



HAL
open science

Nouvelles approches méthodologiques et physiopathologiques des intolérances à la marche

Marie Gernigon

► **To cite this version:**

Marie Gernigon. Nouvelles approches méthodologiques et physiopathologiques des intolérances à la marche. Gériatrie et gérontologie. Université d'Angers, 2015. Français. NNT : 2015ANGE0015 . tel-01438966

HAL Id: tel-01438966

<https://theses.hal.science/tel-01438966>

Submitted on 23 Feb 2017

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.

Caractérisation de l'intolérance à la marche des patients artériopathes claudicants : apports de méthodologies innovantes par GPS et TcPO₂ d'effort



THESE DE DOCTORAT

**Spécialité : physiologie et physiopathologie humaine
École doctorale : Biologie santé
Unité de recherche : UMR_S 1083 - CNRS 6214 | BNMI**

**Soutenu publiquement le
18/06/2015 à Angers**

Présentée par

Marie GERNIGON

**Sous la direction de M. Pierre ABRAHAM
Et la codirection de Mme Bénédicte NOURY-DESVAUX**

Devant le jury composé de :

**Pr Pierre ABRAHAM (Directeur de thèse) | Université et CHU d'Angers, Angers
Dr Sylvain DURAND (Examineur) | Université du Maine, Le Mans
Pr Daniel RIVIERE (Rapporteur) | Université et CHU de Toulouse, Toulouse
Dr Agnès VINET-JULLIAN (Rapporteur) | Université d'Avignon et des pays du
Vaucluse, Avignon**

"Le mouvement est la cause de toute vie"

Léonard de Vinci

A mes parents, Valérie et Christophe

REMERCIEMENTS

Ce travail de thèse est le fruit de rencontres et collaborations. Aussi, je tiens à exprimer ma gratitude et mes sincères remerciements aux personnes suivantes :

Le Pr Pierre Abraham, en anglais au téléphone : « je souhaite vous rencontrer, pouvez-vous être à Angers demain ? » Je ne vous remercierai jamais assez pour cet appel presque surréaliste, pour m'avoir fait découvrir la recherche clinique et pour la confiance que vous m'accordez depuis ces quatre dernières années.

M. Philippe Mathé, Directeur de l'IFEPSA, je vous remercie d'avoir accepté que je fasse ma thèse en collaboration avec l'IFEPSA. C'est un réel honneur pour moi qui entend parler de cet institut depuis mon enfance.

Le Dr Bénédicte Noury-Desvaux, pour l'autonomie et l'indépendance qu'elle m'a accordées tout au long de ce travail.

Les membres de mon jury, le Pr. Daniel Rivière, le Dr Agnès Vinet-Julian et le Dr Sylvain Durand pour avoir accepté d'évaluer mon travail.

Dr Dan Gordon, to initiate me to the sport sciences. You gave me the passion for physiology. I will always be grateful for what you have done for me and still do.

Dr Nafi Ouedraogo et Dr Johann Marchand, pour votre investissement dans les études et le recrutement des patients.

M. Thomas Sauvaget, pour avoir pris le temps de me former à l'analyse des GPS.

M. Jean-Marie Chrétien, pour son aide technique.

Les médecins co-investigateurs, sans votre investissement dans le recrutement des patients ce travail n'existerait pas.

Les patients, qui ont eu la gentillesse d'accepter de participer aux études. Ce travail n'aurait pas pu voir le jour sans votre confiance et votre participation.

Les étudiants, Ségolène Chaudru, Pierre-Yves de Müllenheim et Nathan Caron qui ont aidé au bon déroulement des études.

Dr Antoine Bruneau pour avoir pris le temps de relire ma thèse alors que tu es déjà bien occupé. Heureusement qu'il y a les jeudis matin !

Dr Denise Jolivot et Sybille Lazareff, pour votre disponibilité et l'aide que vous m'avez apportée.

Dr Sandrine Bickert, Dr Jean-Michel Audebrand, Patricia Rouchou, Nathalie Gommeaux et Annette Papin, ainsi que l'équipe du service des Explorations Fonctionnelles Vasculaires, pour tous les bons moments passés avec vous (footing, dépannage informatique, etc.) et votre aide au quotidien. Un remerciement particulier à Isabelle Laporte et Lydie Gascoin pour avoir accepté de prendre la pause dans le but d'illustrer cette thèse.

Les chefs de clinique et internes qui se sont succédés dans le bureau le temps de leur semestre de formation à la médecine du sport. Dr Anne Tabourel, Dr Martin Harbonnier, Dr Alban Fouasson-Chailloux, Dr Gaëlle Audat et tous ceux que je n'ai pas cités, qui se reconnaîtront et, j'espère, m'excuseront. Un petit clin d'œil au Dr. Martin Audonnet pour « m'avoir sauvé la vie » en sauvant la pagination de mon manuscrit.

REMERCIEMENTS

Ma petite Onill', ce ne sera pas lors de nos séances de sport que nous aurons le plus travaillé nos abdominaux mais plutôt lors de tous les bons moments et les fous rires passés ensemble. Je te remercie pour ta patience à m'expliquer les procédures administratives de la recherche clinique que je ne maîtrise pas encore tout à fait. Mais c'est déjà une excuse pour te téléphoner et poursuivre nos bavardages.

Mes hommes du bureau 4, Victor, Tryphon et Dudu. Je vous remercie d'avoir toléré mes hormones femelles dans votre bureau et de m'avoir emmenée, telle une petite sœur un peu pot de colle, au Tablier ou à la Galette. J'ai passé d'agréables moments avec vous.

Les amis qui m'ont fait vivre au quart d'heure angevin et surtout à l'heure anglaise pendant nos sessions « let's speak in English » : Tyty scotich, Julie mon derby d'Oxford, Sonia et Romain. Merci pour tous les bons moments d'évasion passés ensemble.

Les amis de longue date pour votre soutien et votre patience depuis toutes ces années passées ensemble : Dorothée, Aude-Lise, Ophélie, François, Stéphane, Maïcha et Florine.

Enfin, je souhaite remercier tout particulièrement ma famille, qui même si elle est à l'autre bout de la France, a toujours été présente pour moi. Mes beaux-frères, Jonathan et Rémi, je vous remercie pour votre patience lors nos conversations téléphoniques entre frangines parfois un petit peu longues. Ma petite sœur Mathilde pour nos moments skype qui m'ont permis de me sentir moins seule, moins loin de la famille, et de voir grandir mon petit piote. Ma sœur Véronique, pour les heures passées à écouter mes états d'âme ainsi que pour la relecture de mon manuscrit et les conseils stylistiques de mes présentations. Je pense tout particulièrement à mes parents. Vous m'avez toujours suivie dans tous les choix de ma vie. Je sais que ça n'a pas toujours été simple, et pour reprendre une expression familiale, ce fut parfois même chaotique. Mais les battements d'ails de papillons peuvent avoir du bon et cette thèse en est la preuve. Maman, merci pour ta prévenance et les petits moments que tu sais si bien préserver. Papa, je ne pense pas que tu aies pu un jour imaginer le parcours qui est le mien aujourd'hui et d'ailleurs moi non plus. Mais, après réflexion, je ne crois pas que ce soit un hasard. Merci de m'avoir fait tomber dans la marmite toute petite et de m'avoir donné l'amour des sciences du sport et de la recherche. Je vous remercie tous les deux du fond du cœur pour tout ce que vous avez fait pour moi.

Sommaire

PRODUCTION SCIENTIFIQUE

1. Production indexée dans des revues à comité de lecture

- 1.1. Publications pour la thèse en cours de soumission
- 1.2. Publications pour la thèse
- 1.3. Autres publications
- 1.4. Résumés de conférence

2. Communications en conférence

- 2.1. Communications orales
- 2.2. Communication affichée
- 2.3. Autres communications nationales et internationales
- 2.4. Distinctions

LISTE DES ABREVIATIONS

1. INTRODUCTION

2. ARTERIOPATHIE OBLITERANTE DES MEMBRES INFÉRIEURS

2.1. Définition

2.2. Classifications

2.3. Prévalence

2.4. Facteurs de risques

2.4.1. L'athérosclérose

2.4.2. L'activité physique

2.5. Conséquences et risques liés à l'AOMI

2.5.1. Risques de morbi-mortalités cardio-vasculaires

2.5.2. Conséquences fonctionnelles de l'AOMI

3. METHODES DIAGNOSTIQUES DE L'AOMI

3.1. Index de Pression Systolique de Cheville de repos

3.2. Echographie Doppler

4. EVALUATION DE LA SEVERITE ET CARACTERISATION DE LA CLAUDICATION INTERMITTENTE

4.1. Evaluations subjectives des limitations fonctionnelles à la marche

4.1.1. Distance de Marche Maximale déclarée

4.1.2. Questionnaires cliniques

a) "Walking Impairment Questionnaire" (WIQ)

b) "Estimation of Ambulatory Capacity by History-Questionnaire" (EACH-Q)

c) "Walking Estimated Lower Claudication by History" (WELCH)

4.1.3. Etude de faisabilité et de validité de la DMM_{déclarée} chez des patients artériopathes claudicants

a) Matériel et Méthodes

b) Résultats principaux

c) Discussion et Conclusion

4.2. Evaluations objectives en laboratoire des limitations fonctionnelles à la marche

4.2.1. Test de marche sur tapis

4.2.2. Mesure transcutanée de la pression en dioxygène à l'effort

4.3. Evaluations objectives de terrain des limitations fonctionnelles à la marche

4.3.1. Test de marche de 6 minutes

4.3.2. Test de marche de 4 mètres

4.3.3. Test navette

4.4. L'actimétrie dans les évaluations objectives de terrain des limitations fonctionnelles à la marche

4.4.1. "Peripheral Arterial Disease Holter Control" (PADHOC)

4.4.2. Podomètres

- 4.4.3. Accéléromètres
- 4.4.4. Géo-positionnement satellitaire

5. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

BIBLIOGRAPHIE

TABLE DES MATIERES

TABLE DES ILLUSTRATIONS

TABLE DES TABLEAUX

TABLE DES EQUATIONS

ANNEXES

Annexe 1 : Article Abraham *et al.*, PlosOne (2012)

Annexe 2 : "Walking Impairment Questionnaire" (WIQ)

Annexe 3 : "Estimation of Ambulatory Capacity by History-Questionnaire" (EACH-Q)

Annexe 4 : "Walking Estimated Limitation Calculated by History" (WELCH)

Annexe 5 : Questionnaire de claudication de San Diego modifié

Annexe 6 : Etude Post-GPS, procédure standard pour la marche donnée aux patients

Annexe 7 : Questionnaire modifié de claudication d'Edinburgh

Annexe 8 : Questionnaire de qualité de vie SF-36

1. Présentation du questionnaire
2. Code de la procédure de calcul du score SF-36

Annexe 9 : "Physical Activity Scale for the Elderly" (PASE)

1. Présentation du questionnaire
2. Code de la procédure de calcul du score PASE

Annexe 10 : Etude Post-GPS, questionnaire post marche post marche

Production scientifique

1. Production indexée dans des revues à comité de lecture

1.1. Publications pour la thèse en cours de soumission

1. **Gernigon, M.**, Fouasson-Chailloux, A., Colas-Ribas, C., Noury-Desvaux, B., Le Faucheur, A., Abraham, P. Test-retest reliability of GPS-derived measurements in patients with claudication. *European Journal of Vascular & Endovascular Surgery*. [IF 2013 : 3,07]

1.2. Publications pour la thèse

1. **Gernigon, M.**, Le Faucheur, A., Fradin, D., Noury-Desvaux, B., Landron, C., Mahé, G., Abraham, P. Global positioning system (GPS) use in the community to evaluate improvements in walking after revascularization: A prospective multicenter study with six-month follow-up in patients with peripheral arterial disease. *Medicine*. In press.[IF 2013 : 4,867]
2. **Gernigon, M.**, Le Faucheur, A., Noury-Desvaux, B., Mahe, G., Abraham, P. Post-GPS Study Coinvestigators Group. Applicability of global positioning system for the assessment of walking ability in patients with arterial claudication. *Journal of Vascular Surgery*. 2014, 60(4): 973-981. [IF 2013: 2,98]
3. Tew, G., Copeland, R., Le Faucheur, A., **Gernigon, M.**, Nawaz, S., Abraham, P. Feasibility and validity of self-reported walking capacity in patients with intermittent claudication. *Journal of Vascular Surgery*. 2013; 57(5):1227-34. [IF: 2,98]
4. **Gernigon, M.**, Marchand, J., Ouedraogo, N., Leftheriotis, G., Piquet, JM., Abraham, P. Proximal ischemia is a frequent cause of exercise-induced pain in patients with a normal ankle to brachial index at rest. *Pain Physician*. 2013; 16(1):57-64. [IF: 4,77]
5. Abraham, P., Noury-Desvaux, B., **Gernigon, M.**, Mahé, G., Sauvaget, T., Leftheriotis, G., Le Faucheur, A. The inter- and intra-unit variability of a low-cost GPS data logger/receiver to study human outdoor walking in view of health and clinical studies. *PLoS One*. 2012; 7(2):e31338. [IF 2012 : 3,73]

1.3. Autres publications

1. Gordon, D., Caddy, O., Merzbach, V., **Gernigon, M.**, Baker, J., Scruton, A., Keiller, D., Barnes, R. Prior Knowledge of Trial Number Influences the Incidence of Plateau at VO2max. *Journal of Sports Science and Medicine*, 2015; (14): 47-53. [IF 2013: 0,90]

2. Gordon, D., Wood, M., Porter, A., Vetrivel, V., **Gernigon, M.**, Caddy, O., Merzbach, V., Keiller, D., Baker, J., Barnes, R. Influence of blood donation on the incidence of plateau at VO₂max. *European Journal of Applied Physiology*. 2014; 114(1):21-27. [IF 2013: 2,30]
3. Gordon, D., Mehter, M., **Gernigon, M.**, Caddy, O., Keiller, D., Barnes, R. The effects of exercise modality on the incidence of plateau at VO₂max. *Journal of Clinical Physiology and Functional Imaging*. 2012; 32(5):394-399. [IF: 1,33]
4. Gordon, D., Schaitel, K., Pennefather, A., **Gernigon, M.**, Keiller, D., Barnes, R. The incidence of plateau at VO₂max is affected by a bout of prior-priming exercise. *Clinical Physiology and Functional Imaging*. 2012; 32(1):39-44. [IF: 1,33]

1.4. Résumés de conférence

1. **Gernigon, M.**, Le Faucheur, A., Noury-Desvaux, B., Mahé, G., Abraham, P. Applicabilité du GPS dans l'évaluation des limitations à la marche des claudications artérielles. *Journal des Maladies Vasculaires*. 2014; 39(5):325.
2. **Gernigon, M.**, Le Faucheur, A., Noury-Desvaux, B., Mahé, G., Abraham, P. Reliability of GPS measurements to assess walking limitation in patients with intermittent claudication. *Fundamental and Clinical Pharmacology*. 2014; 28(1): 10.
3. Gordon, D., Tilston, H., Walshe, E., Bradley, P., Baker, j., **Gernigon, M.**, Barnes, R. Incidence of plateau at VO₂max: Is there a role for a circadian oscillator? *Medicine and science in sports and exercise*. 2013; S192-193.
4. **Gernigon, M.**, Chaudru, S., de Müllenheim, PY., Caron, N., Bruneau, A., Bickert, S., Noury-Desvaux, B., Prioux, J., Le Faucheur, A. Validity of global positioning system, and comparison with accelerometry, in the estimation of energy expenditure during horizontal and grade walking and running on the field. *European Journal of Sports Medicine*, 2013; V1; 88-89; S1.
5. Gordon, D., Tilston, H., Walshe, E., Bradley, P., Baker, J., **Gernigon, M.**, Barnes, R. Incidence of plateau at VO₂max: Is there a role for a circadian oscillator? *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2013; S192-193.
6. Caddy, O., Bond, P., Gordon, D., Barnes, R., Keiller, D., **Gernigon, M.** The effect of bio-feedback manipulation on incidence of plateau at VO₂max. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2012; 44: 611-611. S434.
7. Gordon, D., Caddy, O., Ganyani, R., **Gernigon, M.**, Bottinger, N., Latchford, J., Keiller, D., Barnes, R. Incidence of plateau at VO₂max is influenced by prior knowledge of sprint number. *Medicine and science in sports and exercise*. 2012; 114(1):21-27. S196.
8. Gordon, D., Caddy, O., Ganyani, R., **Gernigon, M.**, Bottinger, N., Latchford, J., Keiller, D., Barnes, R. Incidence of plateau at VO₂max is influenced by prior knowledge of sprint number. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2012; 44: 328-329. S196.
9. Gordon, D, A., Porter, A., Vetrivel, V., **Gernigon, M.**, Barnes, R. The effects of reduced blood volumes on the incidence of plateau at VO₂max. *Journal of Sports Sciences*. 2010; 28: S74-75.

2. Communications en conférence

2.1. Communications orales

1. **Gernigon, M.**, Le Faucheur, A., Noury-Desvaux, B., Mahé, G., Abraham, P. Applicabilité du GPS dans l'évaluation des limitations à la marche des claudications artérielles. 13ème Congrès de la Société Française de Médecine Vasculaire, Montpellier, France, october 1-4, 2014.
2. **Gernigon, M.**, Le Faucheur, A., Noury-Desvaux, B., Mahé, G., Abraham, P. Applicabilité du GPS dans l'évaluation en routine clinique de la marche de patients artériographe claudicants. 7ème congrès commun SFMES & SFTS. Montrouge, France, september 25-27, 2014.
3. **Gernigon, M.**, Le Faucheur, A., Laneelle, D., Noury-Desvaux, B., Mahé, G., Abraham, P., Reliability of GPS measurements to assess walking limitation in patients with intermittent claudication. 9ème Congrès de Physiologie, de Pharmacologie et de Thérapeutique, Poitiers, France, April 23-24, 2014.
4. **Gernigon, M.**, Chaudru, S., de Müllenheim, PY., Caron, N., Bruneau, A., Bickert, S., Noury-Desvaux, B., Prioux, J., Le Faucheur, A. Validity of global positioning system, and comparison with accelerometry, in the estimation of energy expenditure during horizontal and grade walking and running on the field. 8th European Sport medicine congress of EFSMA et 6ème congrès commun SFMES et SFTS, Strasbourg, France. September 26-28, 2013.

2.2. Communication affichée

1. **Gernigon, M.**, Varray, A., Barnes, R., Gordon, D. A field test to assess the aerobic fitness (VO₂max) of wheelchair dependent children with cerebral palsy: A preliminary study. International Symposium on Adapted Physical Activity. Paris, France. July 4-8, 2011.

2.3. Autres communications nationales et internationales

1. Bruneau A., Lenoir V., **Gernigon M.**, Bruneau L., Bickert S., Abraham P. Peut-on prédire les performances en course à pied de fond d'après un test de VO₂ max sur tapis ? 7ème congrès commun SFMES & SFTS. Montrouge, France, september 25-27, 2014.
2. de Müllenheim, PY., **Gernigon, M.**, Chaudru, S., Caron, N., Bickert, S., Bruneau, A., Noury-Desvaux, B., Prioux, J., Le Faucheur, A. Interêt du géo-positionnement satellitaire dans l'estimation de la dépense énergétique lors de la marche et de la course en extérieure : validation et comparaison avec l'accélérométrie, Vème édition du colloque Sport et Recherche en Pays de la Loire, Laval, France, November 28-29, 2013.
3. de Müllenheim, PY., Chaudru, S., **Gernigon, M.**, Caron, N., Bickert, S., Bruneau, A., Noury-Desvaux, B., Prioux, J., Le Faucheur, A. Validité du Géo-Positionnement Satellitaire et comparaison avec l'accélérométrie dans l'estimation de la dépense énergétique lors de la marche et la course en extérieur. XVème Congrès de l'ACAPS, Grenoble, France, October 29-31, 2013.

4. Gordon, D., Tilston, H., Walshe, E., Bradley, P., Baker, J., **Gernigon, M.**, Barnes, R. Incidence of plateau at VO2max: Is there a role for a circadian oscillator? American College of Sports Medicine, Indianapolis, Indiana. May 29 - June 3, 2013.
5. Caddy, O., Bond, P., Gordon, D., Barnes, R., Keiller, D., **Gernigon, M.** The effect of bio-feedback manipulation on incidence of plateau at VO2max. . American College of Sports Medicine. San Francisco, California. May 30 - June 2, 2012.
6. Gordon, D., Caddy, O., Ganyani, R., **Gernigon, M.**, Bottinger, N., Latchford, J., Keiller, D., Barnes, R. Incidence of plateau at VO2max is influenced by prior knowledge of sprint number. American College of Sports Medicine. San Francisco, California. May 30 - June 2, 2012.
7. Gordon, D., Mehter, M., **Gernigon, M.**, Scruton, A., Keiller, D., Barnes, R. Incidence of plateau at VO2max is influenced by ergometer selection. British Association of Sport and Exercise Sciences. Essex, England, September 6-8, 2011.
8. Gordon, D., Preston, J., Gammall, D., **Gernigon, M.**, Scruton, A., Barnes, R. Determination of the anaerobic capacity using an all-out peak power cycle test. European College of Sports Sciences. Liverpool, UK. July 6-9, 2011.
9. Gordon, D, A., Porter, A., Vetrivel, V., **Gernigon, M.**, Barnes, R. The effects of reduced blood volumes on the incidence of plateau at VO2max. British Association of Sport and Exercise Sciences, Glasgow, Scotland. September 6-8, 2010.

2.4. Distinctions

Prix de la meilleure communication orale (communication en anglais), 8th European Sport Medicine Congress of EFSMA et 6^{ème} congrès commun SFMES et SFTS, Strasbourg, France. September 26-28, 2013

Gernigon, M., Chaudru, S., de Müllenheim, PY., Caron, N., Bruneau, A., Bickert, S., Noury-Desvaux, B., Prioux, J., Le Faucheur, A. Validity of global positioning system, and comparison with accelerometry, in the estimation of energy expenditure during horizontal and grade walking and running on the field. 8th European Sport medicine congress of EFSMA et 6^{ème} congrès commun SFMES et SFTS, Strasbourg, France. September 26-28, 2013.

Liste des abréviations

ACC / AHA : American College of Cardiology et American Heart Association

AOMI : Artériopathie oblitérante des membres inférieurs

BTPS : Body Temperature and Pressure Saturated

CI : Claudication intermittente

CIC : Coefficient Intra-classe

CV : Coefficient de variation

DE : Dépense énergétique ($\text{kcal}\cdot\text{min}^{-1}$)

DID : Diabète insulino-dépendant ou diabète de type 1 ou diabète juvénile

DMM : Distance de marche maximale (mètres)

$\text{DMM}_{\text{déclarée}}$: Distance de marche maximale déclarée par le patient (mètres)

DMM_{GPS} : Distance de marche maximale mesurée avec le GPS (mètres)

$\text{DMM}_{\text{tapis}}$: Distance de marche maximale mesurée sur tapis roulant (mètres)

DMM_{TDM6} : Distance performée lors du test de marche de 6 minutes (mètre)

DNID : Diabète non insulino-dépendant ou type 2 ou diabète d'âge mur

CO_2 : dioxyde de carbone

EACH-Q : Estimated of Ambulatory Capacity by History-Questionnaire (sans dimension)

Eq = équation

$FC_{\text{max}_{\text{théorique}}}$: Fréquence cardiaque maximale (battements par minute, bpm)

FMR : Faible à modéré revenu

GPS : Géo-positionnement satellitaire ou en anglais global positioning system

h : heure

HAS : Haute autorité de la santé

HDL : High density lipoprotein ($\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)

HTA : Hypertension artérielle (mmHg)

IMC : Indice de masse corporelle ($\text{kg}\cdot\text{m}^2$)

IC : Intervalle de confiance

IPSC : Index de Pression systolique de Cheville (sans dimension)

km : kilomètre

L : Litre

LDL : Low density lipoprotein (mmol.L^{-1})

M1 : Première marche avec le GPS

M2 : Deuxième marche à six mois avec le GPS

min : Minute

mL : Millilitre

mmHg : Millimètre de mercure

mmol : Millimole

O₂ : Dioxygène

OMS : Organisation mondiale de la santé

PASC : Pression artérielle systolique de cheville (mmHg)

PMA : Puissance maximale aérobie (Watt)

PNNS : Programme National Nutrition Santé

Q_n : Score de la question n de chaque dimension

QR : Quotient respiratoire, ratio du $\dot{V}CO_2$ sur $\dot{V}O_2$, STPD (sans dimension)

RE : Revenu élevé

SaO₂ : Saturation artérielle en oxygène (mmHg)

s. : Seconde

STPD : Standard Temperature and Pressure Dry

TcPO₂ : Mesure transcutanée de la pression en dioxygène (mmHg)

V1 : Visite d'inclusion

$\dot{V}CO_2$: Production de dioxyde de carbone par unité de temps, STPD ($\text{mL.min}^{-1}.\text{kg}^{-1}$ STPD)

$\dot{V}E$: Ventilation par unité de temps, BTPS (L.min^{-1})

VMA : Vitesse maximale aérobie (km.h^{-1})

$\dot{V}O_2$: Consommation d'oxygène par unité de temps, STPD (L.min^{-1} ou $\text{mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$)

$\dot{V}O_{2\text{max}}$: Consommation maximale d'oxygène par unité de temps (L.min^{-1} ou $\text{mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$)

WELCH : Walking Estimated Lower Claudication by Hystory (sans dimension)

WIQ : Walking impairment questionnaire (sans dimension)

WIQ : Walking Impairment Questionnaire (sans dimension)

WIQ_{distance} : Dimension de la distance du Walking Impairment Questionnaire (sans dimension)

WIQ_{montée} : Dimension de la montée des escaliers du Walking Impairment Questionnaire (sans dimension)

WIQ_{moyen} : Walking Impairment Questionnaire moyen (sans dimension)

WIQ_{vitesse} : Dimension de la vitesse du Walking Impairment Questionnaire (sans dimension)

1. Introduction

Le système cardiovasculaire est constitué d'une pompe musculaire, le cœur, munie de valves unidirectionnelles et d'un réseau de vaisseaux de diverses tailles. Les vaisseaux sanguins représentent un réseau fermé dans lequel sont transportés par l'intermédiaire du sang le dioxygène, les nutriments et les hormones vers les cellules des muscles. Au-delà de la circulation permettant les apports énergétiques et autres, ce réseau favorise l'élimination des déchets produits par les cellules. Bien que la circulation sanguine soit connue depuis environ 400 ans, ce n'est qu'au XVII^e siècle que le médecin anglais William Harvey met en évidence le déplacement du sang, en décrivant des cercles ¹. Les artères, veines et capillaires composent le réseau de vaisseaux par lequel la circulation sanguine s'effectue. A l'exception des capillaires microscopiques, chacun de ces vaisseaux est constitué de trois couches appelées tuniques : la tunique intime ou intima, la tunique moyenne ou média et la tunique externe ou adventice. L'intima tapisse la lumière des vaisseaux. Lors d'une sténose artérielle le diamètre de la lumière de l'artère est réduit de façon plus ou moins importante. Cette réduction de calibre engendre une diminution du débit sanguin maximal pouvant circuler dans l'artère. Ainsi une artère sténosée pourra entraîner un déséquilibre entre les besoins énergétiques cellulaires et les apports nécessaires à un certain niveau d'exercice musculaire. Cette diminution des apports nécessaires à l'activité musculaire peut induire des douleurs dans les zones ischémisées ². Ce symptôme est caractéristique des douleurs rencontrées par les patients présentant une artériopathie oblitérante des membres inférieurs (AOMI) de stade II (*i.e.*, ischémie induite à l'effort) dans la classification de Leriche et Fontaine ³. Ces douleurs typiques à la marche engendrent une claudication typique caractéristique d'une gêne fonctionnelle d'origine vasculaire. En raison de ces douleurs, le patient artériopathe claudicant réduit ses capacités maximales de marche (distance et vitesse) et entre dans le cercle vicieux du déconditionnement qui conduit à l'inactivité ⁴. Comparativement à la population générale, les patients artériopathes ont une capacité physique altérée qui est associée à un déclin fonctionnel et à une augmentation du risque d'évènements cardiovasculaires ⁵. Ainsi, un niveau d'activité physique quotidienne insuffisant, souvent associé à l'AOMI, place le patient artériopathe en situation de haut risque d'accident cardiovasculaire ⁶. L'activité physique, appliquée à des programmes de réadaptation, est devenue un enjeu de santé publique et même politique majeur par ses bienfaits notamment sur les maladies cardiovasculaires et la morbi-mortalité. En France, le Programme National Nutrition Santé (PNNS), mis en place depuis 2001, est un plan de santé publique ayant vocation à améliorer l'état de santé de la population par une nutrition en rapport avec la dépense énergétique engendrée par une activité physique quotidienne. L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) a, quant à elle, rédigé des recommandations sur un niveau minimal de pratique d'activité physique bon pour la santé dans la population selon l'âge (5-17 ans, 18-64 ans, et plus de 64 ans) ⁷. Tous ces plans autour de l'activité physique ont vocation à réduire les risques de morbi-mortalité par l'amélioration de l'endurance, la force, la résistance, la souplesse et l'équilibre, en améliorant l'état de base de la santé des populations. La santé se définit par un "état de complet bien-être physique, mental et social, et ne consiste pas seulement en une absence de maladie ou d'infirmité" ⁸.

La plupart des patients symptomatiques souffrant d'AOMI présentent une claudication intermittente qui vient altérer la capacité physique et réduire l'activité physique quotidienne. En France, la prévalence de l'AOMI est de 11 %⁹. Toutefois, il semblerait qu'un tiers des personnes âgées de plus de 70 ans soient artériopathes asymptomatiques⁵. Le diagnostic précoce de l'AOMI représente donc un enjeu majeur de santé publique. Les examens de routine clinique sont effectués en première intention. La mesure de l'index de pression systolique de cheville sert au dépistage et au diagnostic. L'échographie Doppler permet la confirmation du diagnostic de l'AOMI. Cependant, dans le contexte d'une AOMI de stade II, ces examens sont chers et nécessitent une expertise. De plus, ils ne permettent pas d'évaluer les limitations fonctionnelles à la marche.

L'objet du présent travail de thèse s'intéresse aux nouvelles approches méthodologiques d'évaluation et de caractérisation des intolérances à la marche chez le patient artériopathe claudicant. Les questionnaires étant des outils simples à mettre en place et peu coûteux, nous aborderons dans un premier temps leur pertinence dans l'évaluation subjective de la sévérité de l'AOMI. Ensuite, nous nous attacherons à étudier une nouvelle approche des tests de marche sur tapis roulant. Cette évaluation de la gêne fonctionnelle sur ergomètre représente le moyen d'évaluation de référence (gold standard) dans la littérature. Toutefois, nous verrons que l'utilisation de la mesure de la pression transcutanée en dioxygène per-effort (test de marche sur tapis roulant) permet, en plus d'objectiver une gêne fonctionnelle, de localiser la zone ischémique à l'origine de la douleur. Enfin, nous nous intéresserons à l'évaluation du patron de marche du patient artériopathe claudicant par les applications des nouvelles technologies. En effet, des actimètres tels que le GPS, connu pour ses applications commerciales et de recherche (dans l'environnement, la conduite automobile, l'estimation du temps de trajet, etc.) et plus récemment dans les sciences du sport et de l'exercice (*e.g.*, l'analyse de la performance sportive)¹⁰ est un outil complémentaire dans la caractérisation de la marche des patients artériopathes de stade II. Enfin, nous aborderons l'intérêt du couplage GPS - accéléromètre dans l'évaluation de la dépense énergétique de participants sains en perspective d'une utilisation chez des patients artériopathes. Ces nouvelles technologies au service des patients représentent également une approche intéressante pour la prise en charge rééducative (biofeedback) notamment par une utilisation potentielle à domicile et l'élaboration de programmes de réadaptation dérivés des programmes d'entraînement des sportifs.

2. Artériopathie oblitérante des membres inférieurs

L'artériopathie oblitérante des membres inférieurs (AOMI) est la troisième cause de morbidité cardiovasculaire athéroscléreuse, après les coronaropathies et les accidents vasculaires cérébraux ¹¹. La manifestation clinique classique de l'AOMI est la claudication intermittente et concerne un tiers des patients artériopathes ¹². Toutefois, l'absence de claudication intermittente chez les patients artériopathes est fréquente et indépendamment associée à la limitation à la marche ¹³. De plus, il existe une relation significative entre les valeurs de l'IPSC (index de pression systolique de cheville *i.e.*, ratio entre les pressions systoliques des membres inférieurs et des membres supérieurs) et le risque de mortalité (Figure 1) ¹⁴.

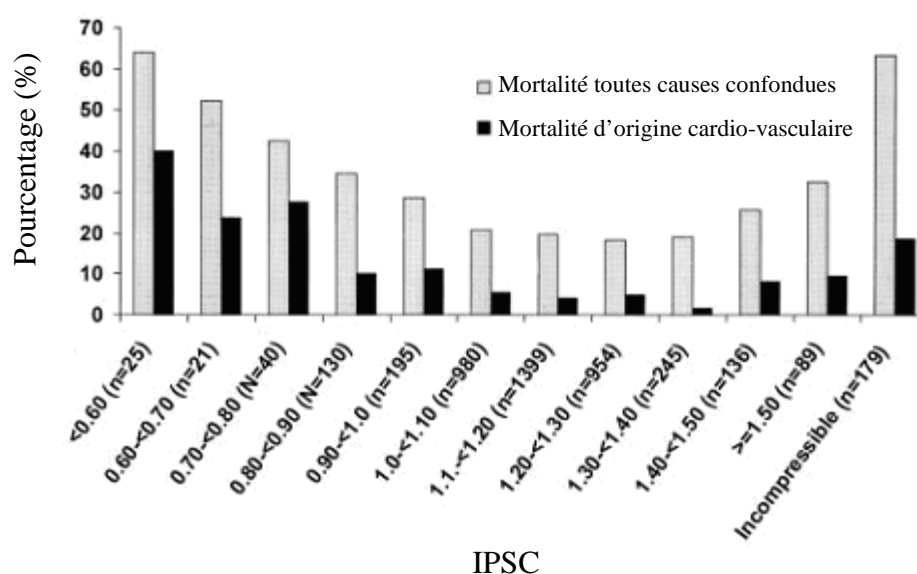


Figure 1 : Comparaison des causes de mortalité (toutes causes) et causes cardiovasculaires en fonction de l'IPSC ¹⁴.

L'AOMI se définit comme une pathologie artérielle périphérique touchant essentiellement les membres inférieurs. En 1831, Jean-François Bouley décrit pour la première fois cette pathologie chez le cheval ^{15,16}. Dans son rapport destiné à l'Académie Royale de Médecine, J-F Bouley décrit la symptomatologie de l'AOMI chez le cheval de la façon suivante : "la claudication intermittente des membres postérieurs est déterminée par l'oblitération des artères fémorales" ^{15,16}. La description de cette pathologie chez l'Homme vient quatre ans après celle de J-F Bouley. Elle est attribuée à Barth en 1835 ¹⁵. Mais c'est Charcot, en 1858, qui fera les premières descriptions mécanistiques de l'AOMI ¹⁵. En effet, contrairement aux théories de J-F Bouley (*i.e.*, origine parasitaire (*strongylus*) de la claudication chez le cheval), Charcot définit l'AOMI comme la résultante d'un rétrécissement du calibre artériel consécutif à la formation de plaques d'athérosclérose.

2.1. Définition

D'après la Société Française de Médecine Vasculaire, l'AOMI était initialement définie par l'absence d'un ou plusieurs pouls artériels des membres inférieurs et/ou par l'apparition de douleurs musculaires à la marche au niveau des mollets. Ces douleurs sont soulagées par le repos (claudication intermittente) ¹⁷. D'après Rose, la claudication intermittente d'origine vasculaire se caractérise par des douleurs ou gênes d'effort des membres inférieurs lors de la marche à vitesse normale (quelles que soient leurs localisations) ¹⁸. Cette douleur est absente au repos et n'apparaît qu'à la marche puis disparaît à l'arrêt de la marche en moins de 10 minutes.

De nos jours, l'AOMI se caractérise par une obstruction, ou oblitération, partielle ou complète réduisant le calibre de la lumière de l'artère des membres inférieurs par une plaque d'athérome *i.e.*, un dépôt lipidique sur la paroi des grosses artères au niveau de l'intima ¹⁹. Cette sténose peut être à l'origine de perturbations hémodynamiques dont la conséquence est une diminution du débit sanguin irrigant les muscles effecteurs de la marche pouvant ainsi entraîner une ischémie. Différentes classifications existent pour catégoriser le degré de sévérité de l'AOMI.

2.2. Classifications

La sévérité de l'AOMI est catégorisée en fonction du degré d'ischémie ainsi que des perturbations hémodynamiques. D'après l'American College of Cardiology et l'American Heart Association (ACC / AHA), il existe quatre stades cliniques de l'AOMI : asymptomatique, claudication, ischémie critique, ischémie aiguë ².

De nos jours, deux classifications de référence, basées sur la symptomatologie, sont utilisées en routine clinique celle de Leriche et Fontaine ³ (Tableau 1) et celle de Rutherford ^{20,21} (Tableau 2). La classification de Leriche et Fontaine évalue le degré de la sévérité de l'AOMI en fonction de la gêne fonctionnelle du patient (*i.e.*, la distance de marche maximale ou DMM). En revanche, la classification de Rutherford objective le degré de sévérité de la pathologie en fonction de la DMM mesurée sur tapis roulant (DMM_{tapis}) et la pression systolique de cheville (PASC). La classification de Leriche et Fontaine est très utilisée en routine clinique puisqu'elle ne nécessite pas de matériel spécifique.

Tableau 1 : Classification de Leriche et Fontaine ³. ***DMM** : distance de marche maximale.

Stade	Clinique
I	Asymptomatique
II	Ischémie induite par l'effort <ul style="list-style-type: none"> • IIa. Claudication faible ou stade II faible ; *DMM > 200 m. • IIb. Claudication modérée à sévère ou stade II fort ; *DMM < 200 m.
III	Douleur de repos dont nocturne
IV	Ulcération, gangrène

Tableau 2 : Classification de Rutherford ^{20,21}. ***PASC** : pression artérielle systolique de cheville.

Stade	Catégorie	Clinique
0	0	Asymptomatique
I	1	Claudication faible <ul style="list-style-type: none"> • Test_{tapis roulant} (vitesse : 3,2 Km.h⁻¹, pente : 12%) ≈ 5 minutes ; • *PASC_{post-effort} > 50 mmHg <i>i.e.</i>, 20 mmHg < PASC_{repos}.
I	2 et 3	Claudication modérée à sévère <ul style="list-style-type: none"> • Test_{tapis roulant} incomplet ; • PASC_{post-effort} < 50 mmHg.
II	4	Douleur de repos <ul style="list-style-type: none"> • PASC_{repos} < 40 mmHg ; • Pression de l'hallux < 30 mmHg.
III	5	Perte de tissu mineure <ul style="list-style-type: none"> • PASC_{repos} < 40 mmHg ; • Pression de l'hallux < 40 mmHg.
IV	6	Ulcération, gangrène <ul style="list-style-type: none"> • Cf. catégorie 5

2.3. Prévalence

L'AOMI est une maladie avec une prévalence élevée. Elle touche 15 à 20 % des sujets âgés de plus de 70 ans ^{6,11}. De nombreuses études de prévalence de l'AOMI existent, cependant, les données varient en fonction des critères utilisés et du genre. En effet, Criqui *et al.*, montrent une différence dans l'estimation de la prévalence de l'AOMI (Californie, 613 hommes et femmes, âgées de plus de 66 ans) en fonction du type d'évaluation ²² :

- le questionnaire de Rose ¹⁸ basé sur les douleurs (prévalence : 2,2 % chez les hommes et 1,7% chez les femmes) ;
- la mesure des pouls fémoral ou tibial postérieur (prévalence : 20,3 % chez les hommes et 22,7% chez les femmes) ;
- l'index de pression systolique de cheville ou IPSC (prévalence : 11,7 % homme et femmes).

La prévalence de l'AOMI varie en fonction de l'outil utilisé (questionnaires, IPSC, etc.), du critère diagnostique mais aussi des tranches d'âges et du niveau de vie (Figure 2) ¹¹. En effet, elle semble augmenter après 50 ans ^{9,20,23}. Fowkes *et al.*, rapportent que 10 à 20% des patients présentant une AOMI ont une claudication intermittente ¹¹.

La revue de littérature de Fowkes *et al.*, estime l'évolution de la prévalence de l'AOMI, évaluée par l'IPSC (ISPC < 0,90 ou ≤ 0,90), en fonction des tranches d'âges, du sexe et des ressources des pays. Les auteurs distinguent les pays à revenu élevé (RE : Australie, Danemark, Allemagne, Hong-Kong, Japon, Singapour, Corée du Sud, Espagne, Suisse et USA), des pays ayant un revenu faible à modéré (FMR : Brésil, République Centrafricaine, Chine, Inde, Mexique, République du Congo, Afrique du Sud et Thaïlande) ¹¹.

La Figure 2 montre qu'en 2000 et 2010 le nombre de patients vivant avec une AOMI est environ deux fois supérieur dans les pays FMR que dans les pays RE ¹¹. Ceci s'explique par le fait que le nombre d'habitants total des pays FMR est environ cinq fois plus élevé que celui des pays à RE. La prévalence de l'AOMI augmente en fonction de l'âge mais décroît à partir de 45 ans dans les pays à FMR alors que cette décroissance est observée chez des patients de 75 ans et plus dans les pays à RE. Cependant, avec l'augmentation de l'espérance de vie entre 2000 et 2010, le nombre de patients présentant une AOMI a augmenté de 23,5% (*i.e.*, de 164 millions de patients en 2000, à 202 millions de patients en 2010), dans toutes les tranches d'âge sauf chez les patients de plus de 80 ans (augmentation de 35%). D'autre part, en 2010, 69,7% des patients présentant une AOMI vivent dans des pays à FMR.

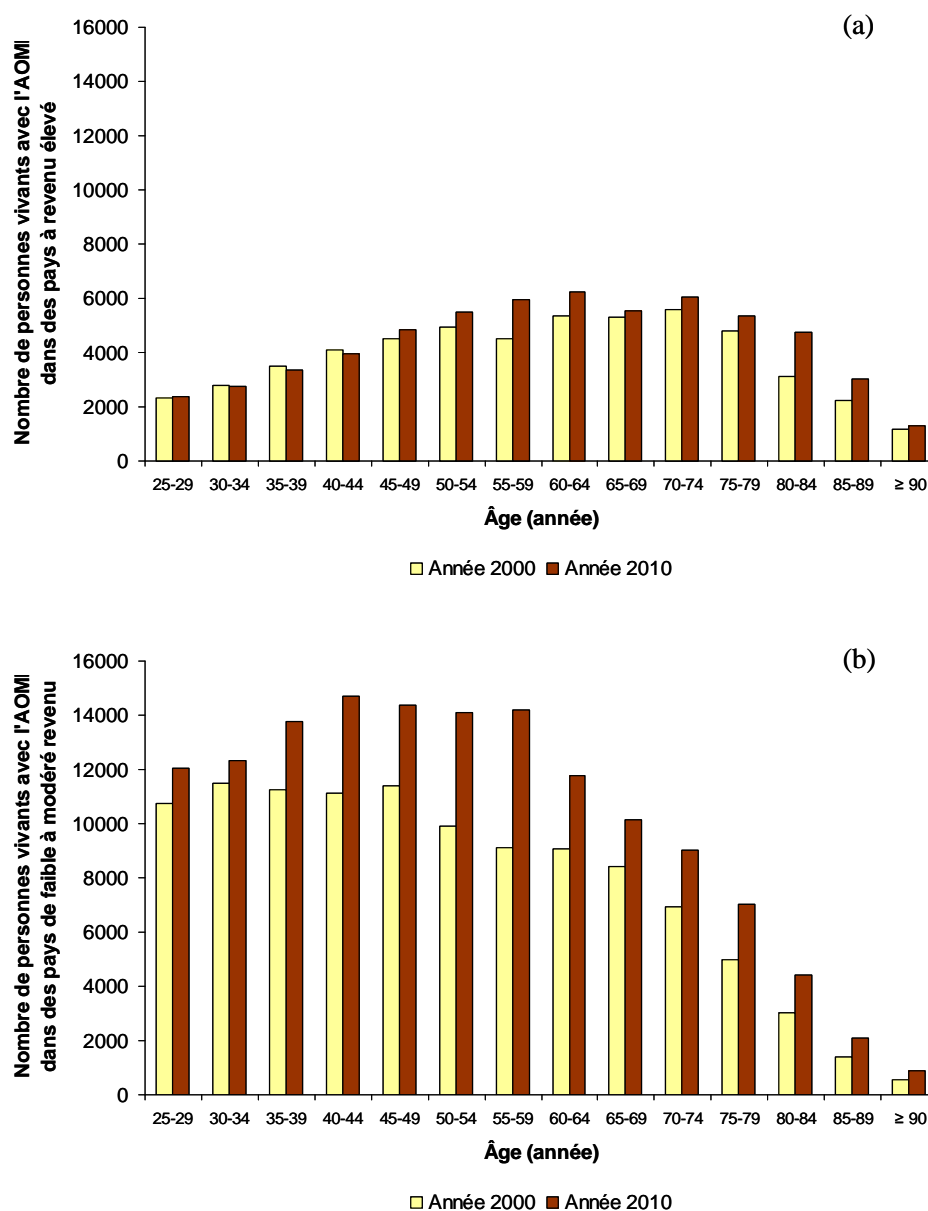


Figure 2 : Estimation du nombre en milliers de personnes vivant avec l'AOMI dans les pays à revenu élevé (a) et à revenu faible à modéré (b), en 2000 et 2010 ¹¹.

La Figure 3 montre la prévalence de l'AOMI chez les hommes et femmes en fonction des tranches d'âge et des ressources des pays ¹¹. Il est important de noter que pour les tranches d'âges 25-29, 90-94 et 95-99 ans, les résultats sont des valeurs prédictives estimées et sont en dehors des données originales. Cette figure montre que la prévalence de l'AOMI chez les femmes dans les pays à FMR est légèrement supérieure à celle des pays à RE jusqu'à 60-64 ans (Figure 3a). A partir de 65 ans, elle devient plus élevée chez les femmes issues des pays à RE. En revanche, chez les hommes, la prévalence de l'AOMI est systématiquement plus élevée dans les pays à RE pour toutes les tranches d'âges étudiées (Figure 3b). La prévalence de l'AOMI est plus élevée chez les femmes que chez les hommes dans les pays à FMR. Cette différence diminue avec l'âge et s'inverse à partir de 90 ans. En revanche, dans les pays à RE, la prévalence de l'AOMI est légèrement inférieure chez les femmes que chez les hommes.

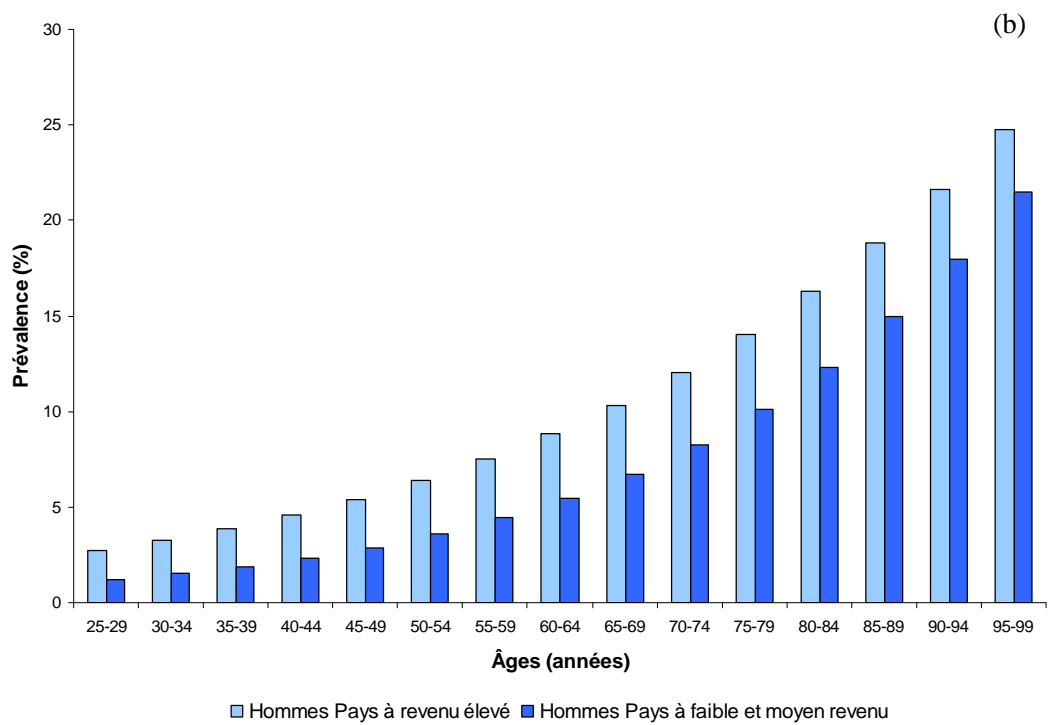
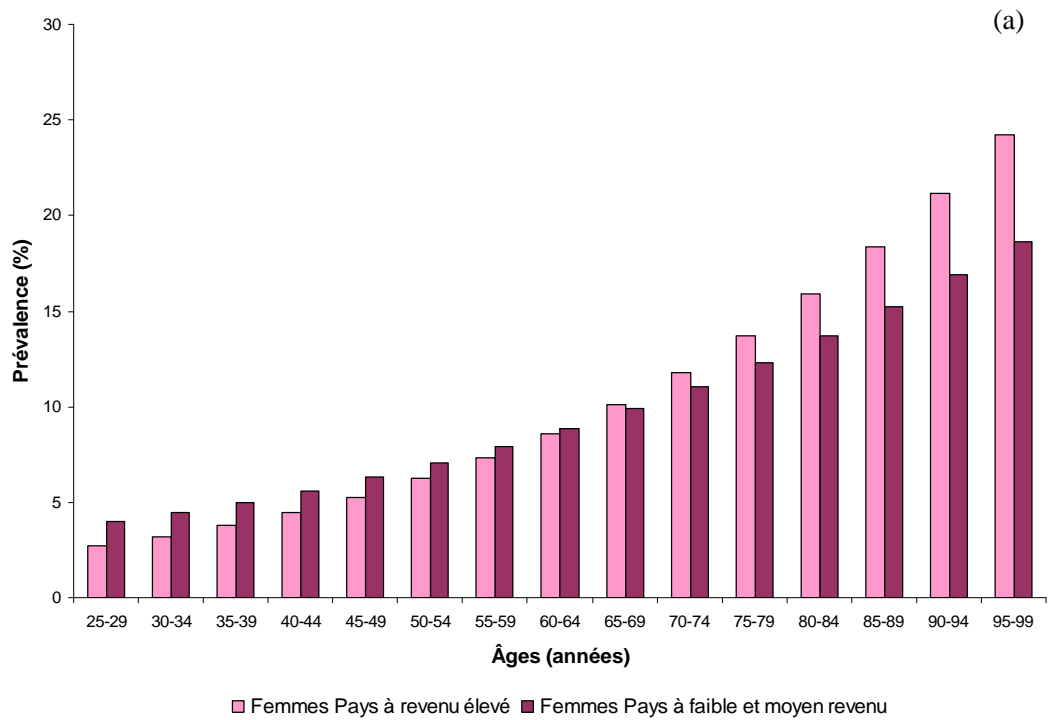


Figure 3 : Prévalence estimée en fonction de l'âge des femmes (a) et des hommes (b) de l'artériopathie stade II vivant dans des pays à revenu élevé et des pays à revenu faible à moyen. Données en % (intervalle de confiance à 95%) ¹¹.

D'après Boccalon *et al.*, la prévalence de l'AOMI en France, établie par un IPSC inférieur à 0,90, est de 11 % ⁹.

2.4. Facteurs de risques

2.4.1. L'athérosclérose

L'athérosclérose est considérée comme un facteur de risque majeur associé à l'AOMI ^{24,25}. Selon la définition de l'OMS, l'athérosclérose se définit comme "une association variable de remaniements de l'intima des artères consistant en une accumulation locale de lipides, de complexes glucidiques, de sang, de produits sanguins, de tissus fibreux et de dépôts calciques, l'ensemble associé à des remaniements de la média" ²⁶.

Les facteurs de risque principaux de l'athérosclérose (Figure 4) sont le tabagisme (23 % chez les tabaco-dépendant, 37 % chez les tabagiques passifs), l'hypertension artérielle (69 % des patients), l'hypercholestérolémie (47 % des patients) et le diabète (38 % des patients) ² mais aussi l'alimentation, l'inactivité physique et la dyslipidémie ^{20,27}.

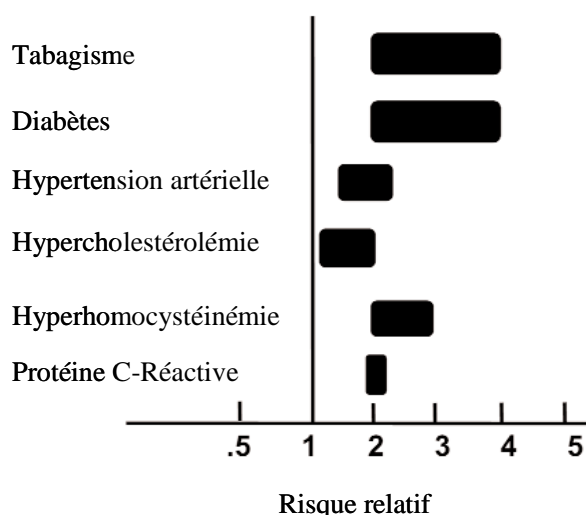


Figure 4 : Risque relatif associé au développement d'une AOMI par type de facteur de risque ².

a) Le tabagisme

Le tabac est un facteur de risque étiologique majeur de l'AOMI ²⁸. En effet, selon les études, le fumeur présente un risque deux à six fois supérieur au non-fumeur ^{19,28-32}. Ce risque s'accroît en fonction de la dose journalière et de l'ancienneté du tabagisme ^{22,28,33-35}. Plus de 80% des patients artériopathes sont des fumeurs ou ont été fumeurs ³⁶⁻³⁸. L'arrêt du tabac améliore les paramètres fonctionnels, diminue les complications et augmente l'espérance de vie ^{19,22,33,39}.

b) Le diabète

La plupart des travaux traitant du diabète et de l'AOMI ne discriminent pas le diabète insulino-dépendant (DID appelé aussi diabète de type 1 ou diabète juvénile) du diabète non insulino-dépendant (DNID, diabète de type 2 ou diabète d'âge mur) ⁴⁰. Les patients diabétiques de type 1 ont un risque élevé de développer de l'hypertension artérielle multiplié par 1,5 à trois par rapport à la population générale ⁴¹ et donc présentent un risque élevé de déclarer une athérosclérose prématurée ⁴². Le risque de morbi-

mortalité dans cette population est important ⁴³. D'après Nathan *et al.*, les complications trouvées dans le DID peuvent être extrapolées au DNID ⁴⁴. Ainsi, le diabète de type 2 accroît le risque d'AOMI de deux à quatre par rapport à la population générale et est présent chez 12 à 20% des patients présentant une AOMI ^{28,38,45-47}. La sévérité et l'ancienneté du diabète sont proportionnelles au risque de développer une AOMI ⁴⁶ et au pronostic défavorable de l'AOMI ^{28,48}. En effet, la probabilité d'une amputation et le risque de mortalité sont respectivement cinq et trois fois supérieurs par rapport aux patients non diabétiques ⁴⁸.

c) L'hypertension artérielle

L'hypertension artérielle (HTA) est définie selon plusieurs critères : une pression systolique supérieure ou égale à 140 mmHg au repos ou par une pression diastolique supérieure ou égale à 90 mmHg au repos mais aussi par un traitement anti-hypertenseur en cours ¹. Plusieurs études épidémiologiques sur l'HTA ont montré une association indépendante entre les niveaux de pression artérielle et l'AOMI ^{28,29,39}. La pression artérielle systolique serait la plus significativement associée à l'AOMI ^{28,29}. Ceci est confirmé dans l'étude de Framingham qui montre que l'HTA augmente le risque de claudication intermittente de 2,5 chez les hommes et par quatre chez les femmes. Le risque de claudication intermittente (CI) est proportionnel à l'HTA ³².

d) La dyslipidémie

Le profil dyslipidémique le plus souvent retrouvé est un taux de "high density lipoprotein" (HDL) cholestérol bas associé à une hypertriglycéridémie. L'augmentation du cholestérol total (en cas de HDL haut ou HDL et LDL (low density lipoprotein) haut ou LDL haut) est également un facteur de risque de l'AOMI ^{32,47,49}. Regensteiner *et al.* ont montré que le rapport entre le LDL et le HDL est la mesure lipidique la plus fortement associée à l'AOMI ³⁹.

e) L'obésité

L'alimentation joue un rôle dans la survenue des maladies athéromateuses ²⁷. Cependant, la littérature reste équivoque sur la relation entre l'obésité et l'AOMI. En effet, l'indice de masse corporelle (IMC) n'apparaît pas clairement comme un facteur de risque d'AOMI ^{28,29}. En revanche, il semblerait que l'obésité associée à un syndrome métabolique (*e.g.*, état de pré diabète, pré hypertriglycéridémie, pré HTA) favorise la formation de plaques d'athérome à l'origine de l'athérosclérose ^{50,51}.

2.4.2. L'activité physique

Les patients artériopathes présentent une motricité altérée qui se traduit par une diminution, de l'endurance à la marche, de la vitesse de marche et de la force musculaire des membres inférieurs ^{30,52,53}. Une vitesse de marche faible est associée à un taux de mortalité plus élevé ⁵⁴.

Des études démontrent que de bonnes performances lors de mesures objectives de l'efficacité des membres inférieurs sont associées à un niveau d'activité physique plus élevé et à une diminution de la perte de la mobilité chez les personnes souffrant d'AOMI ^{55,56}. Des niveaux plus élevés d'activité physique sont associés à une mortalité plus faible chez les personnes atteintes d'AOMI.

2.5. Conséquences et risques liés à l'AOMI

2.5.1. Risques de morbi-mortalités cardio-vasculaires

Les risques cardio-vasculaires de l'AOMI sont ^{2,57,58} : l'amputation d'origine vasculaire, une plaie ou des ulcères de jambe, la chirurgie vasculaire, une claudication vasculaire clinique, l'infarctus du myocarde, l'angor, une cardiomyopathie dilatée, une coronaropathie, l'insuffisance rénale, une maladie cérébrale d'origine vasculaire, l'accident vasculaire cérébral d'origine ischémique ou hémorragique, un pontage coronaire et l'accident cérébral ischémique transitoire.

2.5.2. Conséquences fonctionnelles de l'AOMI

Du degré d'ischémie résultent des douleurs à la marche et une claudication. Selon Rose, ces douleurs à la marche obligent le patient souffrant de claudication artérielle à s'arrêter ¹⁸. C'est la distance de marche maximale (DMM). Le patient reprend sa marche en moins de 10 minutes ¹⁸.

Au regard de la définition de Rose ¹⁸, l'activité physique permet de mettre en évidence une limitation fonctionnelle des patients à l'effort (*e.g.*, marche, course). Aussi, il peut être considéré que plus le patient est actif, plus une éventuelle AOMI peut être dépistée à un stade précoce et donc améliorer le pronostic vital du patient ¹⁹.

La sévérité de l'AOMI est plus élevée chez les femmes que chez les hommes et engendre plus de complications ⁵⁹. Les femmes étant moins tabaco dépendantes, les manifestations sévères de l'AOMI s'expliquent d'avantage par l'âge et les antécédents d'hypertension artérielle. De plus, il est important de noter que les femmes présentent fréquemment des ischémies critiques des membres inférieurs ⁵⁹⁻⁶².

3. Méthodes diagnostiques de l'AOMI

L'examen clinique et l'interrogatoire sont essentiels dans le diagnostic de l'AOMI car ils permettent la mise en évidence des facteurs de risque ainsi que les antécédents cardio-vasculaires médicaux ou chirurgicaux anciens et récents des patients ^{2,63}.

3.1. Index de Pression Systolique de Cheville de repos

L'Index de Pression Systolique de Cheville (IPSC) de repos est une mesure qui a une grande sensibilité et spécificité ⁶⁴⁻⁶⁶. Le calcul consiste à effectuer le ratio entre les pressions systoliques prises par mesure Doppler, des membres inférieurs mesurées au niveau des artères tibiales postérieures et dorsales (tibiales antérieures) gauche et droite (en mmHg) d'une part, et des membres supérieurs au niveau de l'artère humérale droite et gauche (en mmHg) d'autre part. Le calcul de ce ratio utilise la valeur la plus haute des membres inférieurs et la valeur la plus haute mesurée au niveau de l'artère humérale et s'exprime avec deux chiffres après la virgule ^{2,67,68}. Toutefois, afin de mieux identifier les patients à haut risque cardio-vasculaire, Espinola-Klein *et al.*, recommandent d'utiliser la valeur la plus basse de chaque jambe pour déterminer l'IPSC des patients ⁶⁹. Les nouvelles recommandations de l'American Heart Association suggèrent de mesurer les IPSC dans le sens inverse des aiguilles d'une montre ⁷⁰. Afin de s'affranchir de tout stress pouvant engendrer des valeurs aberrantes pour le calcul de l'IPSC, la première mesure (bras droit) doit être répétée à la fin de la séquence et les deux résultats moyennés. Aussi, la série de mesure s'effectue dans l'ordre suivant :

- Pression systolique humérale du bras droit (Figure 5a) ;
- Pression systolique en tibiale postérieure (Figure 5b) puis en tibiale antérieure de la jambe droite (Figure 5c) ;
- Pression systolique en tibiale postérieure (Figure 5d) puis en tibiale antérieure de la jambe gauche (Figure 5e) ;
- Pression systolique humérale du bras gauche (Figure 5f) ;
- Pression systolique humérale du bras droit (Figure 5a).

Si la différence entre les deux mesures prises au bras droit est supérieure à 10 mm Hg, seule la deuxième pression du bras droit doit être considérée. Si les mesures doivent être répétées, elles doivent être répétées dans l'ordre inverse de la première série *i.e.*, la séquence doit être utilisée dans le sens des aiguilles d'une montre, en commençant et en terminant par le bras gauche. Le calcul des IPSC de chaque jambe doit prendre la valeur la plus haute entre les tibiales postérieures et antérieures puis la diviser par la valeur du bras la plus élevée. Dans le cadre de la recherche clinique, lorsque les IPSC sont utilisés comme seule méthode pour identifier l'artériopathie ou lorsque des mesures répétées au cours du temps sont prévues dans le protocole, il est recommandé d'effectuer systématiquement au moins deux séries de mesures.

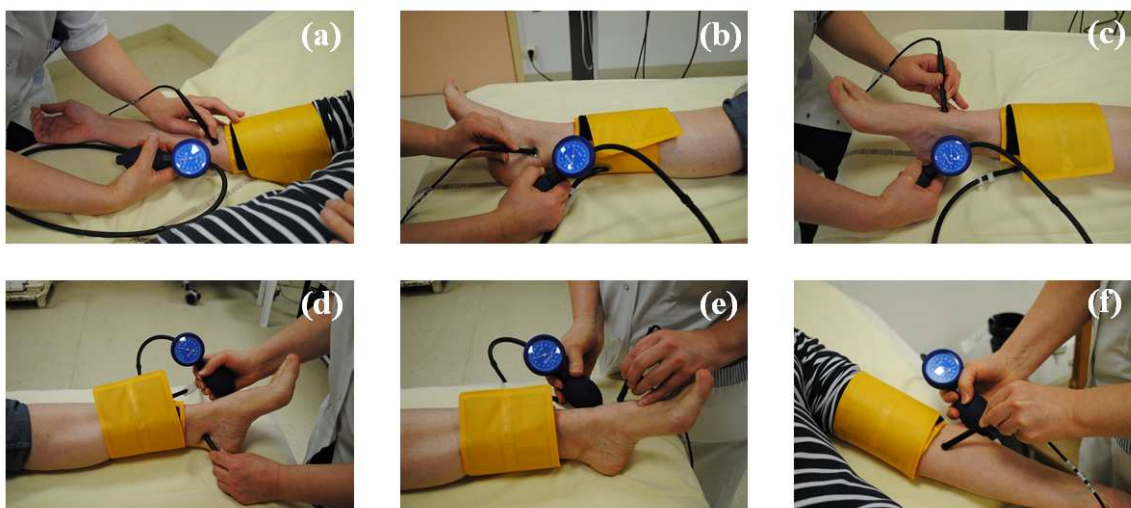


Figure 5 : Repères anatomiques pour la mesure de l'Index de Pression Systolique de Cheville avec une sonde Doppler des artères humérale droite (a), tibiale postérieure droite (b), tibiale antérieure droite (c), tibiale postérieure gauche (d), tibiale antérieure gauche (e), humérale gauche (f).

Une valeur d'IPSC compris entre 0,91 et 1,39 est considérée comme normale. En revanche, un IPSC inférieur ou égal 0,90 confirme la présence d'une AOMI ⁷⁰⁻⁷⁶. Toutefois, un IPSC compris entre 0,90 et 0,99 peut être considéré dans la limite de la normale ⁷⁷. En effet, si l'IPSC est supérieur à 0,90 mais qu'il y a suspicion d'AOMI, d'autres méthodes d'investigations sont à la disposition du clinicien *e.g.*, la mesure de l'IPSC post exercice, l'échographie-Doppler ^{70,78-81}. Lorsque l'IPSC est supérieur à 1,40 (*i.e.*, artère incompressible par rigidité ou calcification), il est recommandé de faire le ratio entre la pression systolique de l'hallux avec celle de l'artère humérale ou d'utiliser l'imagerie *e.g.*, échographie Doppler, scintigraphie, etc. ^{70,71}.

3.2. Echographie Doppler

L'échographie en mode B est obtenue à partir d'ultrasons émis à une fréquence donnée. Les ultrasons traversent les différentes structures biologiques mais une partie d'entre eux sont réfléchis par les tissus vers la sonde. Chaque tissu possède une impédance électrique différente ce qui renvoie les ultrasons à des fréquences différentes. Le signal ultrasonore est ainsi recueilli par la partie réceptrice de la sonde qui permet l'obtention d'images en deux dimensions sous forme de nuance de gris. Ainsi L'échographe construit les images de la paroi artérielle avec ses trois couches, et peut parfois révéler des images intrapariétales qui correspondent à des plaques d'athérome.

En revanche, l'échographie en mode Doppler (souvent couplé au mode échographique B) est obtenu en utilisant l'effet Doppler-Fizeau qui repose sur le décalage en fréquence entre l'émission et la réception des ultrasons réfléchis par les globules rouges (corps mobile). Ainsi, le mode Doppler apporte une information sur les éléments en déplacement. Il est ainsi possible de calculer la vitesse de déplacement du sang dans le lit vasculaire. Cette information peut être codée en couleur et/ou sous forme d'un

spectre et/ou de son (le différentiel de fréquence pour le sang circulant appartient à la gamme des fréquences audibles). Le spectre habituel d'une artère de membre inférieur au repos à une morphologie tri-phasique. La vitesse dans une sténose est accélérée, puis ralentie en aval de celle-ci. Le spectre en aval de la sténose peut ainsi perdre son caractère triphasique. Les paramètres hémodynamiques obtenus renseignent donc de façon indirecte sur l'état des artères.

L'échographie Doppler est un examen non invasif classique en routine clinique chez le patient artériopathe car elle permet de ^{2,82}:

- Localiser la sténose et estimer sa gravité ;
- Mesurer le degré et la longueur de la sténose ;
- Evaluer les effets hémodynamiques de la sténose ;
- Suivre la progression de l'AOMI et les effets d'une éventuelle prise en charge thérapeutique.

Aussi, la présence d'une plaque d'athérome peut être mise en évidence avec ce type d'imagerie et donc permettre la caractérisation d'une sténose.

Enfin, l'échographie Doppler est utilisée en première intention pour confirmer le diagnostic de l'AOMI et ainsi orienter le patient vers une prise en charge adaptée (e.g., revascularisation, traitement, réadaptation).

Toutefois, l'une des limites de l'échographie Doppler dans l'évaluation de l'AOMI est qu'elle ne permet pas toujours de visualiser les artères profondes e.g., artère iliaque interne. Pour cette raison, d'autres méthodes complémentaires sont utilisées mais représentent des moyens d'investigations plus difficiles d'accès e.g., l'artériographie, l'angio-TDM, l'angio-IRM. Par son caractère invasif, l'artériographie est surtout utilisée lors d'ischémie critique ou avant une revascularisation afin d'obtenir une évaluation anatomique précise des lésions artérielles des membres inférieurs.

Afin d'évaluer le degré de sévérité et les limitations fonctionnelles de l'AOMI, d'autres outils non invasifs sont à la disposition de clinicien tels que les questionnaires cliniques et les tests de marche.

4. Evaluation de la sévérité et caractérisation de la claudication intermittente

La plupart des patients symptomatiques souffrant d'AOMI présentent une claudication intermittente qui vient altérer la capacité physique et réduire l'activité physique quotidienne. L'IPSC et l'échographie Doppler permettent le diagnostic de l'AOMI mais n'évaluent pas la gêne fonctionnelle rencontrée par les patients notamment à la marche. L'un des paramètres clés de cette gêne fonctionnelle est la DMM que le patient est capable d'effectuer. La DMM est le plus souvent évaluée avec des questionnaires cliniques.

4.1. Evaluations subjectives des limitations fonctionnelles à la marche

En routine clinique, la DMM est généralement évaluée de façon subjective en utilisant des questionnaires spécifiques à l'AOMI. Les questionnaires ont pour avantages d'évaluer la sévérité de la gêne fonctionnelle, d'être simple d'utilisation et peu coûteux.

4.1.1. Distance de Marche Maximale déclarée

La Distance de Marche Maximale déclarée (DMM_{déclarée}) est la façon la plus usuelle et la simple en routine clinique pour estimer la limitation à la marche des patients et se résume à la question : "Avant que la douleur vous oblige à vous arrêter, quelle distance maximale (en mètre) êtes-vous capable de marcher, à vitesse habituelle sur une surface plate ?" Cette mesure subjective est une question ouverte qui est en lien direct avec l'expérience de vie des patients. Une DMM_{déclarée} inférieure à 300 mètres est un critère en faveur d'une revascularisation.

4.1.2. Questionnaires cliniques

Les patients rencontrent beaucoup de difficultés à estimer la sévérité de leur AOMI ainsi que leur DMM, aussi plusieurs questionnaires sont utilisés en routine clinique pour les estimer ⁸³ e.g., le questionnaire d'Edinburgh ⁸⁴, Score de gravité AOMI ou score de Feringa ⁸⁵, le Walking Impairment Questionnaire (WIQ) ⁸⁶, le Estimated of Ambulatory Capacity by History-Questionnaire (EACH-Q), le Walking Estimated Lower Claudication by History (WELCH) ⁸⁷⁻⁹⁰.

a) "Walking Impairment Questionnaire" (WIQ)

Le WIQ est l'un des questionnaires les plus usuels dans l'évaluation subjective des limitations à la marche des patients artériopathes claudicants (Version française Annexe 2) ⁸⁶. Le WIQ n'évalue pas directement la DMM mais un degré de difficulté. Il se compose de 14 items avec cinq réponses possibles. Le WIQ évalue trois dimensions de la marche : la capacité à parcourir une distance donnée (sept items), la capacité à marcher à une vitesse donnée (quatre items) et la capacité à monter les escaliers (trois items). Chacune de ces dimensions correspond à un score qui permet le calcul du WIQ moyen. Le niveau de difficulté pour chaque item est hiérarchisé de zéro ("infaisable") à quatre ("aucune difficulté"). Un

coefficient est attribué à chaque item et la somme des produits pour chaque dimension est divisée par le score maximal pouvant être effectué (*i.e.*, distance : 14,080 ; vitesse : 46 ; monter les escaliers : 288)⁹¹. Le WIQ présente l'avantage de standardiser les réponses et d'avoir été comparé aux tests sur tapis roulant^{91,92}. Toutefois, le WIQ présente un nombre d'erreur important dans son remplissage et malgré sa correction par un personnel soignant, sa corrélation au tapis roulant (vitesse : 3,2 km.h⁻¹, pente : 10%) n'est pas améliorée (avant correction, coefficient de Pearson $r = 0,63$; après correction, $r = 0,65$)⁹².

b) "Estimation of Ambulatory Capacity by History-Questionnaire" (EACH-Q)

Contrairement à la DMM_{déclarée} et au WIQ, le EACH-Q (Version française Annexe 3) est un questionnaire utilisant le temps et la vitesse comme référentiels^{93,94}. En effet, ce questionnaire évalue la durée maximale à laquelle les patients sont en mesure d'effectuer une tâche. Pour chaque item, huit réponses sont possibles allant de "impossible" à "3 heures et plus". Il semble que le EACH-Q soit aussi performant que le WIQ tout en étant plus simple à compléter pour les patients (moins d'erreur de remplissage *e.g.*, réponse manquante, double cochage, etc.). Le calcul du score est beaucoup plus simple que celui du WIQ *e.g.*, pour tous les items, il est coté de 0 point pour "impossible" à 7 points pour "3 heures et plus". Toutefois, à la question sur la vitesse de déplacement, la course est cotée 2,286. La somme des scores est effectuée et multipliée ensuite par le score en rapport avec la vitesse ("beaucoup moins vite : un ; "plus vite" : cinq). La valeur calculée est ensuite arrondie à la valeur entière la plus proche et représente un pourcentage. La coefficient de corrélation du EACH-Q par rapport au test sur tapis roulant (vitesse : 3,2 km.h⁻¹; pente : 10%) est de 0,51⁹³.

c) "Walking Estimated Lower Claudication by History" (WELCH)

Le WELCH (Version française Annexe 4) est le questionnaire dérivé du EACH-Q⁸⁷⁻⁹⁰ composé des items de ce dernier à l'exception de celui relatif à la course, qui a été retiré. Aussi, toutes les réponses relatives au temps sont cotées de zéro ("impossible") à sept ("3 heures et plus") puis la somme, à laquelle un est soustrait, est multipliée par le score en rapport avec la vitesse *i.e.*, de un ("beaucoup moins vite") à cinq ("plus vite"). Tout comme pour le WIQ, le résultat obtenu est le reflet d'une limitation à la marche et est exprimé en pourcentage (*e.g.*, absence de limitation : 100%).

Les questionnaires sont des outils accessibles et facile à utiliser dans l'estimation des limitations à la marche de patients artériopathes claudicants. Toutefois, ils ne représentent qu'une évaluation subjective. Aussi, une étude, menée à Sheffield (Royaume-Uni) en collaboration avec l'Unité des Explorations Fonctionnelles de l'Exercice du CHU d'Angers, portant sur la faisabilité et la validité de questionnaires (outils subjectifs) vs des mesures objectives (test sur tapis roulant, test de marche de 6 minutes et 1 heure de marche avec GPS) dans l'évaluation des limitations à la marche des patients artériopathes claudicants a fait l'objet d'une publication dans *Journal of Vascular Surgery* en 2013 qui est présenté ci-après⁹⁵.

4.1.3. Etude de faisabilité et de validité de la DMM_{déclarée} chez des patients artériopathes claudicants

📄 Article publié :

Feasibility and validity of self-reported walking capacity in patients with intermittent claudication.

Tew, G., Copeland, R., Le Faucheur, A., **Gernigon, M.**, Nawaz, S., Abraham, P.
Journal of Vascular Surgery. 2013; 57(5):1227-34.

Les questionnaires d'évaluation de la gêne fonctionnelle à la marche sont très largement utilisés en routine clinique et sont le reflet de ce que perçoit le patient au quotidien. La DMM_{déclarée} et le WIQ utilisent la distance, le EACH-Q quant à lui évalue le temps pour caractériser la gêne fonctionnelle à la marche. L'utilisation d'un test de marche sur tapis roulant ou du test de marche de six minutes (TDM6) permet de s'affranchir de la perception du patient et d'objectiver la DMM. Toutefois, le test de marche sur tapis impose une marche (vitesse, pente) et le TDM6 est borné dans le temps. Aussi, ces deux tests peuvent ne pas refléter le patron de marche spontané des patients et donc sous ou sur estimer leur DMM. L'utilisation du GPS semble donc intéressante pour objectiver la gêne fonctionnelle à la marche. L'objet de cette étude est de comparer en test-retest trois méthodes d'évaluation subjectives (DMM_{déclarée}, WIQ et EACH-Q) et trois méthodes d'évaluation objectives (tapis roulant, TDM6 et GPS)⁹⁵. Les hypothèses de ce travail sont que (a) la DMM_{déclarée} est davantage corrélée à la DDM_{GPS} que la DMM_{tapis} ou la DMM_{TDM6}, (b) les patients ont plus d'aisance à remplir le EACH-Q qu'à renseigner leur DMM_{déclarée} et le WIQ, (c) il existe un effet d'apprentissage dans le remplissage des questionnaires et (d) la DMM est mieux perçue par les patients après une première évaluation objective de leur gêne fonctionnelle à la marche.

a) Matériel et Méthodes

Dans le cadre de cette étude, 37 patients claudicants (IPSC < 0,90 ou une imagerie révélant une sténose ou une occlusion de l'aorte ou des artères irrigants les membres inférieurs) ont été recrutés. Le schéma expérimental se découpait en trois temps. Lors de la visite d'inclusion (V1) et après avoir signé le formulaire de consentement éclairé, les patients évaluaient *via* trois méthodes subjectives leur limitation à la marche : la DMM_{déclarée}, le WIQ et le EACH-Q. A l'issue de ces trois mesures, deux tests permettant d'objectiver la DMM des patients ont été effectués en aveugle des résultats aux questionnaires : un test de marche sur tapis roulant (DMM_{tapis} - protocole de Gardner-Skinner : vitesse de 3,2 km.h⁻¹, pente initiale de 0 % puis incrémentation de 2 % toutes les 2 min) et un test de marche de 6 minutes (DMM_{TDM6}). Une troisième évaluation objective avec un GPS (DMM_{GPS} - marche d'une heure sur terrain plat, procédure détaillée à partir de la page 47) a été effectuée entre la visite d'inclusion et la seconde visite au laboratoire. La seconde visite était programmée sept à dix jours après la visite d'inclusion. Elle

suivait le même protocole que lors de la première visite mais est effectuée en aveugle de toutes les évaluations déjà effectuées.

b) Résultats principaux

Les valeurs statistiques obtenues sont détaillées dans l'article présenté ci-après. Premièrement, les résultats de cette étude montrent que la $DMM_{déclarée}$ par les patients est davantage corrélée à la DDM_{GPS} que la DMM_{tapis} ou la DMM_{TDM6} . Deuxièmement, il apparaît que les patients rencontrent plus de difficultés à renseigner leur $DMM_{déclarée}$ que de renseigner le EACH-Q. Cela peut s'expliquer par le fait que la notion de temps a plus de sens (*i.e.*, signification) qu'une distance pour un patient. Troisièmement, entre la première visite et la seconde, il est observé moins d'erreur de remplissage pour le WIQ alors que pour les autres questionnaires cela ne varie pas. Le WIQ nécessiterait donc un apprentissage pour prévenir les erreurs de remplissage. Enfin, suite à un effet d'apprentissage résultant d'une évaluation objective de la DMM préalable (tapis roulant, TDM6, GPS), il est observé une amélioration de l'estimation de la $DMM_{déclarée}$ lors de la deuxième déclaration.

c) Discussion et Conclusion

Pour conclure, cette étude met évidence que le EACH-Q et la $DMM_{déclarée}$ sont davantage corrélés aux mesures faites avec le GPS qu'avec celles effectuées sur le tapis roulant. Probablement que l'exploration par GPS reproduit mieux le patron de marche spontané que l'exploration sur tapis. Ces questionnaires sont donc pertinents au regard d'une évaluation clinique subjective de la DMM. De plus, le nombre d'erreurs trop important et les difficultés rencontrées par les patients pour renseigner le WIQ, en font un mode d'évaluation peu adapté en routine clinique.

Feasibility and validity of self-reported walking capacity in patients with intermittent claudication

Garry Tew, PhD,^a Robert Copeland, PhD,^a Alexis Le Faucheur, PhD,^b Marie Gernigon, MSc,^c Shah Nawaz, MD,^d and Pierre Abraham, MD, PhD,^c *Sheffield, United Kingdom; and Les ponts de Ce and Angers, France*

Objective: The primary aim of this study was to assess if self-reported measures of walking limitation correlate better with a community-based assessment of maximum walking distance (MWD) than they do with laboratory-based tests in patients with intermittent claudication. A secondary aim was to examine the effect of prior objective testing on these correlations.

Methods: Thirty-one patients completed three self-report tools (self-reported MWD; Walking Impairment Questionnaire [WIQ]; Estimation of Ambulatory Capacity by History-Questionnaire [EACH-Q]) immediately before and approximately 1 week after a series of objective tests (incremental treadmill walking test, 6-minute walk test, 1-hour global positioning system [GPS] recording of a community walk). We analyzed the feasibility of the self-report tools in terms of number of errors and their correlation (*r*) with objective measures.

Results: The correlations of self-report tests to GPS-MWD (range, .579-.808) were consistently higher than with the treadmill test (range, .310-.584) and 6-minute walk test (range, .414-.613). The WIQ had the highest proportion of errors, both at first and second completion (58% and 42%, respectively), compared with self-reported MWD (23% and 13%, respectively) and the EACH-Q (6.5% and 13%, respectively). Correlations were improved with the second set of self-report tests (range, .310-.595 to .414-.808).

Conclusions: The fact that all self-report tools correlated better with a community-based measure of MWD using GPS than with laboratory results confirms that they measure what they aim to: community-based MWD. In addition, prescription of a community walk might help patients to better estimate their walking limitation. (*J Vasc Surg* 2013;57:1227-34.)

Lower extremity peripheral artery disease (PAD) is widely prevalent among the elderly population.¹ A common symptom in PAD is intermittent claudication, which is pain in the lower limb during walking caused by an insufficient blood flow increase to cover metabolic demand. Intermittent claudication can cause a marked reduction in walking capacity. The “maximum walking distance” (MWD), defined as the distance at which pain forces the patient to stop walking, is important for assessing the magnitude of walking impairment and the impact of therapy. Walking limitation can be measured “objectively” or estimated “subjectively.”

For years, treadmill testing has been used as a gold standard in the assessment of MWD in claudicants² because a low correlation has often been found between treadmill MWD and self-report measures of walking limitation³⁻⁵ suggesting that self-report tools are inadequate. The

ability to complete a 6-minute walk test, or a MWD below a specific threshold, was used both sides of the Atlantic and formed part of the guidelines of the TransAtlantic Inter-Society Consensus (TASC) for the diagnosis and treatment of intermittent claudication.⁶ Treadmill protocols are either incremental,⁷ constant load,^{5,4} or a combination of both.⁸ The variety of protocols, and the fact that treadmill testing is expensive, time consuming, and often not accessible, raises the question of whether treadmill testing is practical in the clinical setting and can really be considered a gold standard. It is of interest to note that currently, on the TASC internet homepage (<http://www.tasc-2-pad.org/>), “reduced treadmill performance” has an equal decision value as a “history of significant exercise limitation” or a “reduced function by questionnaire.” This position appears pragmatic and consistent with the idea that treadmill testing is difficult to implement.⁹ Presently, in most clinical routines, the presence and importance of self-reported disability is considered one of the major and easily attained factors guiding clinical decision.

How confident can we be that these self-reports are valid? We hypothesized that the largely published low correlation of self-reports to laboratory-measured MWD might just be that self-reported measures reflect real-life MWD instead of performance on an artificially created walking test. We recently reported that global positioning system (GPS) data loggers could be used to provide information on unsupervised community-based outdoor walking, assumed to better reflect real life.¹⁰⁻¹²

From the Sheffield Hallam University, Sheffield^a; the IFEPSA, Les ponts de Ce^b; the University Hospital of Angers, Angers^c; and the Sheffield Teaching Hospitals Trust, Sheffield.^d

Author conflict of interest: none.

Reprint requests: Pierre Abraham, MD, PhD, University Hospital of Angers, UMR CNRS771-INSERM1083, Angers, France (e-mail: piabraham@chu-angers.fr).

The editors and reviewers of this article have no relevant financial relationships to disclose per the JVS policy that requires reviewers to decline review of any manuscript for which they may have a conflict of interest.

0741-5214/\$36.00

Copyright © 2013 by the Society for Vascular Surgery.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.jvs.2012.02.073>

Surprisingly, the relationship between self-reported measures and community-based outdoor walking has never been reported. It is also unknown if the quality of self-reported estimates can be improved, for example, by making patients first undertake a series of walking tests.

The primary aim of this study was to assess the construct validity of three different self-report tools by assessing their relationship with three different objective tests in a group of patients with intermittent claudication (ie, is each self-report tool measuring what it claims to be measuring?). Secondary aims were to assess the difficulty of completing different self-report tools (ie, does the instrument face practical or technical issues resulting in missing values?) and measure the learning effect of self-reports (ie, is the number of errors reduced at the second completion compared with the first? Is the correlation with objective tests improved for the second set of self-reports?).

It was expected that a learning effect would occur from both repeating self-reports and completing objective tests between two sets of self-reports. However, to the best of our knowledge, the proof and magnitude of the improvement resulting from questionnaire resubmission, if any, has never been reported in the literature. Our primary hypothesis was that self-report scores would show a better correlation with a community-based outdoor measure of MWD than with laboratory-based measures. A secondary hypothesis was that prior completion of objective walking tests would improve the validity of self-report tools.

METHODS

Study design and population

With local Research Ethics Committee approval, 37 patients with intermittent claudication attributable to PAD were recruited from the Sheffield Vascular Institute at the Northern General Hospital, Sheffield, United Kingdom. The diagnosis of PAD was based on an ankle-brachial index $< .90$ at rest on one or both legs and/or a prior imaging investigation showing stenoses or occlusions of the aorta and/or lower-limb arteries. Exclusion criteria included (1) absence of PAD, (2) asymptomatic PAD, (3) rest pain attributable to PAD, (4) walking limitation by factors other than claudication (eg, dyspnoea, angina, arthritic pain), (5) history of intermittent claudication < 6 months, and (6) revascularization or other major surgery within the previous 6 months. Written, informed consent was obtained from patients prior to their participation in this study. The study was conducted according to the Declaration of Helsinki and registered in "ClinicalTrials.gov" under reference #NCT01484509.

All participants visited the testing facility on two occasions. On visit 1, the participants first underwent functional evaluation using three "subjective" self-report tools (self-reported maximum walking distance [SR-MWD]; Walking Impairment Questionnaire [WIQ]; Estimation of Ambulatory Capacity by History-Questionnaire [EACH-Q]),^{4,13-15} followed by two "objective"

evaluations (Gardner-Skinner incremental treadmill walking test; 6-minute walking test). Questionnaire scores were not calculated before the "objective" laboratory evaluations to reduce the risk of observational bias. Between visits 1 and 2, the participants were asked to undertake a minimum of 60 minutes of GPS-recorded unsupervised outdoor walking in a flat public park. This was aimed at attaining an objective measure of MWD in conditions that closely reflect usual community-based outdoor walking.¹⁰ The GPS data and the data collected on visit 1 were used to assess the construct validity of the SR-MWD, WIQ, and EACH-Q. On visit 2, which was within 7 to 10 days of visit 1, the participants repeated the subjective tests outlined above. The data collected on visit 2 were compared with those from visit 1. This was not done to assess the test-retest reproducibility of the three self-report tools but to assess if the resubmission of self-report tools and prior completion of objective walking tests changes patients' ability to self-report.

Self-reported estimations of walking limitation

SR-MWD. The SR-MWD is the easiest way of assessing walking limitation and was obtained using the following written question, "What is the maximum distance (in meters) you can walk at your usual pace on a flat surface before leg pain forces you to stop?" It allowed a nonguided open answer and apparently remains the most largely used approach in the routine clinical setting.

Questionnaires assessing walking limitation. The WIQ, which was proposed over a decade ago to standardize the estimation of walking limitation by patient interview,¹³ is widely used. It involves 14 items with five possible answers for each item. The 14 items are divided into three subscales: a distance subscale (seven items), a speed subscale (four items), and a stair-climbing subscale (three items). We recently proposed a new questionnaire, the EACH-Q, for "Estimating Ambulatory Capacity by History" in patients with claudication.¹⁴ The idea was to try to simplify the assessment and reduce the number of errors during self-completion.^{3,14} The EACH-Q estimates the maximum duration that can be achieved (eight possible answers ranging from "impossible" to "3 hours or more") at four different speeds (from "slow walking" to "running"). Initial findings suggest that the EACH-Q has comparable validity to the WIQ, while being easier to complete.¹⁴ The EACH-Q was initially developed in French and had never been tested in an English native population.

Completion, correction, and scoring of questionnaires. On arrival at the laboratory, patients were asked to complete the SR-MWD question, the WIQ, and the EACH-Q without help and with no time limitation. All the questionnaires were then checked for errors by a researcher (G.T.) as previously reported.¹⁴ Missing, duplicate (ie, two or more answers for the same item for the EACH-Q and WIQ), and paradoxical (ie, higher duration reported for a higher displacement speed in the EACH-Q, or lower difficulty for a higher distance in the WIQ) answers within

a scale were discussed with the patient and corrected. Further details about the design of the EACH-Q and the methods of error correction are reported elsewhere.¹⁴ Each questionnaire was calculated using previously reported valid methods.^{3,14,16}

Fully completed WIQs were scored as previously described.¹³ In brief, each level of difficulty was scored from 0 ("unable to do the task") to 4 ("no difficulty"). For each item, a coefficient was attributed. Each item value was the product of the number of points by the item coefficient. The subscale score for distance, speed, and stair climbing was the sum of these products divided by the maximum possible score (14,080 for distance, 46 for speed, and 288 for stairs). Each subscale score is expressed as a percentage and the overall WIQ score is the mean of the three subscale scores.

For the EACH-Q, each displacement speed was attributed a coefficient: 1 for "slow walk," 2 for "normal walk," 4 for "fast walk," and 7.286 for "run." Each duration was attributed a value consistent with its position among the possible responses (eg, 0 for "impossible," 1 for "30 seconds," and 7 for "3 hours or more"). Following completion, a number of points is calculated for each displacement speed by multiplying the corresponding coefficient by the value attributed to the duration response. The total EACH-Q score is the sum of the calculated number of points for all displacement speeds rounded to the nearest whole number. It is expressed as a percentage, since by construction, the maximum EACH-Q score is 100.

Examples for scoring of the WIQ and EACH-Q are provided in Figs 1 and 2, respectively.

Objective measurements of MWD

Gardner-Skinner incremental treadmill walking test. Each participant performed the Gardner-Skinner incremental treadmill walking test, as previously described.¹⁷ In brief, participants walked at 3.2 km/h with a 2% increase in gradient every 2 minutes, starting from 0%. Treadmill test duration was maximized to 20 minutes. Participants were instructed to walk until leg pain forced them to stop, at which point treadmill MWD was recorded. Heart rate was recorded continuously by electrocardiogram (Cardioperfect; Welch Allyn, Skaneateles Falls, NY).

Six-minute walk test. At least 20 minutes after the treadmill test, participants completed a 6-minute walk test in which they were instructed to walk as far as possible within 6 minutes.^{18,19} This test is closer to community walking conditions than treadmill testing²⁰; however, patients are still required to walk at a forced pace. A straight 20-m course was used, and the distance completed after 6 minutes was recorded as the "6-min-MWD." Heart rate was continuously monitored using heart rate telemetry (Polar, Kempele, Finland).

GPS recording. A low-cost, commercially available GPS data logger (DG100; GlobalSat, Taiwan) was used to record an unsupervised walk in a designated public park that was flat and free of motorized vehicle traffic and buildings.¹¹ This method has been described in detail

previously.¹⁰ The participants were given clear verbal and written instructions about how to use the GPS device and how to perform the walking sessions. An investigator emphasized that the aim of this session was to reproduce their daily walk. Patients were instructed as follows: (1) to wait for 10 minutes on arrival at the designated public park to allow for initialization of the system; (2) to then walk at their usual walking speed for 60 minutes, including rest periods because of leg pain; (3) to stop at maximum claudication pain rather than voluntarily slowing down to avoid pain when walking discomfort starts to develop; and (4) to wait for 2 minutes at the end of the session before switching off the GPS device. No recommendation was provided about the duration of rest stops. On return of the GPS device to the investigator, the raw speed data every 2 seconds was downloaded from the GPS receiver and analyzed using a spreadsheet system (Microsoft Excel 2000; Microsoft Corp, Redmond, Wash) as described previously.¹⁰ Distance was retrieved from the integration of measured speed. Since variability in distances completed between stops is found in a 1-hour stroll with the GPS technique,²¹ the longest distance observed between two stops on the recording was used as the "GPS-MWD."¹⁰

Sample size calculation and statistical analyses

The sample size calculation was based on the number of patients required to find a significant correlation between self-reported capacity and GPS-MWD. Assuming a coefficient of correlation (r) of at least $r = .484$,¹³ and using a two-tailed $\alpha = .05$ and power of 80%, the estimated sample size was 31 (www.quantitativeskills.com). Participants were recruited until 31 complete sets of data had been collected.

We assessed how easy the self-report tools were to complete by calculating the proportion of tools with at least one error and the proportion of total items with errors (total items being the product of number of participants and number of items in the self-report tool). Errors included missing, duplicate, or paradoxical responses.

Normality of distribution was tested using the Shapiro-Wilk test. Data are presented as mean \pm standard deviation for normally distributed variables and median (25th-75th percentiles) for non-normally distributed variables. The correlations between subjective and objective test scores were quantified using Pearson's correlation coefficient (r). McNemar tests for proportions and paired t -tests for continuous variables were used to compare the results observed between the two sets of self-reports. Statistical analyses were performed using Predictive Analytics Software Statistics v18.0 (SPSS; An IBM Company, Portsmouth, Hampshire, UK), and statistical significance was accepted at $P \leq .05$.

RESULTS

Population description. Thirty-seven patients were recruited. Of these, six were excluded on the basis of withdrawal after visit 1 ($n = 4$) or incomplete data because of noninterpretable GPS signal ($n = 2$); prolonged satellite

WALKING IMPAIRMENT QUESTIONNAIRE (WIQ)

Walking distance: Report the degree of physical difficulty that best describes how hard it was for you to walk on level ground without stopping to rest for each of the following distances during the last week:

DISTANCE	DEGREE OF DIFFICULTY				
	None	Slight	Some	Much	Unable
1. Walking indoors such as around your home?	4	3	2	1	0
2. Walking 50 feet?	4	3	2	1	0
3. Walking 150 feet (1/2 block)?	4	3	2	1	0
4. Walking 300 feet (1 block)?	4	3	2	1	0
5. Walking 600 feet (2 blocks)?	4	3	2	1	0
6. Walking 900 feet (3 blocks)?	4	3	2	1	0
7. Walking 1500 feet (5 blocks)?	4	3	2	1	0

Walking speed: Report the degree of difficulty that best describes how hard it was for you to walk one city block on level ground at each of these speeds without stopping to rest during the last week:

SPEED	DEGREE OF DIFFICULTY				
	None	Slight	Some	Much	Unable
1. Walking one block slowly?	4	3	2	1	0
2. Walking one block at an average speed?	4	3	2	1	0
3. Walking one block quickly?	4	3	2	1	0
4. Walking or jogging one block?	4	3	2	1	0

Stair climbing: For each of these questions, report the degree of physical difficulty that best describes how hard it was for you to climb stairs without stopping to rest during the past week:

STAIRS	DEGREE OF DIFFICULTY				
	None	Slight	Some	Much	Unable
1. Climbing one flight of stairs?	4	3	2	1	0
2. Climbing two flights of stairs?	4	3	2	1	0
3. Climbing three flights of stairs?	4	3	2	1	0

Fig 1. Example of a completed Walking Impairment Questionnaire (WIQ) form. A missing answer has occurred on item 5 of the distance subscale and has been corrected in red after self-completion. In this case, the scoring of the questionnaire resulted in a score of 28.3%. This average score is the mean of the subscale scores being for the WIQ-distance, WIQ speed, and WIQ stairs, respectively: $24.4 = [(4 \cdot 20) + (4 \cdot 50) + (3 \cdot 150) + (2 \cdot 300) + (2 \cdot 600) + (1 \cdot 900) + (0 \cdot 1500)] / 14.080$; $31.5 = [(3 \cdot 1.5) + (2 \cdot 2) + (3 \cdot 150) + (2 \cdot 3) + (0 \cdot 5)] / 0.46$; $29.2 = [(3 \cdot 12) + (2 \cdot 24) + (0 \cdot 36)] / 2.88$.

Please answer each of the following questions by placing an "X" in the box that best describes your situation. Please mark only one box per row. If you never perform an activity, estimate what it would be like if you did perform it. If you think that you would not be able to perform a specified task for at least 30 seconds without stopping to rest, please answer "impossible".

For each of the following activities, how long can you perform the task easily on level ground without stopping?

	Impossible	30 seconds	1 minute	3 minutes	10 minutes	30 minutes	1 hour	3 hours or more
Walking slowly (slower than usual, or slower than other people of your own age)?					<input checked="" type="checkbox"/>			
Walking at an average speed (usual speed, or same speed as other people your own age)?			<input checked="" type="checkbox"/>					
Walking quickly (faster than usual, or faster than other people of your own age)?	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>					
Jog or run?	<input checked="" type="checkbox"/>							

Fig 2. Example of a completed Estimation of Ambulatory Capacity by History-Questionnaire (EACH-Q) form. In this case, the scoring of the questionnaire resulted in a score of 18%: $(1 \cdot 4) + (2 \cdot 3) + (4 \cdot 2) + (7.286 \cdot 0)$.

Table I. Demographic and descriptive variables

	Whole cohort (n = 37)	Complete data sets (n = 31)
Characteristics		
Age, years	65 ± 11	66 ± 11
Male sex	30 (81%)	26 (84%)
Body mass, kg	78.9 ± 15.8	78.0 ± 15.6
Stature, cm	169 ± 7	169 ± 8
Body mass index, kg·m ⁻²	27.5 ± 4.6	27.2 ± 4.3
Ankle-brachial index	0.59 ± 0.15	0.59 ± 0.16
Systolic blood pressure, mm Hg	154 ± 19	155 ± 19
Diastolic blood pressure, mm Hg	75 ± 8	75 ± 9
Comorbidities		
History of cardiac disease	9 (24%)	8 (26%)
History of hypertension	34 (92%)	29 (94%)
Diabetes	9 (24%)	6 (19%)
Current smoker	14 (38%)	8 (26%)
Medication		
Beta-blocker	8 (22%)	6 (19%)
Other antihypertensive agent	24 (65%)	19 (61%)
Statins or other lipid-lowering agent	34 (92%)	28 (90%)
Antiplatelet or anticoagulant agent	34 (92%)	29 (94%)
Other noncardiovascular drug(s)	22 (60%)	18 (58%)

Data are mean ± standard deviation or frequencies (%).

loss). Characteristics of the recruited population and of the 31 patients analyzed are presented in Table I.

Self-report results. The number and proportion of total items with errors as well as the number and proportion of self-report tools with at least one error are shown in Table II. The WIQ had the highest number of errors. This number decreased during the second set but remained higher than with the other tools. Table II also shows the mean ± standard deviation responses for each self-report tool. Results were unchanged between sets 1 and 2, although there was a trend for an increase in the WIQ score.

Objective test results. The MWD values observed were 471 m (249-741) on treadmill, 289 ± 78 m on 6-minute walking test, and 911 ± 711 m on GPS, with values ranging from 79 to 1071 m, 208 to 505 m, and 210 to 3106 m, respectively.

Validity of self-reports. Table III shows the correlations between the self-report and objective tests. The correlations of self-reports to community-based outdoor walking (ie, GPS) were consistently higher than those for the laboratory tests (ie, treadmill and 6-minute walk tests). This is illustrated in Fig 3. Furthermore, in most cases, the coefficients of correlation for the second set of self-reports were higher than those for the first set, suggesting a learning effect had occurred, resulting in improved accuracy of self-reporting (Table III).

DISCUSSION

The primary novel finding was that the correlations of self-report tools with GPS-MWD were higher than with treadmill-MWD or 6-minute-MWD.

Standard treadmill testing has been used for years with a wide variety of protocols and is expected to provide reliable

Table II. Errors and results observed during the first (set 1) and second (set 2) completion of self-reports

	Set 1	Set 2	P
Number of errors as a proportion of total items, n (%)			
SR-MWD, (1 item • 31 subjects = 31 items)	7 (23)	4 (13)	.318
WIQ, (4 items • 31 subjects = 124 items)	57 (13)	22 (5)	.001
EACH-Q, (14 items • 31 subjects = 124 items)	5 (4)	9 (7)	.271
Questionnaires with at least one error, n (%)			
SR-MWD	7 (23)	4 (13)	.371
WIQ	18 (58)	13 (42)	.132
EACH-Q	2 (7)	4 (13)	.624
Self-report results			
SR-MWD	200 [95-500]	250 [100-550]	.154
WIQ	38 ± 16	43 ± 18	.051
EACH-Q	30 ± 14	32 ± 14	.242

EACH-Q, Estimated Ambulatory Capacity by History-Questionnaire; SR-MWD, self-reported maximum walking distance; WIQ, Walking Impairment Questionnaire.

Table III. Correlations between self-reports and objective tests of walking capacity

Correlation			R	SEE	T	P
Set 1	SR-MWD to:	Treadmill-MWD	.310	311	1.76	.090
		6-minute-MWD	.446	72	2.68	.012
		GPS-MWD	.579	589	3.96	.001
	WIQ to:	Treadmill-MWD	.584	266	3.87	.001
		6-minute-MWD	.535	68	3.41	.002
		GPS-MWD	.595	581	3.98	<.001
	EACH-Q to:	Treadmill-MWD	.378	303	2.20	.036
		6-minute-MWD	.515	69	3.24	.003
		GPS-MWD	.582	587	3.86	.001
Set 2	SR-MWD to:	Treadmill-MWD	.447	293	2.69	.012
		6-minute-MWD	.538	68	3.44	.002
		GPS-MWD	.808	425	7.39	<.001
	WIQ to:	Treadmill-MWD	.420	297	2.50	.019
		6-minute-MWD	.414	73	2.45	.021
		GPS-MWD	.598	579	4.02	<.001
	EACH-Q to:	Treadmill-MWD	.473	288	2.89	.007
		6-minute-MWD	.613	64	4.18	<.001
		GPS-MWD	.694	520	5.19	<.001

EACH-Q, Estimated Ambulatory Capacity by History-Questionnaire; GPS, global positioning system; MWD, maximum walking distance; SEE, standard error to estimate; SR-MWD, self-reported maximum walking distance; WIQ, Walking Impairment Questionnaire.

values. However, it is expensive, time consuming, and often not accessible. Furthermore, walking on a treadmill with a slope does not necessarily reproduce usual walking conditions. The 6-minute walking test can be performed indoors and outdoors,²² and it correlates better with physical activity during daily life than treadmill measures do.²⁰

The GPS technique has recently been proposed to attain information on walking impairment outside of the laboratory.^{10,21} Although its applicability as a routine tool remains unknown, it can provide useful information on how patients walk in near-usual walking conditions.²¹ How self-reports of walking impairment correlate to GPS-measured MWD had, to the best of our knowledge, never been reported. The fact that questionnaires correlate better with GPS than with other tests confirm the validity of the WIQ and EACH-Q as measures of community-based outdoor MWD.

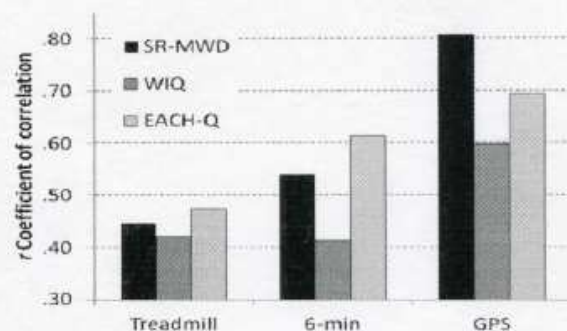


Fig 3. Coefficients of correlation between self-reports (set 2) and objective measures of maximal walking distance. EACH-Q, Estimated Ambulatory Capacity by History-Questionnaire; GPS, global positioning system; SR-MWD, self-reported maximum walking distance; WIQ, Walking Impairment Questionnaire.

The second point of interest relates to how difficult the different self-report tools were to complete. We observed that patients experienced more problems completing the one-item SR-MWD questionnaire than they did completing the four-item EACH-Q. The high number of missing answers with the SR-MWD question probably relies on the difficulty in estimating distance in extrapersonal spaces²³ and even familiar sites.²⁴ The EACH-Q was developed on the idea that time-based options are easier to understand than distance questions. It had the lowest proportion of errors of the three self-report tools and performed much better than the WIQ in this respect, as previously found.^{14,16} An error in one or more item/s does not necessarily mean that the questionnaire cannot be scored, but previous data suggest that correction of questionnaires improves their correlation with objective tests.¹⁶

The third point of interest relates to whether or not patients can improve their ability to self-report. First, we observed a reduction in errors on the second submission of the WIQ. The correction of errors after self-completion of the first set might have helped patients to better complete the WIQ at second submission. The proportions of errors for other self-report tools did not change, likely as a result of few errors on first submission. Second, we observed that the coefficients of correlation for the second set of self-reports were mostly higher than those for the first set. Our assumption is that, due to physical inactivity, most patients struggle to rate the difficulty of walks that they do not routinely perform, and that they find it easier to self-report after they have faced some of these tasks at least once.

Correlations to objective tests improved, as expected, for both the SR-MWD and the EACH-Q, but not for the WIQ. Importantly, the mean scores for each of the self-report tools did not change markedly from set 1 to set 2 (Table III). The improved correlations for the SR-MWD and EACH-Q are most likely due to the GPS session increasing patients' awareness of their walking limitation, but a role for the other objective tests cannot be excluded. However, with the EACH-Q, prior completion of a community GPS walk would probably only improve the results for the second item dealing with the usual speed, for which maximum participation in the total score is 14%. The absence of improvement of correlations with the WIQ might be due to the way the questions are formulated. Specifically, estimating the degree of difficulty to perform the proposed tasks might be a challenging concept for many patients.

The fact that our findings represent a single-institution experience with a small number of patients is a limitation of this study. Indeed, the sample size is too small for us to assess if the coefficients of correlation are statistically different from one another. We also faced a relatively high number of drop-outs and incomplete GPS data. The latter point was due to poor signal quality in a region of the park that had relatively compact trees, which underlies the difficulty in implementing GPS experiments in nonoptimal environmental conditions. Nevertheless, the final population studied seems

comparable with previous reports on patients with intermittent claudication. Another point is that, although the correlations of self-reports with objective measurements were mostly improved, it is impossible to state whether or not this was the effect of self-report resubmission, objective testing between the two self-reports, or both.

Our findings have important clinical implications. Repeating self-reports after a series of objective assessments is generally what occurs when one aims at determining the impact of a specific intervention (eg, rehabilitation and revascularization). Here, the clinician should be aware that changes observed with the SR-MWD or EACH-Q score might partly rely on the improved ability to self-report walking limitation. Is it a good or a bad thing that objective tests influence self-reports? It could be suggested that a better questionnaire is the one that suffers the least changes after the series of objective tests. On the contrary, we think that the absence of improvement of the WIQ correlation to objective tests illustrates its complexity, as does its high rate number of errors, even at second completion. In practice, it could be suggested that if one aims at using questionnaires before and after any kind of medical or surgical intervention, an initial community-based outdoor walk could be systematically proposed to the patients to improve the quality of their first estimation.

In conclusion, the fact that all self-report tools correlated better with GPS results than with laboratory data suggests that they measure what they aim to—community-based outdoor MWD. This might explain the previous mediocre correlations observed for self-report tools when they were validated against laboratory tests. The validity of self-reported walking limitation via an open-ended single question is probably not as bad as previously claimed,²⁵ although some patients struggle to provide a response. The practice of objective tests might help patients to have a better subjective estimation of their walking limitation. In practice, the WIQ is probably too complex for routine clinical use. The EACH-Q represents an alternative standardized tool but could still be improved and needs further validation.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Conception and design: GT, PA
Analysis and interpretation: GT, RC, ALF, MG, SN, PA
Data collection: GT, RC, SN, PA
Writing the article: GT, PA
Critical revision of the article: GT, RC, ALF, MG, SN, PA
Final approval of the article: GT, RC, ALF, MG, SN, PA
Statistical analysis: GT, PA
Obtained funding: GT
Overall responsibility: GT, SN, PA

REFERENCES

1. Criqui MH, Fronck A, Barrett-Connor E, Klauber MR, Gabriel S, Goodman D. The prevalence of peripheral arterial disease in a defined population. *Circulation* 1985;71:510-5.

2. Rutherford RB, Baker JD, Ernst C, Johnston KW, Porter JM, Ahn S, et al. Recommended standards for reports dealing with lower extremity ischemia: revised version. *J Vasc Surg* 1997;26:517-38.
3. Mahe G, Ouedraogo N, Vasseur M, Faligant C, Saidi K, Leftheriotis G, et al. Limitations of self-reported estimates of functional capacity using the Walking Impairment Questionnaire. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2011;41:104-9.
4. Myers SA, Johanning JM, Stergiou N, Lynch TG, Longo GM, Pipinos II. Claudication distances and the Walking Impairment Questionnaire best describe the ambulatory limitations in patients with symptomatic peripheral arterial disease. *J Vasc Surg* 2008;47:550-5.
5. Chong PF, Garratt AM, Gollidge J, Greenhalgh RM, Davies AH. The intermittent claudication questionnaire: a patient-assessed condition-specific health outcome measure. *J Vasc Surg* 2002;36:764-71; discussion: 863-4.
6. Norgren L, Hiatt WR, Dormandy JA, Nehler MR, Harris KA, Fowkes FG, et al. Inter-Society Consensus for the Management of Peripheral Arterial Disease (TASC II). *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2007;33(Suppl 1):S1-75.
7. Ritti-Dias RM, Gobbo LA, Cucato GG, Wolosker N, Jacob Filho W, Santarem JM, et al. Translation and validation of the walking impairment questionnaire in Brazilian subjects with intermittent claudication. *Arq Bras Cardiol* 2009;92:136-49.
8. Labs KH, Dormandy JA, Jaeger KA, Stuerzebecher CS, Hiatt WR. Transatlantic Conference on Clinical Trial Guidelines in Peripheral Arterial Disease: clinical trial methodology. *Basel PAD Clinical Trial Methodology Group. Circulation* 1999;100:e75-81.
9. Olin JW, Allie DE, Belkin M, Bonow RO, Casey DE Jr, Creager MA, et al. ACCF/AHA/ACR/SCAI/SIR/SVM/SVN/SVS 2010 performance measures for adults with peripheral artery disease: a report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association Task Force on Performance Measures, the American College of Radiology, the Society for Cardiac Angiography and Interventions, the Society for Interventional Radiology, the Society for Vascular Medicine, the Society for Vascular Nursing, and the Society for Vascular Surgery (Writing Committee to Develop Clinical Performance Measures for Peripheral Artery Disease). *J Vasc Nurs* 2010;29:23-60.
10. Le Faucheur A, Abraham P, Jaquinandi V, Bouye P, Saumet JL, Noury-Desvaux B. Measurement of walking distance and speed in patients with peripheral arterial disease: a novel method using a global positioning system. *Circulation* 2008;117:897-904.
11. Noury-Desvaux B, Abraham P, Mahe G, Sauvaget T, Leftheriotis G, Le Faucheur A. The accuracy of a simple, low-cost GPS data logger/receiver to study outdoor human walking in view of health and clinical studies. *PLoS One* 2011;6:e23027.
12. Le Faucheur A, Abraham P, Jaquinandi V, Bouye P, Saumet JL, Noury-Desvaux B. Study of human outdoor walking with a low-cost GPS and simple spreadsheet analysis. *Med Sci Sports Exerc* 2007;39:1570-8.
13. McDermott MM, Liu K, Guralnik JM, Martin GJ, Criqui MH, Greenland P. Measurement of walking endurance and walking velocity with questionnaire: validation of the walking impairment questionnaire in men and women with peripheral arterial disease. *J Vasc Surg* 1998;28:1072-81.
14. Ouedraogo N, Mahe G, Marchand J, Saidi K, Leftheriotis G, Abraham P. Validation of a new simple questionnaire to "estimate ambulation capacity by history" (EACH) in patients with claudication. *J Vasc Surg* 2011;54:133-8.
15. Nicolai SP, Kruidenier LM, Rouwet EV, Graffius K, Prins MH, Teijink JA. The walking impairment questionnaire: an effective tool to assess the effect of treatment in patients with intermittent claudication. *J Vasc Surg* 2009;50:89-94.
16. Mahe G, Ouedraogo N, Marchand J, Vielle B, Picquet J, Leftheriotis G, et al. Self-reported estimation of usual walking speed improves the performance of questionnaires estimating walking capacity in patients with vascular-type claudication. *J Vasc Surg* 2011;54:1360-5.
17. Gardner AW, Skinner JS, Cantwell BW, Smith LK. Progressive vs single-stage treadmill tests for evaluation of claudication. *Med Sci Sports Exerc* 1991;23:402-8.
18. Montgomery PS, Gardner AW. The clinical utility of a six-minute walk test in peripheral arterial occlusive disease patients. *J Am Geriatr Soc* 1998;46:706-11.
19. Norgren L, Hiatt WR, Dormandy JA, Nehler MR, Harris KA, Fowkes FG. Inter-Society Consensus for the Management of Peripheral Arterial Disease (TASC II). *J Vasc Surg* 2007;45(Suppl S):S5-67.
20. McDermott MM, Ades PA, Dyer A, Guralnik JM, Kibbe M, Criqui MH. Corridor-based functional performance measures correlate better with physical activity during daily life than treadmill measures in persons with peripheral arterial disease. *J Vasc Surg* 2008;48:1231-7.e1.
21. Le Faucheur A, Noury-Desvaux B, Mahe G, Sauvaget T, Saumet JL, Leftheriotis G, et al. Variability and short-term determinants of walking capacity in patients with intermittent claudication. *J Vasc Surg* 2010;51:886-92.
22. Brooks D, Solway S, Weinacht K, Wang D, Thomas S. Comparison between an indoor and an outdoor 6-minute walk test among individuals with chronic obstructive pulmonary disease. *Arch Phys Med Rehabil* 2003;84:873-6.
23. Armbruster C, Wolter M, Kuhlen T, Spijkers W, Fimm B. Depth perception in virtual reality: distance estimations in peri- and extrapersonal space. *Cyberpsychol Behav* 2008;11:9-15.
24. Sharrack B, Hughes RA. Reliability of distance estimation by doctors and patients: cross sectional study. *BMJ* 1997;315:1652-4.
25. Watson CJ, Collin J. Estimates of distance by claudicants and vascular surgeons are inherently unreliable. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 1998;16:429-30.

Submitted Dec 26, 2011; accepted Feb 4, 2012.

4.2. Evaluations objectives en laboratoire des limitations fonctionnelles à la marche

Par leur faible coût et leur facilité d'accès, les évaluations subjectives de la sévérité de l'AOMI par questionnaires sont très largement utilisées en routine clinique notamment en cabinet. Toutefois, en plus de présenter des erreurs inhérentes à leur remplissage, ces questionnaires portent sur les habitudes de vie des patients. Aussi, les patients claudicants ne marchant plus à cause de la douleur ne sont pas toujours en mesure d'évaluer leur DMM. Il est donc intéressant d'utiliser des méthodes d'évaluation permettant d'objectiver les limitations à la marche des patients artériopathes claudicants.

4.2.1. Test de marche sur tapis

Le test de marche sur tapis représente l'évaluation de référence pour déterminer la DMM des patients artériopathes². L'intensité de l'exercice doit être inférieure à celle utilisée chez le patient coronarien afin de reproduire la symptomatologie habituelle rencontrée dans la vie quotidienne *i.e.*, douleur des membres inférieurs, localisation du site de la douleur, autres symptomatologies associées à l'effort (*e.g.*, dyspnée, douleur thoracique, etc.).² L'électrocardiogramme (ECG) n'est pas obligatoire mais vivement recommandé afin de mettre en évidence une potentielle coronaropathie associée. Le test de marche s'arrête lorsque le patient n'est plus en mesure de maintenir l'effort pour des raisons liées à la douleur aux membres inférieurs ou à la demande du médecin suite à la présence de signes sur l'ECG (*e.g.*, ischémie myocardique).

A l'issue du test de marche, les pressions systoliques post-exercices sont mesurées. A partir de ces mesures les IPSC sont calculés et comparés aux valeurs de repos. Une pression systolique de cheville qui chute de 30 mmHg pour un IPSC qui diminue de 20 %, par rapport aux valeurs de repos, sont des critères en faveur d'un diagnostic d'AOMI^{70,78,80,96}.

Différents types de protocoles standardisés existent pour évaluer la DMM de patients artériopathes. Ces tests peuvent être triangulaires ou rectangulaires.

Un test de marche triangulaire sur tapis roulant se caractérise par une incrémentation de la pente ou de la vitesse. Cette augmentation de charge de travail s'effectue par paliers (en anglais, "step test") ou de façon continue (en anglais, "ramp test"). Les tests de marche avec incrémentation les plus usuels pour évaluer la DMM dans la claudication intermittente sont le test de Hiatt *et al.* et de Gardner *et al.*^{97,98}. Le test de Hiatt utilise une vitesse constante de 3,2 km.h⁻¹, avec une pente initiale nulle puis une incrémentation de la pente de 3,5 % toutes les 3 minutes. Tout comme Hiatt *et al.*, Gardner *et al.* utilisent une vitesse constante de 3,2km.h⁻¹ avec une pente initiale nulle^{97,98}. En revanche, la pente s'incrémente de 2 % toutes les 2 minutes.

Un test de marche rectangulaire se caractérise par une pente et une vitesse constante tout au long de l'effort. C'est un exercice dit à charge constante. Plusieurs protocoles sont à la disposition du clinicien pour évaluer la DMM des patients claudicants. Cependant, les valeurs de vitesse et de pente les plus classiquement retrouvées dans la littérature sont comprises, respectivement, entre 2 et 4 km.h⁻¹ et de 0 à 12 %. La grande variabilité des distances parcourues sur le tapis roulant par les patients rend difficile

l'utilisation d'un protocole rectangulaire ⁹⁹. De plus, ces intensités d'exercice ne sont pas toujours bien tolérées. Aussi, des auteurs ont validé des tests de marche sur tapis roulant dont les protocoles sont rectangulaires à point de départ légèrement incrémenté pour une adaptation progressive au test sur tapis roulant ou triangulaires avec des incréments faibles et des paliers longs ^{100,101}. Le protocole de Bruce, validé chez les patients présentant une maladie cardiovasculaire (e.g., maladie coronarienne ou hypertension artérielle), débute par une vitesse lente de 2,7 km.h⁻¹ avec une pente de 10 % puis la vitesse augmente et passe successivement à 4 ; 5,5 ; 6,8 ; 8 ; 8,8 et 9,7 km.h⁻¹ toutes les 3 minutes ¹⁰⁰. En revanche, le protocole de Strandness et Bell utilise une vitesse initiale de 1 km.h⁻¹ avec une pente nulle puis il y a une incrémentation lente afin d'atteindre à 2 minute 12 % de pente et une vitesse de 3,2 km.h⁻¹ ¹⁰¹.

La méta-analyse de Nicolai *et al.* compare la fiabilité (CIC : coefficient intra-classe ; IC : intervalle de confiance à 95%) des tests rectangulaires à celle des tests triangulaires utilisés pour évaluer les distances relatives de claudication (i.e., distance pour laquelle la douleur apparaît à la marche) et la distance absolue de claudication (i.e., DMM) ⁹⁹. Ces deux types de tests sont considérés comme étant fiables. Toutefois, selon les auteurs, les protocoles triangulaires (CIC_{triangulaire} : 0,95, 95% IC : 0,94 – 0,96) semblent plus performants pour évaluer la DMM que les tests rectangulaires (CIC_{rectangulaire} : 0,91, 95% IC : 0,88 – 0,92 ; vitesse : 3,2 km.h⁻¹ et pente : 12 %). La pente utilisée dans les tests rectangulaires influence la fiabilité de l'évaluation de la DMM (e.g., pente nulle CIC : 0,75; 95% IC : 0,54 – 0,88 vs pente à 12% CIC : 0,91, 95% IC : 0,88 – 0,92). En revanche, les tests continus et incrémentaux présentent des performances équivalentes pour déterminer la distance relative de claudication (CIC_{rectangulaire} : 0,83, 95% IC : 0,80 – 0,85 ; CIC_{triangulaire} : 0,85, 95% IC : 0,82 – 0,88). Enfin, Mahé *et al.* ont montré que pour évaluer les limitations à la marche de patients artériopathes, le temps optimal d'un test rectangulaire sur tapis roulant (vitesse de 3,2 km.h⁻¹ et pente de 10 %) est compris entre 7 et 15 minutes ¹⁰².

Le tapis roulant est l'outil de référence pour évaluer la DMM des patients artériopathes claudicants. Toutefois, Degischer *et al.* ont montré que la DMM_{tapis} est protocole dépendant (Figure 6) ¹⁰³. Par conséquent, il peut y avoir une sur- ou sous-estimation de la gêne fonctionnelle du patient. Aussi, pour objectiver la présence d'une ischémie à la marche, il semble pertinent de coupler le test de marche sur tapis roulant à une mesure transcutanée de la pression en dioxygène (TcPO₂) ^{104,105}.

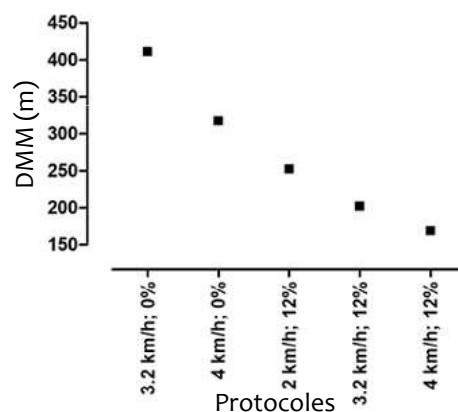


Figure 6 : DMM_{tapis} en fonction du protocole utilisé ¹⁰³

4.2.2. Mesure transcutanée de la pression en dioxygène à l'effort

La mesure transcutanée de la pression en dioxygène à l'effort (TcPO₂ d'effort) évalue l'oxygénation tissulaire de façon localisée et identifie ainsi la zone ischémique associée à la douleur et à la claudication. On distingue les ischémies distales (en regard des mollets) des ischémies proximales (en regard des régions glutéales ou lombaire). Une sonde thoracique placée au niveau de la quatrième vertèbre thoracique permet de mesurer les évolutions de pression en oxygène systémique ¹⁰⁶. Cette sonde, comparée à quatre autres sondes placées au niveau des membres inférieurs, sert de référentiel pour évaluer les ischémies proximales et localiser les zones mal perfusées en proximale et/ou distale ^{104,105}.

a) L'ischémie proximale est une cause fréquente de douleur à l'exercice chez le patient présentant un IPSC de repos normal

📄 Article publié :

Proximal ischemia is a frequent cause of exercise-induced pain in patients with a normal ankle to brachial index at rest

Gernigon, M., Marchand, J., Ouedraogo, N., Leftheriotis, G., Piquet, JM., Abraham, P.
Pain Physician. 2013; 16(1):57-64.

L'IPSC de repos est un examen de première intention dans le diagnostic de l'AOMI. Toutefois, lorsque les patients présentent des IPSC dans la limite de la normale, la gêne fonctionnelle à la marche est la plupart du temps associée à une origine neurologique (canal lombaire étroit). L'étude présentée ci-après porte sur l'intérêt de la TcPO₂ d'effort pour discriminer des patients artériopathes claudicants présentant des IPSC de repos normaux ⁷¹. Les hypothèses de cette étude sont que (a) la TcPO₂ d'effort permet d'identifier les patients artériopathes claudicants lorsque les IPSC sont dans la limite de la normale et (b) la TcPO₂ permet d'évaluer le niveau de l'ischémie à l'effort qui engendre la gêne fonctionnelle à la marche.

Matériel et Méthodes. Cette étude analyse deux groupes de patients présentant une claudication associée à des IPSC dans la limite de la normale et une TcPO₂ d'effort pathologique sur une période de 12 ans.

Étaient éligibles à l'étude tous les patients ayant des IPSC de repos compris entre 0,90 et 1,40 et présentant des symptômes stables depuis au moins trois mois ainsi qu'une DMM_{déclarée} inférieure à 1000 mètres. Les patients étaient répartis en deux groupes : le groupe A comportait les patients avec des IPSC entre 0,91 et 0,99 et le groupe B ceux avec des IPSC entre 1,00 et 1,40. Chaque patient, s'il acceptait de participer à l'étude, effectuait la batterie de tests en aveugle. Il était informé des résultats une fois toutes les étapes du protocole achevées.

Cette étude s'inscrivait dans la routine clinique de l'unité des Explorations Fonctionnelles de l'Exercice du CHU d'Angers et se déroulait selon la procédure clinique standard. Dans un premier temps, le médecin effectuait l'anamnèse en relevant l'âge, le genre, les comorbidités, l'histoire de la claudication [e.g., vasculaires, neurologiques (canal lombaire étroit, sciatique), et rhumatologiques (coxarthrose, arthropathie lombaire)], les facteurs de risque cardiovasculaires, les antécédents médicaux ou chirurgicaux ainsi que les traitements. De plus, les valeurs anthropométriques (poids et tailles) étaient mesurées.

Ensuite, le patient renseignait la version française modifiée du questionnaire de claudication de San Diego (Annexe 5) qui permet de déterminer si la douleur à l'effort était d'origine vasculaire ou non ¹⁰⁷.

Les IPSC de repos. Le patient était allongé pendant que l'opérateur mesurait manuellement les pressions systoliques de repos aux bras et aux jambes, à droite et à gauche, à l'aide d'une sonde Doppler de 4 ou 8 Hz (DWL Multi-Dop[®] B+, Sipplingen, Germany). Le calcul de l'IPSC retenait la valeur la plus basse de la cheville divisée par la pression du bras la plus haute.

L'épreuve d'effort sur tapis roulant. Après avoir présenté clairement les procédures aux patients et vérifié leur compréhension, les patients étaient installés sur un tapis roulant (EF 1800, Medical Developpement, Andrézieux- Bouthéon, France). L'épreuve d'effort débutait par une période de repos de dix minutes en position debout permettant aux électrodes de TcPO₂ (TCM-400 Radiometer, Copenhagen, Denmark) un temps de chauffage nécessaire à une stabilisation des mesures. A l'issue de ces dix minutes, la vitesse était progressivement augmentée jusqu'à 3,2 km.h⁻¹ en deux minutes et restait constante avec une pente constante de 10 %. Au cours de l'épreuve, la saturation en oxygène (Nellcor™ N-600x pulse oximeter with OxiMax™, Pleasanton, U.S.A.) au front, un électrocardiogramme 12 dérivations (Medcard, Medisoft, Sorinnes (Dinant), Belgium) ainsi que les valeurs de TcPO₂ (TCM-400 Radiometer, Copenhagen, Denmark) étaient mesurés. Il était demandé aux patients de décrire tout symptôme limitant l'exercice e.g., dyspnée, sensation de malaise ou vertige, douleur, etc. Le test se terminait quand le patient ne pouvait plus maintenir la vitesse de déplacement malgré des encouragements soutenus. Les variables analysées étaient les valeurs de DROP de TcPO₂ (Équation 1).

La TcPO₂ d'effort. D'après la méthodologie préalablement validée, les mesures de TcPO₂ utilisent cinq électrodes de Clark (TCM-400 Radiometer, Copenhagen, Denmark) qui chauffent jusqu'à 44,5 °C. La température est corrigée de façon automatique à 37 °C. Les électrodes sont placées sur les repères anatomiques suivants (Figure 7) ^{104,105} :

- Une sonde thoracique placée au niveau de la quatrième vertèbre thoracique ;
- Deux sites au niveau proximal : quart supéro-externe de la fesse ;
- Deux sites au niveau distal : 4 cm au dessus de chaque cheville.

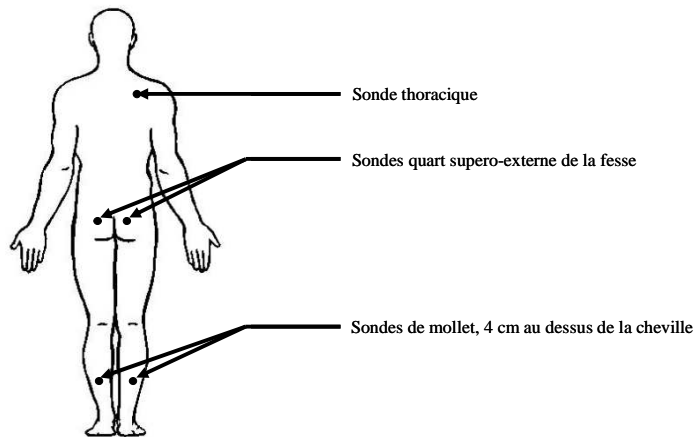


Figure 7 : Repères anatomiques des positions des sondes de TcPO₂ pour une épreuve d'effort à la marche sur tapis roulant.

La fréquence d'échantillonnage est de cinq secondes et les valeurs de DROP de pression transcutanée en dioxygène au niveau des quatre sites d'intérêts sont automatiquement calculées par un logiciel élaboré en collaboration avec l'Ecole Supérieure d'Electronique de l'Ouest d'Angers ^{104,105}. Le calcul du DROP soustrait les variations de valeur de TcPO₂ thoracique à celles des membres inférieurs. Dans le cadre de cette étude, on ne s'attachait à analyser que les valeurs de DROP minimales au cours du test de marche car une chute du DROP au cours de l'effort met en évidence une ischémie des membres inférieurs. Aussi, le calcul du DROP permet une évaluation hémodynamique indirecte ^{104,105}. L'équation utilisée pour calculer le DROP est celle validée par Abraham *et al.* ¹⁰⁴ :

Équation 1 : Equation du DROP de TcPO₂ ¹⁰⁴

$$DROP = (P(t)_{\text{membre inf}} - P(t_0)_{\text{membre inf}}) - (P(t)_{\text{thoracique}} - P(t_0)_{\text{thoracique}}) \quad (\text{eq.1})$$

L'Équation 1 définit l'évolution au cours du temps de la pression transcutanée en oxygène en valeur absolue en utilisant les paramètres suivants :

- DROP = Indice de Pression transcutanée en dioxygène à l'exercice (mmHg)
- $P(t)_{\text{membre inf}}$ = Pression transcutanée en dioxygène à un instant t pour chaque site d'intérêt (mmHg) ;
- $P(t_0)_{\text{membre inf}}$ = Pression transcutanée en dioxygène à l'instant initial t₀ pour chaque site d'intérêt (mmHg) ;
- $P(t)_{\text{thoracique}}$ = Pression transcutanée en dioxygène à instant t au niveau thoracique (mmHg) ;
- $P(t_0)_{\text{thoracique}}$ = Pression transcutanée en dioxygène à l'instant initial t₀ au niveau thoracique (mmHg).

Le seuil d'ischémie correspond à un DROP inférieur ou égal à - 15 mmHg et est considéré comme le reflet d'une ischémie locale (sensibilité 79 % et spécificité 86 %) ¹⁰⁴.

Exemple d'un examen de TcPO₂ d'effort. Le patient est un homme de 62 ans adressé pour une TcPO₂ d'effort en raison d'une claudication. Le temps de repos initial observé par le patient, après le chauffage des sondes de Clarck, est de deux minutes et le temps effectif de marche de 5,7 minutes ce qui correspond à une distance de 283 mètres. A l'issue du test de marche, le temps de récupération est de dix minutes. L'examen est arrêté en raison des douleurs habituelles à la marche. Les valeurs de DROP de TcPO₂ retrouvent une ischémie distale gauche (-18 mmHg). Donc, le patient présente une claudication d'origine artérielle pour laquelle la distance relative de claudication est de 204 mètres soit 4 minutes d'effort (Figure 8 : 1 minute avant le trait rouge vertical) et la DMM est de 283 mètres.

(mmHg)	repos	min	max	fin d'effort	DROP min	DROP fin d'effort
Thorax	73	68	88	83		
Fesse gauche	61	55	73	66	-6	-5
Jambe gauche	71	56	84	63	-18	-18
Cuisse droite	69	63	78	73	-7	-4
Fesse droite	74	66	87	79	-6	-5
Jambe droite	71	66	88	81	-3	0

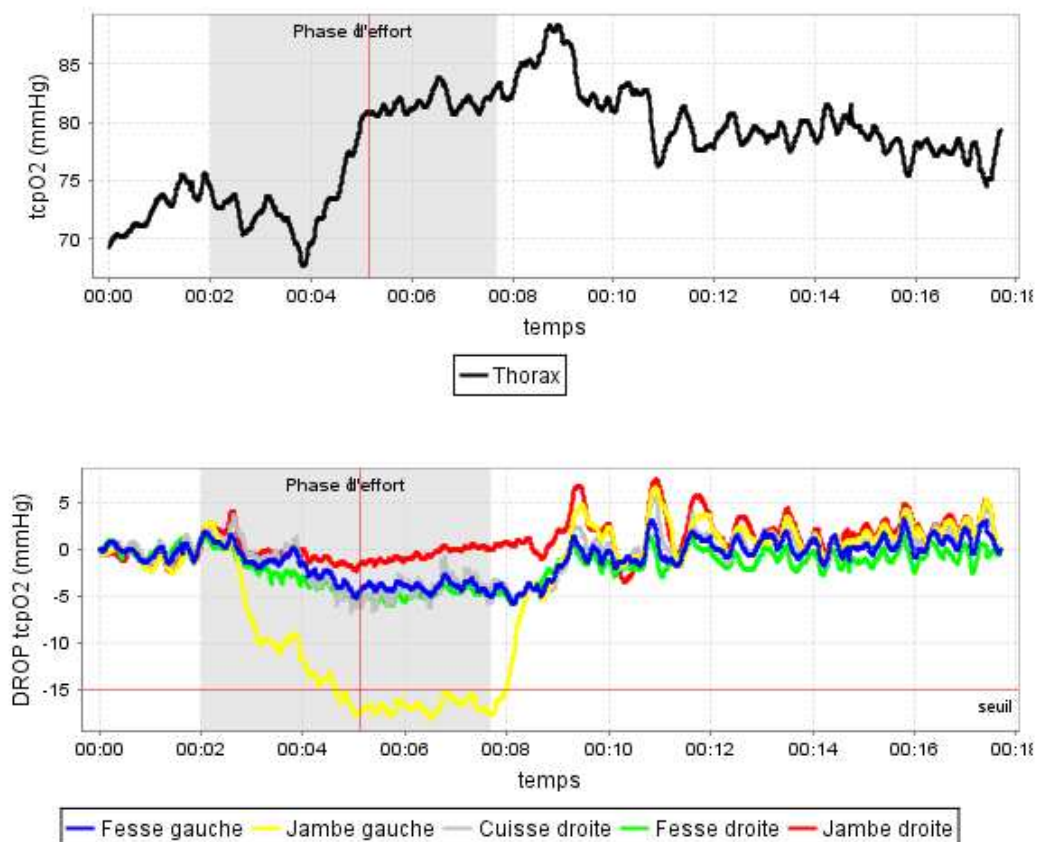


Figure 8 : Feuille d'examen type d'une épreuve d'effort à la marche avec TcPO₂.

Résultats principaux. Dans le cadre de cette étude, la plupart des 818 patients retenus ont rapporté des douleurs à des localisations multiples. Cependant, la majorité des patients déclarent être limités par leur symptômes au niveau infra-inguinal (Groupe A : $n = 143$, 65 % ; Groupe B : $n = 156$, 64,2 %). Quasiment tous les patients ont rapporté des douleurs au niveau des membres inférieurs lors de la marche sur tapis roulant ce qui est concordant avec les symptômes rapportés lors de l'anamnèse ($n = 774$ *i.e.*, 64,6 %). Seulement 12 patients (1,5 %) sont asymptomatiques lors du test de marche. Les douleurs non limitantes à la marche les plus rapportées sont la dyspnée et/ou les douleurs thoraciques. La TcPO₂ d'effort est positive (*i.e.*, DROP ≤ -15 mmHg) pour 58,2 % des patients du Groupe A et 35,4 % des patients du Groupe B ($p < 0,001$). Les tests de marches positifs mettent donc en évidence une ischémie de fesse chez 25 % des patients du groupe A et 37,2 % des patients du groupe B. De plus, 78 % des patients du groupe A et 50 % des patients du groupe B ayant des antécédents de revascularisation vasculaire (Groupe A : $n = 49$; Groupe B : $n = 34$), présentent une ischémie sur au moins un site. La TcPO₂ d'effort met en évidence la prévalence d'une ischémie à la marche plus importante chez les patients du groupe A.

Discussion et Conclusion. L'IPSC de repos est un examen de première intention dans le diagnostic de l'AOMI. En revanche, lorsque les valeurs sont dans la limite de la normale et que le patient rapporte une claudication atypique à la marche, la TcPO₂ d'effort apparaît être un outil pertinent pour discriminer l'origine de la douleur *e.g.*, vasculaire ou non. Cette méthode d'évaluation a pour intérêts majeurs d'être non invasive, fiable dans la détection des ischémies proximales des membres inférieurs et de permettre d'orienter le patient vers une prise en charge vasculaire ou autre (*e.g.*, neurologique ou rhumatologique).

Retrospective Cohort Study

Proximal Ischemia is a Frequent Cause of Exercise-Induced Pain in Patients with a Normal Ankle to Brachial Index at Rest

Marie Gernigon, BSc¹, Johann Marchand, MD¹, Nafi Ouedraogo, MD¹,
Georges Leftheriotis, MD, PhD^{1,2}, Jean M. Picquet, MD, PhD³,
and Pierre Abraham MD, PhD^{1,2}

From: ¹Université Angers, CHU Angers, Laboratory for Vascular Investigations, Angers Cedex 09, F-49933 France; ²LUNAM Université, CNRS, UMR6214, Angers, F-49045 France; INSERM, U1083, Angers, F-49045 France; ³Université Angers, CHU Angers Department of Vascular and Thoracic Surgery, Angers Cedex 09, F-49933 France.

Address Correspondence:
Dr. Pierre P. Abraham
Explorations Fonctionnelles
Vasculaires
CHU, 49933 Angers Cedex 9
France
E-mail: piabraham@chu-angers.fr

Disclaimer: There was no external funding in the preparation of this manuscript.
Conflict of interest: None.

Manuscript received: 01-30-2012
Revised manuscript received: 08-13-2012
Accepted for publication: 09-11-2012

Free full manuscript:
www.painphysicianjournal.com

Background: Excluding a vascular origin of exercise-related pain is often difficult in clinical practice. Recent papers have underlined the frequent association of concurrent lumbar spine degenerative disease and peripheral arterial disease. Furthermore, even when suspected, isolated exercise-induced proximal ischemia is difficult to diagnose. Measurement of transcutaneous oxygen pressure (tcpO₂) is an interesting and accurate method to differentiate proximal (buttock) from distal (calf) regional blood flow impairment (RBFi) during exercise.

Objectives: We searched for isolated proximal-without-distal RBFi as a possible cause of claudication, in patients with borderline (ABI-b: 0.91 - 0.99) or normal (ABI-n: 1.00 to 1.40) ankle to brachial index at rest.

Study design: Retrospective cohort design study. We analyzed patients referred to our laboratory with symptom limiting claudication and an ankle brachial index within normal limits.

Settings: University-based exercise-investigation center.

Methods: Over a 12-year period, we identified 463 patients referred to our laboratory that had their lowest resting ABI between 0.90 and 1.40. The tcpO₂ on chest, buttocks, and calves were recorded during treadmill walking tests (3.2 km/h, 10% slope) in 220 ABI-b and 243 ABI-n unique consecutive patients complaining of limiting claudication (each patient's ABI was the lowest of the 2 legs). Limiting claudication was defined as the reported inability to walk 1 kilometer without stopping. A DROP index (limb tcpO₂-changes minus chest tcpO₂-changes from rest) below -15 mmHg was used to indicate a positive result (i.e. exercise-induced RBFi).

Results: Treadmill exercise showed evidence for proximal or distal RBFi, of at least one side, in 128 out of 220 patients (58.2%) and in 86 out of 243 (35.4%) patients with ABI-b and ABI-n, respectively. Isolated proximal-without-distal RBFi was found in 32 out of the 128 (25.0 %) positive tests in ABI-b and 32 out of the 86 (37.2%) positive tests in ABI-n patients.

Limitations: Study limitations include the absence of systematic follow-up of diagnosed patients and absence of systematic search for cardio-respiratory co-morbid conditions.

Conclusion: Isolated proximal-without distal RBFi is found in approximately one out of 7 patients complaining of symptom limiting claudication with a borderline or normal resting ABI. Exercise-tcpO₂ may help to discriminate patients with arterial claudication that could benefit from invasive vascular investigations and procedures.

Key Words: Claudication, diagnosis, prevalence, peripheral arterial disease, transcutaneous oxygen pressure, pathophysiology, exercise testing, arterial pressure, vascular disease

Pain Physician 2013; 16:57-64

Claudication is a frequent cause of walking limitation in elderly patients. Lumbar spine stenosis due to disk degeneration (DD) and peripheral artery disease (PAD) can often show similar symptoms. Both can result in exercise-induced lower back, buttock, or hip pain. While the patient's history will often guide the physician toward DD or PAD as the underlying cause of walking limitation, the primary diagnosis may not always be clear, and these 2 diseases are frequently associated (1,2). The measurement of the ankle to brachial index (ABI) is an easy bedside tool to detect the presence of PAD. It has high sensitivity and specificity (3-5) in the general population, and is much more accurate than pulse palpation (6,7). An ABI is often defined abnormal at 0.90 or lower. Recently, ABI values of 0.90 to 0.99 have been defined as "borderline abnormal" (8). Values above 1.40 suggest calcified or stiff arteries and are generally considered abnormal as well. Nevertheless, there are limits to the evidence provided by an ABI between 0.91 and 1.40 as an argument against the arterial origin of pain (5,9-11). Very few studies have focused on patients with claudication and an ABI at rest within the 0.91-1.40 limits (11). In proximal arterial claudication (i.e. Leriche syndrome) symptoms are generally reported as fatigue, discomfort, or sciatica rather than cramping pain, thus mimicking symptoms of non-vascular origin (pseudoclaudication). Further, proximal (i.e. lower back, buttock, hip) arterial claudication is unlikely to have an abnormal ABI if it is due to isolated lesions of the lumbar and/or hypogastric arteries (1,2). Exercise-transcutaneous oxymetry (tcpO₂) is an interesting tool in the context of the present problem, since it can simultaneously detect proximal (buttock) and distal (calf) regional blood flow impairment (RBF_I) at both sides during exercise, thus providing an objective argument for the origin of exertional pain (12-16). We aimed to estimate the proportion of patients whose lowest ankle to brachial index at rest was borderline (ABI-b: 0.91 - 0.99) (8,17) or normal (ABI-n: 1.00 to 1.40) and whose tcpO₂ exercise test was abnormal, suggesting a vascular origin of claudication. We assumed that this proportion would be higher in patients with ABI-b than in patients with ABI-n. We hypothesised that, among these positive tests, isolated proximal without distal ischemia would be observed more frequently in patients that had prior aortic or iliac revascularisation (14,18). This latter point is of particular interest, since we assume that a normal perfusion to distal arteries may falsely lead the physician to exclude PAD as a cause of walking limitation.

RESEARCH DESIGN AND METHOD

Participants

A retrospective analysis over a 12-year period was performed among all new patients referred to our laboratory for claudication (19-21). As a routine, all referred patients had the following standard procedure.

Medical History

For each patient referred to the department, we used a questionnaire that inquired about previous vascular interventions at the aorto-iliac level as well as treatments for lumbar spine syndrome, hip and lumbar arthritis, and sciatica. Age, weight, height, gender, presence of diabetes, and current medications were noted from patient's file and completed by patient's interview when needed.

Symptoms by History

The questionnaire used was a French translation of the San Diego Claudication Questionnaire (SDCQ), adding hip pain as a possible location for claudication. The questionnaire was self-administrated by the patient at admission. Exercise-related pain was suspected to be of vascular origin if the pain:

- A. occurred during walking,
- B. did not occur when standing still or sitting,
- C. did not disappear during walking, but only during the slow-down phase or discontinuation of the exercise, and
- D. disappeared within 10 minutes after stopping.

From answers to the SDCQ, only the exercise-related symptoms by history which fulfilled these criteria were considered of vascular origin and used for the analysis.

ABI Measurement

When ABI was not available bilaterally from patient's file at referral, as a laboratory routine, it was measured *de-novo* after 10 minutes of rest and calculated on each side as the ratio of the lowest ankle systolic pressure to the highest brachial systolic pressure.

Treadmill Exercise Test

The treadmill tests were performed as previously described (12). The treadmill speed was progressively increased within 4 minutes up to 3.2 km/h and then maintained at this speed for a maximum of 16 minutes (~1000 m) at a 10% slope. All patients were blinded

to the distance and time walked. Maximal walking distance on the treadmill was noted at the end of each test. The patients that completed the 20-minute treadmill test were considered unlimited while walking on a treadmill.

Transcutaneous Oxygen Pressure Measurements

Measurements were performed as previously reported (12,13). We used a tcpO₂ device (TCM-400 Radiometer, Copenhagen, Denmark) with 5 probes heated to 44.5°C, recorded values being automatically temperature-corrected to 37°C. Probes were positioned on the chest, on each buttock (upper external quarter), and approximately 4 cm above each ankle. The data were transferred every 5 seconds to a custom-made computer program that automatically calculated the decrease from rest of oxygen pressure (DROP) at each limb site. The DROP index was calculated as previously described (12) by subtracting chest-tcpO₂ changes to tcpO₂-changes at the limb levels. For the analysis, the lowest negative value of the DROP index (DROP_m) during or in the 10 minutes post-exercise was used. DROP_m remains normal in case of systemic exercise-induced hypoxemia and is thus expected to reflect local cutaneous hypoxemia resulting from underlying RBFi. Last, according to our previous observation, at both the proximal and distal level a DROP_m value below negative 15 mmHg was defined as abnormal, indicating a regional blood flow impairment (RBFi) during exercise. This value has been shown to provide highly accurate results as compared to arteriography at both the proximal and distal level (12,13). Lastly, the lowest of the 4 DROP_m values was used as an index of severity of RBFi during exercise.

Symptoms on Treadmill

The questionnaire used was the same as the one used at admission. During the test, participants were encouraged to signal any trouble that interfered with their ability to perform the test, such as dyspnea, dizziness, or pain of any kind. As before the treadmill test, only the exercise-related symptoms during the treadmill test which fulfilled pre-defined vascular-type criteria were used for the analysis.

Inclusion Criteria

Over the studied period we selected all consecutive patients that had:

1. lowest resting ABI between 0.90 and 1.40;

2. stable symptoms in the last 3 months before their visit; and
3. limiting claudication, as defined as the self-reported inability to walk 1000 m without stopping.

Analysis of Data

Statistical evaluation was performed using SPSS V 12.0F software (Cary, NC). Values were expressed as the means \pm SD. We considered *P* values <0.05 to be statistically significant. NS is a non-significant statistical difference. Proportions are calculated with 95% confidence intervals. Comparisons between ABI-b and ABI-n participants were performed using the unpaired Student's *t* tests for numerical variables and Chi² test for binary variables. Concordance between symptoms by history and on the treadmill was studied with the Kappa coefficient. Last, proximal claudication is frequent in patients that have undergone revascularization procedures at the proximal (aorto-iliac or aorto-femoral) level bypassing the hypogastric vascular bed (14). Thus we studied the relative risk of having an isolated proximal RBFi in patients that have had a revascularisation at the aortic or iliac level as compared to nonoperated patients in the ABI-b and ABI-n groups.

RESULTS

Within the study period, 3,120 exercise-tcpO₂ tests were performed among 2,209 different consecutive patients. Among these 2,209 patients, 818 had stable symptoms for at least 3 months and an ABI between 0.90 and 1.40. More than half of these latter patients (*n* = 463) reported walking limitation, thus fulfilling inclusion criteria.

Participants

Among the patients studied, 278 (60.0%) were referred by vascular physicians, 62 (13.4%) by rheumatologists of orthopedic surgeons, 4 (0.8%) by neurologists, the other 119 (25.7%) by their general physician.

Among the 463 studied patients, 80 (17.2%) had a history of surgery or angioplasty at the aorto-iliac level, 24 (5.2%) had a history of hip or lumbar spine surgery for spinal stenosis, 139 (30.0%) had been treated medically for disk degeneration or hip arthritis, and 26 (5.6%) were primarily diagnosed with lower limb neuropathy either due to diabetes or chronic alcohol abuse. Characteristics of included patients are reported in Table 1.

As shown, patients were dominantly males and most were treated for the primary or secondary prevention of cardiovascular disease.

Tests Results

Symptoms by History

Although patients often complained of multiple localization of pain, the major limiting symptoms were infra-inguinal in ABI-b (n=143; 65.0%) and ABI-n (n = 156; 64.2%) patients. Pain was reported in the lower back in 18 ABI-b and 33 ABI-n patients, in the buttock(s) in 32 ABI-b and 31 ABI-n patients, and in the hip(s) in 27 ABI-b and 23 ABI-n patients.

Symptoms on Treadmill

All but 44 patients reported lower limb symptoms on the treadmill that were generally consistent with the symptoms that they reported by history as shown in Table 2: Kappa was 0.475 in ABI-b ($P < 0.001$) and was 0.653 in ABI-n ($P < 0.001$). Twelve patients remained asymptomatic on the treadmill. The most frequent non-limb symptoms limiting exercise were dyspnea and/or chest pain.

Table 1. Characteristics of the patients in each group

	Borderline ABI	Normal ABI	P value
N	220	243	
Age (yrs)	62.3±11.3	64.0±12.6	0.12
Stature (cm)	168±9	168±10	0.70
Weight (kg)	79±17	80.0±16	0.69
Walking speed over 10 m (km/h)	3.8±0.6	3.7±0.7	0.20
Lowest ankle to brachial index	0.94±0.03	1.08±0.08	<0.0001
Lowest of the 4 DROP values (mmHg)	-22.4±15.0	-15.1±11.2	<0.0001
Heart rate (beats/min)	80±16	79±17	0.33
Male	182	193	0.36
Systolic blood pressure (mmHg)	142±2	140±20	0.26
Duration of the treadmill test (sec)	340±295	358±306	0.54
History of aortic or iliac surgery or angioplasty	46	37	0.11
History of lumbar spine or hip surge	11	13	0.17
Previous treatment for Rheumatic	63	76	0.53
Lower limb neuropathy	8	18	0.06
Anticoagulant or Antiplatelet drugs	160 (73%)	160 (66%)	0.11
Beta blockers	53 (24%)	67 (28%)	0.39
Anti-diabetic	43 (20%)	52 (21%)	0.62
Cholesterol lowering drugs	116 (53%)	116 (48%)	0.28
Anti hypertensive	120 (55%)	141 (58%)	0.45
Anti-inflammatory or analgesic drugs	47 (21%)	55 (23%)	0.74

ABI: ankle to brachial index"

Table 2. Reproduction of symptoms on treadmill in patients with a borderline or normal ankle to brachial index (ABI).

		Symptoms by history			
		Borderline ABI		Normal ABI	
		Proximal	Distal	Proximal	Distal
Symptoms on treadmill	Proximal	44	14	65	5
	Distal	27	122	8	134
	Non limb symptoms or no symptoms	6	7	14	17

TcpO2 Results

Exercise-tcpO2 was positive (DROP_m below negative 15 mmHg) suggesting exercise-induced RBFi at least on one of the 4 sites in 128 of the 220 patients with ABI-b (58.2%) and 86 of the 243 patients with ABI-n (35.4%); *P* < 0.001. Results are shown in Table 3. It is of interest to note that isolated proximal (buttock) RBFi was found in 32 of 128 (25%) of the positive tests in ABI-b patients and in over one-third (32 of 86; 37.2%) of the positive tests in ABI-n patients, between group $\chi^2 = 3.7$, *P* = 0.06.

History of Aortic or Iliac Revascularisation

Ischemia at one or more sites was found in 38 of the 49 patients (78%) with ABI-b, and in 17 of the 34 patients (50%) with ABI-n that had a prior history of aortic or iliac revascularization. Among these, the presence of isolated proximal RBFi without distal RBFi was observed as a possible cause of claudication in 17 (34.6%) of the patients with ABI-b and 10 (29.4%) of the patients with ABI-n that had prior bypass or stent at the aortic or iliac level. Thereby, the relative risk of the presence of isolated proximal RBFi in the presence vs. absence of prior aortic or iliac revascularisation was 3.96 (2.13-7.81) *P* < 0.0001 in patients with ABI-b and 2.79 (1.45-5.47), *P* < 0.01 in patients with ABI-n.

DISCUSSION

Key Results

Major results can be summarized as follows:

- Overall, 46.2 % of all tests were found consistent with a significant abnormal tcpO2 response (RBFi) during exercise consistent with a vascular origin of claudication despite an ABI within the 0.91-1.40 range.
- The percentage of RBFi was higher in the ABI-b than in the ABI-n group.
- Claudication with proximal, without distal, RBFi was observed in approximately one out of seven of

the patients included in this study.

- A history of aortic or iliac revascularisation increases the likelihood of positive isolated proximal without distal RBFi.

This is one of the largest ever-reported series (n=64) of isolated proximal without distal RBFi in patients with symptom-limited claudication with a normal or borderline ABI at rest.

Interpretation

Overall Prevalence of Positive Tests and Isolated Proximal RBFi

Approximately half (46.2%) of the patients included in the study had a RBFi with exercise, confirming a vascular participation to their walking impairment. This is much higher than the proportion of positive post-exercise ABI (31%) observed by Stein et al (11). The difference is very likely in that we detected proximal ischemia by use of the exercise tcpO2 protocol. Indeed, the prevalence of distal RBFi (with or without associated proximal RBFi) in the present population was 32.4%. This result is very close to the result previously observed with post-exercise ABI, and supports the use of tcpO2 in the present study. Claudication resulting from isolated proximal-without-distal RBFi is rarely reported in the general population, found as only isolated observations or very small series (22,23). Previous reports have demonstrated that isolated proximal ischemia can mimic symptoms of neurological or musculoskeletal origin (22,24) and may result in isolated distal symptoms in approximately 15% of the cases (25). In practice, proving the vascular origin of claudication in proximal-without-distal ischemia is not easy. Frequently in obese patients, optimal complete ultrasound investigation of the arterial tree is often not obtained at the hypogastric level. Further, our local experience is that in most patients, even in the presence of proximal claudication, the patency and presence/absence of stenosis of the hy-

Table 3. Localization of regional blood flow impairment (RBFi) during exercise-tcpo2 in patients with a borderline or normal ankle to brachial index (ABI).

	Borderline ABI (N=220)	%	Normal ABI (N=243)	%	P Value
No RBFi	92	41.8	157	64.6	<0.0001
Distal RBFi only	35	15.9	26	10.7	NS
Proximal+ distal RBFi	61	27.7	28	11.5	<0.0001
Proximal RBFi only	32*	14.5	32	13.2	NS

pogastric arteries is not reported in the ultrasound file (26). Various diagnostic tools have been proposed to assess proximal ischemia such as penile pressure (27), near infra-red spectroscopy (28), or thallium scintigraphy (29). To date, we think that tcpO₂ is the most accurate and validated technique (12).

Prevalence of Abnormal Exercise-TCPO₂ in ABI-b vs. ABI-n Patients

Not surprisingly, the prevalence of positive exercise tcpO₂ results was higher in ABI-b than in ABI-n. For patients with ABI lower than 1.00, the mortality rate increases almost linearly with the decrease in ABI (30). Consistently, estimation of sub-clinical atherosclerosis by carotid artery intima-media thickness shows a progressive increase from normal ABI (1.10-1.29), low-normal ABI (1.00-1.09), borderline ABI (0.90-0.99) to ABI <0.90 (17). With these data in mind, it is expected that isolated proximal lesions should be more prevalent and more severe (as reflected in the lowest DROPm) in ABI-b than ABI-n patients.

Patients with a History of Aortic and Iliac Procedures

Overall more than half of patients with a history of aortic or iliac bypass had a positive tcpO₂ result consistent with a vascular origin of claudication. The proportion exceeded 75% in those with ABI-b. In these previously revascularized patients, one could suggest that it is expected that arterial claudication should be frequent, rapidly suspected, and easily proved. We think that it is not the case. The proportion of isolated proximal RFBF in this population was particularly high as compared to the rest of the population, approximately one-third. Our experience is that peripheral examination and investigations are often normal as a result of an apparently perfectly patent procedure, leading to the exclusion of an arterial origin of the walking impairment and resulting in prolonged diagnostic erring. Indeed, we have previously shown that proximal claudication is a frequent finding and frequently misdiagnosed in patients with aorto-bi-femoral bypasses (14,18).

Limitations

Systemic hypoxemia can be an exacerbating cause of muscle oxygen deficit during exercise (31-33) but was not specifically studied in the present study. Frequently in vascular patients, cardiac limitation can occur as a limiting co-morbid condition. The low proportion (< 7%) of patients reporting limitation related to non-lower limb

symptoms was expected from the selection criteria of the study but does not exclude that walking capacity was worsened by non-arterial factors. Arterial stiffness was likely an explanation of normal resting ankle pressure measurements (9,10) in some patients of the present study. This is one of the reasons why exercise-tcpO₂ and not post-exercise ABI is performed as a primary routine in our laboratory, in patients with claudication. Arterial stiffness occurs frequently in diabetic patients. Interestingly the proportion of patients treated for diabetes was not different between the ABI-b and ABI-n groups of this study. Last, the retrospective characteristic of the study may be suggested as a limitation.

Generalizability

In patients with claudication, a vascular origin of walking impairment should not be excluded on the basis of a normal or borderline ABI. A vascular origin with abnormal exercise-tcpO₂ was found in half of such patients. Approximately one-third of these positive results related to isolated proximal arterial regional blood flow. This last observation is the most likely explanation for the high prevalence of positive tests compared to previous reports. Indeed proximal-without-distal RBF is likely difficult to detect even with post-exercise ABI.

Areas for Future Research

The most common cause of PAD is atherosclerosis obliterans. ABI measurements are largely used for the diagnosis of PAD but can remain normal in patients with claudication. Exercise-tcpO₂ is a complex and time-consuming technique as compared to post-exercise ABI, and is not done routinely in most vascular clinics. Nevertheless, exercise-tcpO₂ is efficient and accurate for the non-invasive detection of proximal ischemia. As such, this technique may help to discriminate patients with arterial claudication that may benefit from invasive arterial investigations and procedures. A cost-effectiveness study of this technique as an additional clinical tool in patients with ABI-b or ABI-n values is required.

Further, lumbar spine stenosis (LSS) is frequent in the elderly. Some clinical characteristics might distinguish vascular from neurogenic claudication (Table 4), but the management of chronic exercise-induced pain often remains challenging (34). Specifically, on the one hand, the normal limit to be used to assess the presence of LSS is still a subject of debate among osteo-articular specialists, while on the other hand, proving the vas-

Buttock Ischemia in Unexplained Claudication

Table 4. Typical clinical characteristics suggesting vascular and neurogenic claudication

	Vascular	Neurologic
History of aorto-iliac revascularisation	Yes	No
Acute onset of first event	No	Yes
Relief of pain after walking	< 10 min	> 10min
Relief of resting pain while standing still	Yes	No
Abnormal Romberg test	No	Yes
Dysesthesia, paresthesia, Intermittent priapism	No	Yes
Absent pulse, Abnormal Ankle pressure or arterial bruit	Yes	No
Pain at spinal mobilisation	No	Yes
Unexplained urinary disturbance	No	Yes
Wide-based gait	No	Yes

cular origin of walking-induced buttock claudication remains a difficult issue with routine non-invasive tools for the vascular physicians. LSS may induce exercise limitation and claudication. More than 30 000 interventions for LSS are performed each year in USA, for a total cost over \$10 billion (35). Of interest is the fact that the treatment of lumbar spine syndrome by surgery is acknowledged to provide only modest long term improvement of symptoms (36,37). Whether a significant part of these nonsatisfactory functional results could be due to undiagnosed proximal isolated RBF is a fascinating issue for future research.

CONCLUSION

Isolated proximal-without distal RBF is found in approximately one out of 7 patients complaining of symptom limiting claudication with a borderline or normal resting ABI. Exercise-tcpO₂ may help to discriminate patients with arterial claudication that

could benefit from invasive vascular investigations and procedures.

Funding

PA receives an Interface grant from the INSERM, NO receives a grant from the ministry of Health of Burkina Faso, JM receives a grant from the University Hospital in Angers. We certify that no party having a direct interest in the results of the research supporting this article has or will confer a benefit on us or on any organization with which we are associated and, we certify that all financial and material support for this research and work are clearly identified.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors are indebted to Mrs. I Laporte for technical help, to Dr. P. W. Wennberg (Mayo Clinic, USA) for his help reviewing the grammar and style of the manuscript and Dr. B. Vielle for his statistical advice.

REFERENCES

- Kaupilla LI, Mikkonen R, Mankinen P, Pelto-Vasenius K, Maenpaa I. MR aortography and serum cholesterol levels in patients with long-term nonspecific lower back pain. *Spine (Phila Pa 1976)* 2004; 29:2147-2152.
- Kaupilla LI: Atherosclerosis and disc degeneration/low-back pain -- a systematic review. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2009; 37:661-670.
- Leng GC, Fowkes FG, Lee AJ, Dunbar J, Housley E, Ruckley CV. Use of ankle brachial pressure index to predict cardiovascular events and death: a cohort study. *BMJ* 1996; 313:1440-1444.
- Dolan NC, Liu K, Criqui MH, Greenland P, Guralnik JM, Chan C, Schneider JR, Mandapat AL, Martin G, McDermott MM. Peripheral artery disease, diabetes, and reduced lower extremity functioning. *Diabetes Care* 2002; 25:113-120.
- Wang JC, Criqui MH, Denenberg JO, McDermott MM, Golomb BA, Fronck A. Exertional leg pain in patients with and without peripheral arterial disease. *Circulation* 2005; 112:3501-3508.
- Kazmers A, Koski ME, Groehn H, Oust G, Meeker C, Bickford-Laub T, Abson K, Bass N. Assessment of noninvasive lower extremity arterial testing versus pulse exam. *Am Surg* 1996; 62:315-319.
- Magee TR, Stanley PR, al Mufti R, Simpson L, Campbell WB. Should we palpate foot pulses? *Ann R Coll Surg Engl* 1992; 74:166-168.
- Rooke TW, Hirsch AT, Misra S, Sidawy AN, Beckman JA, Findeiss LK, Golzarian J, Gornik HL, Halperin JL, Jaff MR, Moneta GL, Olin JW, Stanley JC, White CJ, White JV, Zierler RE. 2011 ACCF/AHA Focused Update of the Guideline for the Management of patients with peripheral artery disease (Updating the 2005 Guideline): S report of the American College of Cardiology Foundation/

- American Heart Association Task Force on practice guidelines. *Circulation* 2011; 124:2020-2045.
9. Williams DT, Harding KG, Price P. An evaluation of the efficacy of methods used in screening for lower-limb arterial disease in diabetes. *Diabetes Care* 2005; 28:2206-2210.
 10. Emanuele MA, Buchanan BJ, Abaira C. Elevated leg systolic pressures and arterial calcification in diabetic occlusive vascular disease. *Diabetes Care* 1981; 4:289-292.
 11. Stein R, Hriljac I, Halperin JL, Gustavson SM, Teodorescu V, Olin JW. Limitation of the resting ankle-brachial index in symptomatic patients with peripheral arterial disease. *Vasc Med* 2006; 11:29-33.
 12. Abraham P, Picquet J, Vielle B, Sigaud-Roussel D, Paisant-Thouveny F, Enon B, Saumet JL. Transcutaneous oxygen pressure measurements on the buttocks during exercise to detect proximal arterial ischemia: Comparison with arteriography. *Circulation* 2003; 107:1896-1900.
 13. Abraham P, Picquet J, Bouye P, L'Hoste P, Enon B, Vielle B, Saumet JL. Transcutaneous oxygen pressure measurements (tcpO₂) at ankle during exercise in arterial claudication. *Int Angiol* 2005; 24:80-88.
 14. Jaquinandi V, Picquet J, Bouye P, Saumet JL, Leftheriotis G, Abraham P. High prevalence of proximal claudication among patients with patent aortobifemoral bypasses. *J Vasc Surg* 2007; 45:312-318.
 15. Picquet J, Jaquinandi V, Saumet JL, Leftheriotis G, Enon B, Abraham P. Systematic diagnostic approach to proximal-without-distal claudication in a vascular population. *Eur J Intern Med* 2005; 16:575-579.
 16. Bouye P, Picquet J, Jaquinandi V, Enon B, Leftheriotis G, Saumet JL, Abraham P. Reproducibility of proximal and distal transcutaneous oxygen pressure measurements during exercise in stage 2 arterial claudication. *Int Angiol* 2004; 23:114-121.
 17. McDermott MM, Liu K, Criqui MH, Ruth K, Goff D, Saad MF, Wu C, Homma S, Sharrett AR. Ankle-brachial index and subclinical cardiac and carotid disease: The multi-ethnic study of atherosclerosis. *Am J Epidemiol* 2005; 162(1): 33-41.
 18. Jaquinandi V, Picquet J, Saumet JL, Benharash P, Leftheriotis G, Abraham P. Functional assessment at the buttock level of the effect of aortobifemoral bypass surgery. *Ann Surg* 2008; 247(5): 869-876.
 19. McDermott MM, Greenland P, Ferrucci L, Criqui MH, Liu K, Sharma L, Chan C, Celic L, Priyanath A, Guralnik JM. Lower extremity performance is associated with daily life physical activity in individuals with and without peripheral arterial disease. *J Am Geriatr Soc* 2002; 50:247-255.
 20. Criqui MH, Denenberg JO, Bird CE, Fronck A, Klauber MR, Langer RD. The correlation between symptoms and non-invasive test results in patients referred for peripheral arterial disease testing. *Vasc Med* 1996; 1:65-71.
 21. McDermott MM, Greenland P, Liu K, Guralnik JM, Celic L, Criqui MH, Chan C, Martin GJ, Schneider J, Pearce WH, Taylor LM, Clark E. The ankle brachial index is associated with leg function and physical activity: The Walking and Leg Circulation Study. *Ann Intern Med* 2002; 136:873-883.
 22. Murphy MA, Denton MJ, Scott DF. Neurogenic claudication secondary to vascular disease. *Aust N Z J Surg* 1992; 62(2): 154-157.
 23. Lakdawala RH, Rahmat R, Tan L, Wong HK. Aortic flap valve presenting as neurogenic claudication: a case report. *Spine* 2004; 29(4): E79-81.
 24. Gray JC. Diagnosis of intermittent vascular claudication in a patient with a diagnosis of sciatica. *Phys Ther* 1999; 79:582-590.
 25. Jaquinandi V, Bouye P, Picquet J, Leftheriotis G, Saumet JL, Abraham P. Pain description in patients with isolated proximal (without distal) exercise-related lower limb arterial ischemia. *Vasc Med* 2004; 9:261-265.
 26. Ouedraogo N, Barbeau C, Legrand M, Marchand J, Leftheriotis G, Abraham P. "Routine" arterial echo-doppler is not sufficient to exclude an arterial origin of exercise-induced proximal lower limb pain. *Int J Cardiology* 2012; 17 November 2012 online only.
 27. Virag R, Bouilly P, Daniel C. [Significance of the penile pressure index and value of the papaverine mini-test (8 mg)]. *J Mal Vasc* 1987; 12:40-45.
 28. Bouye P, Jaquinandi V, Picquet J, Thouveny F, Liagre J, Leftheriotis G, Saumet JL, Abraham P. Near-infrared spectroscopy and transcutaneous oxygen pressure during exercise to detect arterial ischemia at the buttock level: Comparison with arteriography. *J Vasc Surg* 2005; 41:994-999.
 29. Cosson E, Paycha F, Tellier P, Sachs RN, Ramadan A, Paries J, Attali JR, Valensi P. Lower-limb vascularization in diabetic patients. Assessment by thallium-201 scanning coupled with exercise myocardial scintigraphy. *Diabetes Care* 2001; 24:870-874.
 30. Resnick HE, Lindsay RS, McDermott MM, Devereux RB, Jones KL, Fabsitz RR, Howard BV. Relationship of high and low ankle brachial index to all-cause and cardiovascular disease mortality: The Strong Heart Study. *Circulation* 2004; 109:733-739.
 31. Killian KJ, Leblanc P, Martin DH, Summers E, Jones NL, Campbell EJ. Exercise capacity and ventilatory, circulatory, and symptom limitation in patients with chronic airflow limitation. *Am Rev Respir Dis* 1992; 146:935-940.
 32. Gosker HR, Wouters EF, van der Vusse GJ, Schols AM. Skeletal muscle dysfunction in chronic obstructive pulmonary disease and chronic heart failure: underlying mechanisms and therapy perspectives. *Am J Clin Nutr* 2000; 71:1033-1047.
 33. Palange P, Wagner PD. "The skeletal muscle in chronic respiratory diseases," summary of the ERS research seminar in Rome, Italy, February 11-12 1999. *Eur Respir J* 2000; 15:807-815.
 34. Suri P, Rainville J, Kalichman L, Katz JN. Does this older adult with lower extremity pain have the clinical syndrome of lumbar spinal stenosis? *Jama* 2010; 304(23): 2628-2636.
 35. Deyo RA, Mirza SK, Martin BI, Kreuter W, Goodman DC, Jarvik JG. Trends, major medical complications, and charges associated with surgery for lumbar spinal stenosis in older adults. *JAMA* 2010; 303:1259-1265.
 36. Atlas SJ, Keller RB, Wu YA, Deyo RA, Singer DE. Long-term outcomes of surgical and nonsurgical management of lumbar spinal stenosis: 8 to 10 year results from the Maine lumbar spine study. *Spine (Phila Pa 1976)* 2005; 30:936-943.
 37. Amundsen T, Weber H, Nordal HJ, Magnaes B, Abdelnoor M, Lilleas F. Lumbar spinal stenosis: conservative or surgical management? A prospective 10-year study. *Spine (Phila Pa 1976)* 2000; 25:1424-1435; discussion 1435-1426.

4.3. Evaluations objectives de terrain des limitations fonctionnelles à la marche

La littérature rapporte une grande hétérogénéité dans l'évaluation sur tapis roulant des habiletés à la marche et des DMM des patients claudicants notamment parce que ces tests sur tapis ne reflètent pas la marche de la vie quotidienne des patients^{83,99,108,109}. De plus, il est important de noter que 20 à 46% des patients claudicants ne sont pas en mesure de marcher sur tapis roulant¹¹⁰⁻¹¹². Aussi, des tests utilisant le patron de marche spontané sont des outils pertinents pour tendre à se rapprocher de la claudication rapportée par les patients dans leur vie quotidienne.

4.3.1. Test de marche de 6 minutes

Lorsqu'il n'y a pas de tapis roulant à disposition ou que le patient n'est pas en mesure de marcher sur le tapis roulant, il est recommandé d'effectuer le test de marche de 6 minutes (TDM6)². Le TDM6 est considéré comme étant un test fiable permettant une mesure objective de la performance fonctionnelle de patients présentant des limitations à la marche pour cause de claudication intermittente^{113,114}. Le TDM6 validé chez l'artériopathe claudicant suit la même procédure validée chez les patients en insuffisance cardiaque chronique et porteurs d'une BPCO (Broncho Pneumopathie Chronique Obstructive)^{115,116}. D'après les recommandations internationales, le TDM6 est un test simple et fiable à mettre en place^{116,117} qui nécessite très peu de matériel (un couloir d'au moins 15 m, un chronomètre, un mètre ruban, deux plots). Le coefficient de corrélation entre le TDM6 et le tapis roulant est de 0,525 ($p < 0,01$). Il est recommandé de le réaliser en intérieur sur un parcours plat pouvant aller de 15 à 50 m, sur une surface rectiligne (aller-retour) ou ovale. Afin de prévenir les biais liés à la réalisation du test, il est impératif de réaliser l'ensemble des tests d'un même patient sur un seul type de parcours.

Le TDM6 permet d'évaluer un nombre de pas ou une distance cumulée sur 6 minutes. Le calcul du nombre de pas (coefficient de variation, CV : 11,7%) est peu utilisé contrairement à la distance cumulée (CV : 10,4%)¹¹⁸. Donc en général, l'interprétation du test compare une distance théorique calculée à la distance réalisée. Deux équations font référence dans la littérature pour estimer la distance maximale théorique lors du TDM6. L'équation de Trooster *et al.*, a été validée dans une population européenne alors que celle de Enright *et al.*, dans une population américaine^{119,120}. Il est observé une sous évaluation de la distance maximale théorique lors du TDM6 lorsque l'équation prédictive de Enright *et al.*, est appliquée dans une population européenne¹¹⁹.

Équation 2: Equation prédictive de la distance au TDM6 pour la population européenne ¹¹⁹

$$\Delta d = 218 + (5,14 \times \text{taille}) - (5,32 \times \text{âge}) - (1,80 \times \text{poids}) + (51,31 \times \text{genre}) \quad (\text{eq.2})$$

(Codage en fonction du genre : 0 femme ; 1 homme)

Équation 3 : Equation prédictive de la distance au TDM6 pour les hommes américains ¹¹⁹

$$\Delta d_{\text{homme}} = (7,57 \times \text{taille}) - (5,02 \times \text{âge}) - (1,76 \times \text{poids}) - 309 \quad (\text{eq.3})$$

Équation 4 : Equation prédictive de la distance au TDM6 pour les femmes américaines ¹¹⁹

$$\Delta d_{\text{femme}} = (2,11 \times \text{taille}) - (2,29 \times \text{âge}) - (5,78 \times \text{poids}) - 667 \quad (\text{eq.4})$$

Les équations (Équation 2, Équation 3 et Équation 4) présentées ci-dessus permettent de calculer la distance maximale théorique lors du TDM6 en utilisant les paramètres suivants :

- Δd = Distance maximale théorique lors du TDM6 (m) ;
- Taille (cm) ;
- Âge (années);
- Poids (kg)

Un TDM6 dont la distance parcourue est inférieure à 82 % de la distance théorique est considérée comme anormal. En plus d'objectiver les limitations à la marche de patients artériopathes, ce test peut être utilisé pour évaluer l'amélioration clinique en pré et post traitement ¹²¹. Toutefois, en plus d'être expérimentateur dépendant, l'inconvénient majeur de ce test est le fait qu'il soit temps limité et engendre donc la mise en place de stratégies de marche par les patients qui ne sont pas le reflet de vie quotidienne ¹²².

4.3.2. Test de marche de 4 mètres

Tout comme le TDM6, le test de 4 mètres est considéré comme fiable pour objectiver la performance fonctionnelle des patients présentant des limitations à la marche pour cause de claudication intermittente ^{113,114}. Tout comme son nom l'indique, ce test évalue la vitesse sur une distance de 4 mètres à vitesse spontanée puis à la vitesse la plus rapide possible. Chacune des vitesses est répétée deux fois et la plus grande vitesse réalisée de chacune des évaluations est conservée. La fiabilité du test, en test-retest, est bonne à vitesse spontanée (CIC : 0,83 ; $p < 0,001$) ainsi qu'à vitesse rapide (CIC : 0,88 ; $p < 0,001$) ¹²³. L'intérêt majeur du test de 4 mètres est qu'il peut se réaliser en cabinet ou à domicile ¹²⁴.

4.3.3. Test navette

Ce test de terrain initialement validé chez des participants âgées de 6 à 17 ans ¹²⁵ (piste d'athlétisme en tartan, distance plots : 20 mètres, vitesse initiale : 8 km.h⁻¹, incrémentation : + 0,5 km.h⁻¹ toutes les minutes) a été adapté et validé chez le patient artériopathe. Il existe deux protocoles adaptés du test de navette aux patients artériopathes ¹²⁶. Le premier se déroule à une vitesse constante de 4 km.h⁻¹ (test

navette – constant) avec une distance entre les plots de 10 m. Le second test (intervalle entre les plots de 10 m) débute par une vitesse initiale de 3 km.h⁻¹ qui s'incrémente de 0.5 km.h⁻¹ toutes les minutes. Pour les deux tests, la vitesse de déplacement est imposée par des signaux sonores délivrés au moment où le patient doit passer devant une ligne pouvant être matérialisée par des plots. La consigne est que le patient doit se trouver au niveau d'une des lignes à chaque repère sonore, bloquer un pied derrière la ligne et repartir en sens inverse. En général, les patients mettent 2 à 3 signaux sonores avant de s'adapter à la cadence du test ¹²⁷. Ce test de terrain se termine lorsque le patient ne peut plus maintenir la vitesse de déplacement imposée par les signaux sonores malgré des encouragements soutenus. Au cours de chacun de ces tests, la DMM et la distance relative de marche sont rapportées par comptabilisation du nombre d'aller-retour. En général, le paramètre d'intérêt mesuré est la DMM ¹²⁷.

4.4. L'actimétrie dans les évaluations objectives de terrain des limitations fonctionnelles à la marche

L'actimétrie permet de quantifier le mouvement et l'activité physique. Chez les patients artériopathes claudicants, plusieurs types d'actimètres sont à la disposition du clinicien pour évaluer la gêne fonctionnelle à la marche. Le premier développé spécifiquement pour l'AOMI est le PADHOC (Peripheral Arterial Disease Holter Control). Toutefois, des technologies utilisées dans des populations très différentes (*e.g.*, sportifs, enfants, personnes âgées ou en surpoids, etc.) tels que la podométrie, l'accélérométrie et le GPS ont des applications pour observer et enregistrer l'activité physique mais aussi les gênes fonctionnelles du patient artériopathe claudicant.

4.4.1. "Peripheral Arterial Disease Holter Control" (PADHOC)

Le PADHOC est un test de marche qui permet d'évaluer la distance relative ainsi que la DMM et la vitesse. En effet, cet outil évalue l'incapacité fonctionnelle éprouvée dans la vie quotidienne par les patients artériopathes claudicants ¹²². Ce test s'effectue toujours à deux reprises et ne nécessite pas une réalisation en milieu hospitalier. Un émetteur et un récepteur à ultrasons positionnés en regard de chaque malléole médiale du patient permettent de mesurer la distance du pas (fréquence d'acquisition de 64 Hz) et donc de calculer la distance parcourue. De plus, un moniteur à trois boutons permet d'identifier les événements lors du test *i.e.*, le bouton vert indique le début de la marche, le bouton jaune l'apparition de la douleur et le bouton rouge renseigne sur l'arrêt de la marche. Après cette première marche, le patient dispose d'une minute de repos en position debout puis doit marcher une seconde fois. On parle de la double épreuve de marche physiologique (DEMPHY). A l'issue des deux marches, le rapport entre la distance d'apparition de la douleur et de la DMM entre le premier test et le deuxième test est calculé afin de déterminer la sévérité de l'AOMI. En effet, plus ce ratio est faible, plus la sévérité est importante.

Cette méthode d'évaluation utilise le concept que plus les valeurs de pression de cheville mettent du temps à revenir aux valeurs initiales (*i.e.*, pré-test), plus la durée de la seconde marche sera réduite.

Même si le PADHOC présente une bonne corrélation avec le tapis roulant (vitesse : 2,5 km.h⁻¹ ; pente : 10 % ; temps effort cinq min maximum) pour évaluer la distance relative de claudication ($r = 0,61$; $p < 0,01$) et la DMM (1^{ère} marche : $r = 0,60$; $p < 0,01$ - 2^{nde} marche $r = 0,50$; $p < 0,01$)¹²², il est peu utilisé en pratique car il est chronophage (*i.e.*, deux marches)¹²⁸ et présente des contraintes matérielles trop importantes (*i.e.*, capteurs de chevilles, moniteur et carte mémoire d'enregistrement)^{122,128-130}. Toutefois, en plus d'être simple, sécurisant et non expérimentateur dépendant, le PADHOC présente l'avantage de respecter la biomécanique de la marche des patients et donc l'évaluation des limitations à la marche chez des patients qui ne peuvent pas effectuer de test sur tapis roulant¹²⁹.

4.4.2. Podomètres

Le podomètre permet de compter le nombre de pas effectué dans une période donnée et est très largement plébiscité notamment en raison de son faible coût, de sa facilité d'utilisation et de la possibilité de télécharger des données¹³¹. Le fonctionnement du podomètre repose sur un balancier qui entre en contact avec une électrode suite aux chocs engendrés par chaque pas. Ainsi chaque choc enclenche un comptage de pas et un logiciel interne permet de convertir cette mesure en donnée numérique¹³¹. Cette technologie n'est pas conçue pour mesurer directement l'activité physique mais donne accès à des informations simples sur le volume d'activité physique quotidien résumé à un nombre de pas journalier¹³¹. En conséquence, le podomètre ne permet pas d'identifier une intensité d'exercice mais, chez le sujet sédentaire, qui par définition ne s'engage pas dans effort à haute intensité, cet outil permet de refléter sa quantité d'activité physique quotidienne¹³¹.

La podométrie présente une bonne fiabilité en test-retest pour évaluer l'activité physique des patients présentant une AOMI ($r = 0,86$)¹³² et présente une corrélation modérée avec la dépense énergétique au cours de l'effort ($r = 0,614$)¹³³.

De nouveaux podomètres utilisant un système piézoélectrique permettent de mieux caractériser la marche car ils prennent en compte les variables dérivant le pas (*i.e.*, longueur, fréquence, etc.) et le nombre de pas¹³¹. Généralement, les podomètres sont positionnés au niveau de la taille mais certains appareils nécessitent d'être placés au niveau de la cheville¹³¹.

Dans le contexte de l'AOMI, le podomètre est souvent utilisé dans le suivi de programme de réhabilitation à domicile ou dans la quantification d'activité physique quotidienne^{6,134,135}. Discret par sa taille, son poids et sa facilité d'utilisation, le podomètre est bien toléré par les patients lors d'une utilisation quotidienne¹³³. Le podomètre permet de mesurer le handicap physique et fonctionnel dans l'artériopathie oblitérante des membres inférieurs¹³⁵.

La podométrie est peu utilisée dans l'AOMI au profit de l'accélérométrie qui permet de quantifier le mouvement dans les trois dimensions de l'espace (plan frontal, horizontal et vertical).

4.4.3. Accéléromètres

L'accélérométrie est la technologie la plus populaire pour l'évaluation et la quantification de l'activité physique. Pour ce faire, elle utilise les variations de l'accélération du corps *i.e.*, inertie du mouvement humain^{136,137}. Au lieu de quantifier la somme des contacts électriques, l'accélérométrie utilise un

système piézoélectrique qui convertit les accélérations d'une petite masse sismique en signaux électriques ^{138,139}. En plus de pouvoir mesurer des accélérations, certains accéléromètres sont capables d'identifier l'inclinaison du corps par l'intégration de la gravité.

Il existe deux types d'accéléromètres. Les accéléromètres uni-axiaux qui mesurent l'accélération dans un seul plan, en général vertical, et les accéléromètres triaxiaux qui mesurent l'accélération dans trois plans : antéropostérieur, médio- latéral et vertical ¹³⁸. Les accéléromètres triaxiaux utilisent un vecteur magnitude (exprimé en G-force *i.e.*, en fonction de la force gravitationnelle) qui résulte de la somme des accélérations mesurées sur trois axes (x, y et z) (Figure 9) ¹⁴⁰. L'utilisation de cette résultante permet de quantifier l'intensité relative du mouvement ¹³⁶ et d'identifier les activités de façon précise (taux de réussite 84 %) ¹³⁷.

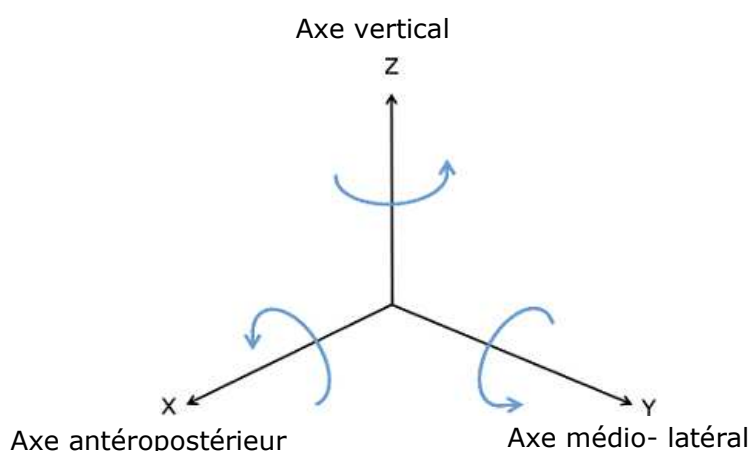


Figure 9 : Représentation des trois axes utilisés dans l'analyse du mouvement avec l'accélérométrie ¹⁴¹

La plupart des accéléromètres renseignent les données brutes mais généralement, c'est l'amplitude des accélérations qui est utilisée et présentée en "counts" *i.e.*, unité arbitraire qui reflète l'intensité de l'activité physique mesurée. L'analyse des signaux permet ainsi d'identifier des comportements spécifiques tels que les déplacements au domicile ¹⁴¹.

Pour une application dans le sport, l'accélérométrie triaxiale montre une bonne estimation de l'accélération verticale et horizontale et permet de quantifier le nombre ainsi que l'intensité des contacts et collisions entre deux athlètes ou avec un objet ¹³⁷. Elle permet aussi de quantifier la surface de la charge du corps et de l'impact ¹⁴⁰. La charge du corps (mesurée en G-force) correspond à toutes les forces imposées à un athlète, dont l'accélération et la décélération, inhérentes aux changements de direction et aux impacts issus de collisions entre joueurs ou de contact avec le sol ¹⁴⁰.

L'accélérométrie est une technologie très intéressante pour évaluer le niveau d'activité physique chez le patient claudicant vieillissant ¹³³. Elle présente une bonne fiabilité en test-retest pour évaluer l'activité physique des patients présentant une AOMI ($r = 0,84$) ¹³² ainsi qu'une bonne corrélation avec la dépense énergétique au cours de l'effort ($r = 0,834$) ¹³³. Chez le patient présentant une AOMI de stade II, l'accélérométrie est souvent utilisée dans le suivi de programme de réhabilitation à domicile ou dans la quantification d'activité physique quotidienne ^{131,142,143}. Cependant, cette technologie ne permet pas d'intégrer la pente dans la quantification de l'activité physique. Or, chez le patient artériopathe ce

paramètre est essentiel pour évaluer la gêne fonctionnelle à la marche. Aussi, plusieurs études, menées au sein de l'unité des Explorations Fonctionnelles de l'Exercice du CHU d'Angers, se sont intéressées à l'évaluation de la gêne fonctionnelle à la marche du patient artériopathe claudicant à l'aide du système GPS (en anglais, "Global Positioning System").

4.4.4. Géo-positionnement satellitaire

Depuis que le premier satellite expérimental a été lancé en 1978, le GPS est devenu incontournable dans plusieurs domaines notamment dans la navigation et la défense^{10,144}. La première suggestion d'utiliser le GPS pour évaluer la locomotion chez l'Homme date de 1997¹⁴⁵. Les qualités avancées de cet outil de mesure étaient sa portabilité, son petit gabarit (poids et taille), son caractère non intrusif et discret dans la vie quotidienne, sa capacité à prendre des mesures en continue, l'accessibilité gratuite au réseau satellitaire, son faible coût et sa capacité à stocker des données^{10,145}. Toutefois, sa première application étant dans le domaine militaire, le département de la défense des Etats-Unis a délibérément brouillé les données GPS¹⁰. Ce n'est seulement qu'en 2000, à la demande de l'ancien président des Etats-Unis Bill Clinton, que l'armée américaine a cessé de brouiller les données GPS et a donc permis une utilisation civile précise du GPS¹⁰. Depuis, par son innovation dans le monitoring des activités physiques *via* la localisation spatiale¹⁴⁶, l'outil GPS est de plus en plus utilisé dans le cadre de la recherche clinique et s'applique à de nombreuses populations (amputés, personnes âgées, adolescents, etc.)¹⁴⁷.

Pour ce faire, le GPS utilise un réseau de 24 satellites en orbite autour de la terre. Chaque satellite utilise une fréquence radio spécifique décodée par le récepteur GPS et possède une horloge atomique qui se synchronise avec le GPS afin de permettre un calcul précis de la distance^{10,144}. La distance entre le GPS et le satellite est calculée par la différence entre le moment où le signal a été transmis par le satellite et le moment où il a été reçu par le récepteur GPS. Ce temps est ensuite multiplié par la vitesse de la lumière afin d'obtenir la distance exacte qui sépare le satellite du GPS. Pour localiser un point avec un GPS, un minimum de trois satellites est nécessaire pour une triangulation optimale¹⁴⁸. Dans un but d'optimisation des mesures, le système EGNOS permet de corriger les erreurs de données et d'améliorer la localisation (± 1 à 3 m) ainsi que la vitesse de déplacement d'un point¹⁴⁹. Les satellites permettent de déterminer la localisation, la direction et la vitesse du récepteur GPS¹⁰.

Une étude récente¹⁵⁰ évalue la précision du GPS au travers de quatre différents modes de déplacement (bicyclette, marche, voiture et autobus). En plus des obstacles type arbres et bâtiments pouvant interférer sur l'émission du signal GPS vers le satellite^{151,152}, Schipperijn *et al.* mettent en évidence des erreurs dans l'estimation de la distance¹⁵⁰. Toutefois, selon les auteurs, la précision de l'outil GPS pour monitorer des déplacements reste acceptable (erreur distance_{GPS-EGNOS} < 2 m; vitesse à la marche < 1 km.h⁻¹)¹⁵³. Les facteurs évoqués influençant la précision du GPS sont une largeur des chemins ou routes empruntés insuffisante, des erreurs d'horloge, des erreurs d'orbite ou des perturbations atmosphériques. La revue de la littérature de Krenn *et al.* recense des problèmes d'enregistrement les plus souvent rencontrés lors de protocoles effectués chez l'Homme¹⁴⁶. En général, le problème le plus souvent rapporté est le nombre de données manquantes en raison de la perte du signal. Les causes potentielles de ces données manquantes sont la perte de la charge de batterie (temps d'enregistrement longs ou oubli de charge des batteries pendant la recherche), le contexte urbain (végétation et bâtiments hauts),

le nom respect du temps initial d'initialisation nécessaire pour que le signal GPS soit reçu par les satellites. Selon les auteurs, le temps optimal d'initialisation est compris entre 1 à 2 min ou de 15 s. à 5 min ^{10,146,151}. Ce temps dépend essentiellement du type d'appareil utilisé ¹⁰ et de sa dernière utilisation ¹³⁶. En effet, en fonction du temps et de la distance séparant deux utilisations, l'initialisation varie de 15 s. à 45 s. En revanche, une première utilisation peut nécessiter un temps d'initialisation pouvant aller jusqu'à 5 min ¹³⁶. De plus, il semblerait qu'un temps d'enregistrement supérieur à quatre jours ainsi qu'une mauvaise observance au protocole augmenteraient le nombre de données perdues ¹⁴⁶. A noter que le GPS ne permet pas de mesures à l'intérieur de bâtiments ¹⁰. Enfin, la mauvaise explication des consignes accroît considérablement le nombre de données perdues ^{154,155}.

L'utilisation croissante du GPS dans la vie quotidienne influence son format *i.e.*, les innovations technologiques le rendent plus léger, plus petit et plus précis ¹⁴⁶. De nombreuses études utilisent des GPS à la fois récepteurs et enregistreurs de données qui sont plus légers et plus petits que les GPS classiques. Un autre avantage majeur du GPS récepteur-enregistreur de données est la possibilité de télécharger les données brutes sur un ordinateur, lesquelles peuvent ensuite être analysées par l'expérimentateur. Enfin, la plupart des études utilisent des antennes externes qui permettent d'augmenter très largement la sensibilité du récepteur GPS ¹⁴⁶. Le GPS possède une précision raisonnable pour évaluer en extérieur la DMM de la vie quotidienne ¹⁵⁶. Il a aussi pour avantages de ne pas nécessiter de calibration préalable, de prendre en compte l'altitude dans ses calculs de distances, et de détecter de façon fiable les périodes de marche et d'arrêts ainsi que la vitesse ^{151,157}.

Par son accès à de nouveaux paramètres (*e.g.*, le positionnement géo-spatial, vitesse, temps de récupération, nombre d'arrêts, etc.), des études récentes montrent l'intérêt d'utiliser le GPS, dans l'évaluation de la marche de patients. Par exemple, Hirsch *et al.* montrent que la qualité de vie des personnes âgées est en lien avec leur mobilité ¹⁴⁷. Oakley *et al.* indiquent que la vitesse de marche est un bon indicateur du risque de mortalité d'origine cardio-vasculaire ¹⁵⁸. L'étude de Milne *et al.* montre l'intérêt d'utiliser le GPS chez des patients présentant une démence (type Alzheimer) car l'une des problématiques rencontrée dans cette population est la tendance à se perdre et à ne pas pouvoir se rappeler du chemin pour revenir au domicile ¹⁵⁹. Cette étude a montré des résultats très encourageants et a recueilli un véritable plébiscite de la part du personnel soignant. Toutefois, l'une des limites de cette méthode est la marche en milieu urbain qui interfère avec le signal GPS à cause des bâtiments hauts.

Au regard des nouveaux paramètres auxquels il donne accès, de sa simplicité d'utilisation et de tous les avantages énumérés ci-dessus, le GPS semble être pertinent dans l'évaluation de la marche spontanée et la détermination de la DMM des artériopathes claudicants puisqu'il permet d'utiliser la biomécanique naturelle des patients à la marche et ainsi tend à refléter les conditions de la vie quotidienne.

a) Procédure standard avec le GPS

Habilitations. Les études présentées dans ce travail de thèse sont promues par le Centre Hospitalier Universitaire d'Angers et sont référencées dans l'American National Institutes of Health (NIH, www.ClinicalTrials.gov). Chaque protocole a été approuvé par le Comité de Protection des Personnes Ouest II et suit les normes d'éthiques internationales ainsi que celles de la Déclaration d'Helsinki.

Visite médicale d'inclusion. Pour chaque étude présentée dans ce mémoire (étude Starter-GPS, étude Post-GPS et étude Acti-GPS), il était proposé aux patients éligibles une visite médicale d'inclusion. Lors de cette visite le patient s'entretenait avec le médecin qui expliquait l'objet de l'étude ainsi que sa procédure et réalisait l'anamnèse. Lors de cette visite les valeurs anthropométriques étaient relevées par l'expérimentateur. Ensuite, si le patient acceptait de participer à l'étude, il signait un consentement éclairé attestant qu'il avait bien été informé et avait compris l'étude. A l'issue de cet entretien et de la signature du consentement éclairé par le patient et le médecin, les recommandations pour chaque étude étaient fournies aux patients.

Recommandations pour la marche. Il était demandé aux patients d'observer 10 minutes de repos initial debout ou assis, à l'extérieur. Cette période de repos avait pour but de permettre au signal GPS de se synchroniser avec les satellites. Puis, les patients marchaient pendant 60 minutes à allure spontanée. Il était demandé aux patients d'essayer de marcher comme dans leur vie quotidienne. Cependant, il leur était stipulé de ne s'arrêter qu'en cas de douleurs aux membres inférieurs. Les patients reprenaient leur marche lorsqu'ils le souhaitaient. A l'issue de la marche, il leur était demandé d'observer 3 à 4 min de repos afin de permettre à l'expérimentateur d'identifier la fin de la marche.

Une fois la marche terminée, le GPS était retourné au centre investigateur, l'unité des Explorations Fonctionnelles de l'Exercice du CHU d'Angers, par voie postale dans une enveloppe pré-affranchie, pour analyse.

Analyse de la marche. Les analyses s'effectuaient à l'aide d'un tableur Excel[®] (microsoft corp) et du logiciel Carto Exploreur[®] (BAYO, France). Comme précédemment validé par Le Faucheur *et al.*¹⁴⁸, en plus d'une analyse manuelle réduisant les artéfacts de mesure, un filtre passe bas ainsi qu'un filtre passe haut étaient appliqués. La Figure 10 présente un signal GPS avant (Figure 10a) et après (Figure 10b) l'application des filtres et l'analyse manuelle. L'utilisation de ces filtres engendre une précision de $83,1 \pm 6 \%$ à $97,2 \pm 3 \%$ ¹⁴⁸. Les paramètres d'intérêt mesurés avec le GPS sont : (a) la distance totale de marche, (b) le temps total de marche, (c) la distance la plus grande entre deux arrêts au cours de l'heure de marche (DMM_{GPS}), (d) la vitesse moyenne calculée sur les temps effectifs de marche, (e) les temps d'arrêt moyens, (f) le nombre d'arrêt et (g) la pente moyenne.

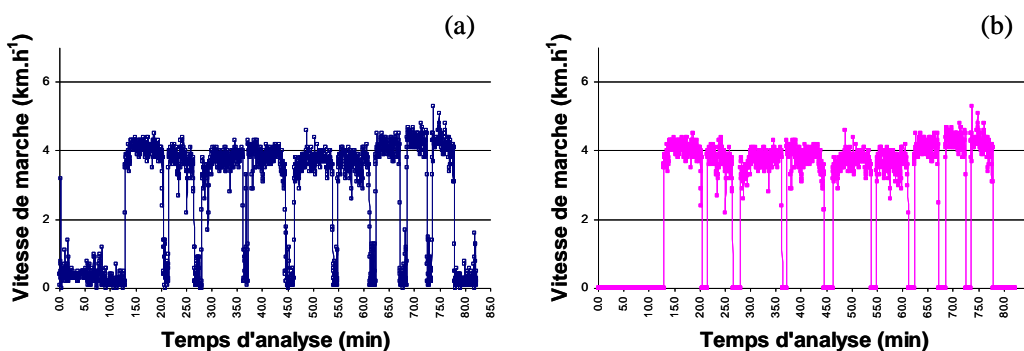


Figure 10 : Illustration d'un signal avant (a) et après analyse i.e., application des filtres et analyse manuelle (b)

b) Etude de la fiabilité à court terme en test-retest des mesures GPS chez les patients souffrant de claudication (étude STARTER-GPS).

📄 Article en cours de soumission : Manuscript Number EJVES9959R

Test-retest reliability of GPS-derived measurements in patients with claudication.

Gernigon, M., Fouasson-Chailloux, A., Colas-Ribas, C., Noury-Desvaux, B., Le Faucheur, A., Abraham, P.

European Journal of Vascular & Endovascular Surgery.

L'étude de Tew et al. a montré que le GPS est un outil intéressant dans l'évaluation de la gêne fonctionnelle à la marche des patients artériopathes claudicants mais ne se sont pas attachés à évaluer la fiabilité de la mesure GPS⁹⁵. Or, pour une utilisation en routine clinique, les mesures effectuées avec le GPS doivent être reproductibles. Aussi, l'objet de la présente étude est d'évaluer la fiabilité à court terme du GPS dans l'évaluation de la marche de patients artériopathes claudicants. Les hypothèses émises sont que (a) le GPS est fiable en test-retest et (b) présente une fiabilité supérieure à la $DMM_{déclarée}$, DMM_{tapis} , et le WIQ.

Cette étude prospective a été menée chez 20 patients artériopathes claudicants entre octobre 2007 et mars 2010 (n° de référence NIH : NCT00485147).

Les patients éligibles à l'étude devaient :

- Être âgés de plus de 18 ans ;
- Présenter une claudication de stade II de la classification de Leriche et Fontaine³ ;
- Présenter des IPSC de repos inférieur à 0,90 ou à 0,95 si associés à un DROP de TcPO₂ inférieur à - 15 mmHg ;
- Avoir la possibilité d'effectuer les deux séries d'évaluations ;
- Présenter une stabilité clinique de la sévérité de l'AOMI dans les 3 derniers mois précédant l'inclusion.

Sont exclus de l'étude les patients présentant :

- Des limitations à la marche non liées à l'AOMI (e.g., canal lombaire étroit, dyspnée d'effort, etc.) ;
- Des antécédents cardio-vasculaires majeurs (e.g., infarctus du myocarde dans les six derniers mois, angor instable, arythmies cardiaques soutenues, anévrisme de l'aorte abdominale > 40 mm).

Matériel et Méthodes. A l'issue de la visite médicale d'inclusion, deux séries d'évaluations étaient programmées (T1 et T2). T1 et T2 suivent la même procédure qui s'effectue en aveugle. Dans un premier temps, il était demandé aux patients de renseigner leur $DMM_{déclarée}$, de remplir le WIQ puis d'effectuer un test de marche sur tapis roulant (EF 1800, Medical Développement, Andrézieux- Bouthéon,

France) afin d'évaluer la DMM_{tapis} (vitesse : $3,2 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$; pente : 10 %). A la suite des tests de laboratoire, il était demandé aux patients d'effectuer une marche d'une heure avec un GPS, dans un parc prédéfini avec le GPS Garmin-60 (Garmin Ltd, Olathe, Kan) (Figure 11).



Figure 11 : Photographie du GPS Garmin-60

Résultats principaux. Parmi les 20 patients inclus, trois ont été exclus (enregistrements non interprétables ou perdus de vue). Les caractéristiques des 17 patients étudiés (88 % hommes, 64 ± 7 ans, $79 \pm 15 \text{ kg}$, $166 \pm 7 \text{ cm}$, $IMC 28.5 \pm 4.2 \text{ kg/m}^2$) sont détaillées dans l'article en cours de publication présenté ci-après.

Pour les 17 patients étudiés, l'intervalle de temps entre T1 et T2 est de 7 jours [6 ; 14]. Au regard du CIC, L'analyse des tests effectués montre une fiabilité modérée de la $DMM_{\text{déclarée}}$ et une très bonne fiabilité en test-retest pour la DMM_{tapis} et pour l'échelle du WIQ de la capacité à monter les escaliers ($0.81 < \text{CIC}$). En revanche, les échelles de distance et vitesse du WIQ présentent une fiabilité en test-retest moins importante mais qui peut être considérée acceptable (*i.e.*, $0.61 < \text{CIC} < 0.80$). Malgré une grande variabilité des périodes de marche ¹⁶⁰, cette étude montre une très bonne fiabilité en test-retest du GPS pour tous les paramètres étudiés (DMM_{GPS} , vitesse moyenne, nombre d'arrêts et distance totale parcourue cumulée) à l'exception de la moyenne des temps d'arrêt qui est considérée acceptable.

Discussion et Conclusion. D'après les résultats de l'étude Starter-GPS, le GPS semble être un outil pertinent pour évaluer les limitations à la marche des patients artériopathes claudicants. Au regard du CIC, la fiabilité du GPS dans l'évaluation de la DMM_{GPS} et la vitesse moyenne est comparable à l'outil de référence *i.e.*, la mesure sur tapis roulant. En perspective de ce travail de recherche, le GPS semble être utilisable en routine clinique afin d'objectiver les limitations à la marche de patients artériopathes claudicants lorsque les mesures sur tapis ne sont pas accessibles.

Il est intéressant de noter que le GPS Garmin-60 (Garmin Ltd, Olathe, Kan) a été utilisé en première intention. Mais au regard des difficultés d'utilisation observées par les patients, des sauts de fréquence dans les mesures d'échantillonnage, le DG-100 (GlobalSat Technology Corp., Taiwan) a été retenu par rapport au GPS Garmin-60 pour toutes les études présentées dans la suite de ce travail de thèse (Figure 12)¹⁵⁷. Le DG-100 présente une meilleure précision dans ses mesures, est plus facile d'utilisation et peu coûteux. Aussi, seuls quatre patients ont marché exclusivement avec le GPS Garmin-60 tandis que les autres patients ont marché avec les deux GPS. Les résultats obtenus pour les 13 patients ayant marché avec les deux GPS sont similaires à ceux observés avec le GPS Garmin-60 et sont décrits dans les données supplémentaires associées à l'article en cours de publication. Pour les raisons évoquées ci-dessus, le GPS DG-100 sera le seul outil utilisé dans les études présentées dans la suite du manuscrit.



Figure 12 : Photographie du GPS DG-100 GlobalSat® (GlobalSat Technology Corp., Taiwan)

Manuscript Number: EJVES9959R

Title: Test-retest reliability of GPS-derived measurements in patients with claudication.

Article Type: De Novo = Complete re-write

Keywords: Peripheral Vascular Disease; Claudication; Diagnosis, Exercise; Test; Global Positioning system.

Corresponding Author: Prof. Pierre Abraham, MD; PhD

Corresponding Author's Institution: University Hospital of Angers

First Author: Marie GERNIGON, M.Sc.

Order of Authors: Marie GERNIGON, M.Sc.; Alban FOUASSON-CHAILLOUX, B.Sc.; MD; Christophe COLAS-RIBAS; Bénédicte NOURY-DESVAUX, Ph.D; Alexis LE FAUCHEUR, Ph.D; Pierre Abraham, MD; PhD

Abstract: Objectives. In patients with peripheral artery disease (PAD), the different distances between stops and the stop durations recorded with Global Positioning System (GPS) during a one-hour stroll in the community are highly variable. Nevertheless, the reliability of the highest distance in community walk (highest distance), of the average of walking speeds (average speed) and of the durations of stops (average stop duration) have not been studied. Design. Seventeen PAD patients performed two series of evaluations (T1 and T2) within a one month period. Materials. Each series included: a one-hour stroll in the community with GPS, the measurement of maximal walking distance on treadmill (MWD-on-treadmill) and the calculation of the walking impairment questionnaire (WIQ) scores. We used the Garmin GPS-60 (Garmin Ltd, Olathe, Kan) receiver for all patients. Methods. Test-retest reliability of MWD-on-treadmill, WIQ and GPS parameters were assessed with intraclass correlation (ICC). Results. ICCs are almost perfect between T1 and T2 for highest distance (ICC=0.911), average speed (ICC=0.905) and MWD-on-treadmill (ICC=0.992), was substantial for the average WIQ (ICC=0.794). Correlation of average stop duration was considered substantial (ICC=0.691). Conclusions. Despite the previously reported "within-stroll" variability of walking boots for distances, speeds and stop durations, GPS-derived highest distance and average speed are reliable in PAD patients in test-retest experiments. The GPS appears to be a new tool to assess the walking limitation and allows objective clinical investigation.

Test-retest reliability of GPS-derived measurements in patients with claudication.

Marie GERNIGON (M.Sc.)^{1,2,3}, Alban FOUASSON-CHAILLOUX (B.Sc.; MD)¹, Christophe COLAS-RIBAS¹, Bénédicte NOURY-DESVAUX (Ph.D.)^{2,3}, Alexis LE FAUCHEUR (Ph.D.)^{4,5}, Pierre ABRAHAM (MD, Ph.D.)^{1,2}

¹ Laboratory for Exercise Investigations. University Hospital. Angers F-49933 FRANCE.

² Department of Integrated Neurovascular and Mitochondrial Biology. INSERM UMR 1083 – CNRS UMR 6214. Angers, F-49045. FRANCE.

³ APCoSS, Institute of Physical Education and Sports Sciences. Les Ponts de Cé, F-49136. FRANCE.

⁴ Movement, Sport and Health laboratory. University of Rennes, Rennes, FRANCE.

⁵ Ecole normale supérieure de Rennes. Department of Sports Science and Physical Education. Bruz. FRANCE.

Correspondence to: Pr. Pierre ABRAHAM. Laboratory for Exercise Investigations. University Hospital. Angers F-49933. FRANCE. ☎: +33 (0) 241 353 689. E-mail: piabraham@chu-angers.fr. Fax: +33 (0) 241 355 593

What does this study add to the existing literature and how will it influence future clinical practice?

GPS can monitor community walking in PAD patients with claudication. Despite the apparent variability of GPS-derived parameters observed within a single stroll, the highest among the various between-stop distances and mean walking speeds are reliable parameters in test-retest recordings. GPS appears to be a new easy-to-use and low-cost way of evaluating walking ability in PAD patients. It could be useful to follow the walking ability of PAD patients without laboratory referral. It could be of specific interest in private practice, in epidemiological studies, or for patients coming from isolated geographic areas.

ABSTRACT

Objectives. In patients with peripheral artery disease (PAD), the different distances between stops and the stop durations recorded with Global Positioning System (GPS) during a one-hour stroll in the community are highly variable. Nevertheless, the reliability of the highest distance in community walk (highest distance), of the average of walking speeds (average speed) and of the durations of stops (average stop duration) have not been studied. **Design.** Seventeen PAD patients performed two series of evaluations (T1 and T2) within a one month period. **Materials.** Each series included: a one-hour stroll in the community with GPS, the measurement of maximal walking distance on treadmill (MWD-on-treadmill) and the calculation of the walking impairment questionnaire (WIQ) scores. We used the Garmin GPS-60 (Garmin Ltd, Olathe,

Kan) receiver for all patients. **Methods.** Test-retest reliability of MWD-on-treadmill, WIQ and GPS parameters were assessed with intraclass correlation (ICC). **Results.** ICCs are almost perfect between T1 and T2 for highest distance (ICC=0.911), average speed (ICC=0.905) and MWD-on-treadmill (ICC=0.992), was substantial for the average WIQ (ICC=0.794). Correlation of average average stop duration was considered substantial (ICC=0.691). **Conclusions.** Despite the previously reported "within-stroll" variability of walking boots for distances, speeds and stop durations, GPS-derived highest distance and average speed are reliable in PAD patients in test-retest experiments. This allows objective clinical investigation when treadmill is not available.

KEY WORDS: Peripheral Vascular Disease, Claudication, Diagnosis, Exercise, Test, Global Positioning system.

INTRODUCTION

Lower extremity Peripheral Artery Disease (PAD) is a chronic condition, whose common initial symptom is characterised by intermittent claudication. Claudication is defined as a pain or discomfort that limits walking ability, forces the patient to slow down or stop and disappears within 10 minutes of stopping, allowing for a new walking bout.¹⁻⁴ PAD is associated with a decrease in Maximal Walking Distance (MWD: the absolute maximal distance walked before limb discomfort or pain forces the patient to stop) and a decrease in walking speed. Reduced performance is related to an increased risk of mortality.⁵ To date, there are various tools to evaluate the characteristics associated to walking limitation in patients with PAD. Among available tools are: questionnaires such as the walking impairment questionnaire (WIQ)⁶⁻⁸ and treadmill tests.^{3,9} Each of these tools may evaluate the walking limitation. Nevertheless, these tools do not provide objective evaluation in the community walk (c_w) such as the walking speed or the duration of stops between walking bouts. Global Positioning System (GPS) has been proposed as an original tool to measure walking ability in PAD in the community.¹⁰⁻¹² The advantage of GPS is its capacity to simultaneously evaluate distance, speed and the duration of stops, as well as record various walking bouts in the same patient, provided that the recorded walking period is long

enough (45 to 60 min) to allow multiple walking bouts within a single stroll. Further, with GPS, no calibration (e.g., pedometers), or integration (e.g., accelerometers), is needed to retrieve distance, speed or time. We previously showed that during a GPS-recorded prescribed one-hour stroll in the community, the various walking speeds between stops (WS_{CW}) for the different walking bouts were relatively homogeneous, whereas a large variability of stop durations between walking bouts (DS_{CW}) was found.¹³ Further, in clinical routine patients are expected to have "a" MWD, used as an indicator. In fact, we previously observed a large variability of the different measured distances between two symptom-limited stops (MD_{CW}) during a one-hour stroll.¹³ Despite this "within-stroll" variability of MD_{CW} , the highest of these various observed MD_{CW} values (highest distance), correlates with the self-reported MWD¹¹ and with the maximal distance performed on treadmill (MWD-on-treadmill).¹⁰

An essential step for the potential use of GPS in PAD patients is to determine the reliability of GPS-derived parameters of walking ability. Ultimately, when treadmill is not available, GPS could become another useful way to objectively assess walking of PAD patients. In the present study we focused on the highest distance, the average of walking speeds (average speed) and the average of stop durations (average stop duration). The aim of the present study was to estimate the test-retest reliability of these GPS derived parameters in PAD patients under community walking conditions. We hypothesised that, despite the large variability observed for MD_{CW} and DS_{CW} within a one-hour stroll, highest distance, average speed and average stop duration would be reliable parameters in test-retest recordings.

MATERIALS AND METHODS

Patients. A prospective study was conducted to include 20 patients with intermittent claudication from October 2007 to march 2010. Inclusion criteria for eligibility to participate to the study were: (1) Age > 18 years old; (2) Stage II vascular-type intermittent claudication (Leriche and Fontaine classification) defined as a fatigue, discomfort, or pain that occurred in the calf, thigh, or buttock during exercise and that resolved within 10 minutes of rest; (3) an ankle to brachial systolic pressures index (ABI) <

0.90,¹⁴ or an ABI < 0.95 with an exercise transcutaneous oxygen pressure ($tcpO_2$) decrease from rest of oxygen pressure (DROP) index < -15 mmHg;^{15,16} (4) ability to attend the second series of evaluations; (5) clinical stability of PAD severity in the last 3 months preceding the inclusion. Patients with any ongoing symptomatic disease that limits exercise other than PAD (e.g., lumbar spine syndrome, limiting exertional dyspnea, or symptomatic arthritis), patients at risk for exercise tests (myocardial infarction in the last 6 months, uncontrolled angina pectoris, sustained cardiac arrhythmias, abdominal aortic aneurysm > 40 mm) were not included. Moreover, we used both resting ABI^{3,4} and the exercise DROP index^{15,16} to argue for the vascular origin of claudication in isolated proximal claudication where ABI can remain within normal limits.¹⁷⁻¹⁹

The procedure used in this study were approved by the CPP-Ouest II ethics committee and performed according to the international ethics standards and the Declaration of Helsinki. The study was promoted and monitored by the University Hospital of Angers (France) and was registered in the American National Institutes of Health database under reference n° NCT00485147 (www.ClinicalTrials.gov). All patients provided written informed consent to participate in the study. After inclusion, two series of evaluations were scheduled on two different days. Test 1 (T1) and test 2 (T2) included laboratory and outdoor (GPS) evaluations of walking ability. T2 was scheduled, at least one day and within one month after T1. Exclusion criteria included: any change in the medical treatment, any kind of surgical revascularization between T1 and T2 and missing GPS data in T1 or T2.

Laboratory investigations. After inclusion, stature (cm), body mass (kg), ABI, comorbid conditions, claudication history, cardiovascular risk factors, medical or surgical history, ongoing medications were obtained from medical file as well as medical history and physical examination. At both T1 and T2, laboratory evaluations first included in the completion of the WIQ²⁰ and then the measurement of MWD-on-treadmill (3.2 km/h; 10% grade; maximized to 20 minutes)^{15,18}. The patients were blinded to the results of each evaluation. As for T1, the laboratory

evaluations for T2 were performed the same day as the second GPS one-hour stroll.

GPS investigations. The outdoor stroll was always performed the same day just after the laboratory investigations. We used Garmin GPS-60 (Garmin Ltd, Olathe, Kan) on all patients. For technical reasons, from patient 5, we used an other type of GPS simultaneously. Data for this second device are reported as additional "online only" data. GPS were worn in a backpack and antenna was positioned on the right shoulder. GPS devices were started in the laboratory and stopped back in the laboratory after the stroll. Following the standard procedure,¹³ patients were asked to perform a one-hour stroll (including stop durations) alone. The stroll was organized in a pre-defined public park near the hospital. This park is free from cars or any kind of motorized vehicles, is relatively free of compact trees and contains a large variety of flat pedestrian paths. As previously published¹⁰, we asked patients to walk at their usual pace and only stop at maximal pain. The T2 stroll was performed in the same park, but not necessarily using the same pedestrian paths.

Recorded data were downloaded to a personal computer and analyzed according to the previously published procedure.^{10,13,21} For each recording, we used the methodology previously described, and calculated all MD_{CW}, WS_{CW} and DS_{CW}^{10,13,21}. From these parameters, we extracted the highest distance, average speed and average stop duration. The last MD_{CW} and corresponding WS_{CW} were not used to calculate highest distance, average speed except if the last MD_{CW} was higher than any previously measured MD_{CW}.¹²

Weather conditions. We retrieved, wind velocity, rain and temperature at the time of each recording from the local weather station.

Statistical analysis. The minimum number of patients needed for the present study was 17 in order to obtain a statistical power of 90 % (p<0.05) for a confident interval of 95%. According to normal distribution, data are expressed as mean ± SD or as median with (25th to 75th percentiles), when appropriate. For each laboratory and community evaluation, the Bland-Altman plots²² and the intra-class correlation coefficient (ICC) with [95% confidence interval] were performed in order to evaluate the test-retest reliability. ICC values were ranked as poor (0.00-0.20), fair (0.21-0.40), moderate (0.41-0.60), substantial (0.61-

0.80) or almost perfect (0.81-1.00).^{23,24} The student paired t test (or Wilcoxon as appropriate) were done to compare T1 and T2 results. Statistical analyses were performed with SPSS (V17.0.0 SPSS Inc., 2008). For all statistical tests, a two-tailed probability level of P<0.05 was used to indicate statistical significance.

RESULTS

Three of the included patients had to be excluded (highly noise non interpretable signal or patient's rebuttal to perform the second series of laboratory evaluations). Characteristics of the 17 studied patients are reported in Tables 1 and 2. Note that data are missing for some questionnaires due to difficulties and incomplete completion from the patients, in Table 2.

Table 1: Characteristics of patients. Results are presented as mean±SD, median [25th;75th] or number of observation (%).

Clinical characteristics	n=17
Age, years	64±7
Weight, kg	79±15
Height, cm	166±7
Body mass index, kg/m ²	28.5±4.2
Male sex, No. (%)	15 (88%)
History of the disease, years	3.5 [1.4;8.5]
Ankle-to-brachial index	0.75 [0.67;0.82]
TcPO ₂ DROP min, mmHg	-32 [-45;-28]
Comorbidities, (history of), No. (%)	
Smoker (current or former)	16 (94%)
Coronary disease	4 (24%)
Sleep apnea	1 (6%)
Hypercholesterolemia	8 (47%)
Diabetes	5 (29%)
History of vascular surgery (lower limbs)	5 (29%)
Current medications, No. (%)	
Fibrates or statins	13 (76%)
Anti-diabetic	5 (29%)
Anti-hypertensive	12 (71%)
Beta blocker	8 (47%)
Antiplatelet	17 (100%)

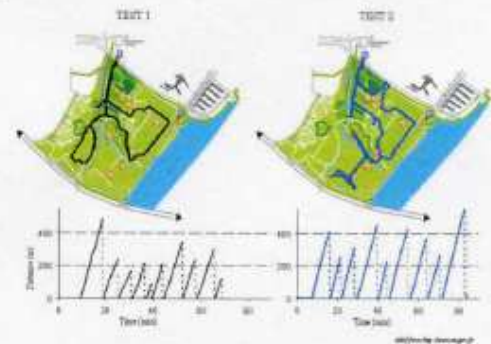
Table 2: Characteristics of the patients for each walking parameters. Results are presented as median [25th:75th].

	N	T1	T2
WIQ ^a distance subscore		36.0 [12.1; 62.7]	31.0 [17.1; 69.1]
WIQ ^a speed subscore	16	25.0 [14.1; 36.1]	28.3 [20.9; 41.0]
WIQ ^a stairs subscore		33.3 [16.6; 66.6]	44.8 [27.1; 66.6]
WIQ ^a mean		36.8 [22.5; 46.6]	40.9 [21.2; 57.0]
Self-reported MWD b ^a (m)	17	250 [100; 500]	500 [200; 700]
MWD-on-treadmill ^c (m)	17	109 [92; 138]	119 [82; 178]
Total distance _{CW} (m)		3139 [2267; 3700]	3125 [2185; 3643]
Total time duration _{CW} (min)		61.23 [60.07; 70.87]	65.56 [59.00; 75.43]
Highest distance ^d (m)	17	537 [351; 1620]	804 [324; 1532]
Average speed ^e (km.h ⁻¹)		3.42 [3.17; 3.92]	3.42 [2.95; 3.83]
Average stop duration ^f (min)		1.30 [0.93; 2.58]	1.73 [1.25; 2.34]

^a WIQ: "walking impairment questionnaire", ^b self-reported MWD: "maximal walking distance self-reported"; ^c MWD-on-treadmill: "maximal walking distance performed on the treadmill"; ^d highest distance: "highest measured distance between two stops during community walking"; ^e average speed: "average walking speed during community walking"; ^f average stop duration: "average stop duration during community walking".

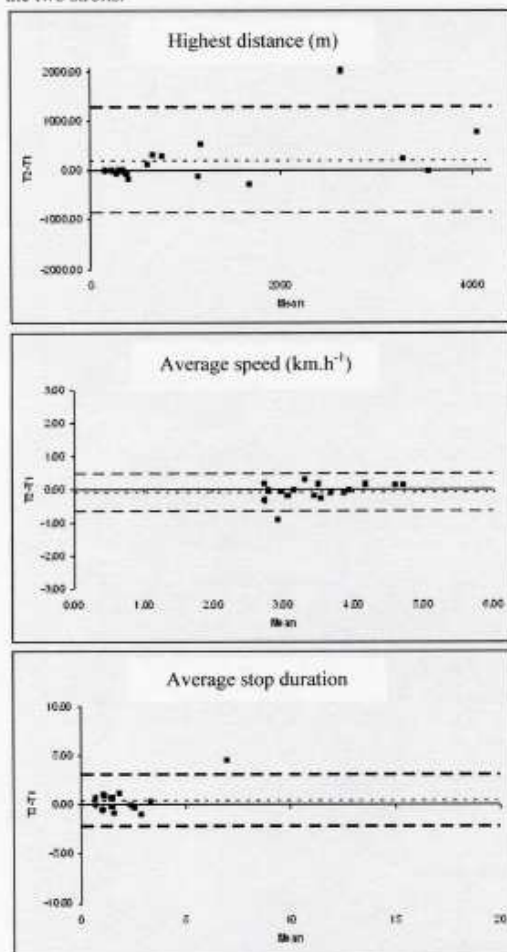
Figure 1 shows a typical example of the recordings observed during the two GPS strolls in the same patient and performed in the same public park. There were no significant differences between both walks for temperature (p-value = 0.65), wind (p-value = 0.82) or rain amount (p-value = 0.32). As shown in Figure 1, the footpaths used were different between the two tests. Figure 1 also clearly illustrates the wide variability of MD_{CW} observed for each walking bout within each stroll, ranging from a minimum MD_{CW} of 90 m to a highest distance of 487 m at T1 and from a minimum MD_{CW} of 228 m to a highest distance of 550 m at T2. Also of interest is the fact that the speed (that can be visually estimated from the slope of each walking bout) is relatively stable between the different bouts and between T1 and T2.

Figure 1: Example of the recordings observed during the two strolls (Test 1 and Test 2) in the same patient in the "Parc Balzac". Both strolls (black and blue lines) were started at the parking lot, north of the park. The graphs under each image represent cumulated distance between each stop.



The delay between T1 and T2 was 7 [6; 14] days. Figure 2 is the representation of reliability according to the Bland-Altman analysis, and tables 3 and 4 present the results of reliability analysis for both laboratory and GPS evaluations. As shown in Table 3, laboratory measurements showed almost perfect reliability for the MWD-on-treadmill. From questionnaire results, WIQ_{avg} score, WIQ distance and WIQ speed sub-scores are substantial (i.e., 0.61 < ICC < 0.80) compared the WIQ stairs climbing sub-score which is almost perfect (0.81 < ICC). For GPS, an almost perfect reliability was found for studied parameters between T1 and T2 except for the average stop duration which is substantial (table 4 and figure 2). The correlation for GPS parameters between T1 and T2 is high except for the duration of stops.

Figure 2: Test-retest reliability with Bland and Altman representation for the different GPS-derived parameters between the two strolls.



Highest distance: "highest measured distance between two stops during community walking"; **average speed:** "average walking speed during community walking"; **average stop duration:** "average stop duration during community walking".

Table 3: Results at T1 and T2 of laboratory investigations. Results are presented as intra-class coefficient of correlation (ICC), and p for the Wilcoxon test.

	N	ICC [95% CI] (p)	Wilcoxon test
WIQ _{distance} ^a		0.616 [0.203; 0.845] (0.003)	0.551
WIQ _{speed}	16	0.749 [0.429; 0.904] (<0.001)	0.551
WIQ _{stops}		0.902 [0.749; 0.964] (<0.001)	0.153
WIQ _{mean}		0.794 [0.515; 0.922] (<0.001)	0.776
Self-reported MWD ^b (m)	17	0.473 [0.018; 0.769] (0.021)	0.038
MWD-on-treadmill ^c (m)	17	0.992 [0.978; 0.997] (<0.001)	0.551

^a WIQ: "walking impairment questionnaire", ^b self-reported MWD: "maximal walking distance self-reported"; ^c MWD-on-treadmill: "maximal walking distance performed on the treadmill test".

Table 4: Results for walking parameters for the patients that fully completed both series of tests. Results are presented as intraclass coefficient of correlation (ICC), the Pearson coefficient with 95% confidence interval [95% CI] and the student t test.

	N	ICC [95% CI] (p)	Wilcoxon test
Highest distance ^a (m)	17	0.911 [0.776; 0.966] (<0.001)	0.306
Average speed ^b (km.h ⁻¹)	17	0.905 [0.762; 0.964] (<0.001)	0.420
Average stop duration ^c (min)	15	0.691 [0.308; 0.883] (0.001)	0.330
Number of stops	17	0.899 [0.750; 0.962] (<0.001)	0.193
Total distance _{CW} (m)	17	0.947 [0.863; 0.980] (<0.001)	0.190

^a Highest distance: "highest measured distance between two stops during community walking"; ^b average speed: "average walking speed during community walking"; ^c average stop duration: "average stop duration during community walking".

DISCUSSION

Community based approach is coming necessarily to provide the same access to health care for patients who cannot go to a hospital and for economy to health insurance. Despite the variability of the different within-stroll MD_{CW}, the reliability of highest distance is high as well as for average speed. Contrary to our hypothesis, average stop duration was not as reliable as the other two parameters.

Multiple studies have addressed the question of MWD-on-treadmill reliability e.g., the meta-regression analysis of Nicolai et al. for exhaustive listing of these studies.²⁵ The interpretation of reliability depends on the statistical parameter used^{26,27}. For constant-load protocols at 3.2 km/h with 10% (or 12%) grade, available studies reported ICCs ranging from 0.72 to 0.93.²⁵ However, even if treadmill evaluations are considered as gold standard methods to measure walking impairment in PAD, they are time consuming, expensive, and not readily accessible to all physicians. Further, one limitation is that treadmill does not satisfactorily reproduce the spontaneous community walk of PAD patients and is rarely used to provide parameters such as spontaneous walking speed, and stop durations. This could be useful in vascular patients but also in many other specific diseases (e.g.: pulmonary or cardiac disease, lumbar spine stenosis, etc.).

Among methodological approaches, a way of evaluating walking speed is the estimation

through questionnaires. Substantial to almost perfect ICCs were found for WIQ sub-scores. The ICC reported for WIQ sub-scores and scores are in the range of those reported in others studies.²⁸⁻³⁰

Global Positioning System (GPS) appears to be an interesting tool to estimate walking parameters in community conditions in diseased patients and healthy subjects^{10,13,31,32}.

Of interest is that reliability of test-retest highest distance is in the high range of those usually observed in test-retest recording of MWD-on-treadmill in PAD patients.^{25,33-37} The almost perfect reliability of highest distance and average speed observed here is an essential methodological prerequisite in view of long term follow-up studies in PAD patients. GPS allows new investigations of walking limitation parameters of PAD patients such as speed and time recovery. These new parameters described more precisely the walking pattern and may show the benefit of treatment or surgery, not only over MWD.

Potential advantages of GPS include price of the test and saving of time. The GPS receiver, once batteries are changed can be used for another patient. In the present study, the patient came back to the laboratory to give the GPS back for analysis. In the most recent experience of the laboratory, the GPS is returned through a pre stamped enveloped through regular surface mail system for a total cost of less than 8 \$ mailing cost²⁷. The time required to analyse manually a GPS recording is presently 10-20 minutes but shall decrease with expertise and automatisisation of the analyses

There are limitations to the present study.

First, the different paths that the patients took as well as the environmental conditions between T1 and T2 may have changed in temperature, wind speed/directions, etc. This could potentially have an impact on reliability measures considering the community-based approach. Second, a learning effect cannot be excluded between T1 and T2. This could explain the slightly (although non significant) improved ability at T2. Third, previous reports have suggested a gender difference in walking ability of PAD patients.³⁸ Unfortunately, our small sample size does not allow a gender specific analysis. Fourth, a one-hour stroll may appear an unusually long exercise for most PAD patients leading to fatigue as a cause of walking impairment. This is true but on the

one hand, we previously showed that cumulated time (and thus fatigue) was assumed to be responsible for walking impairment in less than 15% of patients during one hour strolls¹³. On the other hand, each patient was its own control and this is unlikely that fatigue was different in T1 and T2. Nevertheless, we agree that studies are needed to analyse the influence of shortening the duration of the stroll over GPS-derived parameters. Fifth, all our GPS strolls were performed on a single carefully selected park. Applicability of the technique in not flat areas, dense environment and non pre-defined places remains to be studied. A recent study provides answers to some of these issues³⁹. Coupling GPS data to other activity monitors (accelerometers, gyroscopes, etc...) might facilitate the use of the technique in obstructed environments and enable to monitor both indoor and outdoor activities. Sixth, we provide no evidence and proof that all stops were related to pain. This is a pitfall of the technique as used here. Nevertheless, it can be expected that GPS devices may be able to record physiological parameters in the future (e.g., heart rate, near infrared spectroscopy, temperature, etc...). Once again, the problem will be to keep the price of these multi-parameter devices low and keep the analysis of recorded data simple enough for a routine use. Last, if one aims at recording community walks in routine or at performing prolonged recordings for several hours or days, the ethical issues related to the use of new communication technologies and to the monitoring of daily living should not be neglected.

CONCLUSION

The present study suggests that GPS technology offers new perspectives in the individual evaluation of walking ability, at least in PAD. GPS-derived highest distance and average speed are reliable measures of walking ability in PAD patients during test-retest one-hour stroll recordings, despite the previously reported "within-stroll" variability of the different recorded distances and stop durations. GPS allows investigation of walking limitation of PAD patients in conditions as close as possible to usual walk. A cohort long-term follow-up study is needed to analyse the effect of treatments over highest distance, average speed or walking patterns

improvements in PAD patients with intermittent claudication.

Abbreviations: The listing of abbreviations used in the manuscript with meanings and definitions is detailed in Table 5.

Table 5: List of abbreviations.

Abbreviations	Meanings and definitions
DS _{cw}	Stop Duration between walking bouts during Community Walking
GPS	Global Positioning System
ICC	Intra-class correlation
MWD	Maximal Walking Distance: The absolute maximal distance walked before limb discomfort or pain forces the patient to stop
MD _{cw}	Measured Distance in Community Walking between two symptom-limited stops. One patient may have multiple MD _{cw} in a 1 hour recording
PAD	Peripheral Arterial disease
WIQ	Walking Impairment Questionnaire
WS _{cw}	Walking Speed During Community Walking: Mean walking speed between two stops during community walking

ACKNOWLEDGMENTS: The authors thank J-F Hamel for technical help.

GRANT: This study was supported by a grant from the University Hospital of Angers.

DISCLOSURES: Authors have no potential conflicts of interest.

CONTRIBUTORSHIP:

- **Conception or design of the work:** Pierre ABRAHAM, Bénédicte NOURY-DESVAUX.
- **Acquisition:** Marie Gernigon, Pierre ABRAHAM, Bénédicte NOURY-DESVAUX, Alban FOUASSON-CHAILLOUX, Christophe COLAS-RIBAS, Alexis LE FAUCHEUR.
- **Analysis or interpretation of data:** Marie GERNIGON, Pierre ABRAHAM, Bénédicte NOURY-DESVAUX, Alexis LE FAUCHEUR.
- **Drafting the work or revising it critically for important intellectual content:** Marie GERNIGON, Pierre ABRAHAM.
- **Critical revision:** Alban FOUASSON-CHAILLOUX, Christophe COLAS-RIBAS, Bénédicte NOURY-DESVAUX, Alexis LE FAUCHEUR.
- **Final approval of the version submitted:** Marie GERNIGON, Pierre ABRAHAM, Christophe COLAS-RIBAS, Alban FOUASSON-CHAILLOUX, Bénédicte NOURY-DESVAUX, Alexis LE FAUCHEUR.

REFERENCES

1 Rose GA. The diagnosis of ischaemic heart pain and intermittent claudication in field surveys. *Bull World Health Organ* 1962; 27:645-658

2 Hirsch AT, Haskal ZJ, Hertzler NR, Bakal CW, Creager MA, Halperin JL, et al. ACC/AHA 2005 Practice Guidelines for the management of patients with peripheral arterial disease (lower extremity, renal, mesenteric, and abdominal aortic): a collaborative report from the American Association for Vascular Surgery/Society for Vascular Surgery, Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, Society for Vascular Medicine and Biology, Society of Interventional Radiology, and the ACC/AHA Task Force on Practice Guidelines (Writing Committee to Develop Guidelines for the Management of Patients With Peripheral Arterial Disease): endorsed by the American Association of Cardiovascular and Pulmonary Rehabilitation; National Heart, Lung, and Blood Institute; Society for Vascular Nursing; TransAtlantic Inter-Society Consensus; and Vascular Disease Foundation. *Circulation* 2006; 113:e463-654

3 Dormandy JA, Rutherford RB. Management of peripheral arterial disease (PAD). TASC Working Group. TransAtlantic Inter-Society Consensus (TASC). *J Vasc Surg* 2000; 31:S1-S296

4 Creager MA, Belkin M, Bluth EI, Casey DE, Jr., Chaturvedi S, Dake MD, et al. 2012 ACCF/AHA/ACR/SCAI/SIR/STS/SVM/SVN/SVS Key data elements and definitions for peripheral atherosclerotic vascular disease: a report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association Task Force on Clinical Data Standards (Writing Committee to develop Clinical Data Standards for peripheral atherosclerotic vascular disease). *J Am Coll Cardiol* 2012; 59:294-357

5 McDermott MM, Tian L, Liu K, Guralnik JM, Ferrucci L, Tan J, et al. Prognostic value of functional performance for mortality in patients with peripheral artery disease. *J Am Coll Cardiol* 2008; 51:1482-1489

6 Hiatt WR, Hirsch AT, Regensteiner JG, Brass EP. Clinical trials for claudication. Assessment of exercise performance, functional status, and clinical end points. *Vascular Clinical Trialists. Circulation* 1995; 92:614-621

7 Mahe G, Ouedraogo N, Vasseur M, Faligant C, Saidi K, Leftheriotis G, et al. Limitations of self-reported estimates of functional capacity using the Walking Impairment Questionnaire. *Eur J Vasc Endovase Surg* 2011; 41:104-109

8 Regensteiner JG, Ware JE, Jr., McCarthy WJ, Zhang P, Forbes WP, Heckman J, et al. Effect of cilostazol on treadmill walking, community-based walking ability, and health-related quality of life in patients with intermittent claudication due to peripheral

- arterial disease: meta-analysis of six randomized controlled trials. *J Am Geriatr Soc* 2002; 50:1939-1946
- 9 Duprez D, de Backer T, de Buyzere M, Clement DL. Estimation of walking distance in intermittent claudication: need for standardization. *Eur Heart J* 1999; 20:641-644
 - 10 Le Faucheur A, Abraham P, Jaquinandi V, Bouye P, Saumet JL, Noury-Desvaux B. Measurement of walking distance and speed in patients with peripheral arterial disease: a novel method using a global positioning system. *Circulation* 2008; 117:897-904
 - 11 Tew G, Copeland R, Le Faucheur A, Gernigon M, Nawaz S, Abraham P. Feasibility and validity of self-reported walking capacity in patients with intermittent claudication. *J Vasc Surg* 2013; 57:1227-1234
 - 12 Nordanstig J, Wann-Hansson C, Karlsson J, Lundstrom M, Pettersson M, Morgan MB. Vascular Quality of Life Questionnaire-6 facilitates health-related quality of life assessment in peripheral arterial disease. *J Vasc Surg* 2014; 59:700-707 e701
 - 13 Le Faucheur A, Noury-Desvaux B, Mahe G, Sauvaget T, Saumet JL, Leftheriotis G, et al. Variability and short-term determinants of walking capacity in patients with intermittent claudication. *J Vasc Surg* 2010; 51:886-892
 - 14 Norgren L, Hiatt WR, Dormandy JA, Nehler MR, Harris KA, Fowkes FG, et al. Inter-Society Consensus for the Management of Peripheral Arterial Disease (TASC II). *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2007; 33 Suppl 1:S1-75
 - 15 Abraham P, Picquet J, Vielle B, Sigaudou-Roussel D, Paisant-Thouveny F, Enon B, et al. Transcutaneous oxygen pressure measurements on the buttocks during exercise to detect proximal arterial ischemia: comparison with arteriography. *Circulation* 2003; 107:1896-1900
 - 16 Abraham P, Picquet J, Bouye P, L'Hoste P, Enon B, Vielle B, et al. Transcutaneous oxygen pressure measurements (tcpO₂) at ankle during exercise in arterial claudication. *Int Angiol* 2005; 24:80-88
 - 17 Ouedraogo N, Barbeau C, Legrand M, Marchand J, Leftheriotis G, Abraham P. "Routine" arterial echo-doppler is not sufficient to exclude an arterial origin of exercise-induced proximal lower limb pain. *Int J Cardiol* 2013; 167:1053-1054
 - 18 Jaquinandi V, Picquet J, Bouye P, Saumet JL, Leftheriotis G, Abraham P. High prevalence of proximal claudication among patients with patent aortobifemoral bypasses. *J Vasc Surg* 2007; 45:312-318
 - 19 Picquet J, Jaquinandi V, Saumet JL, Leftheriotis G, Enon B, Abraham P. Systematic diagnostic approach to proximal- without-distal claudication in a vascular population. *Eur J Int Med* 2005; 16:575-579
 - 20 Hiatt WR, Hirsch AT, Regensteiner JG, Brass EP. Clinical trials for claudication. Assessment of exercise performance, functional status, and clinical end points. *Vascular Clinical Trialists. Circulation*, 1995; 614-621
 - 21 Le Faucheur A, Abraham P, Jaquinandi V, Bouye P, Saumet JL, Noury-Desvaux B. Study of human outdoor walking with a low-cost GPS and simple spreadsheet analysis. *Med Sci Sports Exerc* 2007; 39:1570-1578
 - 22 Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 1986; 8:307-310
 - 23 Landis JR, Koch GG. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics* 1977; 33:159-174
 - 24 Hopkins WG. Measures of reliability in sports medicine and science. *Sports Med* 2000; 30:1-15
 - 25 Nicolai SP, Viechtbauer W, Kruidenier LM, Candel MJ, Prins MH, Teijink JA. Reliability of treadmill testing in peripheral arterial disease: a meta-regression analysis. *J Vasc Surg* 2009; 50:322-329
 - 26 Gernigon M, Le Faucheur A, Laneelle D, Noury-Desvaux B, Mahe G, Abraham P. Reliability of GPS measurements to assess walking limitation in patients with intermittent claudication. *Fundamental and Clinical Pharmacology* 2014; 28:10
 - 27 Gernigon M, Le Faucheur A, Noury-Desvaux B, Mahe G, Abraham P. Applicability of global positioning system for the assessment of walking ability in patients with arterial claudication. *J Vasc Surg* 2014; 60:973-981 e971
 - 28 Coyne KS, Margolis MK, Gilchrist KA, Grandy SP, Hiatt WR, Ratchford A, et al. Evaluating effects of method of administration on Walking Impairment Questionnaire. *J Vasc Surg* 2003; 38:296-304
 - 29 Long J, Modrall JG, Parker BJ, Swann A, Welborn MB, 3rd, Anthony T. Correlation between ankle-brachial index, symptoms, and health-related quality of life in patients with peripheral vascular disease. *J Vasc Surg* 2004; 39:723-727
 - 30 Verspaget M, Nicolai SP, Kruidenier LM, Welten RJ, Prins MH, Teijink JA. Validation of the Dutch version of the Walking Impairment Questionnaire. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2009; 37:56-61
 - 31 Noury-Desvaux B, Abraham P, Mahe G, Sauvaget T, Leftheriotis G, Le Faucheur A. The accuracy of a simple, low-cost GPS data logger/receiver to study outdoor human

- walking in view of health and clinical studies. *PLoS One* 2011; 6:e23027
- 32 Perrin O, Terrier P, Ladetto Q, Merminod B, Schutz Y. Improvement of walking speed prediction by accelerometry and altimetry, validated by satellite positioning. *Med Biol Eng Comput* 2000; 38:164-168
- 33 Zwierska I, Nawaz S, Walker RD, Wood RF, Pockley AG, Saxton JM. Treadmill versus shuttle walk tests of walking ability in intermittent claudication. *Med Sci Sports Exerc* 2004; 36:1835-1840
- 34 Kirby RL, Marlow RW. Reliability of walking endurance with an incremental treadmill test. *Angiology* 1987; 38:524-529
- 35 Montgomery PS, Gardner AW. The clinical utility of a six-minute walk test in peripheral arterial occlusive disease patients. *J Am Geriatr Soc* 1998; 46:706-711
- 36 Falkensammer J, Gasteiger S, Polaschek B, Gruber I, Frech A, Fraedrich G, et al. Reliability of constant-load treadmill testing in patients with intermittent claudication. *Int Angiol* 2012; 31:150-155
- 37 Kruidenier LM, Nicolai SP, Willigendael EM, de Bie RA, Prins MH, Teijink JA. Functional claudication distance: a reliable and valid measurement to assess functional limitation in patients with intermittent claudication. *BMC Cardiovasc Disord* 2009; 9:9
- 38 McDermott MM, Greenland P, Liu K, Criqui MH, Guralnik JM, Celic L, et al. Sex differences in peripheral arterial disease: leg symptoms and physical functioning. *J Am Geriatr Soc* 2003; 51:222-228
- 39 Gernigon M, Le Faucheur A, Noury-Desvaux B, Mahe G, Abraham P, Post-GPS Study Coinvestigators Group. Applicability of global positioning system for the assessment of walking ability in patients with arterial claudication. *J. Vasc. Surg.* 2014; 60:973-981 e971

Test-retest reliability of GPS-derived measurements in patients with claudication. Supplementary data for the GPS DG-100 parameters

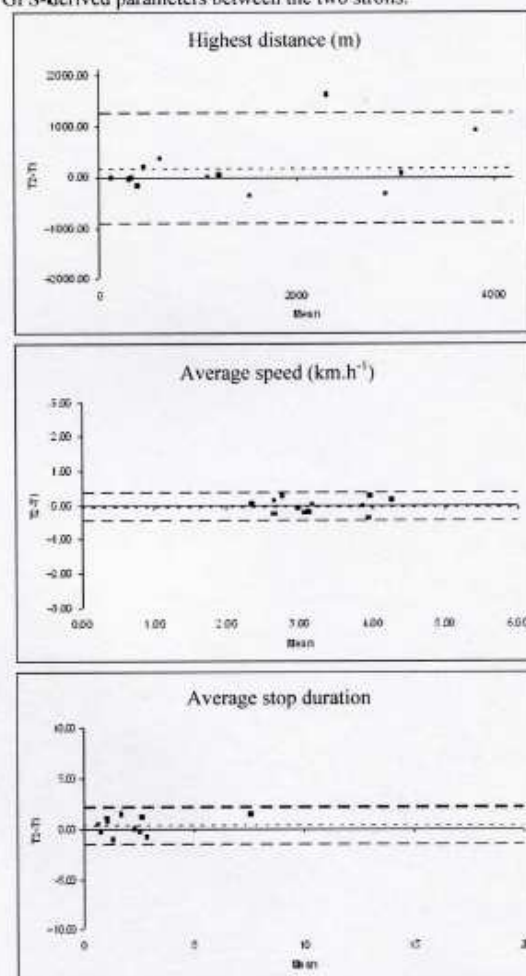
Due to our ultimate goal of having the patient self use an easier and lower cost GPS data logger than GPS Garmin-60, in 13 patients we used the DG-100/AT-65 GPS/antenna (GlobalSat Technology Corp., New Taipei City, Taiwan) simultaneously with the GPS Garmin-60. The number of patients appears enough for a statistical power of 80 % and a confident interval of 95 % ($r = 0.70$). As for the GPS Garmin-60, an almost perfect reliability was found for studied parameters between T1 and T2 (online table 1 and online figure 1). The correlation for GPS DG-100 parameters between T1 and T2 is high.

Supplementary data Table 1: Results for walking parameters for the patients that fully completed both series of tests with the GPS DG-100. Results are presented as intraclass coefficient of correlation (ICC) with 95% confidence interval [95% CI] and the Wilcoxon test.

	DG-100 (n=13)	
	ICC [95% CI]	Wilcoxon test
Highest distance ^a (m)	0.907 [0.733; 0.970] (<0.001)	0.542
average speed ^b (km.h ⁻¹)	0.946 [0.839; 0.983] (<0.001)	0.410
average stop duration ^c (min)	0.895 [0.673; 0.970] (<0.001)	0.320
Number of stops	0.904 [0.724; 0.969] (<0.001)	0.140
Total distance _{TW} (m)	0.947 [0.842; 0.983] (<0.001)	0.146

^a **Highest distance:** "highest measured distance between two stops during community walking"; ^b **average speed:** "average walking speed during community walking"; ^c **average stop duration:** "average stop duration during community walking".

Supplementary data Figure 1: Test-retest reliability of the GPS DG-100 with Bland and Altman representation for the different GPS-derived parameters between the two strolls.



Highest distance: "highest measured distance between two stops during community walking"; **average speed:** "average walking speed during community walking"; **average stop duration:** "average stop duration during community walking".

c) Etude de la faisabilité de la méthode GPS "ambulatoire" pour évaluer la capacité de marche spontanée de patients artériopathes (étude POST-GPS).

L'étude précédente a révélé que le GPS est un outil fiable dans l'évaluation de la marche des patients artériopathes claudicants. Toutefois, son utilisation en routine clinique chez un grand nombre de patients n'a jamais été étudiée. L'objet de la présente étude est donc d'évaluer l'applicabilité du GPS en routine clinique ainsi que l'adhésion au protocole des patients dans l'évaluation de la marche. Les hypothèses de cette études sont que (a) la marche avec un GPS est bien tolérée par les patients et donc (b) applicable en routine clinique ainsi que (c) le GPS donne accès à de nouveaux paramètres permettant de caractériser la marche des patients (*e.g.*, vitesse, temps d'arrêt, etc.)

Matériel et Méthodes. Cette étude prospective multicentrique a été menée en collaboration avec 31 médecins et chirurgiens vasculaires hospitaliers et libéraux exerçant dans le grand Ouest de la France, entre septembre 2009 et février 2013 (n° de référence NIH : NCT0114136).

Les patients éligibles à l'étude devaient :

- Etre âgés de plus de 18 ans ;
- Présenter une stabilité clinique de la sévérité de l'AOMI dans les trois derniers mois précédant l'inclusion ;
- Avoir une DMM_{déclarée} inférieure ou égale à 500 m ;
- Présenter des IPSC de repos inférieurs à 0,90 ou des antécédents de revascularisation des membres inférieurs ;
- Avoir une absence de limitation à la marche non liée à l'AOMI ;
- Avoir une absence d'antécédent cardio-vasculaire majeur (*e.g.*, infarctus du myocarde dans les six derniers mois, angor instable, arythmies cardiaques soutenues, anévrisme de l'aorte abdominale > 40 mm).

A l'issue de la visite médicale d'inclusion, il était donné une boîte aux patients contenant :

- Des questionnaires à remplir à la maison avant la marche ;
- Un GPS avec une feuille plastifiée résumant la procédure pour effectuer la marche (Annexe 6) ;
- Un questionnaire à remplir après la marche ;
- Une enveloppe pré-affranchie.

Les questionnaires à remplir avant la marche étaient :

- Le questionnaire modifié de claudication d'Edinburgh (Annexe 7) ^{84,161,162} ;
- Le questionnaire de qualité de vie SF-36 (Annexe 8) ¹⁶³ ;
- Le questionnaire d'activité physique pour les personnes âgées (Physical Activity Scale for the Elderly – PASE, Annexe 9)¹⁶⁴ ;
- Le WIQ (Annexe 2) ^{86,91,165}.

D'après la procédure standard préalablement validée, il était demandé au patient de marcher pendant une heure à l'endroit de son choix ^{151,160}. Les caractéristiques du lieu de la marche devaient répondre aux critères suivants :

- L'absence d'arbre et de bâtiment pouvant interférer sur la détection du signal GPS par les satellites ;
- Un terrain plat.

Pour des raisons de facilité d'utilisation et de son faible coût, l'étude Post-GPS utilise une cinquantaine de GPS DG-100 (GlobalSat[®]) avec leurs enregistreurs de données (data loggers GlobalSat Technology Corp., New Taipei City, Taiwan, ≈ \$60) (Figure 12). Chaque GPS est équipé d'une antenne externe (AT-65 GPS Active Antenna; GlobalSat Technology Corp., Taiwan, ≈ \$15) afin d'optimiser la transmission du signal au satellite. La fréquence d'enregistrement de chaque GPS est pré calibrée à 0,5 Hz.

Le GPS était placé dans une pochette en plastique à bandoulière et l'antenne sur l'articulation acromioclaviculaire, par cette même bandoulière (Figure 13). Le plus rapidement possible après la marche, il était demandé au patient de remplir un questionnaire "post marche" afin d'identifier les événements qui auraient pu interférer sur le bon déroulement de la marche (Annexe 10). Lorsque les questionnaires étaient remplis et la marche achevée, le patient renvoyait par voie postale l'ensemble *via* l'enveloppe pré-affranchie donnée en début de protocole.

A sa réception, le signal GPS était analysé selon la procédure standard ¹⁴⁸ puis les paramètres d'intérêts ainsi que les questionnaires étaient saisis pour interprétation.

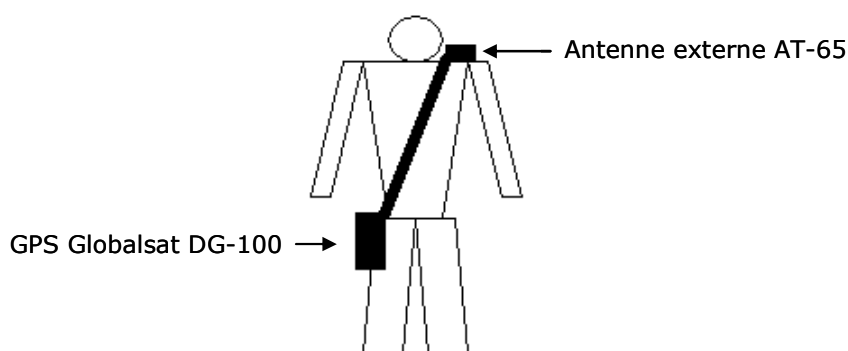



Figure 13 : Schéma de la mise en place du GPS et de son antenne avant la marche

d) Premier article. Applicabilité du GPS dans l'évaluation des limitations à la marche de patients artériopathes claudicants.

 Article publié :

Applicability of global positioning system for the assessment of walking ability in patients with arterial claudication.

Gernigon, M., Le Faucheur, A., Noury-Desvaux, B., Mahe, G., Abraham, P.; Post-GPS Study Coinvestigators Group.

Journal of Vascular Surgery. 2014, 60(4): 973-981.

Résultats principaux. Parmi les 251 patients inclus, 218 ont marché et 33 ont été exclus (demande d'exclusion de la part du patient ou événement intercurrent). Les caractéristiques des 218 patients ayant marché (85 % hommes, 65 ± 10 ans, 78 ± 14 kg, 169 ± 7 cm, IMC $27,0.5 \pm 4,4$ kg.m²) sont détaillées dans l'article présenté ci-après ¹⁵².

Après le premier essai, 185 (85 %) enregistrements valides (*i.e.*, données interprétables et respect des recommandations pour la marche) ont été obtenus. Les patients qui n'ont pas présenté d'enregistrement GPS interprétable (absence d'enregistrement, enregistrement ininterprétable ou temps de marche inférieur à 30 min) ont été contactés pour effectuer un deuxième essai. Vingt patients ont accepté et 18 ont présenté un enregistrement satisfaisant par la suite. Aussi, 203 enregistrements interprétables ont été obtenus ce qui représente un taux de réussite (T1 et T2) de 93 % (Figure 14).

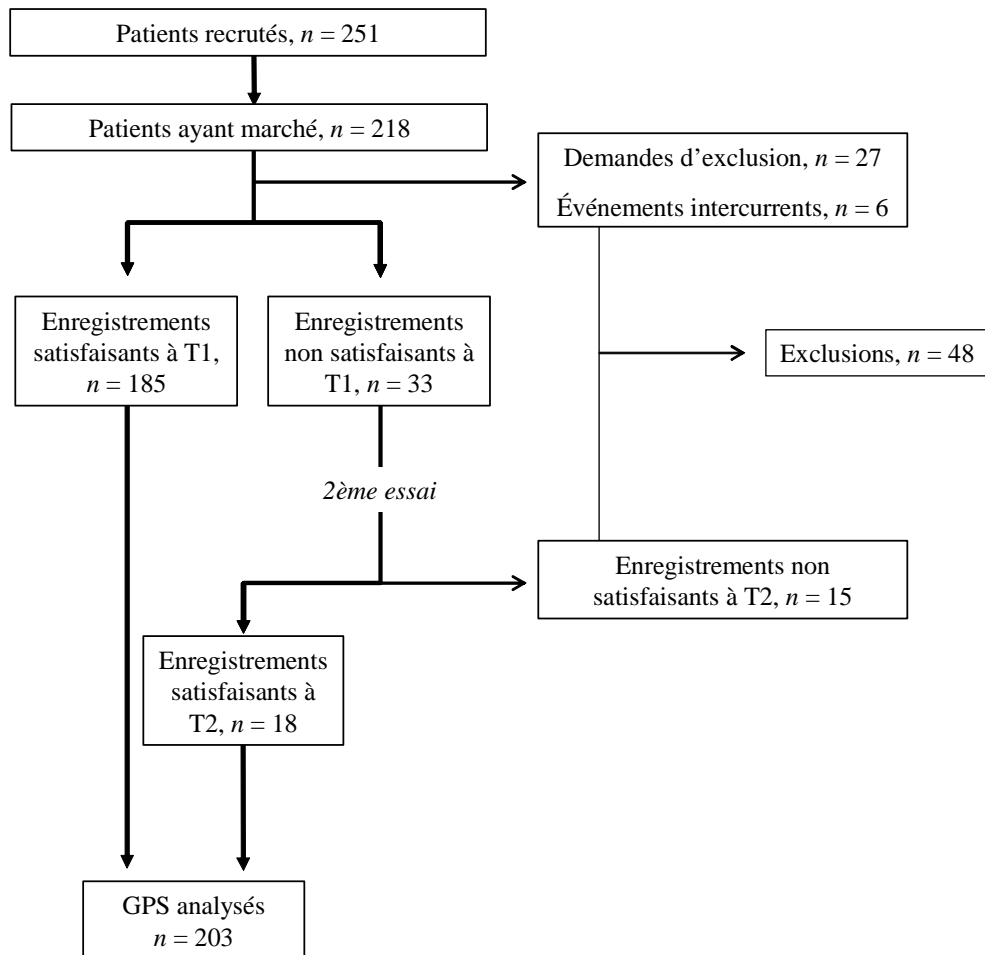


Figure 14 : Schéma organisationnel de l'étude POST-GPS

Les inclusions ayant été effectuées dans tout le grand Ouest de la France, les patients ont marché dans des lieux très variés (Figure 15), parfois hors des limites de la région (e.g., département des Alpes-Maritimes).

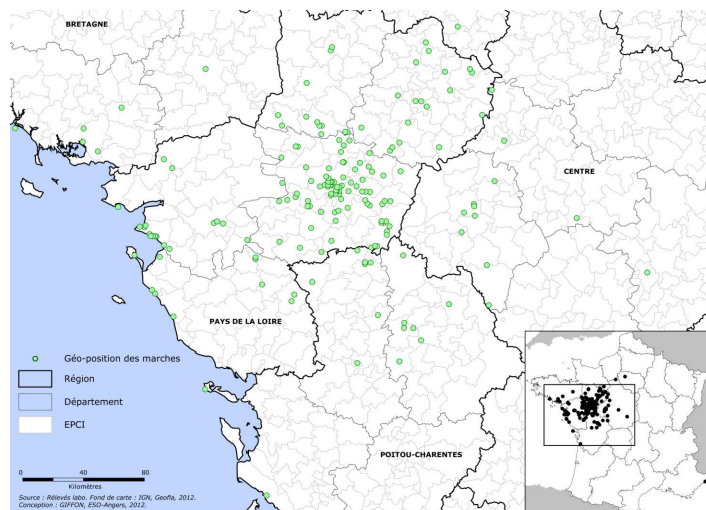


Figure 15 : Carte de la répartition des lieux de marche

Tous les patients ayant marché ont déclaré une DMM inférieure ou égale à 500 m. Cependant, il est intéressant de noter que seulement 32 % des patients ont présenté une DMM_{GPS} inférieure ou égale à 500 m et 12 % une DMM_{GPS} inférieure ou égale à 250 m (*i.e.*, inférieur à 300 m, distance seuil de prise en charge chirurgicale vasculaire). De plus, 18 d'entre eux ne se sont pas arrêtés au cours de l'heure de marche et ont donc présenté une DMM_{GPS} comprise entre 2203 m et 5945 m. Enfin, la médiane des DMM_{GPS} est plus de trois fois supérieure à la médiane des DMM_{déclarée} au moment de la visite d'inclusion. Ces différences observées entre la mesure subjective de la DMM_{déclarée} et la mesure objective de la DMM_{GPS} peuvent probablement se justifier par le fait que les patients ont perdu l'habitude de marcher et donc ne sont plus en mesure d'évaluer leur capacité à marcher du fait de leur douleur et de la sédentarité.

Selon la définition de Rose, les patients artériopathes claudicants récupèrent en moins de 10 min suite à un arrêt à la marche lié à la douleur¹⁸. Toutefois, les données GPS montrent que 75 % des patients récupèrent en moins de 3 min, 89 % en moins de 6 min, 90 % en moins de 10 min et 10 % ne présentent pas d'arrêt. Donc, le patron de marche du patient artériopathe observé avec le GPS corrobore la définition de Rose¹⁸.

L'analyse des questionnaires révèle que la DMM_{GPS} est corrélée à différentes dimensions du questionnaire SF-36 (cf. tableau IV de l'article de Gernigon *et al.*, 2014¹⁵²). La majorité des patients (95 %) rapportent une reproduction de la douleur habituelle lors du test de marche avec GPS. Toutefois, il existe une différence significative dans le nombre d'arrêts déclaré par les patients et celui observé avec le GPS. Enfin, 83 % des patients rapportent qu'il est "facile" à "très facile" d'organiser la marche, trouver un endroit correspondant aux critères pour marcher et allumer le GPS. Cependant, la moitié des patients indique trouver difficile de marcher à une vitesse régulière.

Discussion et Conclusion. Cette première étape de l'étude Post-GPS montre que le GPS ne présente pas de difficulté d'utilisation en routine clinique. De plus, cet outil permet l'accès à de nouveaux paramètres de marche pouvant caractériser un patron de marche (vitesse de marche, temps d'arrêt, etc.), ce que les mesures objectives (*e.g.*, tapis roulant, TDM6, etc.) et subjectives (questionnaires et DMM_{déclarée}) ne permettent pas de mettre en évidence. Aussi, le GPS peut faciliter l'accès à une évaluation objective des limitations à la marche des patients artériopathes notamment lorsqu'il n'y a pas de service hospitalier équipé d'un tapis roulant et donc permettre un meilleur maillage territorial dans l'évaluation de l'AOMI.

Applicability of global positioning system for the assessment of walking ability in patients with arterial claudication

Marie Gernigon, MS,^{a,b,c} Alexis Le Faucheur, PhD,^{b,c,d,e,f} Bénédicte Noury-Desvaux, PhD,^{b,c} Guillaume Mahe, MD, PhD,^{a,b,f,g} and Pierre Abraham, MD, PhD,^{a,h} on behalf of the Post-GPS Study Coinvestigators Group,^a Angers, Les Ponts de Cé, Rennes, and Bruz, France

Objective: This study determined for the first time the clinical applicability of a global positioning system (GPS)-monitored community-based walking ability assessment in a large cohort of patients with peripheral artery disease (PAD).
Methods: A multicenter study was conducted among PAD patients who complained of intermittent claudication. Patients equipped with a GPS device performed a community-based outdoor walk. We determined the number of technically satisfactory GPS recordings (attempt No. 1). Patients with unsatisfactory GPS recordings were asked to perform a second attempt (attempt No. 2). From the satisfactory recordings obtained after attempts No. 1 and No. 2, we analyzed several GPS parameters to provide clinical information on the patients' walking ability. Results are reported as median (interquartile range).
Results: A total of 218 patients performed an outdoor walk. GPS recordings were technically satisfactory in 185 patients (85%) and in 203 (93%) after attempts No. 1 and No. 2, respectively. The highest measured distance between two stops during community walking was 678 m (IQR, 381-1333 m), whereas self-reported maximal walking distance was 250 m (IQR, 150-400 m; $P < .001$). Walking speed was 3.6 km/h (IQR, 3.1-3.9 km/h), with few variations during the walk. Among the patients who had to stop during the walk, the stop durations were <10 minutes in all but one individual.
Conclusions: GPS is applicable for the nonsupervised multicenter recording of walking ability in the community. In the future, it may facilitate objective community-based assessment of walking ability, allow for the adequate monitoring of home-based walking programs, and for the study of new dimensions of walking in PAD patients with intermittent claudication. (*J Vasc Surg* 2014;60:973-81.)

Lower extremity peripheral artery disease (PAD) is a highly prevalent chronic condition in elderly individuals and is associated with walking impairment.^{1,2} One of the most studied parameters of walking ability in PAD is

the maximal walking distance (MWD): the absolute MWD before limb discomfort or pain forces the patient to stop. MWD is a useful criterion in the management of PAD patients to quantify the magnitude of the functional limitations, guide decisions for invasive treatment,^{3,4} and estimate the effectiveness of therapeutic interventions.^{3,5} The gold standard method to measure MWD is a laboratory treadmill evaluation. However, this procedure is expensive, time consuming, and may not satisfactorily reproduce usual community-based walking conditions.⁶⁻⁸

We previously showed that the global positioning system (GPS) technique could be used to assess outdoor walking ability in PAD patients through the measurement of the highest measured distance (HMD) between two stops induced by lower limb(s) pain.⁹ This HMD was highly correlated to the MWD measured on a treadmill.⁹

Using GPS opens new perspectives in walking ability assessment in PAD patients compared with laboratory approaches. First, besides MWD assessment, GPS measurements enable clinicians to assess original walking parameters under community-based conditions that are difficult to obtain through conventional laboratory measurements (eg, free-living walking speed or duration of stops).^{9,10} Second, the low cost of commercially available GPS devices^{11,13} and the fact that the measurement relies on an unsupervised procedure may facilitate objective measurements of walking ability in large clinical cohorts for community-based studies.

From the Laboratory for Vascular Investigations, University Hospital, Angers^a; the Department of Integrated Neurovascular and Mitochondrial Biology, Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale (INSERM) Unité Mixte de Recherche (UMR) 1083—Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) UMR 6214, Medical School, University of Angers, Angers^b; Research team "Activité Physique, Corps, Sport et Santé", Institute of Physical Education and Sports Sciences, Université Catholique de l'Ouest (UCO), Les Ponts de Cé^c; Movement, Sport and Health Laboratory, EA 1274, Unité de Formation et de Recherche (UFR) Activités Physiques et Sportives, University of Rennes, Rennes^d; the Department of Sport Sciences and Physical Education, École Normale Supérieure de Rennes, Bruz^e; INSERM, Centre d'investigation clinique (CIC) 1414, Rennes^f; and Centre Hospitalier Universitaire Rennes, Imagerie Coeur-Vaisseaux, Rennes.^g

*A complete listing is available in Appendix A (online only).

This study was supported by a grant from the French Ministry of Health (PHRCR 2009-05; Eudract number: 2008-A01244-51) and was funded in part by the GENESIA Foundation.

Author conflict of interest: none.

Additional material for this article may be found online at www.jvascsurg.org.
Reprint requests: Pierre Abraham, MD, PhD, Laboratory for Vascular Investigations, University Hospital, 4 rue Larrey, Angers Cedex, 09, F-49033 France (e-mail: piabraham@chu-angers.fr).

The editors and reviewers of this article have no relevant financial relationships to disclose per the JVS policy that requires reviewers to decline review of any manuscript for which they may have a conflict of interest.

0741-5214/\$36.00

Copyright © 2014 by the Society for Vascular Surgery.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.jvs.2014.04.053>

Although valid to assess walking impairment in PAD,⁹ the applicability of the GPS technique remains to be evaluated for the community-based assessment of walking ability in a large group of patients. Indeed, in previous publications, a small group of patients were studied, they walked in a predefined public park, and the GPS devices were installed and turned on by the investigator.^{9,10} Thus, it is unknown whether the GPS technique can be used as a routine unsupervised tool in a large group of PAD patients, from multiple centers, and in various geographic areas.

The first objective of the present study was to determine the clinical applicability of a GPS-monitored community-based walking ability assessment in PAD patients with intermittent claudication. For this purpose, we evaluated the technical issues that could occur during unsupervised, community-based GPS recordings. From the technically successful recordings, we provided data obtained from a large cohort of patients to characterize community-based walking ability in PAD. Unlike available studies that used GPS to assess walking ability in a clinical context,^{9,10,14,22} a large, multicenter, prospective study was designed in the present work. In addition, the GPS measurements were not performed in a predefined geographic area and were also patient driven.

METHODS

Thirty-one physicians working in university hospitals or as private practice vascular specialists participated as investigators in this multicenter study that was conducted in France. From September 2009, PAD patients who met the inclusion criteria (Table I) were invited to participate. Eligible patients were provided oral and written information about the protocol, and written informed consent was obtained from each included patient. The procedures used in this study were approved by our local Ethics Committee (CPP-Ouest II). The study was promoted and coordinated by the University Hospital of Angers (France) and was registered in the United States National Institutes of Health database under reference No. NCT01141361 (ClinicalTrials.gov).

Laboratory medical screening and measurements at inclusion

After inclusion, height, weight, waist circumference, cardiovascular risk factors, comorbid conditions, claudication history, surgical history, ankle-brachial index (ABI), self-reported MWD (MWD_{SR}), and current medications were obtained from medical records and physical examination. Ankle and arm systolic pressures were measured with hand-held Doppler. Then, ABI was calculated on each side according to the recommendations,²⁵ and the lower of the right and left ABI values was used for the analysis.

The recommendations for completing the outdoor community stroll and the written questionnaires were provided orally by the investigators. Then, a "GPS box" was given to the patients. This box contained (1) five clinical questionnaires to be completed before the stroll, (2) a GPS device with walking and technical instructions, (3) a GPS-specific questionnaire to be completed after the stroll,

Table I. Inclusion criteria

- Age >18 years
- Clinical stability of vascular-type intermittent claudication^a in the last 3 months
- MWD_{SR} ≤500 m
- ABI at rest <0.90 or a history of lower limb revascularization
- Absence of any systemic disease, other than claudication, that would limit exercise
- Absence of myocardial infarction in the last 6 months
- Absence of heart disease requiring surgery
- Absence of angina pectoris
- Absence of sustained ventricular arrhythmias
- Absence of abdominal aortic aneurysm >40 mm
- Absence of uncontrolled hypertension

ABI, Ankle-brachial index; MWD_{SR}, maximum walking distance self-reported.

^aDefined as limb fatigue, discomfort, or pain that does not exist at rest, occurs during walking, forces the individual to stop, and resolves ≤10 minutes of rest.

and (4) a pre-stamped envelope to return the questionnaires and the GPS device to the coordinating center.

Community-based measurements

Clinical questionnaires before the stroll. Once at home, patients completed four questionnaires: (1) the Edinburgh claudication questionnaire,^{24,26} (2) the Medical Outcomes Study Short-Form 36-Item Health Survey (SF-36),²⁰ (3) the Physical Activity Scale for the Elderly (PASE) questionnaire,²⁷ and (4) the Walking Impairment Questionnaire (WIQ).^{28,29} The responses to the questionnaires were recorded in a database for further analysis. The Edinburgh, SF-36, PASE, and WIQ questionnaires were scored following the recommended procedures.²⁴⁻²⁹

GPS outdoor stroll. In the present study, we aimed to evaluate the clinical applicability of a GPS assessment from a single measurement during a 1-hour unsupervised walk. Patients were asked to perform the GPS measurement during the 2 weeks after inclusion. We used 50 GlobalSat DG100 GPS data loggers (GlobalSat Technology Corp, New Taipei City, Taiwan; ~\$60), each with its own external AT-65 GPS Active Antenna (GlobalSat Technology Corp; ~\$15). Further technical details are available at www.globalsat.com.tw. The principles of GPS have been described elsewhere.^{11,30-32} The DG100 was previously validated to study human outdoor walking.^{12,13} The recording rate for all devices was preset to 0.5 Hz.

Recommendations for the stroll are detailed in the Appendix B (online only) and came from our previous studies.^{9,10} Throughout this report, the term "stroll" is used to describe the total walking period and to distinguish the entire time period from the walking period(s) between two stops. It is important to underline that "strolling" was not an instruction that was given to the patients; indeed, patients were asked to walk at a self-selected, usual pace (Appendix B (online only)).

GPS-specific questionnaire. Patients were asked to complete a GPS-specific questionnaire as soon as possible after the stroll. This questionnaire included questions about where the stroll took place, the estimated number of

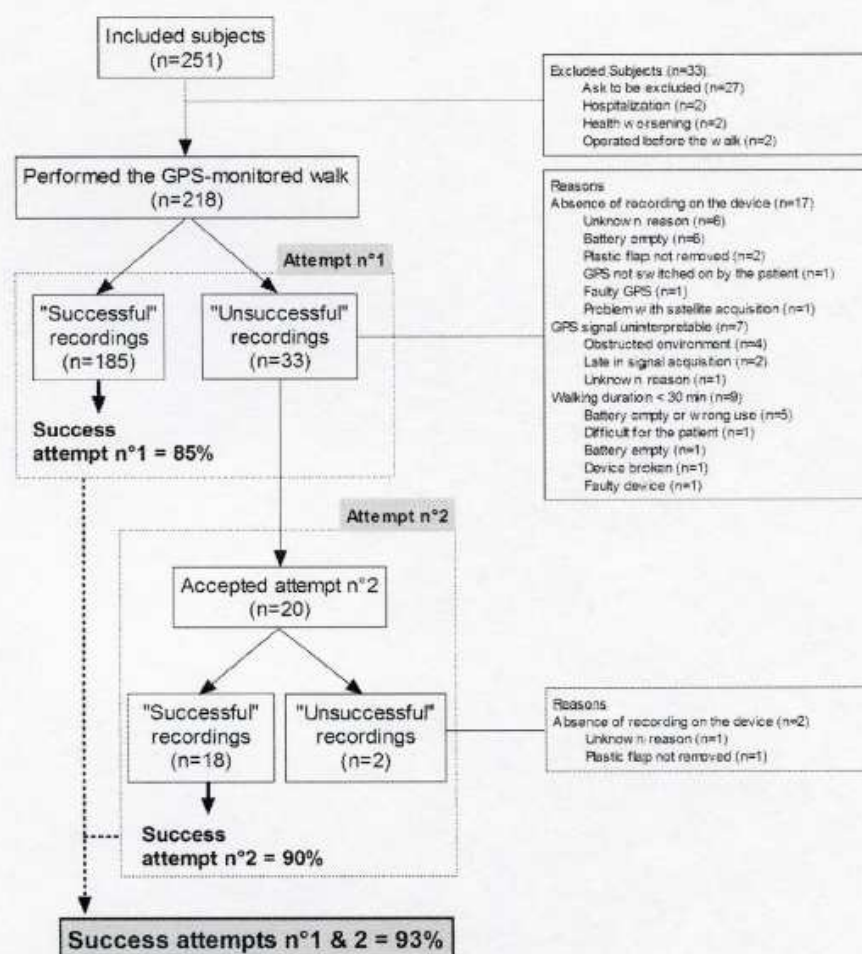


Fig 1. Flow diagram shows patients through each stage of the study with the corresponding percentages of technically satisfactory global positioning system (GPS) recordings and causes of technically unsatisfactory GPS recordings.

stops during the stroll, whether the patients had to stop for any reason other than limb pain (eg, dyspnea, road crossing, shoe laces, urinating), and whether the stroll reproduced usual limb pain. Finally, patients were asked to determine the level of difficulty in (1) organizing the stroll, (2) finding an appropriate flat area to perform the stroll, (3) starting the GPS device, (4) maintaining a regular walking pace, and (5) strolling for a minimum of 1 hour. The possible responses were “very difficult,” “rather difficult,” “rather easy,” and “very easy.”

Data analysis

GPS analysis. GPS data were downloaded off-line from the DG100 and analyzed according to the previously published procedure.^{9,11,21} At the end of the signal processing, we checked the following three parameters:

- The presence of recorded data in the GPS;
- The presence of identifiable walking periods, defined as a succession of periods of at least 10-seconds

displacement compatible with walking (ie, with speeds between 1 km/h and 10 km/h); and

- A total duration of the stroll of at least 30 minutes.

Thereafter, the GPS recording was considered technically “satisfactory” if the three parameters were present. Otherwise, if the GPS recordings were unsatisfactory, a new GPS box was mailed to the patient (attempt No. 2) that contained only the DG100 receiver and the GPS-specific questionnaire.

Finally, the descriptive parameters of community walking (*c_w*) retained for each technically satisfactory recording were as follows: (1) the total distance walked; (2) the total duration of the outdoor stroll; (3) the number of walking stops; (4) the HMD_{c_w} between two stops, because most patients had multiple stops and then multiple walking bouts (ie, multiple distances between two stops); (5) the average of the different walking speeds observed over each walking bout; and (6) the average duration of the stops between walking bouts.

Table II. Characteristics for the entire group of studied peripheral arterial disease (PAD) patients and for patients with technically satisfactory or unsatisfactory global position system (GPS) recordings

Variables	Studied patients ^a (N = 218)	Patients with technically satisfactory recordings ^a (n = 203)	Patients with technically unsatisfactory recordings ^a (n = 15)
Clinical characteristics			
Age, years	65 ± 10	65 ± 10	66 ± 10
Weight, kg	78 ± 14	78 ± 14	78 ± 20
Height, cm	169 ± 7	170 ± 7	169 ± 11
Waist circumference, cm	100 ± 13	100 ± 12	101 ± 18
Body mass index, kg/m ²	27.0 ± 4.4	27.1 ± 4.4	26.6 ± 4.7
Male sex	185 (85)	174 (86)	11 (73)
ABI	0.63 (0.50-0.76)	0.66 (0.50-0.76)	0.60 (0.50-0.69)
MWD _{self} , m	250 (150-400)	250 (150-400)	200 (200-300)
History of comorbidities			
Smoker (actual or former)	195 (89)	183 (90)	12 (80)
Coronary disease	29 (13)	26 (13)	3 (20)
Stroke	2 (1)	1 (0.5)	1 (7)
Chronic bronchitis	5 (2)	5 (2)	0
Hypertension	127 (58)	119 (59)	8 (53)
Cancer	12 (6)	12 (6)	0
Sleep apnea	5 (2)	5 (2)	0
Hypercholesterolemia	153 (70)	146 (72)	7 (47)
Diabetes	58 (27)	56 (28)	2 (13)
History of lower limb vascular surgery	79 (37)	76 (38)	1 (20)
Current medications			
Anticholesterol	142 (65)	135 (67)	7 (47)
Antidiabetic	41 (19)	40 (20)	1 (7)
Antihypertensive	169 (78)	160 (79)	9 (60)
β-blocker	14 (6)	13 (6)	1 (7)
Antiplatelet	178 (82)	168 (83)	10 (67)
Anticoagulant	13 (6)	12 (6)	1 (7)
Questionnaires			
SF-36			
Physical functioning	50 (38-65)	50 (40-70)	45 (27-60)
Role-physical	50 (0-75)	50 (0-75)	50 (0-87)
Bodily pain	41 (31-51)	41 (32-51)	41 (22-41)
General health	50 (36-62)	50 (35-62)	42 (40-61)
Vitality	45 (30-55)	45 (30-55)	40 (20-45)
Social functioning	62.5 (50-87)	62.5 (50-87)	62.5 (50-75)
Role-emotional	66.7 (0-100)	66.7 (0-100)	66.7 (0-83.3)
Mental health	64.0 (48-76)	64.0 (51-76)	56 (32.0-66.5) ^b
PASE score	98 (60-147)	96 (60-148)	118 (71-149)
WIQ subscales			
Distance	35 (25-54)	35 (25-55)	29 (14-46)
Speed	32 (22-47)	33 (22-50)	25 (15-33)
Stairs	42 (21-67)	42 (25-67)	29 (19-52)

ABI, Ankle-brachial index; MWD_{self}, self-reported maximal walking distance; PASE, Physical Activity Scale for the Elderly; SF-36, Medical Outcome Study Short-Form 36-Item Health Survey; WIQ, Walking Impairment Questionnaire.

^aSome data points are missing for some parameters; thus, the percentage could not be calculated based on the total number of patients. Results for continuous data are shown as mean ± standard deviation or median (interquartile range) and for categorical data as number (%), according to distribution.

^bP < .05, indicating a significant difference between patients with a technically satisfactory GPS recording and those with a technically unsatisfactory GPS recording.

We aimed to account for the fact that the last stop after the final walking bout might have corresponded to the end of the walk and not necessarily to a stop induced by pain. Thus, the last walking bout was removed from the analysis unless the walking distance performed during this last bout was greater than any of the previously observed distances for the patient.

Statistical analysis

The normality of the distribution was first assessed for variables of interest using the Shapiro-Wilk test. Data for continuous variables are expressed as the mean ± standard

deviation for normally distributed variables or as the median (interquartile range) for non-normally distributed variables. Data for categorical variables are expressed as a number (percentage). Accordingly, for continuous variables, between-group differences (patients with technically satisfactory recordings vs those with technically unsatisfactory recordings) were compared using two sample *t*-tests (normally distributed variables) or a Mann-Whitney *U* test (non-normally distributed variables). For categorical variables, a χ^2 test was used to assess the between-group differences. When appropriate, a Fisher exact test was used instead of the χ^2 test. For all statistical tests, a two-tailed probability

level of $P < .05$ was used to indicate significance. SPSS 17.0.0 software (SPSS Inc, Chicago Ill; 2008) was used for all statistical analyses.

Sample size calculation

The primary purpose was to determine GPS applicability based on predefined criteria (as previously noted). The sample size calculation was based on a sufficient accuracy for estimating the percentage of records analyzed. By estimating the percentage of records analyzed equal to 95% with a confidence interval (CI) of 90%, a minimum of 206 records provides an absolute accuracy of 2.5% on the percentage of records analyzed with an α risk of 5%. The study was designed to include ~250 patients, assuming that up to ~15% of the included patients would be excluded.

RESULTS

Population description. The study included 251 patients; of these, 33 were excluded for personal or medical reasons (Fig 1). Therefore, we studied 218 patients. Studied and recorded parameters for these patients are presented in Table II.

Technical issues. Considering only attempt No. 1, 185 of the 218 GPS recordings (84.9%; 95% CI, 80.2%-89.7%) were technically satisfactory. The main reasons for unsatisfactory GPS recordings are detailed in Fig 1. The absence of data on the GPS recording was the cause of 52% of the unsatisfactory recordings. A high number of unsatisfactory recordings were explained by the inappropriate location of the walk in a potentially obstructed environment or by a GPS device with insufficient battery power, or both. Among the 33 patients with an unsatisfactory recording after attempt No. 1, 20 agreed to perform a second stroll (attempt No. 2). In 18 of these 20 patients, this second measurement was technically satisfactory.

As a result, we obtained 203 technically satisfactory recordings from the 218 studied patients (93.1%; 95% CI, 89.9%-96.5%). There were no differences between patients with satisfactory and unsatisfactory recordings, except for the mental health dimension of the SF-36 questionnaire ($P < .026$; Table II).

GPS results. Table III reports the GPS results for the 203 patients with technically satisfactory GPS recordings. The average stroll duration was consistent with the recommended duration described at inclusion. Although all included patients had a MWD_{SR} of ≤ 500 m, 18 participants did not stop during the stroll, with total walked distances ranging from 2203 m to 5945 m. The distribution of HMD_{CW} was not Gaussian but rather followed a log-normal type distribution (Fig 2, upper panel). The median HMD_{CW} was more than two-times higher than the MWD_{SR} ($P < .001$). The correlation between MWD_{SR} and HMD_{CW} was weak but significant (Spearman $r = 0.35$; $P < .001$).

The GPS recordings showed that 124 patients (61%) had 1 to 10 stops, and 19 had ≥ 20 stops. The walking pace for 88% of patients ranged from 2.5 to 4.5 km/h

Table III. Global positioning system (GPS) results among the 203 participants with technically satisfactory recordings after attempt No. 1 and attempt No. 2

GPS parameters	Median (interquartile range)
Total distance walked during the stroll, m	2982 (2419-3622)
Whole stroll duration, minutes ^a	61.4 (58-66)
Stops per patient, No. ^b	7 (3-11)
HMD between two stops, m	678 (381-1333)
Mean walking speed, km/h	3.6 (3.1-3.9)
Mean stop duration, minutes ^b	1.3 (0.6-2.2)

HMD, Highest measured distance.

^aExcludes the initial and final resting periods.

^bCalculated for patients with at least one stop.

(Fig 2, middle panel). Interestingly, the mean of the individual coefficients of variation of walking speed was $7\% \pm 4\%$, confirming that the walking speed of each patient was generally stable throughout the stroll. Last, in all but one individual who had to stop during the stroll, the mean duration of the stops was < 10 minutes (Fig 2, lower panel).

Table IV presents the results of the correlation matrix performed between GPS parameters of walking ability and the clinical questionnaire scores. Most of these GPS parameters were significantly correlated with the WIQ subscales ($P < .05$), except the entire duration of the stroll and the mean stop duration. The GPS-derived parameters also correlated with several dimensions of the SF-36, and tended to be higher for HMD_{CW} . In contrast, the PASE score only correlated with the mean GPS walking speed and the total distance walked during the stroll. It is important to note that in all cases the Spearman r coefficients remained weak and never exceeded 0.55.

GPS-specific questionnaire. Among the 203 patients with technically satisfactory recordings (attempts 1 and 2), 95% reported that they experienced their usual symptoms during the 1-hour stroll. The patients reported a median (IQR) number of six stops (3; 10 stops), and 16 patients noted that they stopped at least once due to events unrelated to limb pain. There was a high Spearman r coefficient between the number of stops reported by the patients and the number of stops measured by the GPS device ($r = 0.87$; $P < .001$). However, the difference between the number of stops reported and the number of stops measured with GPS was significant ($P < .01$). The mean difference between the number of stops measured by GPS and the number of stops reported by the patients was two, and the typical error of the estimate (standard deviation of the individual differences) was four.

Finally, Table V presents the difficulties reported by the 218 patients in following the study protocol. Most patients (83%) reported that it was easy to very easy to "organize the walk," "find an appropriate flat area," and "start the GPS device" (Table V). In contrast, half of the patients reported that it was difficult to "have a regular walking pace."

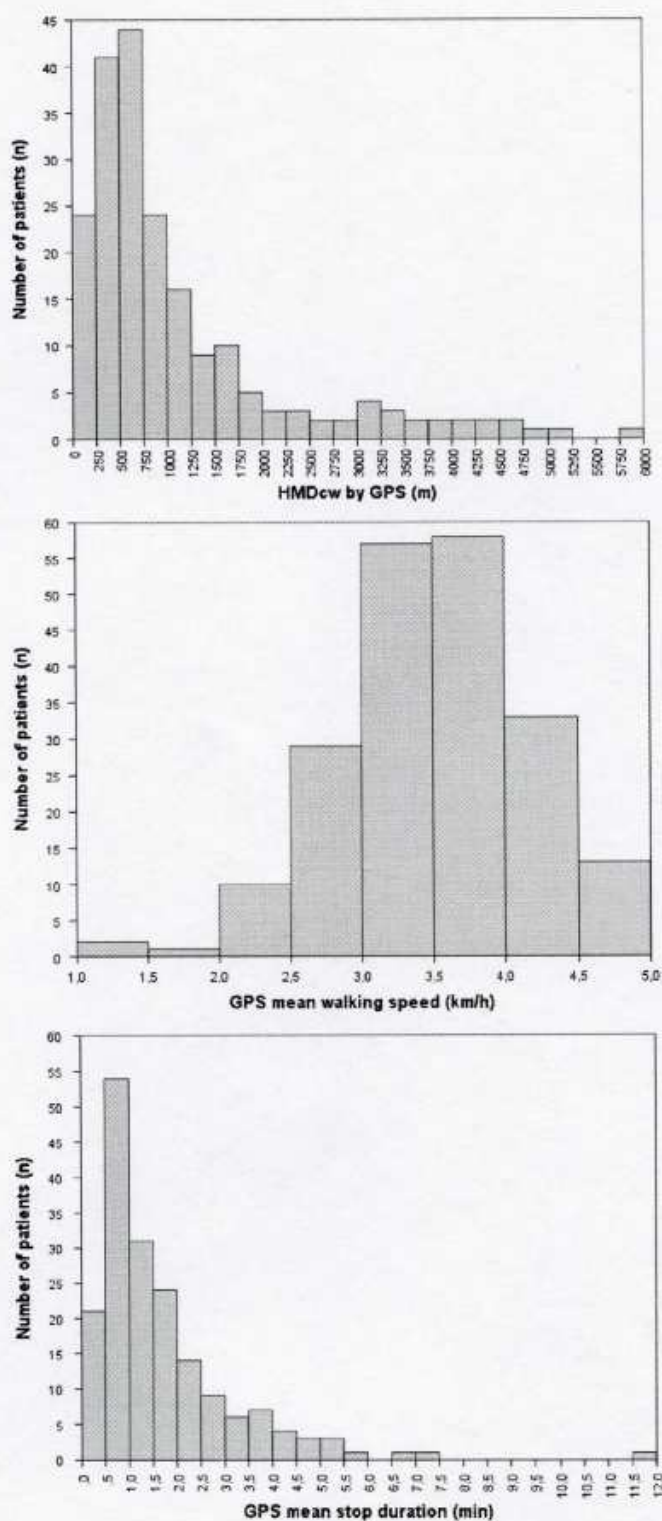


Fig 2. Results are shown for (upper panel) highest measured distance during community walking (HMD_{cw}) between two stops, (middle panel) mean walking speed, and (lower panel) mean duration of stops between two walking periods among the 203 patients with technically satisfactory recordings. *GPS*, Global positioning system.

Table IV. Matrix correlation shows the Spearman rank correlation coefficients between global positioning system (GPS) parameters and clinical questionnaire scores for study patients (n = 203)

Variable	WIQ subscale scores					SF-36 domain scores						
	PASE score	Distance	Speed	Stairs	PF	RP	BP	GH	VT	SF	RE	MH
Whole duration	0.12 (.17)	-0.01 (.86)	-0.02 (.78)	-0.11 (.14)	-0.03 (.63)	0.04 (.55)	-0.02 (.73)	0.154 (.03)	0.06 (.44)	0.03 (.72)	0.07 (.31)	0.03 (.65)
Total walked distance	0.20 (.02)	0.36 (< .01)	0.37 (< .01)	0.25 (< .01)	0.25 (< .01)	0.25 (< .01)	0.14 (.05)	0.11 (.11)	0.22 (< .01)	0.08 (.27)	0.23 (< .01)	0.09 (.20)
Number of stops	-0.04 (.61)	-0.42 (< .01)	-0.32 (< .01)	-0.23 (< .01)	-0.34 (< .01)	-0.27 (< .01)	-0.23 (< .01)	0.02 (.78)	-0.11 (.14)	-0.06 (.43)	-0.16 (.03)	-0.06 (.40)
HMD _{CW}	0.12 (.16)	0.54 (< .01)	0.46 (< .01)	0.33 (< .01)	0.37 (< .01)	0.30 (< .01)	0.23 (< .01)	0.03 (.71)	0.13 (.06)	0.05 (.47)	0.17 (.02)	0.04 (.58)
Mean walking speed	0.17 (.04)	0.19 (.01)	0.31 (< .01)	0.21 (.01)	0.18 (.01)	0.19 (.01)	0.07 (.30)	0.05 (.50)	0.18 (.01)	0.03 (.64)	0.24 (< .01)	0.10 (.16)
Mean stop duration	-0.15 (.10)	-0.10 (.23)	-0.01 (.89)	-0.06 (.46)	0.01 (.87)	0.11 (.16)	0.05 (.51)	0.02 (.78)	-0.04 (.61)	0.02 (.81)	0.10 (.20)	0.10 (.18)

BP, Bodily pain; GH, general health; HMD_{CW}, highest measured walking distance during community walking; MH, mental health; PASE, Physical Activity Scale for the Elderly; PF, physical functioning; RE, role-emotional; RP, role-physical; SF, social functioning; SF-36, Medical Outcome Study Short-Form 36-Item Health Survey; VT, vitality; WIQ, Walking Impairment Questionnaire. Numbers in parentheses represent P values.

Table V. Practical feasibility for the patients to perform the outdoor global positioning system (GPS) walk (n = 218)

Task	No answer, No.	Level of difficulty			
		Very difficult, No. (%)	Rather difficult, No. (%)	Rather easy, No. (%)	Very easy, No. (%)
Organize the walk	11	5 (2)	29 (14)	106 (51)	67 (32)
Find an appropriate flat area	9	2 (1)	22 (11)	99 (47)	86 (41)
Start the GPS device	7	4 (2)	20 (9)	79 (37)	108 (51)
Maintain a regular walking pace	9	7 (3)	110 (53)	78 (37)	14 (7)
Stroll for a minimum of 1 hour	8	64 (30)	99 (47)	42 (20)	5 (2)

Values in parentheses are percentages of available answers.

Finally, to “stroll for a minimum of 1 h” was considered the most difficult instruction to follow.

DISCUSSION

To the best of our knowledge, this is the first large, multicenter, prospective study to address the clinical applicability of a community-based GPS assessment of walking ability in PAD patients. Furthermore, we provide original data on community-based parameters related to walking ability in a large sample.

Applicability of the GPS technique. Unlike previous works,^{9,10,21} the original points of this study are:

- The assessment of a large sample of patients;
- The walking area was not predefined and was chosen by the patients, provided that it reasonably fit some basic instructions; and
- The patients switched on the GPS device.

The observed percentage of technically satisfactory recordings was high because we used a relatively simple, commercially available GPS device, although 15% of our patients required a second attempt to achieve this high percentage. Many unsatisfactory recordings were apparently due to dead batteries in the GPS device. The battery life of the DG100 when turned on had been estimated at 17 hours.³³ These unsatisfactory recordings were probably

explained by an insufficient battery life whereas the DG100 was turned off. A specifically designed GPS device with simple technological enhancements could possibly address such a limitation.

GPS-derived parameters on walking ability. As previously underscored, most of the walking parameters that can be analyzed from GPS recordings are hardly accessible through the gold standard treadmill testing procedure, among which are HMD_{CW}, self-selected walking speed, and stop durations.¹⁰ The present study found HMD_{CW} was correlated with but was two-times to three-times higher than MWD_{SR} as observed in our previous studies.^{9,10,21}

In addition, HMD_{CW} was correlated with several dimensions assessed by the SF-36, which has never been reported before. As an indicator of walking ability in PAD patients, HMD_{CW} is more objective than MWD_{SR} and more accessible than MWD measured on a treadmill. Promising applications for the GPS technique include using HMD_{CW} to study the natural evolution of walking ability or to prescribe and control home-based walking programs.

Using the GPS technology, we were able to assess self-selected walking speed, one important determinant of walking intensity that is used to evaluate the level of ischemia induced by walking in PAD.³⁴ Walking speed in patients with PAD is traditionally assessed in the laboratory

using the 4-m walking test or from self-report.^{1,2,35,36} Our results showed that the mean free-living walking speed was 3.6 km/h and ranged from 2.5 to 4.5 km/h for 88% of PAD patients. Future analyses should address whether individual walking speed changes in the long-term evolution of PAD patients.

Another important determinant of walking intensity is the incline. The latter can be computed from GPS altitude measurements, which is of interest to fully understand community-based walking ability determinants in PAD patients. Patients in the present study were recommended to avoid nonflat areas. Then, adjustment for grade was not necessary.

Finally, although we did not measure the time to pain disappearance but the time to restart of walking, most patients had a stop duration between two walking bouts of <10 minutes, which is consistent with the definition proposed by Rose almost 50 years ago.³⁷ To the best of our knowledge, this time to restart walking had never been confirmed through an experimental or from a community-based assessment. The stop duration between two walking bouts limited by usual symptoms is likely an important predictor of community-based walking ability,¹¹ and future studies should address this issue.

Practical acceptability estimated by the patients.

The patients who performed the GPS stroll reported that the practical acceptability was very easy to rather easy, except for the recommendations to "have a regular walking pace" and "stroll for one hour." Physical activity is related to PAD severity³⁸, thus, the reported difficulty to stroll for 1 hour may be of clinical interest. To increase the acceptability of the test, a shorter stroll time may be required. The resulting issue will be to determine the optimal walking time that is sufficient to provide valid data on walking ability. This issue has been previously addressed for laboratory treadmill testing.³⁹ Considering the log-normal distribution of HMD_{CW} observed in the present study, the entire stroll could likely be shortened to ~30 to 40 minutes (~2000 m) because 85% of patients had a HMD_{CW} of <2000 m in the present study.

Study limitations. First, from an "intention to treat" approach, we only obtained clinical information on walking ability for 203 of the 251 PAD patients (81%) who were initially included. The length of the clinical questionnaires to complete before the walk and inherent constraints of clinical protocols may have led to a high number of exclusions and technically unsuccessful recordings.

Second, we only included PAD patients with vascular-type intermittent claudication in the present study. An evaluation of the clinical applicability and interest in the GPS technique among PAD patients with other symptoms (eg, asymptomatic, atypical leg pain) should be further investigated.

Third, the advantages and limits of GPS measurement compared with other techniques have been previously addressed.^{11,13,32} Using accelerometers, Yang et al⁴⁰ found that data complied with predefined quality criteria for 87%

of the recordings collected (only 22% without reminders), which is close to the results observed in the present study using GPS. Strict recommendations to avoid obstructed environments resulted in a high rate of satisfactory recordings. This success rate may be due to our coordinating center being in the west of France, a relatively low-built density and flat area (Appendix B, online only). Results might be different in other countries.

CONCLUSIONS

This is the first study to evaluate the clinical applicability of a GPS-monitored community-based assessment of walking ability in patients with intermittent claudication. The GPS technique may facilitate objective, community-based walking ability assessment and improve PAD management in the future, for instance by adequately monitoring home-based walking programs.

We are indebted to Nafi Ouedraogo, MD, PhD, Johann Marchand, MD, Jean-Marie Chrétien, DRCi, (Methodology/Biostatistic/Data Management Unit), Yoanna Onillon, Sigrid Giffon (UMR 6590, Angers), and Thomas Sauvaget for their technical assistance.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Conception and design: PA, BN, GM, AL
Analysis and interpretation: MG, PA, GM, AL
Data collection: MG, AL
Writing the article: PA, AL
Critical revision of the article: MG, PA, BN, GM, AL
Final approval of the article: MG, PA, BN, GM, AL
Statistical analysis: MG, PA, AL
Obtained funding: PA, BN, AL
Overall responsibility: PA
MG and AL participated equally and share first authorship.

REFERENCES

- McDermott MM, Liu K, Greenland P, Guralnik JM, Criqui MH, Chan C, et al. Functional decline in peripheral arterial disease: associations with the ankle brachial index and leg symptoms. *JAMA* 2004;292:453-61.
- McDermott MM, Liu K, Ferrucci L, Tian L, Guralnik JM, Liao Y, et al. Decline in functional performance predicts later increased mobility loss and mortality in peripheral arterial disease. *J Am Coll Cardiol* 2011;57:962-70.
- Dormandy JA, Rutherford RB. Management of peripheral arterial disease (PAD). TASC Working Group. TransAtlantic Inter-Society Consensus (TASC). *J Vasc Surg* 2000;31:81-296.
- Frans FA, Zegers MB, Jans S, Bipat S, Beekers JA, Kooleman MJ. The relationship of walking distances estimated by the patient, on the corridor and on a treadmill, and the Walking Impairment Questionnaire in intermittent claudication. *J Vasc Surg* 2013;57:720-7.e1.
- Fakhr E, van de Luitgaarden KM, Bax L, den Hoed PT, Hunink MG, Rouwet EV, et al. Supervised walking therapy in patients with intermittent claudication. *J Vasc Surg* 2012;56:1132-42.
- Watson CJ, Phillips D, Hands L, Gollin J. Claudication distance is poorly estimated and inappropriately measured. *Br J Surg* 1997;84:1107-9.
- Barletta G, Perna S, Sabba C, Caralano A, O'Boyle C, Bresetti G. Quality of life in patients with intermittent claudication: relationship with laboratory exercise performance. *Vasc Med* 1996;1:3-7.

8. Wolosker N, Ritti-Dias RM, Camara LC, Garcia YM, Jacob-Filho W, Puech-Leao P. Treadmill test is limited in elderly patients with peripheral arterial disease. *Vasa* 2010;39:237-41.
9. Le Faucheur A, Abraham P, Jaquinandi V, Bourye P, Saumet JL, Noury-Desvaux B. Measurement of walking distance and speed in patients with peripheral arterial disease: a novel method using a global positioning system. *Circulation* 2008;117:897-904.
10. Le Faucheur A, Noury-Desvaux B, Mahe G, Sauvaget T, Saumet JL, Leftheriotis G, et al. Variability and short-term determinants of walking capacity in patients with intermittent claudication. *J Vasc Surg* 2010;51:886-92.
11. Le Faucheur A, Abraham P, Jaquinandi V, Bourye P, Saumet JL, Noury-Desvaux B. Study of human outdoor walking with a low-cost GPS and simple spreadsheet analysis. *Med Sci Sports Exerc* 2007;39:1570-8.
12. Noury-Desvaux B, Abraham P, Mahe G, Sauvaget T, Leftheriotis G, Le Faucheur A. The accuracy of a simple, low-cost GPS data logger/receiver to study outdoor human walking in view of health and clinical studies. *PLoS One* 2011;6:e25027.
13. Abraham P, Noury-Desvaux B, Gernigon M, Mahe G, Sauvaget T, Leftheriotis G, et al. The inter- and intra-unit variability of a low-cost GPS data logger/receiver to study human outdoor walking in view of health and clinical studies. *PLoS One* 2012;7:e31338.
14. Hetinga M, De Boer J, Goldberg E, Moelaert F. Navigation for people with mild dementia. *Stud Health Technol Inform* 2009;150:428-32.
15. Landau R, Auslander GK, Werner S, Shoval N, Heiuk J. Who should make the decision on the use of GPS for people with dementia? *Aging Ment Health* 2011;15:78-84.
16. Wevers LE, Kwakkel G, van de Port IG. Is outdoor use of the six-minute walk test with a global positioning system in stroke patients' own neighbourhoods reproducible and valid? *J Rehabil Med* 2011;43:1027-31.
17. Evans CC, Hanke TA, Zaelke D, Keller S, Rucocede K. Monitoring community mobility with global positioning system technology after a stroke: a case study. *J Neurol Phys Ther* 2012;36:68-78.
18. Theou O, Jakobi JM, Vandervoort AA, Jones GR. A comparison of physical activity (PA) assessment tools across levels of frailty. *Arch Gerontol Geriatr* 2012;54:e307-14.
19. Roland KP, Cornett K, Theou O, Jakobi JM, Jones GR. Physical activity across frailty phenotypes in females with Parkinson's disease. *J Aging Res* 2012;2012:468156.
20. Le Faucheur A, Noury-Desvaux B, Abraham P. Using global positioning system to assess walking capacity. *Spine (Phila Pa 1976)* 2011;36:2101.
21. Tew G, Copeland R, Le Faucheur A, Gernigon M, Nawaz S, Abraham P. Feasibility and validity of self-reported walking capacity in patients with intermittent claudication. *J Vasc Surg* 2013;57:1227-34.
22. Bazzilay Y, Noum S, Meir L, Gail A, Amit B, Michal I, et al. Assessing the outcomes of spine surgery using global positioning systems. *Spine (Phila Pa 1976)* 2011;36:E263-7.
23. Norgren L, Hiatt WR, Dormandy JA, Nehler MR, Harris KA, Fowkes FG, et al. Inter-Society Consensus for the Management of Peripheral Arterial Disease (TASC II). *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2007;33(Suppl 1):S1-75.
24. Lacroix P, Abovian V, Boissier C, Bressollette L, Leger P. Validation of a French translation of the Edinburgh claudication questionnaire among general practitioners' patients [article in French]. *Arch Mal Coeur Vais* 2002;95:596-600.
25. Leng GC, Fowkes FG. The Edinburgh Claudication Questionnaire: an improved version of the WHO/Rose Questionnaire for use in epidemiological surveys. *J Clin Epidemiol* 1992;45:1101-9.
26. Leplege A, Ecossu E, Verdier A, Perneger TV. The French SF-36 Health Survey: translation, cultural adaptation and preliminary psychometric evaluation. *J Clin Epidemiol* 1998;51:1013-23.
27. Washburn RA, Smith KW, Jette AM, Janney CA. The Physical Activity Scale for the Elderly (PASE): development and evaluation. *J Clin Epidemiol* 1993;46:153-62.
28. McDermott MM, Liu K, Guralnik JM, Martin GJ, Criqui MH, Greenland P. Measurement of walking endurance and walking velocity with questionnaire: validation of the walking impairment questionnaire in men and women with peripheral arterial disease. *J Vasc Surg* 1998;28:1072-81.
29. Hiatt WR, Hirsch AT, Regensteiner IG, Brass EP. Clinical trials for claudication. Assessment of exercise performance, functional status, and clinical end points. *Vascular Clinical Trials*. *Circulation* 1995;92:614-21.
30. Terrier P, Laderro Q, Merminod B, Schutz Y. High-precision satellite positioning system as a new tool to study the biomechanics of human locomotion. *J Biomech* 2000;33:1717-22.
31. Terrier P, Schutz Y. How useful is satellite positioning system (GPS) to track gait parameters? A review. *J Neuroeng Rehabil* 2005;2:28.
32. Maddison R, Ni Mhurchu C. Global positioning system: a new opportunity in physical activity measurement. *Int J Behav Nutr Phys Act* 2009;6:73.
33. Wu J, Jiang C, Liu Z, Houston D, James G, McConnell R. Performances of different global positioning system devices for time-location tracking in air pollution epidemiological studies. *Environ Health Insights* 2010;4:93-108.
34. Gardner AW, Skinner JS, Vaughan NR, Bryant CX, Smith LK. Comparison of treadmill walking and stair climbing over a range of exercise intensities in peripheral vascular occlusive disease. *Angiology* 1993;44:353-60.
35. McDermott MM, Liu K, Ferrucci L, Tian L, Guralnik JM, Liao Y, et al. Greater sedentary hours and slower walking speed outside the home predict faster declines in functioning and adverse calf muscle changes in peripheral arterial disease. *J Am Coll Cardiol* 2013;57:2350-64.
36. McDermott MM, Tian L, Liu K, Guralnik JM, Ferrucci L, Tan J, et al. Prognostic value of fractional performance for mortality in patients with peripheral artery disease. *J Am Coll Cardiol* 2008;51:1482-9.
37. Rose GA. The diagnosis of ischaemic heart pain and intermittent claudication in field surveys. *Bull World Health Organ* 1962;27:645-58.
38. Sieminski DJ, Gardner AW. The relationship between free-living daily physical activity and the severity of peripheral arterial occlusive disease. *Vasc Med* 1997;2:286-91.
39. Mahe G, Abraham P, Zecany M, Bruncau A, Vielle B, Leftheriotis G. Objective determination of the predefined duration of a constant-load diagnostic tests in arterial claudication. *J Vasc Surg* 2010;51:868-8.
40. Yang L, Griffin S, Chapman C, Ogilvie D. The feasibility of rapid baseline objective physical activity measurement in a natural experimental study of a commuting population. *BMC Public Health* 2012;12:841.

Submitted Mar 7, 2014; accepted Apr 16, 2014.

Additional material for this article may be found online at www.jvascsurg.org.

**APPENDIX A (online only). Post-GPS Study
Coinvestigators Group**

The Post-GPS Study Coinvestigators are the following physicians (alphabetic order): Hélène Aesch-Silvy, MD, Philippe Berlic, MD, Marie Buard, MD, Philippe Chaillou, MD, Alain Costargent, MD, Michel Davinroy, MD, Isabelle Debouvry, MD, Sonia Dulong, MD, Thierry Dutartre, MD, Dominique Eveno, MD, Dominique Fradin, MD, Vincent Jaquinandi, MD, Eric Jouen, MD, Yann Jousset, MD, Cédric Landron, MD, Jean-Pierre Lumineau, MD, Sophie Masson, MD, Nicolas Matelot, MD, Bertrand Merceron, MD, Patrick Moreau, MD, Laurent Muller, MD, Michel Peret, MD, Jean-Dominique Pegis, MD, Arnaud Perrouillet, MD, Michel Philippot, MD, Olivier Regnard, MD, Hugues Tavel, MD, Jean-Marie Tatibouet, MD, and Carine Voyer, MD.

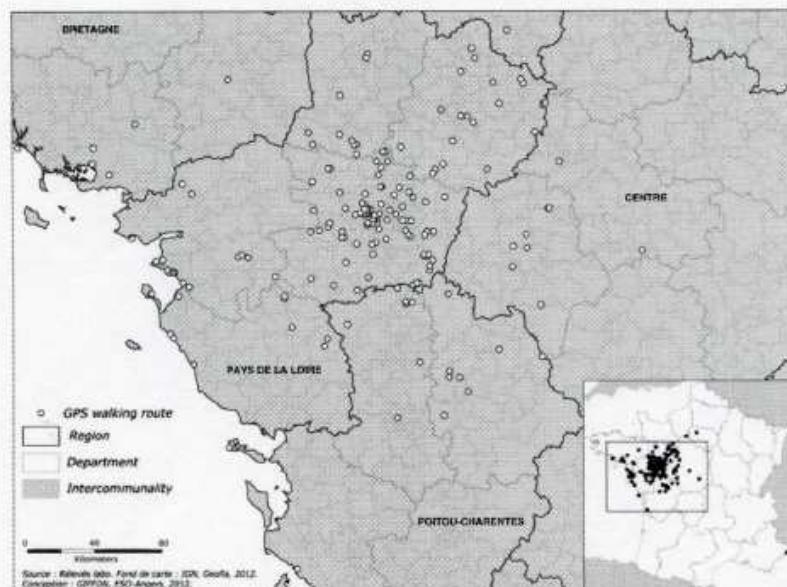
APPENDIX B (online only). Instructions for the outdoor global positioning system (GPS) recordings and location of the strolls performed with a GPS

Instructions for the outdoor GPS recording. Each DG100 GPS data logger (GlobalSat Technology Corp, New Taipei City, Taiwan) was protected by a sealed, plastic, transparent pocket with the external antenna fixed to

the top of the pocket shoulder strap. Only the start button and the status light-emitting diodes (LEDs) were accessible to the patients.

A short, plastic-protected notice was given to the patient to remind him or her of how the GPS should be used and the main recommendations for the stroll. In brief, the patients were recommended to find a place relatively close to their home where they could walk outdoors in a flat area that was free from motorized vehicle traffic, buildings, and compact trees (Supplementary Fig, online only). They were instructed to start the GPS device when they arrived at the chosen place, check that the GPS position was fixed (flashing green GPS status LED), and wait an additional 10 minutes before starting. The aim of this waiting period was to allow the GPS device to synchronize with a sufficient number of satellites. Another aim was to limit the risk of eventual previous walk over the recording.

Thereafter, patients were instructed to walk at a self-selected pace and to stop only for lower limb pain if necessary. There was no time limit for the stop durations. We insisted that the goal was not to walk slowly for 1 hour but to walk at a self-selected, "normal" walking pace and stop as often as necessary. At the end of the stroll, the participants were asked to wait at the same spot, if possible, for 2 minutes.



Supplementary Fig (online only). Location of the strolls performed with the global positioning system (GPS). Legend: One point represents one patient.

e) **Deuxième article. Utilisation du GPS dans l'évaluation des limitations à la marche suite à une revascularisation : Une étude prospective multicentrique avec six mois de suivi chez des patients artériopathes claudicants.**

📄 Article sous presse : Manuscript Number MD-D-15-00136R1

Global positioning system (GPS) use in the community to evaluate improvements in walking after revascularization: A prospective multicenter study with six-month follow-up in patients with peripheral arterial disease.

Gernigon, M., Le Faucheur, A., Fradin, D., Noury-Desvaux, B., Landron, C., Mahé, G. Abraham, P.
Medicine.

La première partie de l'étude post-GPS a révélé que le GPS permet une utilisation en routine clinique. Cependant, aucune étude à ce jour n'a porté sur l'évolution des paramètres de la marche (e.g., vitesse de marche moyenne, temps d'arrêt, etc.) des patients artériopathes claudicants avant et après une revascularisation. Aussi, l'objet de la deuxième partie de l'étude de post-GPS est de comparer l'évolution des paramètres de marche mesurés avec le GPS et le WIQ avant et après une revascularisation. La première hypothèse est que, contrairement aux patients qui n'ont pas bénéficié de modification de traitement, les patients revascularisés améliorent à la fois leur vitesse de marche moyenne et leur DMM_{GPS} . La deuxième hypothèse est que le GPS est plus performant que le WIQ dans l'évaluation des limitations à la marche

Matériel et Méthodes. Les patients, ayant complété la première partie de l'étude avec un enregistrement GPS satisfaisant et une DMM_{GPS} inférieure à 2000m, ont été contactés par téléphone pour se voir proposer une seconde marche (M2) six mois après la première (M1). La procédure a suivi le même schéma expérimental mis à part le fait que le patient n'avait pas besoin de consulter à nouveau son médecin ou chirurgien puisque le GPS avec les questionnaires, la feuille de recommandations et l'enveloppe pré-affranchie étaient envoyés par voie postale au domicile du patient.

Suite à l'analyse des questionnaires, deux groupes de patients ont été étudiés : un groupe revascularisé et un groupe témoin (i.e., ne justifiant pas d'une modification de traitement ou de prise en charge). Afin de confirmer le type de prise en charge dont le patient a bénéficié, les médecins investigateurs ou médecins traitant ont été contactés par téléphone, courriels ou fax.

Résultats principaux. Parmi les 251 patients initialement inclus, 172 présentaient une limitation à la marche ($DMM_{GPS} < 2000m$) et étaient donc éligibles à la deuxième partie de l'étude. Toutefois, 168 ont été exclus essentiellement parce qu'ils ne souhaitent pas poursuivre l'étude ($n = 33$) ou présentaient des modifications de leur prise en charge autre qu'une revascularisation ($n = 32$) e.g., modification du traitement, réhabilitation, arrêt tabac. Par conséquent, 115 patients ont été inclus dans la deuxième

partie de l'étude : 44 patients ayant bénéficié d'une revascularisation (24 angioplasties, 20 chirurgies) et 39 patients témoins (Figure 16).

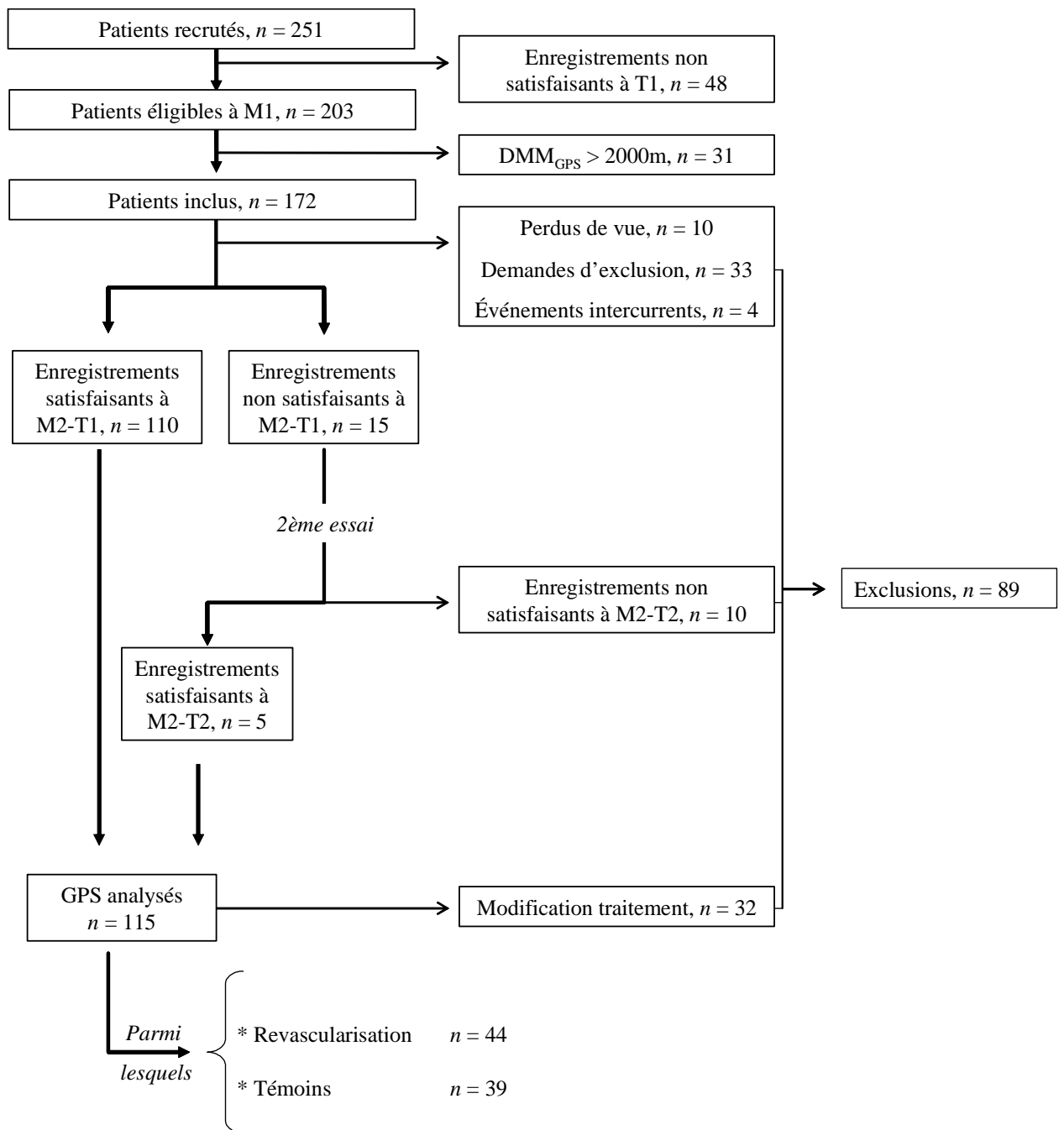


Figure 16 : Schéma organisationnel de l'étude POST-GPS M1 et M2

L'analyse des enregistrements GPS révèle qu'il existe une différence significative des résultats de l'évaluation des limitations à la marche entre le groupe revascularisé et le groupe témoin. En effet, le groupe revascularisé améliore sa DMM_{GPS} (+442 vs +13 m) et/ou leur vitesse moyenne de marche (+0,3 vs -0,2 km.h⁻¹) et diminue le temps d'arrêt moyen (-0,81 vs -0,26 min). De plus, il existe des

différences intragroupes. En effet, 29,5 % des patients revascularisés améliorent leur DMM_{GPS} et leur vitesse moyenne, 7 % n'améliorent que leur DMM_{GPS} , 29,5 % améliorent leur vitesse moyenne sans améliorer leur DMM_{GPS} et 34 % des patients ne présentent pas de différence significative entre M1 et M2 pour la DMM_{GPS} et la vitesse moyenne réalisée pendant l'heure de marche. Les paramètres de distance et de vitesse évalués par le WIQ ($WIQ_{distance}$ et $WIQ_{vitesse}$) ne sont pas corrélés aux mesures de distance et vitesse obtenues par GPS. En effet, seul 5,5 % des patients améliorent les 2 échelles du WIQ, aucun ne présente d'amélioration exclusive du $WIQ_{distance}$, 27 % améliorent le score du $WIQ_{vitesse}$ et 67,5 % n'améliorent pas leurs deux scores. Enfin, il existe une différence significative entre les paramètres de distance et de vitesse évalués avec le WIQ et le GPS.

Discussion et Conclusion. La deuxième partie de l'étude Post-GPS montre que les patients ayant bénéficié d'une revascularisation améliorent leur DMM_{GPS} et/ou leur vitesse moyenne de marche et ont tendance à diminuer leur temps d'arrêt moyen. De plus, comparativement aux patients témoins, la moitié des patients revascularisés n'a amélioré que la vitesse moyenne de marche. Au regard de ce travail de thèse, le GPS représente une technologie innovante dans l'évaluation à la marche de patients artériopathes. De plus, il a été montré que le GPS est un outil valide et fiable pour mesurer l'activité physique à vitesse lente telle que le patron de marche ¹⁴⁰. Cependant, en plus des raisons de perturbations potentielles dans l'émission et la réception du signal, la fiabilité du GPS décroît en même temps que la vitesse du mouvement augmente et est altérée par de petits changements de direction qui engendrent des variations de vitesses ¹⁴⁰.

Du fait qu'ils soient légers, peu encombrants, non invasifs, et capables d'enregistrer des données sur de longues périodes, des études récentes se sont intéressées au couplage de plusieurs actimètres et ont montré qu'il était possible d'évaluer la dépense énergétique. En effet, Peterson *et al.* évaluent les variations de la fréquence cardiaque chez le golfeur, en fonction de sa localisation et le type de terrain par le couplage du GPS, de l'accéléromètre et du podomètre avec un cardiofréquencemètre ¹⁶⁶. Une étude Néo-zélandaise a cherché à quantifier la dépense énergétique par le couplage du GPS avec un accéléromètre, un système d'information géographique (en anglais, geographic information system - GIS) et un cardiofréquencemètre chez l'enfant ¹⁶⁷. Il a été montré que les enfants qui bougeaient le moins vite dépensaient moins d'énergie. Au regard de ces études, l'utilisation du GPS couplé à l'accélérométrie pourrait permettre une meilleure évaluation du patron de marche du patient artériopathe claudicant ainsi qu'une quantification précise de l'activité physique.

Global Positioning System Use in the Community to Evaluate Improvements in Walking After Revascularization

A Prospective Multicenter Study With 6-Month Follow-Up in Patients With Peripheral Arterial Disease

Marie Gernigon, Alexis Le Faucheur, Dominique Fradin, Bénédicte Noury-Desvaux, Cédric Landron, Guillaume Mahe, and Pierre Abraham

Abstract: Revascularization aims at improving walking ability in patients with arterial claudication. The highest measured distance between 2 stops (highest-MD_{CW}), the average walking speed (average-WS_{CW}), and the average stop duration (average-DS_{CW}) can be measured by global positioning system, but their evolution after revascularization is unknown.

We included 251 peripheral artery diseased patients with self-reported limiting claudication. The patients performed a 1-hour stroll, recorded by a global positioning system receiver. Patients (n = 172) with confirmed limitation (highest-MD_{CW} < 2000m) at inclusion were reevaluated after 6 months. Patients revascularized during the follow-up period were compared with reference patients (ie, with unchanged lifestyle medical or surgical status). Other patients (lost to follow-up or treatment change) were excluded (n = 89).

We studied 44 revascularized and 39 reference patients. Changes in highest-MD_{CW} (+442 vs. +13 m) and average-WS_{CW} (+0.3 vs. -0.2 km h⁻¹) were greater in revascularized than in reference patients (both *P* < 0.01). In contrast, no significant difference in average-DS_{CW} changes was found between the groups. Among the revascularized patients, 13 (29.5%) had a change in average-WS_{CW}, but not in highest-MD_{CW}, greater than the mean + 1 standard deviation of the change observed for reference patients.

Revascularization may improve highest-MD_{CW} and/or average-WS_{CW}. This first report of changes in community walking ability in revascularized patients suggests that, beyond measuring walking distances, average-WS_{CW} measurement is essential to monitor these

changes. Applicability to other surgical populations remains to be evaluated.

Registration: <http://www.clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT01141361>

(*Medicine* 94(18):e838)

Abbreviations: ABI = Ankle to brachial index, DS_{CW} = Stop Duration between walking bouts during Community Walking, GPS = Global Positioning System, MCII = Minimal clinically important improvement, MD_{CW} = Measured Distance in Community Walking between two symptom-limited stops. One patient may have multiple MD_{CW} in a 1 hour recording, MWD = Maximal Walking Distance, The absolute maximal distance walked before limb discomfort or pain forces the patient to stop, PAD = Peripheral Arterial disease, PASE = Physical Activity Scale for the Elderly, WIQ = Walking Impairment Questionnaire, WS_{CW} = Walking Speed During Community Walking: Mean walking speed between two stops during community walking.

INTRODUCTION

Patients with intermittent claudication resulting from lower-extremity peripheral artery disease (PAD) report impaired walking ability, as can also do patients with lumbar spinal stenosis, lower-limb neuropathy or certain musculoskeletal conditions.^{1,2} In claudication, the maximal walking distance (MWD) is defined by the distance covered before limb discomfort or pain forces the patient to stop walking. The MWD can be self-reported based on history (self-reported MWD) and estimated with questionnaires. In PAD, limitation can be subjectively estimated using the Walking Impairment Questionnaire (WIQ)^{3,4} or objectively assessed on a treadmill (MWD-on-treadmill).⁵ MWD-on-treadmill is the major outcome measure used to assess the effect of treatments on PAD patients with intermittent claudication.⁶⁻⁸ Previous studies have shown that walking impairment can be assessed in PAD patients using global positioning system (GPS) recorders.^{5,9-11} Interestingly, this technique allows for the measurement of the "highest measured distance between 2 stops during community walking" (highest-MD_{CW}), a parameter that correlates with measurements of MWD-on-treadmill⁵ and with self-reported MWD.¹² However, the GPS-measured distance is 3 to 4 times greater than the self-reported distance or the distance measured on a treadmill. Furthermore, parameters other than highest-MD_{CW}, which are difficult to measure in the laboratory and are associated with walking impairment in PAD patients, can be analyzed with GPS.¹¹ Among these parameters are the average walking speed (average-WS_{CW}) of all walking bouts and the average duration of stops (average-DS_{CW}) between 2 bouts of

Editor: Miguel Camafort-Babkowski.

Received: January 15, 2015; revised: April 7, 2015; accepted: April 10, 2015.

From the Laboratory for Vascular Investigations, University Hospital (MG, PA); Laboratory of Physiology, CNRS, UMR6214; Inserm, U771; Medical School, University of Angers (MG, BN-D, PA); Movement, Sport and Health laboratory (M2S), EA 1274, UFR APS, University of Rennes, Rennes (ALF); Ecole normale supérieure de Rennes, Rennes (ENS Rennes); Department of Sports Science and Physical Education, Bruz (ALF); INSERM, Clinical Investigation Center (CIC 1414), Rennes (ALF, GM); Centre Hospitalier, Le Mans (DF, BN-D); IFEPSA, Apeoss (BN-D); Centre Hospitalier Universitaire, Poitiers (UL); and University Hospital of Rennes, Rennes, France (GM).

Correspondence: Pierre Abraham, Laboratory for Vascular Investigations, University Hospital, Angers Cedex 09, F-49033, France (e-mail: piabraham@chu-angers.fr).

This study was supported by a grant from the French Ministry of Health (PHRCR 2009-05; Eudract number: 2008-AO1244-51) and was funded in part by the GENESIA foundation. No conflicts of interest are declared.

Copyright © 2015 Wolters Kluwer Health, Inc. All rights reserved.

This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial License, where it is permissible to download, share and reproduce the work in any medium, provided it is properly cited. The work cannot be used commercially.

ISSN: 0025-7974

DOI: 10.1097/MD.0000000000000838

symptom-limited community walking.¹¹ The duration of a walking stop has been shown to be a major determinant of immediately forthcoming walking ability.¹⁰ However, to date, changes in highest-MD_{CW}, average-WS_{CW} and average-DS_{CW} have not been specifically studied in revascularized or reference patients (ie, an unchanged medical or surgical status).

We analyzed the following hypotheses: On average, highest-MD_{CW} and average-WS_{CW} would increase and average-DS_{CW} would decrease (for those patients who still had to stop) due to revascularization, whereas no change would be observed in the reference group; At the individual level, various walking strategies (ie, in walking speed and or in distance) would be observed among revascularized patients, with certain patients preferentially increasing their highest-MD_{CW} after revascularization, whereas other patients would preferentially increase their average-WS_{CW}. This point was of particular interest because if this hypothesis were true, the estimation of MWD alone with the usual tools could lead to underestimation of the functional benefit for those patients who increase their average-WS_{CW} rather than their highest-MD_{CW}; and WIQ-distance score changes and highest-MD_{CW} changes would be reasonably correlated together whereas a weaker correlation would be found between WIQ-speed score changes with average-WS_{CW} changes.

METHODS

The protocol was approved and monitored by the University Hospital of Angers (France) and performed according to the international ethics standards and the Declaration of Helsinki. The "Post-GPS" study was approved by the CPP-Ouest-II ethics committee and registered under the reference no. NCT01141361 (ClinicalTrials.gov). Twenty different physicians participated in the study (9 angiologists, 8 vascular surgeons, 2 cardiologists, and 1 rehabilitation physician). The present multi-center study is the second part of previously reported results on the applicability of GPS recording in clinical routine.¹¹

Inclusion Criteria

Patients fulfilling the inclusion criteria (Table 1) were invited to participate. Patients provided written consent after being provided with oral and written information about the protocol.

Procedures

We recorded the characteristics of each patient, including gender, age, stature, body weight, the ankle-to-brachial index (ABI; lowest right or left ABI, with ABI calculated as the highest ankle value divided by the highest arm pressure) and self-reported MWD. Thereafter, patients were provided clinical questionnaires that included specific items asking about their medical and surgical histories and ongoing medication, in addition to the Physical Activity Scale for the Elderly (PASE) questionnaire and the WIQ.^{3,4} Lastly, patients were given oral and written walking (Figure 1) and technical instructions as well as a GPS device to record a 1-hour outdoor stroll in the community. To avoid any confusion between the walking ability measured by the questionnaires and the ability measured by GPS, the outdoor community walk is referred to as a "stroll" throughout this paper, although patients were asked to walk at a regular pace. A pre-stamped envelope was provided to each patient to return the questionnaires and the GPS device to

TABLE 1. Inclusion and Exclusion Criteria

Inclusion criteria	
Age	>18 years old
Clinical stability of vascular-type intermittent claudication*	in the last 3 months
Self-reported maximal walking distance	≤500 m
Ankle-to-brachial index at rest	<0.90 or a history of lower limb revascularization
Absence of any systemic disease limiting exercise other than claudication	
Absence of myocardial infarction in the last 6 months	
Absence of heart disease requiring surgery	
Absence of angina pectoris	
Absence of sustained ventricular arrhythmias	
Absence of abdominal aortic aneurysm	>40 mm
Absence of uncontrolled hypertension	
Exclusion criteria	
Highest GPS-measured distance in the community not available or	>2000 m at T0
Missing data for the GPS recording at 6 months	
Modified treatment other than lower limb revascularization	

* Vascular-type intermittent claudication was defined as limb fatigue, discomfort, or pain that did not exist at rest, that occurred during walking, that forced the individual to stop and that resolved within 10 minutes of rest.

the coordinating center after the stroll. As previously reported,^{5,10,14} we used DG-100 GPS data loggers and the AT-65 GPS Active Antenna (GlobalSat Technology Corp., New Taipei City, Taiwan) that included the "European Geostationary Navigation Overlay Service" function. The recording rate was preset to 0.5 Hz. Patients only had access to the start and stop buttons of the recorder. Patients were asked to walk at their usual pace for 1 hour on a flat area free of compact trees or buildings. They were instructed to stop only because of lower limb pain and not necessarily to wait for the pain to disappear before beginning walking again.

GPS Analysis

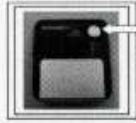
Validation of the use of the GPS technique to analyze walking parameters in healthy and PAD patients has been reported elsewhere.^{10,14} In brief, GPS-derived parameters included the total distance walked, the total duration of the walk (including the stop duration), the number of stops, highest-MD_{CW}, average-WS_{CW} and average-DS_{CW}. A technically satisfactory recording was defined as¹¹: a total walk duration >30 minutes, the presence of recorded data in the GPS device, and the presence of identifiable periods of walking (a succession of periods of displacement compatible with walking, that is, with speeds between 1 and 10 km h⁻¹ and with durations of at least 10 seconds). At time-0 (T0) and time-1 (T1), if the recording was not technically satisfactory, a second attempt was performed within a month of the first attempt.

Follow-up, Exclusion Criteria and Inter-Current Events

Please note that the study is not randomizing patients into different treatment groups but just observing what happened over the follow up period. Following the initial 1-hour stroll

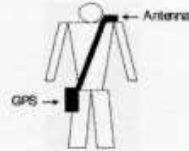
INSTRUCTIONS FOR THE WALK

We thank you for kindly agreeing to participate in the POST-GPS study. You must be currently sitting or standing still close to a chosen location that is close to a river, seaside, public park, athletic running track, pedestrian field, etc.). Please note that the second stroll should be performed at the same place as the first one. Please take a few minutes to completely read the following instructions.



Take the GPS device in its sealed plastic bag. Without opening the sealed bag, press and hold the large white button. A green LED should light up. This means that the GPS is on. Please do not turn off the GPS. It will stop automatically.

Place the strap as shown in this figure over your coat, with the antenna (small black cube) on the top of your shoulder. The GPS device should be around the belt, as in the adjacent figure. Please remain seated or standing (not walking) for a few minutes (10 minutes is optimal) in order to read the following instructions.



We would like to remind you that:

- Once the GPS is turned on, you should wait for 10 minutes before starting your walk.
- You should walk at your usual walking pace. Do not walk slowly to try to avoid stop periods or at a forced pace.
- The walk should last 1 hour (excluding the initial waiting period of 10 min).
- Please do not stop as soon as pain occurs; only stop when pain becomes unbearable.
- You can restart the walk whenever you want after a stop period.
- The stop durations are included in the total one-hour walk.
- Please do not stop to look at the landscape or other things. All your stops should be due to walking-induced limb pain.
- You can be accompanied by a relative or a friend, provided that you walk at your own pace.
- Please do not walk with a dog.

It probably took you 2 to 3 minutes to read this text. This may not be enough time to obtain an accurate signal for the GPS to be ready for recordings (flashing green LED). Even if the GPS seems ready, please wait for a few more minutes (a total of 10 minutes) and then enjoy your walk.

KEY POINTS

1. To start the GPS, press the large grey button for 4 to 5 seconds until the LED lights up.
2. If the LED does not light up, there might be a plastic strip protecting the batteries inserted on the side of the sealed plastic bag containing the GPS. If so, gently pull it off and try to start the GPS again.
3. Wait until the green LED flashes.
4. If, after 5 minutes of waiting, the green light does not flash:
 - a. Turn off the GPS by pressing the grey button once again for 4 to 5 seconds.
 - b. Move 10 m away from the initial waiting spot.
 - c. Turn on the GPS again and wait again for the green LED to flash.
5. If the green LED still does not flash after 5 minutes, please contact us at the following number: (Number hidden for publication).
6. Once the GPS is ready, please wait for 10 minutes with the green light flashing before starting your one-hour walk.
7. Please walk for at least one hour at your own pace. Stop only because of your usual walking-induced pain.
8. At the end of your walk, please wait for at least 2 minutes at the same place before leaving the test area where you walked.

FIGURE 1. English translation of the recto-verso recommendation sheet provided to each patient for the stroll.

(T0), patients for whom a technically satisfactory GPS recording was not available at T0 or who had GPS recording results that were inconsistent with walking limitations (ie, highest-MD_{CW} >2000 m) were excluded. Patients with a successful T0 measurement underwent a second test 6 months later (T1). T1 was eventually delayed to allow a minimum of 3 months to elapse after any surgical or medical event (e.g., revascularization, change in treatment, non-vascular surgery, infraction, and stroke). For the T1 test, the participating patients were recommended to follow the same instructions as for the first test. Following the walk at T1, these patients were asked to complete items on whether they had to stop for any reason other than limb pain (e.g., dyspnea, road crossing, tying shoelaces, urinating, etc.), whether or not they experienced lower limb pain during the walk. Finally, patients for whom no technically satisfactory GPS recording could be obtained after 2 attempts at T1 were also excluded from the study.

Analysis of Data

Patients were classified into the following groups based on treatments or medical status changes that occurred over the study follow-up period: i) revascularized patients were patients who had any type of lower-limb arterial surgery or angioplasty between T0 and T1; ii) reference patients were patients who had no apparent changes in their treatments or medical status and no revascularization procedures between T0 and T1; and iii) patients who had any type of medical or non-vascular surgical intervention between T0 and T1 (e.g., bone or spine surgery, rehabilitation program, modification of cardiovascular drug regimen) were excluded from the study. Excluded patients with

available T0 and T1 tests (n = 32) are described in Supplemental Digital Content 1, <http://links.lww.com/MD/A265>.

Statistical Analysis

The normality of distribution was first assessed for variables of interest using the Kolmogorov-Smirnov test. For continuous variables, the data are expressed as the mean ± standard deviation (SD) for normally distributed variables and as the median [25th;75th percentiles] for non-normally distributed variables. For categorical variables, the data are expressed as numbers and percentages. Accordingly, for continuous variables, between-group differences were examined using paired-*t* tests (normally distributed variables) or a Wilcoxon test (non-normally distributed variables). For categorical variables, Fisher's exact test was used to assess differences between groups.

We referred to the mean + 1 SD of the changes observed in the reference group to detect meaningful improvements (ie, minimal clinically important improvement: MCII)¹⁵ in highest-MD_{CW}, average-WS_{CW}, WIQ-distance and WIQ-speed among the revascularized compared with the reference patients. The concordance between GPS changes and WIQ changes in speed or distance were analyzed with linear regression analysis and Pearson's coefficient of correlation. For all statistical tests, a 2-tailed probability level of *P* < 0.05 was used to indicate statistical significance. SPSS (V15.0 SPSS Inc., 2004) was used for all statistical analyses. The study was designed to include 250 patients, assuming that nearly half of the patients would have no limitations while walking at T0, would be lost to follow-up, or would have unsatisfactory recordings. We also expected that at least one-third of the patients would undergo revascularization during the follow-up period.

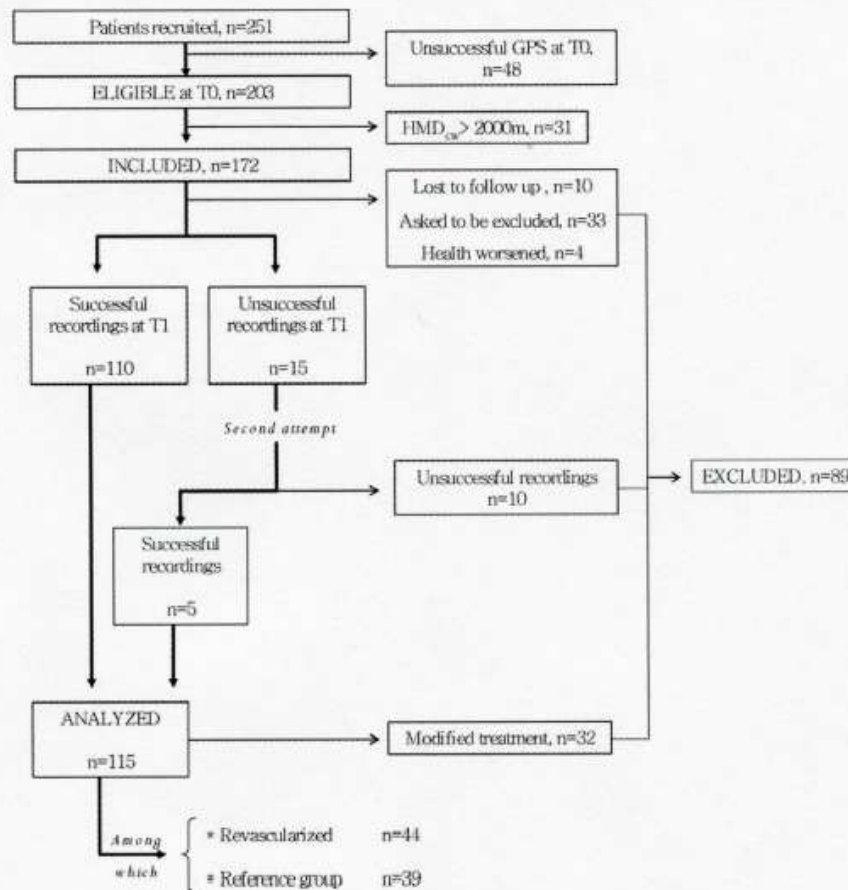


FIGURE 2. Flow diagram of the patients, with the corresponding numbers of technically satisfactory GPS recordings and the causes of technically unsuccessful GPS recordings.

RESULTS

Population Description

Of the 251 included patients, only 172 had limitations confirmed with GPS at T0 (79 exclusions). Among these 172 patients, 57 patients were excluded, mostly because they refused to perform the second test at T1, and another 32 were excluded because they could not be classified in the reference group because they had no revascularization but changes in medical, lifestyle or non-vascular surgical status between T0 and T1 (Figure 2). The clinical characteristics and results of the included patients at T0 are presented in Table 2. Note that the ABI was missing for 14 patients, either because "non-measurable pressure" or "incompressible arteries" were noted or, in 1 case, because of values that were missing from the data file. Of the 83 studied patients, 44 underwent revascularization (24 had angioplasty, and 20 had surgery) between T0 and T1 (Table 3). The median time interval between revascularization and T1 was 143 [110;176] days. In total, 39 patients reported no revascularization and no significant changes in treatments, rehabilitation or smoking habits between T0 and T1 (reference patients). Additionally, as shown in Table 2, no differences were found between revascularized and reference patients at T0. Thus, no

adjustment was required in further analyses of changes in GPS parameters or other functional parameters between T0 and T1. As is also shown in Table 2, few PASE and WIQ questionnaires could not be scored despite the use of pre-defined rules to account for missing answers,^{3,4} because the patients had not filled out the questionnaires adequately.

GPS Results

Two typical examples of GPS recordings, 1 in a patient who experienced revascularization and in a reference patient, are presented in Figure 3. Figure 3 illustrates the variability in walking bouts and stop durations observed at T0 and T1 and provides the values of highest-MD_{CW}, average-DS_{CW} and average-WS_{CW}. As shown, important variability existed in the peak distances before each stop and in the stop durations during each stroll, whereas walking speed (which can be visually estimated from the slope of each walking bout) remained relatively stable throughout the different walking periods during the stroll. The revascularized patient (upper panel) had circled around 2 football fields. After revascularization, both highest-MD_{CW} and average-WS_{CW} increased, whereas average-DS_{CW} decreased at T1 compared with T0.

TABLE 2. Characteristics of the Patients at Inclusion (T0)

	Revascularization Group	Reference Group	P [#]
Characteristics			
Males/females	39/5 (n = 44)	39/0 (n = 39)	0.7023
Age (years)	62.9 ± 9.4 (n = 44)	66.2 ± 9.6 (n = 39)	0.1280
T1-to-T0 interval (months)	8.2 ± 2.3 (n = 44)	7.9 ± 2.3 (n = 39)	0.5861
Stature (cm)	170 ± 7 (n = 42)	169 ± 5 (n = 39)	0.5992
Weight (kg)	78.3 ± 12.8 (n = 42)	78.2 ± 11.3 (n = 39)	0.9686
Self-reported-MWD (m) [*]	279 ± 208 (n = 42)	291 ± 153 (n = 38)	0.7776
Ankle-to-brachial index	0.61 ± 0.18 (n = 41)	0.66 ± 0.22 (n = 39)	0.4722
Ongoing medications			
Antiplatelet n (%)	32 (73%) (n = 44)	36 (92%) (n = 39)	0.4666
Antidiabetic n (%)	19 (43%) (n = 44)	16 (41%) (n = 39)	0.8992
Antihypertensive n (%)	28 (64%) (n = 44)	23 (59%) (n = 39)	0.8313
Beta-blockers n (%)	9 (20%) (n = 44)	16 (41%) (n = 39)	0.1358
Other cardiac drugs n (%)	12 (27%) (n = 44)	9 (23%) (n = 39)	0.7344
Cholesterol-lowering drug n (%)	33 (75%) (n = 44)	34 (87%) (n = 39)	0.6471
GPS results			
Total walking time (min)	63.9 ± 7.3 (n = 44)	64.2 ± 8.1 (n = 39)	0.8371
Total distance (m)	3917 ± 938 (n = 44)	3124 ± 842 (n = 39)	0.5888
Number of stops	10 ± 7 (n = 44)	9 ± 6 (n = 39)	0.7557
Highest-MD _{CW} (m) [†]	709 ± 477 (n = 44)	790 ± 482 (n = 39)	0.4423
average-WS _{CW} (km/h) [‡]	3.5 ± 0.6 (n = 44)	3.5 ± 0.6 (n = 39)	0.8844
Average-DS _{CW} (min) [§]	1.74 ± 1.16 (n = 44)	1.52 ± 1.36 (n = 39)	0.4366
Questionnaires			
PASE score	126.8 ± 71.8 (n = 30)	115.3 ± 63.6 (n = 31)	0.5099
WIQ-speed sub-score [*]	33.7 ± 16.8 (n = 42)	38.1 ± 18.9 (n = 36)	0.2885
WIQ-stairs sub-score [*]	38.5 ± 17.1 (n = 43)	45.5 ± 28.7 (n = 35)	0.1860
WIQ-distance sub-score [*]	34.6 ± 19.6 (n = 31)	39.9 ± 18.4 (n = 35)	0.1525

The number of available values is reported in the case of missing data.
^{*} Self-reported-MWD is the maximal walking distance reported by the patient.
[†] Highest-MD_{CW} is the highest measured distance measured by GPS.
[‡] average-WS_{CW} is the average walking speed measured by GPS.
[§] average-DS_{CW} is the average duration of stops measured by GPS.
^{||} PASE is the Physical Activity Scale for the Elderly.
^{*} WIQ is the Walking Impairment Questionnaire.
[#] P is the Wilcoxon coefficient of correlation.

The reference patient (lower panel) walked along a lake during both strolls. Of interest is the fact that during T1, the patient B stopped multiple times for very short durations but covered a relatively long distance when the previous stop was long enough.

TABLE 3. Type of Revascularization Occurring Between T0 and T1 Among Patients in the Revascularization Group

Type of Revascularization	N (%)
Surgery	20 (45.5%)
Angioplasty	24 (54.5%)
Level of the revascularization	
Femoro-popliteal	11
Aorto-iliac	32
Infra-popliteal	1

The number of patients as well as the percentage are reported in the case of missing values.

Average Changes Between T0 and T1

Changes in walking limitations that were estimated by the questionnaires and measured by GPS are reported by group in Table 4. As shown, for nearly all questionnaire results, the differences observed in revascularized patients were significantly higher than those found in reference patients. For GPS, the increases in highest-MD_{CW} and average-WS_{CW} were significantly higher in revascularized than in reference patients. However, although the decrease in average-DS_{CW} was nearly 2 times higher in revascularized than in reference patients among those patients who still had to stop at T1, this difference did not reach statistical significance (P = 0.0767).

Individual Changes Between T0 and T1

When using the mean + 1 SD of the changes in the reference group as limits for the detection of MCH among the 44 revascularized patients, 13 patients (29.5%) had MCH in both highest-MD_{CW} and average-WS_{CW}, 3 patients (7%) had MCH in highest-MD_{CW} but non-improved average-WS_{CW}, and 13 (29.5%) patients had MCH in average-WS_{CW} but not

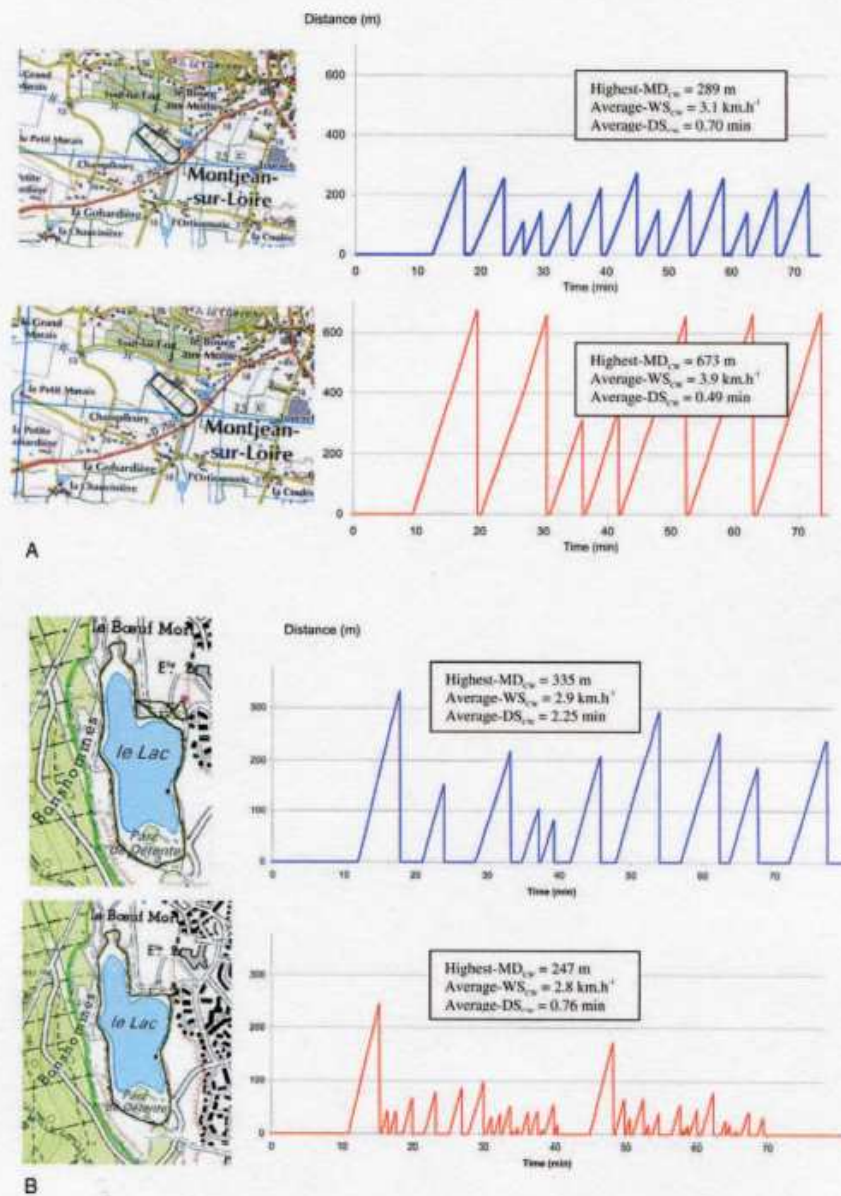


FIGURE 3. Typical recordings of the distance covered during each walking bout at T0 (upper panels) and T1 (lower panels) for 1 revascularized patient (A) and 1 reference patient (B).

highest-MD_{CW}. The other 15 patients (34%) had no MCII in either the average-WS_{CW} or highest-MD_{CW} compared with the reference patients, as shown in Figure 4 (upper panel). However, among the 37 revascularized patients with available data for WIQ distance and speed sub-scores, 2 (5.5%) patients had MCII in both the WIQ distance and speed sub-scores, no patient (0%) had MCII in only the WIQ distance sub-score, and 10 (27%) patients had MCII in the WIQ speed sub-score but not the WIQ distance sub-score. The other 25 patients (67.5%) had no MCII in either the distance or the speed WIQ sub-scores compared with reference patients, as shown in Figure 4 (lower panel).

Concordance of GPS and Questionnaire Changes

Finally, the correlation of highest-MD_{CW} changes with WIQ-distance changes was statistically significant in the patients who had all data available ($n=96$, $r=0.599$; $P<0.001$). The correlation of average-WS_{CW} changes to WIQ-speed changes was also significant ($n=102$, $r=0.394$; $P<0.001$).

DISCUSSION

Isolated case reports using GPS after spine surgery¹⁶ or amputation¹⁷ have recently been published. To the best of our

TABLE 4. Walking Capacity Changes Between T0 and T1 Among the 83 Studied Patients (Revascularised Group vs. Reference Group)

	Revascularization Group (n = 44)	Reference Group (n = 39)	<i>P</i> [#]
Hemodynamic changes			
Ankle-to-brachial index	+0.22 ± 0.26 (n = 37)	-0.01 ± 0.19 (n = 31)	0.0004
GPS changes			
Total walked time (min)	-2.55 [-6.39;+0.43]	-3.90 [-7.86;+3.29]	0.3727
Total walked distance (m)	+455 ± 786	-181 ± 561	0.0001
Number of stops per hour	-5 ± 5	+1 ± 7	<0.0001
Highest-MD _{CW} (m) [*]	+442 [+213;+2474]	+13 [-218;+561]	0.0006
Average-WS _{CW} (km · h ⁻¹) [†]	+0.3 ± 0.5 (n = 44)	-0.2 ± 0.4 (n = 39)	0.0004
Average-DS _{CW} (min) [‡]	-0.81 ± 1.34 (n = 44)	-0.26 ± 1.43 (n = 39)	0.0767
Questionnaire changes			
PASE score [§]	+10.7 ± 84.8 (n = 23)	+10.5 ± 62.2 (n = 33)	0.9425
WIQ average score	+31.1 ± 22.0 (n = 38)	+3.0 ± 14.4 (n = 33)	<0.0001
WIQ-speed score	+24.8 ± 21.7 (n = 37)	+1.9 ± 17.0 (n = 34)	<0.0001
WIQ-distance score	+40.8 ± 29.8 (n = 37)	+4.5 ± 25.0 (n = 33)	<0.0001
WIQ-stairs score	+26.5 ± 24.5 (n = 36)	+3.8 ± 14.5 (n = 33)	<0.0001
Self-reported MWD (m) [*]	+400 [+200;+700] (n = 43)	0 [-50;+130] (n = 37)	<0.0001

Data expressed as median [25th;75th percentiles] or mean ± SD. The number of available values is reported between parentheses in the case of missing data.

^{*} Highest-MD_{CW} is the highest measured distance measured by GPS.

[†] average-WS_{CW} is the average walking speed measured by GPS.

[‡] average-DS_{CW} is the average duration of stops measured by GPS (Calculated only for patients with at least 1 stop at T0 and T1).

[§] PASE is the Physical Activity Scale for the Elderly.

^{||} WIQ is the Walking Impairment Questionnaire.

^{*} MWD is the maximal walking distance.

[#] *P* is the Wilcoxon coefficient of correlation.

knowledge, this is the first prospective multicenter study using GPS for the follow-up of revascularized and reference patients.

Many studies have analyzed the changes in MWD-on-treadmill or the changes in the WIQ score after revascularization, with results ranging from 163%¹⁸ to 176%¹⁹ and from 37%²⁰ to 203%²¹ respectively, but the correlation coefficient between the change in the total WIQ score and changes in MWD-on-treadmill has previously been reported to be low (*r* = 0.331).²² Additionally, we previously reported that self-reported MWD correlates fairly well with community-based measurements (ie, highest-MD_{CW}), as assessed by GPS,¹² even though highest-MD_{CW} determined by GPS generally ranges around 3 times higher than self-reported MWD.^{5,10,12} Consistent with our previous observation,¹⁰ a wide variability of distances and stop durations were observed within a single stroll for each patient in the current study, whereas speed remained relatively stable (Figure 3). These findings explain our interest in studying highest-MD_{CW}, average-WS_{CW} and average-DS_{CW}. However, no study to date has simultaneously and separately analyzed changes in highest-MD_{CW}, average-WS_{CW} and average-DS_{CW} after surgery, specifically after revascularization. We report here for the first time that after revascularization, more than one-third of patients appear to improve their speed rather than their distance. This result is of major importance because usual walking speed improvement in the community is rarely studied or measured.

Walking speed has rarely been objectively measured in PAD patients with claudication, despite the well-known decrease in velocity in PAD compared with non-PAD patients,^{23,24} and despite the inverse relationship that exists

between walking distance and walking intensity in claudicants.^{25,26} It has been shown that women with PAD have a slower walking speed than men do²⁷ and that following revascularization, the WIQ-speed sub-score improves by 18.6%²⁰ to 130%.²¹ Unlike distance, although significant, the correlation of the WIQ-speed subscore to average-WS_{CW} changes was fair in the present study, suggesting that self-reported responses cannot reliably estimate changes in average-WS_{CW}. Specifically, very few patients reported isolated speed improvement on the WIQ questionnaire, whereas GPS results suggested that more than one-third of patients had MCII in the average-WS_{CW} without improvement in the highest-MD_{CW}. One explanation could be that GPS underestimates the distance improvement in such patients. Another possibility could be that WIQ-distance changes and WIQ-speed changes are not sufficiently independent of one another to assess speed and distance changes separately. Many studies using the WIQ have shown that both the WIQ-speed and the WIQ-distance scores improved after revascularization,^{18,20-22} but no previous study has analyzed the relationship between measured distance changes and measured speed changes.

Whether certain patients preferentially maintain a constant speed and improve their distance, whereas others increase their walking speed rather than their maximal walking distance, is unknown. Furthermore, no previous study has confirmed these changes using objective measurements. Clearly, in the present study, many more patients had an MCII according to the GPS-derived highest-MD_{CW} result than according to the WIQ-distance. The issue of speed and/or distance changes while walking is of major interest not only in revascularized patients but also in

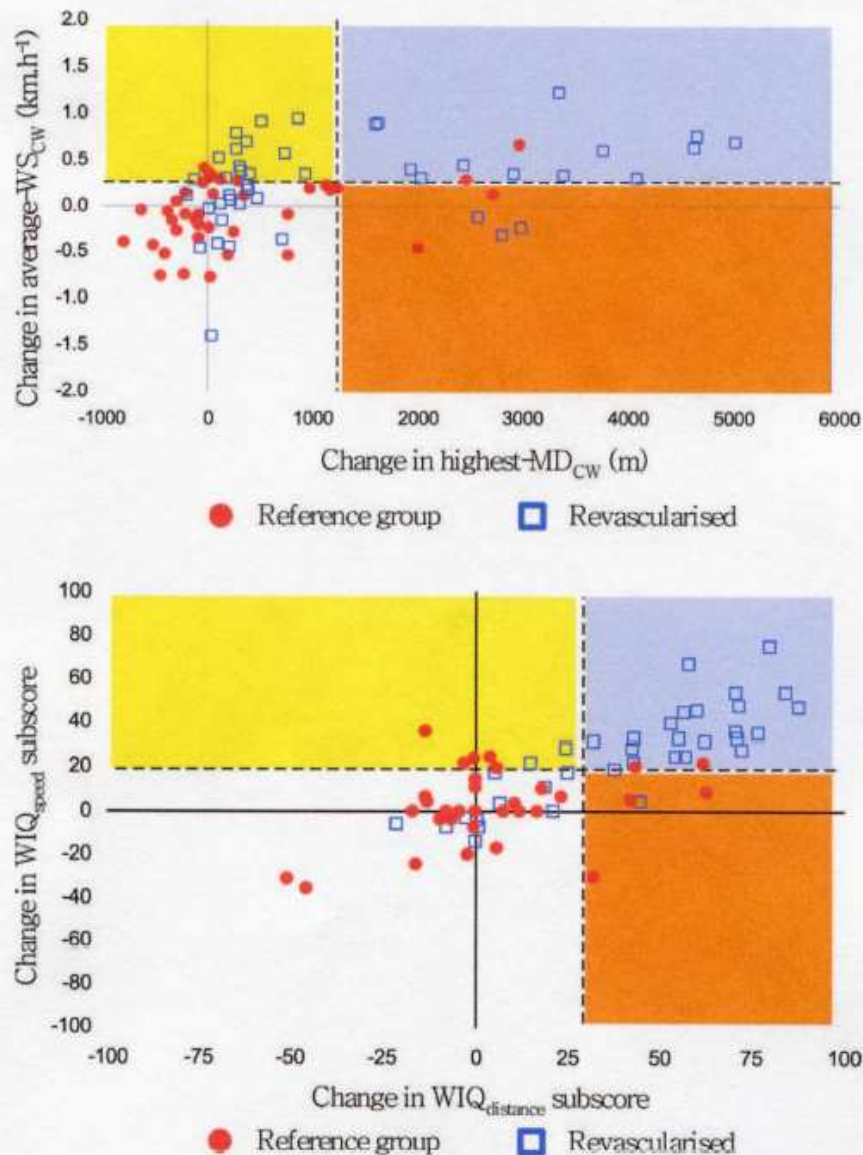


FIGURE 4. Changes in walking speed (average- WS_{CW}) and the highest measured distance (highest- MD_{CW}) during a community walk among reference (red dots) and revascularized patients (blue squares). The dashed lines represent the mean + 1 SD of changes needed to detect MCII compared with reference patients. Yellow square: average- WS_{CW} or WIQ-speed improved only; Orange square: highest- MD_{CW} or WIQ-distance improved only; Purple square: Both average- WS_{CW} and highest- MD_{CW} or both WIQ-speed and WIQ-distance improved; White square: No MCII.

the evolution of PAD in patients. Indeed, in addition to hemodynamic tests, the gold standard for estimating the worsening of PAD is a decrease in MWD. Nevertheless, it is probable that certain patients progressively and unconsciously decrease their community walking speed, while their distance walked remains stable. At worst, the speed decrease could be so extreme that the patients remain asymptomatic while walking. Together with the decrease in lifetime recreational activity in PAD patients,²⁸ this phenomenon could lead to patients remaining asymptomatic while their disease progresses. This situation might explain why the general prognosis of asymptomatic PAD patients is worse

than that of symptomatic PAD patients.²⁹ Walking speed for short walking bouts can be estimated using the time required to walk a fixed 4 m^{1,2,30,31} at the usual pace in a corridor, but there is no evidence that this laboratory measurement correlates to average- WS_{CW} .

We initially expected average- DS_{CW} to be an index of improved perfusion in revascularized patients. Indeed, the recovery time for muscle oxygenation accurately differentiates severe from moderate claudication^{32,33} and angioplasty increases the hemoglobin oxygen recovery rate after exercise.³⁴ Although we previously showed that the stop duration between

2 walking bouts limited by usual symptoms is probably an important predictor of forthcoming community-based walking impairment.¹⁰ The present study does not appear to confirm one of our initial hypotheses regarding this aspect. One explanation is the absence of concordance between pain relief and hemodynamic recovery in PAD patients.³⁵ This lack of concordance could explain that the duration of a stop is less influenced by revascularization than the hemodynamic parameters are. The GPS device used does not allow physiological parameters to be analyzed, but future developments could allow for the recording of physiological signals and a better estimation of the relationship between average-DS_{CW} and hemodynamic recovery.

Study Limitations

The limitations of the present study include the fact that we did not systematically study bypass patency or the results of angioplasty in terms of hemodynamic improvement (e.g., ABI or Doppler measurements) or MWD-on-treadmill, as many patients received their GPS at home at T1 and did not undergo de novo ABI measurement. It is also possible that certain patients in the revascularized group did not improve because their revascularizations failed. We hoped to avoid any additional visits for the routine follow-up of patients and to allow "at-home" estimation of walking limitation. These "at-home" procedures can also explain the relatively high number of missing scores, specifically for the WIQ and PASE, which are relatively complex questionnaires. Although it is clear that GPS will never replace vascular investigations, we think that it may improve our knowledge of the functional impairments that are associated with PAD.

A second limitation of this study is that we included only PAD patients with classical symptoms of intermittent claudication and for whom self-reported limitation was confirmed during the first GPS test. It would be of interest to evaluate the clinical applicability of and interest in the GPS technique in non-PAD patients (e.g., spinal stenosis, musculoskeletal lesions) or in PAD patients with atypical symptoms. It would also be of interest to analyze whether GPS may help to detect those patients who claim to be asymptomatic or who have stable moderate claudication but in fact progressively decrease walking speed rather than distance. Whether such patients require specific attention is a fascinating issue.

The third limitation is that the ability to perform GPS measurements may depend on the area where the system is used. The present study used a multicenter approach and appears to confirm that when patients are allowed to choose an area consistent with the study requirements, recordings of acceptable quality can be acquired in most cases.

Last, an hour-long stroll may be an unusually long exercise for most PAD patients with claudication. As most elderly patients walk <4000 steps per day,^{36,37} a 1-hour stroll may not reflect the usual physical activity of most patients. However, we previously showed that walking for 1 hour was considered very difficult in less than one-third of patients;¹¹ nonetheless, reducing the duration of a stroll might dramatically affect the estimation of highest-MD_{CW} (see Supplemental Digital Content 1, <http://links.lww.com/MD/A265>).

Conclusion and Clinical Perspective

The major results of the present study can be summarized as follows:

1. In patients who undergo revascularization for arterial claudication, highest-MD_{CW} and average-WS_{CW} are

significantly increased. On the contrary average-DS_{CW} changes in revascularized patients do not reach significance compared with reference patients.

2. Among revascularized patients with MCII compared with reference patients, nearly one-third of the patients increased their average-WS_{CW}, but not their highest-MD_{CW}, emphasizing the importance of evaluating speed changes in PAD patients.
3. The correlation between average-WS_{CW} and WIQ-speed changes is weaker than between highest-MD_{CW} and WIQ-distance changes.

Previous studies have demonstrated the accuracy of GPS in measuring community-based walking dimensions such as highest-MD_{CW}, average-WS_{CW} and average-DS_{CW}^{10,12,13} in PAD patients. To the best of our knowledge, this is the first prospective multicenter follow-up study using GPS in patients with claudication. Although the present study focused on PAD patients, we assume that the technique could provide new data and interesting information on changes in walking impairment resulting from various medical or surgical treatments. Of major interest is the fact that, at least in PAD, average-WS_{CW} appears essential to account for the changes observed in revascularized patients, beyond the measurement of walking distance alone.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors are indebted to Nafi Ouedraogo (MD, PhD), Johann Marchand (MD), Yoanna Onillon, Thomas Sauvaget, Jean-Marie Chrétien (DRCi-Methodology/Biostatistics/Data Management Unit) and Nicolas Hermann for their technical assistance. Moreover, the authors would like to thank the following physicians (in alphabetic order) for their help: Drs Philippe Berlie, Sonia Dulong, Thierry Dutartre, Dominique Eveno, Vincent Jaquinandi, Eric Jouen, Yann Jousset, Georges Leftheriotis, Jean-Pierre Lumineau, Patrick Moreau, Laurent Muller, Jean-Dominique Pegis, Arnaud Perrouillet, and Olivier Regnard.

REFERENCES

1. McDermott MM, Liu K, Greenland P, et al. Functional decline in peripheral arterial disease: associations with the ankle brachial index and leg symptoms. *JAMA*. 2004;292:453-461.
2. McDermott MM, Liu K, Ferrucci L, et al. Decline in functional performance predicts later increased mobility loss and mortality in peripheral arterial disease. *J Am Coll Cardiol*. 2011;57:962-970.
3. McDermott MM, Liu K, Guralnik JM, et al. Measurement of walking endurance and walking velocity with questionnaire: validation of the walking impairment questionnaire in men and women with peripheral arterial disease. *J Vasc Surg*. 1998;28:1072-1081.
4. Hiatt WR, Hirsch AT, Regensteiner JG, et al. Clinical trials for claudication. Assessment of exercise performance, functional status, and clinical end points. Vascular Clinical Trialists. *Circulation*. 1995;92:614-621.
5. Le Faucheur A, Abraham P, Jaquinandi V, et al. Measurement of walking distance and speed in patients with peripheral arterial disease: a novel method using a global positioning system. *Circulation*. 2008;117:897-904.
6. Dormandy JA, Rutherford RB. Management of peripheral arterial disease (PAD). TASC Working Group. TransAtlantic Inter-Society Consensus (TASC). *J Vasc Surg*. 2000;31 (1 Pt 2):S1-S296.

7. Fakhry F, van de Luijngaarden KM, Bax L, et al. Supervised walking therapy in patients with intermittent claudication. *J Vasc Surg.* 2012;56:1132–1142.
8. Anonymous. Management of peripheral arterial disease (PAD). TransAtlantic Inter-Society Consensus (TASC). *Eur J Vasc Endovasc Surg.* 2000;19(Suppl A)S1-xxviii, S1-250.
9. Nordanstig J, Broeren M, Hensater M, et al. Six-minute walk test closely correlates to "real-life" outdoor walking capacity and quality of life in patients with intermittent claudication. *J Vasc Surg.* 2014;60:404–409.
10. Le Faucheur A, Noury-Desvaux B, Mahe G, et al. Variability and short-term determinants of walking capacity in patients with intermittent claudication. *J Vasc Surg.* 2010;51:886–892.
11. Gernigon M, Le Faucheur A, Noury-Desvaux B, et al. Applicability of global positioning system for the assessment of walking ability in patients with arterial claudication. *J Vasc Surg.* 2014;60:973–981.
12. Tew G, Copeland R, Le Faucheur A, et al. Feasibility and validity of self-reported walking capacity in patients with intermittent claudication. *J Vasc Surg.* 2013;57:1227–1234.
13. Le Faucheur A, Abraham P, Jaquinandi V, et al. Study of human outdoor walking with a low-cost GPS and simple spreadsheet analysis. *Med Sci Sports Exerc.* 2007;39:1570–1578.
14. Abraham P, Noury-Desvaux B, Gernigon M, et al. The inter- and intra-unit variability of a low-cost GPS data logger/receiver to study human outdoor walking in view of health and clinical studies. *PLoS One.* 2012;7:e31338.
15. Copay AG, Subach BR, Glassman SD, et al. Understanding the minimum clinically important difference: a review of concepts and methods. *Spine J.* 2007;7:541–546.
16. Barzilay Y, Noam S, Meir L, et al. Assessing the outcomes of spine surgery using global positioning systems. *Spine (Phila Pa 1976).* 2011;36:E263–E267.
17. Jayaraman A, Deeny S, Eisenberg Y, et al. Global position sensing and step activity as outcome measures of community mobility and social interaction for an individual with a transfemoral amputation due to dysvascular disease. *Phys Ther.* 2014;94:401–410.
18. Murphy TP, Soares GM, Kim HM, et al. Quality of life and exercise performance after aortoiliac stent placement for claudication. *J Vasc Interv Radiol.* 2005;16:947–953quiz 954.
19. Jaquinandi V, Picquet J, Saumet JL, et al. Functional assessment at the buttock level of the effect of aortobifemoral bypass surgery. *Ann Surg.* 2008;247:869–876.
20. Matsumura JS, Yamanouchi D, Goldstein JA, et al. The United States Study for Evaluating Endovascular Treatments of Lesions in the Superficial Femoral Artery and Proximal Popliteal By using the Protege EverFlex Nitinol Stent System II (DURABILITY II). *J Vasc Surg.* 2013;58:73–83.
21. Regensteiner JG, Hargarten ME, Rutherford RB, et al. Functional benefits of peripheral vascular bypass surgery for patients with intermittent claudication. *Angiology.* 1993;44:1–10.
22. Nicolai SP, Kruidenier LM, Rouwet EV, et al. The walking impairment questionnaire: an effective tool to assess the effect of treatment in patients with intermittent claudication. *J Vasc Surg.* 2009;50:89–94.
23. McDermott MM, Ohlmler SM, Liu K, et al. Gait alterations associated with walking impairment in people with peripheral arterial disease with and without intermittent claudication. *J Am Geriatr Soc.* 2001;49:747–754.
24. McCully K, Leiper C, Sanders T, et al. The effects of peripheral vascular disease on gait. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 1999;54:B291–294.
25. Gardner AW, Skinner JS, Vaughan NR, et al. Comparison of treadmill walking and stair climbing over a range of exercise intensities in peripheral vascular occlusive disease. *Angiology.* 1993;44:353–360.
26. Degischer S, Labs KH, Aschwanden M, et al. Reproducibility of constant-load treadmill testing with various treadmill protocols and predictability of treadmill test results in patients with intermittent claudication. *J Vasc Surg.* 2002;36:83–88.
27. McDermott MM, Greenland P, Liu K, et al. Sex differences in peripheral arterial disease: leg symptoms and physical functioning. *J Am Geriatr Soc.* 2003;51:222–228.
28. Wilson AM, Sadrzadeh-Rafie AH, Myers J, et al. Low lifetime recreational activity is a risk factor for peripheral arterial disease. *J Vasc Surg.* 2011;54:427–432.
29. McDermott MM, Guralnik JM, Ferrucci L, et al. Asymptomatic peripheral arterial disease is associated with more adverse lower extremity characteristics than intermittent claudication. *Circulation.* 2008;117:2484–2491.
30. McDermott MM, Liu K, Ferrucci L, et al. Greater sedentary hours and slower walking speed outside the home predict faster declines in functioning and adverse calf muscle changes in peripheral arterial disease. *J Am Coll Cardiol.* 2011;57:2356–2364.
31. McDermott MM, Tian L, Liu K, et al. Prognostic value of functional performance for mortality in patients with peripheral artery disease. *J Am Coll Cardiol.* 2008;51:1482–1489.
32. Komiyama T, Shigematsu H, Yasuhara H, et al. Near-infrared spectroscopy grades the severity of intermittent claudication in diabetics more accurately than ankle pressure measurement. *Br J Surg.* 2000;87:459–466.
33. Comerota AJ, Throm RC, Kelly P, et al. Tissue (muscle) oxygen saturation (StO₂): a new measure of symptomatic lower-extremity arterial disease. *J Vasc Surg.* 2003;38:724–729.
34. Beckett TA, Day J, Morgan M, et al. Calf muscle oxygen saturation and the effects of supervised exercise training for intermittent claudication. *J Vasc Surg.* 2012;56:470–475.
35. Gardner AW. Dissipation of claudication pain after walking: implications for endurance training. *Med Sci Sports Exerc.* 1993;25:904–910.
36. Storti KL, Arena VC, Barmada MM, et al. Physical activity levels in American-Indian adults: the Strong Heart Family Study. *Am J Prev Med.* 2009;37:481–487.
37. Bennett GG, Wolin KY, Puleo E, et al. Pedometer-determined physical activity among multiethnic low-income housing residents. *Med Sci Sports Exerc.* 2006;38:768–773.

SUPPLEMENTAL DIGITAL CONTENT
for “Global positioning system (GPS) use in the community to evaluate walking improvement after surgery: A prospective multicenter study with a six-month follow-up in patients with peripheral artery disease”

Modified treatment group. The characteristics of the patients in the modified treatment group are detailed in Table 1, Supplemental Digital Content 1. The modified treatment group included 32 patients. Significant cardiovascular treatment changes (onset of antiplatelet drugs and/or statins and/or beta-blockers) were noted in 22 patients (69%), five patients (15.5%) had undergone a rehabilitation program or practiced regular walking, two patients had stopped smoking (6%), and three patients (9.5%) had undergone orthopedic surgery on the hips (n=2) or spine (n=1). At T1, 25 of the 32 patients reported a persisting MWD_{SR} <500 m.

Supplemental Table 1. Characteristics of the patients at inclusion (T0). The number of available values is reported in the case of missing data.

Characteristics	Modified treatment group	N
Males/females	23/9	32
Age (years)	66.6±8.7	32
T1-to-T0 interval (months)	7.8±3.0	32
Stature (cm)	167±8	31
Weight (kg)	75.7±15.0	30
Self-reported MWD	346±250	31
Ankle-to-brachial index	0.67±0.19	30
Ongoing medications		
Antiplatelet n (%)	15 (47%)	32
Antidiabetic n (%)	18 (56%)	32
Antihypertensive n (%)	18 (56%)	32
Beta-blockers n (%)	9 (28%)	32
Other cardiac drugs n (%)	10 (31%)	32
Cholesterol-lowering drug n (%)	18 (56%)	32
GPS results		
Total walking time (min)	61.8±13.5	32
Total distance (m)	2 892±758	32
Number of stops	9±8	32
Highest-MD _{CW} (m)	735±426	32
Average-WS _{CW} (km/h)	3.51±0.57	32
Average-DS _{CW} (min)	1.77±1.64	32
Questionnaires		
PASE	107.8±54.9	22
WIQ-speed	33.6±18.4	32
WIQ-stairs	42.5±29.1	32
WIQ-distance	36.6±17.6	30

The changes in walking limitation estimated through questionnaires and measured by GPS are reported in Table 2, Supplemental Digital Content 1. As shown, for nearly all questionnaire results, the differences observed in the patients with modified treatment were lower in magnitude than in both revascularized and control patients. For GPS, the increases in HMD_{CW} and aWS_{CW} were higher in revascularized patients than in controls or the modified treatment group.

However, the decrease in aDS_{CW} was nearly two times higher in revascularized patients than in the modified treatment group among those patients who still had to stop at T1.

Supplemental Table 2. Walking capacity changes between T0 and T1 among the 32 individuals in the modified treatment group. The number of available values is reported in the case of missing data. highest-MD_{CW} is the highest measured distance measured by GPS, average-WS_{CW} is the average walking speed measured by GPS, average-DS_{CW} is the average duration of stops measured by GPS, PASE is the Physical Activity Scale for the Elderly, WIQ is the Walking Impairment Questionnaire, and MWD is the maximal walking distance.

	Modified treatment group (n=32)	N
Hemodynamic changes		
Ankle-to-brachial index	+0.00±0.19	25
GPS changes		
Total walked time (min)	-1.91 [-5.59;+1.41]	32
Total walked distance (m)	+89±855	32
Number of stops per hour	-2.6±7.4	32
Highest-MD _{CW} (m)	+97 [-160;+788]	32
Average-WS _{CW} (km/h)	+0.08±0.51	32
Average-DS _{CW} * (min)	-0.44±1.06	32
Questionnaire changes		
PASE score	+2.97±1.06	17
WIQ average score	+9.9±15.8	29
WIQ-speed score	+9.7±19.4	31
WIQ-distance score	+14.5±26.0	27
WIQ-stairs score	+3.2±11.3	29
Self-reported MWD	+99 [-25;+200]	31

Data expressed as median [25th;75th percentiles] or mean ± SD.

*Calculated only for patients with at least one stop.

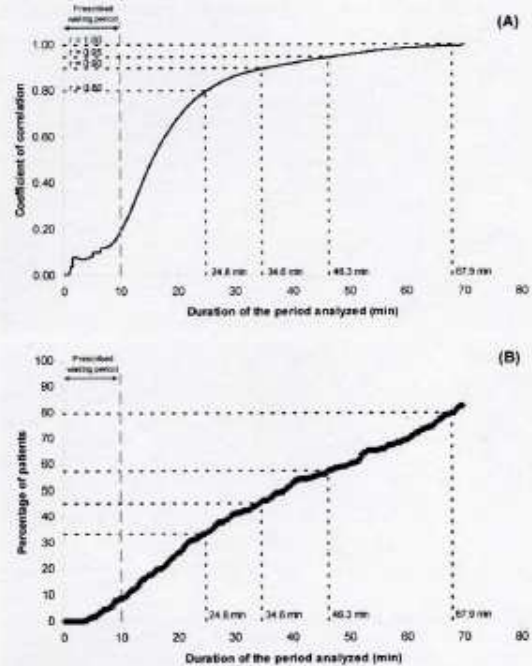
Optimal duration of the GPS walking test.

As noted in the manuscript, a one-hour stroll may be unusually long for most PAD patients. The data from the 203 PAD patients at T0 were re-analyzed¹ (174 males/29 females; age: 65±10 years; height: 170±7 cm; body mass: 78±14 kg, resting ABI: 0.66[0.50;0.76]; self-reported MWD: 250 [150;400] m). As previously published,¹ the recommendation was to stroll for at least 60 minutes (including the duration of stops) after an initial waiting period of 10 minutes. We then studied how the

HMD_{CW} values obtained from various reduced periods of analysis (HMD*_{CW}) correlated with the values obtained for the whole recording (HMD^{ref}_{CW}) by calculating the Pearson “r” coefficient of correlation. The results are presented as the mean ± SD or as the median with [25th;75th percentiles]. Among the studied patients, only 35 (17%) had an initial waiting period of at least 10 minutes. Additionally, 26 (13%) had no waiting period on the GPS recording, and 142 (70%) had a waiting period ranging from 0.10-9.98 minutes. Whether these findings resulted from the duration of satellite detection or from non-adherence to the prescribed waiting period could not be determined. Furthermore, 84 (41.4%) patients strolled for >60 minutes, 97 (47.7%) strolled for 45-60 minutes, and 22 (10.8%) strolled for 30-45 minutes. As a reminder, the 9 patients who strolled for <30 minutes were excluded from the study.¹ As shown in Figure 1A, Supplemental Digital Content 1, for durations of 34.6 minutes or more, the “r” coefficient was >0.90, whereas coefficients were <0.80 if the period of analysis was <24.8 minutes. Nevertheless, as shown in Figure 1B, Supplemental Digital Content 1, even at 34.6 minutes, less than half of the patients had already achieved a HMD*_{CW} equal to HMD^{ref}_{CW}. It should be kept in mind that, as previously published, only 63 (31%) patients had HMD^{ref}_{CW} >1500 m (~30 min of walking within one walking bout during the whole one-hour stroll).¹ Also of interest is that the initial prescribed waiting period of 10 minutes should have resulted both in “r” and in a percentage of patients with HMD*_{CW} equal to HMD^{ref}_{CW} equal to zero for periods of analysis of 0-10 minutes. However, as previously noted, many patients apparently started to walk before the end of the prescribed waiting period. Similarly, the proportion of patients with HMD*_{CW} equal to HMD^{ref}_{CW} did not reach 100% at minute 70 because certain patients walked for >70 minutes. In brief, reducing the prescribed stroll duration to 30-40 minutes² would have underestimated HMD_{CW} in >50% of the patients, although it would not affect the

concordance with what could be observed from a one-hour stroll. Thus, we advocate that the duration prescribed for the stroll should not be reduced.

Supplemental Figure 1. Analyses of highest-MD_{CW} in 203 PAD patients during a one-hour stroll. (A) Coefficient of correlation of Highest-MD*_{CW} with highest-MD^{ref}_{CW}. Note that the total recording duration is the sum of the prescribed initial waiting period (10 min) and the stroll period (60 min), with the stroll including both walking and stop bouts. (B) The proportion of patients for whom Highest-MD*_{CW} was equal to highest-MD^{ref}_{CW} for various durations of analysis. For definitions of the abbreviations, please refer to the text.



REFERENCES

- Gernigon M, Le Faucheur A, Noury-Desvaux B, et al. Applicability of global positioning system for the assessment of walking ability in patients with arterial claudication. *J Vasc Surg* 2014; 60(4):973-981.
- Nordanstig J, Broeren M, Hensater M, et al. Six-minute walk test closely correlates to "real-life" outdoor walking capacity and quality of life in patients with intermittent claudication. *J Vasc Surg* 2014; 60(2):404-409.

4.4.5. Couplage du géo-positionnement satellitaire et de l'accélérométrie pour évaluer la dépense énergétique à l'effort (étude ACTI-GPS)

Les patients artériopathes ont un apport moindre en dioxygène dans la zone la plus ischémique, comparativement à une population du même âge sans AOMI. Cette déficience est associée à une cinétique de la saturation en dioxygène (SaO_2) à l'effort plus lente. Tout ceci indique une déficience dans la capacité à utiliser le dioxygène à l'effort ¹⁶⁸. De plus, les patients artériopathes claudicants ont une dépense énergétique de repos inférieure à celle d'une population saine ^{168,169}. Les raisons invoquées sont une masse musculaire au niveau des membres inférieurs non efficiente d'un point de vue métabolique ¹⁶⁸. Après correction par la masse grasse, les facteurs prédictifs de la dépense énergétique dans l'AOMI sont l'âge, l'IPSC, l'origine ethnique, le débit sanguin au niveau de la fesse et le diabète ¹⁶⁹.

A l'heure actuelle, la littérature recense peu de données sur la dépense énergétique de repos et à l'effort des patients artériopathes claudicants ^{168,169}.

L'association du GPS à un accéléromètre triaxial permet l'obtention d'information sur la fréquence du patron et la charge de l'exercice ¹⁴⁰. L'étude acti-GPS (n° de référence NIH : NCT01805219) a pour but d'évaluer la dépense énergétique par le couplage de l'accélérométrie et du GPS, dans un premier temps chez des participants sains puis, dans un deuxième temps, chez des patients artériopathes de stade II. A terme, l'objectif est d'établir une équation prédictive de la dépense énergétique chez le participant sain et le patient claudicant par l'association d'un GPS et d'un accéléromètre ¹⁷⁰.

Actes de conférence :

Validity of global positioning system, and comparison with accelerometry, in the estimation of energy expenditure during horizontal and grade walking and running on the field. *European Journal of Sports Medicine*.

Gernigon, M., Chaudru, S., de Müllenheim, PY., Caron, N., Bruneau, A., Bickert, S., Noury-Desvaux, B., Prioux, J., Le Faucheur, A.

European Journal of Sports Medicine, 2013; V1; 88-89; S1.

La dépense énergétique se définit comme la somme de l'énergie immédiatement perdue sous forme de chaleur. Elle est utilisée pour effectuer un travail (contraction musculaire volontaire, dépense énergétique inhérente à la digestion ou thermogénèse post-prandiale) et emmagasiner de l'énergie sous forme de lipide et glycogène (assurer l'homéostasie cellulaire ou métabolisme basal) ¹. La fréquence cardiaque, le la consommation maximale en dioxygène ($\dot{V}\text{O}_{2\text{max}}$) et le le quotient respiratoire (QR) permettent de calculer la dépense énergétique. Toutefois, la fréquence cardiaque est sensible aux paramètres environnementaux et psychologiques, aussi le QR et le $\dot{V}\text{O}_{2\text{max}}$ sont retenus pour déterminer la dépense énergétique à l'effort.

Le concept de $\dot{V}O_2\text{max}$ date de 1923 et se définit comme la quantité de dioxygène (O_2) la plus élevée mesurée au niveau de la mer pouvant être consommée par unité de temps au cours d'un exercice musculaire ^{171,172}. Son expression est en litres par minute (ou équivalent) et correspond donc à un débit volumique ¹⁷³. Pour qu'il prenne en compte les caractéristiques anthropométriques individuelles, le $\dot{V}O_2\text{max}$ est normalisée par le poids. Les critères permettant de dire que le $\dot{V}O_2\text{max}$ est atteint sont les suivants ¹⁷⁴ :

- La présence d'un plateau de $\dot{V}O_2\text{max}$ défini par une augmentation inférieure à $1,5 \text{ mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ malgré une augmentation de la charge de travail.
- Un quotient respiratoire supérieur ou égal à 1,10.
- Une fréquence cardiaque supérieure ou égale à 95 % de la fréquence cardiaque maximale théorique

Équation 5 : Equation prédictive de la fréquence cardiaque maximale ¹⁷⁵

$$FC \text{ max}_{\text{théorique}} = [210 - (0,65 \times \text{âge})] \quad (\text{eq.5})$$

L'Équation 5 définit la valeur prédictive de la fréquence cardiaque maximale en fonction de l'âge :

- $FC \text{ max}_{\text{théorique}}$ = fréquence cardiaque maximale (bpm) ;
- âge (années).

Matériel et Méthodes. Cette étude se déroule en quatre temps distincts (Figure 17). Tout d'abord, les participants éligibles à l'étude ont une visite d'inclusion qui permet au médecin d'établir l'absence de contre-indications ou non à la réalisation d'une activité physique intense, de mesurer les paramètres anthropométriques (poids, taille, plis cutanés), d'expliquer l'étude et ses étapes puis de signer, avec le participant, en deux exemplaires le consentement éclairé. A l'issue de cette visite, une mesure des échanges gazeux ($\dot{V}O_2$, $\dot{V}CO_2$ en $\text{mL.min}^{-1}.\text{kg}^{-1}$ STPD et $\dot{V}E$, en L.min^{-1} BTPS) de repos est programmée.

Dépense énergétique de repos. Le participant est à jeun depuis au moins 12 heures et ne doit pas avoir subi un entraînement trop intense, ni une compétition sportive, ni avoir bu d'alcool dans les 24 heures précédant la mesure.

Après avoir relevé les caractéristiques anthropométriques (poids et taille), le participant est allongé pendant 50 minutes, avec un analyseur d'échange gazeux k4b² (Cosmed[®], Rome, Italy) et un cardiofréquence-mètre (Polar[®], Pragma, Finlande) dans une pièce dont la température est comprise entre 20 et 23°C. Durant les 20 premières minutes, aucune mesure n'est effectuée afin de laisser un temps d'habituation au participant. L'enregistrement des données se fait lors des 30 dernières minutes. A l'issue de cette mesure, un test incrémental VAMEVAL ^{125,176} et trois sessions de marches/courses sont programmées. Un minimum de 48 heures est respecté entre les tests pour chaque participant.

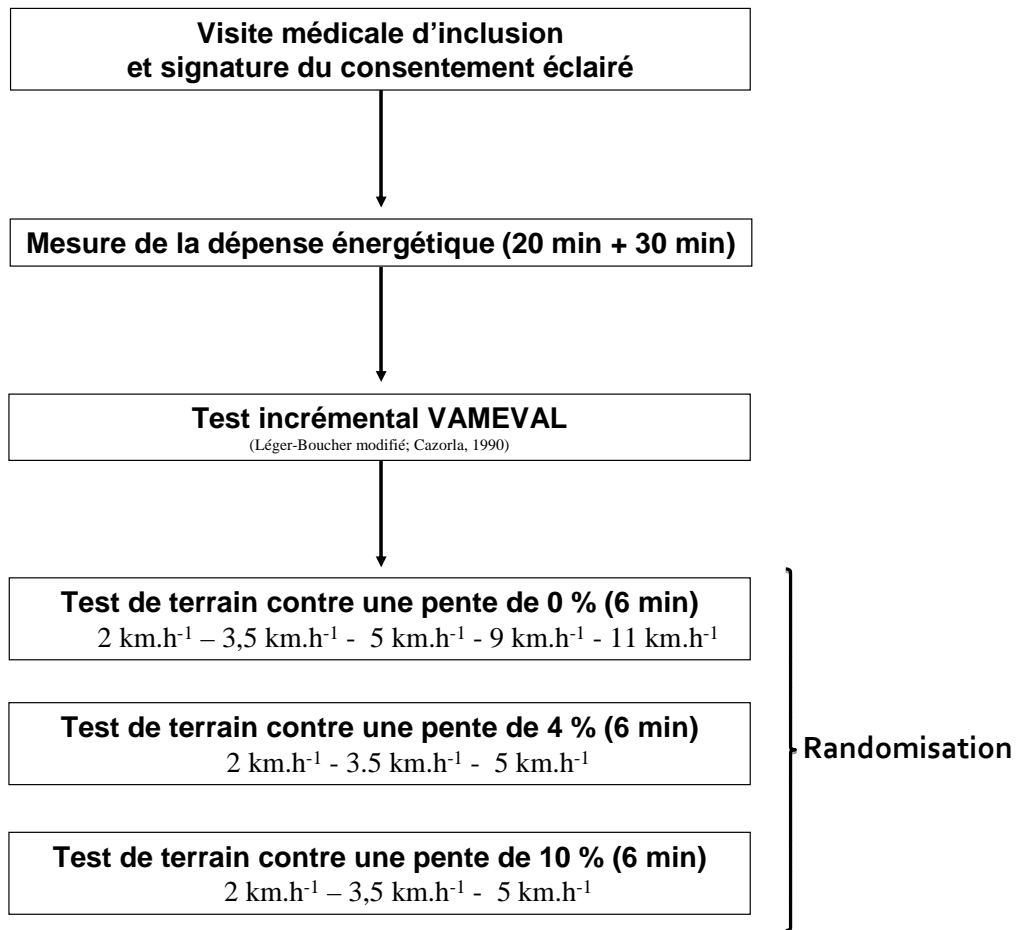


Figure 17 : Schéma expérimental de l'étude Acti-GPS

Épreuve d'effort maximal de terrain (VAMEVAL). Afin d'évaluer la consommation maximale en Dioxygène ($\dot{V}O_{2max}$) des participants, une épreuve d'effort incrémentale de type VAMEVAL (version modifiée du test de Léger-Boucher)^{125,176} avec mesure des échanges gazeux *via* un K4b² (Cosmed®, Rome, Italy) et de la fréquence cardiaque à l'aide d'un cardiofréquencemètre (Polar®, Pragma, Finlande) est réalisée sur une piste d'athlétisme de 400 mètres en tartan (plots tous les 20 mètres, vitesse initiale 8 km.h⁻¹, incrémentation de 0,5 km.h⁻¹ toutes les minutes, signaux sonores à intervalles de temps prédéterminés). Lors d'un exercice de type VAMEVAL où l'intensité de travail augmente progressivement, la vitesse est corrélée à l'évolution de la consommation de dioxygène. Aussi, la courbe de $\dot{V}O_2$ suit la même cinétique que la vitesse. En fin d'effort, ce paramètre reste stable malgré l'augmentation de la charge de l'exercice et, le participant ne peut plus poursuivre l'exercice quel que soit le palier atteint¹⁷³. Lors d'une évaluation en extérieur, le dernier palier correspond à la vitesse maximale aérobie (VMA en km.h⁻¹).

Au cours de l'épreuve, les échanges gazeux ($\dot{V}O_2$, $\dot{V}CO_2$ en mL.min⁻¹.kg⁻¹ STPD) et la ventilation ($\dot{V}E$, en L.min⁻¹ BTPS) sont mesurés en cycle à cycle au moyen d'un K4b² (Cosmed, Italie). Ces valeurs sont ensuite moyennées toutes les 10 secondes. Les analyseurs et le débitmètre sont calibrés avant chaque épreuve d'effort au moyen d'une seringue de 3 L et d'une bouteille de gaz étalon (12 % d'O₂ et 3 % CO₂). L'absence de fuite au niveau du masque du K4b² est systématiquement vérifiée. La fréquence cardiaque est enregistrée en continu au moyen d'un cardiofréquencemètre (Polar®, Pragma, Finlande). De plus, les participants sont équipés de cinq accéléromètres (wGT3X+ de chez Actigraph®, Shalimar, FL,

USA - fréquence d'enregistrement 90 Hz) (Figure 18) et quatre GPS (DG-100 GlobalSat®, GlobalSat Technology Corp., Taiwan - fréquence d'enregistrement 1 Hz) (Figure 19). Les accéléromètres sont positionnés au niveau de la taille dans le prolongement de l'épine iliaque antérosupérieure droite ou gauche, du poignet droit ou gauche (répartition aléatoire), sur le V-deltaïdien droit ou gauche (répartition aléatoire), au niveau lombaire (L4-L5) et un dernier au niveau du sternum. Les quatre GPS DG-100 sont quant à eux positionnés dans un sac à dos. L'antenne externe (AT-65 GPS Active Antenna; GlobalSat Technology Corp., Taiwan) d'un premier GPS est placée au poignet (droit ou gauche en fonction de l'accéléromètre), sur le V-deltaïdien droit ou gauche (répartition aléatoire) et les deux autres au dessous de l'épaule droite (omoplate droite).



Figure 18 : Illustration de l'accéléromètre wGT3X+ (Actigraph®, Shalimar, FL, USA)



(a)



(b)

Figure 19 : Positionnement du matériel utilisé

Le test se termine lorsque le participant ne peut plus maintenir la vitesse de déplacement imposée malgré des encouragements soutenus. L'effort est considéré comme maximal si le $\dot{V}O_2$ reste stable malgré l'augmentation de vitesse ($\dot{V}O_{2max}$) ou à défaut si le quotient respiratoire ($QR = \dot{V}CO_2 \div \dot{V}O_2$) est supérieur ou égal à 1,1 et la fréquence cardiaque supérieure ou égale à 95 % de la théorique. Hors échauffement, la durée de l'épreuve doit être au minimum de 8 minutes¹⁷⁷. Dans le cas contraire, le terme de $\dot{V}O_{2pic}$ est utilisé.

Tests de marche et de course. Six tests de terrain de six minutes chacun mais d'intensités, pentes et lieux différents sont repartis en trois sessions réalisées sur deux jours différents (Figure 17). Chaque vitesse est pré calibrée par une bande sonore qui a été préalablement téléchargée sur un lecteur mp3. L'expérimentateur, muni d'un lecteur mp3 et d'un casque audio, contrôle que le participant se trouve bien au niveau du plot au moment du signal sonore. Une durée de récupération suffisante entre chaque période de marche et/ou de course est allouée afin de retrouver des valeurs de $\dot{V}O_2$ et de fréquence cardiaque proches de celles de repos. L'objectif est de limiter l'impact d'une marche ou d'une course précédente sur la dépense énergétique de la suivante. Puisque cette étude, nécessite un nombre de sujets ($n = 30$) et de tests importants ainsi que des conditions environnementales optimales (absence de pluie, de vent, terrain sec), elle est toujours en cours de réalisation.

Traitement des données et statistiques. A l'issue de chaque session, les données recueillies sont extraites (GPS DG-100 : logiciel GlobalSat, Data Logger PC utility, version 1.1, 2006, Taiwan ; accéléromètre wGT3X+ ; logiciel Actilife7 7.10.0). Les données GPS des périodes de marche et de course sont analysées selon les procédures validées^{151,160}. Une fois les données (exprimées en counts et en données brutes) de l'accéléromètre extraites, les périodes de marches et courses sont isolées pour analyse. Les données sont exprimées en moyenne \pm écart type pour les trois axes et vecteur magnitude étudiés avec l'accélérométrie. Afin de permettre une stabilisation des paramètres cardiorespiratoires lors des efforts rectangulaires, les trois dernières minutes de chaque test sont retenues.

Les moyennes de dépense énergétique correspondant aux trois dernières minutes des périodes de marche ou de course sont également calculées. Le calcul est effectué à partir des valeurs de $\dot{V}O_2$ et $\dot{V}CO_2$ selon la formule proposée par Elia et Livesey^{178,179} :

Équation 6 : Equation de la dépense énergétique^{1,178}

$$DE = 15,913 + \frac{[(5,207 \times QR) \times \dot{V}O_2]}{4,186} \quad (\text{eq. 6})$$

L'Équation 6 définit l'évolution de la dépense énergétique en fonction des paramètres suivants :

- DE = Dépense énergétique ($\text{kcal} \cdot \text{min}^{-1}$) ;
- QR = quotient respiratoire (sans dimension) ;
- $\dot{V}O_2$ = Consommation d'oxygène par unité de temps ($\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$).

Résultats préliminaires. L'étude commencée en 2013 étant très chronophage dans la réalisation et l'analyse des tests, les données sont en cours de traitement afin de pouvoir effectuer, par la suite, les analyses statistiques. Des résultats préliminaires ont été exposés lors du huitième congrès européen de médecine de l'exercice et du sport ¹⁷⁰. Les premiers résultats portent sur l'analyse de cinq participants et pour un GPS DG-100 positionné au niveau de l'omoplate droite et un accéléromètre placé au niveau de l'épine iliaque antérosupérieure droite ou gauche. Les paramètres anthropométriques et de $\dot{V}O_{2max}$ sont présentés dans les actes du congrès. Pour chaque participant ayant effectué l'ensemble des sessions de marche/course, 85 signaux ont été analysés. Le plus fort coefficient de détermination de la dépense énergétique a été obtenu avec le GPS utilisé lors des tests de marche et de course sur terrain plat (R^2 terrain plat = 0,84 vs R^2 terrain en pente = 0,70). Sur terrain en pente, la dépense énergétique était mieux prédite par les paramètres de vitesse et de pente mesurés avec le GPS ($R^2 = 0,70$) qu'avec l'accéléromètre ($R^2 = 0,27$). Pour ce qui concerne ce dernier, ce sont les valeurs recueillies sur l'axe vertical et exprimées en counts qui se sont avérées prédire le mieux la dépense énergétique ($R^2 = 0,86$).

Discussion et Conclusion. Au regard des premiers résultats présentés ci-dessus, il apparaît que le GPS permet l'estimation de la dépense énergétique durant la course sur terrain plat et la marche sur terrain avec pente. Toutefois, la faible taille de l'échantillon observé ne permet pas encore de conclure définitivement sur cette propriété du GPS.

OP-05-05

VALIDITY OF GLOBAL POSITIONING SYSTEM, AND COMPARISON WITH ACCELEROMETRY, IN THE ESTIMATION OF ENERGY EXPENDITURE DURING HORIZONTAL AND GRADE WALKING AND RUNNING ON THE FIELD

M. GERNIGON^{1,2,3}, S. CHAUDRU¹, P.-. DE MÜLLENHEIM^{4,5}, N. CARON¹, A. BRUNEAU², S. BICKERT², B. NOURY-DESVAUX^{1,3}, J. PRIOUX^{4,5}, A. LE FAUCHEUR^{4,5}

¹Institut de Formation en Education Physique et en Sport d'Angers (IFEPSA-UCO), Les Ponts-de-Cé, FRANCE

²Laboratoire des Explorations Fonctionnelles de l'Exercice, Centre Hospitalier Universitaire (CHU) d'Angers, Angers, FRANCE

³Laboratoire Biologie Neurovasculaire et Mitochondriale Intégrée. INSERM UMR 1083-CNRS UMR 6214, Faculté de médecine, Angers, FRANCE

⁴Laboratoire Mouvement, Sport, Santé (M2S), Université de Rennes 2, Rennes, FRANCE

⁵Département Sciences du sport et éducation physique, ENS Cachan-Antenne de Bretagne, Bruz, FRANCE

Accelerometer is largely used to quantify ambulatory physical activity (PA) and to estimate energy expenditure (EE). However, it presents couple of weaknesses such as overestimation of walking EE, inability to estimate precisely walking and running EE against grades. Moreover, the coefficients of determination (r^2) computed from regression analyses to predict EE from « counts » (i.e., the arbitrary unit of acceleration given by accelerometers), remain quite variable among available studies. Brooks et al. (2005) reported that speed could be a better predictor of walking EE than accelerometry. In this latter study, speed was measured by chronometry over a standard distance, which remains unsuitable for free-living measurements. Interestingly, Global Positioning System (GPS) has already been validated as a reliable method to measure walking and running speed (Abraham et al., 2012). Another interest of GPS is the measurement of altitude, which enables grade calculation. To date, few studies have focused on the use of GPS to estimate EE (Nguyen et al., 2012; Hongu et al., 2013; Duncan et al, 2013). These recent studies did not systematically test the validity of GPS to estimate EE from a variety of grades and speeds conditions, which limit their external validity. The present project (ClinicalTrials: NCT01805219) aims on the validity of the estimation of outdoor EE using GPS, in comparison with accelerometer, during horizontal and grade walking as well as during horizontal running. This study is still on-going; preliminary results are presented here.

Thirty healthy participants aged 20-25 will be recruited for this study. Each participant has to perform: 1) an inclusion visit; 2) a resting metabolism measurement; 3) an assessment field of maximal oxygen uptake; 4) three walking sessions and two running sessions on an outdoor synthetic track; 5) six walking sessions uphill ($n=3$) and downhill ($n=3$) on a 4% grade; 5) six walking sessions of uphill ($n=3$) and

Table 1. Energy expenditure (EE) equations ($\text{kcal}\cdot\text{min}^{-1}$), from GPS measurements of speed ($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$) and grade (%) and from accelerometer measurement of counts, during horizontal walking and running as well as grade walking.

Variables	Equations	r^2	SEE
Horizontal walking/running			
Speed _{GPS}	$EE = (0.417 \times \text{speed}) + 15.447$	0.84*	0.6
Counts _{lin} (AP axis)	$EE = (0.046 \times \text{counts}) + 16.025$	0.51*	1.1
Counts _{lin} (V axis)	$EE = (0.019 \times \text{counts}) + 16.366$	0.86*	0.6
Counts _{lin} (VM)	$EE = (0.019 \times \text{counts}) + 16.010$	0.87*	0.6
Grade walking			
Speed _{GPS} and grade _{GPS}	$EE = (0.298 \times \text{speed}) + (0.063 \times \text{grade}) + 16.192$	0.70*	0.4
Counts _{lin} (AP axis)	$EE = (0.027 \times \text{counts}) + 16.138$	0.18*	0.6
Counts _{lin} (V axis)	$EE = (0.013 \times \text{counts}) + 16.693$	0.27*	0.6
Counts _{lin} (VM)	$EE = (0.015 \times \text{counts}) + 16.311$	0.29*	0.6

AP: antero-posterior axis; V: vertical axis; VM: vector magnitude; r^2 : coefficient of determination; SEE: standard error of estimation. * $P < 0.05$.

downhill ($n=3$) walking on a 10% grade. The studying speeds are 2, 3.5 and 5 km/h for walking, 9 and 11 km/h for running. The speed is randomly attributed for each session. Each session lasts six minutes. During all sessions, participants wear a GPS device (DG100, GlobalSat®) at the right shoulder blade, an accelerometer (wGT3X+, Actigraph®) at the right or left hip, and a gas measure exchanges apparatus (K4b2, Cosmed®). Validity of the GPS system and of the accelerometer to predict EE is assessed from linear regression models.

Five subjects (mean \pm SD: 22 \pm 2 years; 174 \pm 8 cm; 70.1 \pm 11.3 kg; 23.0 \pm 2.9 kg.m⁻²; VO₂ max.: 57.3 \pm 14.9 ml.min⁻¹.kg⁻¹) have currently completed the protocol, representing a total of 85 walking/running sessions. Table 1 displays the main results. The r^2 for GPS equations was better for horizontal walking/running than for grade walking (0.84 vs. 0.70). The best r^2 for the accelerometer was always obtained with counts calculated from the vertical axis. For EE estimation during grade walking, a better estimation was found from GPS measurements of speed and grade than with accelerometer (0.70 vs. 0.27). The GPS seems to be a valid tool to estimate EE during horizontal and grade walking and horizontal running.

OP-05-06

ACCELEROMETER AS A TOOL TO ASSESS SEDENTARITY AND ADHERENCE TO PHYSICAL ACTIVITY RECOMMENDATIONS AFTER CARDIAC REHABILITATION PROGRAM

T. GUIRAUD^{1,2}, R. GRANGER¹, M. BOUSQUET¹, L. RICHARD¹, L. SOUKARI¹, T. BABIN¹, M. LABRUNE², L. BOSQUET³, A. PATHAK², V. GREMEAUX^{4,5,6}

¹Clinique de rééducation cardiovasculaire et pulmonaire de Saint Orens, FRANCE

²Inserm U1048, équipe 8, bâtiment I2MC, 1, avenue Jean-Poulhès, 31059 Toulouse cedex 9, FRANCE

³Laboratoire MOVE (EA6314), Faculté des Sciences du Sport, Université de Poitiers, 8 rue Jean Monnet, 86000 Poitiers

⁴Ple Rééducation-Rehabilitation, CHU Dijon, FRANCE

⁵INSERM - U1093 "Cognition, Action, et Plasticité Sensorimotrice", Dijon, FRANCE

⁶INSERM CIC-P 803, Plateforme d'Investigation Technologique, CHU Dijon, FRANCE

BACKGROUND: One of the main challenge of cardiac rehabilitation programs (CRP) is to obtain sustained modifications in lifestyle habits, including nutrition and physical activity (PA). However, the methodology to assess PA is often heterogeneous, favoring the measurement of the volume rather than precise parameters (minutes and exercise intensity). Our purpose was to objectively assess, in stable cardiac patients, the adherence to physical activity (PA) recommendations using an accelerometer at two or 12 months after the discharge of cardiac rehabilitation program (CRP).

METHODS: Eighty cardiac patients wore an accelerometer at two months (group 1, $n=41$) or one-year (group 2, $n=39$) after a CRP including education about regular PA. PA was classified as "light" (1.8-2.9 METs), "moderate" (3-5.9 METs), or "intense" (>6METs). Energy expenditure (EE, in Kcal) and time (min) spent in these three different levels were measured during a one-week period with the MyWellness Key actimeter (MWK). Motivational readiness for change was also assessed at the end of CRP. Patients were considered as physically active when a minimum of 150 min of moderate PA during the one-week period was achieved.

RESULTS: The total weekly active EE averaged 676.7 \pm 353.2 kcal and 609.5 \pm 433.5 kcal in group 1 and 2, respectively. The time spent within the light-intensity range PA was 319.4 \pm 170.9 and 310.9 \pm 160.6 min, and the time spent within the moderate-intensity range averaged 157.4 \pm 115.4 and 165 \pm 77.2 min per week for group 1 and 2, respectively. Fifty-three percent and 41 % of patients remained active in both groups respectively.

CONCLUSION: About half of the patients are non-adherent to PA after CRP and do not reach target levels recommended by physicians. The first two months following the discharge of CRP are decisive for lifestyle modifications maintenance.

5. Conclusion et perspectives

La prévalence de l'inactivité physique est de 17 % et de l'activité physique insuffisante de 40 % (*i.e.*, moins de 150 min à intensité modérée ou moins de 60 min à intensité élevée par semaine)¹⁰. Pour lutter contre la sédentarité, la Haute Autorité de la Santé (HAS) recommande une pratique régulière de l'activité physique. L'association de l'AOMI à un faible niveau d'activité physique quotidienne place le patient artériopathe claudicant à haut risque d'accident cardiovasculaire⁶. Pour cette raison, il est important de diagnostiquer l'AOMI le plus tôt possible et d'évaluer sa sévérité. Donc, l'évaluation de la l'AOMI est un enjeu de santé publique. Les examens de routine clinique conservent leur importance en première intention (mesures des IPSC et échographie Doppler) car ils sont simples d'utilisation et peu coûteux.

Le test de marche sur tapis roulant fait partie des examens de référence car il est le seul à l'heure actuelle à permettre d'objectiver la DMM des patients artériopathes claudicants. Aujourd'hui la TcPO₂ d'effort est utilisée en routine clinique dans l'unité des Explorations Fonctionnelles de l'Exercice du CHU d'Angers mais aussi dans douze centres hospitaliers français ainsi qu'aux Etats-Unis (Mayo clinic, Rochester) et en Angleterre (Sheffield). En plus, de localiser précisément la zone ischémique à l'effort, la TcPO₂ d'effort est souvent demandée par le médecin vasculaire ou le chirurgien pour identifier si la gêne fonctionnelle à la marche est d'origine vasculaire ou non. La TcPO₂ d'effort est notamment indiquée lorsque que les IPSC sont dans la limite de la normale et/ou que l'échographie Doppler ne met pas en évidence une sténose de façon claire mais que l'étiologie vasculaire artérielle demeure. Une autre application possible de la TcPO₂ d'effort est le dépistage de pathologies respiratoires par l'analyse des courbes thoraciques. Une étude en cours de réalisation dans l'unité des Explorations Fonctionnelles de l'Exercice du CHU d'Angers s'intéresse notamment à la prévalence du syndrome d'apnées du sommeil dans l'AOMI.

Dans un contexte de maillage territorial de la santé et d'une équité dans la prise en charge du patient, la délocalisation des outils diagnostics et de mesures est nécessaire. Par l'utilisation de la télémétrie, l'hôpital sort de ses murs. Dans cette logique, l'outil GPS offre une opportunité intéressante dans l'évaluation de l'AOMI et de son évolution au cours du temps. Dans le contexte du sport, le GPS a déjà fait ses preuves et est utilisé pour suivre les déplacements, distances et vitesses réalisés par les sportifs. En revanche, en recherche clinique, le GPS est utilisé pour une évaluation de type holter *i.e.*, sur plusieurs heures ou jours afin de refléter au mieux la vie quotidienne. Par conséquent, le GPS semble être pertinent dans l'évaluation de la marche spontanée des artériopathes claudicants puisqu'il permet d'utiliser la biomécanique naturelle des patients à la marche et présente un potentiel très intéressant pour décrire les interactions entre les individus *via* leurs déplacements¹⁴⁷. Ce travail de thèse montre l'efficacité du GPS dans la mesure des paramètres de marche du patient artériopathe claudicant. Dans un premier temps, l'étude Starter-GPS met en évidence que le GPS est un outil fiable et reproductible dans l'évaluation des limitations à la marche des patients artériopathes claudicants pour les paramètres de DMM_{GPS} et de vitesse moyenne. L'étude Post-GPS, quant à elle, montre que cette méthode d'évaluation est applicable en routine clinique et surtout qu'elle nous donne accès à un nouveau

paramètre qui pourrait être un argument supplémentaire dans l'évaluation de la sévérité de l'AOMI : la vitesse. Pour l'instant, il n'existe pas d'étude portant sur la vitesse de marche comme facteur prédictif de la sévérité de l'AOMI. Cependant, à la suite d'une revascularisation, il semble que les patients améliorent préférentiellement leur vitesse plutôt que leur distance de marche.

En effet, les patients artériopathes présentent une motricité altérée qui se traduit par une diminution de l'endurance à marcher, de la vitesse de marche et de la force musculaire des membres inférieurs^{30,52,53}. Une vitesse de marche faible est associée à un taux de mortalité plus élevé⁵⁴. Cependant cette étude ne discrimine pas les patients asymptomatiques des symptomatiques. Toutefois, Stanaway *et al.* ont estimé qu'une vitesse de marche inférieure ou égale 3 km.h⁻¹ est prédictive de mortalité chez des hommes de 70 ans et plus. Cependant ces études sont à pondérer puisqu'elles sont établies à partir de tests courts en temps et distance (*e.g.*, test de marche de 6 minutes, test de 4 mètres)¹⁸⁰. D'après Gardner *et al.*, la vitesse de marche a une influence sur le risque de décès chez les patients présentant une AOMI associée à une claudication intermittente mais aussi chez les patients moins sévèrement malades¹⁸¹. Toutefois aucune étude n'a évalué l'effet de la vitesse de marche des patients artériopathes comme facteur prédictif de morbi-mortalité et le GPS offre cette opportunité. Donc, le GPS permet une évaluation objective de la marche aussi performante que celle effectuée sur tapis roulant. Cependant, en plus d'être réutilisable, il a pour avantage de présenter un coût d'utilisation beaucoup plus faible, moins d'une centaine d'euros l'unité, contre 76,80 € pour un test de marche sur tapis avec électrocardiogramme d'effort (avec ou sans TcPO₂ d'effort). Par conséquent, même si l'analyse d'une marche avec GPS demande une vingtaine de minutes et nécessite un personnel formé, l'évaluation avec GPS reste moins chère car :

- Un même GPS peut être utilisé pour plusieurs patients ;
- Contrairement à l'épreuve d'effort sur tapis roulant, elle ne nécessite pas la présence d'un médecin et d'une infirmière ;
- Elle peut être analysée et interprétée par tout personnel préalablement formé, soignant ou non.

A terme, le GPS est une perspective très intéressante pour une utilisation en routine clinique afin d'objectiver les limitations à la marche de patients artériopathes claudicants.

De plus, le GPS est souvent associé à l'accélérométrie lors d'évaluation dans un contexte urbain des déplacements (marche, course, transports en commun, voiture)¹⁴⁶.

Toutefois, le GPS est un outil complémentaire de l'accélérométrie pour mesurer l'activité physique et le mouvement humain et ne permet pas à lui seul de mesurer l'activité physique¹⁰. Plusieurs études se sont attachées à évaluer l'association du couplage GPS, accéléromètre et cardiofréquencemètre notamment dans les stratégies de déplacements liées à l'activité physique chez l'enfant¹³⁶, la personne âgée¹⁵⁹, le golfeur¹⁶⁶, etc. Cependant, de plus en plus d'auteurs voient dans le couplage GPS – accéléromètre une perspective intéressante pour mesurer l'activité physique et la marche de patients en extérieur^{10,24,150,182}. D'après Maddison *et al.*, l'association d'un GPS à un accéléromètre permet de suivre des mouvements de façon suffisamment précise, de rapporter les interactions avec l'environnement et de discriminer le type d'activité physique (taux de réussite compris entre 89 % et 91 %) ¹⁰. Toutefois, la grande diversité des protocoles et l'absence de détail des schémas expérimentaux rendent difficile la

comparaison des études et affectent donc la possibilité de tester la réplicabilité et la répétabilité des mesures ¹⁸².

L'accélérométrie permet de quantifier l'activité physique et la dépense énergétique. Toutefois, il est observé une surestimation ainsi qu'une évaluation imprécise sur terrain en pente de la dépense énergétique à la marche avec l'accélérométrie ^{183,184}. Or, le GPS permet une mesure précise de l'altitude et est précis dans l'évaluation de la vitesse ^{148,152,157}. De plus, Larsson *et al.* montrent qu'il est possible d'associer le GPS à des mesures métaboliques *via* un analyseur d'échange gazeux ¹⁴⁴. Aussi, l'étude Acti-GPS, toujours en cours de réalisation, s'intéresse à l'évaluation de la dépense énergétique par couplage GPS et accélérométrie associée à une évaluation des échanges gazeux et de la fréquence cardiaque. Les premiers résultats de cette étude sont très encourageants et montrent que les évaluations de la dépense énergétique par technique GPS ou par technique accélérométrique sur terrain plat sont équivalentes. En revanche, parce que le GPS intègre les paramètres de pente, il est plus performant que l'accélérométrie pour estimer la dépense énergétique sur terrain en pente.

Dans une perspective d'utilisation chez l'athlète ou le patient, la multiplication des appareils pour quantifier l'activité physique voire la dépense énergétique peut être un frein pour les utilisateurs. De nouveaux capteurs spécifiquement conçus (*e.g.*, Nike+iPod) combinant le GPS, l'accélérométrie et le cardiofréquence-mètre pour quantifier l'activité physique (intensité, temps et type d'exercice) existent mais restent très coûteux ^{136,137}. Aussi, les nouveaux smartphones représentent une technologie intéressante car ils sont équipés de logiciels et capteurs de type GPS, accéléromètre, cardiofréquence-mètre, etc. Toutefois, l'une des limites majeures de ces smartphones est la durée de charge de la batterie qui n'est pas toujours suffisante pour satisfaire le bon fonctionnement de toutes les applications dont celles qui sont en veille (*e.g.*, wifi, 3G/4G, etc.) ¹⁴¹. De plus, l'utilisation des smartphones, sans supervision, pour monitorer les activités physiques peut représenter un biais notamment par un positionnement non standard du smartphone ¹⁴¹.

Même si elles sont actuellement confidentielles, les nouvelles méthodologies utilisant l'actimétrie et la TcPO₂ d'effort appliquée au stade II de l'AOMI présentées dans ce travail de thèse permettent une meilleure objectivation de la gêne fonctionnelle des patients. En effet, par sa capacité à mesurer l'ischémie à la marche, la TcPO₂ d'effort permet d'orienter rapidement le patient vers une prise en charge vasculaire lorsque l'examen est positif. Le GPS quant à lui permet d'évaluer la marche spontanée et donc de mesurer la DMM au plus près de la vie quotidienne du patient et donc d'optimiser l'orientation vers une potentielle revascularisation. De plus, l'étude post-GPS montre qu'à elle seule, la DMM ne suffit pas et que la vitesse de marche moyenne semble être un paramètre clé dans l'évaluation des limitations à la marche des patients artériopathes claudicants. Au regard de l'évolution des politiques de santé visant à optimiser la prise en charge des patients pour une diminution du coût de la santé, ces méthodes représentent une perspective d'avenir dans l'évaluation de la sévérité du stade II de l'AOMI et de sa prise en charge.

Bibliographie

- 1 Marieb EN. Biologie humaine, Pincipes d'anatomie et de physiologie. Edition du Renouveau Pédagogique Inc. ed, 2008
- 2 Hirsch AT, Haskal ZJ, Hertzner NR, Bakal CW, Creager MA, Halperin JL, et al. ACC/AHA 2005 Practice Guidelines for the management of patients with peripheral arterial disease (lower extremity, renal, mesenteric, and abdominal aortic): a collaborative report from the American Association for Vascular Surgery/Society for Vascular Surgery, Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, Society for Vascular Medicine and Biology, Society of Interventional Radiology, and the ACC/AHA Task Force on Practice Guidelines (Writing Committee to Develop Guidelines for the Management of Patients With Peripheral Arterial Disease): endorsed by the American Association of Cardiovascular and Pulmonary Rehabilitation; National Heart, Lung, and Blood Institute; Society for Vascular Nursing; TransAtlantic Inter-Society Consensus; and Vascular Disease Foundation. *Circulation* 2006; 113:e463-654
- 3 Fontaine R, Kim M, Kieny R. [Surgical treatment of peripheral circulation disorders]. *Helv Chir Acta* 1954; 21:499-533
- 4 Young A. Rehabilitation of patients with pulmonary disease. *Annals of Academy of Medicine of Singapore* 1983; 12:410-16
- 5 McDermott MM, Applegate WB, Bonds DE, Buford TW, Church T, Espeland MA, et al. Ankle brachial index values, leg symptoms, and functional performance among community-dwelling older men and women in the lifestyle interventions and independence for elders study. *J Am Heart Assoc* 2013; 2:e000257
- 6 Gardner AW, Parker DE, Montgomery PS, Blevins SM. Step-monitored home exercise improves ambulation, vascular function, and inflammation in symptomatic patients with peripheral artery disease: a randomized controlled trial. *J Am Heart Assoc* 2014; 3:e001107
- 7 OMS. Recommandations mondiales sur l'activité physique pour la santé: Bibliothèque de l'OMS, 2010
- 8 OMS. Préambule à la Constitution de l'Organisation mondiale de la Santé. In: Santé AodlOmdl, ed. Conférence internationale sur la Santé. New York, 1946; 100
- 9 Boccalon H, Lehert P, Mosnier M. [Assessment of the prevalence of atherosclerotic lower limb arteriopathy in France as a systolic index in a vascular risk population]. *J Mal Vasc* 2000; 25:38-46
- 10 Maddison R, Ni Mhurchu C. Global positioning system: a new opportunity in physical activity measurement. *Int J Behav Nutr Phys Act* 2009; 6:73
- 11 Fowkes FG, Rudan D, Rudan I, Aboyans V, Denenberg JO, McDermott MM, et al. Comparison of global estimates of prevalence and risk factors for peripheral artery disease in 2000 and 2010: a systematic review and analysis. *Lancet* 2013; 382:1329-40
- 12 Vodnala D, Rajagopalan S, Brook RD. Medical management of the patient with intermittent claudication. *Cardiol Clin* 2011; 29:363-79
- 13 McDermott MM, Fried L, Simonsick E, Ling S, Guralnik JM. Asymptomatic peripheral arterial disease is independently associated with impaired lower extremity functioning: the women's health and aging study. *Circulation* 2000; 101:1007-12
- 14 Resnick HE, Lindsay RS, McDermott MM, Devereux RB, Jones KL, Fabsitz RR, et al. Relationship of high and low ankle brachial index to all-cause and cardiovascular disease mortality: the Strong Heart Study. *Circulation* 2004; 109:733-9
- 15 Sugar O. Jean-Francois Bouley (Bouley jeune). Pioneer investigator in intermittent claudication. *Spine (Phila Pa 1976)* 1994; 19:346-9
- 16 Bouley JF. Claudication intermittente des membres postérieurs, déterminée par l'oblitération des artères fémorales. *Recueil de médecine vétérinaire* 1831; 8:517-27
- 17 SFMV. Traité de médecine vasculaire - Principes base, maladies artérielles. Issy-les-Moulineaux: Société Française de Médecine Vasculaire, 2010
- 18 Rose GA. The diagnosis of ischaemic heart pain and intermittent claudication in field surveys. *Bull World Health Organ* 1962; 27:645-58
- 19 Hirsch AT, Criqui MH, Treat-Jacobson D, Regensteiner JG, Creager MA, Olin JW, et al. Peripheral arterial disease detection, awareness, and treatment in primary care. *Jama* 2001; 286:1317-24

- 20 Dormandy JA, Rutherford RB. Management of peripheral arterial disease (PAD). TASC Working Group. TransAtlantic Inter-Society Consensus (TASC). *J Vasc Surg* 2000; 31:S1-S296
- 21 Rutherford RB, Baker JD, Ernst C, Johnston KW, Porter JM, Ahn S, et al. Recommended standards for reports dealing with lower extremity ischemia: revised version. *J Vasc Surg* 1997; 26:517-38
- 22 Criqui MH, Fronek A, Barrett-Connor E, Klauber MR, Gabriel S, Goodman D. The prevalence of peripheral arterial disease in a defined population. *Circulation* 1985; 71:510-5
- 23 Diehm C, Schuster A, Allenberg JR, Darius H, Haberl R, Lange S, et al. High prevalence of peripheral arterial disease and co-morbidity in 6880 primary care patients: cross-sectional study. *Atherosclerosis* 2004; 172:95-105
- 24 Hansson GK. Inflammation, atherosclerosis, and coronary artery disease. *N Engl J Med* 2005; 352:1685-95
- 25 Ross R. Atherosclerosis is an inflammatory disease. *Am Heart J* 1999; 138:S419-20
- 26 Organization WSGoAaIHD-WH. Study Group on Atherosclerosis and Ischaemic Heart Disease [meeting held in Geneva from 7 to 11 November 1955] : report. In: Organization GWH, ed, 1957
- 27 WHO. Recommendations for Prevention of Cardiovascular disease: Guidelines for assessment and management for cardiovascular risk. World health organization ed. Geneva, Switzerland: W. Press, 2007
- 28 Criqui MH, Denenberg JO, Langer RD, Fronek A. The epidemiology of peripheral arterial disease: importance of identifying the population at risk. *Vasc Med* 1997; 2:221-6
- 29 Allison MA, Ho E, Denenberg JO, Langer RD, Newman AB, Fabsitz RR, et al. Ethnic-specific prevalence of peripheral arterial disease in the United States. *Am J Prev Med* 2007; 32:328-33
- 30 McDermott MM, Greenland P, Liu K, Guralnik JM, Celic L, Criqui MH, et al. The ankle brachial index is associated with leg function and physical activity: the Walking and Leg Circulation Study. *Ann Intern Med* 2002; 136:873-83
- 31 Fowkes FG, Housley E, Riemersma RA, Macintyre CC, Cawood EH, Prescott RJ, et al. Smoking, lipids, glucose intolerance, and blood pressure as risk factors for peripheral atherosclerosis compared with ischemic heart disease in the Edinburgh Artery Study. *Am J Epidemiol* 1992; 135:331-40
- 32 Kannel WB, McGee DL. Update on some epidemiologic features of intermittent claudication: the Framingham Study. *J Am Geriatr Soc* 1985; 33:13-8
- 33 Pasternak RC, Criqui MH, Benjamin EJ, Fowkes FG, Isselbacher EM, McCullough PA, et al. Atherosclerotic Vascular Disease Conference: Writing Group I: epidemiology. *Circulation* 2004; 109:2605-12
- 34 Powell JT, Edwards RJ, Worrell PC, Franks PJ, Greenhalgh RM, Poulter NR. Risk factors associated with the development of peripheral arterial disease in smokers: a case-control study. *Atherosclerosis* 1997; 129:41-8
- 35 Price JF, Mowbray PI, Lee AJ, Rumley A, Lowe GD, Fowkes FG. Relationship between smoking and cardiovascular risk factors in the development of peripheral arterial disease and coronary artery disease: Edinburgh Artery Study. *Eur Heart J* 1999; 20:344-53
- 36 Smith GD, Shipley MJ, Rose G. Intermittent claudication, heart disease risk factors, and mortality. The Whitehall Study. *Circulation* 1990; 82:1925-31
- 37 Bowlin SJ, Medalie JH, Flocke SA, Zyzanski SJ, Goldbourt U. Epidemiology of intermittent claudication in middle-aged men. *Am J Epidemiol* 1994; 140:418-30
- 38 Meijer WT, Hoes AW, Rutgers D, Bots ML, Hofman A, Grobbee DE. Peripheral arterial disease in the elderly: The Rotterdam Study. *Arterioscler Thromb Vasc Biol* 1998; 18:185-92
- 39 Regensteiner JG, Hiatt WR, Coll JR, Criqui MH, Treat-Jacobson D, McDermott MM, et al. The impact of peripheral arterial disease on health-related quality of life in the Peripheral Arterial Disease Awareness, Risk, and Treatment: New Resources for Survival (PARTNERS) Program. *Vasc Med* 2008; 13:15-24
- 40 Roy MS, Peng B. Six-year incidence of lower extremity arterial disease and associated risk factors in Type 1 diabetic African-Americans. *Diabet Med* 2008; 25:550-6
- 41 Machnica L, Deja G, Polanska J, Jarosz-Chobot P. Blood pressure disturbances and endothelial dysfunction markers in children and adolescents with type 1 diabetes. *Atherosclerosis*; 237:129-34
- 42 Sachs MC, Brunzell JD, Cleary PA, Hoofnagle AN, Lachin JM, Molitch ME, et al. Circulating vitamin D metabolites and subclinical atherosclerosis in type 1 diabetes. *Diabetes Care*; 36:2423-9

- 43 Costacou T, Edmundowicz D, Prince C, Conway B, Orchard TJ. Progression of coronary artery calcium in type 1 diabetes mellitus. *Am J Cardiol* 2007; 100:1543-7
- 44 Nathan DM, Bayless M, Cleary P, Genuth S, Gubitosi-Klug R, Lachin JM, et al. Diabetes control and complications trial/epidemiology of diabetes interventions and complications study at 30 years: advances and contributions. *Diabetes* 2005; 62:3976-86
- 45 Newman AB, Siscovick DS, Manolio TA, Polak J, Fried LP, Borhani NO, et al. Ankle-arm index as a marker of atherosclerosis in the Cardiovascular Health Study. Cardiovascular Health Study (CHS) Collaborative Research Group. *Circulation* 1993; 88:837-45
- 46 Beks PJ, Mackaay AJ, de Neeling JN, de Vries H, Bouter LM, Heine RJ. Peripheral arterial disease in relation to glycaemic level in an elderly Caucasian population: the Hoorn study. *Diabetologia* 1995; 38:86-96
- 47 Hiatt WR, Hoag S, Hamman RF. Effect of diagnostic criteria on the prevalence of peripheral arterial disease. The San Luis Valley Diabetes Study. *Circulation* 1995; 91:1472-9
- 48 Jude EB, Oyibo SO, Chalmers N, Boulton AJ. Peripheral arterial disease in diabetic and nondiabetic patients: a comparison of severity and outcome. *Diabetes Care* 2001; 24:1433-7
- 49 Fowkes FG, Dunbar JT, Lee AJ. Risk factor profile of nonsmokers with peripheral arterial disease. *Angiology* 1995; 46:657-62
- 50 Grundy SM, Brewer HB, Jr., Cleeman JI, Smith SC, Jr., Lenfant C. Definition of metabolic syndrome: Report of the National Heart, Lung, and Blood Institute/American Heart Association conference on scientific issues related to definition. *Circulation* 2004; 109:433-8
- 51 Gruber A, Horwood F, Sithole J, Ali NJ, Idris I. Obstructive sleep apnoea is independently associated with the metabolic syndrome but not insulin resistance state. *Cardiovasc Diabetol* 2006; 5:22
- 52 Morris DR, Rodriguez AJ, Moxon JV, Cunningham MA, McDermott MM, Myers J, et al. Association of lower extremity performance with cardiovascular and all-cause mortality in patients with peripheral artery disease: a systematic review and meta-analysis. *J Am Heart Assoc* 2014; 3
- 53 McDermott MM, Criqui MH, Greenland P, Guralnik JM, Liu K, Pearce WH, et al. Leg strength in peripheral arterial disease: associations with disease severity and lower-extremity performance. *J Vasc Surg* 2004; 39:523-30
- 54 McDermott MM, Tian L, Liu K, Guralnik JM, Ferrucci L, Tan J, et al. Prognostic value of functional performance for mortality in patients with peripheral artery disease. *J Am Coll Cardiol* 2008; 51:1482-9
- 55 McDermott MM, Greenland P, Ferrucci L, Criqui MH, Liu K, Sharma L, et al. Lower extremity performance is associated with daily life physical activity in individuals with and without peripheral arterial disease. *J Am Geriatr Soc* 2002; 50:247-55
- 56 McDermott MM, Guralnik JM, Tian L, Ferrucci L, Liu K, Liao Y, et al. Baseline functional performance predicts the rate of mobility loss in persons with peripheral arterial disease. *J Am Coll Cardiol* 2007; 50:974-82
- 57 Howard BV, Welty TK, Fabsitz RR, Cowan LD, Oopik AJ, Le NA, et al. Risk factors for coronary heart disease in diabetic and nondiabetic Native Americans. The Strong Heart Study. *Diabetes* 1992; 41 Suppl 2:4-11
- 58 Golomb BA, Dang TT, Criqui MH. Peripheral arterial disease: morbidity and mortality implications. *Circulation* 2006; 114:688-99
- 59 Jackson EA, Munir K, Schreiber T, Rubin JR, Cuff R, Gallagher KA, et al. Impact of sex on morbidity and mortality rates after lower extremity interventions for peripheral arterial disease: observations from the Blue Cross Blue Shield of Michigan Cardiovascular Consortium. *J Am Coll Cardiol* 2014; 63:2525-30
- 60 Vouyouka AG, Egorova NN, Salloum A, Kleinman L, Marin M, Faries PL, et al. Lessons learned from the analysis of gender effect on risk factors and procedural outcomes of lower extremity arterial disease. *J Vasc Surg* 2010; 52:1196-202
- 61 Abando A, Akopian G, Katz SG. Patient sex and success of peripheral percutaneous transluminal arterial angioplasty. *Arch Surg* 2005; 140:757-61
- 62 Vouyouka AG, Kent KC. Arterial vascular disease in women. *J Vasc Surg* 2007; 46:1295-302
- 63 Steg PG, Bhatt DL, Wilson PW, D'Agostino R, Sr., Ohman EM, Rother J, et al. One-year cardiovascular event rates in outpatients with atherothrombosis. *Jama* 2007; 297:1197-206
- 64 Leng GC, Fowkes FG, Lee AJ, Dunbar J, Housley E, Ruckley CV. Use of ankle brachial pressure index to predict cardiovascular events and death: a cohort study. *Bmj* 1996; 313:1440-4
- 65 Dolan NC, Liu K, Criqui MH, Greenland P, Guralnik JM, Chan C, et al. Peripheral artery disease, diabetes, and reduced lower extremity functioning. *Diabetes Care* 2002; 25:113-20

- 66 Wang JC, Criqui MH, Denenberg JO, McDermott MM, Golomb BA, Fronck A. Exertional leg pain in patients with and without peripheral arterial disease. *Circulation* 2005; 112:3501-8
- 67 Grenon SM, Gagnon J, Hsiang Y. Video in clinical medicine. Ankle-brachial index for assessment of peripheral arterial disease. *N Engl J Med* 2009; 361:e40
- 68 Hiatt WR. Medical treatment of peripheral arterial disease and claudication. *N Engl J Med* 2001; 344:1608-21
- 69 Espinola-Klein C, Rupprecht HJ, Bickel C, Lackner K, Savvidis S, Messow CM, et al. Different calculations of ankle-brachial index and their impact on cardiovascular risk prediction. *Circulation* 2008; 118:961-7
- 70 Aboyans V, Criqui MH, Abraham P, Allison MA, Creager MA, Diehm C, et al. Measurement and interpretation of the ankle-brachial index: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation* 2012; 126:2890-909
- 71 Gernigon M, Marchand J, Ouedraogo N, Leftheriotis G, Piquet JM, Abraham P. Proximal ischemia is a frequent cause of exercise-induced pain in patients with a normal ankle to brachial index at rest. *Pain Physician* 2013; 16:57-64
- 72 Niazi K, Khan TH, Easley KA. Diagnostic utility of the two methods of ankle brachial index in the detection of peripheral arterial disease of lower extremities. *Catheter Cardiovasc Interv* 2006; 68:788-92
- 73 Parameswaran GI, Brand K, Dolan J. Pulse oximetry as a potential screening tool for lower extremity arterial disease in asymptomatic patients with diabetes mellitus. *Arch Intern Med* 2005; 165:442-6
- 74 Schroder F, Diehm N, Kareem S, Ames M, Pira A, Zwettler U, et al. A modified calculation of ankle-brachial pressure index is far more sensitive in the detection of peripheral arterial disease. *J Vasc Surg* 2006; 44:531-6
- 75 Guo X, Li J, Pang W, Zhao M, Luo Y, Sun Y, et al. Sensitivity and specificity of ankle-brachial index for detecting angiographic stenosis of peripheral arteries. *Circ J* 2008; 72:605-10
- 76 Wikstrom J, Hansen T, Johansson L, Lind L, Ahlstrom H. Ankle brachial index <0.9 underestimates the prevalence of peripheral artery occlusive disease assessed with whole-body magnetic resonance angiography in the elderly. *Acta Radiol* 2008; 49:143-9
- 77 Williams DT, Harding KG, Price P. An evaluation of the efficacy of methods used in screening for lower-limb arterial disease in diabetes. *Diabetes Care* 2005; 28:2206-10
- 78 Ouriel K, McDonnell AE, Metz CE, Zarins CK. Critical evaluation of stress testing in the diagnosis of peripheral vascular disease. *Surgery* 1982; 91:686-93
- 79 Carter SA. Response of ankle systolic pressure to leg exercise in mild or questionable arterial disease. *N Engl J Med* 1972; 287:578-82
- 80 Laing S, Greenhalgh RM. The detection and progression of asymptomatic peripheral arterial disease. *Br J Surg* 1983; 70:628-30
- 81 Fowler B, Jamrozik K, Norman P, Allen Y. Prevalence of peripheral arterial disease: persistence of excess risk in former smokers. *Aust N Z J Public Health* 2002; 26:219-24
- 82 Gale SS, Scissons RP, Salles-Cunha SX, Dosick SM, Whalen RC, Pigott JP, et al. Lower extremity arterial evaluation: are segmental arterial blood pressures worthwhile? *J Vasc Surg* 1998; 27:831-8; discussion 38-9
- 83 Watson CJ, Phillips D, Hands L, Collin J. Claudication distance is poorly estimated and inappropriately measured. *Br J Surg* 1997; 84:1107-9
- 84 Leng GC, Fowkes FG. The Edinburgh Claudication Questionnaire: an improved version of the WHO/Rose Questionnaire for use in epidemiological surveys. *J Clin Epidemiol* 1992; 45:1101-9
- 85 Feringa HH, Bax JJ, Hoeks S, van Waning VH, Elhendy A, Karagiannis S, et al. A prognostic risk index for long-term mortality in patients with peripheral arterial disease. *Arch Intern Med* 2007; 167:2482-9
- 86 Regensteiner JG, Steiner JF, al. e. Evaluation of walking impairment by questionnaire in patients with peripheral arterial disease. *J Vascular Medicine Biology* 1990:142-52
- 87 Abraham P, Godet R, Harbonnier M, Laneelle D, Leftheriotis G, Ouedraogo N. External validation of the "walking estimated limitation calculated by history" (WELCH) questionnaire in patients with claudication. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2014; 47:319-25
- 88 Bourdois C, Laporte I, Godet R, Laneelle D, Vielle B, Abraham P. Can the scoring of the walking estimated limitation calculated by history (WELCH) questionnaire be simultaneously simplified and improved? *Vasa* 2014; 43:198-201

- 89 Tew GA, Nawaz S, Humphreys L, Ouedraogo N, Abraham P. Validation of the English version of the Walking Estimated-Limitation Calculated by History (WELCH) questionnaire in patients with intermittent claudication. *Vasc Med* 2014; 19:27-32
- 90 Ouedraogo N, Chanut M, Aubourg M, Le Hello C, Hidden V, Audat G, et al. Development and evaluation of the Walking Estimated-Limitation Calculated by History questionnaire in patients with claudication. *J Vasc Surg* 2013; 58:981-8
- 91 McDermott MM, Liu K, Guralnik JM, Martin GJ, Criqui MH, Greenland P. Measurement of walking endurance and walking velocity with questionnaire: validation of the walking impairment questionnaire in men and women with peripheral arterial disease. *J Vasc Surg* 1998; 28:1072-81
- 92 Myers SA, Johanning JM, Stergiou N, Lynch TG, Longo GM, Pipinos, II. Claudication distances and the Walking Impairment Questionnaire best describe the ambulatory limitations in patients with symptomatic peripheral arterial disease. *J Vasc Surg* 2008; 47:550-55
- 93 Mahe G, Ouedraogo N, Vasseur M, Faligant C, Saidi K, Leftheriotis G, et al. Limitations of self-reported estimates of functional capacity using the Walking Impairment Questionnaire. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2011; 41:104-9
- 94 Ouedraogo N, Mahe G, Marchand J, Saidi K, Leftheriotis G, Abraham P. Validation of a new simple questionnaire to "estimate ambulation capacity by history" (EACH) in patients with claudication. *J Vasc Surg* 2011; 54:133-8
- 95 Tew G, Copeland R, Le Faucheur A, Gernigon M, Nawaz S, Abraham P. Feasibility and validity of self-reported walking capacity in patients with intermittent claudication. *J Vasc Surg* 2013; 57:1227-34
- 96 Hoogeveen EK, Mackaay AJ, Beks PJ, Kostense PJ, Dekker JM, Heine RJ, et al. Evaluation of the one-minute exercise test to detect peripheral arterial disease. *Eur J Clin Invest* 2008; 38:290-5
- 97 Gardner AW, Skinner JS, Cantwell BW, Smith LK. Progressive vs single-stage treadmill tests for evaluation of claudication. *Med Sci Sports Exerc* 1991; 23:402-8
- 98 Hiatt WR, Nawaz D, Regensteiner JG, Hossack KF. The Evaluation of Exercise Performance in Patients with Peripheral Vascular Disease. *Journal of Cardiopulmonary Rehabilitation* 1988:525-32
- 99 Nicolai SP, Viechtbauer W, Kruidenier LM, Candel MJ, Prins MH, Tejjink JA. Reliability of treadmill testing in peripheral arterial disease: a meta-regression analysis. *J Vasc Surg* 2009; 50:322-9
- 100 Bruce RA, Kusumi F, Hosmer D. Maximal oxygen intake and nomographic assessment of functional aerobic impairment in cardiovascular disease. *Am Heart J* 1973; 85:546-62
- 101 Strandness DE, Jr., Bell JW. An Evaluation of the Hemodynamic Response of the Claudicating Extremity to Exercise. *Surg Gynecol Obstet* 1964; 119:1237-42
- 102 Mahe G, Abraham P, Zeenny M, Bruneau A, Vielle B, Leftheriotis G. Objective determination of the predefined duration of a constant-load diagnostic tests in arterial claudication. *J Vasc Surg* 2010; 51:863-8
- 103 Degischer S, Labs KH, Aschwanden M, Tschöepf M, Jaeger KA. Reproducibility of constant-load treadmill testing with various treadmill protocols and predictability of treadmill test results in patients with intermittent claudication. *J Vasc Surg* 2002; 36:83-8
- 104 Abraham P, Picquet J, Vielle B, Sigaudou-Roussel D, Paisant-Thouveny F, Enon B, et al. Transcutaneous oxygen pressure measurements on the buttocks during exercise to detect proximal arterial ischemia: comparison with arteriography. *Circulation* 2003; 107:1896-900
- 105 Abraham P, Picquet J, Bouye P, L'Hoste P, Enon B, Vielle B, et al. Transcutaneous oxygen pressure measurements (tcpO₂) at ankle during exercise in arterial claudication. *Int Angiol* 2005; 24:80-8
- 106 Bruneau A, Feuilloley M, Dussaussoy C, Gagnadoux F, Leftheriotis G, Abraham P. The walking-induced transient hack concept is valid & relies on a transient early-exercise hypoxemia. *PLoS One* 2013; 8:e62651
- 107 McDermott MM, Greenland P, Liu K, Guralnik JM, Criqui MH, Dolan NC, et al. Leg symptoms in peripheral arterial disease: associated clinical characteristics and functional impairment. *Jama* 2001; 286:1599-606
- 108 Siggaard-Andersen J, Petersen FB. Intermittent claudication. A comparison between subjective and measured claudication walking distance. *Angiology* 1968; 19:426-34
- 109 Gardner AW, Montgomery PS, Afaq A. Exercise performance in patients with peripheral arterial disease who have different types of exertional leg pain. *J Vasc Surg* 2007; 46:79-86
- 110 Wilkinson D, Parkin A, Wowden P, Robinson PJ, Kester RC. The application of a new method of limb blood flow measurement using a radioactive isotope and a gamma camera. *J Cardiovasc Surg (Torino)* 1989; 30:618-23

- 111 Cachovan M, Rogatti W, Woltering F, Creutzig A, Diehm C, Heidrich H, et al. Randomized reliability study evaluating constant-load and graded-exercise treadmill test for intermittent claudication. *Angiology* 1999; 50:193-200
- 112 Laing S, Greenhalgh RM. Treadmill testing in the assessment of peripheral arterial disease. *Int Angiol* 1986; 5:249-52
- 113 Guralnik JM, Simonsick EM, Ferrucci L, Glynn RJ, Berkman LF, Blazer DG, et al. A short physical performance battery assessing lower extremity function: association with self-reported disability and prediction of mortality and nursing home admission. *J Gerontol* 1994; 49:M85-94
- 114 Guralnik JM, Ferrucci L, Simonsick EM, Salive ME, Wallace RB. Lower-extremity function in persons over the age of 70 years as a predictor of subsequent disability. *N Engl J Med* 1995; 332:556-61
- 115 Lipkin DP, Scriven AJ, Crake T, Poole-Wilson PA. Six minute walking test for assessing exercise capacity in chronic heart failure. *Br Med J (Clin Res Ed)* 1986; 292:653-5
- 116 Rozkovec A, Papouchado M, James MA, Kendrick AH, Clarke LM, Rees JR. The relationship of symptoms to performance in paced patients with breathlessness. *Eur Heart J* 1989; 10:63-9
- 117 Society AT. ATS statement: guidelines for the six-minute walk test. *Am J Respir Crit Care Med* 2002; 166:111-7
- 118 Montgomery PS, Gardner AW. The clinical utility of a six-minute walk test in peripheral arterial occlusive disease patients. *J Am Geriatr Soc* 1998; 46:706-11
- 119 Troosters T, Gosselink R, Decramer M. Six minute walking distance in healthy elderly subjects. *Eur Respir J* 1999; 14:270-4
- 120 Enright PL, Sherrill DL. Reference equations for the six-minute walk in healthy adults. *Am J Respir Crit Care Med* 1998; 158:1384-7
- 121 McDermott MM, Ades P, Guralnik JM, Dyer A, Ferrucci L, Liu K, et al. Treadmill exercise and resistance training in patients with peripheral arterial disease with and without intermittent claudication: a randomized controlled trial. *Jama* 2009; 301:165-74
- 122 Coughlin PA, Kent PJ, Berridge DC, Scott DJ, Kester RC. The PADHOC device is a better guide to the actual incapacity suffered by claudicants than the gold standard constant load treadmill test. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2006; 32:651-6
- 123 McDermott MM, Ades PA, Dyer A, Guralnik JM, Kibbe M, Criqui MH. Corridor-based functional performance measures correlate better with physical activity during daily life than treadmill measures in persons with peripheral arterial disease. *J Vasc Surg* 2008; 48:1231-7, 37 e1
- 124 Guralnik JM, Ferrucci L, Pieper CF, Leveille SG, Markides KS, Ostir GV, et al. Lower extremity function and subsequent disability: consistency across studies, predictive models, and value of gait speed alone compared with the short physical performance battery. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2000; 55:M221-31
- 125 Léger L, Lambert J, Goulet A, Rowan C, Dinelle Y. [Aerobic capacity of 6 to 17-year-old Quebecois--20 meter shuttle run test with 1 minute stages]. *Can J Appl Sport Sci* 1984; 9:64-9
- 126 Singh SJ, Morgan MD, Scott S, Walters D, Hardman AE. Development of a shuttle walking test of disability in patients with chronic airways obstruction. *Thorax* 1992; 47:1019-24
- 127 Zwierska I, Walker RD, Choksy SA, Male JS, Pockley AG, Saxton JM. Upper- vs lower-limb aerobic exercise rehabilitation in patients with symptomatic peripheral arterial disease: a randomized controlled trial. *J Vasc Surg* 2005; 42:1122-30
- 128 Boissier C, Benichou AC, Gamand S, Perrot G, Peyrieux JC. A New Device for the Diagnosis and Investigation of Patients with Peripheral Arterial Occlusive Disease. *Disease Management & Health Outcomes* 1997; 2:57-64
- 129 Coughlin PA, Kent PJ, Turton EP, Byrne P, Berridge DC, Scott DJ, et al. A new device for the measurement of disease severity in patients with intermittent claudication. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2001; 22:516-22
- 130 Boccalon H, Leheret P, Mosnier M. [Effect of naftidrofuryl on physiological walking distance in patients with intermittent claudication]. *Ann Cardiol Angeiol (Paris)* 2001; 50:175-82
- 131 Tudor-Locke C, Washington TL, Hart TL. Expected values for steps/day in special populations. *Prev Med* 2009; 49:3-11
- 132 Sieminski DJ, Cowell LL, Montgomery PS, Pillai SB, Gardner AW. Physical activity monitoring in patients with peripheral arterial occlusive disease. *J Cardiopulm Rehabil* 1997; 17:43-7
- 133 Gardner AW, Poehlman ET. Assessment of free-living daily physical activity in older claudicants: validation against the doubly labeled water technique. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 1998; 53:M275-80

- 134 Crowther RG, Spinks WL, Leicht AS, Quigley F, Golledge J. Relationship between temporal-spatial gait parameters, gait kinematics, walking performance, exercise capacity, and physical activity level in peripheral arterial disease. *J Vasc Surg* 2007; 45:1172-8
- 135 Nasr MK, McCarthy RJ, Walker RA, Horrocks M. The role of pedometers in the assessment of intermittent claudication. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2002; 23:317-20
- 136 Duncan MJ, Badland HM, Mummery WK. Applying GPS to enhance understanding of transport-related physical activity. *J Sci Med Sport* 2009; 12:549-56
- 137 Zhang Z, Poslad S. Design and test of a hybrid foot force sensing and GPS system for richer user mobility activity recognition. *Sensors (Basel)* 2013; 13:14918-53
- 138 Shephard RJ, Aoyagi Y. Measurement of human energy expenditure, with particular reference to field studies: an historical perspective. *Eur J Appl Physiol* 2011; 112:2785-815
- 139 Chen KY, Bassett DR, Jr. The technology of accelerometry-based activity monitors: current and future. *Med Sci Sports Exerc* 2005; 37:S490-500
- 140 Cummins C, Orr R, O'Connor H, West C. Global positioning systems (GPS) and microtechnology sensors in team sports: a systematic review. *Sports Med* 2013; 43:1025-42
- 141 Ellis K, Godbole S, Marshall S, Lanckriet G, Staudenmayer J, Kerr J. Identifying Active Travel Behaviors in Challenging Environments Using GPS, Accelerometers, and Machine Learning Algorithms. *Front Public Health* 2014; 2:36
- 142 Gardner AW, Montgomery PS, Scott KJ, Blevins SM, Afaq A, Nael R. Association between daily ambulatory activity patterns and exercise performance in patients with intermittent claudication. *J Vasc Surg* 2008; 48:1238-44
- 143 Gardner AW, Montgomery PS, Scott KJ, Afaq A, Blevins SM. Patterns of ambulatory activity in subjects with and without intermittent claudication. *J Vasc Surg* 2007; 46:1208-14
- 144 Larsson P, Henriksson-Larsen K. The use of dGPS and simultaneous metabolic measurements during orienteering. *Med Sci Sports Exerc* 2001; 33:1919-24
- 145 Schutz Y, Chambaz A. Could a satellite-based navigation system (GPS) be used to assess the physical activity of individuals on earth? *Eur J Clin Nutr* 1997; 51:338-9
- 146 Krenn PJ, Titze S, Oja P, Jones A, Ogilvie D. Use of global positioning systems to study physical activity and the environment: a systematic review. *Am J Prev Med* 2011; 41:508-15
- 147 Hirsch JA, Winters M, Clarke P, McKay H. Generating GPS activity spaces that shed light upon the mobility habits of older adults: a descriptive analysis. *Int J Health Geogr* 2014; 13:51
- 148 Le Faucheur A, Abraham P, Jaquinandi V, Bouye P, Saumet JL, Noury-Desvaux B. Study of human outdoor walking with a low-cost GPS and simple spreadsheet analysis. *Med Sci Sports Exerc* 2007; 39:1570-8
- 149 Witte TH, Wilson AM. Accuracy of WAAS-enabled GPS for the determination of position and speed over ground. *J Biomech* 2005; 38:1717-22
- 150 Schipperijn J, Kerr J, Duncan S, Madsen T, Klinker CD, Troelsen J. Dynamic Accuracy of GPS Receivers for Use in Health Research: A Novel Method to Assess GPS Accuracy in Real-World Settings. *Front Public Health* 2014; 2:21
- 151 Le Faucheur A, Abraham P, Jaquinandi V, Bouye P, Saumet JL, Noury-Desvaux B. Measurement of walking distance and speed in patients with peripheral arterial disease: a novel method using a global positioning system. *Circulation* 2008; 117:897-904
- 152 Gernigon M, Le Faucheur A, Noury-Desvaux B, Mahé G, Abraham P. Applicability of global positioning system for the assessment of walking ability in patients with arterial claudication. *J Vasc Surg* 2014; 60:973-81 e1
- 153 Andréani A. Le GPS, une révolution: J. Jary, 2002
- 154 Webber SC, Porter MM. Monitoring mobility in older adults using global positioning system (GPS) watches and accelerometers: a feasibility study. *J Aging Phys Act* 2009; 17:455-67
- 155 Cooper AR, Page AS, Wheeler BW, Griew P, Davis L, Hillsdon M, et al. Mapping the walk to school using accelerometry combined with a global positioning system. *Am J Prev Med* 2010; 38:178-83
- 156 Nordanstig J, Broeren M, Hensater M, Perlander A, Osterberg K, Jivegard L. Six-minute walk test closely correlates to "real-life" outdoor walking capacity and quality of life in patients with intermittent claudication. *J Vasc Surg* 2014; 60:404-9
- 157 Noury-Desvaux B, Abraham P, Mahe G, Sauvaget T, Leftheriotis G, Le Faucheur A. The accuracy of a simple, low-cost GPS data logger/receiver to study outdoor human walking in view of health and clinical studies. *PLoS One* 2011; 6:e23027
- 158 Oakley C. Commentary on 'Physical activity monitoring in patients with peripheral arterial occlusive disease: validation of an activity monitor'. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2014; 48:201

- 159 Milne H, van der Pol M, McCloughan L, Hanley J, Mead G, Starr J, et al. The use of global
positional satellite location in dementia: a feasibility study for a randomised controlled trial. *BMC*
Psychiatry 2014; 14:160
- 160 Le Faucheur A, Noury-Desvaux B, Mahe G, Sauvaget T, Saumet JL, Leftheriotis G, et al.
Variability and short-term determinants of walking capacity in patients with intermittent
claudication. *J Vasc Surg* 2010; 51:886-92
- 161 Bendermacher BL, Teijink JA, Willigendael EM, Bartelink ML, Buller HR, Peters RJ, et al.
Symptomatic peripheral arterial disease: the value of a validated questionnaire and a clinical
decision rule. *Br J Gen Pract* 2006; 56:932-7
- 162 Lacroix P, Aboyans V, Boissier C, Bressollette L, Leger P. [Validation of a French translation of
the Edinburgh claudication questionnaire among general practitioners' patients]. *Arch Mal Coeur*
Vaiss 2002; 95:596-600
- 163 Leplege A, Ecosse E, Verdier A, Perneger TV. The French SF-36 Health Survey: translation,
cultural adaptation and preliminary psychometric evaluation. *J Clin Epidemiol* 1998; 51:1013-23
- 164 Washburn RA, Smith KW, Jette AM, Janney CA. The Physical Activity Scale for the Elderly
(PASE): development and evaluation. *J Clin Epidemiol* 1993; 46:153-62
- 165 Hiatt WR, Hirsch AT, Regensteiner JG, Brass EP. Clinical trials for claudication. Assessment of
exercise performance, functional status, and clinical end points. *Vascular Clinical Trialists.*
Circulation 1995; 92:614-21
- 166 Peterson M, Froman N, Grollman M. Impact of DGPS Post Processing Techniques and Course
Mapping and on Evaluation of Outdoor Athletic Performance in Walking Golf. ION GNSS 18th
International Technical Meeting of the Satellite Division,. Long Beach, CA, 2005
- 167 Duncan JS, Badland HM, Schofield G. Combining GPS with heart rate monitoring to measure
physical activity in children: A feasibility study. *J Sci Med Sport* 2009; 12:583-5
- 168 Gardner AW, Montgomery PS. Resting energy expenditure in subjects with and without
intermittent claudication. *Metabolism* 2009; 58:1008-12
- 169 Gardner AW, Montgomery PS. Resting energy expenditure in patients with intermittent
claudication and critical limb ischemia. *J Vasc Surg* 2010; 51:1436-41
- 170 Gernigon M, Chaudru S, de Müllenheim P, Caron N, Bruneau A, Bickert S, et al. Validity of global
positioning system, and comparison with accelerometry, in the estimation of energy expenditure
during horizontal and grade walking and running on the field. In: *Medicine. EJoS*, ed. 8th
European Sport medicine congress of EFSMA et 6ème congrès commun SFMES et SFTS.
Strasbourg, France., 2013; 88-89; S1
- 171 Hill AV, Lupton H. Muscular exercise, lactic acid and the supply and utilisation of oxygen.
Quarterly journal of medicine 1923; 16:135-71
- 172 Hill AV, Long CNH, Lupton H. Muscular exercise, lactic acid, and the supply and utilisation of
oxygen. Parts I-III. *Proceedings of the Royal Society London Biological Sciences* 1924; 96:438-
75
- 173 Astrand P, Rodahl K. Manuel de physiologie de l'exercice musculaire. Masson ed. Paris, 1978
- 174 Doherty M, Nobbs L, Noakes TD. Low frequency of the "plateau phenomenon" during maximal
exercise in elite British athletes. *Eur J Appl Physiol* 2003; 89:619-23
- 175 Lange Anderson K, Shephard RJ, Denolin H, Varnauskas E, Masironi R. fundamentals of exercise
testing Genève. *World Health Organization* 1971
- 176 Cazorla G. Test de terrain pour évaluer la capacité aérobie et la vitesse aérobie maximale. Actes
du colloque international de la Guadeloupe : CTSCHNG & AREAPS. Guadeloupe, France, 1990;
151-73
- 177 Martin X, Tordi N, Bougenot MP, Rouillon JD. Analyse critique des matériels et des méthodes
d'évaluation de l'aptitude physique chez le blessé médullaire en fauteuil roulant. *Science et*
Sports 2002; 17:209-19
- 178 Elia M, Livesey G. Energy expenditure and fuel selection in biological systems: the theory and
practice of calculations based on indirect calorimetry and tracer methods. *World Rev Nutr Diet*
1992; 70:68-131
- 179 Brooks AG, Gunn SM, Withers RT, Gore CJ, Plummer JL. Predicting walking METs and energy
expenditure from speed or accelerometry. *Med Sci Sports Exerc* 2005; 37:1216-23
- 180 Stanaway FF, Gnjjidic D, Blyth FM, Le Couteur DG, Naganathan V, Waite L, et al. How fast does
the Grim Reaper walk? Receiver operating characteristics curve analysis in healthy men aged 70
and over. *Bmj* 2011; 343:d7679
- 181 Gardner AW, Montgomery PS, Parker DE. Physical activity is a predictor of all-cause mortality in
patients with intermittent claudication. *J Vasc Surg* 2008; 47:117-22

- 182 McCrorie PR, Fenton C, Ellaway A. Combining GPS, GIS, and accelerometry to explore the physical activity and environment relationship in children and young people - a review. *Int J Behav Nutr Phys Act* 2014; 11:93
- 183 Crouter SE, Churilla JR, Bassett DR, Jr. Estimating energy expenditure using accelerometers. *Eur J Appl Physiol* 2006; 98:601-12
- 184 Schutz Y, Herren R. Assessment of speed of human locomotion using a differential satellite global positioning system. *Med Sci Sports Exerc* 2000; 32:642-6

Table des matières

SOMMAIRE	V
PRODUCTION SCIENTIFIQUE	VII
1. Production indexée dans des revues à comité de lecture	VII
1.1. Publications pour la thèse en cours de soumission	VII
1.2. Publications pour la thèse	VII
1.3. Autres publications	VII
1.4. Résumés de conférence	VIII
2. Communications en conférence	IX
2.1. Communications orales	IX
2.2. Communication affichée	IX
2.3. Autres communications nationales et internationales	IX
2.4. Distinctions	X
LISTE DES ABREVIATIONS	XI
1. INTRODUCTION	1
2. ARTERIOPATHIE OBLITERANTE DES MEMBRES INFERIEURS	3
2.1. Définition	4
2.2. Classifications	4
2.3. Prévalence	6
2.4. Facteurs de risques	9
2.4.1. L'athérosclérose	9
2.4.2. L'activité physique	10
2.5. Conséquences et risques liés à l'AOMI	11
2.5.1. Risques de morbi-mortalités cardio-vasculaires	11
2.5.2. Conséquences fonctionnelles de l'AOMI	11
3. METHODES DIAGNOSTIQUES DE L'AOMI	12
3.1. Index de Pression Systolique de Cheville de repos	12
3.2. Echographie Doppler	13
4. EVALUATION DE LA SEVERITE ET CARACTERISATION DE LA CLAUDICATION INTERMITTENTE	15
4.1. Evaluations subjectives des limitations fonctionnelles à la marche	15
4.1.1. Distance de Marche Maximale déclarée	15
4.1.2. Questionnaires cliniques	15
4.1.3. Etude de faisabilité et de validité de la DMM _{déclarée} chez des patients artériopathes claudicants	17
4.2. Evaluations objectives en laboratoire des limitations fonctionnelles à la marche	27
4.2.1. Test de marche sur tapis	27
4.2.2. Mesure transcutanée de la pression en dioxygène à l'effort	29
4.3. Evaluations objectives de terrain des limitations fonctionnelles à la marche	42
4.3.1. Test de marche de 6 minutes	42
4.3.2. Test de marche de 4 mètres	43
4.3.3. Test navette	43
4.4. L'actimétrie dans les évaluations objectives de terrain des limitations fonctionnelles à la marche	44
4.4.1. "Peripheral Arterial Disease Holter Control" (PADHOC)	44
4.4.2. Podomètres	45
4.4.3. Accéléromètres	45
4.4.4. Géo-positionnement satellitaire	47
4.4.5. Couplage du géo-positionnement satellitaire et de l'accélérométrie pour évaluer la dépense énergétique à l'effort (étude ACTI-GPS)	94
5. CONCLUSION ET PERSPECTIVES	102
BIBLIOGRAPHIE	105

TABLE DES MATIERES	114
TABLE DES ILLUSTRATIONS.....	116
TABLE DES TABLEAUX	117
TABLE DES EQUATIONS.....	117
ANNEXES	118
Annexe 1 : Article Abraham <i>et al.</i>, PlosOne (2012)	119
Annexe 2 : "Walking Impairment Questionnaire" (WIQ)	126
1. Présentation du questionnaire	126
2. Modalité de calcul du score	127
Annexe 3 : "Estimation of Ambulatory Capacity by History-Questionnaire" (EACH-Q)	128
1. Présentation du questionnaire	128
2. Modalité de calcul du score	128
Annexe 4 : "Walking Estimated Limitation Calculated by History" (WELCH).....	129
1. Présentation du questionnaire	129
2. Modalité de calcul du score	130
Annexe 5 : Questionnaire de claudication de San Diego modifié	131
Annexe 6 : Etude Post-GPS, procédure standard pour la marche donnée aux patients.....	132
Annexe 7 : Questionnaire modifié de claudication d'Edinburgh.....	133
Annexe 8 : Questionnaire de qualité de vie SF-36	134
1. Présentation du questionnaire	134
2. Code de la procédure de calcul du score SF-36.....	139
Annexe 9 : "Physical Activity Scale for the Elderly" (PASE)	144
1. Présentation du questionnaire	144
2. Code de la procédure de calcul du score PASE.....	147
Annexe 10 : Etude Post-GPS, questionnaire post marche post marche	149

Table des illustrations

Figure 1 : Comparaison des causes de mortalité (toutes causes) et causes cardiovasculaires en fonction de l'IPSC ¹⁴	3
Figure 2 : Estimation du nombre en milliers de personnes vivant avec l'AOMI dans les pays à revenu élevé (a) et à revenu faible à modéré (b), en 2000 et 2010 ¹¹	7
Figure 3 : Prévalence estimée en fonction de l'âge des femmes (a) et des hommes (b) de l'artériopathie stade II vivant dans des pays à revenu élevé et des pays à revenu faible à moyen. Données en % (intervalle de confiance à 95%) ¹¹	8
Figure 4 : Risque relatif associé au développement d'une AOMI par type de facteur de risque ²	9
Figure 5 : Repères anatomiques pour la mesure de l'Index de Pression Systolique de Cheville avec une sonde Doppler des artères humérale droite (a), tibiale postérieure droite (b), tibiale antérieure droite (c), tibiale postérieure gauche (d), tibiale antérieure gauche (e), humérale gauche (f)	13
Figure 6 : DMM _{tapis} en fonction du protocole utilisé ¹⁰³	28
Figure 7 : Repères anatomiques des positions des sondes de TcPO ₂ pour une épreuve d'effort à la marche sur tapis roulant	31
Figure 8 : Feuille d'examen type d'une épreuve d'effort à la marche avec TcPO ₂	32
Figure 9 : Représentation des trois axes utilisés dans l'analyse du mouvement avec l'accélérométrie ¹⁴¹	46
Figure 10 : Illustration d'un signal avant (a) et après analyse i.e., application des filtres et analyse manuelle (b)	49
Figure 11 : Photographie du GPS Garmin-60	51
Figure 12 : Photographie du GPS DG-100 GlobalSat [®] (GlobalSat Technology Corp., Taiwan)	52
Figure 13 : Schéma de la mise en place du GPS et de son antenne avant la marche	65
Figure 14 : Schéma organisationnel de l'étude POST-GPS	67
Figure 15 : Carte de la répartition des lieux de marche	67
Figure 16 : Schéma organisationnel de l'étude POST-GPS M1 et M2	80
Figure 17 : Schéma expérimental de l'étude Acti-GPS	96
Figure 18 : Illustration de l'accéléromètre wGT3X+ (Actigraph [®] , Shalimar, FL, USA)	97
Figure 19 : Positionnement du matériel utilisé	97

Table des Tableaux

Tableau 1 : Classification de Leriche et Fontaine ³ . * DMM : distance de marche maximale.	5
Tableau 2 : Classification de Rutherford ^{20,21} . * PASC : pression artérielle systolique de cheville.	5

Table des équations

Équation 1 : Equation du DROP de TcPO ₂ ¹⁰⁴	31
Équation 2: Equation prédictive de la distance au TDM6 pour la population européenne ¹¹⁹	43
Équation 3 : Equation prédictive de la distance au TDM6 pour les hommes américains ¹¹⁹	43
Équation 4 : Equation prédictive de la distance au TDM6 pour les femmes américaines ¹¹⁹	43
Équation 5 : Equation prédictive de la fréquence cardiaque maximale ¹⁷⁵	95
Équation 6 : Equation de la dépense énergétique ^{1,178}	98
Équation 7 : Calcul de la dimension distance du WIQ	127
Équation 8 : Calcul de la dimension vitesse du WIQ	127
Équation 9 : Calcul de la dimension montée des escaliers du WIQ	127
Équation 10 : Calcul du WIQ moyen	127
Équation 11 : Calcul du EACH-Q	128
Équation 12 : Calcul du WELCH.....	130

ANNEXES

Annexe 1 : Article Abraham *et al.*, PlosOne (2012)

OPEN ACCESS Freely available online



The Inter- and Intra-Unit Variability of a Low-Cost GPS Data Logger/Receiver to Study Human Outdoor Walking in View of Health and Clinical Studies

Pierre Abraham^{1,2}, Bénédicte Noury-Desvaux^{2,3}, Marie Gernigon¹, Guillaume Mahé^{1,2}, Thomas Sauvaget^{1,3}, Georges Leftheriotis^{1,2}, Alexis Le Faucheur^{2,3*}

1 Laboratory of Vascular Investigations and Sports Medicine, University Hospital, Angers, France, **2** CNRS, UMR6214, Inserm U771, Medical School, University of Angers, Angers, France, **3** APCoSS, Institute of Physical Education and Sports Sciences (IFEPSA), UCO 49, Les Ponts de Cé, France

Abstract

Purpose: The present study evaluates the intra- and inter-unit variability of the GlobalSat® DG100 GPS data logger/receiver (DG100) when estimating outdoor walking distances and speeds.

Methods: Two experiments were performed using healthy subjects walking on a 400 m outdoor synthetic track. The two experiments consisted of two different outdoor prescribed walking protocols with distances ranging from 50 to 400 m. Experiment 1 examined the intra-unit variability of the DG100 (test-retest reproducibility) when estimating walking distances. Experiment 2 examined the inter-unit variability of four DG100 devices (unit to unit variability) when estimating walking distances and speeds.

Results: The coefficient of variation [95% confidence interval], for the reliability of estimating walking distances, was 2.8 [2.5–3.2] %. The inter-unit variability among the four DG100 units tested ranged from 2.8 [2.5–3.2] % to 3.9 [3.5–4.4] % when estimating distances and from 2.7 [2.4–3.0] % to 3.8 [3.4–4.2] % when estimating speeds.

Conclusion: The present study indicates that the DG100, an economical and convenient GPS data logger/receiver, can be reliably used to study human outdoor walking activities in unobstructed conditions. This device let facilitate the use of GPS in studies of health and disease.

Citation: Abraham P, Noury-Desvaux B, Gernigon M, Mahé G, Sauvaget T, et al. (2012) The Inter- and Intra-Unit Variability of a Low-Cost GPS Data Logger/Receiver to Study Human Outdoor Walking in View of Health and Clinical Studies. *PLoS ONE* 7(2): e31338. doi:10.1371/journal.pone.0031338

Editor: Conrad P. Earnest, Pennington Biomedical Research Center, United States of America

Received: July 29, 2011; **Accepted:** January 6, 2012; **Published:** February 20, 2012

Copyright: © 2012 Abraham et al. This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Funding: This work was promoted by the Centre Hospitalier Universitaire d'Angers and was granted in part by GENESIA foundation and the French "Direction Régionale de la Recherche Clinique". Pierre Abraham benefits from an "Interface" grant from the French National Institute of Health and Medical Research (INSERM). The funders had no role in study design, data collection and analysis, decision to publish, or preparation of the manuscript.

Competing Interests: The authors have declared that no competing interests exist.

* E-mail: alexislefaucheur@hotmail.com

Introduction

The use of the Global Positioning System (GPS) is an emerging approach in the study of physical activity [1]. GPS has been recently used to study functional limitations in patients with chronic diseases such as multiple sclerosis [2], peripheral artery disease [3,4] and spine surgery [5,6]. These studies show that the potential uses of the GPS technique for health and clinical applications are diverse, interesting and promising. Low-cost, lightweight GPS receivers are now commercially available. Such devices can accurately detect walking and resting bouts [7] as well as accurately estimate walking speed and walking distances [7,8,9,10]. They are useful tools for clinical studies that estimate walking speed and maximal walking distance in disabled patients [2,3,4,5,6]. However, in order to use GPS technology for clinical cohort studies, the technique must be not only accurate but also reliable. This specifically applies to studies that compare two tests of the same patient. In this context, the investigator is expecting that the variability observed is not primarily of technical origin (intra-unit variability). Further, simultaneous use of multiple identical units may be required for clinical cohorts. In that case, it is also important to

know the inter-unit variability. Both intra-unit and inter-unit variability should be low. Otherwise, the capability of investigators to observe significant intra-group changes or inter-group differences with GPS-derived parameters may be compromised.

This study examined the GlobalSat® DG100 a lightweight, convenient, low-cost GPS data logger/receiver. This device can also accept an external antenna to improve the reception of satellite signals. As previously shown in a recent study [11], this device produces acceptable accuracy in detecting walking and resting bouts. It also accurately measures walking distances and speeds during detected walking bouts. The purpose of the present study was to investigate the intra- and inter-unit variability of the DG100 when estimating the outdoor walking distances and speeds of healthy subjects.

Methods

Population and ethics statement

All experiments were performed using healthy volunteers recruited from the Institute of Physical Education and Sports

Sciences in Angers (France). Age, gender and basic anthropometric measures such as height (cm) and body mass (kg) were collected, and body mass index computed, for every subject.

This study was approved by the institutional ethics committee (Comité de Protection des Personnes OUEST II) and registered in the American National Institute of Health database under reference number NCT00485147. For each experiment, experimental procedures were clearly explained and presented to each participant to ensure their understanding and compliance, and their written informed consent was obtained.

Stated hypotheses

The first hypothesis we tested was that the DG100 has a high level of reliability (low variability) in the measured walking distances resulting from identical prescribed walking protocols (PWP) performed on two different days (intra-unit variability). The second hypothesis we tested was that various DG100 units used simultaneously during PWP show low inter-unit variability when estimating walking distances and speeds. To test and verify these hypotheses, two consecutive experiments were performed.

Instrumentation

GPS recording. During all experiments, one (experiment 1) or four (experiment 2) GlobalSat® DG100 GPS data logger/receiver(s) (GlobalSat Technology Corp., Taiwan, cost approximately \$60) were used with an external antenna (AT-65 GPS Active Antenna; GlobalSat Technology Corp., Taiwan, cost approximately \$15). Throughout the paper, the abbreviation "DG100" refers to this setup (including the antenna). Technical details about the DG100 have been presented in a recent study on the DG100 accuracy [11]. We refer readers to previous articles for detailed explanation of GPS and EGNOS-enabled GPS specifications [1,12,13]. The recording rate for all the devices was 0.5 Hz, as in the previous studies [3,4,7]. During all experiments, the DG100 units were placed in a backpack, and the antennas were placed over the backpack. When multiple units were used in experiment 2, antennas were installed next to each other on the top of the backpack.

GPS data processing and analysis. After each experiment, data were downloaded from the DG100 using the GlobalSat software utility (Data logger PC utility, version 1.1, 2006). The recorded speeds were analyzed on a personal computer using a spreadsheet (Microsoft® Excel 2000, Microsoft Corporation, USA) with the previously validated specific processing methodology [7]. Using this method both with the DG100 and with another GPS device (Garmin™ GPS 60), we previously shown an accurate detection of walking bouts as well as an accurate estimation of walking distances and speeds [7,11].

Elaboration of prescribed walking protocols

For both experiments 1 and 2, a different prescribed walking protocol (PWP) was established for each subject. Each PWP consisted of two consecutive series of walking bouts of 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350 and 400 m (total distance for a series = 1800 m; total distance per PWP = 3600 m). For a given PWP, the order of the walking bouts into the first series was randomly predetermined. This order was then replicated for the second series. Throughout all the PWP, each walking bout was separated by a resting period of ~30 s.

Experimental procedure

The PWP for experiments 1 and 2 were performed on a 400 m synthetic outdoor running track in Angers, France (latitude:

47°28'22" North; longitude: 0°32'53" West). The track was identified using blocks placed every 50 m around its circumference. Subjects were asked to perform the first series of the PWP at a "usual" pace and then to perform the second series at a "slow" pace. The task consisted of walking carefully within the interior lane of the athletic track and stopping at the next block upon hearing a whistle blown by the investigator. The whistle was blown when the subject was approximately ten meters from the block. The actual speed of each walking bout was calculated by dividing the distance by the time measured with a stopwatch (Geonaute Trt'L 500, Decathlon Ltd., France).

Experiment 1: intra-unit variability

Objective. Experiment 1 explored the intra-unit variability of the DG100 when estimating outdoor walking distances. Since the walking speed could not be exactly the same between test-retest PWP, the intra-unit variability was only studied on walking distances estimation.

Procedure. Two consecutive PWP were performed by a sample of ten healthy subjects (M/F: 8/2; 32 ± 5 years, 173 ± 8 cm and 67 ± 9 kg) on two different, non-consecutive days (day A and day B). The ten subjects followed the procedure as described above.

Statistical analysis. To investigate the intra-unit variability of the DG100 when estimating walking distances, we calculated i) the typical error in the estimation of the reliability (TEEr) and ii) the coefficient of variation of the reliability (CVr) according to the Hopkins statistical procedure [14]. This statistical procedure compared the GPS distances on day A and day B. To avoid any confusion in regard to the statistical parameters of accuracy computed for experiment 2, the terms TEEr and CVr ("r" for reliability) have been chosen. TEEr corresponds to the standard deviation of the individual difference between DG100 values at day A and day B, and is expressed in absolute value according to the unit of the measured parameter (here in meters for walking distance). CVr looks like the TEEr but it is computed from log-transformed data and is expressed in %, according to the Hopkins statistical procedure [14]. To homogenize and facilitate the methods used to calculate TEEr and CVr, the Hopkins spreadsheet was used [15]. TEEr and CVr are presented with 95% Confidence Interval [95% CI].

Experiment 2: inter-unit variability

Objective. The aim of experiment 2 was to investigate the inter-unit variability in the estimation of walking distances and speeds. For this purpose, we simultaneously used a sample of four DG100 units. Ten healthy volunteers (M/F: 5/5; 21 ± 3 years, 174 ± 3 cm and 68 ± 3 kg) participated to experiment 2. Ten new PWP were created for experiment 2 (different from those used in experiment 1).

Procedure. Subjects followed the same procedure as in experiment 1.

Statistical analysis. First, to investigate the inter-unit variability of the DG100 we calculated (i) the typical error in the estimation of accuracy (TEEa) as well as (ii) the coefficient of variation in the estimation of the accuracy (CVa) according to Hopkins statistical procedure [14]. These statistical procedures compared GPS-measured distances and speeds with the actual distances and speeds. Using this procedure, our aim was to report the inter-unit variability in term of "variability in the accuracy" of the estimation for each unit. The term "accuracy" here is only used to differentiate these results from those of experiment 1. Because the TEEa and CVa were calculated for each distance (50, 100, 400 m, etc.), the "validity spreadsheet" could not be used

[16]. As suggested by Hopkins (personal communication), the "reliability spreadsheet" was used instead, and the term " $\sqrt{2}$ " was removed from the TEEa and CVa calculation formulas [15]. TEEa and CVa are presented with 95% Confidence Interval [95% CI]. Furthermore, between units comparison of the CVa values was performed using the variance calculated for each CVa and the ratio of the larger variance to the smaller variance for each pairwise comparison. A p-value was calculated from the variance ratio using the F distribution [17]. A p-value < 0.05 was considered as statistically significant.

Second, the inter-unit variability was studied by performing unit by unit comparisons (unit 1 vs. unit 2, unit 2 vs. unit 3,...) and computing TEE and CV.

Results

No external event interfered with any of the experiments we performed. All subjects closely followed the prescribed instructions for walking and stopping.

Experiment 1

Experiment 1 investigated the intra-unit variability of the DG100 (test-retest comparison) when estimating the outdoor walking distances using PWP performed by healthy participants.

No missing sample data, due to possible GPS signal loss, were noticed on the recordings. At day A, mean \pm standard deviation of DG100 walking speed was 3.2 ± 0.9 km/h (range 1.4 to 4.5 km/h) for series at "slow" pace, and it was 5.5 ± 0.5 km/h (range 4.7 to 6.3 km/h) for series at "usual" pace. At day B, mean \pm standard deviation of DG100 walking speed was 3.2 ± 0.9 km/h (range 1.5 to 4.8 km/h) for series at "slow" pace, and it was 5.5 ± 0.6 km/h (range 4.1 to 6.8 km/h) for series at "usual" pace. Figure 1 and Figure 2 show respectively TEEr and CVr calculations for the intra-unit variability in estimating walking distances. As shown, the TEEr was 4.8 [4.3–5.4] m, and the CVr was 2.8 [2.5–3.1] % for all pooled distances (mean distance walked = 225 m).

Experiment 2

In experiment 2, we determined the inter-unit variability of DG100 units using simultaneously a sample of four units to estimate walking distances and speeds.

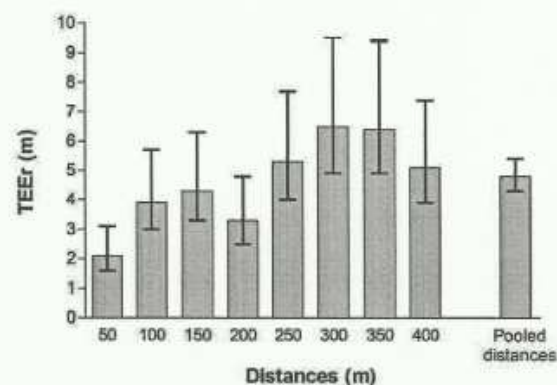


Figure 1. Typical error of the estimate (TEEr, with 95% Confidence Interval) for the reliability of the estimation of walking distances. Note: In the term "TEEr", "r" means reliability. doi:10.1371/journal.pone.0031338.g001

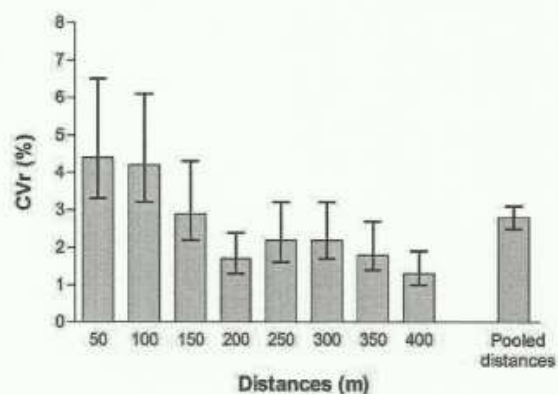


Figure 2. Coefficient of variation (CVr, with 95% Confidence Interval) for the reliability of the estimation of walking distances. Note: In the term "CVr", "r" means reliability. doi:10.1371/journal.pone.0031338.g002

No missing sample data, due to possible GPS signal loss, were noticed on the recordings. Mean \pm standard deviation of walking speed for the four DG100 was 3.9 ± 0.6 km/h (range 2.7 to 5.3 km/h) for series at "slow" pace, and it was 5.4 ± 0.5 km/h (range 4.3 to 6.9 km/h) for series at "usual" pace. Table 1 presents, for each DG100 unit, the TEEa and CVa of the estimated walking distances. The TEEa for all pooled distances (mean distance walked = 225 m) among the DG100 units ranged from 6.1 to 10 m. The CVa for all pooled distances among the DG100 units ranged from 2.8 to 3.9%. Although DG100 #1 had the lowest CV (best accuracy) and the DG100 #4 had the highest CV (lowest accuracy), the difference in CVs among the DG100 units did not exceed 1.1%. Expressed in meters and for a mean distance of 225 m, the distance estimation error (TEE) by the DG100 #4 was 2.2 to 3.9 m higher as compared to the three others DG100.

The TEEa for walking speeds was nearly identical for all units and all distances ranging from 0.1 [0.1–0.1] to 0.2 [0.1–0.3] km/h, except for DG100 #4 at 50 m, which had a TEEa of 0.2 [0.1–0.4] km/h. The TEEa was almost identical because the values of walking speed given by the DG100 units contain only one decimal place. The CVa of the estimated walking speeds is reported in Table 2. The CVa for the walking speed estimate of the DG100 #4 was significantly higher than the three other DG100 units. Nevertheless, as for inter-unit estimation of walking distances, the difference in CVs among the DG100 units did not exceed 1.1%.

Finally, Table 3 presents inter-unit comparisons between all DG100 units. Unit-by-unit comparisons of CVs have shown that CVs were ~3%, both for walking distance and speed inter-unit comparisons. These results were very similar to the results reported in Table 1 and Table 2 regarding the "all pooled distance".

Discussion

This study provides original results about the intra- and inter-variability of a convenient GPS data logger/receiver to study human outdoor walking for health and clinical research studies. There are two major findings in the present study. First, with the DG100 used, we found low intra-unit variability (high reliability) in the estimation of walking distances. Second, among the four

Table 1. Inter-unit variability in the accuracy of the estimation of processed walking distances according to the covered distance, for the four DG100 units; the typical error of the estimate (TEEa) and the coefficient of variation (CVa) with 95% Confidence Interval [95% CI] are presented.

TEEa [95% CI]					
DG100 units N*					
Distances (m)	1	2	3	4	Whole DG100
50	2.6 [1.9–3.7]	2.4 [1.8–3.5]	2.3 [1.7–3.3]	2.7 [2.1–3.9]	2.5 [2.1–2.9]
100	2.9 [2.1–4.1]	3.2 [2.4–4.7]	3.3 [2.5–4.8]	3.8 [2.9–5.5]	3.2 [2.8–3.8]
150	3.7 [2.8–5.4]	4.0 [3.1–5.9]	4.2 [3.2–6.2]	5.3 [4.0–7.8]	4.4 [3.8–5.2]
200	3.1 [2.4–4.6]	4.8 [3.7–7.1]	5.4 [4.1–7.9]	5.7 [4.3–8.3]	5.0 [4.3–5.9]
250	4.9 [3.7–7.1]	7.8 [5.9–11.4]	6.0 [4.6–8.8]	8.4 [6.4–12.2]	7.2 [6.2–8.5]
300	5.9 [4.5–8.7]	6.3 [4.8–9.2]	6.1 [4.6–8.9]	6.9 [5.2–10.1]	6.6 [5.7–7.8]
350	6.9 [5.3–10.1]	8.4 [6.4–12.3]	8.8 [6.7–12.8]	12.1 [9.2–17.7]	9.4 [8.1–11.2]
400	7.2 [5.4–10.5]	9.3 [7.1–13.7]	10.0 [7.6–14.6]	12.9 [9.8–18.9]	10.3 [8.9–12.2]
All pooled distances (mean distance = 225 m)	6.1 [5.5–6.8]	7.8 [7.0–8.8]	7.6 [6.8–8.5]	10 [9.0–11.3]	8.1 [7.7–8.6]
CVa [95% CI]					
DG100 units N*					
Distances (m)	1	2	3	4	Whole DG100
50	5.6 [4.2–8.3]	5.1 [3.9–7.6]	4.8 [3.6–7.0]	5.7 [4.3–8.5]	5.2 [4.5–6.2]
100	2.9 [2.2–4.3]	3.3 [2.5–4.9]	3.5 [2.7–5.2]	4.0 [3.0–5.9]	3.4 [2.9–4.0]
150	2.6 [2.0–3.9]	2.8 [2.2–4.2]	3.0 [2.3–4.4]	3.9 [2.9–5.7]	3.2 [2.7–3.8]
200	1.6 [1.2–2.4]	2.5 [1.9–3.7]	2.9 [2.2–4.2] ¹	3.0 [2.3–4.5] ¹	2.6 [2.3–3.1]
250	2.0 [1.5–3.0]	3.3 [2.5–4.9]	2.5 [1.9–3.7]	3.6 [2.7–5.3] ¹	3.1 [2.6–3.6]
300	2.1 [1.6–3.0]	2.2 [1.7–3.3]	2.1 [1.6–3.1]	2.4 [1.9–3.6]	2.3 [2.0–2.7]
350	2.1 [1.6–3.0]	2.6 [2.0–3.8]	2.7 [2.0–3.9]	3.7 [2.8–5.5] ¹	2.9 [2.5–3.4]
400	1.9 [1.4–2.8]	2.5 [1.9–3.7]	2.6 [2.0–3.9]	3.5 [2.7–5.2] ¹	2.8 [2.4–3.3]
All pooled distances (mean distance = 225 m)	2.8 [2.5–3.2]	3.2 [2.9–3.6]	3.1 [2.8–3.5]	3.9 [3.5–4.4] ^{1, 2, 3}	3.3 [3.2–3.5]

TEEa is expressed in meters and CVa in percentage. In the terms “TEEa” and “CVa”, “a” means accuracy. For CVa comparisons and for each DG100 unit, superscript number indicates a significant difference with the corresponding DG100 number. For all comparisons with significant difference, *P* < 0.05.
doi:10.1371/journal.pone.0031338.t001

units used, we found a very low inter-unit variability in the estimation of walking distances and speeds.

Intra- and inter-unit variability

A number of recent studies have assessed the intra- and inter-unit variability of different GPS devices [18,19,20,21,22,23,24]. However, the direct comparison of our results with many of these studies is difficult. Indeed, most of these studies used GPS devices designed for sports applications and focused on the measurement of distance and peak speed during high-intensity, intermittent running exercises or during kayak sessions. Few studies analyzed walking locomotion [18,19,24]. In addition, most of these studies used relatively expensive devices that analyzed a combination of GPS and accelerometry. These devices use algorithms that retrieve data from the inbuilt, high-frequency accelerometer to correct GPS values, which is expected to improve the accuracy of the GPS devices. Consequently, it is difficult to discuss the “true” accuracy and variability of these GPS devices when estimating speed and distance.

Intra-unit variability. The test-retest error when estimating walking distances (intra-unit variability) was within the range of error estimation reported for the DG100 accuracy described in

another study [11]. The DG100 compares favorably with the WI SPI elite (GPSports, Canberra, ACT, Australia) used by Gray *et al.* [18]. These authors reported an intra-unit variability of 1.85% and 2.79% for linear and non-linear 200 m walking bouts, respectively. Jennings *et al.* [24] studied the intra-unit variability of two MinimaxX GPS devices (MinimaxX, Team 2.5, Catapult Innovations, Scoresby, Australia) used simultaneously with sampling rates of 1 Hz and 5 Hz, respectively. Interestingly, with the 1 Hz sampling rate, authors reported CVs of 30.8, 20.4 and 7.0% for walking distances of 10, 20 and 40 m, respectively. With the 5 Hz device, authors reported CVs of 23.3, 21.2 and 6.6% for walking distances of 10, 20 and 40 m, respectively. These results indicate that when studying walking locomotion over distances of 20 m or more, there probably is little benefit to using a GPS device with a sampling rate higher than 1 Hz. The CV of 6.6% reported by these authors for the 1 Hz device over 40 m is consistent with the CVs that we found for a 50 m distance using a GPS device sampling at 0.5 Hz. Finally, when using three different types of commercial GPS devices to measure a walking distance of 8800 m, Petersen *et al.* [19] showed an intra-unit variability ranging from 0.3% to 2.6%.

Table 2. Inter-unit variability in the accuracy of the estimation of processed walking speeds according to the covered distance, for the four DG100 units; the coefficient of variation (CVa) with 95% Confidence Interval [95% CI] is presented.

Distances (m)	CVa [95% CI]				
	DG100 units N*				
	1	2	3	4	Whole DG100
50	4.9 [3.7–7.2]	4.7 [3.6–7.0]	3.7 [2.8–5.4]	5.4 [4.1–8.0]	4.6 [4.0–5.5]
100	3.1 [2.4–4.6]	2.8 [2.1–4.1]	3.4 [2.6–5.0]	3.9 [3.0–5.8]	3.3 [2.8–3.9]
150	2.8 [2.1–4.1]	3.7 [2.8–5.5]	3.3 [2.5–4.9]	4.1 [3.1–6.1]	3.6 [3.1–4.2]
200	1.8 [1.3–2.6]	2.6 [1.9–3.7]	3.0 [2.3–4.4]	3.1 [2.3–4.5] ¹	2.7 [2.3–3.2]
250	1.8 [1.4–2.7]	3.1 [2.4–4.6] ¹	2.5 [1.9–3.6]	3.4 [2.6–5.0] ¹	2.9 [2.5–3.5]
300	2.0 [1.6–3.0]	2.3 [1.8–3.4]	2.2 [1.7–3.2]	2.5 [1.9–3.7]	2.4 [2.0–2.8]
350	2.2 [1.7–3.2]	2.6 [2.0–3.8]	2.8 [2.2–4.2]	3.7 [2.8–5.5] ¹	3.0 [2.6–3.5]
400	1.8 [1.4–2.7]	2.4 [1.8–3.6]	2.6 [2.0–3.8]	3.5 [2.6–5.1] ¹	2.7 [2.3–3.2]
All pooled distances (mean distance = 225 m)	2.7 [2.4–3.0]	3.1 [2.8–3.5]	3.0 [2.7–3.3]	3.8 [3.4–4.2] ^{1,2,3}	3.2 [3.1–3.4]

CVa is expressed in percentage. In the term “CVa”, “a” means accuracy. For CVa comparisons and for each DG100 unit, superscript number indicates a significant difference with the corresponding DG100 number. For all comparisons with significant difference, $P < 0.05$.
doi:10.1371/journal.pone.0031338.t002

Inter-unit variability. One specific interest in conducting the present work was to study the inter-unit variability over a wide range of relatively short distances (50 to 400 m). These distances were expected to cover a range of distances of clinical interest for diseased patients suffering from walking limitations. We found that the four DG100s tested in the present study had a low inter-unit variability. When comparing various WI SPI elite GPS units, Gray *et al.* [18] reported a CV for inter-unit variability (95% CV) of 2.02% and 3.43% over linear and non-linear 200 m walking bouts, respectively. Petersen *et al.* [19] tested the inter-unit variability of several GPS units over a larger walking distance of 1200 m, which automatically reduces the relative variability in their results. These authors reported coefficient of variations from 1.3 up to 1.5%.

Finally, it appears that DG100 #4 consistently showed TEEa and CVa values slightly higher than the other three units. This trend is unlikely to be a result of software differences because the

recordings from all four units were processed the same way. The higher TEEa and CVa values observed for DG100 #4 likely stem from hardware differences, even though all four units were bought at the same time from the manufacturer. The differences between units were so slight, however, that they would have very little influence on results that might be obtained in cohort studies, in which multiple units might be needed.

Potential applications of GPS in health and disease

The GPS technique is an interesting method to objectively estimate free-living walking capacity in patients with walking disability induced by chronic diseases [2,3,4,5,6,25]. In addition to walking distance, it can measure usual walking speed and recovery duration between walking bouts. These two parameters have been difficult to examine in laboratory investigations. The GPS technology could also be used to quantify physical activity in healthy and diseased subjects taking into account contextual information (e.g., location) [1]. The question should be asked as to whether the GPS technique is preferable to other types of monitors. High-sampling rate accelerometers are reliable tools for accurately detecting daily physical activities such as walking [26,27,28]. Thus, if the only goal is to assess walking and non-walking sequences, accelerometers are accurate. Nevertheless, various limitations have been reported concerning the prediction of speed using accelerometers, including: i) the large inter-subject variability between speed and raw acceleration or accelerometer counts [29,30]; ii) the complexity of algorithms used to convert raw acceleration to speed and distance [12,29,30]; iii) the inability to predict speed when slope changes [12,29] or when the subject has a pathological gait such as claudication [12]. Further, accelerometers do not allow the user to automatically determine geographic position and the cost of many high-sensitivity accelerometer units limits large cohort studies.

The GPS technique has also some inherent limitations. The major limitation is that the satellite signals are influenced by atmospheric conditions and environmental obstructions, which can produce error in the computed position, speed and distance. In addition, the GPS technique cannot track physical activity indoors where the satellites signals can be lost. Under such

Table 3. Inter-unit comparisons between all DG100 units for walking distances and speeds; the typical error of the estimate (TEE) and the coefficient of variation (CV) with 95% Confidence Interval [95% CI] are presented.

DG100 units	Walking distance		Walking speed	
	TEE [95% CI]	CV [95% CI]	TEE [95% CI]	CV [95% CI]
1 vs. 2	6.6 [6.0–7.4]	3.4 [3.0–3.8]	0.1 [0.1–0.1]	3.3 [2.9–3.7]
1 vs. 3	5.3 [4.8–5.9]	2.8 [2.5–3.2]	0.1 [0.1–0.1]	2.7 [2.4–3.0]
1 vs. 4	7.2 [6.5–8.1]	3.4 [3.1–3.9]	0.1 [0.1–0.2]	3.4 [3.1–3.9]
2 vs. 3	6.1 [5.5–6.9]	3.0 [2.7–3.4]	0.1 [0.1–0.1]	3.0 [2.7–3.4]
2 vs. 4	7.1 [6.4–7.9]	3.4 [3.1–3.9]	0.2 [0.1–0.2]	3.4 [3.0–3.8]
3 vs. 4	6.1 [5.5–6.8]	3.0 [2.7–3.4]	0.1 [0.1–0.1]	2.9 [2.6–3.3]

TEE is expressed in meters for walking distance and in km/h for walking speed. CV is expressed in percentage. Comparisons were performed from all pooled walking bouts (mean walking distance = 225 m).
doi:10.1371/journal.pone.0031338.t003

circumstances, one potential solution could be to use GPS combined to accelerometry. Indeed, this could be very useful because some patients rarely walk outdoors, and their walking bouts may primarily occur indoors. Various studies have reported interesting data regarding the usefulness of complementing accelerometry measurements with GPS data [31,32,33,34,35,36]. This combination of GPS and accelerometry could be extended in a clinical context.

Study limitation

In the present study, the experiments were all performed in open sky but non controlled open cloud conditions. Open sky conditions refer to low level of obstruction (no buildings and/or dense vegetation). According to the objective of the studies, GPS receivers can be used in very different environments, resulting in different level of obstruction. For instance, the measurement of walking activity performed in a park or in a street would result in different conditions of satellite reception. This would probably result in missing sample data due to GPS signal losses, as well as in a lower accuracy and reliability in the estimation of walking distances and speeds. To date, no study has addressed this issue during (walking) locomotion. Open cloud conditions refer to atmospheric conditions that can influence satellite signals. For instance, cloud cover may have adverse effects on GPS signal, which can lead to the decrease of GPS accuracy and reliability. In the present study, rainy days were avoided but we could not control cloud cover. We advocate that this had little influence on the intra-units variability (day-to-day variability), and no significant influence on the inter-units variability since GPS units were used simultaneously.

Another limitation is that we did not study the intra-unit reliability of the DG100 in the estimation of walking speed. Although walking speed was not controlled, subjects were asked to perform the first series of the PWP at a "usual" pace and then to perform the second series at a "slow" pace. Using this procedure, we expected to cover a large range of walking speeds. For instance, in experiment 2 the different walking speeds covered a range of 2.7 to 6.9 km/h. Interestingly, in a previous work on 24 peripheral artery disease patients [3], we reported a median (25th–75th percentiles) GPS walking speed of 3.6 (3.4–4.2) km/h, which is within the range of the walking speeds reported in the present

study. This strengthens the external validity of our results in view of clinical applications in diseased subjects.

To the best of our knowledge, no study has been published specifically on the effect of walking speed on both GPS accuracy and reliability during walking. In the present study, the subjects were asked to perform PWP at low and usual pace, but we did not analyze the potential effect of walking speed on the intra- and inter-unit variability. Such analyses would require the same number of walking bouts within each interval of walking speed assessed (*i.e.* 1 to 2 km/h, 2 to 3 km/h...) and for each walking distance (50, 100... 400 m). This was not the case in the present study. Future experiments need to address this issue, particularly for very low walking speeds (below 3 km/h), as it can be sometimes encountered in elderly or poorly fit subjects.

Conclusion

The present work, in addition to the recently published study [11], indicates that the DG100 produces sufficient accuracy and reliability to study human outdoor walking in open sky conditions. This could facilitate future works focusing on outdoor walking in perspective of health and clinical research studies. We advocate that GPS data logger/receivers should be validated (*i.e.*, tested for accuracy and reliability) before use. Very low-cost GPS units can facilitate the evaluation of human outdoor walking in multicenter or large-cohort studies on health and disease. However, future studies should focus on the effect of very low walking speed on both GPS accuracy and reliability.

Acknowledgements

The authors thank N. Boileau, PhD, who corrected the manuscript and Dr. Bruneau for his useful comments. The authors are indebted to John C. Pezzullo, PhD, of Georgetown University, Washington DC USA, for his very useful help in the statistical comparison of coefficients of variation, as well as to Will G. Hopkins, Professor of Exercise Science, Sport and Recreation, AUT University, Auckland, New Zealand, for his very useful help for TEE and CV calculations using his spreadsheets.

Author Contributions

Conceived and designed the experiments: PA BND GL ALF. Performed the experiments: BND TS ALF. Analyzed the data: PA MG GM TS ALF. Contributed reagents/materials/analysis tools: PA MG TS GL ALF. Wrote the paper: PA MG GM ALF. Funding: PA GL BND.

References

- Maddison R, Ni Mhurthu G (2009) Global positioning system: a new opportunity in physical activity measurement. *Int J Behav Nutr Phys Act* 6: 73.
- Creange A, Serre L, Levasseur M, Audry D, Nineb A, et al. (2007) Walking capacities in multiple sclerosis measured by global positioning system odometer. *Mult Scler* 13: 220–223.
- Le Faucheur A, Abraham P, Jaquinandi V, Bouye P, Saumet JL, et al. (2008) Measurement of walking distance and speed in patients with peripheral arterial disease: a novel method using a global positioning system. *Circulation* 117: 897–904.
- Le Faucheur A, Noury-Desvaux B, Mahe G, Sauvaget T, Saumet JL, et al. (2010) Variability and short-term determinants of walking capacity in patients with intermittent claudication. *J Vasc Surg* 51: 886–892.
- Le Faucheur A, Noury-Desvaux B, Abraham P (2011) Using global positioning system to assess walking capacity. *Spine (Phila Pa 1976)* 36: 2101.
- Barzilay Y (2011) Assessing the Outcomes of Spine Surgery Using Global Positioning Systems. *Spine (Phila Pa 1976)* 15: E263–267.
- Le Faucheur A, Abraham P, Jaquinandi V, Bouye P, Saumet JL, et al. (2007) Study of human outdoor walking with a low-cost GPS and simple spreadsheet analysis. *Med Sci Sports Exerc* 39: 1570–1578.
- Duncan MJ, Mummery WK, Dascombe RJ (2007) Utility of global positioning system to measure active transport in urban areas. *Med Sci Sports Exerc* 39: 1851–1857.
- Barnett A, Cerin E (2006) Individual calibration for estimating free-living walking speed using the MTI monitor. *Med Sci Sports Exerc* 38: 761–767.
- Townshend AD, Worringham CJ, Stewart IB (2008) Assessment of speed and position during human locomotion using nondifferential GPS. *Med Sci Sports Exerc* 40: 124–132.
- Noury-Desvaux B, Abraham P, Mahe G, Sauvaget T, Leftheriotis G, et al. (2011) The Accuracy of a Simple, Low-Cost GPS Data Logger/Receiver to Study Outdoor Human Walking in View of Health and Clinical Studies. *PLoS One* 6: e23027.
- Terrier P, Schutz Y (2005) How useful is satellite positioning system (GPS) to track gait parameters? A review. *J Neuroengineering Rehabil* 2: 28.
- Terrier P, Ladetto Q, Merminod B, Schutz Y (2000) High-precision satellite positioning system as a new tool to study the biomechanics of human locomotion. *J Biomech* 33: 1717–1722.
- Hopkins WG (2000) Measures of reliability in sports medicine and science. *Sports Med* 30: 1–15.
- Hopkins WG (2000) Reliability from consecutive pairs of trials (Excel spreadsheet). A new view of statistics. sportsci.org; Internet Society for Sport Science.
- Hopkins WG (2000) Analysis of validity by linear regression (Excel spreadsheet). A new view of statistics. sportsci.org; Internet Society for Sport Science.
- Bland M (2000) An introduction to medical statistics; publications Orn, editor. Oxford: Oxford University Press, pp 405.
- Gray AJ, Jenkins D, Andrews MH, Taaffe DR, Glover ML (2010) Validity and reliability of GPS for measuring distance travelled in field-based team sports. *J Sports Sci*. pp 1–7.

19. Petersen C, Pym D, Forus M, Dawson B (2009) Validity and reliability of GPS units to monitor cricket-specific movement patterns. *Int J Sports Physiol Perform* 4: 381–393.
20. Barbero-Alvarez JC, Coutts A, Granda J, Barbero-Alvarez V, Castagna C (2010) The validity and reliability of a global positioning satellite system device to assess speed and repeated sprint ability (RSA) in athletes. *J Sci Med Sport* 13: 232–235.
21. Coutts AJ, Duffield R (2010) Validity and reliability of GPS devices for measuring movement demands of team sports. *J Sci Med Sport* 13: 133–135.
22. Duffield R, Reid M, Baker J, Spratford W (2010) Accuracy and reliability of GPS devices for measurement of movement patterns in confined spaces for court-based sports. *J Sci Med Sport* 13: 523–525.
23. Janssen I, Sachlikidis A (2010) Validity and reliability of intra-stroke kayak velocity and acceleration using a GPS-based accelerometer. *Sports Biomech* 9: 47–56.
24. Jennings D, Cormack S, Coutts AJ, Boyd L, Aughey RJ (2010) The Validity and Reliability of GPS Units for Measuring Distance in Team Sport Specific Running Patterns. *Int J Sports Physiol Perform* 5: 328–341.
25. Shoval N, Auslander GK, Freytag T, Landau R, Osswald F, et al. (2008) The use of advanced tracking technologies for the analysis of mobility in Alzheimer's disease and related cognitive diseases. *BMC Geriatr* 8: 7.
26. Bonomi AG, Goris AH, Yin B, Westertep KR (2009) Detection of type, duration, and intensity of physical activity using an accelerometer. *Med Sci Sports Exerc* 41: 1770–1777.
27. Mathie MJ, Coster AC, Lovell NH, Celler BG (2003) Detection of daily physical activities using a triaxial accelerometer. *Med Biol Eng Comput* 41: 296–301.
28. Mathie MJ, Celler BG, Lovell NH, Coster AC (2004) Classification of basic daily movements using a triaxial accelerometer. *Med Biol Eng Comput* 42: 679–687.
29. Ferrin O, Terrier P, Ladenot Q, Merminod B, Schutz Y (2000) Improvement of walking speed prediction by accelerometry and altimetry, validated by satellite positioning. *Med Biol Eng Comput* 38: 164–168.
30. Schutz Y, Weinsier S, Terrier P, Durrer D (2002) A new accelerometric method to assess the daily walking practice. *Int J Obes Relat Metab Disord* 26: 111–118.
31. Troped PJ, Oliveira MS, Matthews CE, Cromley EK, Melly SJ, et al. (2008) Prediction of activity mode with global positioning system and accelerometer data. *Med Sci Sports Exerc* 40: 972–978.
32. Rodriguez DA, Brown AL, Troped PJ (2005) Portable global positioning units to complement accelerometry-based physical activity monitors. *Med Sci Sports Exerc* 37: S572–S581.
33. Rodriguez DA, Cho GH, Elder JP, Conway TL, Evenson KR, et al. (2011) Identifying Walking Trips From GPS and Accelerometer Data in Adolescent Females. *J Phys Act Health*.
34. Herrmann SD, Snook EM, Kang M, Scott CB, Mack MG, et al. (2011) Development and validation of a movement and activity in physical space score as a functional outcome measure. *Arch Phys Med Rehabil* 92: 1652–1658.
35. Maddison R, Jiang Y, Vander Hoorn S, Exeter D, Mhurchu CN, et al. (2010) Describing patterns of physical activity in adolescents using global positioning systems and accelerometry. *Pediatr Exerc Sci* 22: 392–407.
36. Cho GH, Rodriguez DA, Evenson KR (2011) Identifying Walking Trips Using GPS Data. *Med Sci Sports Exerc* 43: 365–372.

Annexe 2 : "Walking Impairment Questionnaire" (WIQ)

1. Présentation du questionnaire

Distance de Marche : Pour chacune des distances de marche qui vous sont proposées ci-dessous, reportez le degré de difficulté physique qui traduit le mieux votre difficulté à marcher sur terrain plat sans vous arrêter pour vous reposer.

<i>Distance</i>	<i>Degré de difficulté</i>				
	<i>Aucun</i>	<i>Léger</i>	<i>Moyen</i>	<i>Important</i>	<i>Infaisable</i>
1. Marcher chez soi (autour de la maison)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Marcher 20 m	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Marcher 50 m (1 demi pâté de maisons)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Marcher 100 m (1 pâté de maisons)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. Marcher 200 m (2 pâtés de maisons)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. Marcher 300 m (3 pâtés de maisons)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. Marcher 500 m (5 pâtés de maisons)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Vitesse de Marche : Reportez le degré de difficulté physique qui décrit le mieux la difficulté que vous avez à parcourir, en fonction de différentes vitesses de marche, la distance correspondant à un pâté de maisons (sur terrain plat) et ce, sans vous arrêter pour vous reposer.

<i>Vitesse</i>	<i>Degré de difficulté</i>				
	<i>Aucun</i>	<i>Léger</i>	<i>Moyen</i>	<i>Important</i>	<i>Infaisable</i>
1. Parcourir un pâté de maisons (100 m) en marchant lentement ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Parcourir un pâté de maisons à une vitesse de marche normale (habituelle) ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Parcourir un pâté de maisons en marchant rapidement ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Parcourir un pâté de maisons en courant (footing) ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Montée d'escaliers : Reportez le degré de difficulté physique qui décrit le mieux la difficulté que vous avez eu à monter des escaliers, sans vous arrêter pour vous reposer, au cours de la dernière semaine.

<i>Montée d'escaliers</i>	<i>Degré de difficulté</i>				
	<i>Aucun</i>	<i>Léger</i>	<i>Moyen</i>	<i>Important</i>	<i>Infaisable</i>
1. Monter 1 étage ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Monter 2 étages ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Monter 3 étages ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

2. Modalité de calcul du score

Pour chacune des questions du WIQ, le codage s'effectue de 0 (impossible) à 4 (aucun problème). Le calcul du score pour chaque dimension du WIQ et du WIQ moyen suit la procédure décrite ci-après (Équation 7 ; Équation 8 ; Équation 9 et Équation 10). Un score de WIQ moyen proche de 100 indique l'absence de limitation à la marche. En revanche, plus le score est proche de zéro plus la limitation à la marche est importante.

Équation 7 : Calcul de la dimension distance du WIQ

$$WIQ_{distance} = \frac{[(Q_1 \times 20) + (Q_2 \times 50) + (Q_3 \times 150) + (Q_4 \times 300) + (Q_5 \times 600) + (Q_6 \times 900) + (Q_7 \times 1500)]}{0,46}$$

Équation 8 : Calcul de la dimension vitesse du WIQ

$$WIQ_{vitesse} = \frac{[(Q_1 \times 1,5) + (Q_2 \times 2) + (Q_3 \times 3) + (Q_4 \times 5)]}{0,46}$$

Équation 9 : Calcul de la dimension montée des escaliers du WIQ

$$WIQ_{montée} = \frac{[(Q_1 \times 12) + (Q_2 \times 24) + (Q_3 \times 36)]}{2,88}$$

Équation 10 : Calcul du WIQ moyen

$$WIQ_{moyen} = \frac{WIQ_{distance} + WIQ_{vitesse} + WIQ_{montée}}{3}$$

- WIQ = Walking Impairment Questionnaire ;
- $WIQ_{distance}$ = dimension de la distance du Walking Impairment Questionnaire ;
- $WIQ_{vitesse}$ = dimension de la vitesse du Walking Impairment Questionnaire ;
- $WIQ_{montée}$ = dimension de la montée des escaliers du Walking Impairment Questionnaire ;
- WIQ_{moyen} = dimension de la montée des escaliers du Walking Impairment Questionnaire ;
- Q_n = Score de la question n de chaque dimension.

Annexe 3 : "Estimation of Ambulatory Capacity by History-Questionnaire" (EACH-Q)

1. Présentation du questionnaire

Entourez le temps maximal que vous pouvez penser pouvoir tenir aux différentes allures suivantes **facilement, sur terrain plat et sans vous arrêter pour vous reposer :**

(Pour chaque question, entourez obligatoirement une et une seule des 8 réponses)

1/ **Marcher lentement**

(une vitesse plus lente que celle de vos proches, de vos amis ou des gens de votre âge)

Impossible / 30 secondes / 1 minute / 3 minutes / 10 minutes / 30 minutes / 1 heure / 3 heures & plus

2/ **Marcher à vitesse moyenne:**

(la même vitesse que celle de vos proches, de vos amis ou des gens de votre âge)

Impossible / 30 secondes / 1 minute / 3 minutes / 10 minutes / 30 minutes / 1 heure / 3 heures & plus

3/ **Marcher rapidement:**

(une vitesse plus rapide que celle de vos proches, de vos amis ou des gens de votre âge)

Impossible / 30 secondes / 1 minute / 3 minutes / 10 minutes / 30 minutes / 1 heure / 3 heures & plus

4/ **Courir:**

Impossible / 30 secondes / 1 minute / 3 minutes / 10 minutes / 30 minutes / 1 heure / 3 heures & plus

2. Modalité de calcul du score

Pour chacune des questions du EACH-Q, le codage s'effectue de 0 (impossible) à 7 (3h ou plus) pour les questions de 1 à 3 et un coefficient est appliqué pour ces trois questions : 1 (question 1), 2 (question 2), 7 (question 3). En revanche, pour la question 4 une valeur est attribuée pour chaque réponse : 0 (impossible), 7 (30 sec.), 15 (1 min.), 22 (3 min.), 29 (10 min.), 36 (30 min.), 44 (1 h) et 51 (3 h et plus). Le calcul du EACH-Q suit la procédure décrite ci-après (Équation 11). Un score total de WELCH proche de 100 indique l'absence de limitation à la marche. En revanche, plus le score est proche de zéro plus la limitation à la marche est importante.

Équation 11 : Calcul du EACH-Q

$$EACH - Q = (Q_1 \times 1) + (Q_2 \times 2) + (Q_3 \times 3) + Q_4$$

- $EACH - Q$ = Walking Estimated Limitation Calculated by History ;
- Q_n = Score de la question n de chaque dimension.

Annexe 4 : "Walking Estimated Limitation Calculated by History" (WELCH)

1. Présentation du questionnaire

Pour chacune des 3 propositions suivantes, entourez obligatoirement une et une seule des 8 réponses possibles

Sur terrain plat, combien de temps pouvez-vous (ou pensez vous pouvoir) marcher **facilement** et **sans vous arrêter pour vous reposer** ...

... si vous devez **marcher lentement** ?

(une vitesse plus lente que celle de vos proches, de vos amis ou des gens de votre âge),

Impossible / 30 secondes / 1 minute / 3 minutes / 10 minutes / 30 minutes / 1 heure / 3 heures & plus

... si vous devez **marcher à vitesse moyenne** ?

(la même vitesse que celle de vos proches, de vos amis ou des gens de votre âge),

Impossible / 30 secondes / 1 minute / 3 minutes / 10 minutes / 30 minutes / 1 heure / 3 heures & plus

... si vous devez **marcher rapidement** ?

(une vitesse plus rapide que celle de vos proches, de vos amis ou des gens de votre âge)

Impossible / 30 secondes / 1 minute / 3 minutes / 10 minutes / 30 minutes / 1 heure / 3 heures & plus

Pour la question suivante, cochez obligatoirement une et une seule des 5 valeurs possibles

Par rapport à la vitesse de marche moyenne de vos proches, de vos amis ou des gens de votre âge, pensez vous marcher habituellement ...

Beaucoup moins vite

Moins vite

Légèrement moins vite

A la même vitesse

Plus vite

2. Modalité de calcul du score

Pour chacune des questions du WELCH, le codage s'effectue de 0 (impossible) à 7 (3h ou plus) pour les questions de 1 à 3 et de 1 (beaucoup plus lent) à 5 (plus vite) pour la question 4. Le calcul du WELCH suit la procédure décrite ci-après (Équation 12). Un score total de WELCH proche de 100 indique l'absence de limitation à la marche. En revanche, plus le score est proche de zéro plus la limitation à la marche est importante.

Équation 12 : Calcul du WELCH

$$WELCH = [(Q_1 + Q_2 + Q_3) - 1] \times Q_4$$

- $WELCH$ = Walking Estimated Limitation Calculated by History ;
- Q_n = Score de la question n de chaque dimension.

Annexe 5 : Questionnaire de claudication de San Diego modifié

Combien de mètres pouvez vous marcher **sans vous arrêter** à vitesse normale? :mètres.

Vous marchez habituellement: lentement / à allure normale / à bonne allure / à vive allure.

Autres localisations possible: *Hanche, Genou, Pied, Toute (la jambe)* **Autre (préciser)**

		Fesse	Cuisse	Mollet
1/ Avez vous une gêne/douleurs en position couchée	coté droit	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	coté gauche	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2/ Avez vous une gêne/douleur, arrêté debout ou assis	coté droit	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	coté gauche	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3/ Avez vous une gêne/douleurs à la marche?	coté droit	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	coté gauche	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Autres localisations possible: *Hanche, Genou, Pied, Toute (la jambe)* **Autre (préciser)**

		Fesse	Cuisse	Mollet
3/ Avez vous une gêne/douleurs à la marche?	coté droit	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	coté gauche	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4/ la douleur apparaît dès la marche : normale ou à marche rapide	coté droit	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	coté gauche	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5/ Elle vous oblige à stopper ralentir	coté droit	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	coté gauche	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
6/ Si vous poursuivez la marche au même rythme la douleur disparaît.	coté droit	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	coté gauche	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7/ l'arrêt de la marche debout améliore (diminue) la douleur	coté droit	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	coté gauche	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
8/ la douleur disparaît <u>en moins de 10</u> minutes	coté droit	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	coté gauche	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Ne renseigner la fin de chaque colonne ci dessous que si au moins un "O" dans la colonne correspondante ci-dessus

		Fesse	Cuisse	Mollet
4/ la douleur apparaît dès la marche : normale ou seulement à marche rapide/en côte	coté droit	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	coté gauche	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<i>si oui</i> 5/ Elle vous oblige à stopper ralentir (ne pas cocher si vous maintenez la même allure)	coté droit	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	coté gauche	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
6/ Si vous poursuivez la marche au même rythme la douleur disparaît.	coté droit	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	coté gauche	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7/ l'arrêt de la marche debout améliore (diminue) la douleur	coté droit	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	coté gauche	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
8/ la douleur disparaît <u>en moins de 10</u> minutes	coté droit	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	coté gauche	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Annexe 6 : Etude Post-GPS, procédure standard pour la marche donnée aux patients

Manuel pour la marche

Madame, Monsieur,

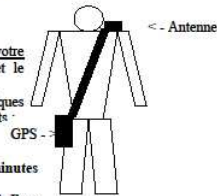
Vous avez eu la gentillesse d'accepter de participer à l'étude POST-GPS et nous vous en remercions à nouveau sincèrement.

Vous devez être actuellement assis(e) sur le lieu que vous avez choisi comme répondant aux contraintes de la mesure (bord de rivière, plage, bord d'étang, parc public, terrain de sport, chemin de campagne, chemin de halage, ...). En principe le même que le premier test s'il s'agit de votre deuxième examen. Prenez s'il vous plaît le temps de lire ce manuel jusqu'au bout.



Prenez le GPS dans son plastique. Sans ouvrir le plastique scellé, appuyez **de façon prolongée** sur le gros bouton blanc, la lumière verte sous le bouton va s'allumer. Le GPS fonctionne. N'y touchez plus et en particulier ne l'éteignez plus, il s'éteindra tout seul.

Passez la sangle autour de votre cou par dessus votre manteau avec l'antenne (petit cube noir) sur votre épaule et le boîtier GPS à la ceinture, comme sur le schéma suivant. Restez assis ou debout sans vous déplacer encore quelques minutes (**10 minutes au total**) pour lire les conseils suivants :



Nous vous rappelons que :

- o Une fois le GPS allumé, vous devez attendre 10 minutes avant de débiter votre marche.
- o Vous devez marcher à un rythme de marche normal. Il ne faut ni marcher lentement pour essayer de marcher sans vous arrêter, ni forcer le pas.
- o La marche doit durer au moins 1 heure (sans compter les 10 minutes d'attente initiale).
- o Vous ne devez vous arrêter que lorsque la douleur oblige à l'arrêt de la marche et non pas dès que la douleur apparaît.
- o Vous pouvez reprendre la marche quand vous voulez après un arrêt lié à la douleur.
- o Les temps d'arrêts comptent dans votre temps total de marche.
- o Vous pouvez vous arrêter aussi souvent que nécessaire mais seulement quand votre douleur ne vous permet plus de marcher (ne vous arrêtez pas pour regarder un paysage ou autres choses si vous n'avez pas mal, tous vos arrêts doivent être dus uniquement à la douleur).
- o Vous pouvez être accompagné(e) par un proche ou un ami à condition qu'il (elle) ne ralentisse pas votre marche et que ce soit vous qui marchiez à votre rythme.
- o Nous vous demandons de ne pas être accompagné d'un chien du fait des arrêts imposés par l'animal qui viendraient perturber l'analyse des arrêts liés à votre maladie.

Vous avez mis 2 à 3 minutes seulement à lire ce texte, cela peut être insuffisant pour que le GPS capte correctement les satellites (diode verte **clignotante**). Même si le GPS est opérationnel, attendez encore le temps nécessaire afin d'avoir un temps total d'attente avant la marche de 10 minutes. Merci.

Puis,

.... BONNE PROMENADE !

LES 6 POINTS IMPORTANTS

1. Merci de vérifier qu'il n'y ait pas une languette plastique qui sorte du GPS sur le côté de la sacoche. Si oui, retirez délicatement cette languette en tirant dessus latéralement.
2. Pour démarrer le GPS : appuyez suffisamment longtemps (4-5 secondes) sur le gros bouton gris jusqu'à ce que les diodes s'allument.
3. Attendez que la **diode verte clignote** avant de commencer à marcher.
4. Si après 5 minutes d'attente, la diode verte ne clignote toujours pas :
 - a. éteignez le GPS en ré-appuyant sur le bouton gris (4-5 secondes),
 - b. déplacez vous d'une dizaine de mètre,
 - c. rallumez le GPS,
 - d. attendez à nouveau que la diode verte clignote.
5. Si la diode verte ne clignote toujours pas au bout de 5 minutes, contactez-nous par téléphone au 06.XX.XX.XX.XX.
6. L'idéal est d'attendre 10 minutes, avec la diode verte qui clignote, avant de commencer à marcher.
7. Marchez au moins une heure et à votre rythme, **ne vous arrêtez qu'à cause de vos douleurs habituelles**. À la fin de votre marche, attendez sur place 2 minutes.

Annexe 7 : Questionnaire modifié de claudication d'Edinburgh

Entourez la réponse exacte et barrez la ou les réponse(s) inexacte(s).

A. Ressentez-vous une douleur ou une gêne dans une jambe quand vous marchez ?

1. Oui
2. Non
3. Je ne peux pas marcher

Si OUI, continuez le questionnaire. Si NON passez au questionnaire suivant.

B. Cette douleur commence-t-elle parfois à se manifester quand vous êtes debout immobile, ou assis ?

1. Oui
2. Non

C. Ressentez-vous cette douleur quand vous montez une côte ou quand vous marchez vite ?

1. Oui
2. Non

D. La ressentez-vous quand vous marchez d'un pas normal sur terrain plat ?

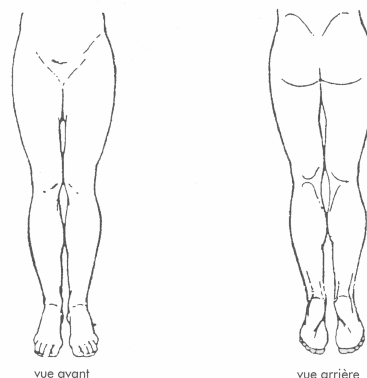
1. Oui
2. Non

E. Que devient la douleur si vous vous arrêtez ?

1. Elle persiste habituellement plus de 10 minutes
2. Elle disparaît habituellement en 10 minutes ou moins

F. Où ressentez-vous cette douleur ou cette gêne ?

Marquez l'emplacement par une ou plusieurs croix sur le schéma suivant :



Annexe 8 : Questionnaire de qualité de vie SF-36

1. Présentation du questionnaire

1/ Dans l'ensemble, pensez-vous que votre santé est :

Excellente	1
Très bonne	2
Bonne	3
Médiocre	4
Mauvaise	5

2/ Par rapport à l'année dernière à la même époque, comment trouvez-vous votre état de santé en ce moment ?

Bien meilleur que l'an dernier	1
Plutôt meilleur	2
A peu près pareil	3
Plutôt moins bon	4
Beaucoup moins bon	5

3/ Voici une liste d'activité physique que vous pouvez avoir à faire dans votre vie de tous les jours. Pour chacune d'entre elles indiquez si vous êtes limité(e) en raison de votre **état de santé actuel**.

(Entourez la réponse de votre choix, une par ligne)

Liste d'activités	OUI, Beaucoup limité(e)	OUI, Un peu limité(e)	NON, pas du tout limité(e)
a. Efforts physiques importants tels que courir, soulever un objet lourd, faire du sport	1	2	3
b. Efforts physiques modérés tels que déplacer une table, passer l'aspirateur, jouer aux boules	1	2	3
c. Soulever et porter les courses	1	2	3
d. Monter plusieurs étages par escalier	1	2	3
e. Monter un étage par escalier	1	2	3
f. Se pencher en avant, se mettre à genoux, s'accroupir	1	2	3
g. Marcher plus d'un kilomètre à pied	1	2	3
h. Marcher plusieurs centaines de mètres	1	2	3
i. Marcher une centaine de mètres	1	2	3
j. Prendre un bain, une douche ou s'habiller	1	2	3

4/ Au cours de ces **4 dernières semaines**, et en raison de votre **état physique**,
(Entourez la réponse de votre choix, une par ligne)

	OUI	NON
a. Avez-vous réduit le temps passé à votre travail ou à vos activités habituelles ?	1	2
b. Avez-vous accompli moins de choses que vous auriez souhaité ?	1	2
c. Avez-vous dû arrêter de faire certaines choses	1	2
d. Avez-vous eu des difficultés à faire votre travail ou toute autre activité (par exemple, cela vous a demandé un effort supplémentaire)	1	2

5/ Au cours de ces **4 dernières semaines** et en raison de votre **état émotionnel** (comme vous sentir triste, nerveux (se) ou déprimé(e))
(Entourez la réponse de votre choix, une par ligne)

	OUI	NON
a. Avez-vous réduit le temps passé à votre travail ou à vos activités habituelles	1	2
b. Avez-vous accompli moins de choses que vous auriez souhaité ?	1	2
c. Avez-vous eu des difficultés à faire ce que vous aviez à faire avec autant de soin et d'attention que d'habitude ?	1	2

6/ Au cours de ces **4 dernières semaines** dans quelle mesure votre état de santé, physique ou émotionnel, vous a t-il gêné(e) dans votre **vie sociale** et vos relations avec les autres, votre famille, vos amis, vos connaissances ?

Pas du tout	1
Un petit peu	2
Moyennement	3
Beaucoup	4
Enormément	5

7/ Au cours des **4 dernières semaines**, quelle a été l'intensité de vos **douleurs physiques** ?

Nulle	1
Très faible	2
Faible	3
Moyenne	4
Grande	5
Très grande	6

8/ Au cours de ces **4 dernières semaines**, dans quelle mesure vos douleurs physiques vous ont-elles limité(e) dans votre travail ou vos activités domestiques ?

Pas du tout	1
Un petit peu	2
Moyennement	3
Beaucoup	4
Enormément	5

9/ Les questions qui suivent portent sur comment vous vous êtes senti(e) au cours de ces **4 dernières semaines**. Pour chaque question, veuillez indiquer la réponse qui vous semble la plus appropriée. Au cours de ces 4 dernières semaines, y a-t-il eu des moments où :

(Entourez la réponse de votre choix, une par ligne)

	En Perman- ence	Très Souvent	Souvent	Quel- quefois	Rare- ment	jamais
a. Vous vous êtes senti(e) dynamique ?	1	2	3	4	5	6
b. Vous vous êtes senti(e) très nerveux (se) ?	1	2	3	4	5	6
c. Vous vous êtes senti(e) si découragé(e) que rien ne pouvait vous remonter le moral ?	1	2	3	4	5	6
d. Vous vous êtes senti(e) calme et détendu(e) ?	1	2	3	4	5	6
e. Vous vous êtes senti(e) débordant(e) d'énergie ?	1	2	3	4	5	6
f. Vous vous êtes senti(e) triste et abattu(e) ?	1	2	3	4	5	6
g. Vous vous êtes senti(e) épuisé(e) ?	1	2	3	4	5	6
h. Vous vous êtes senti(e) heureux(e) ?	1	2	3	4	5	6
i. Vous vous êtes senti(e) fatigué(e) ?	1	2	3	4	5	6

10/ Au cours de ces **4 dernières semaines**, y a-t-il eu des moments où **votre état de santé physique ou émotionnel**, vous a gêné(e) dans votre vie sociale et vos relations avec les autres, votre famille, vos amis, vos connaissances ?

En permanence	1
Une bonne partie du temps	2
De temps en temps	3
Rarement	4
Jamais	5

11/ Indiquez, pour chacune des phrases suivantes, dans quelle mesure elles sont vraies ou fausses dans votre cas :

(Entourez la réponse de votre choix, une par ligne)

	Totalement vraie	Plutôt Vraie	Je ne Sais Pas	Plutôt Fausse	Totalement fausse
a. Je tombe malade plus facilement que les autres	1	2	3	4	5
b. Je me porte aussi bien que n'importe qui	1	2	3	4	5
c. Je m'attends à ce que ma santé se dégrade	1	2	3	4	5
d. Je suis en excellente santé	1	2	3	4	5

2. Code de la procédure de calcul du score SF-36

```
Public Function calcul_SF36(v As Variant) As Variant
    Dim PCS As Variant, MCS As Variant
    Dim PF(1 To 10) As Integer, RP(1 To 4) As Integer, BP(1 To 2) As Double,
    GH(1 To 5) As Double, VT(1 To 4) As Integer, SF(1 To 2) As Integer, RE(1 To
    3) As Integer, MH(1 To 5) As Integer
    Dim PFz As Double, RPz As Double, BPz As Double, GHz As Double, VTz As
    Double, SFz As Double, REz As Double, MHz As Double
    Dim PFs As Variant, RPs As Variant, BPs As Variant, GHs As Variant, VTs As
    Variant, SFs As Variant, REs As Variant, MHs As Variant
    Dim nPF As Integer, nRP As Integer, nBP As Integer, nGH As Integer, nVT As
    Integer, nSF As Integer, nRE As Integer, nMH As Integer
    Dim HT As Double, RCI As Double
    Dim i As Integer, inc(1 To 15) As Integer

    ' *****
    ' ** Dimension Activité Physique (PF) : Q3a à Q3j
    ' Cohérence des réponses
    For i = 1 To 10
        PF(i) = v(2 + i)
    Next
    inc(1) = Abs(PF(9) = 1 And PF(1) > 1)
    inc(2) = Abs(PF(10) = 1 And PF(1) > 1)
    inc(3) = Abs(PF(9) = 1 And PF(2) > 1)
    inc(4) = Abs(PF(10) = 1 And PF(2) > 1)
    inc(5) = Abs(PF(9) = 1 And PF(4) > 1)
    inc(6) = Abs(PF(10) = 1 And PF(4) > 1)
    inc(7) = Abs(PF(9) = 1 And PF(7) > 1)
    inc(8) = Abs(PF(10) = 1 And PF(7) > 1)
    ' Les données incohérentes sont considérées comme manquantes
    If inc(1) = 1 Then PF(9) = 0: PF(1) = 0
    If inc(2) = 1 Then PF(10) = 0: PF(1) = 0
    If inc(3) = 1 Then PF(9) = 0: PF(2) = 0
    If inc(4) = 1 Then PF(10) = 0: PF(2) = 0
    If inc(5) = 1 Then PF(9) = 0: PF(4) = 0
    If inc(6) = 1 Then PF(10) = 0: PF(4) = 0
    If inc(7) = 1 Then PF(9) = 0: PF(7) = 0
    If inc(8) = 1 Then PF(10) = 0: PF(7) = 0
    ' calcul du nombre de réponses obtenues et somme des réponses
    nPF = 0
    PFz = 0
    For i = 1 To 10
        If PF(i) > 0 Then
            nPF = nPF + 1
            PFz = PFz + PF(i)
        End If
    Next
    ' Calcul du score PF
    If nPF > 5 Then
        ' Remplacement des valeurs manquantes par le score moyen
        PFz = PFz + (10 - nPF) * (PFz / nPF)
        ' Normalisation
        PFs = ((PFz - 10) / 20#) * 100
        ' Calcul du score standardisé
        PFz = (PFs - 84.52404) / 22.8949
    Else
        PFs = Empty
        PFz = 0
    End If
    ' *****
    ' ** Dimension Limitations dues à l'état psychique (RP) : Q4a à Q4d
    ' Pas d'incohérences sur ce score
    ' calcul du nombre de réponses obtenues et somme des réponses
    For i = 1 To 4
        RP(i) = v(12 + i)
    Next
    nRP = 0
    RPz = 0
```

```

For i = 1 To 4
  If RP(i) > 0 Then
    nRP = nRP + 1
    RPz = RPz + RP(i)
  End If
Next
' Calcul du score RF
If nRP > 2 Then
  ' Remplacement des valeurs manquantes par le score moyen
  RPz = RPz + (4 - nRP) * (RPz / nRP)
  ' Normalisation
  RPs = ((RPz - 4) / 4#) * 100
  ' Calcul du score standardisé
  RPz = (RPs - 81.19907) / 33.79729
Else
  RPs = Empty
  RPz = 0
End If
' *****
' ** Dimension Douleurs Physiques (BP) : Q7 et Q8
' Recodage des réponses
BP(1) = v(21)
BP(2) = v(22)
If BP(1) > 0 Then
  Select Case BP(2)
    Case 1: If BP(1) = 1 Then BP(2) = 6 Else BP(2) = 5
    Case 2: BP(2) = 4
    Case 3: BP(2) = 3
    Case 4: BP(2) = 2
    Case 5: BP(2) = 1
    Case Else
      BP(2) = 0
  End Select
Else
  Select Case BP(2)
    Case 1: BP(2) = 6
    Case 2: BP(2) = 4.75
    Case 3: BP(2) = 3.5
    Case 4: BP(2) = 2.25
    Case 5: BP(2) = 1
    Case Else
      BP(2) = 0
  End Select
End If
Select Case BP(1)
Case 1: BP(1) = 6
Case 2: BP(1) = 5.4
Case 3: BP(1) = 4.2
Case 4: BP(1) = 3.1
Case 5: BP(1) = 2.2
Case 6: BP(1) = 1
Case Else
  BP(1) = 0
End Select
' Cohérence des réponses
inc(15) = Abs((BP(1) = 1 And BP(2) = 5) Or (BP(1) = 6 And BP(2) = 1))
' Les données incohérentes sont considérées comme manquantes
If inc(15) = 1 Then BP(1) = 0: BP(2) = 0
If (BP(1) > 0 Or BP(2) > 0) Then
  ' Normalisation
  BPs = ((BP(1) + BP(2) - 2) / 10#) * 100
  ' Calcul du score standardisé
  BPz = (BPs - 75.49196) / 23.55879
Else
  BPs = Empty
  BPz = 0
End If
' *****
' ** Dimension Santé perçue (GH) : Q1 et Q11a à Q11d
GH(1) = v(1)
For i = 1 To 4

```

```

    GH(i + 1) = v(32 + i)
Next
' Recodage des réponses Q1=v(1)
Select Case GH(1)
Case 1: GH(1) = 5
Case 2: GH(1) = 4.4
Case 3: GH(1) = 3.4
Case 4: GH(1) = 2
Case 5: GH(1) = 1
Case Else
    GH(1) = 0
End Select
If GH(3) > 0 Then GH(3) = 6 - GH(3) ' renversement de l'échelle
If GH(5) > 0 Then GH(5) = 6 - GH(5) ' renversement de l'échelle
' Cohérence des réponses
inc(13) = Abs((GH(1) = 1 And GH(5) = 5) Or (GH(1) = 5 And GH(5) = 1))
' Les données incohérentes sont considérées comme manquantes
If inc(13) = 1 Then GH(1) = 0: GH(5) = 0
nGH = 0
GHz = 0
For i = 1 To 5
    If GH(i) > 0 Then
        nGH = nGH + 1
        GHz = GHz + GH(i)
    End If
Next
' Calcul du score GH
If nGH >= 3 Then
    ' Remplacement des valeurs manquantes par le score moyen
    GHz = GHz + (5 - nGH) * (GHz / nGH)
    ' Normalisation
    GHs = ((GHz - 5) / 20#) * 100
    ' Calcul du score standardisé
    GHz = (GHs - 72.21316) / 20.16964
Else
    GHs = Empty
    GHz = 0
End If
' *****
' ** Dimension Vitalité (VT) : Q9a, Q9e, Q9g Q9i
' Recodage des réponses
VT(1) = v(23)
VT(2) = v(27)
VT(3) = v(29)
VT(4) = v(31)
If VT(1) > 0 Then VT(1) = 7 - VT(1) ' Renversement de l'échelle
If VT(2) > 0 Then VT(2) = 7 - VT(2) ' Renversement de l'échelle
' Cohérence des réponses
inc(11) = Abs((VT(2) = 6 And VT(3) = 1) Or (VT(2) = 1 And VT(3) = 6))
inc(12) = Abs((VT(1) = 6 And VT(4) = 1) Or (VT(1) = 1 And VT(4) = 6))
' Les données incohérentes sont considérées comme manquantes
If inc(11) = 1 Then VT(2) = 0: VT(3) = 0
If inc(12) = 1 Then VT(1) = 0: VT(4) = 0
nVT = 0
VTz = 0
For i = 1 To 4
    If VT(i) > 0 Then
        nVT = nVT + 1
        VTz = VTz + VT(i)
    End If
Next
' Calcul du score VT
If nVT > 2 Then
    ' Remplacement des valeurs manquantes par le score moyen
    VTz = VTz + (4 - nVT) * (VTz / nVT)
    ' Normalisation
    VTs = ((VTz - 4) / 20#) * 100
    ' Calcul du score standardisé
    VTz = (VTs - 61.05453) / 20.86942
Else
    VTs = Empty

```

```

VTz = 0
End If
' *****
' ** Dimension Vie et Relation avec les autres (SF) : Q6 et Q10
' Recodage des réponses
SF(1) = v(20)
SF(2) = v(32)
If SF(1) > 0 Then SF(1) = 6 - SF(1) ' Renversement de l'échelle
' Cohérence des réponses
inc(14) = Abs((SF(1) = 1 And SF(2) = 5) Or (SF(1) = 5 And SF(2) = 1))
' Les données incohérentes sont considérées comme manquantes
If inc(14) = 1 Or SF(1) = 0 Or SF(2) = 0 Then
  SF(1) = 0: SF(2) = 0
  SFz = 0
  SFs = Empty
Else
  SFz = SF(1) + SF(2)
  ' Normalisation
  SFs = ((SFz - 2) / 8#) * 100
  ' Calcul du score standardisé
  SFz = (SFs - 83.59753) / 22.37649
End If
' *****
' ** Dimension Limitations dues à l'état psychique (RE) : Q5a à Q5c
' Recodage des réponses
RE(1) = v(17)
RE(2) = v(18)
RE(3) = v(19)
nRE = 0
REz = 0
For i = 1 To 3
  If RE(i) > 0 Then
    nRE = nRE + 1
    REz = REz + RE(i)
  End If
Next
' Calcul du score VT
If nRE >= 2 Then
  ' Remplacement des valeurs manquantes par le score moyen
  REz = REz + (3 - nRE) * (REz / nRE)
  ' Normalisation
  REs = ((REz - 3) / 3#) * 100
  ' Calcul du score standardisé
  REz = (REs - 81.29467) / 33.02717
Else
  REz = 0
  REs = Empty
End If
' *****
' ** Dimension Santé perçue (MH) : Q9b, Q9c, Q9d, Q9f, Q9h
MH(1) = v(24)
MH(2) = v(25)
MH(3) = v(26)
MH(4) = v(28)
MH(5) = v(30)
' Recodage des réponses 3 et 5
If MH(3) > 0 Then MH(3) = 7 - MH(3)
If MH(5) > 0 Then MH(5) = 7 - MH(5)
' Cohérence des réponses
inc(9) = Abs((MH(5) = 6 And MH(2) = 1) Or (MH(5) = 1 And MH(2) = 6))
inc(10) = Abs((MH(1) = 6 And MH(3) = 1) Or (MH(1) = 1 And MH(3) = 6))
' Les données incohérentes sont considérées comme manquantes
If inc(9) = 1 Then MH(5) = 0: MH(2) = 0
If inc(10) = 1 Then MH(1) = 0: MH(3) = 0
nMH = 0
MHz = 0
For i = 1 To 5
  If MH(i) > 0 Then
    nMH = nMH + 1
    MHz = MHz + MH(i)
  End If

```

```

Next
' Calcul du score MH
If nMH >= 3 Then
' Remplacement des valeurs manquantes par le score moyen
MHZ = MHZ + (5 - nMH) * (MHZ / nMH)
' Normalisation
MHs = ((MHZ - 5) / 25#) * 100
' Calcul du score standardisé
MHZ = (MHs - 74.84212) / 18.01189
Else
MHs = Empty
MHZ = 0
End If
' *****
' ** Dimension Evolution de la santé perçue : Q2
HT = v(2)
' Calcul de l'index de cohérence des réponses
RCI = 0
For i = 1 To 15
RCI = RCI + inc(i)
Next
' Calcul des scores agrégés physiques (PCS) et psychiques (MCS)
' ATTENTION : dans le classeur fourni par Alexis le Faucheur, le
coefficient GHZ de PCS vaut 0.24904 au lieu de 0.24954 dans le doc imprimé.
If PFz = 0 And RPz = 0 And BPz = 0 And GHZ = 0 And VTz = 0 And SFz = 0 And
REz = 0 And MHZ = 0 Then
PCS = Empty
MCS = Empty
Else
PCS = (0.42402 * PFz + 0.35119 * RPz + 0.31754 * BPz + 0.24954 * GHZ +
0.02877 * VTz - 0.0753 * SFz - 0.19206 * REz - 0.22069 * MHZ) * 10 + 50
MCS = (-0.22999 * PFz - 0.12329 * RPz - 0.09731 * BPz - 0.01571 * GHZ +
0.23534 * VTz + 0.26876 * SFz + 0.43407 * REz + 0.48581 * MHZ) * 10 + 50
End If
calcul_SF36 = Array(PCS, MCS, PFz, RPz, BPz, GHZ, VTz, SFz, REz, MHZ, HT,
RCI, PFs, RPs, BPs, GHs, VTs, SFs, REs, MHs)
End Function

```

Annexe 9 : "Physical Activity Scale for the Elderly" (PASE)

1. Présentation du questionnaire

Consignes. Répondez attentivement aux questions suivantes qui portent sur les différents types d'activités physiques que vous avez pu réaliser sur les 7 derniers jours (vous pouvez prendre l'exemple de la semaine dernière). Pour chaque question :

- Cochez "oui" (j'ai réalisé les activités en question) ou "non", lorsque cela vous est proposé.
- Si vous répondez "oui" et lorsque cela vous est demandé, précisez le nombre de jours sur la semaine qui a été consacré à ces activités, ainsi que le nombre d'heures par jour consacré à ces activités et ce uniquement pour les jours de la semaine où vous avez réalisé ces activités.
- Parfois, vous n'avez pas à répondre par "oui" ou par "non" mais à préciser une quantité totale d'activité physique.

Sur les 7 derniers jours :

Activités	Réponse	Nombre de jours sur la semaine consacrés à ces activités	Nombre d'heures par jour, uniquement pour les <u>jours consacrés à ces activités.</u>
1. Avez-vous réalisé des activités assises telles que, par exemple, lire, regarder la télévision, faire des mots-croisés, de la couture,... ?	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> 1 à 2 jours <input type="checkbox"/> 3 à 4 jours <input type="checkbox"/> 5 à 7 jours	<input type="checkbox"/> moins d'une heure <input type="checkbox"/> 1 à 2 heures <input type="checkbox"/> 2 à 4 heures <input type="checkbox"/> plus de 4 heures
2. Avez-vous marché dehors que ce soit pour le plaisir, pour promener le chien, pour faire de l'exercice, pour aller au travail, pour marcher dans le jardin, ou pour toutes autres raisons ?	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> 1 à 2 jours <input type="checkbox"/> 3 à 4 jours <input type="checkbox"/> 5 à 7 jours	<input type="checkbox"/> moins d'une heure <input type="checkbox"/> 1 à 2 heures <input type="checkbox"/> 2 à 4 heures <input type="checkbox"/> plus de 4 heures
2.a Si vous avez marché la semaine dernière, quelle distance totale pensez-vous avoir parcourue ?		<input type="checkbox"/> moins de 1.5 km <input type="checkbox"/> 3 à 6 km	<input type="checkbox"/> 1.5 à 3 km <input type="checkbox"/> plus de 6 km
3. Combien d'étage(s) (avec des escaliers) pensez-vous avoir monté ?		<input type="checkbox"/> moins d'un étage <input type="checkbox"/> 2 à 4 étages	<input type="checkbox"/> 1 à 2 étages <input type="checkbox"/> plus de 4 étages

Activités	Réponse	Nombre de jours sur la semaine consacrés à ces activités	Nombre d'heures par jour, uniquement pour les jours consacrés à ces activités.
4. Avez-vous réalisé des activités sportives ou récréatives d'intensité légère , c'est-à-dire de faible difficulté, telles que, par exemple, jouer aux boules ou au bowling, pêcher, faire du yoga..., ou toutes autres activités similaires ?	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> 1 à 2 jours <input type="checkbox"/> 3 à 4 jours <input type="checkbox"/> 5 à 7 jours	<input type="checkbox"/> moins d'une heure <input type="checkbox"/> 1 à 2 heures <input type="checkbox"/> 2 à 4 heures <input type="checkbox"/> plus de 4 heures
5. Avez-vous réalisé des activités sportives ou récréatives d'intensité modérée , c'est-à-dire de difficulté moyenne, telles que, par exemple, jouer au tennis (en double), faire de la danse (classique), jouer au golf (sans voiturette)..., ou toutes autres activités similaires ?	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> 1 à 2 jours <input type="checkbox"/> 3 à 4 jours <input type="checkbox"/> 5 à 7 jours	<input type="checkbox"/> moins d'une heure <input type="checkbox"/> 1 à 2 heures <input type="checkbox"/> 2 à 4 heures <input type="checkbox"/> plus de 4 heures
6. Avez-vous réalisé des activités sportives ou récréatives de forte intensité , c'est-à-dire de difficulté importante, telles que, par exemple, faire du vélo, courir, nager, jouer au tennis (en simple), faire du ski, faire de la danse aérobique..., ou toutes autres activités similaires ?	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> 1 à 2 jours <input type="checkbox"/> 3 à 4 jours <input type="checkbox"/> 5 à 7 jours	<input type="checkbox"/> moins d'une heure <input type="checkbox"/> 1 à 2 heures <input type="checkbox"/> 2 à 4 heures <input type="checkbox"/> plus de 4 heures
7. Avez-vous réalisé des exercices pour augmenter spécifiquement votre force musculaire, comme de la musculation, de l'haltérophilie... ?	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> 1 à 2 jours <input type="checkbox"/> 3 à 4 jours <input type="checkbox"/> 5 à 7 jours	<input type="checkbox"/> moins d'une heure <input type="checkbox"/> 1 à 2 heures <input type="checkbox"/> 2 à 4 heures <input type="checkbox"/> plus de 4 heures
8. Avez-vous réalisé des travaux ménagers légers , tels que faire les poussières ou encore faire la vaisselle (à la main) ?			<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non
9. Avez-vous réalisé des travaux ménagers intenses , tels que passer l'aspirateur, nettoyer le sol, laver les carreaux ou transporter du bois ?			<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non

10. | Avez-vous réalisé les activités suivantes :

Effectuer des travaux de réparation tels que faire de la peinture, de la tapisserie,...

Oui Non

Effectuer de gros travaux d'entretiens du jardin tels que déblayer la neige, couper du bois...

Oui Non

Effectuer du jardinage.

Oui Non

S'occuper d'une autre personne, comme d'un enfant, d'un époux ou d'une épouse dépendant(e) ou d'un autre adulte.

Oui Non

11. Avez-vous travaillé, que ce soit en tant que salarié(é) ou bénévole ?

Oui Non

Si oui :

11.a Combien d'heure(s) par semaine ?

..... heure(s)

11.b Laquelle des catégories suivantes décrit le mieux le type d'effort que vous êtes amené(e) à faire au cours de ce travail ?

- 1. Travail principalement effectué en position assise avec un léger travail des bras (travail de bureau, travail assis à la chaîne, conducteur de bus...).
- 2. Travail assis et debout avec un peu de marche (caissière, travail léger, travail sur machine...)
- 3. Travail avec de la marche et avec un peu de portage d'objets légers c'est-à-dire de moins de 20 kg (postier, serveur, travailleur dans le bâtiment...)
- 4. Travail avec de la marche et du travail manuel difficile nécessitant souvent le portage d'objets de plus de 20 kg (bûcheron, tailleur de pierre, agriculteur...).

2. Code de la procédure de calcul du score PASE

```
Public Function calcul_PASE(vlist As Variant) As Variant
    Dim vTot As Variant, n As Integer, r2 As Variant, r3 As Variant, q As
Variant, ql1a As Variant, ql1b As Variant
    Dim s As String, F As String

    calcul_PASE = Empty
    vTot = Empty
    ' question 7 : Force et endurance musculaire
    q = vlist(0) 'Q7
    If Len(q) = 0 Then Exit Function
    If q = 1 Then
        r2 = vlist(1) 'Q7J
        r3 = vlist(2) 'Q7H
        If Len(r2) > 0 And Len(r3) > 0 Then
            vTot = vTot + (PASE_jours(r2) * PASE_heures(r3)) / 7# * 30
        Else
            Exit Function
        End If
    Else
        vTot = 0
    End If
    ' Question 6
    q = vlist(3) 'Q6
    If Len(q) = 0 Then Exit Function
    If q = 1 Then
        r2 = vlist(4) 'Q6J
        r3 = vlist(5) 'Q6H
        If Len(r2) > 0 And Len(r3) > 0 Then
            vTot = vTot + (PASE_jours(r2) * PASE_heures(r3)) / 7# * 23
        Else
            Exit Function
        End If
    Else
        vTot = vTot + 0
    End If
    ' Question 5
    q = vlist(6) 'Q5
    If Len(q) = 0 Then Exit Function
    If q = 1 Then
        r2 = vlist(7) 'Q5J
        r3 = vlist(8) 'Q5H
        If Len(r2) > 0 And Len(r3) > 0 Then
            vTot = vTot + (PASE_jours(r2) * PASE_heures(r3)) / 7# * 23
        Else
            Exit Function
        End If
    Else
        vTot = vTot + 0
    End If
    ' Question 4
    q = vlist(9) 'Q4
    If Len(q) = 0 Then Exit Function
    If q = 1 Then
        r2 = vlist(10) 'Q4J
        r3 = vlist(11) 'Q4H
        If Len(r2) > 0 And Len(r3) > 0 Then
            vTot = vTot + (PASE_jours(r2) * PASE_heures(r3)) / 7# * 21
        Else
            Exit Function
        End If
    Else
        vTot = vTot + 0
    End If
    ' Question 8
    q = vlist(12) 'Q8
    If Len(q) > 0 Then vTot = vTot + (2 - q) * 25 Else Exit Function
    ' Question 9
```

```

q = vlist(13) 'Q9
If Len(q) > 0 Then vTot = vTot + (2 - q) * 25 Else Exit Function
' Question 2
q = vlist(14) 'Q2
If Len(q) = 0 Then Exit Function
If q = 1 Then
    r2 = vlist(15) 'Q2J
    r3 = vlist(16) 'Q2H
    If Len(r2) > 0 And Len(r3) > 0 Then
        vTot = vTot + (PASE_jours(r2) * PASE_heures(r3)) / 7# * 20
    Else
        Exit Function
    End If
Else
    vTot = vTot + 0
End If
' Question 11
q = vlist(17) 'Q11
If Len(q) = 0 Then Exit Function
If q = 1 Then
    q11a = vlist(18) 'Q11H
    q11b = vlist(19) 'Q11CAT
    If Len(q11a) = 0 Or Len(q11b) = 0 Then
        Exit Function
    Else
        If q11b > 1 Then
            vTot = vTot + q11a / 7# * 21
        Else
            vTot = vTot + 0
        End If
    End If
Else
    vTot = vTot + 0
End If

' Question 10
q = vlist(20) 'Q10A
If Len(q) > 0 Then vTot = vTot + (2 - q) * 30 Else Exit Function
q = vlist(21) 'Q10B
If Len(q) > 0 Then vTot = vTot + (2 - q) * 36 Else Exit Function
q = vlist(22) 'Q10C
If Len(q) > 0 Then vTot = vTot + (2 - q) * 20 Else Exit Function
q = vlist(23) 'Q10D
If Len(q) > 0 Then vTot = vTot + (2 - q) * 35 Else Exit Function
calcul_PASE = vTot
End Function

```

**Annexe 10 : Etude Post-GPS, questionnaire post marche
post marche**

**À l'attention du patient
participant à l'étude**

**Questionnaire à remplir
APRÈS la marche**

Important

Prenez le temps de remplir toutes les réponses.

Ne laissez pas de questions sans réponses.

Si vous ne savez pas répondre écrivez « ne sais pas » ou
n'hésitez pas à téléphoner au centre investigateur au
06.65.XX.XX.XX.

Questions préliminaires :

1- Le gps était-il bien allumé avant la marche ?

OUI NON NE SAIS PAS

2- La diode verte clignotait-elle avant que vous ne commenciez à marcher ?

OUI NON NE SAIS PAS

Questionnaire à remplir après la marche.

- **Combien de temps après la marche commencez-vous à remplir ce questionnaire ?**
.....
- **Indiquez précisément l'adresse du lieu où vous avez débuté votre marche (ville, village, code postal, adresse (même approximative), lieu-dit, parc, plan d'eau, chemin....) :**
.....
.....
- **Si différente du lieu de départ, indiquez précisément l'adresse du lieu où vous avez terminé votre marche :**
.....
.....
- **Combien de fois pensez-vous avoir dû vous arrêter pendant votre marche du fait de la douleur habituelle ? (marquez "00" si aucun arrêt) (fois)**
- **Vous êtes vous arrêté(e) pendant la marche pour une raison non liée à votre douleur ?**
OUI NON
Si oui ... combien de fois (fois)
... et pourquoi ? :
- **Avez-vous finalement marché au moins une heure (arrêts compris) ?**
OUI NON
Si non ... combien de temps? (minutes)
Si non ... pourquoi :
- **Cette marche, d'une heure environ, a-t-elle permis la reproduction de votre gêne habituelle ?**
OUI NON
Si non ... pourquoi ? :
- **Après être allé marcher pendant une heure ...**

... maintenant, quelle distance pensez vous pouvoir parcourir à vitesse normale sans vous arrêter et en terrain plat ? (notez "999" si illimité) (mètres)

... maintenant, combien de temps pensez-vous pouvoir marcher à vitesse normale sans vous arrêter ni ralentir et en terrain plat? (notez "999" si illimité) (minutes).
- **Dans le cadre l'étude, avez-vous trouvé difficile :** (Cochez une des quatre cases à chaque ligne)

... d'organiser votre marche ?
Très difficile Assez difficile plutôt facile très facile

...De trouver un terrain adapté ?
Très difficile Assez difficile plutôt facile très facile

...de remplir le premier questionnaire (avant la marche) ?
Très difficile Assez difficile plutôt facile très facile

...de démarrer l'appareil GPS ?

Très difficile Assez difficile plutôt facile très facile

...de marcher régulièrement ?

Très difficile Assez difficile plutôt facile très facile

...de marcher pendant plus d'une heure ?

Très difficile Assez difficile plutôt facile très facile

...de remplir ce questionnaire (après la marche) ?

Très difficile Assez difficile plutôt facile très facile

- **Si vous souhaitez faire d'autres commentaires merci de nous les préciser ci-dessous :**

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Merci de vérifier qu'aucune question n'est restée sans réponse.

Vous avez fini de remplir ce second questionnaire, glissez le, avec le questionnaire que vous aviez rempli avant la marche et avec le GPS et son antenne, dans l'enveloppe retour qu'il ne vous reste plus qu'à poster.

S'IL S'AGIT DE VOTRE PREMIER EXAMEN, NOUS VOUS DONNONS RENDEZ-VOUS DANS 6 MOIS.

S'IL S'AGIT DE VOTRE DEUXIÈME EXAMEN, MERCI À NOUVEAU DE VOTRE PARTICIPATION.

RÉSUMÉ

L'évaluation de la Distance de Marche Maximale (DMM) des artériopathes claudicants représente un enjeu primordial puisqu'une DMM inférieure à 300 mètres est en faveur d'une prise charge chirurgicale. En routine clinique, la DMM est évaluée par questionnaires, méthode d'évaluation très subjective, ou par tests de marche sur tapis roulant qui sont protocole-dépendants et reproduisent mal la douleur habituelle. Aussi, l'objet de cette thèse est de tester la validité de méthodologies innovantes utilisant le GPS et la mesure transcutanée de la pression en dioxygène (TcPO₂) lors d'un test de marche sur tapis roulant à l'égard de l'évaluation de la gêne fonctionnelle à la marche de patients artériopathes claudicants. La première étude montre que les scores au questionnaire EACH-Q et la DMM déclarée par les patients sont plus corrélés à la DMM mesurée avec un GPS (reflet du patron de marche spontané) qu'aux scores du questionnaire WIQ, au test de marche de 6 minutes et au test sur tapis roulant. La seconde étude montre l'intérêt de la TcPO₂ d'effort dans la détection des ischémies à l'exercice chez des patients présentant des Index de Pression Systolique de Cheville normaux. Les troisième et quatrième études montrent la fiabilité du GPS ainsi que son applicabilité dans l'évolution des paramètres de marche avant et après une revascularisation. Enfin, la cinquième étude suggère que le couplage GPS-accéléromètre permet l'estimation indirecte de la dépense énergétique chez le patient artériopathe. En conclusion, l'actimétrie (e.g., GPS, accéléromètre) et la TcPO₂ d'effort constituent des méthodes valides et fidèles pour évaluer la marche de patients artériopathes claudicants.

Mots-clés : Artériopathie Oblitérante des Membres Inférieurs ; Claudication ; Test de marche, TcPO₂ d'effort ; Géo-Positionnement Satellitaire ; Dépense énergétique.

ABSTRACT

Peripheral Arterial Disease (PAD) is a major concern regarding their clinical care since a revascularization intervention is indicated below the cut-off point of 300 m. In clinical routine, MWD is usually assessed with clinical questionnaires, a highly subjective method, and with walking treadmill tests that are design-dependent and that hardly reproduce the usual pain of the patients during the walk. Therefore, the aim of this doctoral work is to test the validity of innovative methodologies based on GPS and Transcutaneous Pressure in Oxygen (TcPO₂) during a treadmill test with respect to the assessment of the functional limitation in PAD patients. The first study shows that scores of the Estimation of Ambulatory Capacity by History-Questionnaire and MWD that is declared by the patients are more related to the GPS-measured MWD (that reflects the spontaneous walking pattern) than to the scores of the Walking Impairment Questionnaire, the 6-min walking test, and the walking treadmill test. The second study evidences the relevance of the use of TcPO₂ during a walking treadmill test in detecting ischemia during exercise among patients with normal Ankle to brachial Index. The third and fourth studies show the reliability of the GPS as well as its applicability to the evolution of the walking parameters following revascularization. Finally, the fifth study suggests that the GPS-accelerometer coupling is able to estimate the energy expenditure of PAD patients. To conclude, actimetry (e.g., GPS, accelerometer) and exercise TcPO₂ are valid and reliable methods to evaluate the walk of PAD patients.

Keywords: Peripheral Arterial Disease; claudication ; walking test; exercise TcPO₂; Global Positioning System; Energy Expenditure.



IFEPSA
49 Rue des Perrins
49130 Les Ponts de Cé

Présidence de l'université
40 rue de rennes – BP 73532
49035 Angers cedex
Tél. 02 41 96 23 23 | Fax 02

