.1097/JOM.000000000000133>.
- Guirado, T., Metz, L., Pereira, B., Bergouignan, A., Thivel, D., and Duclos, M. (2021). Effects of cycling workstation to get tertiary employee moving on their overall health: study protocol for a REMOVE trial. *Trials* 22, 359. <https://doi.org/10.1186/s13063-021-05317-2>.
- Guirado, T., Bourdier, P., Pereira, B., Le Roux, E., Bergouignan, A., Birat, A., Isacco, L., Thivel, D., Duclos, M., and Metz, L. (2022a). Metabolic profile in women differs between high versus low energy spenders during a low intensity exercise on a cycle-desk. *Sci Rep* 12, 9928. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-14002-6>.
- Guirado, T., Metz, L., Pereira, B., Brun, C., Birat, A., Boscaro, A., Bergouignan, A., Thivel, D., and Duclos, M. (2022b). A 12-week cycling workstation intervention improves cardiometabolic risk factors in healthy inactive office workers. *Journal of Occupational and Environmental Medicine* 64, e467. <https://doi.org/10.1097/JOM.0000000000002583>.
- Gumpert, C.G. (1794). *Asclepiadis Bithyniae Fragmenta*.

Gurd, B.J., Patel, J., Edgett, B.A., Scribbans, T.D., Quadrilatero, J., and Fischer, S.L. (2018). The efficacy of a whole body sprint-interval training intervention in an office setting: A feasibility study. *Work* 60, 295–301. <https://doi.org/10.3233/WOR-182733>.

Guthold, R., Stevens, G.A., Riley, L.M., and Bull, F.C. (2018). Worldwide trends in insufficient physical activity from 2001 to 2016: a pooled analysis of 358 population-based surveys with 1.9 million participants. *The Lancet Global Health* 6, e1077–e1086. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(18\)30357-7](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(18)30357-7).

Hafner, M., Yerushalmi, E., Stepanek, M., Phillips, W., Pollard, J., Deshpande, A., Whitmore, M., Millard, F., Subel, S., and Stolk, C. van (2020). Estimating the global economic benefits of physically active populations over 30 years (2020–2050). *Br J Sports Med* 54, 1482–1487. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2020-102590>.

Hallal, P.C., and Victora, C.G. (2004). Reliability and validity of the International Physical Activity Questionnaire (IPAQ). *Medicine and Science in Sports and Exercise* 36, 556. .

Hallal, P.C., Andersen, L.B., Bull, F.C., Guthold, R., Haskell, W., and Ekelund, U. (2012). Global physical activity levels: surveillance progress, pitfalls, and prospects. *The Lancet* 380, 247–257. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(12\)60646-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(12)60646-1).

Hambrecht, R., and Gielen, S. (2005). Essay: Hunter-gatherer to sedentary lifestyle. *The Lancet* 366, S60–S61. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(05\)67856-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(05)67856-7).

Hamilton, M.T., Healy, G.N., Dunstan, D.W., Zderic, T.W., and Owen, N. (2008). Too Little Exercise and Too Much Sitting: Inactivity Physiology and the Need for New Recommendations on Sedentary Behavior. *Curr Cardiovasc Risk Rep* 2, 292–298. <https://doi.org/10.1007/s12170-008-0054-8>.

Haskell, W.L. (1985). Physical activity and health: Need to define the required stimulus. *The American Journal of Cardiology* 55, D4–D9. [https://doi.org/10.1016/0002-9149\(85\)91048-3](https://doi.org/10.1016/0002-9149(85)91048-3).

Haute Autorité de Santé (2019). Guide de promotion, consultation et prescription médicale d'activité physique et sportive pour la santé - chez les adultes.

Healy, G.N., and Goode, A.D. (2018). Workplace programmes aimed at limiting occupational sitting. In *Sedentary Behaviour Epidemiology*, (Springer), pp. 445–457.

Healy, G.N., Dunstan, D.W., Salmon, J., Cerin, E., Shaw, J.E., Zimet, P.Z., and Owen, N. (2008). Breaks in Sedentary Time: Beneficial associations with metabolic risk. *Diabetes Care* 31, 661–666. <https://doi.org/10.2337/dc07-2046>.

Healy, G.N., Matthews, C.E., Dunstan, D.W., Winkler, E.A.H., and Owen, N. (2011). Sedentary time and cardio-metabolic biomarkers in US adults: NHANES 2003–06. *Eur Heart J* 32, 590–597. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehq451>.

Healy, G.N., Winkler, E.A.H., Eakin, E.G., Owen, N., Lamontagne, A.D., Moodie, M., and Dunstan, D.W. (2017). A Cluster RCT to Reduce Workers' Sitting Time: Impact on

Cardiometabolic Biomarkers. *Med Sci Sports Exerc* 49, 2032–2039.
<https://doi.org/10.1249/mss.0000000000001328>.

Heart Rate Variability (1996). Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. *Eur Heart J* 17, 354–381. .

Heron, L., O'Neill, C., McAneney, H., Kee, F., and Tully, M.A. (2019). Direct healthcare costs of sedentary behaviour in the UK. *J Epidemiol Community Health* 73, 625–629.
<https://doi.org/10.1136/jech-2018-211758>.

Herrmann, S.D., Heumann, K.J., Der Ananian, C.A., and Ainsworth, B.E. (2013). Validity and Reliability of the Global Physical Activity Questionnaire (GPAQ). *Measurement in Physical Education and Exercise Science* 17, 221–235.
<https://doi.org/10.1080/1091367X.2013.805139>.

Hespe, G.E., Kataru, R.P., Savetsky, I.L., García Nores, G.D., Torrisi, J.S., Nitti, M.D., Gardenier, J.C., Zhou, J., Yu, J.Z., Jones, L.W., et al. (2016). Exercise training improves obesity-related lymphatic dysfunction. *The Journal of Physiology* 594, 4267–4282.
<https://doi.org/10.1113/JP271757>.

Hickson, R.C., Rosenkoetter, M.A., and Brown, M.M. (1980). Strength training effects on aerobic power and short-term endurance. *Med Sci Sports Exerc* 12, 336–339.

Holtermann, A., Straker, L., Lee, I.-M., Stamatakis, E., and van der Beek, A.J. (2021). Workplace physical activity promotion: why so many failures and few successes? The need for new thinking. *Br J Sports Med* 55, 650–651. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2020-103067>.

Holth, H.S., Werpen, H.K.B., Zwart, J.-A., and Hagen, K. (2008). Physical inactivity is associated with chronic musculoskeletal complaints 11 years later: results from the Nord-Trøndelag Health Study. *BMC Musculoskelet Disord* 9, 159. <https://doi.org/10.1186/1471-2474-9-159>.

Hötting, K., and Röder, B. (2013). Beneficial effects of physical exercise on neuroplasticity and cognition. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews* 37, 2243–2257.
<https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2013.04.005>.

Hu, F.B., Li, T.Y., Colditz, G.A., Willett, W.C., and Manson, J.E. (2003a). Television Watching and Other Sedentary Behaviors in Relation to Risk of Obesity and Type 2 Diabetes Mellitus in Women. *JAMA* 289, 1785–1791. <https://doi.org/10.1001/jama.289.14.1785>.

Hu, G., Qiao, Q., Silventoinen, K., Eriksson, J.G., Jousilahti, P., Lindström, J., Valle, T.T., Nissinen, A., and Tuomilehto, J. (2003b). Occupational, commuting, and leisure-time physical activity in relation to risk for Type 2 diabetes in middle-aged Finnish men and women. *Diabetologia* 46, 322–329. <https://doi.org/10.1007/s00125-003-1031-x>.

Huai, P., Xun, H., Reilly, K.H., Wang, Y., Ma, W., and Xi, B. (2013). Physical Activity and Risk of Hypertension. *Hypertension* 62, 1021–1026.
<https://doi.org/10.1161/HYPERTENSIONAHA.113.01965>.

Hunter, J.R., Gordon, B.A., Lythgo, N., Bird, S.R., and Benson, A.C. (2018). Exercise at an onsite facility with or without direct exercise supervision improves health-related physical fitness and exercise participation: An 8-week randomised controlled trial with 15-month follow-up. *Health Promotion Journal of Australia* 29, 84–92. <https://doi.org/10.1002/hpja.2>.

Husemann, B., Von Mach, C.Y., Borsotto, D., Zepf, K.I., and Scharnbacher, J. (2009). Comparisons of Musculoskeletal Complaints and Data Entry Between a Sitting and a Sit-Stand Workstation Paradigm. *Hum Factors* 51, 310–320. <https://doi.org/10.1177/0018720809338173>.

Hutcheson, A.K., Piazza, A.J., and Knowlden, A.P. (2018). Work Site–Based Environmental Interventions to Reduce Sedentary Behavior: A Systematic Review. *Am J Health Promot* 32, 32–47. <https://doi.org/10.1177/0890117116674681>.

Hutchinson, A.D., and Wilson, C. (2012). Improving nutrition and physical activity in the workplace: a meta-analysis of intervention studies. *Health Promotion International* 27, 238–249. <https://doi.org/10.1093/heapro/dar035>.

INCA 3 (2017). Evolution des habitudes et modes de consommation, de nouveaux enjeux en matière de sécurité sanitaire et de nutrition. Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'Alimentation, de l'Environnement et Du Travail (ANSES).

Insee (2021). Emploi, chômage, revenus du travail (Insee Références).

International Labour Organization (2020). *Global Employment Trends 2020*. Geneva: International Labour Organization.

J. Carr, L., Maeda, H., Luther, B., Rider, P., J. Tucker, S., and Leonhard, C. (2014). Acceptability and effects of a seated active workstation during sedentary work : A proof of concept study. *International Journal of Workplace Health Management* 7, 2–15. <https://doi.org/10.1108/IJWHM-03-2013-0008>.

Jakobsen, M.D., Sundstrup, E., Brandt, M., Jay, K., Aagaard, P., and Andersen, L.L. (2015). Physical exercise at the workplace reduces perceived physical exertion during healthcare work: cluster randomized controlled trial. *Scand J Public Health* 43, 713–720. <https://doi.org/10.1177/1403494815590936>.

Janssen, I., Clarke, A.E., Carson, V., Chaput, J.-P., Giangregorio, L.M., Kho, M.E., Poitras, V.J., Ross, R., Saunders, T.J., Ross-White, A., et al. (2020). A systematic review of compositional data analysis studies examining associations between sleep, sedentary behaviour, and physical activity with health outcomes in adults. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 45, S248–S257. <https://doi.org/10.1139/apnm-2020-0160>.

Jefferis, B.J., Parsons, T.J., Sartini, C., Ash, S., Lennon, L.T., Papacosta, O., Morris, R.W., Wannamethee, S.G., Lee, I.-M., and Whincup, P.H. (2019). Objectively measured physical activity, sedentary behaviour and all-cause mortality in older men: does volume of activity matter more than pattern of accumulation? *Br J Sports Med* 53, 1013–1020. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2017-098733>.

Jones, W.H. (1868). *Hippocrates collected works I*. Cambridge Harvard University Press. Retrieved on March 25, 2008. .

de Jonge, L., and Bray, G.A. (1997). The Thermic Effect of Food and Obesity: A Critical Review. *Obesity Research* 5, 622–631. <https://doi.org/10.1002/j.1550-8528.1997.tb00584.x>.

Josaphat, K.-J., Kugathasan, T.A., Reid, R.E.R., Begon, M., Léger, P.-M., Labonté-Lemoyne, E., Sénécal, S., Arvisais, D., and Mathieu, M.-E. (2019). Use of Active Workstations in Individuals with Overweight or Obesity: A Systematic Review. *Obesity* 27, 362–379. <https://doi.org/10.1002/oby.22388>.

Juneau, C., Pellerin, N., Trives, E., Ricard, M., Shankland, R., and Dambrun, M. (2020). Reliability and validity of an equanimity questionnaire: the two-factor equanimity scale (EQUA-S). *PeerJ* 8, e9405. <https://doi.org/10.7717/peerj.9405>.

Kakinami, L., O’Loughlin, E.K., Brunet, J., Dugas, E.N., Constantin, E., Sabiston, C.M., and O’Loughlin, J. (2017). Associations between physical activity and sedentary behavior with sleep quality and quantity in young adults. *Sleep Health* 3, 56–61. <https://doi.org/10.1016/j.sleh.2016.11.001>.

Kalakoski, V., Selinheimo, S., Valtonen, T., Turunen, J., Käpykangas, S., Ylisassi, H., Toivio, P., Järnefelt, H., Hannonen, H., and Paajanen, T. (2020). Effects of a cognitive ergonomics workplace intervention (CogErg) on cognitive strain and well-being: a cluster-randomized controlled trial. A study protocol. *BMC Psychol* 8, 1. <https://doi.org/10.1186/s40359-019-0349-1>.

Kang, W., Park, W.-J., Jang, K.-H., Lim, H.-M., Ann, J.-S., Cho, S., and Moon, J.-D. (2016). Comparison of anxiety and depression status between office and manufacturing job employees in a large manufacturing company: a cross sectional study. *Annals of Occupational and Environmental Medicine* 28, 47. <https://doi.org/10.1186/s40557-016-0134-z>.

Karakolis, T., and Callaghan, J.P. (2014). The impact of sit–stand office workstations on worker discomfort and productivity: A review. *Applied Ergonomics* 45, 799–806. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2013.10.001>.

Karasek, R.A. (1979). Job demands, job decision latitude, and mental strain: Implications for job redesign. *Administrative Science Quarterly* 285–308. .

Karasek, R., Choi, B., Ostergren, P.-O., Ferrario, M., and Smet, P.D. (2007). Testing two methods to create comparable scale scores between the job content questionnaire (JCQ) and JCQ-like questionnaires in the European JACE study. *Int. J. Behav. Med.* 14, 189–201. <https://doi.org/10.1007/BF03002993>.

Karvonen, M.J., Kentala, E., and Mustala, O. (1957). The effects of training on heart rate; a longitudinal study. *Ann Med Exp Biol Fenn* 35, 307–315. .

Katzmarzyk, P.T., Powell, K.E., Jakicic, J.M., Troiano, R.P., Piercy, K., and Tennant, B. (2019). Sedentary Behavior and Health: Update from the 2018 Physical Activity Guidelines Advisory

Committee. *Med Sci Sports Exerc* 51, 1227–1241.
<https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001935>.

Katzmarzyk, P.T., Friedenreich, C., Shiroma, E.J., and Lee, I.-M. (2021). Physical inactivity and non-communicable disease burden in low-income, middle-income and high-income countries. *Br J Sports Med* 56, 101–106. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2020-103640>.

Keimling, M., Behrens, G., Schmid, D., Jochem, C., and Leitzmann, M.F. (2014). The association between physical activity and bladder cancer: systematic review and meta-analysis. *Br J Cancer* 110, 1862–1870. <https://doi.org/10.1038/bjc.2014.77>.

Kelly, R.L. (1983). Hunter-Gatherer Mobility Strategies. *Journal of Anthropological Research* 39, 277–306. .

Kessler, R.C., Akiskal, H.S., Ames, M., Birnbaum, H., Greenberg, P., .a, R.M., Jin, R., Merikangas, K.R., Simon, G.E., and Wang, P.S. (2006). Prevalence and Effects of Mood Disorders on Work Performance in a Nationally Representative Sample of U.S. Workers. *AJP* 163, 1561–1568. <https://doi.org/10.1176/ajp.2006.163.9.1561>.

Khan, K.M., Thompson, A.M., Blair, S.N., Sallis, J.F., Powell, K.E., Bull, F.C., and Bauman, A.E. (2012). Sport and exercise as contributors to the health of nations. *The Lancet* 380, 59–64. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(12\)60865-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(12)60865-4).

Kim, I.-Y., Park, S., Chou, T.-H., Trombold, J.R., and Coyle, E.F. (2016). Prolonged sitting negatively affects the postprandial plasma triglyceride-lowering effect of acute exercise. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism* 311, E891–E898. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00287.2016>.

Kingsley, P. (1995). Ancient philosophy, mystery, and magic: Empedocles and Pythagorean tradition.

Kinnafick, F.-E., Thøgersen-Ntoumani, C., Shepherd, S.O., Wilson, O.J., Wagenmakers, A.J.M., and Shaw, C.S. (2018). In It Together: A Qualitative Evaluation of Participant Experiences of a 10-Week, Group-Based, Workplace HIIT Program for Insufficiently Active Adults. *Journal of Sport and Exercise Psychology* 40, 10–19. <https://doi.org/10.1123/jsep.2017-0306>.

Kinoshita, K., Ozato, N., Yamaguchi, T., Sudo, M., Yamashiro, Y., Mori, K., Katsuragi, Y., Yasukawa, T., Murashita, K., Nakaji, S., et al. (2022). Association between Objectively Measured Sedentary Behaviour and Sleep Quality in Japanese Adults: A Population-Based Cross-Sectional Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 19, 3145. <https://doi.org/10.3390/ijerph19053145>.

Kirwan, J.P., Sacks, J., and Nieuwoudt, S. (2017). The essential role of exercise in the management of type 2 diabetes. *Cleve Clin J Med* 84, S15–S21. <https://doi.org/10.3949/ccjm.84.s1.03>.

Klepac Pogrmilovic, B., O’Sullivan, G., Milton, K., Biddle, S.J.H., Bauman, A., Bull, F., Kahlmeier, S., Pratt, M., and Pedisic, Z. (2018). A global systematic scoping review of studies analysing indicators, development, and content of national-level physical activity and sedentary

behaviour policies. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity* 15, 123. <https://doi.org/10.1186/s12966-018-0742-9>.

Koopmanschap, M.A., Rutten, F.F.H., van Ineveld, B.M., and van Roijen, L. (1995). The friction cost method for measuring indirect costs of disease. *Journal of Health Economics* 14, 171–189. [https://doi.org/10.1016/0167-6296\(94\)00044-5](https://doi.org/10.1016/0167-6296(94)00044-5).

Korhonen, T., Ketola, R., Toivonen, R., Luukkonen, R., Häkkänen, M., and Viikari-Juntura, E. (2003). Work related and individual predictors for incident neck pain among office employees working with video display units. *Occup Environ Med* 60, 475–482. <https://doi.org/10.1136/oem.60.7.475>.

Kozey-Keadle, S., Libertine, A., Lyden, K., Staudenmayer, J., and Freedson, P.S. (2011). Validation of wearable monitors for assessing sedentary behavior. *Med Sci Sports Exerc* 43, 1561–1567. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31820ce174>.

Kraus, W.E., Bittner, V., Appel, L., Blair, S.N., Church, T., Després, J.-P., Franklin, B.A., Miller, T.D., Pate, R.R., Taylor-Piliae, R.E., et al. (2015). The National Physical Activity Plan: A Call to Action From the American Heart Association. *Circulation* 131, 1932–1940. <https://doi.org/10.1161/CIR.000000000000203>.

Ku, P.-W., Steptoe, A., Liao, Y., Hsueh, M.-C., and Chen, L.-J. (2018). A cut-off of daily sedentary time and all-cause mortality in adults: a meta-regression analysis involving more than 1 million participants. *BMC Medicine* 16, 74. <https://doi.org/10.1186/s12916-018-1062-2>.

Ku, P.-W., Steptoe, A., Liao, Y., Hsueh, M.-C., and Chen, L.-J. (2019). A Threshold of Objectively-Assessed Daily Sedentary Time for All-Cause Mortality in Older Adults: A Meta-Regression of Prospective Cohort Studies. *Journal of Clinical Medicine* 8, 564. <https://doi.org/10.3390/jcm8040564>.

Kuoppala, J., Lamminpää, A., and Husman, P. (2008). Work Health Promotion, Job Well-Being, and Sickness Absences—A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Occupational and Environmental Medicine* 50, 1216–1227. .

Kuorinka, I., Jonsson, B., Kilbom, A., Vinterberg, H., Biering-Sørensen, F., Andersson, G., and Jørgensen, K. (1987). Standardised Nordic questionnaires for the analysis of musculoskeletal symptoms. *Appl Ergon* 18, 233–237. [https://doi.org/10.1016/0003-6870\(87\)90010-x](https://doi.org/10.1016/0003-6870(87)90010-x).

Kyu, H.H., Bachman, V.F., Alexander, L.T., Mumford, J.E., Afshin, A., Estep, K., Veerman, J.L., Delwiche, K., Iannarone, M.L., Moyer, M.L., et al. (2016). 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* 354, i3857. <https://doi.org/10.1136/bmj.i3857>.

Lagrange, F. (1896). *Physiologie des exercices du corps* (Ancienne Librairie Germer Baillière et Cie).

Lam, Y.Y., and Ravussin, E. (2016). Analysis of energy metabolism in humans: A review of methodologies. *Molecular Metabolism* 5, 1057–1071. <https://doi.org/10.1016/j.molmet.2016.09.005>.

Lam, K., Baurecht, H., Pahmeier, K., Niemann, A., Romberg, C., Biermann-Stallwitz, J., Neusser, S., Wasem, J., Mugler, N., Welker, C., et al. (2022). How effective and how expensive are interventions to reduce sedentary behavior? An umbrella review and meta-analysis. *Obesity Reviews* e13422. <https://doi.org/10.1111/obr.13422>.

Lamb, A.S., Rathbone, J.L., and Karpovich, P.V. (1950). Contributions of Physical Education to Medicine. *Journal of the American Association for Health, Physical Education, and Recreation* 21, 68–104. <https://doi.org/10.1080/23267232.1950.10626140>.

L'Assurance Maladie (2018). Rapport Annuel 2017 : L'Assurance Maladie - Risques professionnels (Paris: Caisse nationale de l'Assurance Maladie).

Łastowiecka-Moras, E. (2021). Standing and sitting postures at work and symptoms of venous insufficiency – results from questionnaires and a Doppler ultrasound study. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics* 27, 963–969. <https://doi.org/10.1080/10803548.2020.1834232>.

de Lauzon-Guillain, B., Musher-Eizenman, D., Leporc, E., Holub, S., and Charles, M.A. (2009). Parental Feeding Practices in the United States and in France: Relationships with Child's Characteristics and Parent's Eating Behavior. *Journal of the American Dietetic Association* 109, 1064–1069. <https://doi.org/10.1016/j.jada.2009.03.008>.

Le Roux, P. (1970). Les comportements de loisirs des Français; les vacances d'été en 1969; données sur l'environnement de l'habitat en France (Institut national de la statistique et des études économiques).

Lee, I.-M., Djoussé, L., Sesso, H.D., Wang, L., and Buring, J.E. (2010). Physical Activity and Weight Gain Prevention. *JAMA* 303, 1173–1179. <https://doi.org/10.1001/jama.2010.312>.

Lee, I.-M., Shiroma, E.J., Lobelo, F., Puska, P., Blair, S.N., Katzmarzyk, P.T., and Lancet Physical Activity Series Working Group (2012). Effect of physical inactivity on major non-communicable diseases worldwide: an analysis of burden of disease and life expectancy. *Lancet* 380, 219–229. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(12\)61031-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(12)61031-9).

Lee, I.-M., Shiroma, E.J., Evenson, K.R., Kamada, M., LaCroix, A.Z., and Buring, J.E. (2018). Accelerometer-Measured Physical Activity and Sedentary Behavior in Relation to All-Cause Mortality. *Circulation* 137, 203–205. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.117.031300>.

Leonard, W.R., and Robertson, M.L. (1992). Nutritional requirements and human evolution: A bioenergetics model. *American Journal of Human Biology* 4, 179–195. <https://doi.org/10.1002/ajhb.1310040204>.

Leong, D.P., Teo, K.K., Rangarajan, S., Lopez-Jaramillo, P., Avezum, A., Orlandini, A., Seron, P., Ahmed, S.H., Rosengren, A., Kelishadi, R., et al. (2015). Prognostic value of grip strength:

findings from the Prospective Urban Rural Epidemiology (PURE) study. *Lancet* 386, 266–273. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(14\)62000-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(14)62000-6).

Leray, E., Camara, A., Drapier, D., Riou, F., Bougeant, N., Pelissolo, A., Lloyd, K.R., Bellamy, V., Roelandt, J.L., and Millet, B. (2011). Prevalence, characteristics and comorbidities of anxiety disorders in France: Results from the “Mental Health in General Population” Survey (MHGP). *European Psychiatry* 26, 339–345. <https://doi.org/10.1016/j.eurpsy.2009.12.001>.

Lesage, F.X., and Berjot, S. (2011). Validity of occupational stress assessment using a visual analogue scale. *Occup Med (Lond)* 61, 434–436. <https://doi.org/10.1093/occmed/kqr037>.

Levine, J.A. (2004). Non-Exercise Activity Thermogenesis (Neat). *Nutrition Reviews* 62, S82–S97. <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2004.tb00094.x>.

Levine, J.A., and Miller, J.M. (2007). The energy expenditure of using a “walk-and-work” desk for office workers with obesity. *Br J Sports Med* 41, 558–561. <https://doi.org/10.1136/bjsm.2006.032755>.

Lim, S.S., Vos, T., Flaxman, A.D., Danaei, G., Shibuya, K., Adair-Rohani, H., AlMazroa, M.A., Amann, M., Anderson, H.R., Andrews, K.G., et al. (2012). A comparative risk assessment of burden of disease and injury attributable to 67 risk factors and risk factor clusters in 21 regions, 1990–2010: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010. *The Lancet* 380, 2224–2260. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(12\)61766-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(12)61766-8).

Lin, Y.-P., Lin, C.-C., Chen, M.-M., and Lee, K.-C. (2017). Short-Term Efficacy of a “Sit Less, Walk More” Workplace Intervention on Improving Cardiometabolic Health and Work Productivity in Office Workers. *Journal of Occupational and Environmental Medicine* 59, 327–334. <https://doi.org/10.1097/JOM.0000000000000955>.

Lin, Y.-P., Hong, O., Lin, C.-C., Lu, S.-H., Chen, M.-M., and Lee, K.-C. (2018). A “Sit Less, Walk More” Workplace Intervention for Office Workers: Long-Term Efficacy of a Quasi-Experimental Study. *Journal of Occupational and Environmental Medicine* 60, e290. <https://doi.org/10.1097/JOM.0000000000001299>.

Littré, E. (1844). Mochlique 24. In *Oeuvres Complètes d’Hippocrate*, (Paris: J.B. Baillière), p. 255.

Lluch, A., Kahn, J., Stricker-Krongrad, A., Ziegler, O., Drouin, P., and Méjean, L. (1996). Internal validation of a French version of the Dutch eating behaviour questionnaire. *European Psychiatry* 11, 198–203. [https://doi.org/10.1016/0924-9338\(96\)88391-X](https://doi.org/10.1016/0924-9338(96)88391-X).

Lovibond, S.H., Birrell, P.C., and Langeluddecke, P. (1986). Changing coronary heart disease risk-factor status: The effects of three behavioral programs. *J Behav Med* 9, 415–437. <https://doi.org/10.1007/BF00845131>.

Loyen, A., Clarke-Cornwell, A.M., Anderssen, S.A., Hagströmer, M., Sardinha, L.B., Sundquist, K., Ekelund, U., Steene-Johannessen, J., Baptista, F., Hansen, B.H., et al. (2017). Sedentary Time and Physical Activity Surveillance Through Accelerometer Pooling in Four European Countries. *Sports Med* 47, 1421–1435. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0658-y>.

Lyden, K., Kozey-Keadle, S.L., Staudenmayer, J.W., and Freedson, P.S. (2012). Validity of two wearable monitors to estimate breaks from sedentary time. *Med Sci Sports Exerc* 44, 2243–2252. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318260c477>.

Macaulay, V., Richards, M., Hickey, E., Vega, E., Cruciani, F., Guida, V., Scozzari, R., Bonn -Tamir, B., Sykes, B., and Torroni, A. (1999). The Emerging Tree of West Eurasian mtDNAs: A Synthesis of Control-Region Sequences and RFLPs. *The American Journal of Human Genetics* 64, 232–249. <https://doi.org/10.1086/302204>.

MacEwen, B.T., MacDonald, D.J., and Burr, J.F. (2015). A systematic review of standing and treadmill desks in the workplace. *Preventive Medicine* 70, 50–58. <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2014.11.011>.

Mackenzie, K., Goyder, E., and Eves, F. (2015). Acceptability and feasibility of a low-cost, theory-based and co-produced intervention to reduce workplace sitting time in desk-based university employees. *BMC Public Health* 15, 1–13. <https://doi.org/10.1186/s12889-015-2635-z>.

Mammen, G., and Faulkner, G. (2013). Physical Activity and the Prevention of Depression: A Systematic Review of Prospective Studies. *American Journal of Preventive Medicine* 45, 649–657. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2013.08.001>.

Mandolesi, L., Polverino, A., Montuori, S., Foti, F., Ferraioli, G., Sorrentino, P., and Sorrentino, G. (2018). Effects of Physical Exercise on Cognitive Functioning and Wellbeing: Biological and Psychological Benefits. *Frontiers in Psychology* 9. .

Manniche, L. (1989). *An Ancient Egyptian Herbal* (University of Texas Press).

Mansfield, L., Hall, J., Smith, L., Rasch, M., Reeves, E., Dewitt, S., and Gardner, B. (2018). “Could you sit down please?” A qualitative analysis of employees’ experiences of standing in normally-seated workplace meetings. *PLOS ONE* 13, e0198483. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0198483>.

Marchand, O. (2010). *50 ans de mutations de l’emploi*. Insee Première.

Matthews, C.E., Chen, K.Y., Freedson, P.S., Buchowski, M.S., Beech, B.M., Pate, R.R., and Troiano, R.P. (2008). Amount of Time Spent in Sedentary Behaviors in the United States, 2003–2004. *American Journal of Epidemiology* 167, 875–881. <https://doi.org/10.1093/aje/kwm390>.

Matthews, C.E., Keadle, S.K., Troiano, R.P., Kahle, L., Koster, A., Brychta, R., Van Domelen, D., Caserotti, P., Chen, K.Y., Harris, T.B., et al. (2016). Accelerometer-measured dose-response for physical activity, sedentary time, and mortality in US adults. *Am J Clin Nutr* 104, 1424–1432. <https://doi.org/10.3945/ajcn.116.135129>.

Matthews, V.B., Åström, M.-B., Chan, M.H.S., Bruce, C.R., Krabbe, K.S., Prelovsek, O.,  kerstr m, T., Yfanti, C., Broholm, C., Mortensen, O.H., et al. (2009). Brain-derived neurotrophic factor is produced by skeletal muscle cells in response to contraction and enhances fat oxidation via activation of AMP-activated protein kinase. *Diabetologia* 52, 1409–1418. <https://doi.org/10.1007/s00125-009-1364-1>.

Mazoyer, M., and Roudart, L. (2017). *Histoire des agricultures du monde. Du néolithique à la crise contemporaine* (Média Diffusion).

McDowell, C.P., Herring, M.P., Lansing, J., Brower, C., and Meyer, J.D. (2020). Working From Home and Job Loss Due to the COVID-19 Pandemic Are Associated With Greater Time in Sedentary Behaviors. *Frontiers in Public Health* 8.

Mclaughlin, M., Atkin, A.J., Starr, L., Hall, A., Wolfenden, L., Sutherland, R., Wiggers, J., Ramirez, A., Hallal, P., Pratt, M., et al. (2020). Worldwide surveillance of self-reported sitting time: a scoping review. *Int J Behav Nutr Phys Act* 17, 111. <https://doi.org/10.1186/s12966-020-01008-4>.

Méndez, C., Guerra, F., and Kilgour, F.G. (1960). *Book of Bodily Exercise* (E. Licht).

Messier, S.P., and Dill, M.E. (1985). Alterations in Strength and Maximal Oxygen Uptake Consequent to Nautilus Circuit Weight Training. *Research Quarterly for Exercise and Sport* 56, 345–351. <https://doi.org/10.1080/02701367.1985.10605339>.

Meurisse, B., Dervaux, B., Rochaix, L., Robinet, A., Banoun, S., Domergue, S., Guéro, P., Hartmann, L., Meynard, C.-L., and Ni, J. (2022). *L'évaluation socioéconomique des effets de santé des projets d'investissement public* (Ministère de la transition écologique et solidaire, Tour Séquoia, 1 place ...).

Meyer, P., and Triadou, P. (1996). *Leçons d'histoire de la pensée médicale: sciences humaines et sociales en médecine* (Odile Jacob).

Milasi, S., González-Vázquez, I., and Fernández-Macías, E. (2021). *Telework before the COVID-19 pandemic: Trends and drivers of differences across the EU* (Paris: OCDE).

Miles-Chan, J.L., and Dulloo, A.G. (2017). Posture Allocation Revisited: Breaking the Sedentary Threshold of Energy Expenditure for Obesity Management. *Front. Physiol.* 8. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00420>.

Miles-Chan, J.L., Sarafian, D., Montani, J.-P., Schutz, Y., and Dulloo, A. (2013). Heterogeneity in the Energy Cost of Posture Maintenance during Standing Relative to Sitting: Phenotyping According to Magnitude and Time-Course. *PLOS ONE* 8, e65827. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0065827>.

Miller, B.S. (1996). *Yoga: Discipline of Freedom: The Yoga Sutra Attributed to Patanjali* (University of California Press).

Moore, S.C., Patel, A.V., Matthews, C.E., Gonzalez, A.B. de, Park, Y., Katki, H.A., Linet, M.S., Weiderpass, E., Visvanathan, K., Helzlsouer, K.J., et al. (2012). Leisure Time Physical Activity of Moderate to Vigorous Intensity and Mortality: A Large Pooled Cohort Analysis. *PLOS Medicine* 9, e1001335. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1001335>.

Moore, S.C., Lee, I.-M., Weiderpass, E., Campbell, P.T., Sampson, J.N., Kitahara, C.M., Keadle, S.K., Arem, H., Berrington de Gonzalez, A., Hartge, P., et al. (2016). Association of Leisure-Time

Physical Activity With Risk of 26 Types of Cancer in 1.44 Million Adults. *JAMA Internal Medicine* 176, 816–825. <https://doi.org/10.1001/jamainternmed.2016.1548>.

Moreira-Silva, I., Teixeira, P.M., Santos, R., Abreu, S., Moreira, C., and Mota, J. (2016). The Effects of Workplace Physical Activity Programs on Musculoskeletal Pain: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Workplace Health Saf* 64, 210–222. <https://doi.org/10.1177/2165079916629688>.

Morgan, J.A., Corrigan, F., and Baune, B.T. (2015). Effects of physical exercise on central nervous system functions: a review of brain region specific adaptations. *J Mol Psychiatr* 3, 3. <https://doi.org/10.1186/s40303-015-0010-8>.

Morris, J.N., and Crawford, M.D. (1958). Coronary Heart Disease and Physical Activity of Work. *Br Med J* 2, 1485–1496.

Morris, J.N., and Heady, J.A. (1953). Mortality in Relation to the Physical Activity of Work: A Preliminary Note on Experience in Middle Age. *Br J Ind Med* 10, 245–254.

Morris, J.N., and Raffle, P.A.B. (1954). Coronary Heart Disease in Transport Workers. A Progress Report*. *Br J Ind Med* 11, 260–264. .

Morris, J.N., Heady, J.A., Raffle, P.A.B., Roberts, C.G., and Parks, J.W. (1953). Coronary heart-disease and physical activity of work. *The Lancet* 262, 1111–1120. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(53\)91495-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(53)91495-0).

Morwitz, V.G., and Fitzsimons, G.J. (2004). The Mere-Measurement Effect: Why Does Measuring Intentions Change Actual Behavior? *Journal of Consumer Psychology* 14, 64–74. https://doi.org/10.1207/s15327663jcp1401&2_8.

Mulchandani, R., Chandrasekaran, A.M., Shivashankar, R., Kondal, D., Agrawal, A., Panniyammakal, J., Tandon, N., Prabhakaran, D., Sharma, M., and Goenka, S. (2019). Effect of workplace physical activity interventions on the cardio-metabolic health of working adults: systematic review and meta-analysis. *Int J Behav Nutr Phys Act* 16, 1–16. <https://doi.org/10.1186/s12966-019-0896-0>.

Mullane, S.L., Buman, M.P., Zeigler, Z.S., Crespo, N.C., and Gaesser, G.A. (2017). Acute effects on cognitive performance following bouts of standing and light-intensity physical activity in a simulated workplace environment. *Journal of Science and Medicine in Sport* 20, 489–493. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2016.09.015>.

Murray, C.J.L., Aravkin, A.Y., Zheng, P., Abbafati, C., Abbas, K.M., Abbasi-Kangevari, M., Abd-Allah, F., Abdelalim, A., Abdollahi, M., Abdollahpour, I., et al. (2020). Global burden of 87 risk factors in 204 countries and territories, 1990–2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *The Lancet* 396, 1223–1249. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30752-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30752-2).

Neilson, N.P. (1933). The Value of Physical Education and Health in the School Program. *The Journal of Health and Physical Education* 4, 21–21. <https://doi.org/10.1080/23267240.1933.10624057>.

Nelson-Wong, E., and Callaghan, J.P. (2014). Transient Low Back Pain Development During Standing Predicts Future Clinical Low Back Pain in Previously Asymptomatic Individuals. *Spine* 39, E379. <https://doi.org/10.1097/BRS.000000000000191>.

Netz, Y., Wu, M.-J., Becker, B.J., and Tenenbaum, G. (2005). Physical activity and psychological well-being in advanced age: a meta-analysis of intervention studies. *Psychol Aging* 20, 272–284. <https://doi.org/10.1037/0882-7974.20.2.272>.

Neufer, P.D., Bamman, M.M., Muoio, D.M., Bouchard, C., Cooper, D.M., Goodpaster, B.H., Booth, F.W., Kohrt, W.M., Gerszten, R.E., Mattson, M.P., et al. (2015). Understanding the Cellular and Molecular Mechanisms of Physical Activity-Induced Health Benefits. *Cell Metabolism* 22, 4–11. <https://doi.org/10.1016/j.cmet.2015.05.011>.

Neuhaus, M., Eakin, E.G., Straker, L., Owen, N., Dunstan, D.W., Reid, N., and Healy, G.N. (2014). Reducing occupational sedentary time: a systematic review and meta-analysis of evidence on activity-permissive workstations. *Obesity Reviews* 15, 822–838. <https://doi.org/10.1111/obr.12201>.

New Zealand Ministry of Health (2015). Eating and Activity Guidelines for New Zealand Adults. Wellington.

New Zealand Ministry of Health (2020). Eating and Activity Guidelines for New Zealand Adults: Updated 2020. Wellington.

Nguyen, P., Le, L.K.-D., Ananthapavan, J., Gao, L., Dunstan, D.W., and Moodie, M. (2022). Economics of sedentary behaviour: A systematic review of cost of illness, cost-effectiveness, and return on investment studies. *Preventive Medicine* 156, 106964. <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2022.106964>.

Norström, G. (Dr) A. du texte (1912). Aperçu historique sur le massage. (Paris: J.B. Baillière et Fils), p. 6.

Nowlan, N.C., Jepsen, K.J., and Morgan, E.F. (2011). Smaller, weaker, and less stiff bones evolve from changes in subsistence strategy. *Osteoporos Int* 22, 1967–1980. <https://doi.org/10.1007/s00198-010-1390-3>.

Nunn, J.F. (2002). *Ancient Egyptian Medicine* (University of Oklahoma Press).

Observatoire national de l'activité physique et de la sédentarité (2020). *Activité physique et sédentarité : évolution des comportements pendant le confinement (mars-mai 2020)*.

OCDE (2017). *Quels sont les facteurs à l'origine des gains d'espérance de vie des dernières décennies ? Analyse internationale des états membres de l'OCDE* (Paris: OCDE).

OCDE (2021). *Panorama de la santé 2021: Les indicateurs de l'OCDE* (OECD).

O'Donovan, G., Lee, I.-M., Hamer, M., and Stamatakis, E. (2017). Association of “Weekend Warrior” and Other Leisure Time Physical Activity Patterns With Risks for All-Cause, Cardiovascular Disease, and Cancer Mortality. *JAMA Internal Medicine* 177, 335–342. <https://doi.org/10.1001/jamainternmed.2016.8014>.

Ojo, S.O., Bailey, D.P., Chater, A.M., and Hewson, D.J. (2018). The Impact of Active Workstations on Workplace Productivity and Performance: A Systematic Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 15, 417. <https://doi.org/10.3390/ijerph15030417>.

O’Keefe, J.H., Vogel, R., Lavie, C.J., and Cordain, L. (2011). Exercise Like a Hunter-Gatherer: A Prescription for Organic Physical Fitness. *Progress in Cardiovascular Diseases* 53, 471–479. <https://doi.org/10.1016/j.pcad.2011.03.009>.

Okely, A.D., Tremblay, M.S., Hammersley, M., and Aubert, S. (2018). Targeting sedentary behaviour at the policy level. In *Sedentary Behaviour Epidemiology*, (Springer), pp. 565–594.

Owen, N., Healy, G.N., Matthews, C.E., and Dunstan, D.W. (2010). Too much sitting: the population health science of sedentary behavior. *Exerc Sport Sci Rev* 38, 105–113. <https://doi.org/10.1097/JES.0b013e3181e373a2>.

Oye-Somefun, A., Azizi, Z., Ardern, C.I., and Rotondi, M.A. (2021). A systematic review and meta-analysis of the effect of treadmill desks on energy expenditure, sitting time and cardiometabolic health in adults. *BMC Public Health* 21, 2082. <https://doi.org/10.1186/s12889-021-12094-9>.

Parry, S., and Straker, L. (2013). The contribution of office work to sedentary behaviour associated risk. *BMC Public Health* 13, 296. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-13-296>.

Pate, R.R. (2009). A national physical activity plan for the United States. *J Phys Act Health* 6 *Suppl 2*, S157-158. .

Pate, R.R., O’Neill, J.R., and Lobelo, F. (2008). The Evolving Definition of “Sedentary.” *Exercise and Sport Sciences Reviews* 36, 173–178. <https://doi.org/10.1097/JES.0b013e3181877d1a>.

Patterson, R., McNamara, E., Tainio, M., de Sá, T.H., Smith, A.D., Sharp, S.J., Edwards, P., Woodcock, J., Brage, S., and Wijndaele, K. (2018). Sedentary behaviour and risk of all-cause, cardiovascular and cancer mortality, and incident type 2 diabetes: a systematic review and dose response meta-analysis. *Eur J Epidemiol* 33, 811–829. <https://doi.org/10.1007/s10654-018-0380-1>.

Peachey, M.M., Richardson, J., Tang, A.V., Haas, V.D.-B., and Gravesande, J. (2020). Environmental, behavioural and multicomponent interventions to reduce adults’ sitting time: a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med* 54, 315–325. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2017-098968>.

Pedersen, M.T., Blangsted, A.K., Andersen, L.L., Jørgensen, M.B., Hansen, E.A., and Sjøgaard, G. (2009). The Effect of Worksite Physical Activity Intervention on Physical Capacity, Health, and Productivity: A 1-Year Randomized Controlled Trial. *Journal of Occupational and Environmental Medicine* 51, 759–770.

Pedišić, Ž. (2014). Measurement issues and poor adjustments for physical activity and sleep undermine sedentary behaviour research—the focus should shift to the balance between sleep, sedentary behaviour, standing and activity. *Kinesiology* 46., 135–146.

- Peeters, G.M.E.E. (Geeske), Mishra, G.D., Dobson, A.J., and Brown, W.J. (2014). Health Care Costs Associated with Prolonged Sitting and Inactivity. *American Journal of Preventive Medicine* 46, 265–272. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2013.11.014>.
- Pérez-Martin, A., Dumortier, M., Raynaud, E., Brun, J.F., Fédou, C., Bringer, J., and Mercier, J. (2001). Balance of substrate oxidation during submaximal exercise in lean and obese people. *Diabetes Metab* 27, 466–474.
- Péronnet, F., and Massicotte, D. (1991). Table of nonprotein respiratory quotient: an update. *Can J Sport Sci* 16, 23–29.
- Piard, C. (2001). *Education physique et sport (L'Harmattan)*.
- Picavet, H.S.J., and Schouten, J.S.A.G. (2000). Physical Load in Daily Life and Low Back Problems in the General Population—The MORGEN Study. *Preventive Medicine* 31, 506–512. <https://doi.org/10.1006/pmed.2000.0737>.
- Pilcher, J.J., and Baker, V.C. (2016). Task Performance and Meta-Cognitive Outcomes When Using Activity Workstations and Traditional Desks. *Frontiers in Psychology* 7.
- Pinch, G. (1995). *Magic in Ancient Egypt (University of Texas Press)*.
- van der Ploeg, H.P., Chey, T., Korda, R.J., Banks, E., and Bauman, A. (2012). Sitting Time and All-Cause Mortality Risk in 222 497 Australian Adults. *Archives of Internal Medicine* 172, 494–500. <https://doi.org/10.1001/archinternmed.2011.2174>.
- Pociello, C. (1981). *Sports et société: approche socio-culturelle des pratiques (Vigot)*.
- Podrekar, N., Kozinc, Ž., and Šarabon, N. (2020). The effects of cycle and treadmill desks on work performance and cognitive function in sedentary workers: A review and meta-analysis. *Work* 65, 537–545. <https://doi.org/10.3233/WOR-203108>.
- Pontzer, H., Raichlen, D.A., Wood, B.M., Mabulla, A.Z.P., Racette, S.B., and Marlowe, F.W. (2012). Hunter-Gatherer Energetics and Human Obesity. *PLOS ONE* 7, e40503. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0040503>.
- Pratt, M., Sarmiento, O.L., Montes, F., Ogilvie, D., Marcus, B.H., Perez, L.G., and Brownson, R.C. (2012). The implications of megatrends in information and communication technology and transportation for changes in global physical activity. *The Lancet* 380, 282–293. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(12\)60736-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(12)60736-3).
- President's Council on Physical Fitness (1965). *Adult Physical Fitness: A Program for Men and Women*. Washington, DC: U.S. Government Printing Office 64.
- Prince, S.A., Elliott, C.G., Scott, K., Visintini, S., and Reed, J.L. (2019). Device-measured physical activity, sedentary behaviour and cardiometabolic health and fitness across occupational groups: a systematic review and meta-analysis. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity* 16, 30. <https://doi.org/10.1186/s12966-019-0790-9>.

Prince, S.A., Roberts, K.C., Reed, J.L., Biswas, A., Colley, R.C., and Thompson, W. (2020). Daily physical activity and sedentary behaviour across occupational classifications in Canadian adults. *Health Rep* 31, 13–26. <https://doi.org/10.25318/82-003-x202000900002-eng>.

Pronk, N.P. (2021). Implementing movement at the workplace: Approaches to increase physical activity and reduce sedentary behavior in the context of work. *Progress in Cardiovascular Diseases* 64, 17–21. <https://doi.org/10.1016/j.pcad.2020.10.004>.

Pronk, N.P., Katz, A.S., Lowry, M., and Payfer, J.R. (2012). Reducing Occupational Sitting Time and Improving Worker Health: The Take-a-Stand Project, 2011. *Prev Chronic Dis* 9, E154. <https://doi.org/10.5888/pcd9.110323>.

Proper, K.I., Koning, M., van der Beek, A.J., Hildebrandt, V.H., Bosscher, R.J., and van Mechelen, W. (2003). The Effectiveness of Worksite Physical Activity Programs on Physical Activity, Physical Fitness, and Health. *Clinical Journal of Sport Medicine* 13, 106–117.

Prospective Studies Collaboration (2007). Blood cholesterol and vascular mortality by age, sex, and blood pressure: a meta-analysis of individual data from 61 prospective studies with 55 000 vascular deaths. *The Lancet* 370, 1829–1839. .

Psaltopoulou, T., Ntanasis-Stathopoulos, I., Tzanninis, I.-G., Kantzanou, M., Georgiadou, D., and Sergentanis, T.N. (2016). Physical Activity and Gastric Cancer Risk: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Clin J Sport Med* 26, 445–464. <https://doi.org/10.1097/JSM.0000000000000316>.

Qiu, S., Cai, X., Jia, L., Sun, Z., Wu, T., Wendt, J., Steinacker, J.M., and Schumann, U. (2021). Does objectively measured light-intensity physical activity reduce the risk of cardiovascular mortality? A meta-analysis. *European Heart Journal - Quality of Care and Clinical Outcomes* 7, 496–504. <https://doi.org/10.1093/ehjqcco/qcaa051>.

Ramazzini, B. (1777). *Essai sur les maladies des artisans*, traduit du latin de Ramazzini (Chez Moutard).

Ramos, S., Maheronnaghsh, S., Vila-Chã, C., Vaz, M., and Santos, J. (2019). The Influence of Active Workstations on Work Performance, Productivity Indicators and Sedentary Time: A Systematic Review. *Occupational and Environmental Safety and Health* 477–483.

Raude, E., and Prouteau, G. (1950). *Le Message de Léo Lagrange: Préface de Léon Blum* (La Compagnie du livre).

Ravussin, E., and Bogardus, C. (1989). Relationship of genetics, age, and physical fitness to daily energy expenditure and fuel utilization. *The American Journal of Clinical Nutrition* 49, 968–975. .

Ravussin, E., and Bogardus, C. (1992). A brief overview of human energy metabolism and its relationship to essential obesity. *The American Journal of Clinical Nutrition* 55, 242S-245S. <https://doi.org/10.1093/ajcn/55.1.242s>.

Ray, C.A., Rea, R.F., Clary, M.P., and Mark, A.L. (1993). Muscle sympathetic nerve responses to dynamic one-legged exercise: effect of body posture. *Am J Physiol* 264, H1-7. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.1993.264.1.H1>.

Rebar, A.L., Vandelanotte, C., van Uffelen, J., Short, C., and Duncan, M.J. (2014). Associations of overall sitting time and sitting time in different contexts with depression, anxiety, and stress symptoms. *Mental Health and Physical Activity* 7, 105–110. <https://doi.org/10.1016/j.mhpa.2014.02.004>.

Reijonsaari, K., Vehtari, A., Kahilakoski, O.-P., van Mechelen, W., Aro, T., and Taimela, S. (2012). The effectiveness of physical activity monitoring and distance counseling in an occupational setting – Results from a randomized controlled trial (CoAct). *BMC Public Health* 12, 344. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-12-344>.

Reimers, C.D., Knapp, G., and Reimers, A.K. (2009). Exercise as Stroke Prophylaxis. *Dtsch Arztebl Int* 106, 715–721. <https://doi.org/10.3238/arztebl.2009.0715>.

Restaino, R.M., Holwerda, S.W., Credeur, D.P., Fadel, P.J., and Padilla, J. (2015). Impact of prolonged sitting on lower and upper limb micro- and macrovascular dilator function. *Experimental Physiology* 100, 829–838. <https://doi.org/10.1113/EP085238>.

Rieu, M. (2010). La santé par le sport : une longue histoire médicale. *La revue pour l’histoire du CNRS* 30–35. <https://doi.org/10.4000/histoire-cnrs.9271>.

Robertson, I., and Cooper, C. (2011). *Well-being: Productivity and Happiness at Work* (Springer).

Robison, J.I., Rogers, M.A., Carlson, J.J., Mavis, B.E., Stachnik, T., Stoffelmayr, B., Sprague, H.A., McGrew, C.R., and Van Huss, W.D. (1992). Effects of a 6-month incentive-based exercise program on adherence and work capacity. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 24, 85–93. <https://doi.org/10.1249/00005768-199201000-00015>.

Rocha, L.E., Glina, D.M.R., Marinho, M. de F., and Nakasato, D. (2005). Risk Factors for Musculoskeletal Symptoms among Call Center Operators of a Bank in São Paulo, Brazil. *Industrial Health* 43, 637–646. <https://doi.org/10.2486/indhealth.43.637>.

Roig, M., Nordbrandt, S., Geertsen, S.S., and Nielsen, J.B. (2013). The effects of cardiovascular exercise on human memory: A review with meta-analysis. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews* 37, 1645–1666. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2013.06.012>.

von Rosen, P., Dohrn, I.-M., and Hagströmer, M. (2020). Association between physical activity and all-cause mortality: A 15-year follow-up using a compositional data analysis. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 30, 100–107. <https://doi.org/10.1111/sms.13561>.

Rosenberg, D., Cook, A., Gell, N., Lozano, P., Grothaus, L., and Arterburn, D. (2015). Relationships between sitting time and health indicators, costs, and utilization in older adults. *Preventive Medicine Reports* 2, 247–249. <https://doi.org/10.1016/j.pmedr.2015.03.011>.

Ross, R., Chaput, J.-P., Giangregorio, L.M., Janssen, I., Saunders, T.J., Kho, M.E., Poitras, V.J., Tomasone, J.R., El-Kotob, R., McLaughlin, E.C., et al. (2020). Canadian 24-Hour Movement Guidelines for Adults aged 18-64 years and Adults aged 65 years or older: an integration of physical activity, sedentary behaviour, and sleep. *Appl Physiol Nutr Metab* 45, S57–S102. <https://doi.org/10.1139/apnm-2020-0467>.

Rudwill, F., O’Gorman, D., Lefai, E., Chery, I., Zahariev, A., Normand, S., Pagano, A.F., Chopard, A., Damiot, A., Laurens, C., et al. (2018). Metabolic Inflexibility Is an Early Marker of Bed-Rest–Induced Glucose Intolerance Even When Fat Mass Is Stable. *J Clin Endocrinol Metab* <https://doi.org/10.1210/jc.2017-02267>.

Ryan, T.M., and Shaw, C.N. (2015). Gracility of the modern *Homo sapiens* skeleton is the result of decreased biomechanical loading. *PNAS* 112, 372–377. <https://doi.org/10.1073/pnas.1418646112>.

Ryan, C., Grant, P.M., Dall, P.M., and Granat, M.H. (2011). Sitting patterns at work: Objective measurement of adherence to current recommendations. *ERGONOMICS* 54, 531–538. <https://doi.org/10.1080/00140139.2011.570458>.

Saeidifard, F., Medina-Inojosa, J.R., West, C.P., Olson, T.P., Somers, V.K., Bonikowske, A.R., Prokop, L.J., Vinciguerra, M., and Lopez-Jimenez, F. (2019). The association of resistance training with mortality: A systematic review and meta-analysis. *European Journal of Preventive Cardiology* 26, 1647–1665. <https://doi.org/10.1177/2047487319850718>.

Saint-Maurice, P.F., Troiano, R.P., Matthews, C.E., and Kraus, W.E. (2018). Moderate-to-Vigorous Physical Activity and All-Cause Mortality: Do Bouts Matter? *Journal of the American Heart Association* 7, e007678. <https://doi.org/10.1161/JAHA.117.007678>.

Sallis, J.F., Bull, F., Guthold, R., Heath, G.W., Inoue, S., Kelly, P., Oyeyemi, A.L., Perez, L.G., Richards, J., and Hallal, P.C. (2016). Progress in physical activity over the Olympic quadrennium. *The Lancet* 388, 1325–1336. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(16\)30581-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(16)30581-5).

Salonen, J.T., Slater, J.S., Tuomilehto, J., and Rauramaa, R. (1988). Leisure time and occupational physical activity: risk of death from ischemic heart disease. *Am J Epidemiol* 127, 87–94. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aje.a114794>.

Santé Publique France (2019). Recommandations relatives à l’alimentation, à l’activité physique et à la sédentarité pour les adultes (Santé Publique France, Saint-Maurice).

Saracci, R. (1997). The world health organisation needs to reconsider its definition of health. *BMJ* 314, 1409. <https://doi.org/10.1136/bmj.314.7091.1409>.

Sasaki, J.E., John, D., and Freedson, P.S. (2011). Validation and comparison of ActiGraph activity monitors. *J Sci Med Sport* 14, 411–416. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2011.04.003>.

Sato, K.K., Hayashi, T., Kambe, H., Nakamura, Y., Harita, N., Endo, G., and Yoneda, T. (2007). Walking to Work Is an Independent Predictor of Incidence of Type 2 Diabetes in Japanese Men: The Kansai Healthcare Study. *Diabetes Care* 30, 2296–2298. <https://doi.org/10.2337/dc07-0090>.

Saunders, T.J., Chaput, J.-P., and Tremblay, M.S. (2014). Sedentary Behaviour as an Emerging Risk Factor for Cardiometabolic Diseases in Children and Youth. *Canadian Journal of Diabetes* 38, 53–61. <https://doi.org/10.1016/j.jcjd.2013.08.266>.

Saunders, T.J., Mclsaac, T., Douillette, K., Gaulton, N., Hunter, S., Rhodes, R.E., Prince, S.A., Carson, V., Chaput, J.-P., Chastin, S., et al. (2020). Sedentary behaviour and health in adults: an overview of systematic reviews. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 45, S197–S217. <https://doi.org/10.1139/apnm-2020-0272>.

Schmid, D., and Leitzmann, M.F. (2014). Television Viewing and Time Spent Sedentary in Relation to Cancer Risk: A Meta-Analysis. *JNCI: Journal of the National Cancer Institute* 106, dju098. <https://doi.org/10.1093/jnci/dju098>.

Schmid, D., Behrens, G., Keimling, M., Jochem, C., Ricci, C., and Leitzmann, M. (2015). A systematic review and meta-analysis of physical activity and endometrial cancer risk. *Eur J Epidemiol* 30, 397–412. <https://doi.org/10.1007/s10654-015-0017-6>.

Schuna, J.M., Johnson, W.D., and Tudor-Locke, C. (2013). Adult self-reported and objectively monitored physical activity and sedentary behavior: NHANES 2005–2006. *Int J Behav Nutr Phys Act* 10, 126. <https://doi.org/10.1186/1479-5868-10-126>.

Schuna, J.M., Hsia, D.S., Tudor-Locke, C., and Johannsen, N.M. (2020). Energy Expenditure While Using Workstation Alternatives at Self-Selected Intensities. *Journal of Physical Activity and Health* 16, 141–148. <https://doi.org/10.1123/jpah.2017-0675>.

Sebbag, E., Felten, R., Sagez, F., Sibilia, J., Devilliers, H., and Arnaud, L. (2019). The world-wide burden of musculoskeletal diseases: a systematic analysis of the World Health Organization Burden of Diseases Database. *Annals of the Rheumatic Diseases* 78, 844–848. <https://doi.org/10.1136/annrheumdis-2019-215142>.

Sedentary Behaviour Research Network (2012). Letter to the editor: standardized use of the terms “sedentary” and “sedentary behaviours.” *Appl Physiol Nutr Metab* 37, 540–542. <https://doi.org/10.1139/h2012-024>.

Shen, D., Mao, W., Liu, T., Lin, Q., Lu, X., Wang, Q., Lin, F., Ekelund, U., and Wijndaele, K. (2014). Sedentary Behavior and Incident Cancer: A Meta-Analysis of Prospective Studies. *PLOS ONE* 9, e105709. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0105709>.

Shrestha, N., Kukkonen-Harjula, K.T., Verbeek, J.H., Ijaz, S., Hermans, V., and Pedisic, Z. (2018). Workplace interventions for reducing sitting at work. *Cochrane Database Syst Rev* 12, CD010912. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD010912.pub5>.

Siegrist, J., Starke, D., Chandola, T., Godin, I., Marmot, M., Niedhammer, I., and Peter, R. (2004). The measurement of effort–reward imbalance at work: European comparisons. *Social Science & Medicine* 58, 1483–1499. [https://doi.org/10.1016/S0277-9536\(03\)00351-4](https://doi.org/10.1016/S0277-9536(03)00351-4).

Siegrist, J., Wahrendorf, M., Goldberg, M., Zins, M., and Hoven, H. (2019). Is effort–reward imbalance at work associated with different domains of health functioning? Baseline results

from the French CONSTANCES study. *Int Arch Occup Environ Health* 92, 467–480.
<https://doi.org/10.1007/s00420-018-1374-8>.

Singh, S., Devanna, S., Edakkanambeth Varayil, J., Murad, M.H., and Iyer, P.G. (2014). Physical activity is associated with reduced risk of esophageal cancer, particularly esophageal adenocarcinoma: a systematic review and meta-analysis. *BMC Gastroenterol* 14, 101.
<https://doi.org/10.1186/1471-230X-14-101>.

Sjögren, T., Nissinen, K.J., Järvenpää, S.K., Ojanen, M.T., Vanharanta, H., and Mälkiä, E.A. (2005). Effects of a workplace physical exercise intervention on the intensity of headache and neck and shoulder symptoms and upper extremity muscular strength of office workers: A cluster randomized controlled cross-over trial. *Pain* 116, 119–128.
<https://doi.org/10.1016/j.pain.2005.03.031>.

Sliter, M., and Yuan, Z. (2015). Workout at work: laboratory test of psychological and performance outcomes of active workstations. *J Occup Health Psychol* 20, 259–271.
<https://doi.org/10.1037/a0038175>.

Smith, L., Hamer, M., Ucci, M., Marmot, A., Gardner, B., Sawyer, A., Wardle, J., and Fisher, A. (2015). Weekday and weekend patterns of objectively measured sitting, standing, and stepping in a sample of office-based workers: the active buildings study. *BMC Public Health* 15, 9. <https://doi.org/10.1186/s12889-014-1338-1>.

Sorić, M., Meh, K., Rocha, P., Wendel-Vos, W., de Hollander, E., and Jurak, G. (2021). An inventory of national surveillance systems assessing physical activity, sedentary behaviour and sport participation of adults in the European Union. *BMC Public Health* 21, 1797.
<https://doi.org/10.1186/s12889-021-11842-1>.

de Souto Barreto, P. (2015). Global health agenda on non-communicable diseases: has WHO set a smart goal for physical activity? *BMJ* 350, h23. <https://doi.org/10.1136/bmj.h23>.

Stamatakis, E., Gale, J., Bauman, A., Ekelund, U., Hamer, M., and Ding, D. (2019a). Sitting Time, Physical Activity, and Risk of Mortality in Adults. *Journal of the American College of Cardiology* 73, 2062–2072. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2019.02.031>.

Stamatakis, E., Ekelund, U., Ding, D., Hamer, M., Bauman, A.E., and Lee, I.-M. (2019b). Is the time right for quantitative public health guidelines on sitting? A narrative review of sedentary behaviour research paradigms and findings. *Br J Sports Med* 53, 377–382.
<https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-099131>.

Stamatakis, E., Ding, D., Ekelund, U., and Bauman, A.E. (2021). Sliding down the risk factor rankings: reasons for and consequences of the dramatic downgrading of physical activity in the Global Burden of Disease 2019. *Br J Sports Med* 55, 1222–1223.
<https://doi.org/10.1136/bjsports-2021-104064>.

Steinhaus, L.A., Dustman, R.E., Ruhling, R.O., Emmerson, R.Y., Johnson, S.C., Shearer, D.E., Shigeoka, J.W., and Bonekat, W.H. (1988). Cardio-respiratory fitness of young and older active and sedentary men. *Br J Sports Med* 22, 163–166.

Straker, L., Levine, J., and Campbell, A. (2009). The Effects of Walking and Cycling Computer Workstations on Keyboard and Mouse Performance. *Hum Factors* 51, 831–844. <https://doi.org/10.1177/0018720810362079>.

Strath, S.J., Kaminsky, L.A., Ainsworth, B.E., Ekelund, U., Freedson, P.S., Gary, R.A., Richardson, C.R., Smith, D.T., and Swartz, A.M. (2013). Guide to the Assessment of Physical Activity: Clinical and Research Applications. *Circulation* 128, 2259–2279. <https://doi.org/10.1161/01.cir.0000435708.67487.da>.

Streit, W.K., and McNeely, S.A. (1950). A Platform for Physical Education. *Journal of the American Association for Health, Physical Education, and Recreation* 21, 136–137. <https://doi.org/10.1080/23267232.1950.10626162>.

Sullivan, C. (2003). What's in a name? Definitions and conceptualisations of teleworking and homeworking. *New Technology, Work and Employment* 18, 158–165. <https://doi.org/10.1111/1468-005X.00118>.

Temkin, O., and Gourevitch, D. (1991). *Hippocrates in a World of Pagans and Christians* (Johns Hopkins University Press Baltimore).

Terfous, F. (2010). Sport et éducation physique sous le Front populaire et sous Vichy : approche comparative selon le genre. *Staps* 90, 49–58.

Teychenne, M., Ball, K., and Salmon, J. (2010). Sedentary Behavior and Depression Among Adults: A Review. *Int.J. Behav. Med.* 17, 246–254. <https://doi.org/10.1007/s12529-010-9075-z>.

Teychenne, M., Costigan, S.A., and Parker, K. (2015). The association between sedentary behaviour and risk of anxiety: a systematic review. *BMC Public Health* 15, 513. <https://doi.org/10.1186/s12889-015-1843-x>.

Thivel, D., Tremblay, A., Genin, P.M., Panahi, S., Rivière, D., and Duclos, M. (2018). Physical Activity, Inactivity, and Sedentary Behaviors: Definitions and Implications in Occupational Health. *Front. Public Health* 6. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2018.00288>.

Thorp, A.A., Healy, G.N., Winkler, E., Clark, B.K., Gardiner, P.A., Owen, N., and Dunstan, D.W. (2012). Prolonged sedentary time and physical activity in workplace and non-work contexts: a cross-sectional study of office, customer service and call centre employees. *Int J Behav Nutr Phys Act* 9, 128. <https://doi.org/10.1186/1479-5868-9-128>.

Thosar, S.S., Johnson, B.D., Johnston, J.D., and Wallace, J.P. (2012). Sitting and endothelial dysfunction: The role of shear stress. *Med Sci Monit* 18, RA173–RA180. <https://doi.org/10.12659/MSM.883589>.

Thosar, S.S., Bielko, S.L., Wiggins, C.C., and Wallace, J.P. (2014). Differences in brachial and femoral artery responses to prolonged sitting. *Cardiovascular Ultrasound* 12, 50. <https://doi.org/10.1186/1476-7120-12-50>.

Torbeyns, T., Geus, B. de, Bailey, S., Pauw, K.D., Decroix, L., Cutsem, J.V., and Meeusen, R. (2016a). Cycling on a Bike Desk Positively Influences Cognitive Performance. *PLOS ONE* *11*, e0165510. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0165510>.

Torbeyns, T., de Geus, B., Bailey, S., De Pauw, K., Decroix, L., Van Cutsem, J., and Meeusen, R. (2016b). Bike Desks in the Office: Physical Health, Cognitive Function, Work Engagement, and Work Performance. *Journal of Occupational and Environmental Medicine* *58*, 1257–1263.

Tremblay, M.S., Esliger, D.W., Copeland, J.L., Barnes, J.D., and Bassett, D.R. (2008). Moving forward by looking back: lessons learned from long-lost lifestyles. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* *33*, 836–842. <https://doi.org/10.1139/H08-045>.

Tremblay, M.S., Warburton, D.E.R., Janssen, I., Paterson, D.H., Latimer, A.E., Rhodes, R.E., Kho, M.E., Hicks, A., LeBlanc, A.G., Zehr, L., et al. (2011). New Canadian Physical Activity Guidelines. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* *36*, 36–46. <https://doi.org/10.1139/H11-009>.

Tremblay, M.S., Aubert, S., Barnes, J.D., Saunders, T.J., Carson, V., Latimer-Cheung, A.E., Chastin, S.F.M., Altenburg, T.M., Chinapaw, M.J.M., and SBRN Terminology Consensus Project Participants (2017). Sedentary Behavior Research Network (SBRN) - Terminology Consensus Project process and outcome. *Int J Behav Nutr Phys Act* *14*, 75. <https://doi.org/10.1186/s12966-017-0525-8>.

Triantafyllou, J., Naiditch, M., Repkova, K., Stiehr, K., Carretero, S., Emilsson, T., Di, P., Rastislav, S., Brichtova, B.L., and Ceruzzi, F. (2010). Informal care in the long-term care system European overview paper (Athens/Vienna: INTERLINKS).

Tronarp, R., Nyberg, A., Hedlund, M., Häger, C.K., McDonough, S., and Björklund, M. (2018). Office-Cycling: A Promising Way to Raise Pain Thresholds and Increase Metabolism with Minimal Compromising of Work Performance. *BioMed Research International* *2018*, e5427201. <https://doi.org/10.1155/2018/5427201>.

Tüchsen, F., Hannerz, H., Burr, H., and Krause, N. (2005). Prolonged standing at work and hospitalisation due to varicose veins: a 12 year prospective study of the Danish population. *Occupational and Environmental Medicine* *62*, 847–850. <https://doi.org/10.1136/oem.2005.020537>.

Tudor-Locke, C. (2002). Taking steps toward increased physical activity: Using pedometers to measure and motivate. President's Council on Physical Fitness and Sports Research Digest.

Tudor-Locke, C., Camhi, S.M., and Troiano, R.P. (2012). A Catalog of Rules, Variables, and Definitions Applied to Accelerometer Data in the National Health and Nutrition Examination Survey, 2003–2006. *Prev Chronic Dis* *9*. <https://doi.org/10.5888/pcd9.110332>.

Tudor-Locke, C., Schuna, J.M., Frensham, L.J., and Proenca, M. (2014). Changing the way we work: elevating energy expenditure with workstation alternatives. *International Journal of Obesity* *38*, 755–765. <https://doi.org/10.1038/ijo.2013.223>.

van Uffelen, J.G.Z., Wong, J., Chau, J.Y., van der Ploeg, H.P., Riphagen, I., Gilson, N.D., Burton, N.W., Healy, G.N., Thorp, A.A., Clark, B.K., et al. (2010). Occupational sitting and health risks:

a systematic review. *Am J Prev Med* 39, 379–388.
<https://doi.org/10.1016/j.amepre.2010.05.024>.

U.S. Bureau of Labor Statistics (2021). Occupational Requirements Survey.

U.S. Department of Health and Human Services (1996). *Physical Activity And Health: A Report Of The Surgeon General* (DIANE Publishing).

US Department of Health and Human Services (2008). *Physical activity guidelines advisory committee report, 2008* (Washington, DC: U.S.).

US Department of Health and Human Services (2018). *2018 Physical activity guidelines advisory committee. 2018 Physical activity guidelines advisory committee scientific report* (Washington, DC: U.S.: Office of Disease Prevention and Health Promotion, US Department of Health ...).

Veith, I. (1949). *Huang Ti Nei Ching Su Wên: The Yellow Emperor's Classic of Internal Medicine. Chapters 1-34* (Williams & Wilkins).

Wagner, A., Simon, C., Ducimetière, P., Montaye, M., Bongard, V., Yarnell, J., Bingham, A., Hedelin, G., Amouyel, P., Ferrières, J., et al. (2001). Leisure-time physical activity and regular walking or cycling to work are associated with adiposity and 5 y weight gain in middle-aged men: the PRIME Study. *Int J Obes* 25, 940–948. <https://doi.org/10.1038/sj.ijo.0801635>.

Wallace, T.M., Levy, J.C., and Matthews, D.R. (2004). Use and abuse of HOMA modeling. *Diabetes Care* 27, 1487–1495. <https://doi.org/10.2337/diacare.27.6.1487>.

Walsh, L.K., Restaino, R.M., Martinez-Lemus, L.A., and Padilla, J. (2017). Prolonged leg bending impairs endothelial function in the popliteal artery. *Physiological Reports* 5, e13478. <https://doi.org/10.14814/phy2.13478>.

Wang, F., and Boros, S. (2021). The effect of physical activity on sleep quality: a systematic review. *European Journal of Physiotherapy* 23, 11–18. <https://doi.org/10.1080/21679169.2019.1623314>.

Wang, J.-G., Zhang, Y., Chen, H.-E., Li, Y., Cheng, X.-G., Xu, L., Guo, Z., Zhao, X.-S., Sato, T., Cao, Q.-Y., et al. (2013). Comparison of two bioelectrical impedance analysis devices with dual energy X-ray absorptiometry and magnetic resonance imaging in the estimation of body composition. *J Strength Cond Res* 27, 236–243. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31824f2040>.

Warburton, D.E., Charlesworth, S., Ivey, A., Nettlefold, L., and Bredin, S.S. (2010). A systematic review of the evidence for Canada's Physical Activity Guidelines for Adults. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity* 7, 39. <https://doi.org/10.1186/1479-5868-7-39>.

Waters, C.N., Ling, E.P., Chu, A.H.Y., Ng, S.H.X., Chia, A., Lim, Y.W., and Müller-Riemenschneider, F. (2016). Assessing and understanding sedentary behaviour in office-based

- working adults: a mixed-method approach. *BMC Public Health* 16, 360.
<https://doi.org/10.1186/s12889-016-3023-z>.
- Weir, J.B. de V. (1949). New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. *J Physiol* 109, 1–9. .
- Welz, C., and Wolf, F. (2010). *Telework in the European Union* (Eurofound).
- Wen, C.P., Wai, J.P.M., Tsai, M.K., Yang, Y.C., Cheng, T.Y.D., Lee, M.-C., Chan, H.T., Tsao, C.K., Tsai, S.P., and Wu, X. (2011). Minimum amount of physical activity for reduced mortality and extended life expectancy: a prospective cohort study. *Lancet* 378, 1244–1253.
[https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(11\)60749-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(11)60749-6).
- Westgaard, R.H., and Winkel, J. (1996). Guidelines for occupational musculoskeletal load as a basis for intervention: a critical review. *Applied Ergonomics* 27, 79–88.
[https://doi.org/10.1016/0003-6870\(95\)00062-3](https://doi.org/10.1016/0003-6870(95)00062-3).
- WHOQOL Group (1994). Development of the WHOQOL: Rationale and Current Status. *International Journal of Mental Health* 23, 24–56.
<https://doi.org/10.1080/00207411.1994.11449286>.
- Wick, K., Faude, O., Schwager, S., Zahner, L., and Donath, L. (2016). Deviation between self-reported and measured occupational physical activity levels in office employees: effects of age and body composition. *Int Arch Occup Environ Health* 89, 575–582.
<https://doi.org/10.1007/s00420-015-1095-1>.
- Wilk, M.B. (1991). *Health information for Canada: report of the National Task Force on Health Information*. Final Draft, Statistics Canada, Ottawa, Canada.
- Williams, P.T., Krauss, R.M., Wood, P.D., Lindgren, F.T., Giotas, C., and Vranizan, K.M. (1986). Lipoprotein Subfractions of Runners and Sedentary Men. *Metabolism* 35, 45–52.
- Willie, C.K., Tzeng, Y.-C., Fisher, J.A., and Ainslie, P.N. (2014). Integrative regulation of human brain blood flow. *The Journal of Physiology* 592, 841–859.
<https://doi.org/10.1113/jphysiol.2013.268953>.
- Wilmot, E.G., Edwardson, C.L., Achana, F.A., Davies, M.J., Gorely, T., Gray, L.J., Khunti, K., Yates, T., and Biddle, S.J.H. (2012). Sedentary time in adults and the association with diabetes, cardiovascular disease and death: systematic review and meta-analysis. *Diabetologia* 55, 2895–2905. <https://doi.org/10.1007/s00125-012-2677-z>.
- Wolin, K.Y., Yan, Y., Colditz, G.A., and Lee, I.-M. (2009). Physical activity and colon cancer prevention: a meta-analysis. *Br J Cancer* 100, 611–616.
<https://doi.org/10.1038/sj.bjc.6604917>.
- World Health Organization (1986). *Ottawa charter for health promotion, 1986* (World Health Organization. Regional Office for Europe).
- World Health Organization (2008). *Preventing noncommunicable diseases in the workplace through diet and physical activity: WHO/World Economic Forum report of a joint event*.

World Health Organization (2010). *Global Recommendations on Physical Activity for Health* (Geneva: World Health Organization, Geneva).

World Health Organization (2019). *Global action plan on physical activity 2018-2030: more active people for a healthier world* (World Health Organization).

World Health Organization (2020). *WHO package of essential noncommunicable (PEN) disease interventions for primary health care*.

Wu, Y., Zhang, D., and Kang, S. (2013). Physical activity and risk of breast cancer: a meta-analysis of prospective studies. *Breast Cancer Res Treat* 137, 869–882. <https://doi.org/10.1007/s10549-012-2396-7>.

Yakovlev, N.N., Kaledin, S.V., Krasnova, A.F., Leshkevich, L.G., Popova, N.K., Rogozkin, V.A., Chagovets, N.R., and Kostygova, L.A. (1961). Physiological and chemical adaptation to muscular activity in relation to length of rest periods between exertions during training. *Fiziol Zh SSSR Im I M Sechenova* 47(6), 56–59.

Yang, L., Cao, C., Kantor, E.D., Nguyen, L.H., Zheng, X., Park, Y., Giovannucci, E.L., Matthews, C.E., Colditz, G.A., and Cao, Y. (2019). Trends in Sedentary Behavior Among the US Population, 2001-2016. *JAMA* 321, 1587–1597. <https://doi.org/10.1001/jama.2019.3636>.

Yang, Y., Shin, J.C., Li, D., and An, R. (2017). Sedentary Behavior and Sleep Problems: a Systematic Review and Meta-Analysis. *Int.J. Behav. Med.* 24, 481–492. <https://doi.org/10.1007/s12529-016-9609-0>.

Yapijakis, C. (2009). Hippocrates of Kos, the Father of Clinical Medicine, and Asclepiades of Bithynia, the Father of Molecular Medicine. *In Vivo* 23, 507–514.

Yelin, E., Weinstein, S., and King, T. (2019). An update on the burden of musculoskeletal diseases in the U.S. *Seminars in Arthritis and Rheumatism* 49, 1–2. <https://doi.org/10.1016/j.semarthrit.2019.04.010>.

Yoon, S., Lefrançois-Daignault, T., and Côté, J.N. (2019). Effects of cycling while typing on upper limb and performance characteristics. *Applied Ergonomics* 80, 161–167. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2019.05.015>.

Yu, H., and Schwingel, A. (2018). Associations Between Sedentary Behavior, Physical Activity, and Out-of-Pocket Health Care Expenditure: Evidence From Chinese Older Adults. *Journal of Aging and Physical Activity* 27, 108–115. <https://doi.org/10.1123/japa.2017-0206>.

Zeigler, Z.S., Mullane, S.L., Crespo, N.C., Buman, M.P., and Gaesser, G.A. (2016). Effects of Standing and Light-Intensity Activity on Ambulatory Blood Pressure. *Med Sci Sports Exerc* 48, 175–181. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000754>.

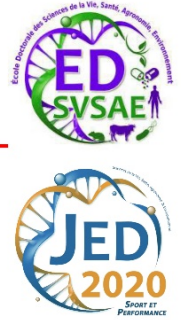
Zhu, X., Yoshikawa, A., Qiu, L., Lu, Z., Lee, C., and Ory, M. (2020). Healthy workplaces, active employees: A systematic literature review on impacts of workplace environments on employees' physical activity and sedentary behavior. *Building and Environment* 168, 106455. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106455>.

Zimring, C., Joseph, A., Nicoll, G.L., and Tsepas, S. (2005). Influences of building design and site design on physical activity: Research and intervention opportunities. *American Journal of Preventive Medicine* 28, 186–193. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2004.10.025>.

ANNEXES



The REMOVE study: High vs low spenders in energy expenditure during a light cycling exercise



Guirado T.^{1,2,3}, Metz L.^{1,3}, Bourdier P.⁴, Le Roux E.⁴, Birat A.¹, Pereira B.⁵, Isacco L.¹, Bergouignan A.⁴, Thivel D.^{1,3}, Duclos M.^{2,3,6}

¹Laboratory of the Metabolic Adaptations to Exercise under Physiological and Pathological Conditions, (AME2P), UE3533, Clermont Auvergne University, 63170 Aubiere CEDEX, France; ²INRA, UMR 1019, Clermont-Ferrand, France; ³Auvergne Research Center for Human Nutrition (CRNH), 63000 Clermont-Ferrand, France; ⁴Université de Strasbourg, CNRS, IPHC UMR 7178, F-67000 Strasbourg, France; ⁵Clermont-Ferrand University Hospital, Biostatistics Unit (DRCL), Clermont-Ferrand, France; ⁶Department of Sport Medicine and Functional Explorations, Clermont-Ferrand University Hospital, G. Montpied Hospital, Clermont-Ferrand, France.

Background

Active workstations represent new strategies to prevent the deleterious effects of sedentary behaviours in tertiary employees. However, little is known about the energetic responses of DeskCycle use. Different energetic profiles have been observed in individuals in steady-state standing position (Miles-Chan *et al.*, 2013), similar to the position at a standing desk. Some individuals spend more with an increase of energy expenditure compared to sitting while some have only little change. The different energetic profiles reported could also emerged in more spendthrift activities such as use of cycling desk.

The primary aim of this study was to investigate if profiles emerged from the energy expenditure and substrate oxidation evolution from a reclining resting position to a light cycling exercise. The second aim was to characterize those potential emerging profiles on metabolic and body composition parameters.

Results

The energy expenditure from rest and the start of the 30min light cycling exercise test was categorized according to statistical distribution (i.e. to median of the sample) leading to two groups : high spenders and low spenders. Energy expenditure, metabolic parameters and body composition are presented in Table 1 and Figures 1-4.

Table 1. Body composition and metabolic profile of the study population

Variables	Low spenders	High spenders
N	14	14
Age (years)	41.94 (10.97)	37.75 (7.56)
Body weight (kg)	58.44 (4.60)	64.49 (11.77)
BMI (kg/m ²)	21.65 (1.69)	23.97 (3.83)
Body fat mass (%)	25.98 (5.95)	31.47 (6.59)*
Body fat free-mass (kg)	40.86 (2.40)	41.36 (4.84)
Waist circumference/height	0.45 (0.04)	0.5 (0.07)*
Glucose (mmol/L)	4.79 (0.32)	5.12 (0.90)
Insuline (mU/L)	4.04 (1.72)	9.25 (6.46)**
HOMA-IR	0.86 (0.36)	2.30 (2.35)**
Total cholesterol (g/L)	1.73 (0.45)	1.68 (0.25)
HDL-Cholesterol (g/L)	0.66 (0.09)	0.54 (0.13)*
LDL-Cholesterol (g/L)	0.99 (0.24)	1 (0.27)
Triglycerides (g/L)	0.83 (0.38)	0.72 (0.28)

BMI, body mass index; HOMA-IR, homeostatic model assessment of insulin resistance; HDL, high-density lipoprotein cholesterol; LDL, light-density lipoprotein cholesterol. Values are presented as mean score (SD) or percentage. *P<0.05, ** P<0.01, respectively with Mann-Whitney test.

Methods

28 healthy women in fasting condition

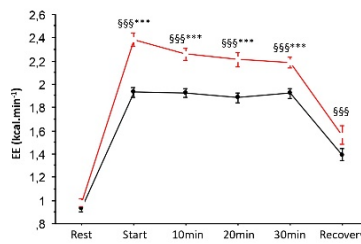
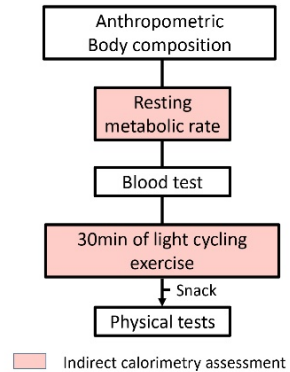


Figure 1: Evolution of energy expenditure (EE) in high and low spenders from resting metabolic rate to the end of cycling exercise and the 1 minute of recovery after the exercise. \$\$\$ p<0.001 vs rest, *** p<0.001 vs low spenders

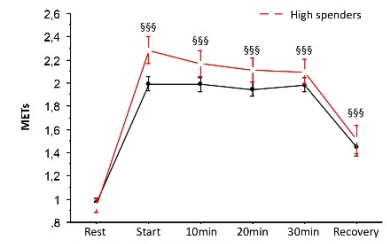


Figure 2: Evolution of METs in high and low spenders from resting metabolic rate to the end of cycling exercise and the 1 minute of recovery after the exercise. \$\$\$ p<0.001 vs rest.

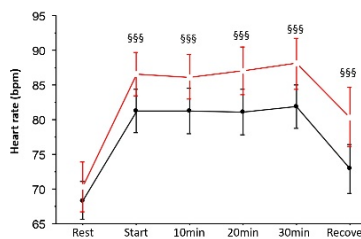


Figure 3: Evolution of heart rate in high and low spenders from resting metabolic rate to the end of cycling exercise and the 1 minute of recovery after the exercise. \$\$\$ p<0.001 vs rest.

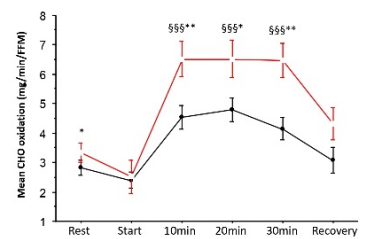


Figure 4: Evolution of mean carbohydrate (CHO) oxidation in high and low spenders from resting metabolic rate to the end of cycling exercise and the 1 minute of recovery after the exercise. \$\$\$ p<0.001 vs rest, * p<0.05 vs low spenders, ** p<0.01 vs low spenders.

Conclusion

Among metabolic healthy individuals with similar physical activity level and physical abilities, we reported that switching from sitting to 30min of light cycling exercise generates different energetic profiles. We observed that “less spenders” had a better metabolic profile compared to “high spenders”. Those different energetic profiles interrogate the future need of individualization in active workstation among tertiary societies. Next step of the REMOVE study will investigate if chronic physical activity with a portable pedal machine during working time improve the metabolic profile of healthy subjects having pre-disease characteristics.

Reference

Miles-Chan, J.L., Sarafian, D., Montani, J.-P., Schutz, Y., and Dulloo, A. (2013). Heterogeneity in the Energy Cost of Posture Maintenance during Standing Relative to Sitting: Phenotyping According to Magnitude and Time-Course. PLOS ONE 8, e65827.

A 12-WEEK CYCLING WORKSTATION INTERVENTION IMPROVES CARDIOMETABOLIC RISK FACTORS IN HEALTHY OFFICE WORKERS: THE REMOVE STUDY

TERRY GUIRADO^{1,2,3}, LORE METZ^{1,2}, BRUNO PEREIRA⁴, CAROLE BRUN^{1,2}, ANTHONY BIRAT^{1,2}, AUDREY BOSCARO^{1,2}, AUDREY BERGOUIGNAN^{5,6}, DAVID THIVEL^{1,2}, MARTINE DUCLOS^{2,3,7}

¹Laboratory of the Metabolic Adaptations to Exercise under Physiological and Pathological Conditions. (AME2P), UE3533, Clermont Auvergne University, 63170 Aubière CEDEX, France;

²INRA, UMR 1019, Clermont-Ferrand, France;

³Auvergne Research Center for Human Nutrition (CRNH), 63000 Clermont-Ferrand, France;

⁴Clermont-Ferrand University Hospital, Biostatistics Unit (DRCI), Clermont-Ferrand, France;

⁵University of Strasbourg, CNRS, IPHC UMR 7178, F-67000 Strasbourg, France;

⁶Division of Endocrinology, Metabolism and Diabetes, Anschutz Health & Wellness Center, University of Colorado, Anschutz Medical Campus, Aurora, CO, USA;

⁷Department of Sport Medicine and Functional Explorations, Clermont-Ferrand University Hospital, G. Montpied Hospital, Clermont-Ferrand, France.



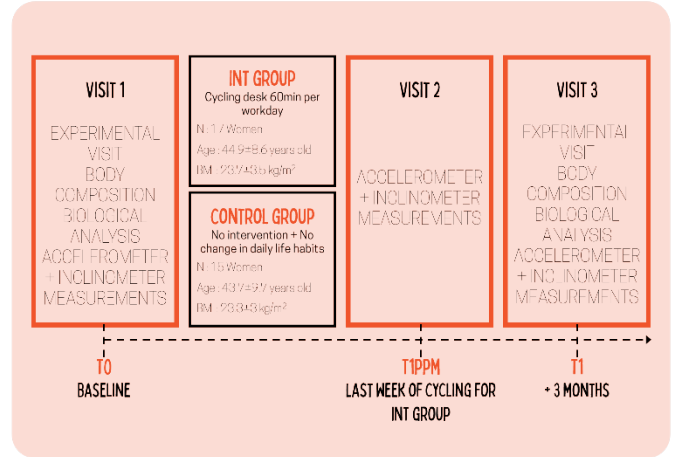
BACKGROUND

The use of desks is widespread in office-based professions causing an increase in daily sitting exposure and its associated adverse health effects¹. Recently, active workstations have been promoted as potential strategies to reduce sedentary time, while increasing physical activity during working time². Although active workstations have demonstrated their efficiency in overweight and obese individuals, the effectiveness of these strategies remains less known in normal-weight individuals³. A portable pedal machine is a small inexpensive device that can be easily implemented under a desk representing a promising strategy for implementation in an ecological environment⁴.

AIM

The present study aimed to evaluate, in a randomized multicentric study, the effects of a cycling workstation intervention (2x30min per working day) for 12 weeks among normal-weight healthy tertiary employees on body composition, cardio-metabolic parameters, physical activity and sedentary time.

METHODS



RESULTS

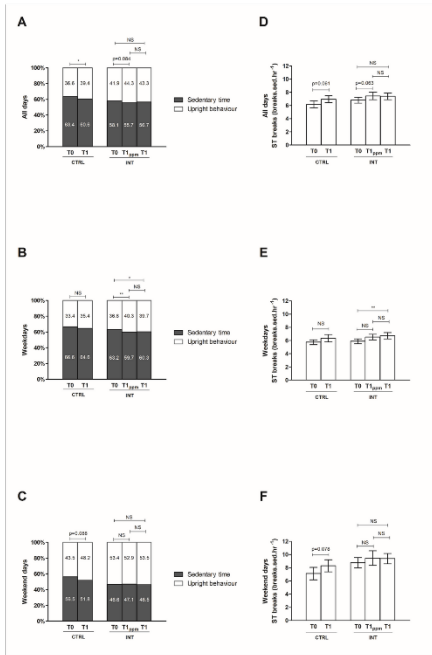


Figure 1. Comparison of sedentary time (ST), upright behaviours (UB) and sedentary breaks (ST breaks) for each group during all, week, weekend days. Comparison of mean \pm SEM ST and UB for all days (A), weekdays (B), weekend days (C) and ST breaks for all days (D), weekdays (E), weekend days (F). T0, baseline, T1ppm, use of the cycling device 2x30 minutes per workday for INT group, T1, after 3 months. Time effect at $p < 0.05$; *, at $p < 0.01$; **, NS, not statistically significant.

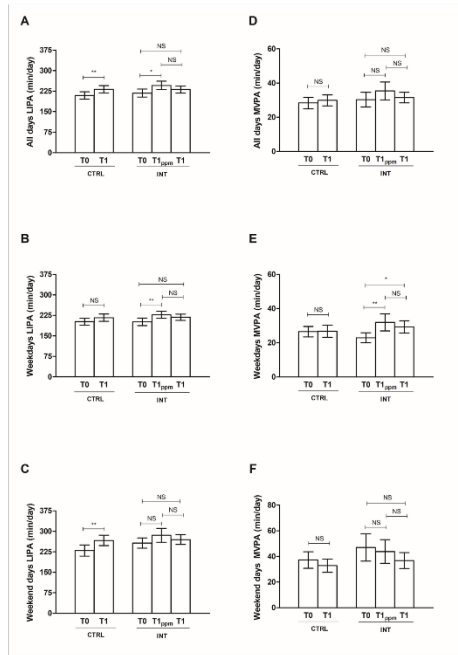


Figure 2. Comparison of light intensity physical activity and moderate-to-vigorous physical activity for each group during all, week, weekend days. Comparison of mean \pm SEM light intensity physical activity for all days (A), weekdays (B), weekend days (C) and moderate-to-vigorous physical activity for all days (D), weekdays (E), weekend days (F). T0, baseline, T1ppm, use of the cycling device 2x30 minutes per workday for INT group, T1, after 3 months. Time effect at $p < 0.05$; *, at $p < 0.01$; **, NS, not statistically significant.

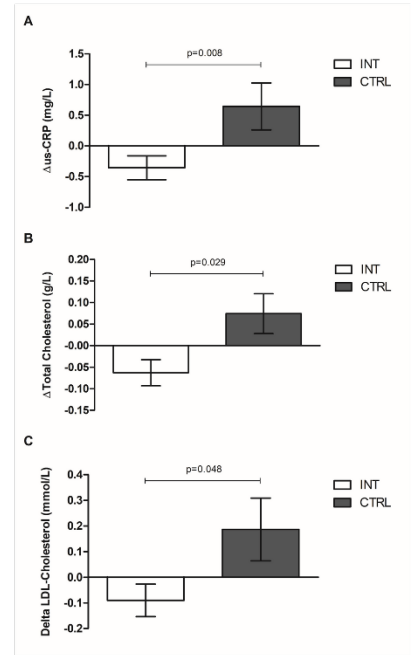


Figure 3. Evolution of us-CRP (A), total cholesterol (B) and LDL-cholesterol (C) for each group. Data are expressed as Δ (delta: value T1 - value T0, considering participants with full data collection at both T0 and T1 only) as mean \pm SEM.

CONCLUSION

Implementation of portable pedal machine in worksite amongst inactive normal-weight healthy women both decreases sedentary time and increases physical activity (T1ppm and T1) along with improvements in cardiometabolic health risk factors. Those findings support the use of such strategies for primary prevention enabling tertiary workers to mitigate the deleterious effects of spending too much time sitting and being inactive.

REFERENCES

- Parry S, Straker L. The contribution of office work to sedentary behaviour associated risk. *BMJ Public Health* 2013; 133(1):796.
- Dupont F, Lager TA, Sjogren M, et al. Health and productivity at work: which active workstation for which benefit? a systematic review. *Group Work Ergonomics* 2019; 6(5):281-294.
- Jozepat, KJ, Kujalaheari TA, Red RER, et al. Use of Active Workstations in Individuals with Overweight or Obesity: A Systematic Review. *Obesity* 2019; 27(3):362-379.
- Van L J, Walshea KA, Marousi NI. Feasibility of a portable pedal exercise machine for reducing sedentary time in the workplace. *Br J Sports Med* 2012; 46(5):430-435.



Review

Effects of Classroom Active Desks on Children and Adolescents' Physical Activity, Sedentary Behavior, Academic Achievements and Overall Health: A Systematic Review

Terry Guirado^{1,2,3,*} , Camille Chambonnière^{1,2,3} , Jean-Philippe Chaput⁴ , Lore Metz^{1,2} , David Thivel^{1,2} and Martine Duclos^{2,3,5,6}

¹ Laboratory of the Metabolic Adaptations to Exercise under Physiological and Pathological Conditions, (AME2P), UE3533, Clermont Auvergne University, 63170 Aubiere, France; Camille.CHAMBONNIERE@uca.fr (C.C.); lore.metz@uca.fr (L.M.); david.thivel@uca.fr (D.T.)

² Auvergne Research Center for Human Nutrition (CRNH), 63000 Clermont-Ferrand, France; mduclos@chu-clermontferrand.fr

³ National Research Institute for Agriculture, Food and Environment (INRAE), 63000 Clermont-Ferrand, France

⁴ Healthy Active Living and Obesity Research Group, Children's Hospital of Eastern Ontario Research Institute, Ottawa, ON K1H 8L1, Canada; jpchaput@cheo.on.ca

⁵ Department of Sport Medicine and Functional Explorations, Clermont-Ferrand University Hospital, G. Montpied Hospital, 63000 Clermont-Ferrand, France

⁶ UFR Médecine, Clermont Auvergne University, BP 10448, 63000 Clermont-Ferrand, France

* Correspondence: terry.guirado@uca.fr; Tel./Fax: +33-473405488



Citation: Guirado, T.; Chambonnière, C.; Chaput, J.-P.; Metz, L.; Thivel, D.; Duclos, M. Effects of Classroom Active Desks on Children and Adolescents' Physical Activity, Sedentary Behavior, Academic Achievements and Overall Health: A Systematic Review. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2021**, *18*, 2828. <https://doi.org/10.3390/ijerph18062828>

Academic Editor: Jitse P. van Dijk

Received: 15 January 2021

Accepted: 2 March 2021

Published: 10 March 2021

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2021 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Abstract: The purpose of this systematic review was to examine the effects of active desks in the school setting on sedentary behavior, physical activity, academic achievements and overall health among children and adolescents aged 5–17 years. A systematic literature search was conducted using five databases until October 2020. Twenty-three studies were included. Studies reported an increase of around 36% in energy expenditure for cycling desks and between 15% and 27.7% for upright active desks. Children increased inhibitory control and selective attention capacity while using cycling desks. A heterogeneous quality of design and of results were observed limiting comparisons and conclusions for each active desk. Despite the lack of strong methodology for the included studies, active desks appear to be a promising intervention in classrooms to improve health-related outcomes in children aged 5–17 years. Due to weak methodology, future studies with stronger study designs and methodology are needed to better inform policy and practice about the role of classroom active desks on health-related outcomes in children and adolescents.

Keywords: academic achievements; active desks; adolescent; children; physical activity; sedentary behavior

1. Introduction

Concerns and research regarding the effects of sedentary behaviors and physical inactivity on overall health have been growing for the last decades, leading nowadays to a better identification of their independent and joint implications [1,2]. While sedentary behaviors is defined as any waking behavior characterized by an energy expenditure ≤ 1.5 metabolic equivalents, while in a sitting, reclining or lying posture [3,4], physical inactivity is typically defined as “the non-achievement of physical activity guidelines” [5]. Both sedentary behaviors and physical inactivity have substantially increased in our societies, with physical inactivity being identified as the main cause for about 1.6 million deaths worldwide [6] and leading to a public health cost of \$53.8 billion per year [7]. Due to their important implication in the risks of all-cause mortality and cardio-metabolic morbidity as well as in some cancer occurrence [8], both sedentary behaviors [9,10] and physical inactivity [11,12] are of public health concern today.

In children and adolescents, it has been found with device-based measurements that daily sitting time takes over 50% of the waking day at 7 years and 75% at 15 years [13]. This high level of sedentariness, combined with the fact that about 80% of children and adolescents are inactive (i.e., not reaching the physical activity recommendations) [14,15], led some scientists to propose the existence of what they called a “Sedentary & Inactive” profile [16]. Not only physical inactivity and sedentary behaviors have been found to be associated with early metabolic and cardiovascular risk in children and adolescents [17–21], they have also been found to be related to a decrease in cognitive performance and academic achievements [22–24].

Knowledge and behaviors developed during childhood have been shown to influence their future behaviors as adults [25]. In particular, children’s physical activity and sedentary behaviors have been shown to not only determine their actual health but also their adolescent and adult behaviors and health [26]. Since children spend at least one third of their waking time in class [27], school appears as an ideal setting to promote health and induce behavioral change [28]. Targeting school time and the school place to promote healthy active behaviors necessitates however to face the highly sedentary nature of the children’s class time. In that context, the literature shows a growing number of experiments trying to implement interventions aimed at breaking and reducing this sedentary time during class [29,30]. The use of active desks in the classroom (e.g., standing desks, sit-to-stand desks, cycling desks, stability balls) has been especially studied [31–34], with studies showing for instance that sit-to-stand desks seem to reduce sedentary time in the classroom [31] or increase energy expenditure with the use of bike desks [34]. These studies are providing some promising results and our aim is to conduct a systematic analysis of these works to have a better understanding of their effects.

Previous reviews have examined the effects of standing desks on children and adolescents [35,36]. Regarding, active desks, while some already systematically reviewed their effects on academic achievement [37] or questioned their use among specific groups (e.g., overweight and obese) [38], no review has specifically studied the impact of classroom active desks on cognitive, academic and overall health-related (physical, metabolic and mental health) outcomes among children and adolescents. Having a global picture on the role of classroom active desks on improving health-related outcomes of children and adolescents is needed to inform policy and practice.

Thus, the objective of the present systematic review was to analyze the existing literature on the implementation of active desk in the school environment and examine their effects on physical activity, sedentary behavior, academic achievements and overall health in children and adolescents aged 5–17 years.

2. Methods

This research is registered in PROSPERO as CRD42020196096. This review was completed in accordance with the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) to identify and collate studies [39].

2.1. Search Strategy

A literature search was conducted for studies from year 1990 to October 2020 using the following electronic bibliographic databases: PubMed, ScienceDirect, ResearchGate, Google Scholar and Medline (Cochrane Library). The search terms included the key words “desk* or workstation* or work station” AND “treadmill OR pedaling OR cycling OR bicycl* OR bik* OR active OR exercise ball* OR swiss ball* OR stability ball* OR dynamic seating OR active sitting OR standing OR stepping OR stand up OR position, standing OR standing position* OR sit-to-stand OR sit stand OR stand/sit OR stand biased OR adjustable furniture OR height adjustable” AND “school* OR class* OR child* OR student* OR academic institution”. To identify articles potentially missed during the literature search, reference lists of candidate articles were reviewed.

2.2. Eligibility Criteria

2.2.1. Inclusion Criteria

Our selection criteria were specified in advance and included the following: published in English peer-reviewed journal and available in full text [1]; randomized controlled design, non-randomized controlled design, non-randomized design, randomized design, cross-over design [2]; included children and adolescents aged 5–17 years, normal-weight, overweight or obese [3]; included active desks in comparison with traditional desks or within-subject [4]; and experiments were conducted in the school classroom [5]. The following outcomes were reported if they were assessed at least at baseline and follow-up: body composition, sedentary behaviors and physical activity, energy expenditure, cognitive and academic performance, fatigue and musculoskeletal pain symptoms, process evaluation, cardiometabolic health and physical fitness. All intervention durations were included.

2.2.2. Exclusion Criteria

Studies were excluded for: (1) non-school-aged participants or mixed groups (e.g., school-aged children and adults); (2) study with mixed intervention (e.g., active desks coupled with active breaks); (3) study where participants already experimented active desks before the study; (4) specific population with health issues; and (5) studies where authors did not reply to our requests for more complete data or full-text.

2.3. Synthesis of Results

Authors have collectively elaborated the structure of the tables based on the different active desks (as described in Table 1). Table 2 presents the included studies as follows: article, study design, school description, sample description, type of active desk, intervention description and outcomes. Tables 3 and 4 report the different outcomes studied.

Table 1. Active desks characteristics and range of price.


Active Desk Type	Description	Range of Price (USD)	Pictures
Upright active desk	Corresponds to standing desk, sit-to-stand desk or stand-biased desk.	150–900	

Table 1. Cont.



Active Desk Type	Description	Range of Price (USD)	Pictures
Cycling desk	Is a stationary bike with a desk enabling individuals to work while cycling	200–900	
Stability ball	Replace the traditional chair with a stability ball on individual desk	10–100	

Table 2. Participants’ characteristics of included studies for the systematic review.

Author (Country)	Study Design	School Description	Sample Description	Type of Active Desk	Intervention Description	Outcomes
Upright active desk						
Benden et al. (2011) (Texas, USA) [40]	RCT *	1 E	N = 58 Age: NR Sex: NR Grade: 1 BMI: NR Race/ethnic: NR Total study groups: 4 classrooms (2 IG and 2 CG) IG (N = 31) CG (N = 27)	Upright active desks + stools	Treatment length: 9 months (2009–2010 school year) Active desks: individuals Active desks usage time per week: all the school day	EE Body composition (body mass, BMI, body fat percentage) Method: BodyBugg Armband
Benden et al. (2012) (Texas, USA) [41]	NRT	1 E	N = 9 Age range: 6–8 y Grade: 1st grade Sex: girls 33% BMI: 19.5 ± 4.3 kg·m ² Race/ethnic: NR	Upright active desks + stools	Treatment length: 5 months Active desks: individuals They used traditional desk on fall semester before swapping stand-biased for spring semester Active desks usage time per week: own volition	Body composition (weight, BMI) EE Step count Methods: Bodybugg Armband A digital scale
Benden et al. (2014) (Texas, USA) [42]	RCT	1 E	N = 326 Mean age: 8.5 y Sex: girls 51.23% Grade: 2, 3, 4 Race/ethnic: White (70.55%), Black (10.12%), Hispanic (10.74%), Asian (7.98%), Native American (0.61%) Total study groups: 8 classrooms (4 IG and 4 CG) Interventional group (N = 202) BMI IG: 17.44 ± 3.26 kg·m ² Overweight and obesity IG: 16% overweight and 13% obesity Control group (N = 124) BMI CG: 17.73 ± 3 kg·m ² Overweight and obesity CG: 5% with overweight and 16% with obesity	Upright active desks + stools	Treatment length: 9 months (2012–2013 school year) Active desks: individuals Active desks usage time per week: all the school day	Body composition (BMI, body mass) Step count EE Method: Sensewear armband

Table 2. Cont.

Author (Country)	Study Design	School Description	Sample Description	Type of Active Desk	Intervention Description	Outcomes
Blake et al. (2012) (Texas, USA) [43]	NRCT *	1 E	N = NR Age range: 6–7 y Grade: 1 st Sex: NR BMI: NR Race/ethnic: NR Total study groups: 5 groups (2 IG, 2 CG, 1 within-group comparisons)	Upright active desks + stools	Treatment length: 1 year Active desks: individuals Active desks usage per week: own volition	Sitting and standing time EE On-task behavior (concentration, engagement) Process evaluation Methods: BodyBugg armband Interviews
Clemes et al. (2016) (Melbourne, Australia **) [31]	RCT *	1 E	N = 44 Mean age: 11.6 ± 0.5 y Grade: 6 Sex: girls 56.8% BMI: 19.4 ± 3.3 kg·m ² Race/ethnic: NR Total study groups: 2 classrooms (1IG and 1CG) IG (N = 24) CG (N = 20)	Upright active desks	Treatment length: 10 weeks (September–November 2013) Active desks: individuals Active desks usage time per week: children were encouraged to stand at least one 30-min class per day	Sitting, standing and stepping time Step counts Method: Accelerometers (activPAL)
Clemes et al. (2016) (Bradford, England **) [31]	NRCT *	E	N = 54 Mean age: 10.0 ± 0.3 y Age range: 9–10 y Grade: 5 Sex: NR BMI: 18.3 ± 3.2 kg/m ² Race/ethnic: NR Total study groups: IG (N = 27) CG (N = 27)	Upright active desks	Treatment length: 9 weeks (January–April 2014) Active desks: 6 sit-to-stand desks Active desks usage time per weeks: once a day for at least 1 h	Sitting, standing and stepping time Step counts Method: Accelerometers (activPAL)
Clemes et al. (2020) (Bradford, England) [44]	RCT *	8 E	N = 176 Mean age: 9.3 ± 0.5 y Age range: 9–10 y Sex: girls 44.3% Grade: 4–5 Race/ethnic: White British (35.8%), South Asian (48.3%), Other (15.9%) Total study groups: 8 classrooms (4 IG and 4 CG) Interventional group (N = 86) mean age: 9.3 ± 0.4 y BMI: 18.2 ± 3.3 kg·m ² Control group (N = 90) mean age: 9.3 ± 0.5 y BMI: 18.2 ± 4.0 kg·m ²	Upright active desks + stools	Treatment length: 4–5 months (February–July 2017) Active desks: 6 active desks replaced 3 standard desks in IG Active desks usage time per week: at least 1 h/day	Process evaluation PA (MVPA, LPA) Sitting, standing and stepping time Blood pressure Body composition (BMI, body mass) On-task behavior (concentration, engagement) Musculoskeletal discomfort Methods: Inclinometer (ActivPAL3) Bio-impedance (Tanita DC-360S) Accelerometer (ActiGraph GT3x +) Interview, focus groups Questionnaires Semi-automated recorder (Omron HEM-907)
Dornhecker et al. (2015) [45]	NRCT	3 E	N = 282 Age range: 7–10 y Grade: 2, 3, 4 Sex: girls 53.18% BMI: NR Race/ethnic: Black (12.68%), Hispanic (10.49%), Asian (7.62%), White (69.22%) Total study groups: 2 groups (1 IG and 1 CG) Interventional group (N = 158) Grade 2 (35.44%), Grade 3 (45.57%), Grade 4 (18.99%) Control group (N = 124) Grade 2 (43.55%), Grade 3 (33.87%), Grade 4 (22.58%)	Upright active desks + stools	Treatment length: 5 months Active desks: NR Active desks usage per week: NR	On-task behavior (concentration, engagement) Method: Behavioral Observations of Students in Schools (BOSS)

Table 2. Cont.

Author (Country)	Study Design	School Description	Sample Description	Type of Active Desk	Intervention Description	Outcomes
Ee et al. (2018) (Perth, Australia) [32]	Cross-over	1 E	N = 47 Age range: 10–11 y Grade: 4 Sex: boys 100% BMI: NR Race/ethnic: NR	Upright active desks	Treatment length: Academic year (2016–2017) Active desks: individuals They used 21 school day a standing desk, then they swapped during 21 school day with traditional desk. This swapping continued throughout the school year Active desks usage time per week: all the school day.	Standing and sitting time Sedentary time PA (MVPA, LPA) Musculoskeletal discomfort Methods: Accelerometers (ActiGraph GT9X Link) Nordic Musculoskeletal Questionnaire
Kidokoro et al. (2019) (Nagano, Japan) [46]	NRCT	1E	N = 38 Mean age: 11.3 ± 0.5 y Age range: 11–12 y Grade: 6 Sex: girls 42% BMI: IG: 18.3 ± 3.1 CG: 17.4 ± 3.3 Race/ethnic: NR Total study groups: 2 groups (1 IG and 1 CG) Interventional group (N = 18) Mean age: 11.3 ± 0.5 y BMI: 18.3 ± 3 kg·m ² Control group (N = 20) Mean age: 11.3 ± 0.5 y BMI: 17.4 ± 3.3 kg·m ²	Upright active desk	Treatment length: 6 months (July–December 2018) Active desks: individuals Active desks usage per week: own volition	PA (LPA, MVPA) Sedentary time Process evaluation Methods: Accelerometers (ActiGraph) Questionnaire (Likert-type scale)
Koepp et al. (2012) (Idaho, USA) [47]	NRT	1 E	N = 8 Mean Age: 11.3 ± 0.5 y Grade: 6 Sex: girls 37.5% BMI: 19.4 ± 5.3 kg·m ² Race/ethnic: NR	Upright active desk + stools	Treatment length: 5 months (January–June 2010) Active desks: individuals Active desk usage time week: own volition	Step count Body composition (BMI, weight) Musculoskeletal discomfort On-task behavior (concentration, engagement) Methods: Podometers Observations
Mehta et al. (2015) (Texas, USA) [48]	NRT *	1 S	N = 27 Mean age: 14.30 ± 0.61 y Grade: NR Sex: girls 70.6% BMI: 23.27 ± 4.44 kg·m ² Race/ethnic: White (41%), Hispanic (52%), Black (4%), Asian (4%)	Upright active desks	Treatment length: academic year, 27 weeks of continued exposure Active desks: individuals Active desks usage time per week: own volition	Neurocognitive function Prefrontal Cortex (PFC) Activity Methods: The Psychology Experiment Building Language Wisconsin Card Sorting Task (WCST) Flanker Task (FT) Memory Span Task (MST) Trail-Making Task (TMT) Stroop Color Word Task (SCWT) Functional near infrared spectroscopy (fNIRS)
Parry et al. (2019) (Perth, Western Australia) [49]	Cross-over	E	N = 23 Age range: 9–11 y Grade: 4 Sex: boys 100% BMI: NR Race/ethnic: NR	Upright active desk	Treatment length: academic year (2017) Active desks: individuals They used 21 school day a standing desk, then they swapped during 21 school day with traditional desk. This swapping continued throughout the school year Active desks usage time per week: all the school day	Sitting and standing time Sedentary time and PA (MVPA, LPA) Musculoskeletal discomfort Methods: Accelerometers (Actigraph GT9X Link) Modified version of the Nordic Musculoskeletal Questionnaire Focus groups, interview
Pickens et al. (2016) (Texas, USA) [50]	RT	1 S	N = 18 Age: NR Grade: NR Sex: girls 72% BMI: NR Race/ethnic: Hispanic (66%), White (30%)	Upright active desks + stools	Treatment length: 3 months Active desks: individuals Active desks usage time per week: NR	Step count Sitting, standing time Method: Inclinometer (ActivPal3™)

Table 2. Cont.

Author (Country)	Study Design	School Description	Sample Description	Type of Active Desk	Intervention Description	Outcomes
Sherry et al. (2020) (Bradford, UK) [51]	CT *	2 E	N = 49 Age range: 9–10 y Grade: 5 Sex: 53.8% BMI: IG: underweight (9.1%), normal (63.6%), overweight (13.6%), obese (18.2%) CG: underweight (3.9%), normal (61.5%), overweight (11.5%), obese (23.1) Race/ethnic: South Asian (69.4%), White British (26.5%), Other (4%) Total study groups: 2 groups (1 IG and 1 CG) IG (N = 27) CG (N = 22)	Upright active desks + stools	Treatment length: 8 months (November 2015 to July 2016) Active desks: individuals Active desks usage time per week: at least 20 min per classroom day	Musculoskeletal discomfort Cognitive function Process evaluation Sitting, standing, stepping time Methods: Inclinometer (ActivPAL) Questionnaires Stroop test Corsi Block Tapping test Interviews, Observations
Sprengeler et al. (2020) (Ludwigsburg, Germany) [52]	Cross-over	1 E	N = 52 Mean age: 8.4 ± 0.7 y Age range: 8–10 y Grade: 3 Sex: 61.5% BMI: normal weight (78.9%), overweight/obese (21.1%) Race/ethnic: NR	Upright active desks + stools	Treatment length: 3 months (January–March 2018) Active desks: individuals. 32 desks were equally distributed among the three classes Active desks usage time per week: the group 1 used active desks during 3 weeks (February, T1) and after were assigned to the traditional working desks until March (T2). The group 2 begin to used traditional desks until February (T1) and after used active desks (T2). A washout period of 2 weeks is present between T1 and T2	Standing, and sitting time Methods: Inclinometer (ActivPAL)
Sudholz et al. (2016) (Melbourne, Australia) [53]	NRCT *	1 S	N = 41 Mean age: 13.7 ± 1.4 y Age range: 12–16 y Grade: 7, 9, 10 Sex: girls 49% BMI: NR Race/ethnic: NR Total study groups: 2 groups (1 IG and 1 CG) IG (N = 27) CG (N = 14)	Upright active desks + stools	Treatment length: 7 weeks (August to October 2014) Active desks: individuals Active desks usage time per week: own volition	Sitting and standing time/bouts Sedentary time PA (LPA) Feasibility/process evaluation Musculoskeletal discomfort Methods: Accelerometer (ActiGraph3X) Inclinometer (ActivPAL3C) Questionnaire
Swartz et al. (2019) (USA) [54]	Cross-over	1 E	N = 99 Mean age: 10.2 ± 1.4 y Grade: 3, 4, 6 Grade 3 (N = 22) Grade 4 (N = 36) Grade 6 (N = 41) Sex: girls 42.9% BMI: Grade 3: 55th BMI percentile Grade 4: 43rd BMI percentile Grade 6: 61st BMI percentile Race/ethnic: White (69%), black (3%), Asian (8%), mixed race (7%), Hispanic (8%)	Upright active desks + stools	Treatment length: 9 weeks Active desks: individuals. Half of the students used a stand-biased desk and half used a sitting desk. The Stand-Sit group used a stand-biased desk for 9 weeks (September to December) and sitting desk for 9 weeks (January to April). The Sit-Stand group used a sitting desk for 9 weeks (September to December) and stand-biased for 9 weeks (January to April). Active desks usage time per week: NR	Sedentary time PA (LPA, MVPA) Method: Accelerometer (ActigraphGT3X+ or wGT3X-BT)
Verloigne et al. (2018) (Flanders, Belgium) [55]	RCT	10 E and 9 S	N = 343 Age range: 10–16 y Grade: 5, 10 Sex: girls 54.5% BMI: NR Race/ethnic: NR Total study groups: IG: 5 primary, 5 secondary CG: 5 primary 4 secondary	Upright active desks	Treatment length: 6 months (January–June 2017) Active desks: 3 standing desks were placed in each intervention class Recommendations of active desks usage time per week: rotations every half lesson hour (25 mn)	Process evaluation Sitting, standing and stepping time Methods: Inclinometer (ActivPAL) Focus groups (children) and interviews (teachers) The Paediatric Quality of Life Inventory (PEDS-QL) EuroQol 5dimension Youth (EQ-5D-Y)

Table 2. Cont.

Author (Country)	Study Design	School Description	Sample Description	Type of Active Desk	Intervention Description	Outcomes
Wendel et al. (2016) (Texas, USA) [56]	RCT	3 E	N = 193 Mean age: 8.8 y Grade: 3, 4 Sex: girls 50.3% BMI: normal (79.3%), overweight (11.9%), obese (8.8%) Race/ethnicity: White (74.6%), Asian (10.4%), Hispanic (7.8%), Afro-American (7.3%) Total study groups: 4 groups (IG, CG, CG-IG, IG-CG) IG (N = 62) CG (N = 49) IG-CG (N = 59) CG-IG (N = 23)	Upright active desks + stools	Treatment length: 2 years (2011–2013) Active desks: individuals Active desks usage time per week: NR	Body composition (BMI)
Wick et al. (2018) (Swiss) [57]	NRCT *	2 E	N = 38 Age range: 10–12 y Grade: NR Sex: girls 42% Race/ethnicity: NR Total study group: 2 groups (1 IG and 1 CG) Interventional group (N = 19) Mean age: 10.8 ± 0.6 y BMI: 18.0 ± 2.8 kg·m ² Control group (N = 19) Mean age: 10.8 ± 0.8 BMI: 18.8 ± 4.3 kg·m ²	Upright active desks	Treatment length: 11 weeks (August–December 2014) Active desks: individuals Active desks usage per week: teachers encouraged students to work for about 60 min a day at the active desk	Sitting, standing and walking time Cognitive function Methods: Accelerometers (ActiGraph) Observations Self-reporting Digit span task test Eriksen flanker test
Cycling desk						
Fedewa et al. (2017) (South-eastern region, USA) [30]	RCT *	1 S	N = 17 Age range: 14–18 y Grade: 8–12 Sex: NR BMI: NR Race/ethnicity: NR Total study groups: 6 classrooms (3 IG and 3 CG) IG (N = 11) CG (N = 6)	Bike desks	Treatment length: academic year Active desks: 4 FitDesks per IG classroom. Active desks usage time per week: access to FitDesks for the entire day with the exception of lunch, and extracurricular courses including physical education, computer lab, and art.	Sedentary time PA (MVPA, LPA, vector magnitude) Process evaluation EE Methods: Accelerometers (ActiGraph GT3X) Interviews Questionnaire
Ruiter et al. (2019) (Germany) [58]	NRT	2 E	N = 38 Age: 12.50 ± 0.62 y Grade: 8 Sex: girls 57% BMI: NR Race/ethnicity: NR	Bike desks	Treatment length: 2 weeks Active desks: individuals. Active desks usage time per week: they used bike desks only for the cognitive function's assessment. All 2 sessions (week 1, week 2) occurred at the same time on separate days with a 7-day interval between tests.	Cognitive capacities Methods: Eriksen Flanker Task Digit Span Task Visual pattern Task Questionnaire
Torbeyns et al. (2017) (Ninove, Belgium) [34]	RCT	1 S	N = 44 Mean age: 14.3 ± 0.6 y Grade: 9–10 Sex: girls 34% Race/ethnicity: NR Total study groups: 2 classroom (1 IG and 1 CG) Interventional group (N = 21) BMI: 19.7 ± 3.5 kg·m ² Control group (N = 23) BMI CG: 20.1 ± 3.7 kg·m ²	Bike desks	Treatment length: 22 weeks, 5 months (October–February 2015) Active desks: individuals; students adjust the cycling intensity to their preference Active desks usage time per week: IG used a bike desk for 4 class hours/week	PA Body composition (BMI, body mass, body fat percentage, waist circumference) EE Physical fitness Cognitive capacities On-task behavior (concentration, engagement) Methods: SenseWear mini armband The Dutch (Native speech of the participants) version of the Rey Auditory Verbal Learning Test (RAVLT) The Stroop test The Rosvold Continuous Performance Test (RCPT) Continuous electroencephalography (EEG) LOSO attention questionnaire 'Dutch' and mathematics test

Table 2. Cont.

Author (Country)	Study Design	School Description	Sample Description	Type of Active Desk	Intervention Description	Outcomes
Stability ball						
Erwin et al. (2016) (USA) [33]	RCT	1 E	N = 43 Age: NR Grade: 4 Sex: girls 32.6% BMI: NR Race/ethnicity: White (76%), African American (11%), Asian (7%), Hispanic (3%), other (3%) Total study groups: 2 classrooms (1 IG and 1 CG) IG (N = 23) CG (N = 21)	Stability balls	Treatment length: 12 weeks Active desks: individuals Active desks usage time per week: all the school day	On-task behavior (concentration, engagement) PA (step count, horizontal et vertical accelerometers count) Methods: Accelerometer (ActiGraph) Momentary Time Sampling (MTS)
Fedewa et al. (2015) (USA) [59]	RCT	1 E	N = 67 Age: NR Grade: 2 Sex: girls 48% BMI: NR Race/ethnicity: NR Total study groups: 4 classrooms (2 IG and 2 CG) IG (N = 36) CG (N = 31)	Stability balls	Treatment length: 9 months Active desks: individuals Active desks usage time per week: all the school day	Academic performance Discipline referral levels On-task behavior (concentration, engagement) Methods: Measures of Academic Progress “clip downs” (a school wide disciplinary system) Momentary Time Sampling (MTS)

NR: Not Reported; USA: United States of America; RCT: Randomized Controlled Trial; RT: Randomized Trial; NRCT: Non-Randomized Controlled Trial; NRT: Non-Randomized Trial; *: Pilot Study; ** Studies in the same published article; E: Elementary; S: Secondary; IG: Intervention Group; CG: Control Group; CG-IG: switch from a control to an intervention condition; IG-CG: switch from an intervention to a control condition; EE: Energy Expenditure; PA: Physical Activity; BMI: Body Mass Index; LPA: Light Physical Activity; MVPA: Moderate-to-Vigorous Physical Activity.

Table 3. Results of body composition, sedentary behaviors, physical activity, energy expenditure, physical capacity and cardiometabolic health in the included studies for the systematic review.

Author (Year)	Body Composition	Sedentary Behaviors and Physical Activity	Energy Expenditure	Physical Capacity and Cardiometabolic Health
Upright active desk				
Benden et al. (2011) [40]	NR	N/A	EE: IG > CG: +0.182 ± 0.080 kcal·min ⁻¹ (p = 0.022) Students in the intervention group IG burned 17% more calories than did those in the control group Overweight/obese EE: IG > CG (IG: 1.56 kcal·min ⁻¹ ; CG: 1.18 kcal·min ⁻¹)	N/A
Benden et al. (2012) [41]	Weight: fall < spring fall vs. spring: fall: 27 ± 7.9 kg vs. spring: 29.5 ± 8.9 kg BMI: fall < spring fall vs. spring: fall: 19.5 ± 4.3 kg·m ² vs. spring: 19.8 ± 4.3 kg·m ²	Steps: Steps within-subjects spring > fall: +17.6% Mean number of steps spring > fall: +836 steps	Spring: >fall: +25.7%: +0.29 kcal·min ⁻¹ (p < 0.0001) Day-to-day variation: Lower EE day 3 and 4 (p < 0.0001)	N/A
Benden et al. (2014) [42]	BMI: no significant	Step counts: Fall semester: IG > CG: +1.61 steps/min (p = 0.0002) Spring semester: IG > CG (+0.12 steps/min): no significant (p = 0.8193) Normal vs. overweight and obese: overweight: 0.78 steps/min (p < 0.001); obese: 0.62 steps/min (p = 0.0059)	EE: Fall semester: increase IG > CG: +0.16 kcal·min ⁻¹ (p < 0.001) Spring semester: increase IG > CG: +0.08 kcal·min ⁻¹ (p = 0.0092) Normal vs. overweight and obese: overweight: 0.24 kcal·min ⁻¹ (p < 0.001); obese: 0.40 kcal·min ⁻¹ (p < 0.001)	N/A

Table 3. Cont.

Author (Year)	Body Composition	Sedentary Behaviors and Physical Activity	Energy Expenditure	Physical Capacity and Cardiometabolic Health
Blake et al. (2012) [43]	N/A	Standing and sitting time: IG: 66% standing at their desks as opposed to sitting	EE: IG > CG: +17% burned calories	N/A
Clemes et al. (2016) (Melbourne, Australia) [31]	N/A	<p>During class:</p> <p>Sitting time: IG pre > post: pre vs. post: pre: 67.9 ± 8.4% vs. post: 58.5 ± 8.4% ($p < 0.001$)</p> <p>Standing time: IG pre < post: pre vs. post: pre: 18.1 ± 4.5 vs. post: 26.4 ± 7.5% ($p < 0.001$)</p> <p>Stepping time: no significant</p> <p>Step counts: no significant</p> <p>Sitting time (%) IG < CG ($p = 0.03$)</p> <p>Standing time (%) IG > CG ($p < 0.01$)</p> <p>Whole weekday:</p> <p>Standing time IG pre < post: pre vs. post: pre: 21.3 ± 6.1% vs. post: 25.5 ± 5.5% ($p < 0.01$)</p> <p>Sitting time: no significant</p> <p>Stepping time: no significant</p>	N/A	N/A
Clemes et al. (2016) (Bradford, England*) [31]	N/A	<p>During class:</p> <p>Sitting time IG pre > post: IG pre vs. post: pre: 71.8 ± 10.6% vs. post: 62 ± 15.8% ($p = 0.03$)</p> <p>Standing time: no significant</p> <p>Stepping time IG pre < post: IG pre vs. post: pre: 8.2 ± 2.8% vs. post: 14.5 ± 7.9% ($p = 0.002$)</p> <p>Step counts IG pre < post: IG pre vs. post: pre: 1654 ± 528.9 vs. post: 3024 ± 2195 ($p = 0.013$)</p> <p>Difference IG and CG: no significant</p> <p>Whole weekday:</p> <p>Sitting, standing and stepping time: no significant</p>	N/A	N/A
Clemes et al. (2020) [44]	<p>Body mass: IG < CG</p> <p>IG vs. CG: IG: 37.7 ± 8.7 kg vs. CG: 39.2 ± 10.6 kg</p> <p>Percent body fat:</p> <p>Girls: IG > CG</p> <p>IG vs. CG: IG: 25 ± 8.3% vs. CG: 23.7 ± 9.1%</p> <p>Boys: IG < CG</p> <p>IG vs. CG: IG: 19 ± 6.6%; CG: 20.7 ± 8.9%</p> <p>BMI: IG > CG</p> <p>IG vs. CG: IG: 18.8 ± 3.5 kg·m² vs. CG: 18.7 ± 4.1 kg/m²</p>	<p>↓ Sitting time IG (−30.6 min/day)</p> <p>Sitting time: IG < CG</p> <p>IG vs. CG: IG: 472 ± 73.5 min/day vs. CG: 504.4 ± 94 min/day</p> <p>Standing time: IG > CG</p> <p>IG vs. CG: IG: 197.1 ± 49.4 min/day vs. CG: 176.5 ± 45.7 min/day</p> <p>Stepping time: IG > CG</p> <p>IG vs. CG: IG: 166.4 ± 41.9 min/day vs. CG: 150 ± 42.1 min/day</p> <p>LPA: IG post > pre</p> <p>post vs. pre: post: 392.7 ± 70.8 min/day vs. pre: 383.5 ± 68.6 min/day</p> <p>MVPA: IG post > pre</p> <p>post vs. pre: post: 45.7 ± 24.7 min/day vs. pre: 37.4 ± 17.9 min/day</p>	N/A	<p>Systolic blood pressure: IG > CG</p> <p>IG vs. CG: IG: 110.5 ± 11.2 mmHg vs. CG: 107.3 ± 11.7 mmHg</p> <p>Diastolic blood pressure: IG > CG</p> <p>IG vs. CG: IG: 68.4 ± 9.7 mmHg vs. CG: 66.3 ± 9.5 mmHg</p>
Ee et al. (2018) [32]	N/A	<p>School standing and sitting:</p> <p>IG and CG: sitting time (61%) > standing time (19%)</p> <p>Standing time: IG > CG</p> <p>IG vs. CG: IG: 84 ± 4 min/day vs. CG: 63 ± 3 min/day ($p < 0.001$)</p> <p>Sitting time: IG < CG</p> <p>IG vs. CG: IG: 208 ± 6 min/day vs. CG: 231 ± 5 min/day ($p = 0.003$)</p> <p>Whole Day Physical Activity and Sedentary Time</p> <p>Sedentary time: no significant:</p> <p>IG vs. CG: IG: 674 ± 23 min/day vs. CG: 686 ± 26 min/day</p> <p>LPA: no significant</p> <p>IG vs. CG: IG: 241 ± 7 min/day vs. CG: 256 ± 6 min/day</p> <p>MVPA: no significant</p> <p>Moderate: IG vs. CG: IG: 39 ± 2 min/day vs. CG: 42 ± 2 min/day</p> <p>Vigorous: IG vs. CG: IG: 18 ± 1 min/day vs. CG: 20 ± 1 min/day</p>	N/A	N/A

Table 3. Cont.

Author (Year)	Body Composition	Sedentary Behaviors and Physical Activity	Energy Expenditure	Physical Capacity and Cardiometabolic Health
Kidokoro et al. (2019) [46]	N/A	During classroom Sedentary behaviors: IG < CG IG vs. CG: IG: 59% vs. CG: 67% ($p = 0.035$) SB: IG post < pre: -18.3 min/day LPA: no significant MVPA: IG > CG IG vs. CG: IG: 12.5% vs. CG: 8.3% ($p = 0.005$) MVPA: IG pre < post: $+19.9$ min/day	N/A	N/A
Koepf et al. (2012) [47]	Weight: pre < post: pre vs. post: pre: 41.4 kg vs. 44.5 kg ($p = 0.0007$) BMI: pre and post: no significant pre vs. post: pre: 19.4 ± 5.3 kg/m ² vs. post: 19.3 ± 5.2 kg.m ² ($p < 0.3416$)	Step counts: no significant pre vs. post: pre 1886 ± 809 steps vs. post: 2248 ± 990 steps ($p > 0.1127$)	N/A	N/A
Parry et al. (2019) [49]	N/A	For IG vs. CG: Standing time: > at the start of the school year ($+17$ min/school day) and at the end ($+26$ min/school day) Sitting time: < at the start of the school year (-17 min/school days) and at the end (-40 min/school day) Standing and sitting time over time: IG and CG: no significant ($p = 0.062$) Physical activity and sedentary time: no significant	N/A	N/A
Pickens et al. (2016) [50]	N/A	Sitting time: pre > post pre vs. post: pre: 1032.4 min vs. post: 857.6 min ($p < 0.0001$) Standing time: pre < post pre vs. post: pre: 203.7 min vs. post: 353 min ($p < 0.001$) Steps: pre < post pre vs. post: pre: 6611.6 vs. post: 8898.4 ($p = 0.0619$)	N/A	N/A
Sherry et al. (2020) [51]	N/A	During class time Sitting time: IG < CG IG vs. CG: IG: $52.4 \pm 21.9\%$ vs. CG: $72.1 \pm 6.6\%$ ($p = 0.001$) Standing time: IG > CG IG vs. CG: IG: $35.6 \pm 18.1\%$ vs. CG: $17.6 \pm 9.0\%$ ($p = 0.001$) Stepping time: IG > CG IG vs. CG: IG: $12.0 \pm 4.0\%$ vs. CG: $11.0 \pm 2.7\%$ ($p = 0.035$) Sit-to-stand transitions: IG > CG IG vs. CG: IG: 10.7 ± 2.3 p/h vs. CG: 5.6 ± 2.2 p/h ($p < 0.001$) Behavior after school: no significant Full weekday Sitting time: IG < CG IG vs. CG: IG: $59.1 \pm 10.3\%$ vs. CG: $63.5 \pm 9.7\%$ ($p = 0.042$)	N/A	N/A
Sprengeler et al. (2020) [52]	N/A	During lessons: Sitting time: G1: pre > mid: -13.1% G2: pre > mid: -9.78% Standing time: G1: pre < mid: 11.6% G2: pre < mid: 8.63% During school breaks: Sitting: G1: pre > mid: -10.3% , pre > post: -11.8% G2: pre > mid: -11.8% , pre > post: -8.59% Standing: G1: pre < mid: 6.20% G2: pre < mid: 7.82% , pre < post: 8.08%	N/A	N/A

Table 3. Cont.

Author (Year)	Body Composition	Sedentary Behaviors and Physical Activity	Energy Expenditure	Physical Capacity and Cardiometabolic Health
Swartz et al. (2019) [54]	N/A	<p>During classroom</p> <p>Sedentary and active time post: IG + CG: ↑ sedentary time ($p < 0.001$) ↓ active ($p < 0.001$)</p> <p>Sedentary behavior: IG pre-post (+2.4%) < CG pre-post (+6.5%) ($p = 0.038$)</p> <p>LPA: time I: no significant ($p = 0.314$)</p> <p>MVPA: during classrooms IG pre-post (−0.7%) < CG pre-post (−5.0%) ($p = 0.001$)</p> <p>Predictive outcomes</p> <p>Sedentary behavior: students with high sedentary time at baseline have more finals effects ($p = 0.029$)</p> <p>LPA: IG and CG: no significant ($p = 0.773$)</p> <p>MVPA: students with high sedentary time at baseline have more finals effects ($p < 0.0001$)</p>	N/A	N/A
Verloigne et al. (2018) [55]	N/A	<p>(Questionnaire data)</p> <p>Primary school</p> <p>Self-efficacy to break up sitting time: IG pre < mid</p> <p>pre vs. mid: 3.2 ± 0.2 vs. 3.4 ± 0.2 (beta = 0.188)</p> <p>Habit of breaking up sitting time: CG pre < post</p> <p>pre vs. post: 3.6 ± 0.2 vs. 3.4 ± 0.2 (beta = 0.467)</p> <p>Secondary school:</p> <p>↓ Sitting time: IG < CG pre-mid test, beta = 0.058</p> <p>IG pre vs. mid: 275.8 ± 11.4 min/day vs. 366.5 ± 11.4 min/day</p> <p>CG pre vs. mid: 362.2 ± 12.5 min/day vs. 314.7 ± 12.5 min/day</p> <p>Breaking up sitting time: IG pre > mid</p> <p>pre vs. mid: 3.7 ± 0.1 vs. 3.5 ± 0.1 (beta = −0.456) (ActivPAL)</p> <p>Primary school</p> <p>Sitting time: during school hours: IG pre > mid</p> <p>pre vs. mid: 243.8 ± 8.9 min vs. 217.9 ± 8.9 min (beta = −37.404)</p> <p>Standing time: during schools hours/entire school day: IG pre < post</p> <p>school hours: pre vs. mid: 105.6 ± 7.5 min vs. 131.2 ± 7.5 min, beta = 34.148</p> <p>entire school day: pre vs. mid: 195.1 ± 11.1 min vs. 220.5 ± 11.1 min (beta = 34.464)</p> <p>Stepping time: during entire school day: IG pre > mid: −7 min</p> <p>pre vs. mid: 141.5 ± 8.3 min vs. 134.1 ± 8.3 min (beta = −18.796)</p> <p>Sitting time: during school hours: IG ↓ (−26 min) vs. CG ↑ (+12 min)</p> <p>Time spent in sitting bouts during school hours: IG ↓ (−19 min) vs. CG ↑ (+11 min)</p> <p>Time spent in sitting bouts across the whole school day: IG ↓ (−27 min) vs. CG ↑ (+18 min)</p> <p>Standing time: during school hours: ↑ IG (+26 min) vs. CG ↓ (~10 min)</p> <p>Time spent in standing bouts during school hours: ↑ IG (+29 min) vs. CG ↓ (~10 min)</p> <p>Time spent in standing bouts across the whole school day: ↑ IG (+25 min) vs. CG ↓ (~10 min)</p> <p>Secondary school:</p> <p>Number of sit-to-stand transition: IG pre > mid</p> <p>pre vs. mid: 24.7 ± 1.8 vs. 21.7 ± 1.9 (beta = −5.034)</p>	N/A	N/A

Table 3. Cont.

Author (Year)	Body Composition	Sedentary Behaviors and Physical Activity	Energy Expenditure	Physical Capacity and Cardiometabolic Health
Wendel et al. (2016) [56]	BMI IG < CG IG vs. CG ($p = 0.037$) BMI IG and CG-IG/IG-CG: no significant	N/A	N/A	N/A
Wick et al. (2018) [57]	N/A	Sitting time: IG < CG IG vs. CG: IG: 172.1 ± 19.7 min vs. CG: 184.9 ± 13.7 min ($p = 0.03$) Standing time: IG > CG IG vs. CG: IG: 60.5 ± 15.1 min vs. CG: 47.1 ± 11.6 min ($p = 0.0004$) Walking time: no significant IG vs. CG: IG: 19.9 ± 6.3 min vs. CG: 18.9 ± 4.4 min ($p = 0.57$)	N/A	N/A
Cycling desk				
Fedewa et al. (2017) [30]	N/A	Sedentary time: IG < CG: IG vs. CG time 1: IG: 116.3 ± 53.9 min/day; CG: 58.6 ± 10.8 min/day IG vs. CG time 2: IG: 79.2 ± 52.1 min/day vs. CG: 114.5 ± 18.7 min/day LPA: IG > CG IG vs. CG time 1: IG: 19.4 ± 9.2 min/day vs. CG: 6.7 ± 3.0 min/day IG vs. CG time 3: IG: 24.8 min/day vs. CG: 10.2 ± 6.4 min/day MVPA: IG > CG IG vs. CG time 1: IG: 35.6 ± 19.1 min/day; CG: 15.6 ± 6.8 min/day IG vs. CG time 3: IG: 43.0 min/day vs. CG: 30.6 ± 13.2 min/day Vector magnitude: IG > CG IG vs. CG time 1: IG: $152,394 \pm 83,288$ ct/min; CG: $65,908 \pm 34,085$ ct/min IG vs. CG time 3: IG: $176,119$ ct/min vs. CG: $111,429 \pm 46,059$ ct/min	EE: IG time 3 < time 1 Time 3 vs. time 1: time 3: 94.9 ± 29 kcal vs. time 1: 108.9 ± 32.1 kcal	N/A
Torbeys et al. (2017) [34]	Fat percentage: IG and CG: pre < post pre vs. post: pre: $18.8 \pm 9.9\%$ vs. post: $20.1 \pm 9.3\%$ ($p < 0.001$) Waist circumference: IG and CG: pre < post pre vs. post: pre: 66.9 ± 6.6 cm vs. post: 68.0 ± 6.0 cm ($p = 0.017$) Body weight: IG and CG pre < post pre vs. post: pre: 56.5 ± 11.3 kg vs. post: 58.1 ± 9.9 kg ($p < 0.001$) BMI: CG post > pre post vs. pre: pre: 20.1 ± 3.7 kg/m ² ; post: 20.5 ± 3.5 kg/m ² ($p = 0.005$) IG post and pre: no significant pre vs. post: pre: 19.7 ± 3.5 kg/m ² vs. post: 19.9 ± 3.2 kg/m ² ($p = 0.205$) BMI CG and IG at T0 and T1: no significant	Physical activity outside the classroom PA: IG and CG pre > post Pre vs. post: pre: 2.6 ± 0.7 vs. post: 2.4 ± 0.7 ($p < 0.001$)	EE: IG EE access bike desks (+36%) > EE normal hours IG bike desks vs. EE IG normal hours: 128.5 ± 34.7 kcal.h ⁻¹ vs. 94.6 ± 16.7 kcal.h ⁻¹ ($p < 0.001$) Class hours in which IG had access to the bike desks: EE IG > CG IG vs. CG: 128.5 ± 34.7 kcal.h ⁻¹ vs. 100.0 ± 16.2 kcal.h ⁻¹ ($p = 0.002$)	20 m shuttle run test: performance IG post > pre pre vs. post: pre 6.4 ± 2.5 ; post: 7.0 ± 2.9 ($p = 0.021$) RPE: post IG < CG IG vs. CG: IG: 5.5 ± 1.3 ; CG: 6.4 ± 1.3 ($p = 0.047$)

Table 3. Cont.

Author (Year)	Body Composition	Sedentary Behaviors and Physical Activity	Energy Expenditure	Physical Capacity and Cardiometabolic Health
Stability ball				
Erwin et al. (2016) [33]	N/A	Difference IG and CG pre and post ($p < 0.05$) Vertical accelerometer counts: (IG and CG) pre > post pre vs. post, pre: 79.56 ± 46.36 ; post: 51.26 ± 38.11 ($p < 0.05$) Horizontal accelerometer counts: (IG and CG) pre > post pre vs. post, pre: 103.92 ± 95.76 ; post: 62.45 ± 27.41 ($p = 0.03$) Step counts: (IG and CG) pre > post pre vs. post, pre: 4242.01 ± 2006.16 ; post: 2975.82 ± 1611.20 ($p < 0.01$) PA: IG and CG pre- and post-test: no significant	N/A	N/A

N/A: Not Applicable; NS: Not Significant; NR: Not Reported; BMI: Body Mass Index; EE: Energy Expenditure; PA: Physical Activity; IG: Intervention Group; CG: Control Group; LPA Light Physical Activity; MVPA: Moderate-to-Vigorous Physical Activity; ↓ decrease of; ↑ increase of.

Table 4. Results of cognitive and academic performance, fatigue and musculoskeletal pain symptoms and process evaluation in the included studies for the systematic review.

Author (Year)	Cognitive and Academic Performance	Fatigue and Musculoskeletal Pain Symptoms	Process Evaluation
Upright active desk			
Blake et al. (2012) [43]	Attention and focus: IG > CG	N/A	By the fourth week of the intervention, more than two-thirds of the students stopped using the stool completely Teacher's perspective: Good acceptability of children Active desks considering as "cool" Parents' perception: positive impact on child's behavior at school
Clemes et al. (2020) [44]	Learning engagement and disaffection scores: no differences Total difficulties score: IG < CG IG vs. CG: IG: 7.8 ± 6.6 vs. CG: 6.9 ± 6.0 Disruption to the classroom: no adverse effects	Musculoskeletal discomfort: no adverse effects	Overall recruitment: rate being 33% (95% CI: 16 to 55%) Parental consent: 75% At follow-up, retention of participating children was 97%
Dornhecker et al. (2015) [45]	Academic engagement: Fall semester: IG > CG: $+4.21$ ($p = 0.003$) Spring semester: IG > CG: $+0.72$ ($p = 0.003$) Differences 2nd grade and 3rd grade students: no significant ($p = 0.39$) Difference 4th grade and 3rd grade: no significant ($p = 0.19$)	N/A	N/A
Ee et al. (2018) [32]	N/A	Neck discomfort: IG < CG ($p = 0.005$) Other body parts: no significant	N/A
Kidokoro et al. (2019) [46]	N/A	N/A	Children's perception: Enjoying classes using standing desks: 66.7% Expressed willingness to continue using their standing desks: 72.2% Felt that they could express their thoughts more effectively: 66.7% Found it easier to work: 77.7% Felt less sleepy when using standing desk: 97.8% Felt fatigued in the standing classroom: 11.2% Usage of standing desks: 21.4 ± 5.9 min/day Changing their posture: 1.8 ± 0.8 times during a class

Table 4. Cont.

Author (Year)	Cognitive and Academic Performance	Fatigue and Musculoskeletal Pain Symptoms	Process Evaluation
Koepp et al. (2012) [47]	Classroom management: no significant ($p < 0.5$) Concentration: no significant ($p < 0.81$)	Discomfort: no significant ($p < 0.06$)	N/A
Mehta et al. (2015) [48]	Cognitive performance: (executive function and working memory tasks) post: +7–14% Neurocognitive assessments: Wisconsin Card Sort: Reaction time pre vs. post: –10% ($p < 0.0001$) Correct responses pre vs. post: +14% ($p = 0.014$) % Correct responses pre vs. post: +13% ($p = 0.016$) Flanker test: Reaction times for congruent pre vs. post: no significant ($p = 0.112$) Reaction times for incongruent pre vs. post: no significant ($p = 0.079$) Percent correct congruent pre vs. post: no significant ($p = 0.18$) Percent correct incongruent responses pre vs. post: no significant ($p = 0.749$) Memory Span test: pre vs. post: no significant ($p = 0.09$) Trail Making Test: pre vs. post: no significant ($p > 0.205$) TMT letters: –7% ($p = 0.012$) TMT number + letter: –14% ($p > 0.0001$) Stroop Color Word: Reaction times: pre > post: –13% ($p = 0.001$) Percent correct responses: pre vs. post: no significant ($p = 0.239$) Prefrontal cortex Activity: nHbO2 levels across all five tasks: pre vs. post: no significant ($p > 0.212$) Effect of hemisphere: no significant ($p > 0.194$) Time point \times hemisphere interactions: Wisconsin Card Sorting Task ($p = 0.042$) Memory Span Task ($p = 0.05$) Trail-Making Task ($p = 0.033$) Stroop Color Word test: nHbT left hemisphere > right hemisphere: 19.22 ($p = 0.001$) Others test: no significant across hemispheres and interaction with time points ($p > 0.117$)	N/A	N/A
Parry et al. (2019) [49]	N/A	Musculoskeletal discomfort: neck and shoulder pre > post Neck: ($p = 0.004$) Shoulder: ($p < 0.001$)	N/A
Sherry et al. (2020) [51]	Cognitive function: Corsi Block Tapping: no significant Stroop test: no significant	Musculoskeletal discomfort: Whole body: no significant Upper limb: no significant Neck and back: no significant Lower limb: no significant	Children’s perception: Like sit-to-stand transition because sitting can become uncomfortable Improve behavior in class: children stay in the same place One child feels the classroom noisier Teacher’s perception: Need lot of place Need to adapt his teaching After the 20-min period standing, 22 out of 27 children immediately chose to sit back down.

Table 4. Cont.

Author (Year)	Cognitive and Academic Performance	Fatigue and Musculoskeletal Pain Symptoms	Process Evaluation
Sudholz et al. (2016) [53]	N/A	Musculoskeletal discomfort: Got pain in legs or back: while standing during lessons: 51%	<p>Children’s perceptions:</p> <p>Continue to used actives desks: 70%</p> <p>Worked well during lessons: 69%</p> <p>Enjoying lessons more since the actives desks were introduced: 54%</p> <p>Felt more energetic across the day: 46%</p> <p>Concentrated better on doing my work: 44%</p> <p>Was easily distracted: 36%</p> <p>Was too tired: to be active after school: 18%</p> <p>Teachers’ perceptions:</p> <p>Continue teaching with the height adjustable desks: 71%</p> <p>Adolescent standing during lessons: Negatively influenced ability to work effectively: 14%</p> <p>Results in loss of concentration: 14%</p> <p>Increase ability to complete tasks: 29%</p> <p>Were too disruptive: 0%</p>
Verloigne et al. (2018) [55]	N/A	N/A	<p>Primary schools:</p> <p>Frequency of using the standing desks: IG mid > post mid vs. post: 2.94 ± 0.61 times/week vs. 1.80 ± 0.61 times/week ($\beta = -0.379$)</p> <p>Mean duration at the desks: IG mid > post mid vs. post: 84.31 ± 13.03 min.week⁻¹ vs. 57.69 ± 13 min.week⁻¹ ($\beta = -0.376$)</p> <p>Self-efficacy to use the desk: IG mid > post mid vs. post: 4.12 ± 0.15 vs. 3.75 ± 0.15 ($\beta = -0.147$)</p> <p>Habit to use the standing desk: IG mid > post mid vs. post: 3.59 ± 0.21 vs. 3.03 ± 0.21 ($\beta = -0.224$)</p> <p>Subjective norm to use the standing desk: IG mid < post mid vs. post: 4.11 ± 0.11 vs. 4.32 ± 0.11 ($\beta = 0.242$)</p> <p>Relation with classmate: IG pre > post pre vs. post: 4.4 ± 0.2 vs. 4.2 ± 9.2 ($\beta = -0.04$)</p> <p>Secondary schools</p> <p>Frequency of using the desks: IG mid < post mid vs. post: 1.30 ± 0.66 times/week vs. 1.42 ± 0.66 times/week ($\beta = 0.195$)</p> <p>Pupils’ attitude towards the desks: IG mid < post mid vs. post: 3.71 ± 0.13 vs. 3.89 ± 0.13 ($\beta = 0.057$)</p>
Wick et al. (2018) [57]	<p>Eriksen Flanker Task:</p> <p>Reaction time (congruous): IG pre > post pre vs. post: pre: 476 ± 99 ms vs. post: 451 ± 119 ms ($p = 0.04$)</p> <p>Accuracy: IG pre < post pre vs. post: pre: $0.87 \pm 0.17\%$ vs. post: $0.92 \pm 0.16\%$ ($p = 0.01$)</p> <p>Digit span task:</p> <p>Working memory: no significant</p> <p>Number of correct trials: no significant</p> <p>Cognitive function x group: no significant results</p>	N/A	N/A

Table 4. Cont.

Author (Year)	Cognitive and Academic Performance	Fatigue and Musculoskeletal Pain Symptoms	Process Evaluation
Cycling desk			
Fedewa et al. (2017) [30]	N/A	N/A	Mean value for all items: $3.87 \pm 0.23/5$ Preference to site on the bike compared to sitting in a chair: $4.63 \pm 1.59/5$ Sitting on the bike was fun: $4.13 \pm 1.64/5$
Ruiter et al. (2019) [58]	Digit Span Task: Accuracy and response times: no differences Visual Pattern Task: Accuracy and response times: no differences Eriksen Flanker Task: Responses time during incongruent trials IG < CG ($p = 0.01$) Accuracy and response times: no differences Congruent and neutral stimuli: no differences Subjective task experience: Fatigue Motivation, difficulty, mental effort: no significant	N/A	N/A
Torbeyns et al. (2017) [34]	Rey auditory verbal learning test: no significant results Stroop test: Accuracy: on the word incongruent stimuli: IG post > pre pre vs. post: pre: 86.3 ± 10.9 ; post: $90.1 \pm 7.1\%$ ($p = 0.030$) Reaction time: IG and CG: pre > post pre vs. post: pre: 728.1 ± 105.6 ms vs. post: 694.2 ± 98.4 ms ($p < 0.001$) Immediately repeated words: no significant Rosvold continuous performance test: Amplitude: post < pre post vs. pre: post: 3.2 ± 1.4 μ V vs. pre: 3.9 ± 1.4 μ V ($p = 0.012$) reaction time: no significant Attention during class: no significant Academic performance: no significant Mathematics test IG and CG post < pre post vs. pre: post: 0.39 ± 0.52 vs. pre: 0.66 ± 0.52 ($p = 0.004$)	N/A	N/A
Stability ball			
Erwin et al. (2016) [33]	On-task behaviors: no significant	N/A	N/A
Fedewa et al. (2015) [59]	Effect on-task behavior: On task: CG (87%) > IG (77%) Time working with peers: CG (15%) > IG (13%) Effect between Time and Group: ($p < 0.01$) pre < post ($p < 0.01$) Time doing independent work: CG (39%) > IG (29%) Effect time-group: ($p = 0.02$) pre < post ($p < 0.01$) Interaction time with the teacher: CG (33%) < IG (35%) Effect time-group: ($p < 0.01$) pre < post ($p < 0.01$) Effect on academic performance: Literacy: (IG + CG): post > pre ($p < 0.01$) Mathematics: (IG + CG): post > pre ($p < 0.01$)	N/A	N/A

N/A: Not applicable; NS: Not Significant; NR: Not Reported; IG: Interventional Group; CG: Control Group.

2.4. Data Collection

Full texts from the articles were imported from a reference manager software (Zotero software; 5.0.21, CHNM, GMU, USA). After removal of duplicates, a screening was conducted by two independent authors on titles and abstracts to assess study eligibility (CC, TG). Identical procedure was used by the same authors on full text articles (CC, TG). Any disagreement regarding eligibility for inclusion was discussed until consensus emerged as made among the research team members. Each author completed data extraction files for every paper included. The process for trial inclusion is shown in the PRISMA flow chart (Figure 1).

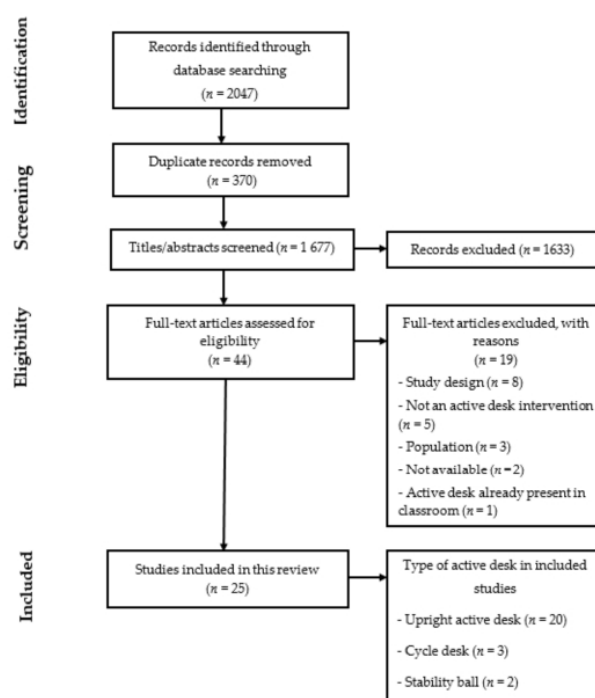


Figure 1. PRISMA flow chart.

2.5. Risk of Bias, Study Quality Assessment and Result Consideration

Risk of bias was independently examined by two authors (CC and TG) using the Cochrane risk of bias tool [60] (Table 5). Selection bias, performance bias, detection bias, attrition bias and reporting bias were assessed. The quality of evidence for each outcome by type of study design was determined using the Grading of Recommendations Assessment, Development and Evaluation (GRADE) framework [61] (Table 6). Any divergences were reported to the research team (MD, DT, LM). We did not exclude studies on the basis of risk of bias or low quality evidence. Importantly, the results of all the included studies and their directions, have been reported whether or not a statistical analysis was performed and if yes, précising whether the results reached or not the level of significance.

Table 5. Study risks of bias.

Studies	Random Sequence Generation	Allocation Concealment	Performance Bias	Detection Bias	Attrition Bias	Reporting Bias	Other Bias
Upright active desk							
Benden et al. (2011) [40]	Low risk	Unclear	High risk	High risk	Low risk	Low risk	Unclear
Benden et al. (2012) [41]	High risk	High risk	High risk	High risk	High risk	Low risk	Unclear
Benden et al. (2014) [42]	Low risk	Unclear	High risk	High risk	Low risk	Low risk	Low risk
Blake et al. (2012) [43]	High risk	High risk	High risk	High risk	High risk	High risk	Unclear
Clemes et al. (2016) (Bradford, England) [31]	High risk	Unclear	High risk	High risk	Low risk	Low risk	Unclear
Clemes et al. (2016) (Melbourne, Australia) [31]	Unclear	Unclear	High risk	High risk	Low risk	Low risk	Unclear
Clemes et al. (2020) [44]	Low risk	Low risk	High risk	High risk	Low risk	Low risk	Low risk
Dornhecker et al. (2015) [45]	Low risk	Unclear	High risk	High risk	Low risk	Low risk	Unclear
Ee et al. (2018) [32]	N/A	N/A	High risk	High risk	Low risk	Low risk	Low risk
Kidokoro et al. (2019) [46]	High risk	High risk	High risk	High risk	Low risk	Low risk	Low risk
Koepp et al. (2012) [47]	High risk	High risk	High risk	High risk	Low risk	Low risk	Unclear
Mehta et al. (2015) [48]	High risk	High risk	High risk	High risk	Low risk	Low risk	Low risk
Parry et al. (2019) [49]	N/A	N/A	High risk	High risk	Low risk	Low risk	Unclear
Pickens et al. (2016) [50]	High risk	Unclear	High risk	High risk	Low risk	Low risk	Unclear
Sherry et al. (2020) [51]	High risk	High risk	High risk	High risk	Low risk	Low risk	Low risk
Sprengeler et al. (2020) [52]	N/A	N/A	High risk	High risk	Low risk	Low risk	Low risk
Sudholz et al. (2016) [53]	High risk	High risk	High risk	High risk	Low risk	Low risk	Low risk
Swartz et al. (2019) [54]	N/A	N/A	High risk	High risk	Low risk	Low risk	Low risk
Verloigne et al. (2018) [55]	Low risk	Unclear	High risk	High risk	High risk	Low risk	Low risk
Wendel et al. (2016) [56]	Low risk	Low risk	High risk	High risk	Low risk	Low risk	Low risk
Wick et al. (2018) [57]	High risk	Unclear	High risk	High risk	Low risk	Low risk	Low risk
Cycling desk							
Fedewa et al. (2017) [30]	Low risk	Unclear	High risk	High risk	Low risk	Low risk	Unclear
Ruiter et al. (2019) [58]	Low risk	Low risk	High risk	High risk	Low risk	Low risk	Unclear
Torbeyns et al. (2017) [34]	Low risk	Unclear	High risk	High risk	Low risk	Low risk	Low risk
Stability ball							
Erwin et al. (2016) [33]	Low risk	Unclear	High risk	High risk	Low risk	Low risk	Unclear
Fedewa et al. (2015) [59]	Low risk	High risk	High risk	High risk	Low risk	Low risk	Unclear

N/A: not applicable; Other bias included any potential conflict of interest in studies.

Table 6. Association between the use of active desks and outcomes of included studies for the systematic review.

Outcome Assessment	No of Studies	Design	Quality Assessment				Quality	
			Risk of Bias	Inconsistency	Indirectness	Imprecision		Other
Body composition	School grade ranged between 1 and 10. Body composition was assessed objectively as body mass index, body mass, body fat percentage (bio-impedance), waist circumference.							
	5	RCT ^a	No serious risk of bias	No serious inconsistency	No serious indirectness	Serious imprecision ^b	None	MODERATE
	2	NRT ^c	Serious risk of bias ^d	Serious inconsistency ^e	No serious indirectness	No serious imprecision	None	VERY LOW
Physical activity	School grade ranged between 1 and 12. Physical activity was assessed as light physical activity, MVPA, step counts, standing, stepping and walking time: by devices (accelerometers, inclinometers), self-reported questionnaires and/or external observations.							
	7	RCT ^f	No serious risk of bias	Serious inconsistency ^g	No serious indirectness	Serious imprecision ^h	None	LOW
	6	NRCT ⁱ	Serious risk of bias ^j	No serious inconsistency	No serious indirectness	Serious imprecision ^k	None	VERY LOW
	2	NRT ^l	Serious risk of bias ^m	No serious inconsistency	No serious indirectness	Serious imprecision ⁿ	None	VERY LOW
	1	RT ^o	No serious risk of bias	No serious inconsistency	No serious indirectness	No serious imprecision	None	LOW
	4	Cross-over ^p	No serious risk of bias	No serious inconsistency	No serious indirectness	No serious imprecision	None	LOW
Sedentary behaviors	School grade ranged between 1 and 10. Sedentary behaviors were assessed by observations and/or self reporting questionnaires.							
	3	RCT ^q	No serious risk of bias	No serious inconsistency	No serious indirectness	Serious risk of imprecision ^r	None	MODERATE
	6	NRCT ^s	Serious risk of bias ^t	No serious inconsistency	No serious indirectness	Serious risk of imprecision ^u	None	VERY LOW
	1	RT ^v	No serious risk of bias	No serious inconsistency	No serious indirectness	No serious imprecision	None	LOW
	4	Cross-over ^w	No serious risk of bias	No serious inconsistency	No serious indirectness	No serious imprecision	None	LOW
Energy expenditure	School grade ranged between 1 and 10. Energy expenditure was assessed by a portable device (armband) during school days and/or entire days.							
	4	RCT ^x	No serious risk of bias	No serious inconsistency	No serious indirectness	Serious risk of imprecision ^y	None	MODERATE

Table 6. Cont.

Outcome Assessment	No of Studies	Design	Quality Assessment				Quality	
			Risk of Bias	Inconsistency	Indirectness	Imprecision		Other
	1	NRCT ^z	Serious risk of bias ^{aa}	No serious inconsistency	No serious indirectness	Serious risk of imprecision ^{ab}	None	VERY LOW
	1	NRT ^{ac}	Serious risk of bias ^{ad}	No serious inconsistency	No serious indirectness	Serious risk of imprecision ^{ae}	None	VERY LOW
Cognitive and academic performance	School grade ranged between 2 and 10. Cognitive performance was assessed by cognitive functions test (working memory, inhibitory control, flexibility, attention) and on-task behaviors (observations, interviews)							
	4	RCT ^{af}	Serious risk of bias ^{ag}	No serious inconsistency	No serious indirectness	No serious imprecision	None	MODERATE
	4	NRCT ^{ah}	Serious risk of bias ^{ai}	No serious inconsistency	No serious indirectness	No serious imprecision	None	VERY LOW
	3	NRT ^{aj}	Serious risk of bias ^{ak}	No serious inconsistency	No serious indirectness	No serious imprecision	None	VERY LOW
Fatigue and musculoskeletal symptoms	School grade ranged between 4 and 10. Fatigue and musculoskeletal symptoms were assessed by questionnaires (Nordic Musculoskeletal Questionnaire, paper questionnaires), teacher observations, focus groups and/or interviews.							
	1	RCT ^{al}	No serious risk of bias	No serious inconsistency	No serious indirectness	Serious imprecision ^{am}	None	MODERATE
	2	NRCT ^{an}	Serious risk of bias ^{ao}	No serious inconsistency	No serious indirectness	Serious imprecision ^{ap}	None	VERY LOW
	1	NRT ^{aq}	Serious risk of bias ^{ar}	No serious inconsistency	No serious indirectness	No serious imprecision	None	VERY LOW
	2	Cross-over ^{as}	No serious risk of bias	No serious inconsistency	No serious indirectness	No serious imprecision	None	LOW
Process evaluation	Mean age ranged between 6 and 17 year. Perceptions and experiences of participants was assessed by questionnaires, self-reporting answers and/or interviews.							
	3	RCT ^{at}	Serious risk of bias ^{au}	Serious inconsistency ^{av}	No serious indirectness	No serious imprecision	None	LOW
	4	NRCT ^{aw}	Serious risk of bias ^{ax}	No serious inconsistency	No serious indirectness	No serious imprecision	None	VERY LOW

Table 6. Cont.

Outcome Assessment	No of Studies	Design	Quality Assessment				Quality
			Risk of Bias	Inconsistency	Indirectness	Imprecision	
Physical capacities and cardiometabolic health	School grade ranged between 4 and 10. Physical capacities was assessed by the 20 m shuttle run test. Cardiometabolic health was assessed by blood pressure.						
	2	RCT ^{ay}	No serious risk of bias	No serious inconsistency	No serious indirectness	Serious imprecision ^{az}	None

RCT: Randomized Controlled Trial; RT: Randomized Trial; NRCT: Non-Randomized Controlled Trial; NRT: Non-Randomized Trial.

^a Includes five randomized controlled studies [34,40,42,44,56]. ^b One study did not detail the age and sex of participants. Additionally, the results of body composition assessment were incomplete (the quality of evidence was downgraded from “high” to “moderate”). ^c Includes two non-randomized studies [41,47]. ^d Studies reported mixed findings (the quality of evidence was downgraded from “low” to “very low”). ^e Inconsistencies have been reported in the unit used in the results (the quality of evidence was downgraded from “low” to “very low”). ^f Includes seven randomized controlled studies [30,31,33,34,42,44,55]. ^g Inconsistencies have been reported in the number of participants (the quality of evidence was downgraded from “high” to “moderate”). ^h Several studies did not achieve statistical analyses (the quality of evidence was downgraded from “moderate” to “low”). ⁱ Includes six non-randomized controlled studies [31,43,46,51,53,57]. ^j Studies reported mixed findings (the quality of evidence was downgraded from “low” to “very low”). ^k One study did not achieve statistical analyses (the quality of evidence was already at “very low”). ^l Includes two non-randomized studies [41,47]. ^m Studies reported mixed findings (the quality of evidence was downgraded from “low” to “very low”). ⁿ One study did not achieve statistical analyses (the quality of evidence was already at “very low”). ^o Includes one randomized study [50]. ^p Includes four cross-over studies [32,49,52,54]. ^q Includes three randomized controlled studies [31,44,55]. ^r One study did not achieve statistical analyses (the quality of evidence was downgraded from “high” to “moderate”). ^s Includes six non-randomized controlled studies [31,43,46,51,53,57]. ^t Studies reported mixed findings (the quality of evidence was downgraded from “low” to “very low”). ^u One study did not achieve statistical analyses (the quality of evidence was already at “very low”). ^v Includes one randomized study [50]. ^w Includes four cross-over studies [32,49,52,54]. ^x Includes four randomized controlled studies [30,34,40,42]. ^y One study did not achieve statistical analyses (the quality of evidence was downgraded from “high” to “moderate”). ^z Includes one non-randomized non-controlled study [43]. ^{aa} Studies reported mixed findings (the quality of evidence was downgraded from “low” to “very low”). ^{ab} One study did not achieve statistical analyses (the quality of evidence was already at “very low”). ^{ac} Includes one non-randomized study [41]. ^{ad} Studies reported mixed findings (the quality of evidence was downgraded from “low” to “very low”). ^{ae} One study did not achieve statistical analyses (the quality of evidence was already at “very low”). ^{af} Includes four randomized controlled studies [33,34,44,59]. ^{ag} One study did not achieve statistical analyses (the quality of evidence was downgraded from “high” to “moderate”). ^{ah} Includes four non-randomized controlled studies [43,45,51,57]. ^{ai} Studies reported mixed findings (the quality of evidence was downgraded from “low” to “very low”). ^{aj} Includes 3 non-randomized studies [47,48,58]. ^{ak} Studies reported mixed findings (the quality of evidence was downgraded from “low” to “very low”). ^{al} Includes one randomized controlled study [44]. ^{am} One study did not detail the number of participants for this outcome and did not achieve statistical analyses (the quality of evidence was downgraded from “high” to “moderate”). ^{an} Includes two non-randomized non-controlled study [51,53]. ^{ao} Studies reported mixed findings (the quality of evidence was downgraded from “low” to “very low”). ^{ap} One study did not achieve statistical analyses (the quality of evidence was already at “very low”). ^{aq} Includes one non-randomized study [47]. ^{ar} Studies reported mixed findings (the quality of evidence was downgraded from “low” to “very low”). ^{as} Includes two cross-over studies [32,49]. ^{at} Includes three randomized controlled studies [30,44,55]. ^{au} Studies reported mixed findings (the quality of evidence was downgraded from “high” to “moderate”). ^{av} Inconsistencies have been reported in the unit used in the results (the quality of evidence was downgraded from “moderate” to “low”). ^{aw} Includes four non-randomized controlled studies [43,46,51,53]. ^{ax} Studies reported mixed findings (the quality of evidence was downgraded from “low” to “very low”). ^{ay} Includes two randomized controlled studies [34,44]. ^{az} One study did not achieve statistical analyses (the quality of evidence was downgraded from “high” to “moderate”).

3. Results

3.1. Description of Studies

The PRISMA flow diagram presented in Figure 1 summarizes the study selection process. The search strategy initially found a total of 1677 references after removing duplicates. A total of 1635 articles were excluded after screening of titles and abstracts. Full text copies were obtained for 44 articles; of which 25 articles matched the inclusion criteria and were thus included in this systematic review. The main reasons for studies exclusion among the remaining were: (1) study design did not meet inclusion criteria ($n = 8$); (2) intervention did not use an active desk ($n = 5$); (3) population was not children without health issues ($n = 3$); (4) full texts were not available ($n = 2$); and (5) active desks were already integrated in classroom ($n = 1$). One article included two different study designs [31].

Ten studies were randomized controlled trials (RCT) [30,31,33,34,40,42,44,55,56,59] with four pilot studies [30,31,42,44]; seven were non-randomized controlled trials [31,43,45,46,51,53,57] with four pilot studies [31,51,53,57]; four were non-randomized trials [41,47,48,58] with two pilot studies [47,48]; one was a randomized trial [50] and four were crossover studies [32,49,52,54].

Among the included studies, 19 were conducted among primary school children aged 6–12 years [31–33,40–47,49,51,52,54,56–59], five took place among secondary level adolescents aged 12–17 years [30,34,52,56,58] and Verloigne et al. [55] enrolled children in both levels aged 10–16 years.

Two studies included boys only [32,49], three did not specify the gender [30,42,48] and the rest of the studies included both boys and girls [31,33,34,41,42,44–48,50–59].

Twenty studies assessed upright active desks (i.e., standing desk, sit-to-stand desk and stand-biased desk) [31,32,40–57]; three cycle desks [30,34,57] and two used stability balls [33,59]. Active desks have been described in Table 1.

In twenty-one studies, active desks were allocated to every individual [31–34,40–43,46–54,56–59]. Verloigne et al. [55] implemented three standing desks per classroom, Clemes et al. [44] provided six active desks in each class and Fedewa et al. [30] provided four active desks in interventional group. One study did not specify the number of implemented active desks [45].

All studies had an intervention duration from two weeks to two years. Verloigne et al. [55] suggested a rotation every half class while Clemes et al. [31] recommended to use active desks at least 30 min per day (Australian study) and one hour per day (English study). Some studies suggested also to practice active desks at least one hour per day [44,57] or for four class hours of 50 min per week [34]. Several studies did not indicate the active desks time and frequency use [47,49,51,58,61]. Some interventions enabled active desks to be free to use [30,40–43,46–48,52,53] or to use it for the entire school day [32,33,45,59]. In one study, active desks were only used for the evaluations [58].

3.2. Data Synthesis by Outcome

3.2.1. Body Composition

Six studies assessed body composition when using upright active desks [40–42,44,47,56] and one with cycling desks [34]. However, one study did not detail their results on this outcome [40] (Table 6). Wendel et al. [56] found a significant difference in BMI for interventional group compared to the control group after two years of intervention (−5.24 for BMI percentile) (Table 3). Other studies did not report any change in BMI with the use of an upright active desk.

Torbeyns et al. [34] observed a significant effect of time for height, body weight, fat mass percentage and waist circumference without condition effect. However, traditional desks group reported a significantly higher BMI while cycling desks group did not find any difference.

3.2.2. Sedentary Behaviors

Thirteen articles using upright active desks assessed sedentary behaviors [31,32,43,44,46,49–55,57], while only one used cycling desks [30]. As presented in Table 3, two studies observed that children, when using upright active desks, spent significantly less time sedentary than the control group, using objective measurements [46,54]. Other studies did not find any difference for the interventional group [49,53]. Moreover, Ee et al. [32] observed no significant difference for whole day sedentary time but reported a significant reduction in sitting time during school hours for the intervention group compared to the control group. Similar results have been reported in four other articles [31,44,52,53]. Additionally, four studies reported a reduction of sitting time between T0 and T1 for the intervention group [44,46,51,58]. Similar results have been found in another study but were not statistically significant [49,52].

Fedewa et al. [30] reported a decreased of 9.5% in sedentary time for the intervention group compared to the control group.

3.2.3. Physical Activity

Sixteen articles assessed physical activity using upright active desks [31,32,41–44,46,47,49–55,57], two with cycling desks [30,34] and one with stability balls [33]. Studies assessing the upright active desk effects on physical activity reported several different outcomes such as light physical activity, moderate-to-vigorous physical activity (MVPA), step counts, stepping, standing and walking time (Table 3).

For light physical activity, four studies reported no significant changes for interventional group compared to the control group [32,50,52,59,61]. For MVPA, studies found contradictory results while two studies did not find any change [32,49]. Kidokoro et al. [46] observed a significant increase in MVPA for the intervention group between pre- and post-intervention. Another study [54] found that MVPA decreased for the intervention group during school years but less than the control group. Additionally, they reported that the benefit of upright active desk was greater among students initially determined as less active.

Statistically significant increases were reported for the intervention group standing time in height studies [31,32,43,44,50,51,53,55,57]. Similar results have been reported but without reaching significance [49,52].

Regarding step counts, Benden et al. [41] reported an increase of this outcome without statistical analyses (Tables 3 and 6). In another study, they reported similar results at mid intervention but not at the end [42]. No significant effects were observed in two other studies [47,50]. In the article of Clemes et al. [31], the study in Australian school reported no significant effect while the British ones showed an increase for the intervention group in post intervention.

For stepping time a significant decrease was reported for the intervention group [55] or no effect [31,57]. One study [51] observed a significant increase while Clemes et al. [44] found similar results but no statistical analyses have been reported.

Torbeyns et al. [34] assessed the effect of cycling desks on physical activity with a questionnaire. Interventional group and control group decreased their physical activity time between pre- and post-intervention but no condition effect was observed. Despite the lack of statistical analyses (Tables 2 and 4), one study reported, with an objective measurement, an increase of light physical activity and MVPA for the intervention group compared to the control group [30].

One study using stability balls assessed physical activity and missed to observe any difference between the interventional group and the control group after the intervention [33]. Additionally, all groups decreased their physical activity level and their step count between pre- and post-intervention.

3.2.4. Energy Expenditure

Four studies assessed energy expenditure with the use of upright active desks [42,43,48,54] and two with cycling desks [30,34]. All upright active desks studies observed an increase between 15% and 25.7% in energy expenditure for interventional groups compared to control groups [42,43,48,54] (Table 2).

Cycling desk studies reported also an increase of energy expenditure. Torbeyns et al. [34] showed a significant increase in energy expenditure (36%) using cycling desks compared to traditional desks. Fedewa et al. [30] reported similar results without any statistical analyses (Tables 3 and 6).

3.2.5. Physical Capacities and Cardiometabolic Health

Physical capacities were only evaluated in one study that used cycling desks [34]. The authors reported an increase in the performance during the 20 m shuttle run test in their interventional group compared to the control group (+0.6 interval) (Table 3). Moreover,

there was a significantly lower rate of perceived exertion (RPE) in the interventional group compared to the control group after 22 weeks. For cardiometabolic health, only Clemes et al. [44] assessed blood pressure with the use of an upright active desks. They reported an increase in systolic blood pressure in the interventional group but the authors did not perform statistical analyses (Tables 2 and 4).

3.2.6. Cognitive and Academic Performance

Seven studies assessed cognitive and academic performance when using upright active desks [44,48,49,51,53,55,56], two studies with cycling desks [34,58] and two with stability balls [33,59]. Concerning executive functions (working memory, inhibitor control, cognitive flexibility), visual working memory was assessed in two studies using upright active desk and two studies using cycling desks and no change was reported [34,53,56,57]. As detailed in Table 4, inhibitory control has been assessed in three studies, and the use of cycling desks shown to significantly increase the inhibitor control in the intervention group compared to the control group with a higher increase of accuracy for the intervention group (4.21%) [58]. One of the studies that used upright active desk reported an improvement in both reaction time and accuracy [57] while the other reported no significant change [48]. The reaction time for cognitive flexibility decreased after intervention in the study that used upright active desks [57].

Regarding to academic engagement and attention, two studies using upright active desks reported an increase in the intervention group compared to the control group [43,45] without any change in concentration and classroom management [33,44,55]. A study using stability balls reported more interaction time with teachers but the time working with other students or independently were reduced compared to the control group after intervention. Both groups observed improvement in mathematics and literacy but they were not related specifically to the intervention [59]. Mehta et al. [48] assessed several outcomes where they primarily observed a significant increase in cognitive performance with the use of upright active desks compared to traditional ones.

3.2.7. Fatigue and Musculoskeletal Pain Symptoms

Six studies, all with upright active desks, assessed fatigue and musculoskeletal pain symptoms [32,44,51,52,55,59]. Three studies reported no difference on those outcomes between upright active desks and traditional desks [44,51,55]. Significant changes have been reported in two studies [32,49] with a decrease of pain symptoms in the neck and shoulder area. Nonetheless, a study observed that 51% of children have experienced pain in legs and back area with the use of upright active desks [53] (Table 4).

3.2.8. Process Evaluation

Acceptability and feasibility have been assessed in several studies [30,43,44,46,51,53,55]; one was cycling desks [30] and others were upright active desks. One study reported retention rates of 100% for schools and 97% for children with an overall recruitment rate at 33% [44] (Table 4). Studies have shown a good acceptability of upright active desks in children [48,50,51], with a willingness to use it in the future and a reduction of sleepiness [46]. From teachers' perspective, they have declared a positive influence of upright active desks to complete tasks and are willing to continue teaching with upright active desks [53]. One study reported that parents have felt a positive impact on their children's behavior at school [43]. However, one study [55] reported some negative effects with the use of upright active desks such as a slight deterioration of the relation with classmates. Authors also reported, a decrease of the mean duration and habit to use upright active desks over time. Most of those observations were reported in primary schools; secondary schools observed an improvement of the attitude towards the desk [55].

For cycling desks, authors [30] observed no change in attention and task completion compared to traditional desks. Students also experimented a reduction of fidgeting. Their preference to sit on cycling desks compared to traditional desks was higher despite the lack

of a comfortable seat. Overall, cycling desks have been perceived by teachers and students as a positive tool to improve the environment of school class.

It was determined by the review team that a meta-analysis was not possible due to high levels of heterogeneity across studies; narrative syntheses were employed instead. The overall quality of the included studies was low due to methodological inconsistencies, in addition of the heterogeneity in terms of statistical and clinical characteristics (Tables 5 and 6).

4. Discussion

We are currently at a time where sedentary behaviors are a worldwide concern and classroom active desks have been proposed as a potential solution to counterbalance their adverse effects on health-related outcomes. Several reviews evaluated the effect of some specific types of active desks [35,36] on some specific outcomes such as academic achievement and cognitive outcomes [37]. The present work is the first systematic analysis of the existing literature on active desk implementation in the school environment and their effects on physical activity, sedentary behavior, academic achievements and overall health. According to our results, (i) cycling desk may be a promising active desk to increase physical activity while reducing sedentary behaviors; also, cycling desk is associated with positive cognitive performance and is well-received in the school environment; (ii) studies need to better identify and detail their active desks use; (iii) further studies have to use stronger methodologies to enable comparisons and conclusions regarding the real effects of each active desks.

Among all the included studies that assessed body composition, little or none effect was observed from the use of upright active desks or cycling desks. The only study that found positive changes in body composition was the study that lasted 2 years with upright active desks [56]. This suggests that the time of exposure to active desks can be an important parameter to consider. Additionally, the lack of observed effect on body composition in the reviewed studies can be potentially explained by the low level of energy expenditure generated by active desks. While active desks substantially increase students' energy expenditure compared to traditional desks [30,34,42,43,48,54], the magnitude of responses may not be sufficiently important to induce significant changes in body composition. However, it is important to notice that the range of increase in energy expenditure is not the same across active desks, with cycling desks generating a higher energy expenditure compared with upright active desks. According to our analysis, active desks also seem to positively influence sedentary behaviors. Indeed, by using upright active desks, students spend more time in a standing position and less time seated. Even though "standing" is not included in the definition of sedentary behavior [4], the energetic cost of this passive posture can be under 1.5 METs [62] and this long-term position can be a potential source of musculoskeletal pain [63]. From that perspective, replacing traditional desks by active desks (maybe not only standing), which increase energy expenditure, may be promising due to the replacement of a sitting time to an active behavior. Concerning cognitive and academic performance, all studies reported either no change or an improvement in students, leading to consider the non-deleterious impact of active desks on cognition. This finding is particularly relevant, as the implementation of active desks is clearly dependent on the willingness of the academic actors and parents. Beyond the cognitive aspect, active desks were well received by students and teachers in most studies, suggesting the possibility that active desks can be easily implemented in the school setting.

Methodological Concerns

The tremendous amount of sitting time spent in classrooms led scientists to examine how active desks for children and adolescents can be used to reduce sedentary behaviors. There has been a constant increase of studies focusing on this target in recent years. However, by systematically reviewing the current literature on the topic, we observed several methodological issues. The lack of strong and reliable results did not allow us to

perform any meta-analysis to avoid misleading errors [64]. Not only the lack of methodological consistency between studies is concerning but also the relatively low quality of the included works (Tables 5 and 6) are certainly the main conclusions emerging from the present systematic review.

Indeed, although there is an increasing number of RCT on the topic in the scientific literature, only 10 of the 23 included studies were RCT in the present analysis. The heterogeneity of designs makes any comparison difficult regarding the potential benefits of active desks on health. Similarly, the variety of methods used to evaluate similar parameters (e.g., evaluation of physical activity and/or sedentary behaviors using accelerometers or inclinometers or questionnaires and expressed as counts, vector of magnitudes, activity or standing/sitting time for instance) prevent any strong collective evidence.

As previously suggested in the literature [65], studies should use parameters indicated in the last available recommendation to evaluate sedentary behaviors, sedentary time and physical activity. Moreover, studies assessing sedentary behaviors and physical activity should also consider the recording time for valid and reliable data. In other words, to observe and understand behavioral changes and compensatory effects, studies should not only record data during class time but rather on overall days, school and non-school day.

Importantly, while the recent years have seen a growing number of studies implementing active desks at school at a time where it was necessary to adopt new solutions and strategies to counteract the adverse effects of sitting time, these studies missed to clearly detail the exact conditions of use of their active desks. Indeed, as underlined in our systematic analysis, most of the included studies do not provide details regarding the time of use of their active desks, the instructions given to the teachers and pupils, which once more, make any practical recommendation hazardous. Characterization of the workload and details regarding the practical instructions should be a priority for investigators to understand at which frequency, intensity and duration active desks are driving benefits or adverse effects. In addition, it appears even difficult to clearly understand which kind of active desk has been used when reading some studies. Indeed, while some studies claim to use standing desks and formulate recommendations and conclusions regarding the use of the standing position at school, it appears that some stools are provided with each desk and that the exact time spent standing is not evaluated or even presented. Literally, it may be possible that users can sit or recline on the stool most of their class time. Considering this information, there is a clear risk of misunderstanding by using the term standing desk when it refers to a stand-biased desk. To avoid any misconception, the following definitions for those three active desks are proposed: (i) standing desk: desk which enables users to be in a standing position, without allowing any support to sit or recline; (ii) sit-to-stand desk: desk enabling users to switch from a sitting to a standing position at their discretion by adjusting the desk height; (iii) stand-biased desk: desk which enables users to be in a standing position while having a support such as a stool to sit or recline at their discretion.

Upright active desks represent a majority of the included study, while cycling desks and stability balls represent only five studies. Regarding results obtained in adults, cycling desk is suggested as the best compromise between all active desks [66] but not enough studies have assessed its effects in children and adolescents. While further studies are needed in the pediatric population, we also encourage future investigations to consider the effects of such active desks on physical discomfort, cognitive performance, physical capacities or physiological components that remain underexplored. Similarly, some ergonomic and process evaluations should be considered, which would benefit for a better use and implementation of these desks. Effectively, whether active desks are showing positive effects on several outcomes, one priority remains to understand if they are well accepted in school class by children, teachers and parents.

Furthermore, studies are essentially focusing on primary schools (17 of the 23 studies included). As previously said, children at 15 years spend on average 75% of their waking day in a sitting position [13]. Then, there is obviously a lack of active desks implementation in secondary school. From this perspective, scientists should also consider secondary

levels. Therefore, to better understand the effect of active desks, further investigations should focus on large sample RCT follow-up in primary and secondary level (long-term follow-up), assessing multicomponent outcomes with valid, reproducible and reliable methods, while quantifying the workload. There is a need for a better description of the active desks use and condition of its use to avoid any misconception and inaccuracies. Additionally, scientists must consider the feasibility and the implementation of active desks in the school environment.

5. Conclusions

Active desks appear as a promising tool to reduce sedentary behaviors in school environment. In the present state of knowledge, the effects of all active desks appear not equivalent, mainly due to the difference in body activation and energy expenditure. Regarding the relatively low number of available studies and the high degree of heterogeneity in terms of quality, design and methods, comparisons and conclusions remain difficult at the moment. The present systematic analysis calls for further well-designed studies to better understand the effects of the use of active desks among children and adolescents in order to inform policy and practice.

Author Contributions: T.G., D.T., M.D. participated in design of the study. T.G. and C.C. screened the articles. C.C. extracted the data and T.G. checked the extracted data. T.G. wrote the first version of the manuscript. C.C., J.-P.C., L.M., D.T. and M.D. revised and edited the manuscript. All authors read and approved the final manuscript, and agree with the order of presentation of the authors.

Funding: This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Institutional Review Board Statement: Not applicable.

Informed Consent Statement: Not applicable.

Data Availability Statement: Not applicable.

Conflicts of Interest: The authors declare that they have no conflict of interest.

References

- Patterson, R.; McNamara, E.; Tainio, M.; de Sá, T.H.; Smith, A.D.; Sharp, S.J.; Edwards, P.; Woodcock, J.; Brage, S.; Wijndaele, K. Sedentary Behaviour and Risk of All-Cause, Cardiovascular and Cancer Mortality, and Incident Type 2 Diabetes: A Systematic Review and Dose Response Meta-Analysis. *Eur. J. Epidemiol.* **2018**, *33*, 811–829. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- Stamatakis, E.; Ekelund, U.; Ding, D.; Hamer, M.; Bauman, A.E.; Lee, I.-M. Is the Time Right for Quantitative Public Health Guidelines on Sitting? A Narrative Review of Sedentary Behaviour Research Paradigms and Findings. *Br. J. Sports Med.* **2019**, *53*, 377–382. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- Sedentary Behaviour Research Network Letter to the Editor: Standardized Use of the Terms “Sedentary” and “Sedentary Behaviours.”. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* **2012**, *37*, 540–542. [[CrossRef](#)]
- Tremblay, M.S.; Aubert, S.; Barnes, J.D.; Saunders, T.J.; Carson, V.; Latimer-Cheung, A.E.; Chastin, S.F.M.; Altenburg, T.M.; Chinapaw, M.J.M. SBRN Terminology Consensus Project Participants Sedentary Behavior Research Network (SBRN)—Terminology Consensus Project Process and Outcome. *Int. J. Behav. Nutr. Phys. Act.* **2017**, *14*, 75. [[CrossRef](#)]
- Thivel, D.; Tremblay, A.; Genin, P.M.; Panahi, S.; Rivière, D.; Duclos, M. Physical Activity, Inactivity, and Sedentary Behaviors: Definitions and Implications in Occupational Health. *Front. Public Health* **2018**, *6*. [[CrossRef](#)]
- Forouzanfar, M.H.; Afshin, A.; Alexander, L.T.; Anderson, H.R.; Bhutta, Z.A.; Biryukov, S.; Brauer, M.; Burnett, R.; Cercy, K.; Charlson, F.J.; et al. Global, Regional, and National Comparative Risk Assessment of 79 Behavioural, Environmental and Occupational, and Metabolic Risks or Clusters of Risks, 1990–2015: A Systematic Analysis for the Global Burden of Disease Study 2015. *Lancet* **2016**, *388*, 1659–1724. [[CrossRef](#)]
- Ding, D.; Lawson, K.D.; Kolbe-Alexander, T.L.; Finkelstein, E.A.; Katzmarzyk, P.T.; van Mechelen, W.; Pratt, M. The Economic Burden of Physical Inactivity: A Global Analysis of Major Non-Communicable Diseases. *Lancet* **2016**, *388*, 1311–1324. [[CrossRef](#)]
- Friedenreich, C.M.; Ryder-Burbidge, C.; McNeil, J. Physical Activity, Obesity and Sedentary Behavior in Cancer Etiology: Epidemiologic Evidence and Biologic Mechanisms. *Mol. Oncol.* **2020**, *n/a*. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- Ekelund, U.; Steene-Johannessen, J.; Brown, W.J.; Fagerland, M.W.; Owen, N.; Powell, K.E.; Bauman, A.; Lee, I.-M. 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*, 1302–1310. [[CrossRef](#)]

10. Schmid, D.; Ricci, C.; Leitzmann, M.F. Associations of Objectively Assessed Physical Activity and Sedentary Time with All-Cause Mortality in US Adults: The NHANES Study. *PLoS ONE* **2015**, *10*, e0119591. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
11. Lee, I.-M.; Shiroma, E.J.; Lobelo, F.; Puska, P.; Blair, S.N.; Katzmarzyk, P.T.; 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**, *380*, 219–229. [[CrossRef](#)]
12. Paffenbarger, R.S.; Hyde, R.T.; Wing, A.L.; Hsieh, C.C. Physical Activity, All-Cause Mortality, and Longevity of College Alumni. *N. Engl. J. Med.* **1986**, *314*, 605–613. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
13. Janssen, X.; Mann, K.D.; Basterfield, L.; Parkinson, K.N.; Pearce, M.S.; Reilly, J.K.; Adamson, A.J.; Reilly, J.J. Development of Sedentary Behavior across Childhood and Adolescence: Longitudinal Analysis of the Gateshead Millennium Study. *Int. J. Behav. Nutr. Phys. Act* **2016**, *13*, 88. [[CrossRef](#)]
14. Farooq, M.A.; Parkinson, K.N.; Adamson, A.J.; Pearce, M.S.; Reilly, J.K.; Hughes, A.R.; Janssen, X.; Basterfield, L.; Reilly, J.J. Timing of the Decline in Physical Activity in Childhood and Adolescence: Gateshead Millennium Cohort Study. *Br. J. Sports Med.* **2018**, *52*, 1002–1006. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
15. Hallal, P.C.; Andersen, L.B.; Bull, F.C.; Guthold, R.; Haskell, W.; Ekelund, U. Global Physical Activity Levels: Surveillance Progress, Pitfalls, and Prospects. *Lancet* **2012**, *380*, 247–257. [[CrossRef](#)]
16. Saunders, T.J.; Chaput, J.-P.; Tremblay, M.S. Sedentary Behaviour as an Emerging Risk Factor for Cardiometabolic Diseases in Children and Youth. *Can. J. Diabetes* **2014**, *38*, 53–61. [[CrossRef](#)]
17. Andersen, L.B.; Harro, M.; Sardinha, L.B.; Froberg, K.; Ekelund, U.; Brage, S.; Andersen, S.A. Physical Activity and Clustered Cardiovascular Risk in Children: A Cross-Sectional Study (The European Youth Heart Study). *Lancet* **2006**, *368*, 299–304. [[CrossRef](#)]
18. Carson, V.; Hunter, S.; Kuzik, N.; Gray, C.E.; Poitras, V.J.; Chaput, J.-P.; Saunders, T.J.; Katzmarzyk, P.T.; Okely, A.D.; Connor Gorber, S.; et al. Systematic Review of Sedentary Behaviour and Health Indicators in School-Aged Children and Youth: An Update. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* **2016**, *41*, S240–S265. [[CrossRef](#)]
19. Ekelund, U.; Luan, J.; Sherar, L.; Esliger, D.; Griew, P.; Cooper, A. Moderate to Vigorous Physical Activity and Sedentary Time and Cardiometabolic Risk Factors in Children and Adolescents. *JAMA* **2012**, *307*, 704–712. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
20. Martinez-Gomez, D.; Eisenmann, J.; Gómez-Martínez, S.; Veses, A.; Marcos, A.; Veiga, O. Sedentary Behavior, Adiposity and Cardiovascular Risk Factors in Adolescents. The AFINOS Study. *Revista Española de Cardiología* **2010**, *63*, 277–285. [[CrossRef](#)]
21. Väistö, J.; Eloranta, A.-M.; Viitasalo, A.; Tompuri, T.; Lintu, N.; Karjalainen, P.; Lampinen, E.-K.; Ågren, J.; Laaksonen, D.E.; Lakka, H.-M.; et al. Physical Activity and Sedentary Behaviour in Relation to Cardiometabolic Risk in Children: Cross-Sectional Findings from the Physical Activity and Nutrition in Children (PANIC) Study. *Int. J. Behav. Nutr. Phys. Act* **2014**, *11*, 55. [[CrossRef](#)]
22. Esteban-Cornejo, I.; Martinez-Gomez, D.; Sallis, J.F.; Cabanas-Sánchez, V.; Fernández-Santos, J.; Castro-Piñero, J.; Veiga, O.L. Objectively Measured and Self-Reported Leisure-Time Sedentary Behavior and Academic Performance in Youth: The UP&DOWN Study. *Prev. Med.* **2015**, *77*, 106–111. [[CrossRef](#)]
23. Syväoja, H.J.; Kantomaa, M.T.; Ahonen, T.; Hakonen, H.; Kankaanpää, A.; Tammelin, T.H. Physical Activity, Sedentary Behavior, and Academic Performance in Finnish Children. *Med. Sci. Sports Exerc.* **2013**, *45*, 2098–2104. [[CrossRef](#)]
24. Syväoja, H.J.; Kankaanpää, A.; Kallio, J.; Hakonen, H.; Kulmala, J.; Hillman, C.H.; Pesonen, A.-K.; Tammelin, T.H. The Relation of Physical Activity, Sedentary Behaviors, and Academic Achievement Is Mediated by Fitness and Bedtime. *J. Phys. Act Health* **2018**, *15*, 135–143. [[CrossRef](#)]
25. Kuh, D.; Shlomo, Y.B. *A Life Course Approach to Chronic Disease Epidemiology*; OUP Oxford: Oxford, UK, 2004; ISBN 978-0-19-857815-4.
26. Thivel, D.; Chaput, J.P.; Duclos, M. Integrating Sedentary Behavior in the Theoretical Model Linking Childhood to Adulthood Activity and Health? An Updated Framework. *Physiol. Behav.* **2018**, *196*, 33–35. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
27. Patton, G.C.; Bond, L.; Carlin, J.B.; Thomas, L.; Butler, H.; Glover, S.; Catalano, R.; Bowes, G. Promoting Social Inclusion in Schools: A Group-Randomized Trial of Effects on Student Health Risk Behavior and Well-Being. *Am. J. Public Health* **2006**, *96*, 1582–1587. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
28. Pinel-Jacquemin, S.; Florin, A.; Guimard, P. *Bien-Être Des Élèves à l'école et Promotion de Leur Santé*; Ministère de l'éducation nationale et de la jeunesse; Conseil national d'évaluation du système scolaire (CNESCO): Paris, France, 2016.
29. Ayala, A.M.C.; Sudholz, B.; Salmon, J.; Dunstan, D.W.; Ridgers, N.D.; Arundell, L.; Timperio, A. The Impact of Height-Adjustable Desks and Prompts to Break-up Classroom Sitting on Adolescents' Energy Expenditure, Adiposity Markers and Perceived Musculoskeletal Discomfort. *PLoS ONE* **2018**, *13*, e0203938. [[CrossRef](#)]
30. Fedewa, A.; Cornelius, C.; Ahn, S. The Use of Bicycle Workstations to Increase Physical Activity in Secondary Classrooms. *Health Psychol. Rep.* **2017**, *6*, 60–74. [[CrossRef](#)]
31. Clemes, S.A.; Barber, S.E.; Bingham, D.D.; Ridgers, N.D.; Fletcher, E.; Pearson, N.; Salmon, J.; Dunstan, D.W. Reducing Children's Classroom Sitting Time Using Sit-to-Stand Desks: Findings from Pilot Studies in UK and Australian Primary Schools. *J. Public Health (Oxf.)* **2016**, *38*, 526–533. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
32. Ee, J.; Parry, S.; de Oliveira, B.I.; McVeigh, J.A.; Howie, E.; Straker, L. Does a Classroom Standing Desk Intervention Modify Standing and Sitting Behaviour and Musculoskeletal Symptoms during School Time and Physical Activity during Waking Time? *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2018**, *15*. [[CrossRef](#)]

33. Erwin, H.E.; Fedewa, A.; Ahn, S.; Thornton, M. Elementary Students' Physical Activity Levels and Behavior When Using Stability Balls. *Am. J. Occup. Ther.* **2016**, *70*, 700220010p1–700220010p7. [[CrossRef](#)]
34. Torbeyns, T.; de Geus, B.; Bailey, S.; Decroix, L.; Cutsem, J.V.; Pauw, K.D.; Meeusen, R. Bike Desks in the Classroom: Energy Expenditure, Physical Health, Cognitive Performance, Brain Functioning, and Academic Performance. *J. Phys. Act. Health* **2017**, *14*, 429–439. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
35. Minges, K.E.; Chao, A.M.; Irwin, M.L.; Owen, N.; Park, C.; Whittlemore, R.; Salmon, J. Classroom Standing Desks and Sedentary Behavior: A Systematic Review. *Pediatrics* **2016**, *137*, e20153087. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
36. Sherry, A.P.; Pearson, N.; Clemes, S.A. The Effects of Standing Desks within the School Classroom: A Systematic Review. *Prev. Med. Rep.* **2016**, *3*, 338–347. [[CrossRef](#)]
37. Rollo, S.; Crutchlow, L.; Nagpal, T.S.; Sui, W.; Prapavessis, H. The Effects of Classroom-Based Dynamic Seating Interventions on Academic Outcomes in Youth: A Systematic Review. *Learn. Environ. Res.* **2019**, *22*, 153–171. [[CrossRef](#)]
38. Josaphat, K.-J.; Kugathasan, T.A.; Reid, R.E.R.; Begon, M.; Léger, P.-M.; Labonté-Lemoyne, E.; Sénécal, S.; Arvisais, D.; Mathieu, M.-E. Use of Active Workstations in Individuals with Overweight or Obesity: A Systematic Review. *Obesity* **2019**, *27*, 362–379. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
39. Moher, D.; Liberati, A.; Tetzlaff, J.; Altman, D.G.; Group, T.P. Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. *PLoS Medicine* **2009**, *6*, e1000097. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
40. Benden, M.E.; Blake, J.J.; Wendel, M.L.; Huber, J.C. The Impact of Stand-Biased Desks in Classrooms on Calorie Expenditure in Children. *Am. J. Public Health* **2011**, *101*, 1433–1436. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
41. Benden, M.E.; Wendel, M.L.; Jeffrey, C.E.; Zhao, H.; Morales, M.L. Within-Subjects Analysis of the Effects of a Stand-Biased Classroom Intervention on Energy Expenditure. *J. Exerc. Physiol. Online* **2012**, *15*, 9–20.
42. Benden, M.E.; Zhao, H.; Jeffrey, C.E.; Wendel, M.L.; Blake, J.J. The Evaluation of the Impact of a Stand-Biased Desk on Energy Expenditure and Physical Activity for Elementary School Students. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2014**, *11*, 9361–9375. [[CrossRef](#)]
43. Blake, J.J.; Benden, M.E.; Wendel, M.L. Using Stand/Sit Workstations in Classrooms: Lessons Learned From a Pilot Study in Texas. *J. Public Health Manag. Pract.* **2012**, *18*, 412–415. [[CrossRef](#)]
44. Clemes, S.A.; Bingham, D.D.; Pearson, N.; Chen, Y.-L.; Edwardson, C.L.; McEachan, R.R.C.; Tolfrey, K.; Cale, L.; Richardson, G.; Fray, M.; et al. Stand Out in Class: Restructuring the Classroom Environment to Reduce Sitting Time – Findings from a Pilot Cluster Randomised Controlled Trial. *Int. J. Behav. Nutr. Phys. Act.* **2020**, *17*, 55. [[CrossRef](#)]
45. Dornhecker, M.; Blake, J.J.; Benden, M.; Zhao, H.; Wendel, M. The Effect of Stand-Biased Desks on Academic Engagement: An Exploratory Study. *Int. J. Health Promot. Educ.* **2015**, *53*, 271–280. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
46. Kidokoro, T.; Shimizu, Y.; Edamoto, K.; Annear, M. Classroom Standing Desks and Time-Series Variation in Sedentary Behavior and Physical Activity among Primary School Children. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2019**, *16*, 1892. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
47. Koeppe, G.A.; Snedden, B.J.; Flynn, L.; Puccinelli, D.; Huntsman, B.; Levine, J.A. Feasibility Analysis of Standing Desks for Sixth Graders. *ICAN* **2012**. [[CrossRef](#)]
48. Mehta, R.K.; Shortz, A.E.; Benden, M.E. Standing Up for Learning: A Pilot Investigation on the Neurocognitive Benefits of Stand-Biased School Desks. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2015**, *13*. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
49. Parry, S.; IR de Oliveira, B.; McVeigh, J.A.; Ee, J.; Jacques, A.; Straker, L. Standing Desks in a Grade 4 Classroom over the Full School Year. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2019**, *16*, 3590. [[CrossRef](#)]
50. Pickens, A.W.; Benden, M.E.; Schneider, D.E.; Zhao, H. Use of Stand-Biased Desks to Reduce Sedentary Time in High School Students: A Pilot Study. *Int. J. Child Health Nutr.* **2016**, *5*, 75–78. [[CrossRef](#)]
51. Sherry, A.P.; Pearson, N.; Ridgers, N.D.; Johnson, W.; Barber, S.E.; Bingham, D.D.; Nagy, L.C.; Clemes, S.A. Impacts of a Standing Desk Intervention within an English Primary School Classroom: A Pilot Controlled Trial. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2020**, *17*, 7048. [[CrossRef](#)]
52. Sprengeler, O.; Hebestreit, A.; Gohres, H.; Bucksch, J.; Buck, C. Effects of Installing Height-Adjustable Standing Desks on Daily and Domain-Specific Duration of Standing, Sitting, and Stepping in 3rd Grade Primary School Children. *Front. Public Health* **2020**, *8*. [[CrossRef](#)]
53. Sudholz, B.; Timperio, A.; Ridgers, N.D.; Dunstan, D.W.; Baldock, R.; Holland, B.; Salmon, J. The Impact and Feasibility of Introducing Height-Adjustable Desks on Adolescents' Sitting in a Secondary School Classroom. *AIMS Public Health* **2016**, *3*, 274–287. [[CrossRef](#)]
54. Swartz, A.M.; Tokarek, N.R.; Lisdahl, K.; Maeda, H.; Strath, S.J.; Cho, C.C. Do Stand-Biased Desks in the Classroom Change School-Time Activity and Sedentary Behavior? *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2019**, *16*, 933. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
55. Verloigne, M.; Ridgers, N.D.; De Bourdeaudhuij, I.; Cardon, G. Effect and Process Evaluation of Implementing Standing Desks in Primary and Secondary Schools in Belgium: A Cluster-Randomised Controlled Trial. *Int. J. Behav. Nutr. Phys. Act.* **2018**, *15*, 94. [[CrossRef](#)]
56. Wendel, M.L.; Benden, M.E.; Zhao, H.; Jeffrey, C. Stand-Biased Versus Seated Classrooms and Childhood Obesity: A Randomized Experiment in Texas. *Am. J. Public Health* **2016**, *106*, 1849–1854. [[CrossRef](#)]
57. Wick, K.; Faude, O.; Manes, S.; Zahner, L.; Donath, L. I Can Stand Learning: A Controlled Pilot Intervention Study on the Effects of Increased Standing Time on Cognitive Function in Primary School Children. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2018**, *15*, 356. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]

58. Ruiter, M.; Eielts, C.; Loyens, S.; Paas, F. Comparing Cognitive Control Performance During Seated Rest and Self-Paced Cycling on a Desk Bike in Preadolescent Children. *J. Phys. Act. Health* **2019**, *16*, 533–539. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
59. Fedewa, A.; Davis, M.A.C.; Ahn, S. Effects of Stability Balls on Children’s On-Task Behavior, Academic Achievement, and Discipline Referrals: A Randomized Controlled Trial. *Am. J. Occup. Ther.* **2015**, *69*, 6902220020p1–6902220020p9. [[CrossRef](#)]
60. Higgins, J.P.T.; Thomas, J.; Chandler, J.; Cumpston, M.; Li, T.; Page, M.J.; Welch, V.A. *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions*. John Wiley & Sons: Chichester, UK, 2019; ISBN 978-1-119-53661-1.
61. Guyatt, G.H.; Oxman, A.D.; Vist, G.; Kunz, R.; Brozek, J.; Alonso-Coello, P.; Montori, V.; Akl, E.A.; Djulbegovic, B.; Falck-Ytter, Y.; et al. GRADE Guidelines: 4. Rating the Quality of Evidence—Study Limitations (Risk of Bias). *J. Clin. Epidemiol.* **2011**, *64*, 407–415. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
62. Tudor-Locke, C.; Schuna, J.M.; Frensham, L.J.; Proenca, M. Changing the Way We Work: Elevating Energy Expenditure with Workstation Alternatives. *Int. J. Obes.* **2014**, *38*, 755–765. [[CrossRef](#)]
63. Coenen, P.; Willenberg, L.; Parry, S.; Shi, J.W.; Romero, L.; Blackwood, D.M.; Maher, C.G.; Healy, G.N.; Dunstan, D.W.; Straker, L.M. Associations of Occupational Standing with Musculoskeletal Symptoms: A Systematic Review with Meta-Analysis. *Br. J. Sports Med.* **2018**, *52*, 176–183. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
64. Ioannidis, J.P.A. The Mass Production of Redundant, Misleading, and Conflicted Systematic Reviews and Meta-Analyses. *Milbank Q.* **2016**, *94*, 485–514. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
65. Migueles, J.H.; Cadenas-Sanchez, C.; Ekelund, U.; Delisle Nyström, C.; Mora-Gonzalez, J.; Löf, M.; Labayen, I.; Ruiz, J.R.; Ortega, F.B. Accelerometer Data Collection and Processing Criteria to Assess Physical Activity and Other Outcomes: A Systematic Review and Practical Considerations. *Sports Med.* **2017**, *47*, 1821–1845. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
66. Dupont, F.; Léger, P.-M.; Begon, M.; Lecot, F.; Sénécal, S.; Labonté-Lemoyne, E.; Mathieu, M.-E. Health and Productivity at Work: Which Active Workstation for Which Benefits: A Systematic Review. *Occup. Environ. Med.* **2019**, *76*, 281–294. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]



Article

Adverse Collateral Effects of COVID-19 Public Health Restrictions on Physical Fitness and Cognitive Performance in Primary School Children

Camille Chambonnière¹ , Nicole Fearnbach², Léna Pelissier^{1,*}, Pauline Genin³, Alicia Fillon^{1,3} , Audrey Boscaro¹, Line Bonjean¹, Mélina Bailly¹, Julie Siroux¹, Terry Guirado¹ , Bruno Pereira⁴ , David Thivel^{1,3,5} and Martine Duclos^{3,5,6,7,8}

- ¹ Laboratory of Metabolic Adaptations to Exercise under Physiological and Pathological Conditions, Clermont Auvergne University, 63000 Clermont-Ferrand, France; camille.chambonniere@uca.fr (C.C.); fillonalicia@gmail.com (A.F.); audrey.boscaro@uca.fr (A.B.); line.bonjean@etu.uca.fr (L.B.); melina.bailly@uca.fr (M.B.); julie.siroux@etu.uca.fr (J.S.); terry.guirado@uca.fr (T.G.); david.thivel@uca.fr (D.T.)
 - ² Clinical Sciences Division, Pennington Biomedical Research Center, Baton Rouge, LA 70808, USA; nicole.feambach@pbrc.edu
 - ³ National Observatory for Physical Activity and Sedentary Behaviors, 63000 Clermont-Ferrand, France; p.genin@onaps.fr (P.G.); mduclos@chu-clermontferrand.fr (M.D.)
 - ⁴ Biostatistics Unit, Clermont-Ferrand University Hospital, 63000 Clermont-Ferrand, France; bpereira@chu-clermontferrand.fr
 - ⁵ Clermont Auvergne University Foundation, 63000 Clermont-Ferrand, France
 - ⁶ UFR Medicine, Clermont Auvergne University, 63000 Clermont-Ferrand, France
 - ⁷ INRA, UMR 1019, 63000 Clermont-Ferrand, France
 - ⁸ Department of Sport Medicine and Functional Explorations, Clermont-Ferrand University Hospital, G. Montpied Hospital, 63000 Clermont-Ferrand, France
- * Correspondence: lena.pelissier@uca.fr



Citation: Chambonnière, C.; Fearnbach, N.; Pelissier, L.; Genin, P.; Fillon, A.; Boscaro, A.; Bonjean, L.; Bailly, M.; Siroux, J.; Guirado, T.; et al. Adverse Collateral Effects of COVID-19 Public Health Restrictions on Physical Fitness and Cognitive Performance in Primary School Children. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2021**, *18*, 11099. <https://doi.org/10.3390/ijerph182111099>

Academic Editor: Paul B. Tchounwou

Received: 30 September 2021

Accepted: 19 October 2021

Published: 22 October 2021

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2021 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Abstract: The aim of the present study was to evaluate whether the COVID-19-related confinement and social restrictions affected the levels of physical fitness and academic achievement in primary school French children. A total of 206 primary school children (106 before confinements and 100 after restrictions) completed a test battery evaluating their anthropometric characteristics, body compositions, activity preferences, cognitive performances and physical fitness. The performance of the Standing Long Jump was better at T0 (169.9 ± 142.5 cm) compared to T1 (135.2 ± 31.4 cm) ($p = 0.0367$), and the Medicine Ball Throw performance declined from T0 to T1 (297.3 ± 81.1 cm vs. 249 ± 52 cm; $p < 0.0001$). Motor skills (26.9 ± 6.2 s vs. 30.9 ± 5.4 s; $p < 0.0001$), the shuttle-run test (stages completed), Maximal Aerobic Speed, and the estimated VO_{2max} were lower at T1 compared to T0 ($p < 0.0001$). Executive functioning was found to be greater at T0 compared to T1 ($p < 0.0001$). Explicit liking or wanting for sedentary or physical activities did not change between T0 and T1. Both overall physical fitness and cognitive performance drastically declined among primary school French children with the COVID-19-related public health restrictions, which reinforces the need to urgently develop preventive strategies in anticipation of further mitigation measures.

Keywords: COVID-19; physical fitness; executive function; confinement; children

1. Introduction

After its appearance in Wuhan, China, in December 2019, the worldwide transmission of the SARS-CoV-2 virus (COVID-19) led to an unprecedented public health crisis, leading the World Health Organization (WHO) officially declaring a global pandemic on 11 March 2020. In the span of about 7 days, the progression of the virus led to global school closures in order to reduce the amount of social contact between students. Nearly 850 million children and adolescents were subjected to stay-at-home orders and engaged

in virtual learning [1–3]. In France, a general national confinement was imposed on 17 March 2020, for a total of 55 days, with all primary and secondary schools closed and all teaching activities conducted online. Although the restrictions were removed in May 2020, protective measures and preventive precautions, which encouraged social distancing, were maintained throughout 2020.

As a direct consequence, the movement behaviors of both adults and youth have been affected and a plethora of international publications have clearly described an alarming decline in physical activity levels, with a simultaneous increase in sedentary behaviors (SED) in children and adolescents [4]. While these COVID-19-related alterations of PAL and SED time in youth have been associated with impaired mental, physical, and metabolic health and overall well-being [5–9], few results are available regarding the impact on objectively measured physical fitness. In a recent work, Wahl-Alexander and Camic assessed 9- to 14-year-old children's cardiorespiratory fitness (20 m Progressive Aerobic Cardiovascular Endurance Run PACER) and muscle strength (curl-up and push-up tests) between August 2019 and July 2020 [10]. Although their baseline evaluation occurred about 7 months before the lockdown itself, the authors observed a significant decline in both cardiovascular endurance (26.7%) and muscle strength (20% decline at the push-up test and 35.6% decline at the sit-up test) in both boys and girls [10]. Lopez-Bueno et al. [11] also assessed cardiovascular fitness among 89 adolescent boys and girls aged 13.3 ± 0.9 years old using the multi-stage 20 m shuttle-run test, which showed that only girls experienced a significant decrease in estimated VO_{2max} . However, the data for this study were collected between November 2019 and November 2020, which does not exclusively isolate the lockdown period. More recently, Jamig and colleagues reported a decreased cardiorespiratory fitness among 764 7- to 10-year-old Australian children, all of whom exhibited a significantly increased body mass index [12]. These few studies provide, to our knowledge, the only available evidence regarding the potential effect of the COVID-19 period on objectively assessed fitness in youth. Given that fitness is associated with children's leisure time activity preferences [13], it is important to investigate whether declines in fitness during the COVID-19 pandemic are associated with a greater desire to be sedentary, as this may pose a barrier to intervention.

Little is known regarding the effect of the COVID-19 confinement on academic achievement and executive functioning in children, while the imposed public health precautions kept the kids away from face-to-face teaching. In young adults, the lockdown negatively impacted executive function, particularly among individuals with pre-existing deficits [14]. In children, the early data from online-learning platforms indicate a drop in completed coursework [15] and an increased dispersion of test scores [16]. In their recent landmark study based on a database involving about 350,000 children aged 8- to 11-year-old from the Netherlands, Engzell and collaborators clearly underlined that children made little or no progress while learning from home during the confinement compared to a normal academic year [17]. Importantly, this learning loss was more pronounced among kids from disadvantaged homes [17]. Such cognitive and academic declines can be attributed to the stress induced by the lockdown conditions and the pandemic situation, the lower intellectual stimulation during virtual classes, and the increased sedentary time, especially screen time [18–20]. We hypothesize that a decline in physical fitness could also be involved, based on previous studies of the association between fitness and academic achievement in children and adolescents [21,22].

In this context, the aim of the present study is to evaluate whether the COVID-19-related confinement and social restrictions affected the levels of physical fitness and academic achievement in primary school French children. Using a forced-choice paradigm to understand implicit activity preferences [13], we also questioned the effect of this specific lockdown period on primary school children's desires to be sedentary vs. physically active.

2. Materials and Methods

2.1. Population and Design

This study is part of the French National Observatory for Physical Activity and Sedentary Behaviors (ONAPS) national survey evaluating the impact of the 2020 COVID-19-related confinement. The baseline evaluations were taken in February 2020 (T0), right before the lockdown and the intervention that was supposed to last from March to May 2020 was cancelled. The same test battery was then conducted among children in 3rd and 4th grade after the lockdown and end of restrictions limiting social interactions in France (January 2021, T1).

A total of 206 primary school children from 3rd and 4th grades participated, 106 at T0 and 100 in T1. Children completed a test battery evaluating their anthropometric characteristics, body compositions, activity preferences, cognitive performances and physical fitness. Both parents and children received initial and adapted information sheets and signed consent forms as required by local ethical regulations (CPP Sud est VI. reference 2020/CE 27).

2.2. Anthropometric Characteristics and Body Composition

Body mass weight (kg) and height (cm) were measured by using a standard apparatus (Seca, Lea Mureaux), to the nearest 0.1 kg and 0.5 cm, respectively. Body mass index (BMI) was calculated as body weight divided by height squared (kilogram per square meter). Children were classified as having obesity (OG, [95th–99th] percentile) or extreme obesity (EOG, >99th percentile), according to BMI curves, chronological age and sex (Centers for Disease Control and Prevention—CDC) [23]. Body composition was assessed by bioelectrical impedance using a Tanita MC-780 multi-frequency, segmental body-composition analyzer. This consisted of a stand-alone unit which the participant had to step on with bare feet (standard mode). Information about the participant (age, sex, and height) was entered by the experimenter. Once body mass had been assessed by the Tanita scale, the participant had to take grips in both hands (alongside his/her body) during the impedance measurement (hand to foot). A full segmental analysis was performed in less than 20 s. This technology has been validated in children of various adiposity levels, showing a good level of validity and sensitivity to changes [24,25].

2.3. Executive Function

Executive function was assessed through the Trail Making Test (TMT), a 5 min pen-and-paper test with two sub-parts (A and B). The TMT-A evaluates the speed of treatment and attention while the TMT-B evaluates mental flexibility and executive functioning [26]. The TMT-A required children to connect, as quickly as possible, circles numbered from 1 to 25 in ascending order. The TMT-B contains circles, numbers and letters (from 1 to 25 and from A to Y) and the children were asked to connect them as quickly as possible in ascending order (e.g., 1-A, 2-B, 3-C). The time taken to complete each task (in seconds) and the number of mistakes was noted. This test has been validated in children [27].

2.4. Physical Fitness

2.4.1. Cardiorespiratory Fitness

The 20 m shuttle-run test developed by Léger et al. was used as an indirect measurement of aerobic fitness [28]. This test is based on the linear relationship between the increase in oxygen consumption and the increase in running speed. The reliability of this test in both children and adults for the determination of maximum oxygen uptake has already been described [29]. During the test, participants were instructed to run as long as possible between two lines drawn 20 m apart at an increasing speed, which was imposed by a recording that emitted tones at appropriate intervals. For the first few minutes of the test, the speed was set to 8 km/h and then increased by 0.5 km/h every minute. Children ran in groups of no more than five and were encouraged by a member of the research team. As soon as a child was not able to complete a whole stage, the test was stopped and the child's

score corresponding to the last fully completed stage was recorded. The Maximal Aerobic Speed (MAS) was then calculated. The maximum oxygen intake (VO_{2max}) was estimated using the following validation equation: $Y = 31.025 + 3.238X - 3.248A + 0.1536AX$, where X refers to the MAS and A to the age [29]. The 20 m shuttle-run test has been validated and found to be reliable for the prediction of VO_{2max} in children and adolescents [30] with a good reproducibility in children and adolescents between ages 8 and 18 [29,31–33].

2.4.2. Upper-Body Muscular Strength

Upper-body muscular strength was measured with a handgrip dynamometer (Takei Scientific Instruments Co., Ltd., Niigata, Japan). A previous study reported acceptable inter-trial reliability for the hand dynamometer [34]. The participants were asked to adjust the handgrip bar so that the second joint of the fingers was bent to grip the handle of the dynamometer. The participants stood upright with their arms in a vertical position and the dynamometer close to the body. They were then asked to squeeze the hand dynamometer as hard as possible. The test was completed twice, in the left and right arms, and the best recordings of both the arms were averaged. Participants also performed a Medicine Ball Throw test that measures the explosive power of the upper limbs when throwing a medicine ball as far as possible. Participants were seated in a chair with their feet shoulder-width apart and their backs supported so that only upper-body strength was used. The medicine ball was held at shoulder height and thrown forward with a counter movement of the forearms. The test was performed twice, and the research staff recorded the distance between front chair leg and the medicine ball landing site (to the nearest 0.5 cm). The Medicine Ball Throw test has been validated and is reliable for children and adolescents with an ICC = 0.98 [35].

2.4.3. Lower-Body Muscular Strength

Lower-body muscular strength was measured using the Standing Long Jump test. The test was performed on a non-slip hard surface. Participants were asked to jump the longest distance possible from a standing start while swinging both arms. The distance from the take-off line to the point where the back of the heel touched the surface was measured using a measuring tape. The test was conducted twice, and the best score was used [36]. The Counter Movement Jump test was also performed using an Optojump (Microgate Co., New York, NY, USA) [37]. The starting position was a standing position with a straight torso and knees fully extended with the feet shoulder-width apart [37]. Participants were asked to keep their hands on their hips throughout the whole jump. They were instructed to perform a quick downward movement (approximately 90° of knee flexion), and afterward a fast upward movement to jump as high as possible.

2.5. Implicit Activity Preferences

The Activity Preference Assessment (APA) is a computerized behavioral task designed to assess and quantify biases in decision making across multiple leisure time activities [13]. The APA is administered on a desktop computer via E-Prime (Psychology Software Tools, Sharpsburg, PA, USA) and takes approximately 10 min to complete. Each participant was first asked how much they like taking part and want to take part in a variety of common physical activities (e.g., ball sports, swimming) and sedentary activities (e.g., arts and crafts, watching TV) using visual analog scales (VAS) to quantify explicit liking and explicit wanting (range 0 to 100). They then complete a forced-choice paradigm, or “would you rather?” game. Out of each pair of activity images (4 sets of 30 pairs, with breaks between sets), they were asked to select, as quickly as possible, the activity they most want to do in order to assess implicit wanting. Sixty-four of the 120 pairs were sedentary vs. physical activities, with the remaining pairs falling within category. Every pair is unique and all possible comparisons were made. Implicit wanting scores from the head-to-head comparisons of sedentary vs. physical activities take into account the choices made and reaction times. These scores were used to compute the bias score (range of –100

to +100), thereby quantifying the relative implicit preference. Positive (+) scores represent a relative preference towards sedentary activities and negative (−) scores represent a relative preference towards physical activities. The data were processed via an automated scoring procedure in Anaconda3 (Austin, TX, USA). The APA was originally developed and validated in English [13], but herein we present data from the French version. All text within the APA and the corresponding participant instructions were translated to French by a bilingual French and English speaker and then back-translated to English to confirm that the original meaning of all the text was retained.

2.6. Statistical Analysis

Continuous data are expressed as mean and standard deviation. The assumption of normality was assessed by using the Shapiro-Wilk test. The comparisons between baseline (T0) and after the lockdown and end of restrictions evaluations (T1) were performed using Student's *t* test or Mann-Whitney test if the assumptions to apply *t*-tests were not met. The homoscedasticity was analyzed using the Fisher-Snedecor test. Particular attention was paid to the magnitude of T0–T1 differences. The results were expressed using Hedge's effect size (ES) and 95% confidence interval, and were interpreted according to the rules of thumb reported by Cohen [38], who defined the ES bounds as: small (ES = 0.2), medium (ES = 0.5), and large (ES = 0.8). To analyze the relationships between continuous parameters, Pearson and Spearman correlation coefficients were estimated according to the statistical distribution of variables, and were interpreted as follows: <0.2 negligible, 0.2 to 0.4 weak, 0.4 to 0.7 moderate, >0.7 strong [39]. All statistical analyses were carried out using Stata software (version 15, StataCorp, College Station, TX, USA) for a two-sided Type I error at 5%, with a Sidak's type I error correction to take into account multiple comparisons.

3. Results

A total of 206 healthy-weight kids of ages 9 to 10 participated in the study. At T0, 106 children (9.9 ± 1.03 y) completed the evaluations, including 55 girls (9.9 ± 1.03 y) and 51 boys (9.8 ± 1.06 y). At T1, 100 kids completed the evaluation (9.4 ± 0.6 y), including 47 girls (9.4 ± 0.6 y) and 53 boys (9.4 ± 0.6 y).

The participant characteristics, fitness, and executive function scores from T0 and T1 are detailed in Table 1. Weight (kg), BMI (kg/m^2) and the percentage of fat mass (FM%) did not differ. While there was not significant difference in the Counter Movement Jump height, the performance of the Standing Long Jump was better at T0 (169.9 ± 142.5 cm) compared to T1 (135.2 ± 31.4 cm) ($p = 0.0367$). Regarding physical fitness in the upper limbs, handgrip strength did not differ over time, but Medicine Ball Throw performance declined from T0 to T1 (297.3 ± 81.1 cm vs. 249 ± 52 cm; $p < 0.0001$). The performance of the motor skills test was found to be significantly better (lower execution time) at T0 compared with T1 (26.9 ± 6.2 s vs. 30.9 ± 5.4 s; $p < 0.0001$) (Figure 1A). The shuttle-run test (stages completed), MAS, and estimated $\text{VO}_{2\text{max}}$ were all significantly lower at T1 compared to T0 ($p < 0.0001$) (Figure 1B). Results from the cognitive functioning task are presented in Table 1 and Figure 2, with better performances seen in part A, part B, and the total score at T0 compared to T1 ($p = 0.0009$; $p = 0.0008$ and $p < 0.0001$, respectively).

There were associations between the TMT total score and the shuttle-run test performance ($r^2 = -0.292$; $p = 0.0043$), handgrip strength ($r^2 = -0.279$; $p = 0.0069$) and Standing Long Jump performance ($r^2 = -0.221$; $p = 0.0336$) at T0. The TMT total score was associated with handgrip strength ($r^2 = -0.366$; $p = 0.0003$) and Counter Movement Jump performance ($r^2 = -0.279$; $p = 0.0098$) at T1.

A subsample of participants ($n = 51$ at T0; $n = 51$ at T1) completed the APA. Children did not show a difference in explicit liking or wanting for sedentary or physical activities between T0 and T1 (all $p > 0.05$). Similarly, there was not a statistically significant difference in bias scores (relative preference) from the forced-choice task between T0 (-9.5 ± 44.4 , physical activity preference) and T1 (6.2 ± 53.5 , sedentary preference) ($p = 0.12$).

Table 1. Anthropometric characteristics, physical fitness, and cognitive functioning results between T0 and T1.

	T0		T1		<i>p</i>	ES
	Mean	SD	Mean	SD		
Weight (kg)	32.96	8.71	35.13	10.26	0.1862	−0.22 [−0.56; 0.11]
BMI (kg/m ²)	17.23	3.51	18.20	3.94	0.1425	−0.25 [−0.59; 0.09]
FM (%)	24.23	7.20	24.41	6.85	0.9031	−0.02 [−0.42; 0.37]
CMJ (cm)	18.01	4.60	17.36	3.51	0.3213	0.15 [−0.15; 0.46]
SBJ (cm)	169.87	142.57	135.23	31.40	0.0367	0.33 [0.01; 0.64]
Handgrip (N)	14.30	3.54	14.02	3.04	0.5892	0.08 [−0.22; 0.39]
TMB (cm)	297.28	81.11	249.06	52.13	<0.0001	0.70 [0.38; 1.01]
Motor skills (s)	26.88	6.26	30.97	5.43	<0.0001	−0.69 [−1.01; −0.37]
MAS (km/h)	9.68	0.90	9.00	0.75	<0.0001	0.80 [0.48; 1.12]
VO _{2max} (mL/min/kg)	45.66	4.25	43.05	3.69	<0.0001	0.65 [0.33; 0.96]
Shuttle run stage	4.37	1.81	1.98	1.52	<0.0001	1.41 [1.06; 1.75]
TMT-A (s)	79.69	26.47	95.60	32.36	0.0009	−0.53 [−0.85; −0.22]
TMT-B (s)	154.43	62.95	186.44	54.63	0.0008	−0.53 [−0.85; −0.22]
TMT-Tot (s)	234.12	77.90	293.24	80.98	<0.0001	−0.74 [−1.05; −0.41]

T0: Baseline; T1: Time 1; BMI: Body Mass Index; CMJ: Counter Movement Jump; ES: Effect Size; FM: Fat Mass; MAS: Maximal Aerobic Speed; *p*: *p* value; SBJ: Standing Broad Jump; SD: Standard Deviations; TMB: Throw Medicine Ball; TMT: Trail Making Test.

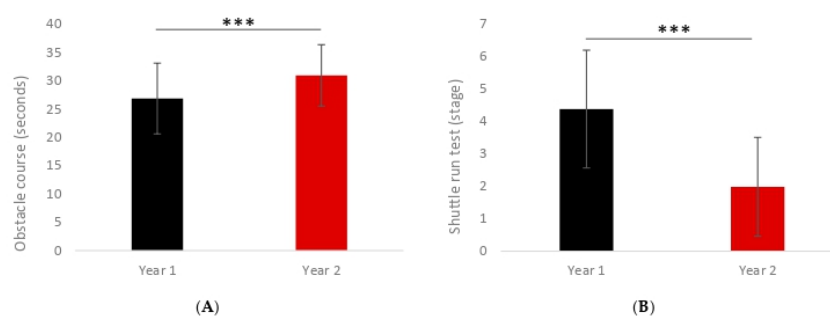


Figure 1. Performances at the Motor Skills Obstacle Course (A) and shuttle-run test (B) between T0 (year 1) and T1 (year 2). *** *p* < 0.0001.

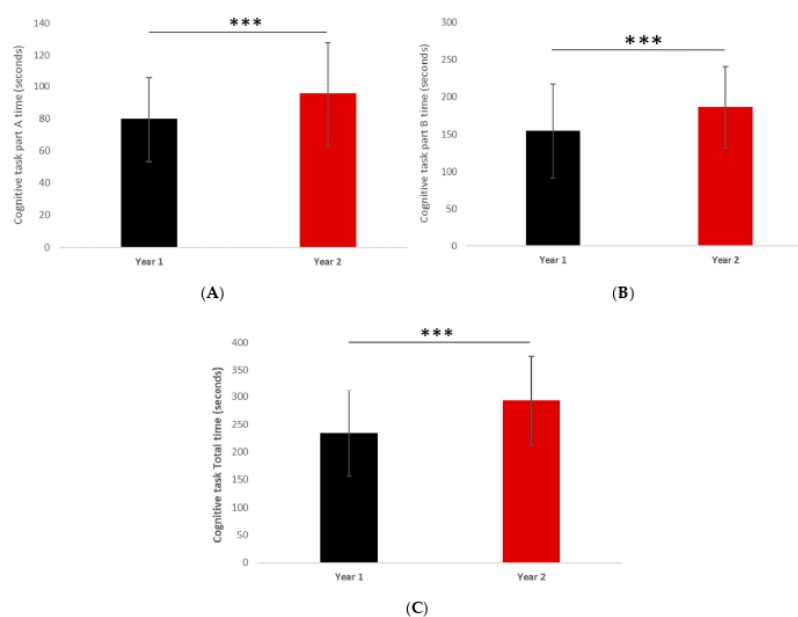


Figure 2. Results of the parts A and B (A,B) of the Trail Making Test and Total score (C) at T0 (year 1) and T1 (year 2). *** *p* < 0.0001.

4. Discussion

While there has been a consistently growing body of scientific literature describing an alarming overall decline in physical activity levels and an increase in sedentary time during the COVID-19-related confinement [40], few studies have examined downstream effects on physical fitness and cognitive functioning, especially in children. Prior to the COVID-19 crisis, Tomkinson and collaborators described a reduction in physical fitness by about 25% over the last 40 years in children, which was a function of reduced physical activity levels and increased sedentariness [41]. In line with this trend, our concern is that the unprecedented acceleration of children's inactivity and sedentariness induced by the lockdown has negatively impacted physical fitness beyond the usual declines over time. Moreover, this public health crisis has resulted in poorer school engagement, which can have detrimental effects on academic performance and executive function. Previous studies have clearly shown that physical fitness, particularly cardiorespiratory fitness, is strongly associated with executive functioning and academic achievement in children and adolescents [21]. Therefore, concomitant declines in these markers can be expected under such extreme circumstances.

In the current study, both muscle strength and cardiorespiratory fitness were significantly reduced among 3rd- and 4th-grade children after the COVID-19 lockdown period compared with pre-pandemic performances. These results are in accordance with previously published findings showing a decline in both cardiovascular [10,11,13] and muscle performances [10] of children and adolescents. Importantly, while the previous studies assessed physical fitness in the same participants before and after, the time intervals between their two evaluations were larger than the lockdown periods, and therefore did not isolate the effects of the consecutive COVID-19-related restrictions.

The present study is the first to also question the potential effect of the pandemic mitigation measures on children's activity preferences. Using a computerized behavioral task designed to assess and quantify biases in decision making across multiple physical and sedentary activities [13], our results suggest that despite a clear decline in physical activity levels [40], increase in sedentary time [40], and reduction in overall fitness, the explicit liking and wanting were not detrimentally affected. Though there was a slight shift from a mean preference for physical activities towards a mean preference for sedentary activities, the difference in bias scores was not statistically significant. Indeed, scores at T0 and T1 were close to 0, indicating an equal preference. This result is encouraging, indicating that the observed deleterious effects of the lockdown on movement behaviors and physical health might not be irreversible, and that children might be willing to re-engage in active behaviors, pending adapted and appropriate interventions and messaging.

Although our results show only modest correlations between fitness and executive function task outcomes both at T0 and T1, we observed an alarmingly lower cognitive performance in 3rd- and 4th-grade children after the confinement compared with age-matched participants before the public health restrictions. As previously described, the stress induced by the sanitary crisis [18–20] as well as the lower intellectual stimulation induced by a reduction in school time and the use of virtual classes could explain such a decline. Importantly, while some studies showed that this confinement-related cognitive decline was more pronounced among children from disadvantaged socio-economic backgrounds [17], 50% of the re-enrolled classes of the present study were located in low socio-economic areas and 50% in high socio-economic areas, and no differences were observed between these school-types. In other words, our results suggest that the negative impact of the lockdown on children's executive function might have been independent of the socio-economic origin of the kids. It is also possible that the alarming reductions in children's healthy movement behaviors, combined with the decline in their physical fitness, might have directly impacted their executive and cognitive abilities, but additional studies are needed [21,22]. The modest correlations between fitness and performance of the cognitive task in the current study may be explained by the indirect nature of the physical test and the sample size.

The present work contributes to the international literature regarding the detrimental effects of the COVID-19 pandemic on multiple inter-related physical and cognitive health outcomes, with new evidence on French schoolchildren. However, our results must be interpreted in light of some limitations. First, despite the fact that the children at T0 and T1 were matched for age, gender, and their socio-economic statuses, and that the evaluations were performed in the same schools, the samples remain modest for school-based work and larger studies would help to clarify the interactions amongst health behaviors and outcomes. Additionally, although all the field tests that were used have been validated in children and adolescents, direct laboratory-based evaluation of fitness would have provided more objective results. Finally, the children in the sample had predominantly healthy weights, and therefore we cannot generalize these findings to children with obesity. However, studies in adults suggest that the negative effects of the lockdown on health behaviors disproportionately affected those with obesity [42].

5. Conclusions

To conclude, the present work highlights an alarming decline in both overall physical fitness and cognitive performance among primary school French children due to the public health restrictions imposed in order to slow down the spread of the COVID-19 virus. In concordance with the existing evidence describing the deleterious effects of the confinement on our children's movement behaviors and overall health, our results reinforce the need to urgently develop preventive strategies in anticipation of further mitigation measures. We must work to encourage a healthy, active lifestyle in children in order to preserve their physical, mental, and social health during this continued public health crisis.

Author Contributions: Conceptualization, M.D., D.T. and C.C.; methodology, C.C. and N.F.; software, B.P.; validation, M.D. and D.T.; formal analysis, B.P.; investigation, C.C., L.P., P.G., A.F., A.B., L.B., M.B., J.S. and T.G.; resources, C.C.; data curation, C.C., L.P. and A.F.; writing—original draft preparation, C.C.; writing—review and editing, C.C., D.T. and N.F.; visualization, M.D.; supervision, D.T. and M.D.; project administration, M.D. and D.T.; funding acquisition, M.D. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research was funded by I-SITE program of Clermont Auvergne University.

Institutional Review Board Statement: The study was conducted according to the guidelines of the Declaration of Helsinki and approved by the Institutional Review Board of CPP Sud Est VI (Reference CE27, 2020).

Informed Consent Statement: Informed consent was obtained from all subjects involved in the study.

Data Availability Statement: Not available.

Acknowledgments: The authors want to thank the Schools from Riom and Vichy that participated in the study as well as all the kids and the teachers. This work has been supported by the by I-SITE program of Clermont Auvergne University and the associated City-Lab of Vichy, particularly Ludivine Paris. We also thank the national Observatory for Physical Activity and sedentary Behaviors (ONAPS) and the health in Motion Research Chair.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

1. Dunton, G.F.; Do, B.; Wang, S.D. Early effects of the COVID-19 pandemic on physical activity and sedentary behavior in children living in the U.S. *BMC Public Health* **2020**, *20*, 1351. [[CrossRef](#)]
2. Fu, Y.; Brusseau, T.A.; Hannon, J.C.; Burns, R.D. Effect of a 12-Week Summer Break on School Day Physical Activity and Health-Related Fitness in Low-Income Children from CSPAP Schools. *J. Environ. Public Health* **2017**, *2017*, 9760817. [[CrossRef](#)]
3. Jackson, C.; Vynnycky, E.; Mangtani, P. The Relationship Between School Holidays and Transmission of Influenza in England and Wales. *Am. J. Epidemiol.* **2016**, *184*, 644–651. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
4. Paterson, D.C.; Ramage, K.; Moore, S.A.; Riazi, N.; Tremblay, M.S.; Faulkner, G. Exploring the impact of COVID-19 on the movement behaviors of children and youth: A scoping review of evidence after the first year. *J. Sport Health Sci.* **2021**, in press. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]

5. Alves, J.M.; Yunker, A.G.; DeFendis, A.; Xiang, A.H.; Page, K.A. Associations between Affect, Physical Activity, and Anxiety Among US Children During COVID-19. *medRxiv* **2020**. [[CrossRef](#)]
6. Carriedo, A.; Cecchini, J.A.; Fernández-Río, J.; Méndez-Giménez, A. Resilience and physical activity in people under home isolation due to COVID-19: A preliminary evaluation. *Ment. Health Phys. Act.* **2020**, *19*, 100361. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
7. Chouchou, F.; Augustini, M.; Caderby, T.; Caron, N.; Turpin, N.A.; Dalleau, G. The importance of sleep and physical activity on well-being during COVID-19 lockdown: Reunion island as a case study. *Sleep Med.* **2021**, *77*, 297–301. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
8. Ugbolue, U.; Duclos, M.; Urzeala, C.; Berthon, M.; Kulik, K.; Bota, A.; Thivel, D.; Bagheri, R.; Gu, Y.; Baker, J.; et al. An Assessment of the Novel COVISTRESS Questionnaire: COVID-19 Impact on Physical Activity, Sedentary Action and Psychological Emotion. *J. Clin. Med.* **2020**, *9*, 3352. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
9. Werneck, A.O.; Silva, D.R.; Malta, D.C.; Souza-Júnior, P.R.B.; Azevedo, L.O.; Barros, M.B.A.; Szwarcwald, C.L. Changes in the clustering of unhealthy movement behaviors during the COVID-19 quarantine and the association with mental health indicators among Brazilian adults. *Transl. Behav. Med.* **2021**, *11*, 323–331. [[CrossRef](#)]
10. Wahl-Alexander, Z.; Camic, C.L. Impact of COVID-19 on School-Aged Male and Female Health-Related Fitness Markers. *Pediatr. Exerc. Sci.* **2021**, *33*, 61–64. [[CrossRef](#)]
11. López-Bueno, R.; Calatayud, J.; Andersen, L.L.; Casaña, J.; Ezzatvar, Y.; Casajús, J.A.; Smith, L. Cardiorespiratory fitness in adolescents before and after the COVID-19 confinement: A prospective cohort study. *Eur. J. Pediatr.* **2021**, *180*, 2287–2293. [[CrossRef](#)]
12. Jarnig, G.; Jaunig, J.; van Poppel, M.N.M. Association of COVID-19 Mitigation Measures With Changes in Cardiorespiratory Fitness and Body Mass Index Among Children Aged 7 to 10 Years in Austria. *JAMA Netw. Open* **2021**, *4*, e2121675. [[CrossRef](#)]
13. Fearnbach, S.N.; Martin, C.K.; Heymsfield, S.B.; Staiano, A.E.; Newton, R.L.; Garn, A.C.; Finlayson, G. Validation of the Activity Preference Assessment: A tool for quantifying children's implicit preferences for sedentary and physical activities. *Int. J. Behav. Nutr. Phys. Act.* **2020**, *17*, 108. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
14. Appelhans, B.M.; Thomas, A.S.; Roisman, G.I.; Booth-LaForce, C.; Bleil, M.E. Preexisting Executive Function Deficits and Change in Health Behaviors During the COVID-19 Pandemic. *Int. J. Behav. Med.* **2021**, in press. [[CrossRef](#)]
15. Chetty, R.; Friedman, J.N.; Hendren, N.; Stepner, M. *How Did COVID-19 and Stabilization Policies Affect Spending and Employment?: A New Real-Time Economic Tracker Based on Private Sector Data*; National Bureau of Economic Research: Cambridge, MA, USA, 2020.
16. The DELVE Initiative, Balancing the Risks of Pupils Returning to Schools. 2020. Available online: <https://rs-delve.github.io/reports/2020/07/24/balancing-the-risk-of-pupils-returning-to-schools.html> (accessed on 15 September 2021).
17. Engzell, P.; Frey, A.; Verhagen, M.D. Learning loss due to school closures during the COVID-19 pandemic. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **2021**, *118*, e2022376118. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
18. McGinty, E.E.; Presskreischer, R.; Anderson, K.E.; Han, H.; Barry, C.L. Psychological Distress and COVID-19-Related Stressors Reported in a Longitudinal Cohort of US Adults in April and July 2020. *JAMA* **2020**, *324*, 2555–2557. [[CrossRef](#)]
19. Shields, G.S.; Sazma, M.A.; Yonelinas, A.P. The effects of acute stress on core executive functions: A meta-analysis and comparison with cortisol. *Neurosci. Biobehav. Rev.* **2016**, *68*, 651–668. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
20. Yun, R.J.; Krystal, J.H.; Mathalon, D.H. Working memory overload: Fronto-limbic interactions and effects on subsequent working memory function. *Brain Imaging Behav.* **2010**, *4*, 96–108. [[CrossRef](#)]
21. Esteban-Cornejo, I.; Reilly, J.; Ortega, F.B.; Matusik, P.; Mazur, A.; Erhardt, E.; Thivel, D. Paediatric obesity and brain functioning: The role of physical activity—A novel and important expert opinion of the European Childhood Obesity Group. *Pediatr. Obes.* **2020**, *15*, e12649. [[CrossRef](#)]
22. Valkenborghs, S.; Noetel, M.; Hillman, C.H.; Nilsson, M.; Smith, J.J.; Ortega, F.B.; Lubans, D.R. The Impact of Physical Activity on Brain Structure and Function in Youth: A Systematic Review. *Pediatrics* **2019**, *144*, e20184032. [[CrossRef](#)]
23. Freedman, D.S.; Katzmarzyk, P.T.; Dietz, W.H.; Srinivasan, S.R.; Berenson, G.S. Relation of body mass index and skinfold thicknesses to cardiovascular disease risk factors in children: The Bogalusa Heart Study. *Am. J. Clin. Nutr.* **2009**, *90*, 210–216. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
24. Thivel, D.; Verney, J.; Miguët, M.; Masurier, J.; Cardenoux, C.; Lambert, C.; Pereira, B. The accuracy of bioelectrical impedance to track body composition changes depends on the degree of obesity in adolescents with obesity. *Nutr. Res.* **2018**, *54*, 60–68. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
25. Verney, J.; Metz, L.; Chaplais, E.; Cardenoux, C.; Pereira, B.; Thivel, D. Bioelectrical impedance is an accurate method to assess body composition in obese but not severely obese adolescents. *Nutr. Res.* **2016**, *36*, 663–670. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
26. Armitage, S.G. An analysis of certain psychological tests used for the evaluation of brain injury. *Psychol. Monogr.* **1946**, *60*, i-48. [[CrossRef](#)]
27. Reitan, R.M. Trail making test results for normal and brain-damaged children. *Percept. Mot. Skills* **1971**, *33*, 575–581. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
28. Léger, L.A.; Lambert, J. A maximal multistage 20-m shuttle run test to predict VO₂ max. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* **1982**, *49*, 1–12. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
29. Leger, L.; Mercier, D.; Gadoury, C.; Lambert, J. The multistage 20 metre Shuttle Run test for aerobic fitness. *J. Sports Sci.* **1988**, *6*, 93–101. [[CrossRef](#)]
30. van Mechelen, W.; Hlobil, H.; Kemper, H.C. Validation of two running tests as estimates of maximal aerobic power in children. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* **1986**, *55*, 503–506. [[CrossRef](#)]

31. Mahar, M.T.; Rowe, D.A.; Parker, C.R.; Mahar, F.J.; Dawson, D.M.; Holt, J.E. Criterion-Referenced and Norm-Referenced Agreement Between the Mile Run/Walk and PACER. *Meas. Phys. Educ. Exerc. Sci.* **1997**, *1*, 245–258. [[CrossRef](#)]
32. Mayorga-Vega, D.; Aguilar-Soto, P.; Viciana, J. Criterion-Related Validity of the 20-M Shuttle Run Test for Estimating Cardiorespiratory Fitness: A Meta-Analysis. *J. Sports Sci. Med.* **2015**, *14*, 536–547.
33. Beets, M.W.; Pitetti, K. Criterion-Referenced Reliability and Equivalency Between the PACER and 1-Mile Run/Walk for High School Students. *J. Phys. Act. Health* **2006**, *3*, S21–S33. [[CrossRef](#)]
34. Ortega, F.B.; Artero, E.G.; Ruiz, J.R.; Vicente-Rodriguez, G.; Bergman, P.; Hagströmer, M.; Ottevaere, C.; Nagy, E.; Konsta, O.; Rey-Lopez, J.P.; et al. Reliability of health-related physical fitness tests in European adolescents. The HELENA Study. *Int. J. Obes.* **2008**, *32*, S49–S57. [[CrossRef](#)]
35. Fernandez Santos, J.R.; Ruiz, J.R.; Gonzalez-Montesinos, J.L.; Castro-Piñero, J. Reliability and Validity of Field-Based Tests to Assess Upper-Body Muscular Strength in Children Aged 6–12 Years. *Pediatr. Exerc. Sci.* **2016**, *28*, 331–340. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
36. Kidokoro, T.; Edamoto, K. Improvements in Physical Fitness are Associated with Favorable Changes in Blood Lipid Concentrations in Children. *J. Sports Sci. Med.* **2021**, *20*, 404–412. [[CrossRef](#)]
37. 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*, 43–53. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
38. Cohen, L.H.; Cimblolic, K.; Armeli, S.R.; Hettler, T.R. Quantitative Assessment of Thriving. *J. Soc. Issues* **1998**, *54*, 323–335. [[CrossRef](#)]
39. Altman, D.G. Statistics in the medical literature: 3. *Stat. Med.* **1999**, *18*, 487–490. [[CrossRef](#)]
40. Chambonniere, C.; Lambert, C.; Fearnbach, N.; Tardieu, M.; Fillon, A.; Genin, P.; Larras, B.; Melsens, P.; Bois, J.; Pereira, B.; et al. Effect of the COVID-19 lockdown on physical activity and sedentary behaviors in French children and adolescents: New results from the ONAPS national survey. *Eur. J. Integr. Med.* **2021**, *43*, 101308. [[CrossRef](#)]
41. Tomkinson, G.R.; Olds, T.S. Secular changes in pediatric aerobic fitness test performance: The global picture. *Med. Sport Sci.* **2007**, *50*, 46–66. [[PubMed](#)]
42. Flanagan, E.W.; Beyl, R.A.; Fearnbach, S.N.; Altazan, A.D.; Martin, C.K.; Redman, L.M. The Impact of COVID-19 Stay-At-Home Orders on Health Behaviors in Adults. *Obesity* **2021**, *29*, 438–445. [[CrossRef](#)]

RÉSUMÉ

Les transformations sociétales menées par les diverses révolutions techniques et technologiques ont entraîné une réduction inéluctable du temps consacré aux activités physiques au profit des comportements sédentaires. Symbole de ces nouvelles caractéristiques comportementales, le domaine professionnel, de surcroît le secteur tertiaire, a émergé comme le milieu représentant ces nouveaux comportements du mouvement au sein de la population et des stratégies ont émergé pour lutter contre cette évolution délétère. L'objectif de ce travail de thèse était de questionner l'intérêt de l'utilisation de pédalier de bureau afin d'améliorer la santé globale d'individus travaillant dans le secteur tertiaire. Dans ce contexte, ce travail doctoral a permis le développement d'un protocole expérimental implémentant un pédalier de bureau auprès de salariés ayant un travail assis. Sa mise en place a permis d'observer les effets de l'utilisation de cette stratégie active pour améliorer différents paramètres cardiométaboliques et les comportements du mouvement humain auprès de cette population. De plus, une exploration de deux profils énergétiques lors de l'utilisation d'un pédalier de bureau a permis de caractériser des paramètres métaboliques spécifiques liés à ces profils. Nos résultats ont clairement mis en avant les bénéfices sur la santé globale de travailleurs liés à la pratique de pédalier de bureau durant le temps professionnel. Nos travaux ouvrent ainsi de nouvelles perspectives dans la compréhension liée à l'implémentation et à l'utilisation de pédalier de bureau dans le milieu professionnel.

ABSTRACT

The societal transformations led by various technical and technological revolutions have generated an inevitable reduction in the time devoted to physical activities in favour of sedentary behaviour. Symbol of these new behavioural characteristics, the professional field, especially the tertiary sector, emerged as the field representing these new movement behaviors within the population and strategies have emerged to counteract this harmful evolution. This thesis aimed to question the value of using a portable pedal machine on office desks to improve the overall health of individuals working in the tertiary sector. In this context, this doctoral work enabled the development of an experimental protocol implementing this active strategy in office desks for tertiary workers. Its implementation has highlighted the effects of using a portable pedal machine to improve several cardiometabolic parameters and behaviors related to human movement. In addition, an exploration of two energy profiles during the use of a portable pedal machine enabled us to characterise specific metabolic parameters related to those profiles. Our results clearly highlighted the benefits of using a portable pedal machine during working time for overall health. Our work has brought new insights into the understanding of implementing and using a portable pedal device on office desks.