

ÉCOLE DOCTORALE SANTÉ, SCIENCES, TECHNOLOGIES

Unité INSERM U921-Nutrition, Croissance et Cancer

THÈSE présentée par :

David JACOBI

Soutenue le 17 juin 2011

Pour obtenir le grade de : **Docteur de l'université François - Rabelais**

Discipline/ Spécialité : Sciences de la Vie & Santé

**MESURES DE L'ACTIVITÉ PHYSIQUE EN
CONDITIONS DE VIE COURANTE :
VALIDITÉ ET APPLICATIONS CHEZ DES SUJETS
PEU ACTIFS**

THÈSE dirigée par :

Charles COUET
Jean-Michel OPPERT

Professeur des universités, Université François Rabelais (Tours)
Professeur des universités, Université Pierre et Marie Curie (Paris 6)

RAPPORTEURS :

Yves SCHÜTZ
Anne VUILLEMIN

Professeur associé, Université de Lausanne (Suisse)
Professeur des universités, Université Henri Poincaré (Nancy 1)

JURY :

Yves BOIRIE
Charles COUET
Bruno GIRAudeau
Jean-Michel OPPERT
Yves SCHÜTZ
Anne VUILLEMIN

Professeur des universités, Université d'Auvergne (Clermont 1)
Professeur des universités, Université François Rabelais (Tours)
Maître de conférences des universités, HDR, Université François Rabelais (Tours)
Professeur des universités, Université Pierre et Marie Curie (Paris 6)
Professeur associé, Université de Lausanne (Suisse)
Professeur des universités, Université Henri Poincaré (Nancy 1)

Remerciements

A monsieur le Professeur Charles Couet,

Je vous remercie pour l'accueil que vous m'avez réservé au sein du service de médecine. Depuis notre première rencontre (en 2000...), les liens de travail se sont renforcés et la confiance s'est instaurée. Vos connaissances 'extensive' de la médecine et 'intensive' de la nutrition sont une opportunité pour progresser au quotidien. Merci pour vos conseils et votre soutien pendant la réalisation de ce travail. Pour tout cela, soyez assurés de toute ma gratitude et de tout mon respect.

A monsieur le Professeur Jean-Michel Oppert,

Je te remercie d'avoir dirigé ce travail. J'ai pu apprécier ta rigueur, ta patience et ton efficacité (et tes conseils ou 'suggestions' !). Sois assuré de ma reconnaissance et de toute mon amitié.

A madame le Professeur Anne Vuillemin, à Messieurs les Professeurs Yves Schütz et Yves Boirie,

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

A monsieur le Dr Bruno Giraudeau,

Je te remercie d'avoir accepté de juger ce travail et je te remercie pour ton soutien (méthodologique mais pas seulement). Sois assuré de ma gratitude et de toute mon amitié.

Je voudrais aussi remercier chaleureusement Martine Objois, François Maillot, Julie Magnant, Nicole Ferreira-Maldent et mes collègues du service de médecine pour la qualité de leur travail et pour m'avoir permis de finaliser cette thèse dans les meilleures conditions.

Merci aux Professeurs Philippe Bougnoux et Stephan Chevallier pour leur accueil au sein de leur équipe Inserm U 921 Nutrition, Croissance et Cancer (N2C).

Merci aux N2Céens du groupe 'cachexie' Stéphane Servais et Jean-François Dumas et à mon ami et partenaire de Kung-Fu Sébastien Roger (une activité physique où 'à force de chercher... on trouve').

Résumé

L'inactivité physique, facteur de risque de pathologies chroniques, est un problème majeur de santé publique. Des méthodes validées sont essentielles pour mesurer l'activité physique (AP). Le 1^{er} objectif de cette thèse était de préciser la validité des techniques de mesure de l'AP. Le 2nd objectif visait à comparer les résultats de questionnaires de rappel évaluant le contexte aux mesures objectives de l'AP. Le 3^{ème} objectif était d'évaluer l'intérêt des méthodes objectives pour l'étude de certains déterminants de l'AP. Nous avons mesuré par différentes méthodes (calorimétrie indirecte, actimètres, questionnaires de rappel) l'AP, en vie libre, de sujets peu actifs (personnes obèses, diabétiques ou sédentaires). Nos résultats illustrent l'intérêt des méthodes objectives mais aussi leurs limites, ainsi que l'intérêt des données déclaratives pour évaluer le contexte. Le choix des méthodes influence le résultat des études et doit tenir compte des caractéristiques de l'AP des sujets les moins actifs. Ce choix participe à l'amélioration des connaissances des liens entre AP et santé pour guider la promotion de l'AP des segments peu actifs de la population.

Mots clés : validation, activité physique, dépense énergétique, questionnaire, podomètre, accéléromètres, obésité, diabète, famille

Abstract

Physical inactivity is a risk factor for chronic diseases and is recognized as a major public health issue. Validated methods are essential to describe accurately physical activity (PA). The 1st aim of this work was to assess the validity of PA assessment techniques. The 2nd was to compare the results of recall questionnaires evaluating PA context with objective PA measures. The 3rd was to assess the usefulness of objective methods in the assessment of some determinants of PA. We measured free-living PA with different methods (indirect calorimetry, actimetry, recall questionnaire assessing PA context) in individuals with low PA levels (obese subjects, type 2 diabetic patients, inactive subjects). The results highlight the usefulness but also the limits of the methods of PA measurement in daily life conditions. The choice of an assessment method will influence the study results and must be adapted to the unique ways in which the least active individuals engage in PA. Selecting the appropriate method is a pre-requisite for improving our knowledge on the relations between PA and health in order to guide PA promotion in the least active segments of the population.

Key words: validation, physical activity, energy expenditure, questionnaire, pedometer, accelerometer, obesity, diabetes, family

Table des matières

Remerciements	3
Résumé	4
Abstract	5
Table des matières	6
Liste des tableaux	9
Liste des figures	10
Avant-propos	11
PREMIÈRE PARTIE : ACTIVITÉ PHYSIQUE ET SANTÉ	12
1. DÉFINITION DE L'ACTIVITÉ PHYSIQUE	13
2. EFFETS BÉNÉFIQUES DE L'ACTIVITÉ PHYSIQUE SUR LA SANTÉ	15
2.1. Courbe dose-réponse entre activité physique habituelle et bénéfice pour la santé ..	15
2.2. Effets sur la mortalité	17
2.3. Effets sur le risque cardio-vasculaire	18
2.4. Effets sur le risque métabolique	19
2.5. Effets sur la régulation pondérale et la composition corporelle	20
2.6. Effets sur le cancer	20
2.7. Effets sur la santé mentale	21
2.8. Effets sur la qualité de vie	22
3. RECOMMANDATIONS ACTUELLES D'ACTIVITÉ PHYSIQUE, ASPECT PRÉVENTION ET ASPECT TRAITEMENT	23
DEUXIÈME PARTIE : MESURE DE L'ACTIVITÉ PHYSIQUE	25
1. TECHNIQUES DE MESURE DE L'ACTIVITÉ PHYSIQUE ET DE LA DÉPENSE ÉNERGÉTIQUE LIÉE À L'ACTIVITÉ PHYSIQUE	26
1.1. Outils de mesure	26
1.1.1. Outils utilisant des données auto-déclarées	26
1.1.2. L'observation directe	29
1.1.3. Estimation par méthodes objectives	30

1.1.4.	Méthodes de mesure de la dépense énergétique : la calorimétrie indirecte	32
1.2.	Méthodes de transformation des données brutes en estimation de la dépense énergétique liée à l'activité physique	35
1.2.1.	Données déclaratives	35
1.2.2.	Données biomécaniques	36
1.2.3.	Données physiologiques : fréquence cardiaque	36
1.3.	Variables dérivées des mesures de l'activité physique	36
1.3.1.	Variables catégorielles	36
1.3.2.	Variables continues	37
2.	VALIDATION DES TECHNIQUES DE MESURE DE L'ACTIVITÉ PHYSIQUE	40
2.1.	Sources d'erreur dans la mesure de l'activité physique	40
2.1.1.	Erreurs liées au hasard.....	40
2.1.2.	Erreurs systématiques.....	41
2.2.	Vérification de la fiabilité des mesures	42
2.3.	Vérification de la validité des mesures	42
2.4.	Schéma général de la validation d'une méthode de mesure de l'activité physique .	43
2.5.	Exemples de validation des méthodes.....	45
2.5.1.	Validation des questionnaires d'activité physique	45
2.5.2.	Validation des podomètres	45
2.5.3.	Validation des accéléromètres.....	46
2.5.4.	Validation des moniteurs de fréquence cardiaque.....	46
3.	LIMITES ACTUELLES DES MÉTHODES DE MESURE DE L'ACTIVITÉ PHYSIQUE EN CONDITIONS DE VIE COURANTE.....	48
3.1.	Problématique générale	48
3.2.	Influence du choix des techniques sur la validité des mesures	48
3.3.	Limites des mesures par questionnaires	49
3.4.	Limites des mesures par podomètres	50
3.5.	Limites des mesures par accéléromètres	51
3.6.	Limites des mesures par moniteurs de fréquence cardiaque	52
4.	INTÉRÊT D'UNE MESURE PRÉCISE DE L'ACTIVITÉ PHYSIQUE HABITUELLE.....	53

4.1.	Exactitude, détail et représentativité des mesures de l'activité physique	53
4.2.	Intérêt de l'estimation de la dépense énergétique liée à l'activité physique	54
4.3.	Principales raisons justifiant une mesure plus précise de l'activité physique.....	55
4.3.1.	Améliorer la qualité des études étiologiques et des études de surveillance	55
4.3.2.	Déterminer les dimensions de l'activité physique importantes pour la santé ..	55
4.3.3.	Établir les relations dose d'activité physique-effet sur la santé	56
4.3.4.	Connaître l'effet des interventions	56
TROISIÈME PARTIE : TRAVAUX RÉALISÉS		58
1.	OBJECTIFS DE LA THÈSE : QUESTIONS POSÉES.....	59
2.	RÉSULTATS	61
2.1.	Présentation de l'article 1	61
2.2.	Présentation de l'article 2.....	77
2.3.	Présentation de l'article 3.....	95
2.4.	Présentation de l'article 4.....	113
QUATRIÈME PARTIE : DISCUSSION ET PERSPECTIVES.....		126
1.	VALIDITÉ DES OUTILS DE MESURE DE LA DEAP EN CONDITIONS DE VIE COURANTE	127
2.	COMPARAISON DES QUESTIONNAIRES ÉVALUANT LE CONTEXTE DE L'ACTIVITÉ PHYSIQUE HABITUELLE AUX MESURES OBJECTIVES DE L'ACTIVITÉ PHYSIQUE.....	132
3.	INTÉRÊT DES MÉTHODES OBJECTIVES POUR L'ÉTUDE DES DÉTERMINANTS DE L'ACTIVITÉ PHYSIQUE	135
CONCLUSION		139
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES		142
Annexe 1 : courrier d'acceptation pour publication (article 2)		163

Liste des tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques de quelques questionnaires d'activité physique estimant la dépense énergétique liée à l'activité physique	29
Tableau 2 : Les différentes possibilités d'expression de la dépense énergétique liée à l'activité physique.	39

Liste des figures

Figure 1 : Les diverses dimensions de l'activité physique.....	14
Figure 2 : Courbe dose-réponse entre le niveau habituel d'activité physique et le bénéfice pour la santé.....	16
Figure 3 : Processus cognitif de restitution par la personnes enquêtée de l'information concernant l'activité physique qu'elle a réalisé (d'après Willis <i>et al.</i> (63))	27
Figure 4 : Principe de la mesure de la dépense énergétique par la technique de l'eau doublement marquée.	34
Figure 5 : Calcul de la dépense énergétique liée à l'activité physique à partir des données déclaratives.....	35
Figure 6 : Processus de dichotomisation des mesures de l'activité physique	37
Figure 7 : Validation des méthodes de mesure de l'activité physique.	44
Figure 8 : Perte de poids et augmentation de l'activité physique entre les périodes pré et post chirurgie bariatrique (d'après Jacobi <i>et al.</i> (247))......	129
Figure 9 : La mesure de l'activité physique est une étape clé des interventions de promotion de l'activité physique	135

Avant-propos

La mécanisation et l'automatisation de la plupart des tâches de la vie courante et déplacements conduit à une diminution des activités physiques et prive une majorité d'individus d'une stimulation nécessaire au maintien d'une bonne santé. Il est admis que l'épidémie d'obésité et l'accroissement de maladies chroniques, telles que le diabète de type 2, sont en partie liés à ce phénomène. Pour établir des recommandations et mettre en place des actions de promotion de l'activité physique pertinentes, tant en population générale que pour les personnes atteintes de pathologie, il est nécessaire d'être en mesure de décrire et de quantifier l'activité physique habituelle dans toutes ses dimensions, de connaître la relation entre la dose d'activité physique et les effets sur la santé et d'évaluer les effets des interventions portant sur l'activité physique de la vie quotidienne. Ces exigences se heurtent aux difficultés pratiques de recueil de données concernant l'activité physique en conditions de vie habituelle, ainsi qu'aux difficultés techniques d'obtention de données exactes, représentatives et possédant un niveau de détail élevé.

Le premier objectif de cette thèse consiste à préciser la validité de différentes techniques de mesure de l'activité physique habituelle. Le second objectif vise à comparer les résultats des questionnaires évaluant le contexte de l'activité physique habituelle aux mesures objectives de l'activité physique. Le troisième objectif est d'évaluer l'intérêt des méthodes objectives pour l'étude de certains déterminants de l'activité physique habituelle. La finalité de ce travail est de mieux connaître la validité des méthodes de mesure de l'activité physique en conditions de vie courante et de mieux comprendre les applications potentielles de ces méthodes pour la description de sujets peu actifs.

Nous présenterons en première partie les techniques de mesure de l'activité physique dont sont issues l'essentiel des connaissances concernant les liens entre activité physique et santé. Nous discuterons ensuite les limites et les sources d'erreurs de ces techniques. Enfin, nous présenterons les travaux réalisés dans le cadre de la thèse et nous les mettrons en perspective par rapport aux projets de recherche en développement et par rapport aux besoins actuels concernant la mesure de l'activité physique habituelle.

PREMIÈRE PARTIE :
ACTIVITÉ PHYSIQUE ET SANTÉ

1. DÉFINITION DE L'ACTIVITÉ PHYSIQUE

L'activité physique est définie comme l'ensemble des mouvements et des postures corporels produits par la contraction des muscles squelettiques qui entraîne une augmentation de la dépense énergétique au-dessus de la dépense énergétique de repos (DER) (1). L'activité physique est un comportement complexe car multidimensionnel. Il existe ainsi plusieurs manières de décrire ou de catégoriser l'activité physique. A chaque activité physique correspondent un **contexte**, un **type** et une **quantité**.

- En tant que comportement, l'activité physique a la particularité de prendre place dans des lieux ou circonstances bien définies. L'activité physique est réalisée principalement dans quatre **contextes** que nous qualifierons par la suite de '**domaines**' : activité professionnelle, activité au cours des loisirs, activité domestique et activité liée aux transports/déplacements. **L'exercice**, en général réalisé dans le cadre du temps de loisir, est une sous-catégorie de l'activité physique définie comme une activité physique "planifiée, structurée, répétitive et dont le but est l'amélioration ou le maintien de la condition physique" (1).
- Concernant son **type**, l'activité physique tend à être classée en fonction de ses caractéristiques métaboliques ou biomécaniques prédominantes. L'activité physique habituelle d'un individu associe le plus souvent plusieurs des caractéristiques qui suivent. Les activités physiques en résistance (entraînement de force, activité de renforcement musculaire) sont des activités, en général de l'exercice, primitivement destinées à augmenter la force, la puissance et la masse musculaires. Les exercices en endurance sont répétitifs et produisent des contractions dynamiques de groupes musculaires de grande taille pendant une période prolongée (par exemple, pendant la marche, la course à pied, le cyclisme ou la nage). Les activités dites 'aérobies' utilisent les systèmes cellulaires aérobies de production de l'énergie, et améliorent la capacité et l'efficacité de ces systèmes, ainsi que la capacité cardio-respiratoire. Les exercices anaérobies utilisent les systèmes cellulaires anaérobies de production de l'énergie pendant les exercices à hautes intensités. Une autre manière de classer l'activité physique est d'utiliser ses caractéristiques biomécaniques selon que la contraction musculaire produit (activité dynamique) ou non (activité isométrique ou statique) un mouvement.

- La **quantité** d'activité physique est déterminée par sa durée, sa fréquence et son intensité selon la formule suivante : $quantité = durée \times fréquence \times intensité$. A cette quantité correspond une **dépense énergétique liée à l'activité physique (DEAP)** dépendante de facteurs tels que la masse corporelle (en l'absence de standardisation pour la masse corporelle), le rendement du mouvement et l'efficacité du mouvement.
- L'activité physique s'accumule au cours de la journée au cours de '**séances**' séparées par des périodes d'inactivité ou d'activité physique d'intensité faible. La durée de ces séances peut avoir un effet sur la santé.

Il est important de distinguer l'activité physique au sens large de la **condition physique**, le plus souvent évaluée par la puissance aérobie maximale (VO_2max), témoin des capacités cardiorespiratoires et qui décrit plutôt les limites d'intensité des activités physiques pouvant être réalisées. La condition physique est dépendante en partie du niveau d'activité physique récent.

Les différentes caractéristiques de l'activité physique que nous venons d'énumérer sont autant de données mesurables qu'il est ensuite possible d'étudier en tant que déterminants de l'état de santé (figure 1). Ainsi, la DEAP n'est pas synonyme de l'activité physique. Par exemple, il est possible de dépenser la même quantité d'énergie au cours d'un exercice bref et intense ou au cours d'un exercice plus prolongé de type endurance, mais les effets physiologiques et les conséquences sur la santé peuvent être différents.

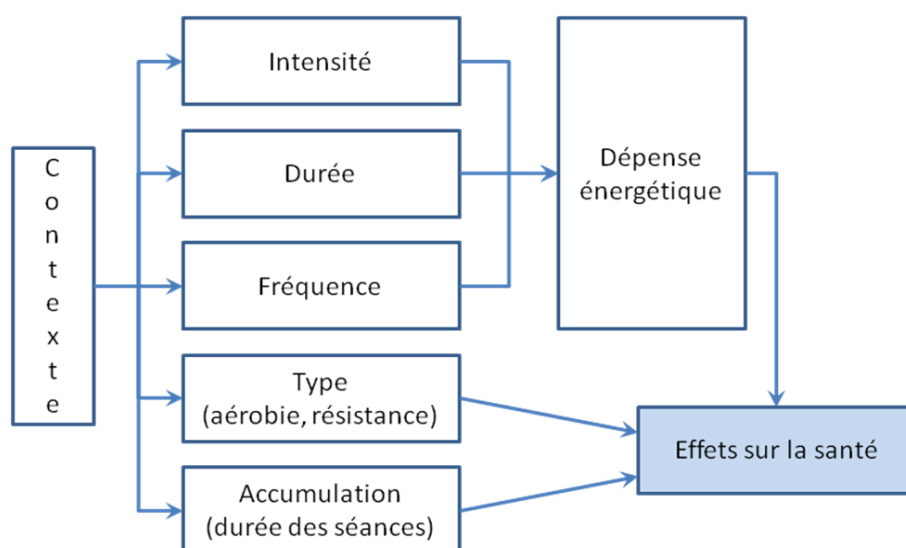


Figure 1 : Les diverses dimensions de l'activité physique

2. EFFETS BÉNÉFIQUES DE L'ACTIVITÉ PHYSIQUE SUR LA SANTÉ

Plusieurs expertises collectives récentes résument le niveau de preuve actuel concernant les liens entre l'activité physique habituelle et la santé. Aux États-Unis, le *Physical Activity Guidelines Advisory Committee Report 2008* (2) a fait le point sur les connaissances issues de la littérature scientifique pour appuyer les recommandations d'activité physique du *Physical Activity Guidelines for Americans 2008* (3). Un équivalent de ce travail en France est représenté par l'expertise collective Inserm de 2007 (4).

Les premières données scientifiques modernes concernant les liens entre l'activité physique et la santé ont été publiées en 1953 par J Morris et s'intéressaient à l'activité physique professionnelle (5). Cette dernière est progressivement devenue une source moins importante de dépense énergétique dans les pays développés, appelant à s'intéresser aux autres domaines de pratique de l'activité physique. Par la suite une majorité d'études s'est intéressé à l'activité physique de loisir et peu ont utilisé l'activité physique professionnelle, pendant les transports ou l'activité sportive (2). Aussi, en général, l'activité physique spécifiée est réalisée en plus de l'activité physique des activités de la vie quotidienne. Les données concernent donc en majorité l'exercice aérobie.

Après avoir présenté le cadre général de l'étude de la courbe dose-réponse entre activité physique habituelle et bénéfice pour la santé nous résumons ici les principales connaissances concernant les effets de l'activité physique sur des critères de morbi-mortalité dont l'impact socio-économique et sur la santé est majeur.

2.1. Courbe dose-réponse entre activité physique habituelle et bénéfice pour la santé

De nombreuses données montrent que des niveaux au moins modérés d'activité physique habituelle apportent un bénéfice significatif pour la santé. Le gain le plus important en termes de bénéfices pour la santé est obtenu chez les personnes inactives qui deviennent au moins modérément actives (environ 150 minutes par semaine d'activité physique d'intensité modérée en plus de la réalisation des activités quotidiennes) (2). Le bénéfice supplémentaire,

obtenu lorsque le niveau de pratique augmente chez les personnes modérément actives, est démontré, mais serait de moindre amplitude (2). Pour les niveaux élevés d'activité physique, le bénéfice potentiel doit aussi être pondéré par les risques d'une pratique très intensive.

Les connaissances sur la relation entre la quantité d'activité physique (la 'dose') et ses conséquences sur la santé (la 'réponse') sont à la base des recommandations d'activité physique pour la population générale (2, 6). Pour établir une courbe dose-réponse il faut disposer d'études qui ont séparé les individus au minimum en trois groupes de niveaux d'activité physique. Ces groupes peuvent correspondre à des catégories qui n'ont pas forcément une correspondance pour ce qui est de la DEAP. Une relation dose-réponse inverse est établie pour le risque de mortalité de toutes causes, pour le risque de maladies cardiovasculaires en général et plus spécifiquement d'événements coronariens (2). Une relation inverse est également envisagée pour le risque de diabète de type 2 (2). Cette relation dose-réponse activité physique-santé peut prendre différentes formes, la plus simple étant l'aspect linéaire, la plus habituelle étant l'aspect curvilinéaire (Figure 2) (7).

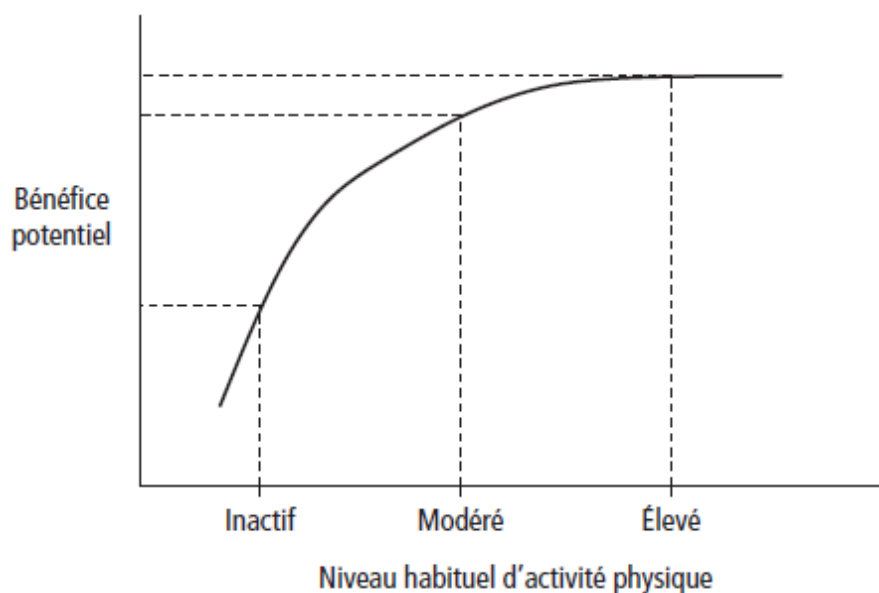


Figure 2 : Courbe dose-réponse entre le niveau habituel d'activité physique et le bénéfice pour la santé

2.2. Effets sur la mortalité

Une revue des études épidémiologiques publiées entre 1995 et 2007, toutes observationnelles, montre que les personnes les plus actives, comparées aux moins actives, ont une diminution d'environ 30% du risque de mortalité au cours du suivi (2). La plupart des études étaient des cohortes prospectives et ont permis d'observer un nombre cumulé de décès supérieur à 100000 sur une durée médiane de suivi de 11,7 ans (2). Ces études ne permettent pas d'établir formellement un lien de causalité entre activité physique et mortalité. Ce lien est néanmoins plausible si on considère la force de l'association, la cohérence externe (reproductibilité des résultats par différentes équipes et pour différentes populations), la cohérence interne (maintien de la relation après ajustement sur les principaux déterminants connus de la mortalité) et la démonstration d'une relation dose-effet, la cohérence biologique avec les effets physiologiques connus de l'activité physique.

Par ailleurs, un biais lié à une diminution de l'activité physique du fait d'une mauvaise santé est improbable car la majorité des individus inclus dans ces études étaient en bonne santé au moment de l'évaluation de leur niveau d'activité physique. La plupart des études utilisaient des données déclaratives des niveaux d'activité physique obtenues grâce à des outils de mesure adaptés à une utilisation sur un grand nombre d'individus. Une étude a confirmé ces résultats en utilisant des méthodes objectives de mesure de l'activité physique chez 302 personnes âgées. Pris en facteur de risque continu, une augmentation d'un écart-type de la DEAP ($287 \text{ kcal}\cdot\text{j}^{-1}$) était associée à une diminution de 32% de la mortalité après ajustement pour l'âge, le sexe, le poids, la taille, le pourcentage de masse grasse, et la durée de sommeil (intervalle de confiance à 95% (IC95%) : -4% à -52%) (8).

Ces études ont investigué essentiellement l'activité physique de loisir, incluant la marche. Il y a des arguments qui montrent que, plus que le type d'activité pratiquée, c'est la DEAP qui détermine pour l'essentiel la diminution du risque de mortalité (8-19). Néanmoins l'utilisation de mesures ou d'unités de mesure différentes ne permet pas de donner un seuil de DEAP correspondant à une moindre mortalité.

De 2 à 2,5 heures hebdomadaires d'activité physique d'intensité modérée seraient nécessaires pour obtenir ces effets (2). Cette durée n'est pas un seuil minimum pour la diminution du risque et des durées plus courtes peuvent avoir un intérêt pour les groupes d'individus inactifs. Les études qui ont séparé les individus en plusieurs groupes de niveaux

d'activité physique sont en faveur d'une courbe dose-réponse curvilinéaire (9-20). Il y a peu de données en faveur d'un effet de l'activité physique intense sur une baisse supplémentaire du risque en comparaison à l'activité physique d'intensité modérée. A durée totale équivalente, il n'y a pas de donnée en faveur d'un effet particulier de la durée des séances sur la mortalité (2). Enfin, cette relation inverse entre l'activité physique et la mortalité paraît s'appliquer quelque soit le statut pondéral (21).

2.3. Effets sur le risque cardio-vasculaire

Il existe une association positive entre activité physique aérobie et santé cardiovasculaire, incluant l'insuffisance coronaire, les accidents vasculaires cérébraux, le contrôle de la pression artérielle et les dyslipidémies athérogènes (2).

La diminution médiane du risque relatif dans les études de cohorte prospectives (comparaison d'une intensité (ou d'une quantité) élevée et d'une intensité (ou d'une quantité) légère d'activité physique habituelle) était de 28% pour la survenue de pathologies cardiovasculaires, 37% pour les maladies coronariennes et 25% pour les accidents vasculaires cérébraux (5 études, entre 1996 et 2007) (2). La diminution médiane du risque relatif dans les études cas témoins (intensité ou quantité élevée vs. intensité ou quantité légère) était de 52% pour les maladies coronariennes et 52% pour les accidents vasculaires cérébraux (4 études, entre 1996 et 2007) (2). Pour ces critères de jugement, il pourrait y avoir un effet favorable de l'intensité de l'activité physique, mais la quantité d'activité physique pourrait être un facteur de confusion. En effet, une étude dans laquelle la dépense énergétique était maintenue constante, a montré une relation entre l'intensité de l'exercice et les critères de jugement moins forte en comparaison aux résultats des études qui n'ont effectué aucun contrôle de la quantité d'activité physique (22).

Pour la plupart des événements cardiovasculaires, les effets favorables de l'activité physique sont notés pour des DEAP dépassants 800 MET-minutes par semaine (cf. section 1.3.2. pages 37-38 pour la définition du MET). Une combinaison de séances d'activités physiques aérobies avec différentes intensités, fréquences et durées quotidiennes ou hebdomadaires permet d'atteindre cette DEAP. La pratique hebdomadaire d'environ 19 km de marche ou de course à pied, quelque soit la vitesse, est un exemple pratique permettant d'atteindre ce niveau (2).

2.4. Effets sur le risque métabolique

L'activité physique permet de prévenir le syndrome métabolique et le diabète de type 2 (2). Des essais cliniques randomisés ont corroboré les résultats des études observationnelles (23-25). Il faut néanmoins noter que certains de ces essais aient utilisé des interventions globales sur le mode de vie incluant activité physique et alimentation (23, 25).

Les études, toutes observationnelles, sont en faveur d'un rôle préventif de l'activité physique sur le risque de survenue du diabète gestationnel (26-31). La quantité d'activité physique qui apparaît la mieux documentée est de 30 minutes d'activité physique d'intensité modérée, 5 jours par semaine (2). Cependant, des niveaux plus faibles d'activité physique peuvent aussi apporter un bénéfice.

L'activité physique régulière est par ailleurs considérée comme une des pierres angulaires du traitement du diabète de type 2 (32). L'*American Diabetes Association* (ADA) recommande chez les personnes diabétiques de type 2, la pratique d'au moins 150 minutes hebdomadaires d'activité physique aérobie d'intensité modérée à intense, répartie sur au moins 3 jours espacés d'au maximum 2 jours consécutifs du fait de l'effet transitoire de l'activité physique sur l'insulino-sensibilité. En association avec cette activité physique, il est recommandé la pratique d'exercices de résistance modérés à intenses au moins 2 à 3 fois par semaine (33).

Pour le diabète de type 1, les données sont en faveur d'une réduction de la mortalité (34), des facteurs de risque cardio-vasculaires (35-37) et des complications microvasculaires, neuropathiques (38-40) et néphropathiques (36, 39-42). Il n'y a pas de donnée concernant l'effet de l'activité physique sur les complications macro-vasculaires dans le diabète de type 1. Pour le diabète de type 2, les études observationnelles montrent que l'activité physique diminue la mortalité et les événements cardio-vasculaires (11, 43-46).

2.5. Effets sur la régulation pondérale et la composition corporelle

L'activité physique régulière a un effet bénéfique sur la stabilité du poids mais il y a peu de donnée à long terme et la quantité optimale pour atteindre cet objectif est encore mal définie. Les données disponibles sont issues d'essais à court terme et indiquent qu'une dose d'activité physique de 13 à 26 MET-heures par semaine entraîne une perte de poids de 1 à 3% compatible avec la stabilité du poids au cours du temps (47-49). Treize MET-heures par semaine correspondent à environ 150 minutes hebdomadaires de marche rapide (à 6 km par heure) ou à 75 minutes hebdomadaires de course à pied (à 9 km par heure).

Bien qu'une perte $\geq 5\%$ du poids corporel puisse être obtenue avec des niveaux supérieurs d'activité physique, une intervention diététique (limitation des apports énergétiques) est en général requise pour atteindre cet objectif (2).

La littérature indique que des niveaux élevés d'activité physique sont nécessaires pour prévenir la reprise de poids après réduction pondérale. Les études d'Ewbank *et al.* (50), Jakicic *et al.* (51) et Schoeller *et al.* (52) indiquent que la quantité d'activité physique nécessaire pour prévenir la reprise de poids est d'environ 31 MET-heures par semaine. Cette DEAP peut être obtenue avec environ 1 heure quotidienne de marche (à 6 km par heure) ou 26 minutes quotidiennes de course à pied (à 9 km par heure).

2.6. Effets sur le cancer

Le *Physical Activity Guidelines Advisory Committee Report 2008* (2) et le rapport commun de 2007 du *World Cancer Research Fund* et du *American Institute for Cancer Research* (53) présentent un résumé du niveau de preuve actuel sur les effets de l'activité physique sur la prévention des cancers ainsi que sur les effets chez les survivants des cancers.

Les données actuelles, toutes issues d'études observationnelles, montrent que l'activité physique est associée à une diminution du risque de plusieurs types de cancers. Les cancers pour lesquels le niveau de preuve est considéré comme convainquant sont le cancer du sein (réduction médiane du risque de 20%) et le cancer du colon (réduction médiane du risque de 30%) (2). Pour le cancer du sein le niveau de preuve est plus convainquant en post-ménopause qu'en pré ménopause. D'autres données suggèrent également une diminution du risque de cancer endométrial, de cancer du poumon et de cancer du pancréas (2, 53). Les

données suggèrent que 30 à 60 minutes quotidiennes d'activité physique modérée à intense seraient nécessaires pour diminuer le risque de cancer du sein et de cancer du colon. Les essais cliniques randomisés ont montré des effets de l'activité physique sur les facteurs de risque de cancer qui sont en faveur du rôle de l'activité physique sur la diminution du risque de cancer (54).

Les résultats de 23 essais cliniques randomisés contrôlés sur les effets de l'activité physique chez les survivants de cancer ont été résumés dans le rapport commun du *World Cancer Research Fund* et du *American Institute for Cancer Research* (53). Les interventions allaient du simple conseil aux programmes structurés d'exercice. Les 3 seuls essais qui avaient pour critères de jugement la mortalité ou les récurrences de cancer ne montraient pas d'effet significatif (55-57). Vingt essais étudiaient la qualité de vie dont 11 chez les survivants de cancer du sein (53). Malgré des durées d'interventions courtes sur des effectifs faibles de patients, le niveau de preuve est en faveur d'un effet bénéfique de l'activité physique sur la qualité de vie chez les survivants de cancer, en particulier chez les survivants de cancer du sein (2, 53).

2.7. Effets sur la santé mentale

L'activité physique a des effets bénéfiques sur plusieurs aspects de la santé mentale. Les preuves les plus fortes concernent la protection contre les symptômes dépressifs et le déclin cognitif associé à l'âge, incluant l'entrée dans la démence (2). Il y a aussi un bon niveau de preuve en faveur d'une amélioration de l'anxiété et du sommeil (2).

Une méta analyse des essais cliniques randomisés sur les effets de l'activité physique chez des patients dépressifs a montré que le niveau de preuve actuel est insuffisant pour démontrer l'efficacité de l'activité physique pour l'amélioration des symptômes dépressifs (58).

Il n'y a actuellement pas assez de preuve pour tirer des conclusions sur une quantité minimum ou des types optimaux d'activité physique qui ont un bénéfice pour la santé mentale. Néanmoins, le bénéfice ne semble dépendre ni de la capacité cardio-respiratoire ni de l'amélioration de la capacité cardio-respiratoire (2).

2.8. Effets sur la qualité de vie

Les données des études transversales montrent une association positive entre l'activité physique et la qualité de vie liée à la santé (59, 60). Le niveau de preuve apporté par des études de cohorte ou des essais contrôlés est insuffisant pour préciser la nature de cette association.

Par ailleurs, des effets spécifiques de l'activité physique sur la qualité de vie liée à la santé sont démontrés chez des groupes de malades, par exemple atteints de cancer (2, 53) ou de pathologies ostéo-articulaires (2).

3. RECOMMANDATIONS ACTUELLES D'ACTIVITÉ PHYSIQUE, ASPECT PRÉVENTION ET ASPECT TRAITEMENT

La conception et la mise en œuvre des interventions qui permettront aux segments les moins actifs de la population de devenir plus actifs sont des priorités de santé publique (2, 4, 61). Cependant, il n'y a pas de réponse unique pour inverser la tendance à la baisse de l'activité physique chez la plupart de nos contemporains.

On peut séparer deux types d'approches. Une approche consiste à augmenter l'activité physique grâce à la participation volontaire à des activités d'exercices structurés ou à des activités sportives. Une autre approche consiste à augmenter l'activité physique grâce à un mode de vie plus actif au quotidien (prendre les escaliers, garer la voiture plus loin, etc.)

La quantité d'activité physique est un point central des recommandations récentes, autorisant la combinaison d'activités d'intensités, de fréquences et de durées variées. Les recommandations d'activité physique les plus récentes pour les adultes, diffusées en 2008 aux États-Unis (3), sont de pratiquer au moins 150 minutes hebdomadaires d'activité de type endurance d'intensité modérée, ou au moins 75 minutes hebdomadaires d'activité d'endurance d'intensité élevée, ou toute combinaison d'activités d'intensité modérée ou élevée permettant d'atteindre une DEAP équivalente.

Il est de plus recommandé de pratiquer également des activités de renforcement musculaire au moins deux fois par semaine. En France, la recommandation d'activité physique diffusée dans le cadre du programme national nutrition-santé (PNNS) depuis 2002 est de pratiquer l'équivalent d'au moins 30 minutes quotidiennes de marche rapide (62). Elle correspond aux recommandations de santé publique publiées par les autorités de santé américaines au milieu des années 1990 (6). Ces dernières traduisaient pour la première fois en santé publique le niveau de preuve grandissant dans la littérature concernant l'importance pour la santé de la pratique d'une activité physique d'intensité au moins modérée.

Le conseil général des 150 minutes hebdomadaires d'activité physique d'intensité au moins modérée (3) est dirigé vers la personne inactive ou peu active d'âge moyen et ne répond donc pas à nombre de questions qui sont liées au maintien d'un mode de vie actif. La

plupart des personnes inactives bénéficieraient d'un plan plus personnalisé et détaillé qui tient compte des objectifs, de l'activité habituelle, de l'état de santé et des obligations sociales, de travail ou encore des contraintes familiales. Il faut ici séparer la prévention primaire de la prévention secondaire. Pour les patients atteints de maladies chroniques pouvant bénéficier d'une augmentation du niveau d'activité physique habituel, un programme personnalisé d'activité physique peut être proposé, idéalement dans le cadre d'une éducation thérapeutique du patient intégrée au parcours de soins.

DEUXIÈME PARTIE : MESURE DE L'ACTIVITÉ PHYSIQUE

1. TECHNIQUES DE MESURE DE L'ACTIVITÉ PHYSIQUE ET DE LA DÉPENSE ÉNERGÉTIQUE LIÉE À L'ACTIVITÉ PHYSIQUE

1.1. Outils de mesure

1.1.1. Outils utilisant des données auto-déclarées

Les outils utilisant des mesures auto-déclarées de l'activité physique ont une grande flexibilité en produisant soit une description comportementale, soit une description plus quantitative de l'activité physique, soit les deux. Si l'on revient à la définition assez large de l'activité physique (ensemble des mouvements et des postures corporels produits par la contraction des muscles squelettiques qui entraîne une augmentation de la dépense énergétique au-dessus de la DER), il est plus difficile de comprendre ce que les mesures auto-déclarées évaluent. En effet, au contraire des autres méthodes de mesure de l'activité physique, les mesures auto-déclarées de l'activité physique s'appuient totalement sur la capacité de la personne enquêtée à restituer des informations exactes correspondant à la réalité de ses propres comportements. Cela suppose d'une part une mémorisation de l'activité physique qui a été pratiquée et, d'autre part, une capacité à restituer cette information de manière adaptée en réponse à une question. Plusieurs étapes cognitives sont nécessaires à la personne interrogée pour qu'elle produise une telle réponse. La figure 3 présente un modèle qui résume les principaux processus cognitifs mis en jeu dans la production d'une réponse à une question posée lors d'une enquête (63). Chaque étape peut-être source d'erreurs. Que l'on considère l'étape de mémorisation ou l'étape de restitution de l'information mémorisée, les erreurs peuvent être plus ou moins importantes selon les domaines ou les dimensions de l'activité physique qui sont explorés (64).

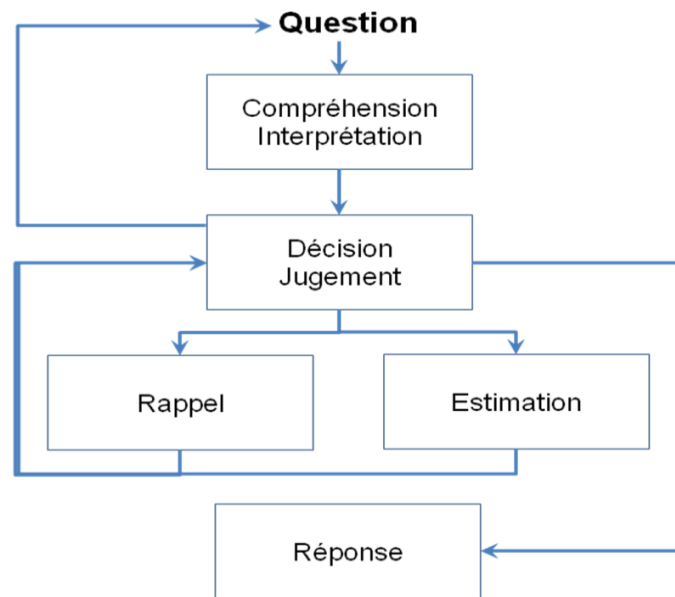


Figure 3 : Processus cognitif de restitution par la personnes enquêtée de l'information concernant l'activité physique qu'elle a réalisé (d'après Willis *et al.* (63))

L'administration peu coûteuse et rapide des outils de mesure utilisant des données auto-déclarées permet des études à grande échelle. L'entretien avec un professionnel (en face à face ou par téléphone) augmente la qualité des données collectées et le taux de réponse par rapport aux questionnaires auto-administrés (64). L'interviewer a la fonction importante de faciliter la compréhension de la question et de s'assurer que la réponse est cohérente avec ce qui est attendu. Plusieurs outils existent tels que les journaux et les questionnaires.

Le journal d'activité physique

Le journal d'activité physique est une méthode déclarative qui consiste en un relevé régulier chronologique et exhaustif de l'activité physique par les personnes étudiées. Les journaux concernent en général une période de 1 à 7 jours. Le journal donne accès à un niveau de détail important concernant les diverses dimensions de l'activité physique. Par rapport aux questionnaires d'activité physique administrés *a posteriori*, le journal réduit les difficultés et les erreurs en rapport avec le processus cognitif de rappel des activités. Il faut néanmoins reconnaître plusieurs limites à cet outil. D'une part, la personne étudiée peut modifier son comportement lorsqu'elle enregistre ses activités. D'autre part, le journal nécessite une coopération importante des personnes étudiées.

Les questionnaires d'activité physique

Les questionnaires d'activité physique permettent d'obtenir des informations, non seulement sur le type, la durée et la fréquence de l'activité physique pratiquée, mais aussi sur le contexte dans lequel elle s'inscrit (activité professionnelle, activité au cours des loisirs, activité domestique et activité physique liée aux transports/déplacements). Les parts relatives de l'activité physique aérobie et en résistance sont moins fréquemment explorées par les questionnaires (65). Des questionnaires courts (1 à 4 items) et s'intéressant en général à un domaine spécifique (activité physique au travail ou pendant les loisirs par exemple) sont utilisés en épidémiologie pour stratifier une population en fonction de l'exposition haute ou faible à l'activité physique. L'association de cette exposition avec les événements de santé peut ensuite être étudiée. Le niveau le plus élevé d'exactitude est apporté par les questionnaires de type rappel qui apportent des renseignements sur le contexte de l'activité physique. Des rappels allant de quelques jours à un an sont utilisés afin d'améliorer la représentativité des informations recueillies. Avec un niveau de détail peu élevé, ces questionnaires permettent de classer les individus dans des catégories larges d'activité physique (inactifs, actifs mais moins que les recommandations, atteignant les niveaux recommandés). Les questionnaires plus détaillés évaluent l'intensité, la fréquence, la durée de l'activité physique ainsi que son contexte. Il y a essentiellement deux manières d'étudier l'activité physique avec ces outils, les deux permettant d'obtenir des informations sur la durée, l'intensité et la fréquence de l'activité physique. La première manière est de présenter des activités à partir d'une liste de catégories et de demander à la personne enquêtée si elle a participé à cette activité au cours d'une certaine période de temps écoulée. Dans ce cas, l'intensité est contrôlée par la nature de la question. Si la personne a participé à cette activité, il lui est alors demandé de fournir plus de détails sur la fréquence et sur la durée. Le *Modifiable Activity Questionnaire* (utilisé dans le travail présenté par l'article 3 de cette thèse) est un exemple de ce type de questionnaire (66, 67). La seconde manière est de présenter des catégories d'intensité d'activité physique et de demander à la personne enquêtée si elle a réalisé des activités de cette intensité au cours d'une certaine période de temps écoulée. Si la personne a participé à des activités de cette intensité, il lui est alors demandé de fournir plus de détails sur la fréquence et sur la durée. Le *International Physical Activity Questionnaire* (utilisé dans le travail présenté par l'article 2 de cette thèse) est un exemple de ce type de questionnaire (68). En prenant l'activité physique estimée en variable indépendante et les événements de santé en variable dépendante, ces questionnaires sont adaptés à la mesure d'un

effet dose-réponse. Le tableau 1 présente les caractéristiques de quelques questionnaires d'activité physique permettant de calculer une estimation de la DEAP.

	Mode d'administration	Durée d'administration	Période évaluée	Activités étudiées	Expression des résultats	Références
IPAQ long	Téléphone ou auto-administré	27 questions (15 min)	Semaine précédente	• Loisir • Professionnelle • Domestique • Temps assis	MET-min.sem ⁻¹	Craig 2003 (72)
IPAQ court	Téléphone ou auto-administré	7 questions (5 min)	Semaine précédente	• Intensité modérée • Intensité vigoureuse • Marche • Temps assis	MET-min.sem ⁻¹	Craig 2003 (72)
MAQ	Face à face ou auto-administré	5-10 min (inactifs) 1 h (très actifs)	Année précédente	• Loisir • Professionnelle • Domestique • Temps d'écran	MET-h.sem ⁻¹	Kriska 1990 (70) Vuillemin 2000 (71)
EPIC Physical Activity Questionnaire (EPAQ2)	Auto-administré	80 items environ	Année précédente	• Loisirs • Travail (y compris déplacements) • Dans et autour de la maison	MET-h.sem ⁻¹	Wareham 2002 (73)
CHAMPS	Auto-administré	41 items (5 à 20 min)	1 mois	• Activités typiques des sujets âgés	kcal.sem ⁻¹	Stewart 2001 (74)

Tableau 1 : Caractéristiques de quelques questionnaires d'activité physique estimant la dépense énergétique liée à l'activité physique

1.1.2. L'observation directe

L'observation directe caractérise la pratique et quantifie les modalités de l'activité physique à partir de grilles d'observation remplies par des enquêteurs entraînés. Cette méthode peut fournir des données riches sur le contexte de l'activité physique. Elle est particulièrement utile pour les recherches chez l'enfant (du fait notamment de l'incapacité de ce dernier à fournir un rappel des activités) et pour les approches écologiques et cognitivo-comportementales étudiant les influences des environnements physiques et sociaux sur l'activité physique (71). Les caractéristiques d'intérêt sont organisées en catégories (par exemple : lieu, posture, interaction sociale, activité physique). A l'intérieur de chaque catégorie, un seul état peut être enregistré à la fois (par exemple pour l'activité physique : allongé, assis, debout, marche ou très actif). Quelle que soit la manière dont l'activité physique est classifiée, les données sont résumées dans la plupart des cas sous la forme de

minutes d'activités ainsi que de pourcentage de temps passé à différents niveaux d'activité physique. Certains outils peuvent fournir une estimation de la DEAP.

1.1.3. Estimation par méthodes objectives

Les capteurs de mouvement

Le terme d'actimétrie désigne l'ensemble des techniques utilisées pour évaluer le mouvement de manière objective par l'intermédiaire de paramètres biomécaniques. Les compteurs de pas (podomètres) et les accéléromètres sont les outils les plus répandus.

- Podomètres

Le podomètre perçoit chaque mouvement vertical associé à un pas, en général grâce à un levier suspendu par un ressort associé à un composant électronique. Les podomètres standards donnent des données uniquement cumulatives (nombre de pas accumulés sur la période d'enregistrement). Certains accéléromètres sont parfois aussi dotés d'une fonction compte-pas, permettant une mesure intégrée en fonction du temps (nombre de pas par minutes par exemple). L'appareil se présente le plus souvent sous la forme d'un petit boîtier qui se porte à la ceinture (parfois à la cheville) et qui affiche le nombre cumulé de pas sur un écran *LCD*. Ce résultat peut être noté sur un carnet à la fin de chaque journée par le sujet à l'étude. Les podomètres sont des appareils simples, peu encombrants et peu coûteux. Le podomètre est également un outil efficace pour guider la prescription individuelle de l'activité physique (72).

- Accéléromètres

Les accéléromètres mesurent le mouvement du corps en terme d'accélération, qui peut ensuite être utilisée pour estimer l'intensité de l'activité physique en fonction du temps (73). L'accélération est le changement de vitesse en fonction du temps. Quand l'accélération est égale à zéro, le corps ne change pas de vitesse, même s'il peut se déplacer à une vitesse constante. Lors du mouvement, le tronc et les membres sont soumis à des accélérations et décélérations théoriquement proportionnelles à l'énergie dépensée. La plupart des accéléromètres utilisent des capteurs piézoélectriques dans

un à trois plans de l'espace. Le capteur piézo-électrique d'accélération comprend un élément piézo-électrique et une masse sismique. Lors de l'accélération, la masse sismique déforme l'élément piézoélectrique. Ceci génère des différences de potentiel de part et d'autre de l'élément piézo-électrique. Cette variation de potentiel est proportionnelle à l'accélération. Le signal enregistré est filtré dans une gamme de fréquence permettant d'exclure les signaux en dehors des fréquences générées par le mouvement humain (par exemple : vibrations d'un véhicule motorisé, artéfacts électriques). Ces données brutes sont exprimées en 'coups par minute' (une unité arbitraire et, en général, non comparable d'un modèle d'accéléromètre à un autre). Les coups par minute correspondent à une accélération (ou quantité de mouvements) qui dépend peu des caractéristiques anthropométriques de la personne. Un avantage des accéléromètres est la possibilité de segmenter l'activité mesurée en fonction d'une durée, habituellement fixée par l'investigateur (durée appelée « Epoch »). Les accéléromètres sont conçus comme de petits appareils portables et peu encombrants. La plupart des appareils commercialisés permettent l'enregistrement de l'activité physique et nécessitent une étape de téléchargement des données avant traitement et interprétation. Les appareils sont souvent fixés à la ceinture (position classique car proche du centre de gravité) ou au poignet ou à la cheville. Les appareils sont suffisamment petits, légers et discrets pour ne pas interférer avec la vie habituelle. Les batteries et mémoires associées permettent des enregistrements d'au moins une semaine en continu avec un niveau de détail élevé. Même si différents positionnements de l'accéléromètre sur le corps sont utilisables, il faut noter que le signal recueilli varie en fonction de cette position (74). Le prix des accéléromètres n'est pas négligeable à l'achat (plusieurs centaines d'euros, soit environ 10 fois cher qu'un podomètre), mais les coûts d'exploitations sont quasiment nuls, ce qui peut permettre d'étendre l'utilisation des accéléromètres à des études épidémiologiques incluant un grand nombre de personnes (exemple des études NHANES aux Etats-Unis (75)). Les accéléromètres sont soit uniaxiaux soit triaxiaux. Les accéléromètres uniaxiaux sont conçus pour détecter le mouvement dans l'axe vertical (ou selon un axe antéropostérieur pour certains modèles (76)), les accéléromètres triaxiaux dans les 3 plans de l'espace. Les accéléromètres triaxiaux pourraient être moins sensibles aux variations de position du moniteur dans l'espace (77).

Les moniteurs de fréquence cardiaque

L'augmentation de la consommation d'oxygène par les muscles striés squelettiques pendant l'activité physique est associée à une augmentation du débit cardiaque. Ceci est en partie assuré par l'augmentation de la fréquence cardiaque sous le contrôle du nœud sinusal soumis aux influences nerveuses parasympathiques et sympathiques (respectivement diminuées et stimulées lors de l'activité physique) ainsi qu'aux influences catécholaminergiques (augmentées lors de l'activité physique). Une relation linéaire existe entre la fréquence cardiaque et la DEAP pour des activités d'intensité croissante. Cette relation linéaire n'apparaît qu'au-dessus d'une certaine intensité d'activité physique. La fréquence cardiaque à partir de laquelle cette linéarité apparaît est nommée 'point d'inflexion de la fréquence cardiaque'. Les moniteurs de fréquence cardiaque utilisent cette linéarité de la relation entre la fréquence cardiaque et la DEAP à partir d'une certaine intensité pour mesurer en temps réel l'intensité d'une activité physique.

Pour certains appareils, la fréquence cardiaque apparaît sur l'écran d'une montre-bracelet qui capte le signal émis par des électrodes précordiales qui détectent chaque onde R électrocardiographique en étant maintenues par une sangle thoracique. Ce type d'appareil permet l'enregistrement, puis l'analyse de la fréquence cardiaque. D'autres appareils se connectent directement à une électrode précordiale et permettent l'amplification et l'enregistrement de l'activité cardiaque. Les données sont ensuite téléchargeables sur un ordinateur. Tout comme dans le cas des accéléromètres, les batteries et mémoires associées permettent à ces moniteurs portables d'enregistrer la fréquence cardiaque avec un niveau de détail élevé et sur des durées prolongées.

1.1.4. Méthodes de mesure de la dépense énergétique : la calorimétrie indirecte

Il est possible de connaître la DEAP soit en recourant ponctuellement à des systèmes de calorimétrie indirecte portables soit par calcul de la différence entre la dépense énergétique totale (DET) et la dépense énergétique de repos ($\pm$ thermogenèse postprandiale). Les mesures effectuées sur de longues durées font appel à la technique de l'eau doublement marquée ou à la calorimétrie en chambre respiratoire.

La technique de l'eau doublement marquée

La technique de l'eau doublement marquée relève des principes de la calorimétrie indirecte et repose sur la mesure, par dilution isotopique, de la quantité de CO₂ produit pendant 4 à 14 jours consécutifs. Schématiquement, après absorption d'une dose unique d'eau marquée (²H₂¹⁸O), l'hydrogène sera éliminé uniquement sous la forme d'eau tandis que l'oxygène quittera l'organisme à la fois sous la forme d'eau et de gaz carbonique (rôle de l'anhydrase carbonique). Des lors, la pente d'élimination urinaire de l'¹⁸O sera plus forte que celle de l'²H. La différence représente la quantité d'oxygène qui a quitté l'organisme sous la forme de CO₂. Le principe général de la méthode est résumé dans la figure 4 (78). Plusieurs postulats sont attachés à cette technique de mesure : 1) l'eau marquée se distribue seulement dans le compartiment hydrique corporel ; 2) les isotopes quittent le compartiment hydrique seulement sous la forme d'eau et de gaz carbonique ; 3) l'enrichissement isotopique de l'eau et du gaz carbonique éliminés est exactement identique aux enrichissements isotopiques de ces composants dans le corps ; 4) l'enrichissement naturel basal (avant ingestion de l'eau doublement marquée) reste constant tout au long de la période de mesure ; 5) de l'eau marquée ou non marquée ainsi que du gaz carbonique ne rentrent pas dans le compartiment corporel via des échanges respiratoires ou la peau. L'exactitude de la méthode est de 1% à 2% avec une déviation standard relative de 3% à 9% selon la dose d'eau ingérée et la durée de l'étude isotopique (de 4 à 21 jours) (79). Elle nécessite le recueil quotidien d'un échantillon d'urines et la saisie de l'heure exacte du recueil. La technique de l'eau doublement marquée a l'énorme avantage de permettre la mesure des dépenses énergétiques totales chez les personnes en conditions de vie courante. Par contre, elle ne donne aucun détail sur la dépense énergétique en fonction du temps à l'intérieur de la période d'étude.

La chambre respiratoire

La chambre respiratoire est un outil permettant la mesure des composantes de la DET. Une limite de cette méthode tient au caractère confiné de l'environnement ne permettant pas de reproduire les conditions de vie courante. Ainsi la DET peut être sous-estimée de 15 à 20% dans la chambre respiratoire en rapport avec une baisse de l'activité physique spontanée (80).

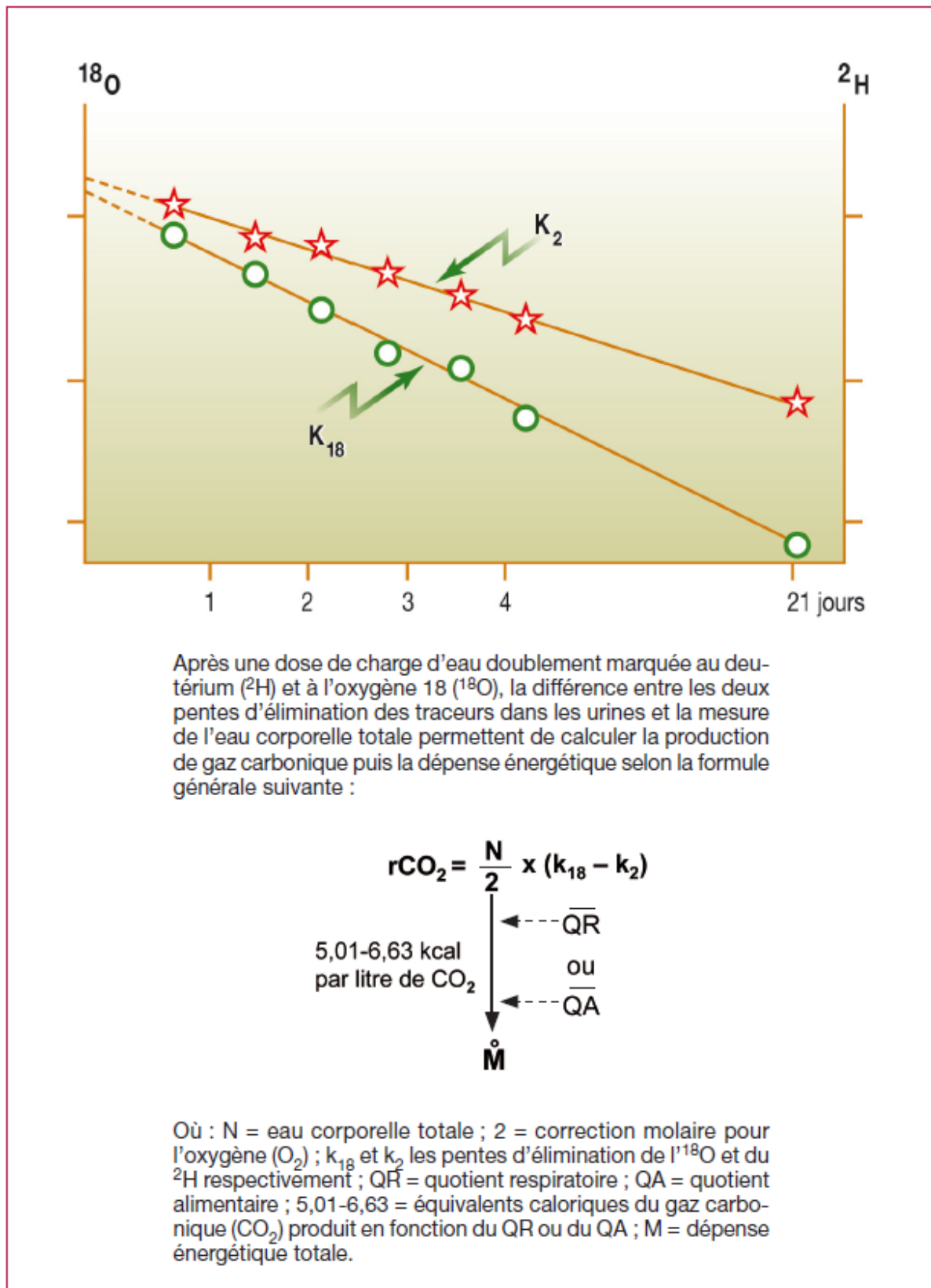


Figure 4 : Principe de la mesure de la dépense énergétique par la technique de l'eau doublement marquée.

1.2. Méthodes de transformation des données brutes en estimation de la dépense énergétique liée à l'activité physique

Une réduction et une transformation des données recueillies par les divers outils de mesure de l'activité physique sont nécessaires pour obtenir une estimation de la DEAP. Nous résumons ici les méthodes qui permettent de passer de la mesure brute (variables déclaratives, biomécaniques ou physiologiques) à une estimation de la DEAP.

1.2.1. Données déclaratives

Pour certains questionnaires, les données déclaratives peuvent être utilisées pour estimer la DEAP (figure 5). Quelle que soit la méthode de recueil utilisée, un score correspondant à un équivalent énergétique est attribué à chaque activité et le résultat final est obtenu en additionnant les scores de chaque activité. L'attribution d'une valeur de MET (cf. section 1.3.2., pages 37-38 pour la définition du MET) à une activité permet, sous réserve de connaître sa durée, de déterminer la DEAP relative.

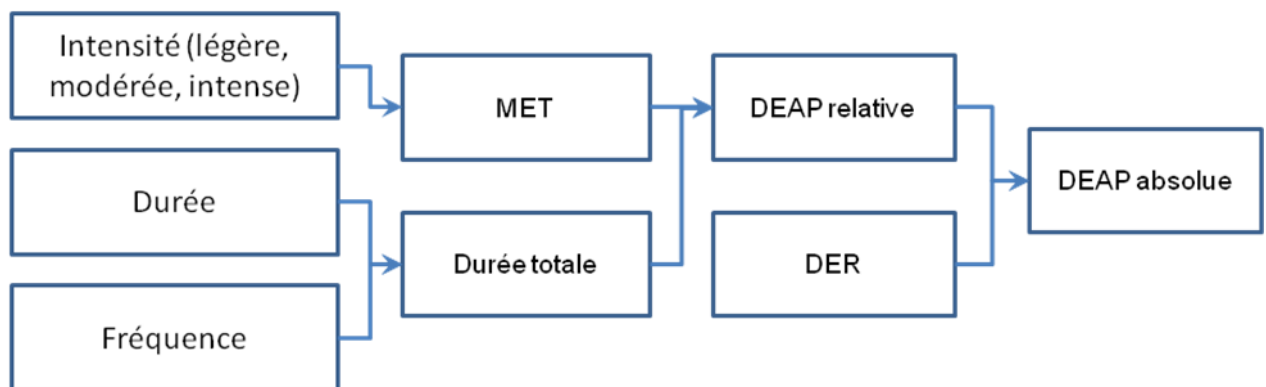


Figure 5 : Calcul de la dépense énergétique liée à l'activité physique à partir des données déclaratives

DEAP : dépense énergétique liée à l'activité physique

1.2.2. Données biomécaniques

L'utilisation des données brutes du mouvement enregistré (en coups par minute) est la manière la plus directe d'utiliser les résultats des enregistrements des accéléromètres. Cela a pour avantage d'éviter les erreurs liées à l'estimation de la DEAP (que la variable d'intérêt soit la DEAP ou une durée au dessus d'un certain niveau seuil de DEAP). Le désavantage est que ces unités (non comparables d'une marque à l'autre d'accéléromètre) sont difficilement interprétables, par exemple au regard des recommandations d'activité physique. Des analyses de régression peuvent être réalisées entre les résultats du mouvement mesuré par l'accéléromètre et les mesures de DEAP des techniques de référence pour la mesure de la dépense énergétique. Ainsi des équations de régression tenant compte de diverses caractéristiques des sujets (en général âge, poids, taille et sexe) permettent la conversion de la variable biomécanique mesurée par l'accéléromètre en une prédiction de la DEAP.

1.2.3. Données physiologiques : fréquence cardiaque

La conversion des données de fréquence cardiaque en dépense énergétique peut être réalisée si la relation individuelle entre la fréquence cardiaque et la dépense énergétique est connue. Cette relation peut être étudiée par exemple grâce à l'enregistrement de la fréquence cardiaque au cours d'un test d'effort, avec mesure simultanée de la dépense énergétique par calorimétrie indirecte. Ainsi, durant les mesures en conditions de vie courante, la DEAP peut être prédite par une équation de régression lorsque la fréquence cardiaque est au dessus du point d'inflexion. En dessous du point d'inflexion de la fréquence cardiaque, il faut avoir recours à une autre méthode pour estimer la DEAP.

1.3. Variables dérivées des mesures de l'activité physique

1.3.1. Variables catégorielles

Toute mesure d'activité physique se présente initialement sous la forme d'une donnée brute. Les données brutes mesurées sont de quatre types : déclaratives (journaux ou questionnaires), biomécaniques (mesures du mouvement par la mesure de l'accélération ou du nombre de pas), physiologiques (fréquence cardiaque) ou biochimiques (consommation d'O₂

et production de CO₂). Cette donnée peut être présentée telle quelle ou bien transformée et réduite de manière à produire un résultat plus facile à appréhender. Un des enjeux de la mesure de l'activité physique, notamment si on considère l'objectif de produire des recommandations d'activité physique pour la population générale ou pour des populations spécifiques, a été de séparer une catégorie d'individus 'actifs' versus une catégorie d'individus 'inactifs'. Les données continues peuvent ainsi être utilisées pour décrire l'activité physique en fonction de seuils préfinis. Ces seuils peuvent être une durée minimale d'activité physique, une DEAP minimale ou bien un nombre seuil de pas quotidien (figure 6). Par exemple, en utilisant les résultats du mouvement enregistré par les accéléromètres, il est possible grâce aux équations de régression prédisant la DEAP d'estimer la durée hebdomadaire de l'activité physique d'intensité au moins modérée (≥ 3 MET). Le résultat peut ensuite être comparé aux recommandations des 150 minutes hebdomadaires de pratique d'une activité physique d'intensité au moins modérée.

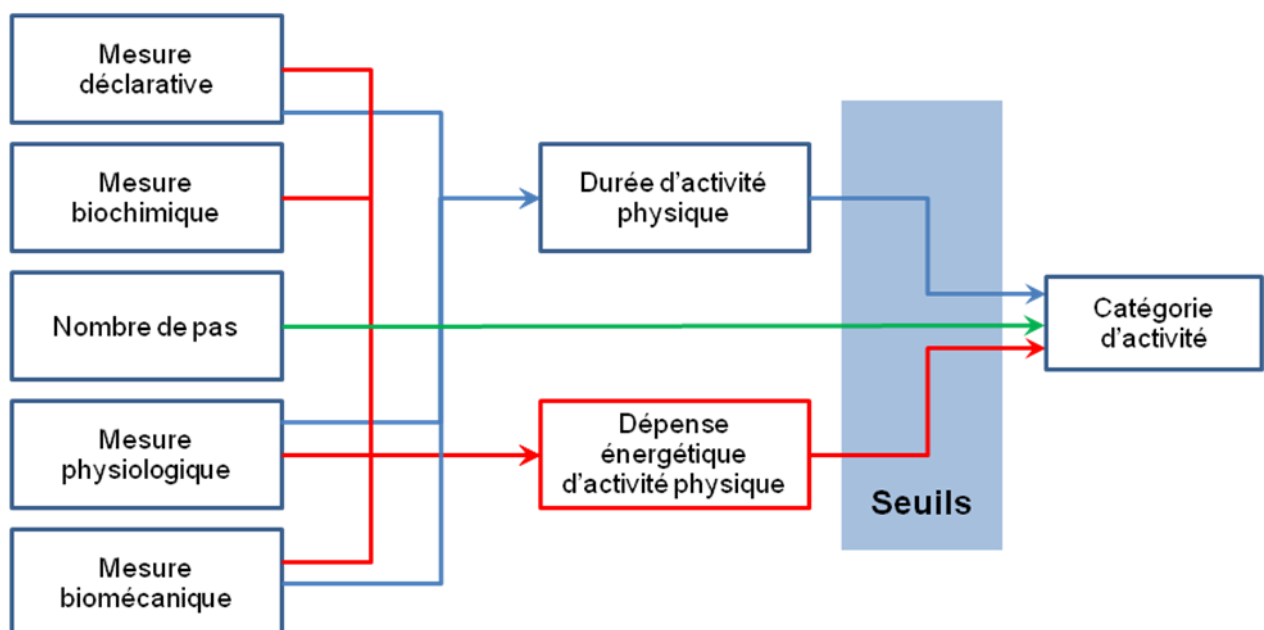


Figure 6 : Processus de dichotomisation des mesures de l'activité physique

1.3.2. Variables continues

Les variables continues exprimant l'activité physique peuvent être un nombre de pas, une dépense énergétique, une durée au dessus d'un seuil prédéfini, une fréquence cardiaque

moyenne, une expression de l'accélération enregistrée, un nombre ou la proportion des séances d'activité au dessus d'un seuil.

Pour certaines questions de recherche, il peut être justifié d'utiliser des variables continues exprimant la DEAP. Les différences de mode d'expression de la DEAP, associées à la diversité des conditions de mesure (en conditions de vie courante ou en conditions de laboratoire), conduisent à l'utilisation de variables et d'acronymes différents (tableau 2). L'intensité d'une activité peut être décrite de manière absolue ou relative.

- La **DEAP exprimée en valeur absolue** (énergie dépensée par unité de temps) est une mesure dépendante des caractéristiques anthropométriques des individus.
- La DEAP peut aussi être exprimée **relativement à une estimation de la DER**.
 - D'une part, il est possible de donner un index d'activité physique sur une période de 24 heures. Le **niveau d'activité physique** (NAP) se calcule en divisant la DET ($\text{kcal}\cdot\text{j}^{-1}$) par la DER ($\text{kcal}\cdot\text{j}^{-1}$). Le NAP permet des comparaisons de l'activité physique entre des individus ou des populations.
 - D'autre part, le coût énergétique d'une activité physique peut être exprimé comme un multiple de la DER connu sous le nom de **MET (pour metabolic equivalent)**. Le MET est le rapport du travail métabolique au cours de l'activité avec le travail métabolique de repos (6). Ces travaux métaboliques peuvent être mesurés par calorimétrie indirecte. On utilise souvent une estimation pour le travail métabolique de repos qui correspond à la consommation d'environ $3,5 \text{ mL O}_2\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ soit environ $1 \text{ kcal}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ (soit, par exemple, $1 \text{ kcal}\cdot\text{min}^{-1}$ pour un individu de 60 kg). La valeur de $1 \text{ kcal}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ est bien sûr approximative et l'utilisation d'équation de prédiction de la DER ou de mesure de la DER peut apporter plus d'exactitude. Le coût énergétique en MET de nombreuses activités physiques peut être obtenu à partir de compendiums publiés (81).

Acronyme	Définition	Formule	Application	Avantages/Désavantages
DEAP	Dépense énergétique d'activité physique (kcal/jour)	DET - DER	Calcul du coût énergétique de l'activité physique	Précision DET obtenue grâce à la chambre calorimétrique ou l'eau doublement marquée Coût élevé Dépendant des caractéristiques anthropométriques
NAP	Niveau d'activité physique Index d'activité physique sur une période de 24 heures	DET (kcal/j)/ DER (kcal/j)	Permet des comparaisons de l'activité physique moyenne entre des sujets ou des populations	Peut être utilisé pour les études de population utilisant des estimations de la DET
MET	Rapport du travail métabolique avec un travail métabolique standard de repos	VO_2 (mL/min) / 3,5 mL/kg/min	Utile pour les études calculant le coût énergétique d'une activité physique grâce à une mesure objective de la DET	La VO_2 d'une activité particulière est mesurée par la calorimétrie indirecte La VO_2 de repos est généralement estimée à 3,5 mL O_2 /kg/min

Tableau 2 : Les différentes possibilités d'expression de la dépense énergétique liée à l'activité physique.

2. VALIDATION DES TECHNIQUES DE MESURE DE L'ACTIVITÉ PHYSIQUE

Un principe fondateur de la recherche en activité physique est la recherche de l'exactitude dans l'estimation des paramètres d'intérêt. L'exactitude est définie comme la différence entre l'estimation obtenue d'un paramètre et sa valeur réelle. Nous présentons ici les principales sources d'erreur des mesures de l'activité physique en conditions de vie libre (liées au hasard d'une part et systématiques d'autre part) ainsi que des méthodes qui permettent d'estimer l'étendue de ces erreurs.

2.1. Sources d'erreur dans la mesure de l'activité physique

2.1.1. Erreurs liées au hasard

La précision de la mesure est un estimateur directement lié à l'amplitude des erreurs liées au hasard. Ce type d'erreur a autant de chance de surestimer que de sous-estimer la valeur réelle du paramètre d'intérêt.

Variabilité analytique des instruments de mesure

Les outils de mesure sont caractérisés par leurs **qualités métrologiques**, qui sont l'ensemble des données qui caractérisent la qualité de la mesure effectuée. Ces données sont l'étendue de mesure, la résolution, la sensibilité, l'exactitude, la justesse et la fidélité (82). **L'étendue de mesure** est le domaine de variation possible du paramètre mesuré. **La résolution** d'un appareil est la plus petite variation du paramètre mesuré qui produit une variation perceptible par l'instrument. **La sensibilité** exprime la variation du signal de sortie d'un appareil de mesure en fonction de la variation du signal d'entrée. Un instrument de mesure est d'autant plus exact que les résultats des mesures coïncident avec la valeur réelle. L'exactitude est représentée par l'erreur de mesure qui peut être exprimée de manière absolue ou en pourcentage (erreur relative). L'exactitude d'un appareil est essentiellement liée à deux types de caractéristiques : la **justesse** et la **fidélité**. Un instrument est exact s'il est à la fois juste et fidèle. **L'erreur de justesse** est l'erreur globale résultant de toutes les causes d'erreur possible pour chaque mesure réalisée et prise isolément. C'est donc l'aptitude de l'appareil à donner des résultats qui ne sont pas entachés d'erreur. **La fidélité** est l'aptitude d'un outil de mesure à donner des mesures exemptes d'erreurs accidentelles. La fidélité définit la dispersion

des résultats. Si on n'effectue qu'une seule mesure, la fidélité représente la probabilité qu'elle soit représentative du résultat moyen. Ce dernier aurait été obtenu en effectuant une infinité de mesures.

La variabilité analytique peut aussi avoir pour origine les différences de mesures entre deux appareils du même modèle.

Variabilité biologique de l'activité physique

La variation biologique correspond à la **variabilité individuelle** de l'activité physique en conditions de vie courante. De cette variabilité découle la durée nécessaire pour obtenir une mesure représentative de l'activité physique habituelle. En dessous de cette durée, la mesure ne sera pas valide car insuffisamment représentative et au dessus, les mesures entraîneront un engagement de temps et de moyens inutiles. Les coefficients de coefficients de corrélation intraclasse (CCI) avec un design de test-retest permettent de connaître ces durées minimales. En plus de déterminer la durée minimum d'étude représentative le test-retest peut-être utilisé pour étudier si il existe une variabilité de certaines périodes (jours de week-end par rapport aux jours de semaine par exemple).

2.1.2. Erreurs systématiques

Les erreurs systématiques (ou biais) diminuent la validité des mesures de l'activité physique. Les erreurs systématiques surviennent quand les résultats tendent à varier dans une même direction par rapport à la valeur réelle. En matière de mesure de l'activité physique, on peut citer plusieurs types de biais :

- le biais de désirabilité entraîne une mauvaise déclaration de l'activité physique, ou une augmentation de l'activité physique habituelle au cours d'une mesure, pour paraître observant à des recommandations (83),
- le biais lié à l'observateur qui est la distorsion consciente ou non des résultats par l'observateur/enquêteur,
- le biais lié aux non réponses,
- le biais lié aux instruments de mesure, indépendant des simples variations analytiques.

2.2. Vérification de la fiabilité des mesures

Les mesures de test-retest sont communément utilisées pour les outils de mesure de l'activité physique pour tester la **variation analytique** (aléatoire) de l'instrument et donc sa précision. Pour les mesures de test-retest il est recommandé d'utiliser le CCI plutôt que le coefficient de corrélation de Pearson. Le CCI prend en compte toutes les sources de variance de la mesure alors que le coefficient r de Pearson évalue seulement la variance des 2 mesures dans leur relation linéaire (84). Le test-retest pour les mesures sur des périodes courtes (24 heures ou 7 jours) reflète néanmoins 2 types d'effets aléatoires : la variation biologique et la variation analytique de l'instrument.

2.3. Vérification de la validité des mesures

La validité des méthodes de mesure de l'activité physique correspond à la possibilité d'obtenir des mesures exactes dans des conditions différentes de celles de la validation. La validité est directement influée par l'amplitude des erreurs systématiques. La validation des méthodes de mesure de l'activité physique doit être adaptée aux populations cible des études. La validité n'est pas une propriété intrinsèque d'un instrument mais plutôt de l'interprétation et de l'usage que l'on souhaite faire du score qui la représente. La validité est vérifiée par un ensemble d'arguments qui vont dans le même sens. La validité d'une technique de mesure réfère à « la propension de la mesure à vraiment mesurer ce quelle est censée mesurer » (85). De manière plus précise la validité fait référence au caractère approprié des inférences faites à partir de mesures spécifiques. La validation est le processus par lequel ces inférences sont obtenues.

Le plus grand obstacle pour la validation des méthodes de mesure de la DEAP en conditions de vie courante est le manque de critère adéquat auquel comparer ces méthodes. Le fait de réaliser des inter-corrélations de méthodes diverses a un certain intérêt, mais si les erreurs entre méthodes sont corrélées il devient impossible de déterminer la vraie validité des méthodes. De plus, une différence d'unité de mesure ne permet pas une validation en dehors de celle fondée sur une inter-corrélation de méthode (exemple : DEAP et mouvement). Les méthodes de référence doivent idéalement mesurer la véritable exposition à l'activité physique, la DEAP, sans corrélérer aux erreurs de mesure de la méthode étudiée. En pratique, le niveau de preuve concernant la validité est limité par la qualité de la méthode de référence. En

plus de fournir une mesure de l'association entre la méthode testée et la méthode de référence (coefficient de corrélation) et de fournir une mesure de l'exactitude (erreurs standards par rapport à la réalité), les meilleures études de validation examinent les sources de l'erreur et les hypothèses méthodologiques.

La **validité concurrente** s'évalue par la comparaison des résultats d'une méthode avec les résultats d'une autre méthode censée refléter la même variable d'exposition. Elle évalue la correspondance des mesures entre différents instruments. Dans le domaine de l'activité physique, les critères externes '*gold standard*' sont représentés par les techniques de calorimétrie indirecte. La méthode de l'eau doublement marquée peut fournir une mesure intégrée de la dépense énergétique totale en fonction du temps. Elle ne permet néanmoins que la validation de mesures de la dépense énergétique totale. La calorimétrie indirecte par mesure des échanges gazeux ventilatoires n'est pas applicable en conditions de vie courante. Les techniques de référence seront donc souvent celles qui donnent des mesures objectives du mouvement ou de la fréquence cardiaque (principalement des accéléromètres et/ou des moniteurs de fréquence cardiaque) qui grâce à des mesures continues donnent accès à un niveau de détail en fonction du temps qui n'est pas disponible avec la technique de l'eau doublement marquée.

Lorsque la variable d'exposition est identique entre méthode évaluée et méthode de référence, la méthode graphique de Bland et Altman donne les ordres de grandeurs d'éventuelles erreurs de mesure. En ordonnée de ce graphique se situe la différence entre les valeurs obtenues par deux techniques A et B (soit $A - B$) et en abscisse la moyenne des valeurs obtenues par ces 2 techniques (soit $(A + B)/2$). La méthode de Bland et Altman détermine les biais et les limites de concordance qui représentent les écarts des valeurs d'une technique par rapport à l'autre (86).

2.4. Schéma général de la validation d'une méthode de mesure de l'activité physique

La figure 7 résume les étapes mises en jeu lors de la validation d'un outil de mesure de l'activité physique. On notera qu'au-delà de l'étude de la répétabilité ou de la validité concurrente, divers choix sont à effectuer pour s'assurer de la validité d'une méthode en vue de son utilisation dans un contexte particulier. La **sensibilité aux changements** correspond à

la capacité d'un instrument à objectiver des variations. Ces variations peuvent être spontanées, du fait de l'évolution naturelle de la maladie, ou provoquées par une intervention. La sensibilité aux changements constitue une propriété fondamentale puisqu'une sensibilité insuffisante peut conduire à conclure à tort, par exemple, à une inefficacité d'une stratégie évaluée. En plus de ces propriétés, il ne faut pas oublier les propriétés descriptives de certaines méthodes telles que les questionnaires qui sont caractérisés par des taux de non-réponse aux items ou l'effet plafond/plancher.

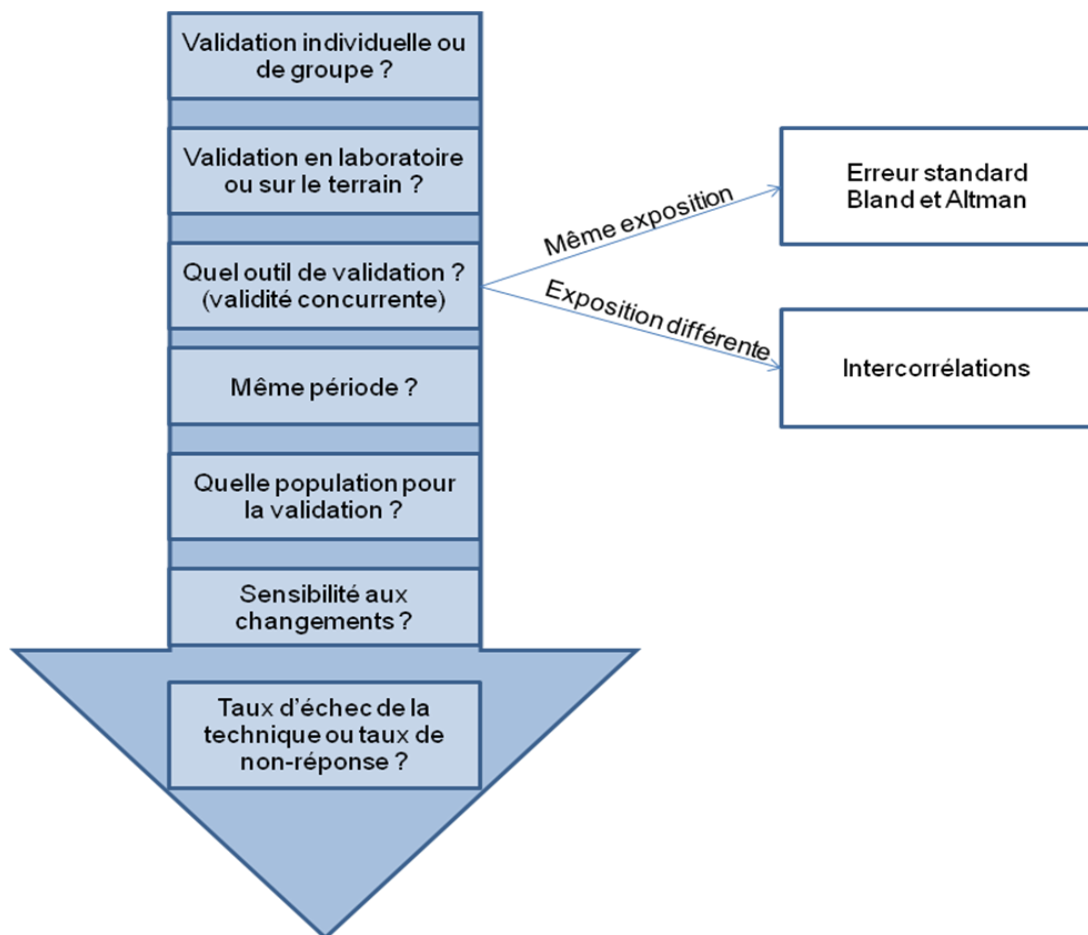


Figure 7 : Validation des méthodes de mesure de l'activité physique.

2.5. Exemples de validation des méthodes

2.5.1. Validation des questionnaires d'activité physique

Plusieurs propriétés psychométriques sont à évaluer telles que la validité, la fiabilité et la sensibilité aux changements. Il existe plusieurs types de validité pour les questionnaires : la **validité de contenu** est l'assurance que les items du questionnaire correspondent bien aux objectifs. Elle se réfère aux jugements que peuvent porter plusieurs observateurs ou experts dans le domaine étudié. La **validité concurrente** se manifeste avec la comparaison de mesures d'un test avec un autre test ou une variable censée refléter la dimension établie. Elle évalue la correspondance des mesures entre différents instruments. La **fidélité** d'une échelle se définit par une stabilité des résultats obtenus avec le même questionnaire et dans des situations comparables. Deux indicateurs peuvent être évalués : la **reproductibilité** et la **cohérence interne**. En situation de stabilité, des mesures successives doivent conduire à des résultats similaires. Ceci correspond à la définition de la **reproductibilité**. Pour estimer les degrés de reproductibilité et de dispersion des mesures, les calculs du coefficient Kappa, pour les variables qualitatives, et du CCI pour les variables continues sont utilisés. La méthode graphique de Bland et Altman confirmera les résultats obtenus avec le CCI et permettra de visualiser et de donner des ordres de grandeurs à d'éventuelles erreurs de mesure (86).

2.5.2. Validation des podomètres

Il existe des études de validation qui ont testé la capacité de podomètres à compter les pas de manière exacte à différentes vitesses de marche et sur différentes surfaces (64, 87). Ces études ont souvent comparé le nombre de pas réellement effectués (équivalent au rapport de la distance parcourue sur la longueur du pas) au nombre de pas enregistrés par les podomètres. D'autres auteurs ont montré de fortes corrélations entre le nombre de pas de podomètres (Yamax-DW500) et l'activité totale enregistrée par des accéléromètres ($r=0,84$ à $0,93$) (88). En effet, la majorité de l'activité physique quotidienne implique de la marche (89, 90). Pour cette raison, la validité des podomètres a aussi été testée (en attribuant un équivalent métabolique à chaque pas) par rapport à la mesure de la dépense énergétique, notamment avec des systèmes portables de calorimétrie indirecte. On retiendra de ces études que les podomètres sont valides pour estimer la dépense énergétique au cours des activités ambulatories, mais sous-estiment la dépense énergétique des activités impliquant plus la partie

supérieure du corps ainsi que la dépense énergétique de la marche en côte ou de la marche avec une charge (91).

2.5.3. Validation des accéléromètres

Les méthodes les plus habituelles pour la mesure de la validité concurrente des accéléromètres sont les systèmes portables de calorimétrie indirecte qui fournissent une mesure minute par minute de la VO_2 . Néanmoins, ces systèmes ne sont pas utilisables sur des durées prolongées en conditions de vie courante. D'autres études ont utilisé l'observation directe (77) ou la méthode de l'eau doublement marquée (77). Malgré une mesure exacte de la DEAP (relativement aux autres méthodes), cette dernière méthode ne permet pas une comparaison détaillée en fonction du temps et ne permet donc que la validation de la dimension 'activité totale enregistrée' de l'accéléromètre. Une revue de la littérature a trouvé 28 études permettant la comparaison des résultats d'un accéléromètre avec l'eau doublement marquée (92). Huit types différents d'accéléromètres étaient testés. Le plus souvent l'analyse consistait en une comparaison de la donnée brute de l'accéléromètre ($\text{coup} \cdot \text{min}^{-1}$) avec la DET ou la DEAP obtenue grâce à (DET) ou à partir de (DEAP) la technique de l'eau doublement marquée. Les relations entre ces variables étaient le plus souvent étudiées dans une analyse de régression multiple incluant des caractéristiques des sujets étudiés comme covariables. La contribution des $\text{coup} \cdot \text{min}^{-1}$ de l'accéléromètre sur la DET ou la DEAP n'était le plus souvent pas présentée isolément et les erreurs standards ou les limites d'agrément n'étaient pas présentées.

2.5.4. Validation des moniteurs de fréquence cardiaque

Il existe des validations concurrentes par les techniques de l'eau doublement marquée, de l'accélérométrie, des journaux d'activité physique, de l'observation directe et de la calorimétrie indirecte (93). Les coefficients de corrélations entre les méthodes utilisant le point d'inflexion de la fréquence cardiaque et la dépense énergétique avec la calorimétrie indirecte ou les chambres respiratoires sont modérées à hautes de $r=0,54$ à $r=0,98$ (94, 95). En comparaison aux critères de référence, les estimations pour les groupes d'adultes sont acceptables. Les différences moyennes vont de $-5,8\%$ à $+17,2\%$ (94, 96). Strath *et al.* ont évalué la validité du pourcentage de temps au dessus d'une fréquence cardiaque seuil pour la

prédiction de la DEAP au cours d'activités physiques d'intensité modérées. Ces auteurs ont montré une forte corrélation entre les prédictions de la VO_2 par mesure de la fréquence cardiaque et la VO_2 mesurée par calorimétrie indirecte ($r=0,87$) ainsi qu'une faible erreur par rapport à la référence (0,76 MET) (97). Néanmoins au niveau individuel, les erreurs sont plus larges. Les études de comparaison avec l'accélérométrie, les journaux ou l'observation directe ne permettent que des études d'association. Dans cette situation, étant donné l'absence de critère de référence, l'exactitude de l'estimation ne peut pas être évaluée. Les associations entre les différentes variables dérivées de la mesure de la fréquence cardiaque et d'autres méthodes de terrain sont généralement modérées. La DEAP dérivée de la mesure de la fréquence cardiaque corrèle moyennement avec la DEAP estimée à partir d'un journal ($r=0,49$) (98).

3. LIMITES ACTUELLES DES MÉTHODES DE MESURE DE L'ACTIVITÉ PHYSIQUE EN CONDITIONS DE VIE COURANTE

3.1. Problématique générale

Qu'il s'agisse des questionnaires d'activité physique ou des moniteurs portables d'activité physique, la problématique générale tient au fait qu'il n'existe aucun critère de référence auquel comparer les mesures obtenues. D'une manière générale, les moniteurs portables d'activité physique poseront peu de problèmes de variation analytique (sous réserve d'une calibration rigoureuse et d'une utilisation conforme aux conditions de leur validation). Les difficultés tiennent plus aux erreurs systématiques dont dépendent l'interprétation et l'usage que l'on souhaite faire des mesures obtenues. Notamment, les limites du processus de conversion de certaines variables en une estimation de la DEAP doivent être prises en compte.

3.2. Influence du choix des techniques sur la validité des mesures

Pour chaque étude où l'activité physique est un paramètre d'intérêt, l'investigateur est soumis à différents besoins et à différentes contraintes qui vont peser sur le choix de la technique de mesure. On peut citer le besoin d'obtenir des informations sur le contexte dans lequel est pratiquée l'activité physique (qui incitera à l'utilisation d'une méthode déclarative) ou le besoin d'exactitude (qui incitera au choix d'une méthode objective). Parmi les contraintes on peut citer le risque d'interférence avec le comportement habituel, les contraintes de participation des individus à l'étude et le coût ou le temps de travail pour l'observateur. Ces contraintes, qui pèsent sur le choix de la méthode de mesure de l'activité physique, influenceront sur la validité des mesures.

3.3. Limites des mesures par questionnaires

Limites intrinsèques

Au delà des erreurs systématiques (biais de désirabilité par exemple), les populations les plus sédentaires sont susceptibles de poser plusieurs types de problèmes pour l'étude de la validité des questionnaires :

- diminution de la validité concurrente du fait d'une variabilité plus faible des mesures de référence et de mesures à l'étude,
- moins d'activité physique volontaire, qui est aussi l'activité dont la remémoration est la plus facile.

Les questionnaires tendent à se concentrer sur seulement certains aspects de l'activité physique et peu ont été développés pour évaluer tous les domaines et toutes les intensités de l'activité physique. La participation aux activités sportives ou à d'autres activités programmées est plus simple à évaluer par les questionnaires car les personnes font une décision volontaire de les réaliser et leur réalisation est en général bien délimitée dans le temps. De nombreuses études ont montré que le rappel des activités ubiquitaire d'intensité modérée (telles que la marche) sont moins exacts que le rappel des activités structurées et intenses (99-102).

Une question importante est de comprendre qu'elle est la variable d'exposition qui est étudiée. L'exercice et l'activité physique de loisir sont peut-être plus représentatifs de la capacité cardio-respiratoire que de la DEAP dont ils ne représentent en général qu'une fraction mineure. Ceci est largement suggéré par les données d'accélérométrie qui montrent que ce sont les activités d'intensité modérée qui ont le plus d'impact sur le niveau d'activité physique mesuré par eau doublement marquée (103). Ainsi, même si les questionnaires produisent des variables associées à des marqueurs de l'état de santé, nous ne sommes pas certains de la variable d'exposition qui est réellement mesurée.

Limites liées à la prédiction de la DEAP

La conversion des données déclaratives en DEAP nécessite l'usage de tables de référence pour convertir des activités typiques en équivalents énergétiques (par exemple en MET). Il faut souligner que les compendia des coûts métaboliques sont fondés sur des données

recueillies chez des individus jeunes et a priori en bonne santé et tendraient ainsi à surestimer l'intensité des activités chez les personnes plus âgées (65). Par ailleurs, les activités sont souvent classées comme étant 'légères', 'modérées' ou 'intenses' sans prendre en compte le fait que la DEAP associée à cette perception dépend largement de la durée de l'activité physique ainsi que de l'âge et de la condition physique (65). Enfin, une source d'erreur systématique dans l'estimation de la DEAP peut venir de l'absence de prise en compte d'une partie des activités qui contribuent significativement à la DEAP. Dans les années 90, l'importance de l'activité physique d'intensité modérée sur la santé et l'augmentation de la prévalence de l'obésité a expliqué la création d'un nombre important de questionnaires prenant en compte un panel plus large des activités rencontrées dans la vie courante (64).

3.4. Limites des mesures par podomètres

Limites intrinsèques

La comparaison de différents modèles de podomètres montre que ces outils n'ont pas tous la même sensibilité pour la détection d'un pas (87). Le type de surface sur laquelle s'effectue la marche peut influencer cette sensibilité de même que la vitesse de marche (87).

Limites liées à la prédiction de la DEAP

Les podomètres ne mesurent pas l'intensité de la marche ou la marche en côte et, bien sûr, n'évaluent que l'activité physique pendant laquelle des pas sont réalisés. Ainsi, les podomètres ne sont théoriquement pas adaptés à l'estimation de la DEAP. Si une estimation de la DEAP est recherchée, il faut alors considérer que les individus dépensent la même quantité d'énergie à chaque pas. Néanmoins, en considérant qu'une grande partie de l'activité physique des individus en conditions de vie courante est réalisée sous forme de marche, il est possible de considérer que les podomètres peuvent donner des estimations de la DEAP. Cette hypothèse a été vérifiée par Bassett *et al.* dans une étude comparant la validité de 4 capteurs de mouvement pour l'estimation de la DEAP durant des activités physiques d'intensité modérée en conditions de vie courante et en laboratoire chez 81 participants (19-74 ans) (104). Pour le podomètre Yamax-SW701, les coefficients de corrélation avec la calorimétrie indirecte était de $r=0,49$. Le podomètre était valide pour l'estimation de la DEAP de la

marche à différentes vitesses mais l'erreur moyenne (calorimétrie indirecte moins podomètre) sur l'ensemble des activités était de 1,12 MET.

3.5. Limites des mesures par accéléromètres

Limites intrinsèques

Une limitation majeure des accéléromètres piézo-électriques tient à leur incapacité à détecter la composante statique de l'activité physique. Ils ne peuvent pas détecter les postures (debout ou assis) ou les changements de dépense énergétique liés à une pente (marche sur terrain plat par opposition à une marche en côte) (105).

Limites liées à la prédiction de la DEAP

Diverses erreurs sont possibles à l'occasion de la conversion de la donnée brute (l'accélération mesurée par le moniteur) en estimation de la DEAP. Elles peuvent notamment provenir :

- d'une non linéarité de la relation entre mouvement et DEAP (si l'équation de conversion utilise la régression linéaire),
- de caractéristiques de l'activité physique de l'individu étudié ne correspondant pas à celle étudiée lors de la réalisation des analyses de régression entre mouvement et DEAP.

Par exemple, une équation donnant une bonne estimation de la DEAP au cours de la marche sera moins performante pour une estimation de la DEAP en conditions de vie courante impliquant une variété de mouvements et de postures donc une complexité. Dans ce dernier cas la DEAP prédite à partir de la mesure du mouvement par l'accéléromètre sera probablement sous-estimée du fait de la présence d'une composante statique à l'activité physique au cours de la vie courante. Ce type de difficulté a notamment conduit à la proposition de différents seuils (en coup par minute) pour certains accéléromètres pour caractériser l'activité physique selon son intensité (légère versus modérée versus intense). Les seuils de Freedson (106) et de Matthews (107) pour l'accéléromètre Actigraph (Manufacturing Technology, Inc., FL, USA) en sont un bon exemple : les seuils pour définir

l'activité physique d'intensité au moins modérée sont respectivement 1952 coups·min⁻¹ (Freedson (106)) et 760 coups·min⁻¹ (Matthews (108)).

3.6. Limites des mesures par moniteurs de fréquence cardiaque

Limites intrinsèques

Pour les activités sédentaires et légères, la fréquence cardiaque est faiblement corrélée avec la VO₂. Ainsi, les activités physiques d'intensité légère ne peuvent pas être évaluées par la mesure de la fréquence cardiaque. Par ailleurs, la fréquence cardiaque est largement influencée par d'autres facteurs (émotions, nicotine, altitude, digestion, température ambiante, etc.)

Limites liées à la prédiction de la DEAP

La relation entre la fréquence cardiaque et la DEAP est très dépendante de la capacité cardio-respiratoire des sujets (93). Cela tient en partie à l'augmentation du volume d'éjection systolique chez les personnes ayant une capacité cardio-respiratoire plus élevée. La connaissance de la fréquence cardiaque de repos est nécessaire pour comparer les fréquences cardiaques lors de l'activité physique et pour tenir compte de la fréquence cardiaque de repos plus basse chez les personnes ayant une meilleure capacité cardio-respiratoire. La relation entre le mouvement détecté (par exemple par les accéléromètres) et la DEAP est très variable en fonction du type d'activité physique pratiquée. Au contraire, la relation entre fréquence cardiaque détectée (par les moniteurs de fréquence cardiaque) et la DEAP dépend plus de facteurs indépendants du type d'activité physique pratiquée tels que la fréquence cardiaque de repos et la fréquence cardiaque maximale notamment. Néanmoins, la relation entre fréquence cardiaque et VO₂ est en partie dépendante du type d'activité physique : pour les activités impliquant la partie supérieure du corps et pour les activités statiques le volume d'éjection systolique s'élève moins que pour les activités impliquant la partie inférieure du corps ou pour les activités dynamiques (93). Cela signifie qu'à intensité équivalente des activités différentes peuvent être associées à des fréquences cardiaques différentes.

4. INTÉRÊT D'UNE MESURE PRÉCISE DE L'ACTIVITÉ PHYSIQUE HABITUELLE

4.1. Exactitude, détail et représentativité des mesures de l'activité physique

Les études épidémiologiques qui ont utilisé des mesures simples de l'activité physique ont été suffisantes pour démontrer l'existence de relations entre les niveaux d'activité physique et l'état de santé. Un des exemples les plus courants en matière de mesure de l'«exposition» à l'activité physique est de répartir et de comparer les populations entre «individus actifs» versus «individus non-actifs». En l'absence de biais de mesure, on peut considérer que les relations avec la santé mises en évidence par ces méthodes sont plutôt une sous-estimation de l'effet réel (109). Une meilleure description de la relation entre l'activité physique et la santé apparaît nécessaire pour en comprendre les liens de causalité et adapter les recommandations. Cet objectif est important si l'on souhaite améliorer la qualité des études étiologiques (distribution et déterminants de l'activité physique, relation de l'activité physique avec l'état de santé ou avec d'autres comportements), des études de surveillance de l'activité physique, des études de comparaison de l'activité physique entre populations et des études sur l'effet des interventions de promotion de l'activité physique. Dans ce contexte, que l'activité physique habituelle soit utilisée comme une variable dépendante ou indépendante dans les analyses, sa mesure **exacte**, **détaillée** et **représentative** est essentielle.

Les données brutes (déclaratives, physiologiques, biochimiques ou biomécaniques) devraient idéalement donner une représentation détaillée de l'activité physique en fonction du temps, permettant d'accéder aux dimensions «fréquence», «durée», «intensité» et «durée des séances» (cf. figure 1, page 14). Certaines mesures sont caractérisées par une exactitude de l'ordre de 5-7% comme l'eau doublement marquée (79, 110), mais un niveau de détail faible (au mieux peut-on, avec cette méthode déterminer une DEAP quotidienne lorsqu'elle est couplée à une mesure de la dépense énergétique de repos). D'autres techniques ont un niveau de détail élevé (enregistrement du mouvement ou de la fréquence cardiaque minute par minute) mais leur exactitude dépendra des qualités métrologiques de la technologie, et surtout des biais éventuels et des erreurs liées au processus de conversion des données brutes en

estimation de la DEAP (lorsqu'une estimation est jugée nécessaire pour répondre à la question d'une étude).

L'activité physique est variable d'un jour à l'autre, d'une saison à l'autre, d'une année à l'autre et au cours de la vie (111). Ainsi la DEAP est le composant le plus variable de la dépense énergétique totale. Un enjeu important pour les mesures de l'activité physique et de la DEAP est de s'assurer de leur représentativité.

4.2. Intérêt de l'estimation de la dépense énergétique liée à l'activité physique

Le coût énergétique de l'activité physique correspond au travail effectué et à la chaleur produite à l'occasion de la contraction musculaire. Ce travail, cette production de chaleur ou même la contraction musculaire sont en pratique difficilement accessibles à la mesure. Les variables d'exposition mesurées par les méthodes de mesure de l'activité physique ne sont ni le travail d'une force, ni la production de chaleur, ni la contraction musculaire mais sont en rapport plus ou moins direct avec la DEAP réelle. Pour chacune de ces méthodes, l'estimation de la DEAP est intéressante pour plusieurs raisons :

- elle représente la quantité d'activité physique, c'est-à-dire une **variable d'exposition d'intérêt majeur**,
- elle permet de **comparer les résultats des différentes méthodes** ayant des variables d'exposition différentes de manière plus précise que la simple étude des inter corrélations entre variables ayant des unités différentes,
- elle permet de **définir des niveaux seuil d'intensité** qui permettront de discriminer entre sédentarité, activité physique d'intensité légère, modérée ou intense.

L'intérêt d'obtenir une estimation de la DEAP doit néanmoins être pertinent au regard de la question de recherche choisie. En effet, comme nous l'avons vu précédemment, l'étape de conversion d'une donnée brute en DEAP, ajoute une source d'erreur dans la mesure.

4.3. Principales raisons justifiant une mesure plus précise de l'activité physique

4.3.1. Améliorer la qualité des études étiologiques et des études de surveillance

Les études étiologiques permettent l'identification des groupes d'individus qui sont les cibles prioritaires des programmes de promotion de l'activité physique habituelle. On dispose d'études montrant le caractère parfois discordant des résultats de différentes méthodes de mesure de l'activité physique (112, 113). Si l'obtention de résultats identiques avec des méthodes différentes renforce la confiance que l'on peut avoir dans les résultats obtenus, une meilleure exactitude des mesures reste souhaitable.

Cette exactitude est aussi importante pour les études de surveillance de l'activité physique et les études comparant l'activité physique entre populations. Par exemple, l'absence de mesure précise de l'activité physique au cours des dernières décennies dans les pays industrialisés rend difficile l'établissement d'un lien entre la diminution de l'activité physique et l'augmentation de pathologies chroniques comme l'obésité. Au mieux dispose-t-on d'un recueil de marqueurs indirects de la sédentarité tels le nombre de voiture ou le nombre de télévision par foyer (114). Les mesures détaillées et exactes de l'activité physique sont mieux à même de préciser les différences ou les évolutions pour les différentes dimensions de l'activité physique.

4.3.2. Déterminer les dimensions de l'activité physique importantes pour la santé

On peut prendre pour exemple le concept d'accumulation de l'activité physique par 'séances' de 10 min tout au long de la journée. Ce concept a été introduit dans les recommandations d'activité physique américaines du *Centers for Disease Control and Prevention (CDC)* et de l'*American College of Sports Medicine (ACSM)* en 1995 (115). Ces recommandations étaient fondées sur : a) des données indirectes d'études observationnelles prospectives liant la quantité d'activité physique à la cardiopathie ischémique, aux pathologies cardiovasculaires et à la mortalité et, b) les résultats de plusieurs études

expérimentales évaluant les effets d'une séance prolongée d'activité physique quotidienne versus 3 ou 4 séances plus courtes (mais de durée cumulée équivalente à la séance plus longue) sur la capacité aérobie, le cholestérol-HDL et le poids corporel. Les résultats de ces études montrent que l'accumulation de 'séances' plus courtes donne des effets similaires à une séance plus longue. Des preuves supplémentaires ont été apportées à cette notion (116). Il reste cependant nécessaire d'obtenir des données concernant la durée minimale des séances qui produit un effet sur la santé de même que la quantité maximale au delà de laquelle il n'y a plus de bénéfice pour la santé à attendre. Ces seuils varient probablement en fonction de l'événement de santé considéré et en fonction de la capacité cardio-respiratoire des sujets.

Un autre exemple est celui des caractéristiques de l'activité physique déterminant l'incidence du diabète de type 2. En fonction des déterminants mis en évidence, on pourra soit axer la prévention sur l'augmentation de la capacité cardio-respiratoire soit sur l'augmentation du niveau d'activité physique. Dans le premier cas, les activités physiques intenses et en résistance seront à privilégier. Dans le second cas, tel que cela a été montré par les études avec des mesures objectives (103), l'activité d'intensité modérée est la plus à même d'augmenter le niveau d'activité physique.

4.3.3. Établir les relations dose d'activité physique-effet sur la santé

Il est nécessaire d'obtenir plus de données pour connaître la forme de la relation entre la quantité d'activité physique et la survenue des événements de santé. De telles études nécessitent une évaluation exacte, détaillée et représentative de l'activité physique. L'utilisation des mesures non quantitatives ou semi quantitatives ne permet pas l'examen des relations dose-réponse, pas plus quelle ne permet l'examen détaillé des relations de linéarité ou de seuils.

4.3.4. Connaître l'effet des interventions

Quand les interventions portant sur l'activité physique démontrent des effets sur une variable particulière, il est important de connaître l'exposition responsable de cet effet. Comme il est difficile de mettre en place une intervention en aveugle pour les études sur l'activité physique, les données déclaratives d'activité physique seront toujours susceptibles

d'être exposées à des biais. Les mesures de la capacité cardio-respiratoire sont facilement utilisées dans ce type d'étude car plus simples à réaliser et à interpréter que les mesures de l'activité physique. Il faut néanmoins bien noter que les recommandations de pratique d'une activité physique d'intensité modérée, si elle s'accompagne bien d'une augmentation de la DEAP, sont moins susceptibles de s'accompagner d'une augmentation de la capacité cardio-respiratoire par rapport aux combinaisons d'activité physique associant de l'entraînement en résistance (117).

TROISIÈME PARTIE : TRAVAUX RÉALISÉS

1. OBJECTIFS DE LA THÈSE : QUESTIONS POSÉES

Considérant les liens entre activité physique et santé, le récent rapport du *Physical Activity Guidelines Adviser Committee* (PAGAN 2008), souligne la sous représentation dans les études des populations à faible niveau d'activité physique habituelle (personnes à niveau socio-économique faible, personnes handicapées, femmes enceintes et en post-partum et personnes obèses) (2).

Les segments les moins actifs de la population posent plusieurs types de problèmes pour l'évaluation de l'activité physique. Une capacité cardio-respiratoire basse rend difficile la comparaison de l'intensité d'une activité physique avec les références obtenues à partir de l'étude de sujets jeunes et en bonne santé (à intensité ressentie équivalente, l'intensité métabolique sera plus basse si la capacité cardio-respiratoire est plus basse). La faible participation à des activités physiques volontaires est susceptible de gêner la mémorisation et le rappel des activités physiques réalisées. Une faible dispersion des données au sein d'un groupe de personnes peu actives limite la force des relations mises en évidence dans les analyses de test-retest ou de validité concurrente.

Dans ce contexte, la thématique générale de ce travail de thèse concerne les mesures de l'activité physique en conditions de vie courante, leur validité et leurs applications chez des sujets peu actifs. Il s'agit en particulier de discuter les liens entre la méthodologie de la mesure de l'activité physique et la validité des informations obtenues. Nous avons présenté les techniques de mesure de l'activité physique en conditions de vie courante. Nous avons vu que la mesure des différentes dimensions de l'activité physique est importante mais aussi que l'utilisation de méthodes fournissant des résultats avec une faible inexactitude est complexe, entre contraintes techniques et faisabilité.

Concernant les travaux originaux réalisés au cours du travail de thèse, notre 1^{er} objectif était de préciser la validité de différentes techniques de mesure de l'activité physique. Le 2nd objectif visait à comparer les résultats des questionnaires de rappel évaluant le contexte de l'activité physique aux mesures objectives de l'activité physique. Le 3^{ème} objectif était d'évaluer l'intérêt des méthodes objectives pour l'étude de certains déterminants de l'activité physique. Nous avons mesuré par différentes méthodes (calorimétrie indirecte, actimètres, questionnaires de rappel) l'activité physique, en vie libre, de sujets atteints de complications liées à l'inactivité physique (personnes obèses, patients diabétiques) ou dans des segments de

la population pouvant être la cible d'interventions de promotion de l'activité physique (familles nucléaires, personnes sédentaires).

Les questions spécifiques auxquelles ce travail de thèse s'est attaché à répondre sont les suivantes :

- **Un moniteur d'activité physique de type accéléromètre est-il en mesure de fournir une estimation exacte de la DEAP chez la personne en excès de poids ? Quelle est la validité de cette estimation selon que l'on considère un environnement de laboratoire ou bien les conditions de vie courante ? (article n°1)**
- **Quelle est la reproductibilité d'un questionnaire d'activité physique de type rappel proposant une étude complète des domaines d'activité physique dans une population de personnes physiquement peu actives (patients diabétiques de type 2) ? Quelle est la validité, par comparaison à une méthode objective de mesure, de ce questionnaire dans cette population ? (article n°2)**
- **Comment les résultats de l'activité physique mesurée par des accéléromètres peuvent-ils être comparés aux données des questionnaires d'activité physique dans une population de personnes peu actives ? Quel est l'intérêt de l'utilisation combinée de ces méthodes pour la mesure de l'activité physique ? (article n°3)**
- **Existe-il des corrélations intrafamiliales de l'activité physique mesurée par une méthode objective ? Si oui, comment ces résultats se comparent-ils aux résultats de méthodes déclaratives ? (article n°4)**

2. RÉSULTATS

2.1. Présentation de l'article 1

David Jacobi, Anne-Elisabeth Perrin, Natacha Grosman, Marie-France Doré, Sylvie Normand, Jean-Michel Oppert, Chantal Simon. Physical activity-related energy expenditure with the RT3 and TriTrac accelerometers in overweight adults. **Obesity (Silver Spring)**. 2007 15(4):950-6

- **Introduction**

L'objectif principal de cette étude était d'évaluer la capacité de deux accéléromètres triaxiaux, le RT3 et le TriTrac-R3D, à estimer la DEAP chez des adultes en surpoids ou obèses.

- **Matériels et méthodes**

La DEAP estimée par le port simultané de deux accéléromètres a été obtenue dans deux expériences. Dans l'expérience 1, 13 adultes en surpoids ou obèses ($\text{IMC } 34,2 \pm 6,4 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$) ont été étudiés pendant deux semaines dans les conditions de vie courante. Leur DEAP a été mesurée (DEAPm) par différence entre la dépense énergétique totale (eau doublement marquée) et la dépense énergétique de repos (calorimétrie indirecte) et la thermogenèse postprandiale (estimée à 10% de la dépense énergétique totale). Dans l'expérience 2, huit adultes en surpoids ou obèses ($\text{IMC } 34,3 \pm 5,0 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$) et dix adultes de poids normal ($\text{IMC } 20,8 \pm 2,1 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$) ont été étudiés pendant un test de marche sur tapis à différentes vitesses croissantes, la DEAP étant mesurée simultanément par la calorimétrie indirecte.

- **Résultats**

Dans l'expérience 1, aucune différence significative n'a été observée entre les DEAP moyennes de chacune des méthodes (DEAPm : $704 \pm 223 \text{ kcal}\cdot\text{j}^{-1}$, RT3 : $656 \pm 140 \text{ kcal}\cdot\text{j}^{-1}$, TriTrac-R3D $624 \pm 419 \text{ kcal}\cdot\text{j}^{-1}$). Les différences relatives entre les méthodes (accéléromètre moins DEAPm) étaient de $-17,1 \pm 16,7\%$ pour le RT3 et de $-20,0 \pm 44,6\%$ pour le TriTrac-

R3D. La corrélation entre la DEAP-RT3 et la DEAPm était meilleure qu'entre la DEAP-TriTrac-R3D et la DEAPm ($r=0,67$, $p<0,05$ et $r=0,36$, $p=0,25$, respectivement). Les IC95% ($\text{kcal}\cdot\text{j}^{-1}$) de la différence moyenne entre les méthodes étaient larges : $[-385 ; 145]$ pour le RT3 et $[-887 ; 590]$ pour le TriTrac-R3D. Dans l'expérience 2, les deux accéléromètres étaient sensibles à la modification des vitesses de marche, sans différence significative entre les DEAP moyennes des différentes méthodes.

- **Conclusion**

Les deux accéléromètres ne donnent pas une estimation exacte de la DEAP au niveau individuel. Les données suggèrent, dans la limite de la faible puissance statistique lié au faible effectif du groupe d'individus étudiés, que le RT3 a le potentiel d'évaluer la DEAP à l'échelle d'un groupe d'adultes en surpoids ou obèses. La sous-estimation de la DEAP en conditions de vie courante peut correspondre à la non prise en compte par les accéléromètres de la part statique de l'activité physique. Il est probable que l'équation de régression (équation non diffusée par le fabricant) permettant le passage de la mesure du mouvement à une estimation de la DEAP a été obtenue grâce à des mesures au cours d'activités physiques ayant une faible part statique. Cette hypothèse est compatible avec les résultats obtenus lors de la marche pour lesquels nous n'avons pas montré de surestimation de la DEAP par les accéléromètres.

Sous réserve d'une utilisation correcte des accéléromètres (position et fixation sur le corps), la variabilité interindividuelle de la DEAP estimée grâce aux accéléromètres par comparaison à la DEAP réelle est expliquée à la fois par les défauts métrologiques des accéléromètres pour la mesure du mouvement et par l'inexactitude liée à la conversion du mouvement en DEAP. En effet, les relations mouvement-dépense énergétique sont propres à chaque mouvement, et il est donc peu probable qu'une équation de calibration unique, telle qu'elle a été utilisée dans notre étude, puisse donner une estimation exacte de la DEAP.

Physical activity-related energy expenditure with the RT3 and TriTrac accelerometers in overweight adults.

David Jacobi^{1,2}, Anne-Elisabeth Perrin³, Natacha Grosman¹, Marie-France Doré^{4,5}, Sylvie Normand⁶, Jean-Michel Oppert^{1,7}, Chantal Simon³.

¹Service de Nutrition, Hôpital Hôtel-Dieu, Paris, France

²CHRU de Tours, Service de Médecine Interne-Nutrition, Tours, France

³Université Louis Pasteur, Strasbourg, France

⁴Centre de Pneumologie, Hôpital Hôtel-Dieu, Paris, France

⁵Université René Descartes-Paris 5, Paris, France

⁶Centre de Recherche en Nutrition Humaine Rhône-Alpes, Hôpital Edouard Herriot, Lyon, France

⁷Université Pierre et Marie Curie-Paris 6, Centre de Recherche en Nutrition Humaine, Ile-de-France, Paris, France

Abstract

Objective: The objective was to evaluate two accelerometers, the RT3 and the tritrac-R3D for their ability to produce estimates of physical activity-related energy expenditure (PAEE) in overweight/obese adults.

Research methods and procedures: PAEE estimates from both accelerometers were obtained in two experiments. In Experiment 1, 13 overweight/obese subjects ($\text{BMI } 34.2 \pm 6.4 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$) were monitored over 2 weeks in everyday life, PAEE being simultaneously measured by the doubly labeled water method (DLW). In Experiment 2, 8 overweight/obese subjects ($\text{BMI } 34.3 \pm 5.0 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$) and 10 normal-weight subjects ($\text{BMI } 20.8 \pm 2.1 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$) were monitored during a treadmill walking protocol, PAEE being simultaneously measured by indirect calorimetry.

Results: In Experiment 1, there was no significant difference between methods in mean PAEE (DLW: $704 \pm 223 \text{ kcal}\cdot\text{d}^{-1}$, RT3: $656 \pm 140 \text{ kcal}\cdot\text{d}^{-1}$, tritrac-R3D $624 \pm 419 \text{ kcal}\cdot\text{d}^{-1}$). The relative difference between methods (accelerometer vs. DLW) was $-17.1 \pm 16.7\%$ for the RT3 and $-20.0 \pm 44.6\%$ for the tritrac-R3D. Correlation for PAEE between RT3 and DLW was higher than between tritrac-R3D and DLW ($r=0.67$, $p<0.05$ and $r=0.36$, $p=0.25$, respectively). The 95% confidence interval (CI) ($\text{kcal}\cdot\text{d}^{-1}$) of the mean difference between methods was large, amounting to -385 to 145 for the RT3 and -887 to 590 for the tritrac-R3D. In Experiment 2, both accelerometers were sensitive to the changes in treadmill speed, with no significant difference in mean PAEE between methods in overweight/obese subjects.

Conclusions: Although both accelerometers did not provide accurate estimates of PAEE at individual levels, the data suggest that RT3 has the potential to assess PAEE at group levels in overweight/obese subjects.

INTRODUCTION

Physical activity (PA) is an important component of both the prevention and the treatment of overweight and obesity (118). Energy expended through PA helps with weight loss and weight maintenance (118). Current guidelines encourage obese subjects to progressively meet a minimum of 150 kcal per day through moderate-intensity PA, such as walking (119, 120), in line with recommendations for the general population (115). Further increase in duration or intensity and, therefore, in energy expenditure (EE), may be needed for prevention of weight regain after initial weight loss (120, 121). Data from the National Weight Control Registry suggest an optimal amount of PA-related energy expenditure (PAEE) of 2500 to 3000 kcal·wk⁻¹ to maintain weight loss (122). It is, therefore, of importance to define objective but practical methods to assess PAEE in overweight or obese subjects in their habitual life settings.

Doubly labeled water (DLW) is considered as the reference method for the measurement of total EE (TEE) in daily life conditions (123). When combined with a measure of resting metabolic rate (RMR), PAEE can be calculated. However, the cost and availability of isotopes and the requirement of isotope ratio mass spectrometry for analysis prohibit DLW from being used in large population studies. Among methods that can be used to easily assess PAEE, few have been validated in overweight or obese subjects (124). Over-reporting is an important concern when assessing habitual PA in obese subjects, especially when using self-report methods such as questionnaires (125). Studies using room indirect calorimetry or the DLW technique for measuring EE have documented that obese individuals are particularly prone to such overestimation of PA (125, 126). In this context, motion sensors based on the accelerometry technique seem to be a promising alternative. Accelerometry allows assessment of activity patterns in terms of frequency, duration, and intensity. Accelerometers are designed as small, lightweight, unobtrusive portable devices, with very low operating costs, able to assess PA. The acceleration is measured periodically in one (uniaxial) to three (triaxial) planes, transformed to a digital representation, and processed to obtain an activity count. To give more meaningful information, the raw activity counts data can be converted into energy estimates by using the subject's characteristics (by proprietary predictive built-in algorithms and programs). Most accelerometers show good correlation with EE during treadmill walking (127-134), and several were assessed in adults against DLW in daily life conditions (135-143). However, most of these studies involved only healthy non-obese adults, or children.

Overweight or obesity are responsible for 1) biomechanical modifications during walking with loss of efficiency (144), 2) obvious differences in the placement of accelerometers with respect to center of mass of the body, and 3) a different pattern of PA in daily life. This might modify the accelerometer output, the EE estimates that derive from it, and the accuracy of these estimates compared with criterion methods.

In this study, we compared two triaxial accelerometers for their ability to produce estimates of PAEE in overweight or obese subjects. The two instruments were the TriTrac-R3D a device that has been used in research for about a decade (145), but that is not marketed anymore, and the RT3 Research Tracker, a device made available more recently (146). We obtained PAEE estimates with both the TriTrac-R3D and the RT3, in free-living conditions (Experiment 1) and during treadmill walking (Experiment 2). These PAEE estimates were compared with PAEE measurements by DLW (Experiment 1) and indirect calorimetry (Experiment 2).

RESEARCH METHODS AND PROCEDURES

Subjects and Design

This study was approved by the Ethics Committee of Strasbourg-I (Strasbourg, France). All subjects gave their written informed consent to participate in the study. The subjects were recruited among patients seeking treatment at the departments of Nutrition of the Hautepierre University Hospital in Strasbourg, France (Experiment 1) and at the Hotel-Dieu University Hospital in Paris, France (Experiment 2). All subjects were healthy as assessed by physical examination and routine laboratory tests. None of the subjects was taking medications known to modify EE.

Experiment 1. Thirteen overweight or obese female subjects were included [age 38.3 ± 10.5 years, height 162.1 ± 6.7 cm, weight 90.1 ± 18.6 kg, BMI 34.2 ± 6.4 kg·m⁻², mean $\pm$ standard deviation (SD)]. The subjects were instructed to wear the RT3 and the TriTrac-R3D during waking hours of a 14-day period in their normal daily life (except when bathing, taking a shower, or swimming). They were asked to keep an activity log of the times when the motion sensors were not worn and of the type of PA performed at that moment. TEE was measured over the same 2-week period using DLW. RMR was determined at the beginning of the study in the morning, after 12 hours of fasting (by indirect calorimetry).

Experiment 2. Ten overweight or obese subjects (6 women and 4 men, age 41.5 ± 10.9 years, height 162.9 ± 9.0 cm, weight 91.4 ± 17.1 kg, BMI 34.3 ± 5.0 kg·m⁻²) and 10 normal-weight subjects (7 women and 3 men, age 29.3 ± 5.2 years, height 168.6 ± 8.2 cm, weight 59.5 ± 10.1 kg, BMI 20.8 ± 2.1 kg·m⁻²) were included. All subjects filled out the French version of the Physical Activity Readiness Questionnaire (available at www.csep.ca) (147). All tests took place 2 hours after lunch. Each subject was required to walk for 5 minutes at 2, 3, and 4 km·h⁻¹, successively, at 4% grade on a motor-driven treadmill (Marquette, Series 2000) while wearing the RT3 and the TriTrac-R3D. The total duration of each test was 17 minutes, including 3 x 5 minutes for each treadmill speed and 2 minutes of warming up before initiation of the test. Each walking condition was separated by a 10-second period at an intermediate speed.

To analyze steady state conditions, data were averaged over the final 2 minutes of exercise for each condition. Preexercise EE was determined with the subject seated in a comfortable thermal environment, 2 hours after lunch. EE was determined with the subject walking at 2, 3, or 4 km·h⁻¹. PAEE was calculated as the difference between pre-exercise EE and exercise EE.

Accelerometers

PAEE was assessed every minute using the TriTrac-R3D Research Ergometer (Reining Ltd., Madison, WI) (145) and the RT3 Triaxial Activity Measurement and Recording System (StayHealthy, Monrovia, CA) (146). The RT3 (68 x 48 x 18 mm, 62.5 g) is a relatively small device compared with the TriTrac-R3D (120 x 65 x 22 mm, 168 g). The RT3 uses an integrated triaxial accelerometer (three vectors into a single chip), whereas TriTrac-R3D uses three accelerometers. The subject's characteristics were entered (weight, height, age, gender) on initializing the monitors. The accelerometers were worn in nylon pouches secured to a belt at the waistline above each hip. These accelerometers are sensitive to acceleration along the three planes (x, y, z). The acceleration is measured periodically, converted to a digital representation, and processed to obtain an activity count. This information is then converted by using the subject's characteristics (by unpublished proprietary equations) into energy estimates.

Indirect Calorimetry

Experiment 1. We assumed that diet-induced thermogenesis accounted for 10% of TEE (148). PAEE was calculated according to the following formula:

$$PAEE = TEE \times 0.9 - RMR$$

TEE was determined with the DLW technique as previously described (149, 150). After providing baseline urine samples, a pre-mixed dose of 0.05 g·kg⁻¹ of ²H₂O (99.9% ²H) and 1.0 g·kg⁻¹ of H₂¹⁸O (10% ¹⁸O) was administered orally to the subjects. After dosing, two urine samples were collected at 3 and 4 hours. Seven days, 10 days, and 14 days after dosing, the subjects returned to the laboratory, and urine samples were collected from voids. Urine was stored at -20°C in cryogenically stable tubes until analysis by isotope ratio mass spectrometry. The dilution spaces for ²H and ¹⁸O were calculated from the baseline and urine samples according to Coward *et al.* (36). The total body water was calculated from the average of the dilution space of ²H and ¹⁸O, after correction for the isotopic exchanges, of 1.041 and 1.007 respectively. The production of CO₂ was calculated according to the equation of Schoeller *et al.* (151).

$$rCO_2(mol/day) = \frac{N}{2.078} (1.007k_o - 1.041k_d) - 0.0246 \cdot N \cdot 1.05(1.007k_o - 1.041k_d)$$

with N being the average space of dilution of ²H and of ¹⁸O calculated by the method of the “plateau” using the isotopic enrichments of the 4-hour post-dose sample. Ko and Kd represent the hillsides of elimination calculated by linear regression of the logarithm of the isotopic enrichment, according to time (days). TEE and RMR were calculated using the Weir equation (152) and assuming the respiratory quotient to be 0.84. RMR was determined using the Deltatrac II device (Datex Instrumentarium Corp., Helsinki, Finland). TEE measurements by DLW have been shown to have an accuracy of 4% to 7% (39).

Experiment 2. Before and during the treadmill walking test, breath-by-breath analysis of O₂ consumption and CO₂ production was performed using a face mask with a Sensor- Medics Vmax Series 29c cart (Sensormedics Corps., Yorba Linda, CA). EE was calculated using the Weir equation (152).

Data Analysis

Data are presented as mean $\pm$ SD. One-way ANOVA (main factor: PAEE assessment method with three levels) was used to compare means of PAEE obtained in Experiment 1. Two-way ANOVA for repeated measures (two main factors: intensity of activity with three levels, and EE assessment method with three levels) was used to compare PAEE obtained in Experiment 2. We obtained linear regression graphs and Bland-Altman plots (86) comparing PAEE data with the criterion method and derived from accelerometry (alternative methods). Correlations were calculated with Pearson's coefficient. The inter-method bias was estimated by the mean difference between methods and the SD of the differences. The inter-method limits of agreement were defined as the 95% confidence interval (CI) of the difference, estimated by the mean difference $\pm$ 1.96 SD of differences. In Experiment 1, PAEE from the accelerometers was corrected with the following formula to take into account the measured RMR instead of a predicted one [with measured RMR obtained by indirect calorimetry and predicted RMR obtained with the Harris and Benedict equation (153)]:

$$\frac{PAEE}{predicted\ RMR} \times measured\ RMR$$

In Experiment 2, analyses were conducted separately in normal-weight subjects and overweight/obese subjects unless otherwise stated. Analyses were performed using GraphPad Prism version 4.00 for Windows (GraphPad Software, San Diego, CA). Statistical significance was set at $p < 0.05$.

RESULTS

Experiment 1

Because data from one Tritrac-R3D could not be retrieved, data presented are based on 12 subjects for the TriTrac-R3D. Estimates of PAEE by the RT3, but not by the TriTrac-R3D, significantly correlated with PAEE measured by DLW ($r < 0.55$, $p < 0.05$). Mean PAEE did not significantly differ between methods (704 ± 223 kcal·d⁻¹, 636 ± 136 kcal·d⁻¹, and 607 ± 400 kcal·d⁻¹ for DLW, RT3, and TriTrac-R3D, respectively, $F_{2,36}=1.59$, $p=0.22$). Correcting PAEE from the accelerometers to take into account the measured RMR instead of a calculated

one reduced the difference between DLW and the accelerometers ($656 \pm 140 \text{ kcal}\cdot\text{d}^{-1}$ and $624 \pm 419 \text{ kcal}\cdot\text{d}^{-1}$, for the RT3 and the TriTrac-R3D, respectively, $F_{2,36}=1.13$, $p=0.33$). This also improved the correlation between PAEE from the RT3 and from DLW ($r=0.67$, $p<0.05$) (Figure 1A) and between the TriTrac-R3D and DLW, although the latter did not reach statistical significance ($r=0.36$, $p<0.25$) (Figure 2A). This correction was used in subsequent analyses. The 95% CI ($\text{kcal}\cdot\text{d}^{-1}$) of the mean difference between alternative and criterion methods were -385 to 145 for the RT3 (Figure 1B) and -887 to 590 for the TriTrac-R3D (Figure 2B). The relative difference between methods (alternative - criterion) were $-17.1 \pm 16.7\%$ and $-20.0 \pm 44.6\%$ for the RT3 and the TriTrac-R3D, respectively. Mean body weight difference between the beginning and the end of the experiment was $-0.14 \pm 0.88 \text{ kg}$ (not significant).

Experiment 2

Because of early exhaustion, only 8 of 10 overweight/obese subjects initially enrolled completed the protocol. Figure 3 shows the mean $\pm$ SD for PAEEs during Experiment 2. In overweight/obese subjects, for all intensities of effort (2, 3, and $4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$), there was no significant difference in PAEE between methods ($F_{2,42}=1.42$, not significant). In normal-weight subjects, there was a significant difference in PAEE between methods ($F_{2,54}=9.72$, $p<0.001$) with significant differences between TriTrac-R3D and calorimetry at $3 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ($p<0.05$) and $4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ($p<0.01$). In normal-weight subjects and in overweight/obese subjects, a significant effect of the walking speed was found ($F_{2,54}=122.00$ and $F_{2,42}=40.15$, respectively, $p<0.0001$), meaning that the RT3, the TriTrac-R3D, and indirect calorimetry were sensitive to the change in walking speed. The 95% CI ($\text{kcal}\cdot\text{min}^{-1}$) of the mean difference between criterion and alternative methods (using average PAEE for the three treadmill speeds) were -2.8 to 1.8 for the RT3 and -3.6 to 1.8 for the TriTrac-R3D in overweight/obese subjects, and -1.6 to 0.8 for the RT3 and -2.9 to 0.9 for the TriTrac-R3D in normal-weight subjects. The relative difference between methods (alternative - criterion) were $30.6 \pm 45.5\%$ for the RT3 and $54.9 \pm 65.2\%$ for the TriTrac-R3D, in overweight/obese subjects, and $45.7 \pm 67.2\%$ for the RT3 and $101.6 \pm 118.7\%$ for the TriTrac-R3D, in normal weight subjects. Using linear regression analyses and considering the whole group (8 overweight/obese subjects and 10 normal-weight subjects), estimates of PAEE (mean of the PAEEs obtained for the three treadmill speeds) by the RT3, but not by the TriTrac-R3D, were significantly related to PAEE measured by calorimetry (RT3: $r=0.47$, $p<0.05$; TriTrac-R3D: $r=0.20$, $p<0.42$).

DISCUSSION

We compared, in overweight/obese subjects, PAEE estimates from two triaxial accelerometers against PAEE measured by DLW in free-living conditions and by indirect calorimetry during treadmill walking.

In our first experiment, values for daily PAEE measured by DLW were close to data found previously in women with similar anthropometric characteristics (135, 154). Noticeably, among studies comparing accelerometry to DLW in adults (135-143, 155), only two focused on overweight/obese subjects (135, 141). In addition, TEE, rather than PAEE, was often used (135-138). However, daily TEE is more dependent on RMR than on PAEE. It should also be mentioned that, independent of weight status of the subjects, because the RT3 was made available recently, there are few data to compare to our results and no published evaluation of EE estimates by RT3 against DLW.

In this first experiment, mean PAEE did not significantly differ between methods, but there was a trend toward underestimation of PAEE by both accelerometers vs. DLW (-17% and -20%, respectively). For the Tritrac-R3D, this is consistent with previous reports, in non-obese free-living women, where the device built-in equation underestimated PAEE measured by DLW (-35%) (140). We found that PAEE estimates from the RT3, but not from the TriTrac-R3D, correlated significantly with PAEE from DLW. When using the Bland-Altman procedure in our sample, limits of agreement were also smaller for the RT3 than for the Tritrac-R3D. Low to moderate correlations (140), as well as relatively large limits of agreement (143), as found here, were reported in previous research between PAEE estimates of accelerometers and that obtained by DLW. Interestingly, limits of agreement reported herein with the RT3 seem narrower than in previous reports (143). However, the question arises whether the RT3 produces PAEE estimates acceptable to assess actual PAEE values at an individual level.

There are several reasons that may explain the limited degree of prediction at an individual level with these accelerometers, even with the RT3. First, there are known situations where accelerometers cannot adequately detect metabolic cost such as standing, upper body movements, static work, vertical lift, and EE during recovery from exercise (123). Second, there may be inaccuracies in the conversion of raw data from the accelerometers to

EE using built-in equations. Especially, the relation between accelerometer output and EE could be specific to a given type of activity, as suggested previously (156). Third, sensors assessing acceleration might differ between the two devices under study.

The RT3 uses an integrated triaxial accelerometer (132) that may perform better than the three separate accelerometers of the TriTrac-R3D (145). Investigating these issues further will require a larger number of subjects. This problem is inherent to many DLW studies given its prohibitive cost.

In the second experiment, we assessed whether the accelerometers were sensitive to minute variations in intensity of PA. We studied walking because it is the most frequently performed PA, it is the cornerstone of current PA recommendations for the general population (115) and for overweight/obese patients (119, 120), and it produces a substantial part of daily TEE (157). Mean PAEE did not differ significantly between methods within the range of walking speeds tested in the overweight/obese group. However, there was a trend toward overestimation of PAEE by the TriTrac-R3D, which was significant in the normal-weight group at the highest walking speeds. There is evidence of overestimation of EE by the TriTrac-R3D built-in equation during level treadmill walking in some (129) but not all (131, 133) previous studies, all performed in normal-weight (or non-obese) subjects. Hendelman *et al.* (156) applied regression equations determined during a walking test, linking the TriTrac-R3D output to volume of oxygen uptake, to other activities more typical of free-living conditions (e.g., household activities). This resulted in a 30% to 60% underestimation of the actual volume of oxygen uptake. It may also partly explain the contrast between data obtained in our first and second experiments (i.e., trend for underestimation and overestimation of PAEE by the TriTrac-R3D, respectively).

Considering the whole group included in the treadmill protocol, we found a significant correlation between PAEE estimated by the RT3, but not by the TriTrac-R3D, and PAEE from indirect calorimetry. Data from the RT3 were shown to correlate with VO_2 in healthy normal-weight adults during treadmill ambulation (132, 146), with a relationship similar to that of the TriTrac-R3D in one study (146). However, comparison with other studies is limited because there are no data available in overweight/obese subjects and because of our exercise test conditions. Indeed, most of the walking speeds included in previous protocols were simply not feasible for our overweight subjects. Whereas $4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ was our fastest walking speed, DeVoe *et al.* (146) and Rowlands *et al.* (132) compared the RT3 and the

TriTrac-R3D in lean subjects using treadmill speeds starting at $4.8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ and $4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, respectively. Taken together, results of our second experiment suggest that triaxial accelerometry is sensitive to changes in exercise intensity, within the range of intensities achievable by overweight/obese individuals.

In summary, although both accelerometers did not provide accurate estimates of PAEE at individual levels, the data suggest that the RT3 has the potential for an objective, convenient, unobtrusive, and relatively inexpensive evaluation of PAEE at group levels in overweight/obese subjects. Some modifications of the accelerometry technology may, however, be needed to compensate for the underestimation of PAEE in free-living conditions.

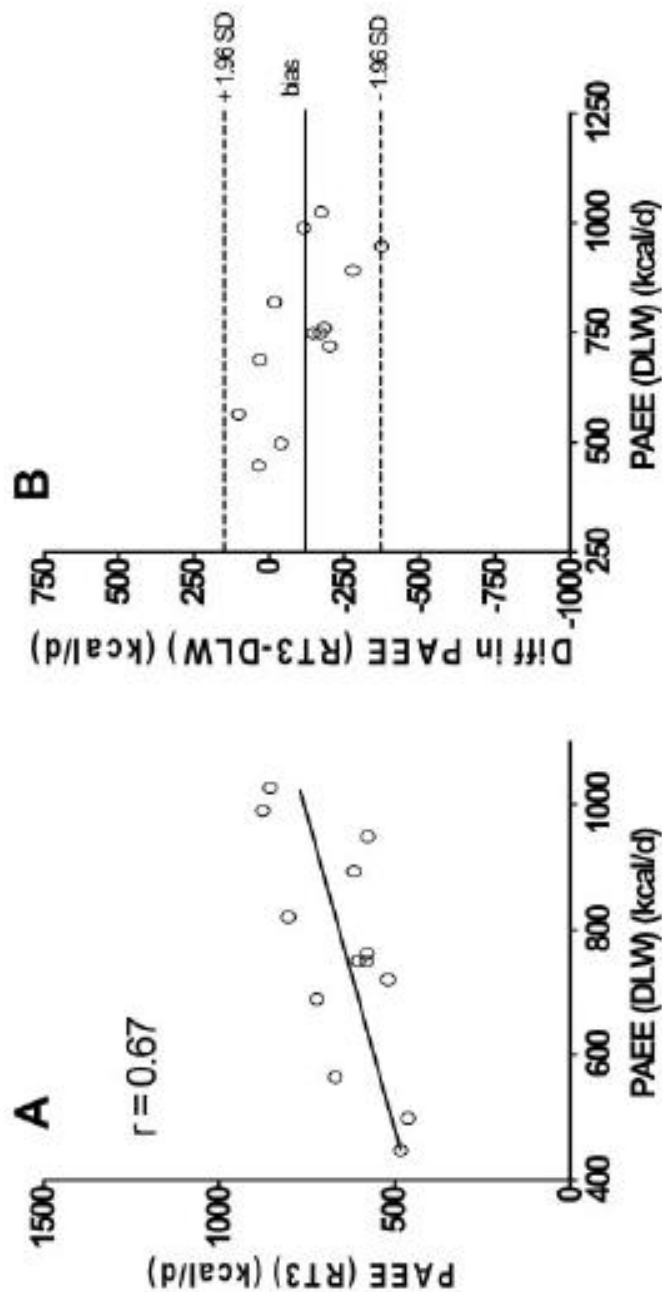


Figure 1: (A) Linear regression plot of PAEE measured by DLW vs. that measured by the RT3. (B) Bland-Altman plot for individual differences in PAEE between alternative (accelerometry by RT3) and criterion (DLW) methods vs. PAEE from DLW. Mean difference between DLW and the alternative method is shown.

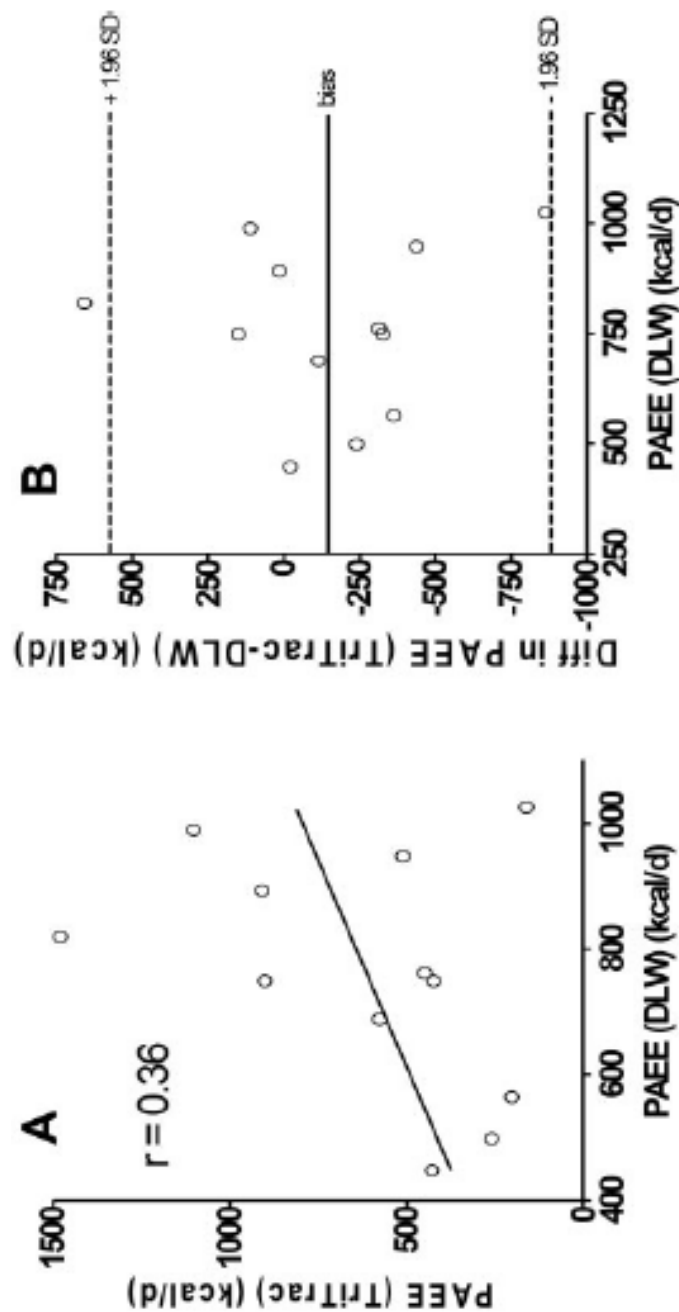


Figure 2: (A) Linear regression plot of PAEE measured by DLW vs. that measured by the TriTrac-R3D. (B) Bland-Altman plot for individual differences in PAEE between alternative (accelerometry by TriTrac-R3D) and criterion (DLW) methods vs. PAEE from DLW. Mean difference between DLW and the alternative method is shown.

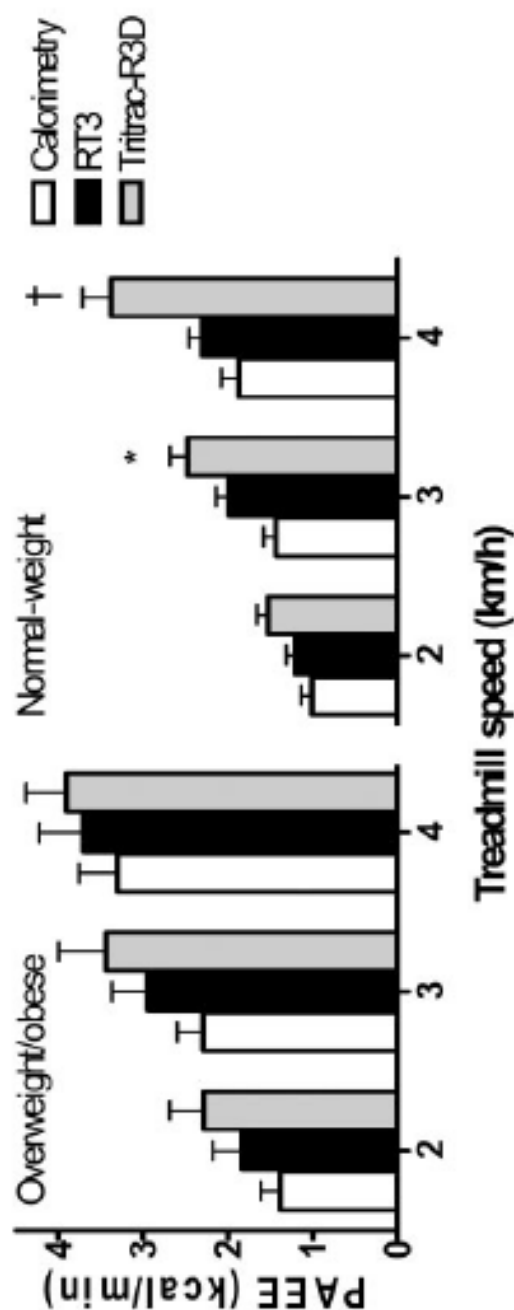


Figure 3: PAEE (mean $\pm$ SD) from indirect calorimetry, TriTrac-R3D, and RT3 in overweight or obese subjects and in normal-weight subjects by treadmill speeds. Two identical incremental walking tests were performed by overweight/obese subjects and by normal-weight subjects. PAEE determined by the two accelerometers (the TriTrac-R3D and the RT3) was compared with the results by indirect calorimetry. Significant difference from indirect calorimetry: * $p < 0.05$; † $p < 0.01$ (Bonferroni post-tests).

2.2. Présentation de l'article 2

Lise Crinière, Claire Lhommet, Agnès Caille, Bruno Giraudeau, Pierre Lecomte, Charles Couet, Jean-Michel Oppert, David Jacobi. Reproducibility and validity of the French version of the long International Physical Activity Questionnaire in patients with type 2 diabetes. **Journal of Physical Activity and Health**. Accepté pour publication (cf. annexe 1, page 163)

- **Introduction**

L'objectif de ces analyses était d'étudier la reproductibilité et la validité concurrente d'un questionnaire d'activité physique que nous avons traduit de l'anglais, le IPAQ (International Physical Activity Questionnaire) dans sa version longue. Le IPAQ est un questionnaire de rappel de l'activité physique des 7 derniers jours portant sur les grands domaines (activité professionnelle, activité au cours des loisirs, activité domestique et activité liée aux transports/déplacements) et sur la sédentarité.

- **Matériels et méthodes**

Nous avons étudié la reproductibilité en effectuant deux administrations téléphoniques du IPAQ, à 8 jours d'intervalle. La validité concurrente a été étudiée en comparant les résultats de la seconde administration du IPAQ aux résultats des mesures par podométrie pendant 7 jours en conditions de vie courante (même période d'étude de l'activité physique pour les 2 outils).

- **Résultats**

Nous avons recruté 143 patients diabétiques de type 2 (59% d'hommes ; âge : $60,9 \pm 10,5$ ans ; IMC : $31,2 \pm 5,2 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$; HbA1c : $7,4 \pm 1,2\%$). Les coefficients de corrélations intraclasse [IC 95%] pour l'administration répétée (n=126) étaient 0,74 [0,61–0,83] pour l'activité physique totale, 0,72 [0,57–0,82] pour la marche et 0,65 [0,51–0,78] pour le temps passé assis. L'activité physique totale et la marche ($\text{MET}\cdot\text{min}\cdot\text{semaine}^{-1}$) corrélaient avec les pas quotidiens (Spearman $r=0,24$ et $r=0,23$, respectivement, $p<0,05$). Le temps passé assis ($\text{min}\cdot\text{semaine}^{-1}$) corrélait négativement avec les pas quotidiens chez les femmes ($r=-0,33$; $p<0,05$).

- **Conclusion**

La validité concurrente et la reproductibilité du IPAQ-F sont comparables, dans une population de personnes diabétiques de type 2, aux données obtenues avec la version originale du IPAQ en population générale. Une diminution de la fiabilité des tests (test-retest) et de la validité concurrente est attendue en raison d'une dispersion interindividuelle plus faible des niveaux d'activité physique chez la personne atteinte de pathologie chronique que dans la population générale. Les questionnaires explorent de façon préférentielle l'activité physique volontaire, qui est aussi l'activité physique dont la remémoration est la plus facile. L'exercice et l'activité physique de loisir sont peut-être plus représentatifs de la capacité cardio-respiratoire que de la DEAP dont ils ne représentent en général qu'une fraction mineure. Un avantage du IPAQ dans sa version longue peut être la prise en compte de tous les domaines de l'activité physique qui permet une estimation de la DEAP qui est associée de manière positive avec les mesures objectives de l'activité physique habituelle.

Reproducibility and validity of the French version of the long International Physical Activity Questionnaire in patients with type 2 diabetes

Lise Crinière¹, Claire Lhommet¹, Agnès Caille², Bruno Giraudeau², Pierre Lecomte¹, Charles Couet^{1,4}, Jean-Michel Oppert³, David Jacobi^{1,4}

¹Department of Internal Medicine and Nutrition, CHRU de Tours, 37044 Tours, France

²CIC INSERM 202, Tours, France

³Department of Nutrition, Pitié-Salpêtrière Hospital (AP-HP) ; Human Nutrition Research Center Ile-de-France (CRNH-IdF), University Pierre et Marie Curie-Paris 6, 83 boulevard de l'Hôpital, 75013 Paris, France

⁴INSERM U 921, Tours, France

Abstract

Background: Increasing physical activity and decreasing sedentary time are cornerstones in the management of type 2 diabetes (T2DM). However, there are few instruments available to measure physical activity in this population. We translated the long version of the International Physical Activity Questionnaire (IPAQ-L) into French and studied its reproducibility and validity in patients with T2DM.

Methods: Reproducibility was studied by two telephone administrations, 8 days apart. Concurrent validity was tested against pedometry for 7 days during habitual life.

Results: One-hundred forty-three patients with T2DM were recruited (59% males; age: 60.9 ± 10.5 years; BMI: $31.2 \pm 5.2 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$; HbA1c: $7.4 \pm 1.2\%$). Intraclass correlation coefficients [95%CI] for repeated administration (n=126) were 0.74 [0.61–0.83] for total physical activity, 0.72 [0.57–0.82] for walking, and 0.65 [0.51–0.78] for sitting time. Total physical activity and walking ($\text{MET}\cdot\text{min}\cdot\text{week}^{-1}$) correlated with daily steps (Spearman $r=0.24$ and $r=0.23$, respectively, $p<0.05$). Sitting time ($\text{min}\cdot\text{week}^{-1}$) correlated negatively with daily steps in women ($r=-0.33$; $p<0.05$).

Conclusion: Our French version of the IPAQ-L appears reliable to assess habitual physical activity and sedentary time in patients with T2DM, confirming previous data in non-clinical populations.

INTRODUCTION

In line with guidelines for the general population, physical activity is recommended in the medical care of patients with type 2 diabetes mellitus (T2DM) (158). Increased physical activity is associated with improved glycemic control (159) and decreased cardiovascular mortality (160, 161) in patients with T2DM. Another important concept is the limitation of sedentary time, which represents the duration of activities that expend very little energy above resting metabolic rate (e.g. sitting or screen viewing) (162).

Improved assessment of physical activity and sedentary time in a free-living environment is needed to better understand the relations between movement and metabolic health, and to measure the effectiveness of interventions (163). Available methods include behavioral observations, questionnaires, physiological markers such as heart rate, calorimetry, and motion sensors (123, 164). Questionnaires are unique in that they provide information on the context in which physical activity is performed (165).

There is observational evidence that physical activity in patients with T2DM is lower compared than in healthy populations. Self-reported data indicate that the majority of patients with T2DM do not engage in regular physical activity, with a rate significantly below national norms (166). Consistent data have also been obtained with pedometry (167). There is also experimental evidence that patients with T2DM perceive a harder effort during exercise than non diabetic subjects (168). Although this justifies specific validation, few questionnaires have been tested in subjects with T2DM. A significant correlation between daily steps in patients with T2DM and the physical activity scale of the short-form-36 was documented (169).

One questionnaire made available in recent years is the IPAQ (International Physical Activity Questionnaire) (68). This questionnaire was developed so that it could be translated and adapted to various cultural settings (68). The long version of the IPAQ (IPAQ-L) is a last 7-day recall questionnaire assessing domain specific physical activity (at work, in leisure, doing chores, for transport) and sedentary time (sitting time and time travelling in a motor vehicle). Since the original development work in a general population 18–65 years of age (68), there have been many studies replicating reliability and validity testing of the IPAQ-L in specific populations and minority subgroups (68, 170-174) using pedometry (173, 175, 176), accelerometry (68, 170, 171, 174, 177, 178), or measurement of cardiorespiratory fitness

(172, 178). Apart from one study (172), significant intra class coefficients (ICC) were reported (0.26–0.55).

With the aim of having an instrument available for physical activity assessment in patients with T2DM, the objective of the present study was to investigate the reproducibility and validity of a French version of the IPAQ-L in such patients.

METHODS

The long version of the IPAQ

The IPAQ-L comprises 27 items and investigates four physical activity domains (work, leisure, chores, transport) as well as time spent sitting as a proxy for sedentary behavior (14). Physical activity is reported as a continuous score, by domain, by intensity of physical activity (moderate or vigorous), or for walking. Physical activity energy expenditure is calculated according to the following formula (in MET-min·week⁻¹): number of days spent doing the activity x average duration of the activity per day x energy cost of the activity. The energy cost of an activity is expressed in MET (Metabolic Equivalent Task). A MET is the ratio of the energy expenditure during a given activity divided by the resting energy expenditure (6). The following MET values were drawn from the scoring protocol: 3.3 for walking, 4 for moderate intensity physical activity, 8.0 for vigorous physical activity, 6.0 for cycling, 5.5 for vigorous physical activity in the garden or yard, and 3.0 for domestic activities (179).

Three levels of physical activity are proposed in a categorical score: (i) low (category 1) level: individuals who have not met the criteria for categories 2 or 3; (ii) moderate (category 2) level: any one of the following three criteria: ≥ 3 days of vigorous activity of at least 20 min·day⁻¹, or ≥ 5 days of moderate-intensity activity or walking of at least 30 min·day⁻¹, or ≥ 5 days of any combination of walking, moderate-intensity or vigorous intensity activities achieving at least 600 MET-min·week⁻¹; (iii) high (category 3) level: this is reached with any of the following two criteria: vigorous-intensity activity on at least 3 days and accumulating at least 1500 MET-min·week⁻¹, or ≥ 7 days of any combination of walking, moderate-intensity or vigorous intensity activities achieving a minimum of 3000 MET-min·week⁻¹.

French translation

The IPAQ-L was translated into French and adapted following guidelines provided by the IPAQ committee. The IPAQ-L was translated from the English version by two independent translators, in order to obtain a consensual version. This first French version was back translated into English by two native English speaking translators, and the second English version was compared with the original English version to check that the meaning of the questions remained the same. A pilot testing of the French IPAQ-L (in 20 patients with T2DM from Tours Hospital including low and middle education levels or social class) was performed to improve the wording to obtain the final version. Pilot testing led to minor alterations in the wording of questions (mainly syntax changes) without any alteration in meaning. The final version of the questionnaire is available at www.ipaq.ki.se.

Study design

This prospective observational study was carried out between April 2008 and December 2008 in 143 patients with T2DM without cognitive impairment and able to walk at least 100 m. Patients had one visit and two phone calls 1 week apart.

Patient management / assessments

Initial visit

During the initial visit, data collected from medical records included: age, sex, measured weight, height, waist circumference, duration of diabetes since diagnosis, last glycated hemoglobin (HbA1c) value, and treatment taken (oral antidiabetic drugs and/or insulin). Each patient was provided with a pedometer (model ix034327, 45 x 35 x 20 mm, attached to the hip with a belt clip) and with a diary so that they could record the number of steps walked each day. Nurses specialized in diabetology showed the patients how to operate the pedometer and made the telephone appointments with the patient. They also tested the accuracy of the pedometers against steps counted by direct observation during a walking trial. A recording between 90% and 100% of the directly observed number of steps was required to start the study. The pedometer was worn during waking hours. No specific physical activity counseling was given.

First phone call

Included patients were contacted by phone for the first administration of the IPAQ-L by a research assistant on the evening of the day of their hospital visit. The use of the pedometer began the next day, with the patient recording the number of steps in his/her diary every day.

Second phone call

After 7 consecutive days of recording, the patient was contacted by phone again to collect the pedometer data and to carry out the second administration of the IPAQ-L. The research assistant also asked whether physical activity during the week preceding the first IPAQ-L administration had been very different from physical activity during the week preceding the second (e.g. working week versus holidays). If the answer was yes, the case was removed from the reproducibility analysis.

Ethical issues

The study was approved by the local ethics committee to be carried out within the usual care of subjects with T2DM followed as outpatients at the diabetes clinic.

Statistics

The data are presented as means $\pm$ standard deviation (SD) and as median and interquartile range for normally and non-normally distributed data, respectively. The first and second IPAQ-Ls were compared to assess reproducibility. The second IPAQ-L and pedometry data (pertaining to the same time period for physical activity assessment) were compared to assess concurrent validity. Reproducibility was studied with the intraclass correlation coefficient (ICC). The 95% confidence intervals (95%CI) of the ICC were estimated by bootstrap analysis (180). Reproducibility was also assessed using the Kappa coefficient for classification of physical activity into categories 1, 2 or 3 (181). The Kappa coefficient ranges from -1 (total discordance) to a possible maximum value of 1 (perfect agreement). If “*I do not know*” or “*refused*” were coded in any of the IPAQ-L items, the subject was removed from the analysis, as recommended (179). Concurrent validity was studied with the Spearman correlation coefficient between the mean number of daily steps (pedometry), total physical activity ($\text{min}\cdot\text{week}^{-1}$ and $\text{MET}\cdot\text{min}\cdot\text{week}^{-1}$), walking ($\text{MET}\cdot\text{min}\cdot\text{week}^{-1}$), sitting time ($\text{min}\cdot\text{week}^{-1}$), and transport duration ($\text{min}\cdot\text{week}^{-1}$). A minimum of 4 days of pedometry was required for the correlation analysis. Sub-group analyses were

performed according to gender, age, and whether or not subjects had a job or did any unpaid work outside their home.

All analyses were carried out with SAS software (Version 9.1 of SAS system for Windows; SAS Institute Inc., Cary, NC).

RESULTS

One-hundred forty three patients were included. Their characteristics are shown in Table 1. Two subjects did not take part in the study of concurrent validity because they wore the pedometer for less than 4 days. One-hundred twenty-six patients took part in the analysis of reproducibility. Among the 17 participants who did not take part in this analysis, two answered only the second questionnaire, and the others declared they had very different activities during the 2 weeks investigated by the first and second IPAQ-L. Table 2 shows the results of the administrations of the IPAQ-L.

Table 3 shows the distribution of daily steps walked in categories 1, 2, and 3 of the IPAQ-L (drawn from the second administration of the questionnaire). Most patients were classified as very active (category 3) by the IPAQ-L, and only a small proportion was regarded as inactive (category 1). Whereas most patients who walked at least 10 000 steps·day⁻¹ were classified in category 3 of the IPAQ-L, this category also comprised patients who walked less than 10 000 steps·day⁻¹. Whereas 31/52 patients >65 years of age (58/87 patients <65 years of age) were classified in category 3 of the IPAQ, only 3/31 (22/58 patients <65 years of age) walked over 10 000 steps·day⁻¹.

Table 4 shows the results of the reproducibility analysis. The Kappa coefficient between the two administrations of the IPAQ-L for classifying physical activity into category 1, 2, or 3 was 0.55 [95%CI: 0.46–0.73].

Table 5 shows the correlations between pedometry and the IPAQ-L. Total physical activity and walking (MET·min·week⁻¹) measured by the IPAQ-L correlated positively with pedometry (steps·day⁻¹) in the whole population. Sitting time and duration of motorized transport both correlated negatively with pedometry in the following subgroups: women and subjects declaring no job/unpaid work outside home. There was no correlation between total physical activity score (MET·min·week⁻¹) and body mass index (BMI) ($r=0.05$; $P=0.5$).

DISCUSSION

The French translation of the IPAQ-L had acceptable reproducibility and concurrent validity when compared to pedometry in patients with T2DM. The mean of 7110 steps·day⁻¹ observed in our study is consistent with the calculated mean value of 6342 steps·day⁻¹ from previous studies using waist-mounted instruments in patients with T2DM (182).

The median values for total physical activity were 3705 and 3623 MET·min·week⁻¹ for the first and second administrations of the IPAQ-L, respectively. Although no comparison is available in patients with T2DM. These results are similar to the 3120 MET·min·week⁻¹ found in healthy adults with the Swedish IPAQ-L (178).

The IPAQ-L appears to be reproducible for all intensities of physical activity, with an ICC of 0.74 for total physical activity. This is within the range of values for the original validation of the IPAQ-L (0.46 to 0.96) (68). The IPAQ-L was found to be reproducible in the work, domestic, leisure, and sedentary domains (ICC 0.54–0.73). Only two previous studies reported reproducibility in each of these physical activity domains (174, 177).

The concurrent validity of the IPAQ-L has previously been examined against accelerometry (68, 170, 171, 174, 177, 178), pedometry (173, 175, 176) (Table 6), or cardiorespiratory fitness (172). The correlation found in our study against pedometry for concurrent validity of the IPAQ-L (total physical activity $r=0.24$) is in accordance with the correlations obtained against accelerometry in healthy subjects by Craig *et al.* ($r=-0.27$ to 0.61 for total physical activity, with a pooled $r=0.33$ [95%CI: 0.23–0.36] (68), and Vandelanotte *et al.* ($r=0.38$) (174).

In the present study, there was no significant correlation between total physical activity or walking and pedometry in patients >65 years of age. This could be a limitation of the questionnaire in this age-range, but a lack of statistical power cannot be ruled out. This also raises the question of the translation between self-declared physical activity and number of steps. Whereas 30 min of moderate-intensity walking translates to approximately 3000 steps in young and ostensibly healthy subjects in laboratory conditions (30), comparable data are not available for the elderly.

We did not study the concurrent validity of the IPAQ-L within each domain. Two studies showed positive correlations between physical activity at work and daily steps ($r=0.24$) (175), or physical activity diaries ($r=0.64$) (178). On the other hand, no correlation between physical

activity at work and accelerometry was found in another study with smaller sample size ($n=53$) (174). A positive correlation between leisure-time physical activity and the reference method ($r=0.20$ to 0.63) was also documented in these studies (174, 175, 178). The concurrent validity for domestic physical activity is more prone to controversy. Indeed, the validity was confirmed in a one study ($r=0.47$) (178) but not in a population of 1239 people (175). However, the latter study was the only one to use pedometry.

In contrast to accelerometry, pedometry does not allow direct measurement of sedentary time. Nevertheless, sitting time and duration of motorized transport both correlated negatively with pedometry in the subgroups of women and subjects declaring no job/unpaid work outside the home. Consistent with our results, negative correlations between pedometry and sitting time evaluated by the IPAQ-L have already been documented (173, 175). These results are different from other reports: De Cocker *et al.* found a weak positive correlation between sitting time and pedometry ($r=0.18$) (175), and a higher correlation versus accelerometry was reported in the study of Vandelanotte *et al.* ($r=0.50$) (174).

Two explanations are possible for the surprising finding that IPAQ-L category 3 had a similar number of subjects with <5000 and $>10\,000$ steps $\cdot$ day $^{-1}$. First, over-reporting is an inherent limitation of validity when using physical activity questionnaires (65), especially in obese subjects (125). It is also possible that patients with T2DM bias their reported physical activity to appear compliant with recommendations for diabetes control. Second, physical activity can be underestimated by pedometry, when activities do not involve any walking (swimming, cycling, or static activities with upper limb movements). Of note, when compared with patients <65 years of age, patients >65 years of age were more frequently classified in IPAQ category 3 despite recordings below $10\,000$ steps $\cdot$ day $^{-1}$. This raises the important issue of knowing how the self-declared physical activity translates into MET values in older adults.

Shortness of breath and perceived exhaustion may appear at lower MET values (i.e. less movement and fewer steps in older subjects). This would be responsible for an overestimation of physical activity with the IPAQ. This is consistent with the finding that accelerometry threshold counts for vigorous physical activity are lower in middle-aged to old adult patients with T2DM when compared to younger healthy subjects (183).

There are several limitations to this study. Pedometers do not measure the metabolic cost of physical activity that is supposed to be assessed by the IPAQ-L. Whereas pedometry is an objective tool, able to give acceptable evaluations of walking and moderate intensity physical

activity , it underestimates vigorous physical activity and does not measure physical activity associated with upper limb movement or isometric exercises (123). In addition, there are situations, such as water-based activities, where pedometry cannot be used. Recruitment of patients with T2DM through outpatient hospital care could have selected a non-representative sample of the French diabetic population. However, apart from age (four years younger), the overall features (sex ratio, BMI, HbA1c) were similar to those reported in patients with T2DM from the French ENTRED survey 2007–2010 (184). A limitation for objective data collection in our study is the fact that patients were not blinded to pedometry data (pedometers were not sealed) and recorded step data themselves. From a recent review, it seems that most published pedometry-related studies do not use sealed pedometers (182).

In conclusion, this study shows that the French version of the IPAQ-L is reproducible and valid for the evaluation of physical activity in French adults with T2DM. This justifies its continued use in physical activity observational studies.

Table 1: Characteristics of the study participants

	Men	Women	Total
n (%)	85 (59.4)	58 (40.6)	143
Age (years)	61.3 ± 10.1	60.3 ± 11.1	60.9 ± 10.5
Having a job or doing any unpaid work outside home, n (%)	30 (35.3)	13 (22.4)	43 (30.1)
BMI (kg·m ⁻²)	31.0 ± 4.8	31.4 ± 5.7	31.2 ± 5.2
Waist circumference (cm)	110.8 ± 11.8	105.5 ± 14.0	108.7 ± 12.9
Years since diagnosis	10.9 (3–16)	9.0 (5–16)	10.0 (4–16)
Glycated hemoglobin (%)	7.3 ± 1.3	7.4 ± 1.1	7.4 ± 1.2
Treatment, n (%)			
Oral	43 (50.6)	34 (58.6)	77 (53.8)
Insulin	11 (12.9)	7 (12.1)	18 (12.6)
Oral and insulin	31 (36.5)	17 (29.3)	48 (33.6)
Daily steps (Q1-Q3)*	7002 (4156–10012)	7386 (5083–9922)	7110(4364–9973)

*141 subjects with valid recordings

BMI: body mass index.

Data are means ± standard deviation unless otherwise specified.

Years since diagnosis and daily steps are median values and quartiles.

Table 2: Results of the first and second administration of the IPAQ-L

		N	Median	Q1	Q3
1 st IPAQ Categories 1: n=7 2: n=46 3: n=82	Physical activity (MET·min·week ⁻¹)				
	Total	135	3705	1893	6572
	Vigorous	139	330	0	2640
	Moderate	139	1080	540	2400
	Walking	138	1048	462	2079
	Work	139	0	0	0
	Domestic	139	1260	375	3180
	Leisure	140	693	154	1386
	Transport	140	396	116	815
	Physical activity (min·week ⁻¹)				
	Total	135	930	540	1665
	Sitting time (min·week ⁻¹)	139	1620	1050	2100
2 nd IPAQ Categories 1: n=7 2: n=45 3: n=89	Physical activity (MET·min·week ⁻¹)				
	Total	141	3623	1953	6813
	Vigorous	142	289	0	1320
	Moderate	142	1195	480	1980
	Walking	142	1304	578	2970
	Work	143	0	0	0
	Domestic	143	1200	360	2250
	Leisure	142	693	198	1422
	Transport	140	396	116	815
	Physical activity (min·week ⁻¹)				
	Total	141	945	540	1695

Data are median values and quartiles (Q1 and Q3).

The initial number of patients studied was 143. For each line, observations are missing because of incomplete data collection (i.e. subjects who did not answer one or several items of the IPAQ).

Table 3: Distribution of daily steps according to IPAQ-L category

	IPAQ category (second IPAQ)			Total
	1	2	3	
Steps/day <5000	2 (1.4%)	17 (12.2%)	23 (16.5%)	42 (30.2%)
Steps/day 5000–10 000	4 (2.9%)	18 (12.9%)	41 (29.5%)	63 (45.3%)
Steps/day >10 000	1 (0.7%)	8 (5.8%)	25 (18.0%)	34 (24.5%)
Total	7 (5.0%)	43 (30.9%)	89 (64.0%)	139 (100.0%)

There are two missing observations for the steps/day variable (two subjects did not wear the pedometer as required). There are two missing observations for the IPAQ category variable (two subjects had an incomplete questionnaire that did not allow for calculation of total physical activity score).

Table 4: Reproducibility between the first and second IPAQ-L

	n	ICC (95%CI)
Total activity	119	0.74 (0.61–0.83)
Vigorous activity	123	0.44 (0.21–0.65)
Moderate activity	124	0.67 (0.50–0.79)
Walking	122	0.72 (0.57–0.82)
Work	124	0.73 (0.57–0.85)
Transport	125	0.55 (0.23–0.77)
Domestic	124	0.54 (0.34–0.73)
Leisure	124	0.60 (0.43–0.72)
Sitting time	123	0.65 (0.51–0.78)

ICC: intraclass correlation coefficient; CI: confidence interval.

All activity is recorded as MET·min·week⁻¹, except for sitting time (min·week⁻¹).

Table 5: Correlation between pedometry (daily steps) and IPAQ-L

	n	Total activity (min·week ⁻¹)	Total activity (MET- min·week ⁻¹)	Walking (MET- min·week ⁻¹)	Sitting time (min·week ⁻¹)	Motorized transports (min·week ⁻¹)
All	141	0.24 (0.08–0.39)	0.24 (0.08–0.39)	0.23 (0.06–0.38)	-0.14 (-0.30–0.02)	-0.07 (-0.23–0.09)
Men	84	0.24 (0.02–0.43)	0.26 (0.04–0.45)	0.21 (0.00–0.41)	-0.03 (-0.24–0.19)	0.18 (-0.03–0.38)
Women	57	0.25 (-0.01–0.48)	0.23 (-0.03–0.47)	0.27 (0.01–0.50)	-0.33 (-0.54– -0.07)	-0.53 (-0.70– -0.31)
<65 years	88	0.24 (0.03–0.43)	0.24 (0.03–0.43)	0.25 (0.04–0.44)	-0.16 (-0.36–0.05)	-0.07 (-0.27–0.15)
>65 years	53	0.21 (-0.06–0.46)	0.23 (-0.05–0.47)	0.15 (-0.12–0.41)	-0.24 (-0.48–0.04)	-0.27 (-0.51–0.00)
Having a job or doing any unpaid work outside home	43	0.20 (-0.11–0.47)	0.20 (-0.11–0.47)	0.21 (-0.10–0.48)	-0.29 (-0.55–0.01)	-0.11 (-0.40–0.20)
No job/unpaid work outside home	98	0.20 (0.00–0.39)	0.20 (0.00–0.39)	0.17 (-0.03–0.36)	-0.24 (-0.42– -0.04)	-0.21 (-0.39– -0.01)

Data are Spearman correlation coefficients and 95% confidence intervals.

Table 6: Previous studies comparing the reproducibility and concurrent validity of the IPAQ-L with pedometry as the reference method

Author, year (reference)	Population	Reproducibility (intraclass coefficients)	Validity (intraclass coefficients)		
			Total physical activity	Walking	Sitting time
De Cocker <i>et al.</i> , 2009 (176)	310 Belgian adults	NR	0.37	0.19	NR
De Cocker <i>et al.</i> , 2007 (175)	1239 Belgian adults (25–75-years-old)	NR	NR	0.20 ($P<.001$)	-0.15 ($P<.001$)
Schmidt <i>et al.</i> , 2008 (173)	1631 Australian adults (26–36-years-old)	NR	M 0.38 W 0.28 ($P<.05$)	M 0.28 W 0.26 ($P<.05$)	M -0.40 W -0.19 ($P<.05$)
Gauthier <i>et al.</i> , 2009 (177)	34 French speaking Canadian adults (20–63-years-old)	Total physical activity 0.93 ($P<.01$)	0.66 ($P<.01$)	0.49 ($P<.01$)	- 0.43 ($P<.01$)

NR: not reported; M: men; W: women.

2.3. Présentation de l'article 3

David Jacobi, Marie-Aline Charles, Muriel Tafflet, Agnès Lommez, Jean-Michel Borys, Jean-Michel Oppert. Relationships of self-reported physical activity domains with accelerometry recordings in French adults. **European Journal of Epidemiology**. 2009;24(4):171-9

- **Introduction**

L'objectif de ces analyses était d'étudier les relations entre les données auto rapportées d'activité physique par domaine (loisir, professionnel, autre) avec l'activité physique et la sédentarité telles que mesurées objectivement par accélérométrie.

- **Matériels et méthodes**

Nous avons sélectionné dans une communauté du nord de la France des personnes avec un niveau d'activité physique faible défini par le tertile le plus bas d'un questionnaire d'activité physique de dépistage. Cent soixante adultes (37% d'hommes, âge : $41,0 \pm 10,8$ ans, IMC : $25,1 \pm 4,1 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$) ont ensuite complété le *Modifiable Activity Questionnaire*, et ont porté un accéléromètre (Actigraph) pendant sept jours consécutifs. Les relations entre les domaines d'activité explorés par le questionnaire (loisir, professionnel et 'non-professionnel non-loisir') et les mesures par accéléromètre (activité totale et sédentarité définie par la durée d'enregistrement sous le seuil de $100 \text{ coups}\cdot\text{min}^{-1}$) ont été étudiées avec le coefficient de corrélation de Spearman.

- **Résultats**

Dans cette population le contributeur le plus important à l'activité physique déclarée ($\text{h}\cdot\text{semaine}^{-1}$) était l'activité physique professionnelle. La durée de l'activité physique 'non-professionnelle non-loisir' arrivait en deuxième position chez les femmes et en troisième chez les hommes. Les activités 'non-professionnelles non-loisir' principales étaient 'faire les courses' et les tâches ménagères. Chez les femmes, les activités 'non-professionnelles non-loisir' contribuaient plus à la dépense énergétique totale que l'activité professionnelle ou de loisir (médiane : 18,0, 9,1 et 4,9 $\text{MET}\cdot\text{h}\cdot\text{semaine}^{-1}$, respectivement). L'activité totale par accélérométrie ($\text{coup}\cdot\text{jour}^{-1}$) était corrélée à l'activité physique de loisir chez les femmes

($r=0,22$, $P<0,05$) et à l'activité professionnelle ($r=0,43$, $P<0,01$) et totale ($r=0,39$, $P<0,01$) chez les hommes (en MET-h·semaine⁻¹). Il y avait une relation inverse entre la durée de sédentarité mesurée par accélérométrie (h·jour⁻¹) et les activités 'non-professionnelles non-loisir' (MET-h·semaine⁻¹, $r=-0,30$, $P<0,001$).

- **Conclusion**

En conclusion, ces résultats soulignent l'importance de l'évaluation des activités 'non-professionnelles non-loisir' dans l'étude des différents domaines de l'activité physique totale et de la répartition entre activité et sédentarité.

Relationships of self-reported physical activity domains with accelerometry recordings in French adults

David Jacobi^{1,2}, Marie-Aline Charles³, Muriel Tafflet³, Agnès Lommez⁴, Jean-Michel Borys⁴, Jean-Michel Oppert¹

¹Department of Nutrition, Pitié-Salpêtrière Hospital (AP-HP); Human Nutrition Research Center Ile-de-France (CRNH-IdF), University Pierre et Marie Curie-Paris 6, 83 boulevard de l'Hôpital, 75013 Paris, France

²Department of Internal Medicine and Nutrition, CHRU de Tours, 37044 Tours, France

³INSERM Unit 780, 94807 Villejuif cedex; IFR 69, Villejuif, University Paris-Sud XI, Orsay, France

⁴Fleurbaix-Laventie Association, 62840 Laventie, France

Abstract

Background: The objective was to examine the relationships of self-reported physical activity (PA) by domain (leisure, occupational, other) with PA and sedentary time as measured objectively by accelerometry.

Methods: Subjects were adults with low habitual PA levels from a community in northern France. Among subjects in the lowest tertile of a PA score from a screening questionnaire, 160 (37% males, age: 41.0 ± 10.8 years, BMI: 25.1 ± 4.1 kg·m⁻², mean $\pm$ SD) completed a detailed instrument (Modifiable Activity Questionnaire), and wore an accelerometer (Actigraph) for seven consecutive days. Relationships between questionnaire domains (occupational, leisure, and “non-occupational non-leisure”) and accelerometry measures (total activity and sedentary time) were assessed using Spearman correlation coefficients.

Results: In this population, the highest contributor to total reported PA (h·week⁻¹) was occupational PA. Time spent in non-occupational non-leisure PA ranked second in women and third in men. The most frequent non-occupational non-leisure PA were shopping and household chores. In women, non-occupational non-leisure PA contributed more than occupational or leisure-time PA to total PA energy expenditure (median: 18.0, 9.1, and 4.9 MET·h·week⁻¹, respectively). Total PA by accelerometry (count·day⁻¹) was correlated to leisure-time PA in women ($r=0.22$, $P<0.05$) and to occupational ($r=0.43$, $P<0.01$) and total reported PA ($r=0.39$, $P<0.01$) in men (all in MET·h·week⁻¹). There was an inverse relationship between accelerometry sedentary time (h·day⁻¹) and non-occupational non-leisure PA (MET·h·week⁻¹, $r=-0.30$, $P<0.001$).

Conclusion: These findings indicate the importance of assessing non-occupational non-leisure PA for a better understanding of how individuals partition their time between active or sedentary occupations.

INTRODUCTION

Insufficient daily physical activity (PA) is emerging as an important public health concern (185). It is a modifiable risk factor for chronic diseases such as cardiovascular disease, type 2 diabetes mellitus, and certain types of cancer (6, 115, 186). Public health recommendations stress the benefits of accumulating 30 min or more of at least moderate-

intensity PA on most days of the week (6, 115, 186). In countries from the European Union, data from the Eurobarometer 2002 survey suggest that as much as two thirds of the adult populations are insufficiently active for optimal health benefits (187). In France, a 2005 telephone survey in 8,708 representative subjects (15–74 year), indicated a prevalence of sufficient PA for health benefits of 52.1% in men and 39.5% in women (188). From a public health perspective, the most inactive segments of the population thus represent a large at-risk group.

Another important concept is the limitation of sedentary time (189). Sedentary time represents the duration of occupations that expend very little energy above resting metabolic rate, e.g., sitting, TV viewing, playing video games, reading... Sedentary behavior and low PA levels represent complementary aspects of human movement behavior and are independent risk factors for major chronic diseases such as type 2 diabetes (190) or metabolic disease markers (191).

Public health recommendations emphasize the importance of PA accumulated in the various settings of daily living, including leisure and sports, work, transport, or home (6, 115, 186). As indicated in a recent update (186), activity can be accumulated “from bouts lasting 10 or more min”, which should facilitate incorporation of PA in daily life. There is currently increasing interest in PA performed outside leisure and work (192-199). Previous reports have shown that domestic PA can significantly contribute to the daily PA amount required to confer health benefits (188, 192, 196, 198-201). Higher domestic PA was found associated with lower levels of cardiovascular risk factors in post menopausal women (194). “Non-leisure” PA such as household chores explained most of the associations between cardiovascular disease mortality and PA in Canadian women (199). However, the contribution of non-occupational non leisure PA to total PA in different settings and populations remains insufficiently defined.

Questionnaires, and increasingly motion sensors, are used for assessment of habitual PA and sedentary behavior at population level (164, 202). Only questionnaires can provide contextual information on different PA domains such as occupational, leisure, transportation, and domestic PA. Motion sensors such as accelerometers provide objective data on PA intensity, frequency, and duration (75, 164, 202). Accelerometers also give objective information at the lower end of the activity spectrum and specific cut-offs have been proposed as a measure of sedentary time (203). Therefore, the combined use of self-report and objective

methods allows for better understanding of the characteristics of PA and sedentary behaviors. The relation of non occupational non-leisure PA to accelerometry recordings is, however, unknown.

In this study, we used a population-based dataset on PA behavior and sedentary time obtained with both questionnaire and accelerometer in French adults with low habitual PA levels. First, we describe in these subjects the contribution of non-occupational non-leisure PA to total PA. Second, we report the cross-sectional relationships of the different PA domains (occupational, leisure, and non-occupational non-leisure) as assessed by questionnaire with objective measures of total PA and sedentary time as provided by accelerometry.

METHODS

Setting

The present study is part of a PA intervention project in insufficiently active adults (the ETAP study, French acronym for “Action-study for promotion of physical activity”) developed in the framework of a larger ongoing research project, the *Fleurbaix-Laventie Ville-Santé* (FLVS) study (204). The study included in 2002 a detailed assessment of health status and lifestyle of about 1,500 adults living in two towns in northern France, Fleurbaix and Laventie.

Participants

Adults (n=1,421), aged 18–74 year, from Fleurbaix and Laventie (about 20% of the total population), volunteered to be screened for health status after a call in the local medias. Data collected included self-reported habitual PA. We used the short last-7 day recall International Physical Activity Questionnaire (IPAQ) (68, 205) as a screening tool to identify the least physically active subjects. This instrument consists of seven questions assessing vigorous, moderate intensity, and walking activity in everyday life. We used the sum of [(vigorous PA min·week⁻¹ x 2) + (moderate PA min·week⁻¹) + (walking min·week⁻¹)] as an indicator of total PA (68). Subjects classified in the lowest tertile of this total PA score were considered eligible for the study (n=443). Subjects medically unfit for a PA promotion intervention (i.e.,

reporting either personal history of coronary artery disease, chest pain, peripheral artery disease, respiratory insufficiency, dyspnea at rest, joint pain, or any disease limiting mobility) were not included (n=103). Research assistants then met 340 subjects at their home for additional query and 160 agreed to participate in the study. There was no significant difference in age, sex ratio, BMI, and IPAQ derived data between included subjects and those who refused (data not shown).

Data collection

The study protocol was approved by the regional ethics committee (Lille, France) and all participants gave written informed consent. On the day of inclusion, trained staff administered a detailed PA questionnaire during a face-to-face interview and provided subjects with an accelerometer. The following data had been collected during an earlier visit at home in the framework of the FLVS project: body weight in light clothes to the nearest 0.1 kg using a bipedal bio-electrical impedance device (Tanita TBF 310 model, Tanita, Courbevoie, France), standing height (without shoes) to the nearest cm using a portable stadiometer, educational level (three categories: (1) primary school level, B9 years of education (low); (2) completed C2 years of high school, 10–11 years of education (intermediate); and (3) university studies (high), [11 years of education), and smoking status (former, current, or non smoker).

Modifiable activity questionnaire

We used the French version (67) of the Modifiable Activity Questionnaire to obtain detailed data about habitual PA and sedentary behaviors. The MAQ designed by Kriska *et al.* (66) assesses past-year PA during leisure-time and at work as well as time spent viewing TV/video as a proxy for sedentary behavior. Criterion validity of the MAQ has been assessed against doubly labeled water (206). Eighteen individuals (12 employed) had total energy expenditure (TEE) measured with the doubly labeled water technique and also answered the MAQ. Leisure activity ($\text{MET}\cdot\text{h}\cdot\text{week}^{-1}$) correlated with the ratio TEE/resting metabolic rate ($r=0.56$, $P=0.01$). Occupational activity ($\text{MET}\cdot\text{h}\cdot\text{week}^{-1}$) correlated with the ratio TEE/sleeping metabolic rate ($r=0.52$, $P=0.03$). Test–retest properties have also been assessed by Kriska *et al.* (66). Twenty-nine subjects aged 21–36 year completed the MAQ twice, 1–3 weeks apart. Correlations coefficients (Spearman) ranged from 0.62 to 0.96 for leisure and

occupational activity (66). The questionnaire has been described elsewhere (66, 67, 191, 207). Briefly, for leisure-time PA, subjects were asked to report all activities that had been performed at least 10 times for 10 min each session over the past 12 months. Then, detailed information was collected about the frequency and duration of each activity reported. After multiplying the number of $\text{h}\cdot\text{week}^{-1}$ of each leisure by its estimated metabolic cost (in MET), an energy-expenditure indicator was obtained, expressed in $\text{MET}\cdot\text{h}\cdot\text{week}^{-1}$ of leisure-time PA. A MET is the ratio of the working metabolic rate of an activity divided by the resting metabolic rate (6). MET values were drawn from the compendium published by Ainsworth *et al.* (81). The assessment of occupational PA was based on the number of hours that the individual participated in physically demanding activities during an average workday, for each job held over the past year. The number of hours in each of three categories of occupational PA (light, moderate, and hard) was multiplied by an average group MET value (2, 4, and 7 METs, respectively) and then summed, resulting in a final occupational activity estimate expressed in $\text{MET}\cdot\text{h}\cdot\text{week}^{-1}$. The questionnaire also enquired about the time spent daily at home watching TV/video, playing video games, using a computer, or reading (for leisure). Time spent watching TV/video or playing video games and time spent using a computer were summed in an indicator termed “screen viewing” expressed in $\text{h}\cdot\text{week}^{-1}$.

The original version of the MAQ only explored PA during leisure-time and at work. To also take into account PA unrelated to occupation or leisure and that was carried in, around, or afar the household, subjects were asked to report all “non-occupational non-leisure” PA that had been performed at least 10 times for 10 min each session over the past 12 months. This PA category included mainly shopping, household chores, and work for non-profit association. To collect these additional data, we used the same format as used for the questions in the occupational section of the MAQ.

Accelerometry

Physical activity was objectively assessed using the Actigraph accelerometer (model 7164, Manufacturing Technology, Inc., FL, USA) (106). The Actigraph measures integrated accelerations associated with movement in the vertical plane. The recorded signal is amplified and filtered and results in a subsequent signal that is scored as an “activity count” over a user specified time interval (epoch). Here, 60 s epochs were used. The Actigraph was worn in a nylon pouch secured to a belt at the waistline. Participants were instructed to wear the

Actigraph for seven consecutive days during all waking hours except during water based activities.

In order to analyze meaningful information, only days with at least 8 h of recording time were considered valid. Only participants who had at least 4 days of valid recordings were included in this analysis. The Actigraph data were reduced with custom software developed in-house on SAS program (SAS, version 9.1, SAS Institute Inc., Cary, NC) for this and similar on-going PA research projects (208). Based on previous literature (68, 106, 203), cut-points below $100 \text{ counts} \cdot \text{min}^{-1}$, over $1,952 \text{ counts} \cdot \text{min}^{-1}$, and over $5,724 \text{ counts} \cdot \text{min}^{-1}$, were used to quantify sedentary time, time spent in moderate PA, and time spent in vigorous PA, respectively. The software also identified “bouts” of PA, defined by duration of at least ten consecutive minutes spent in moderate or vigorous PA. As there were missing data due to malfunctioning accelerometers or non-compliance of participants, 141 accelerometer recordings (88%) were included in the present analyses.

Statistical analysis

Data are reported as mean value $\pm$ standard deviation or median $\pm$ inter-quartile range (1st–3rd quartiles: Q1–Q3) for normally and non-normally distributed variables, respectively. Relationships between habitual PA data obtained with the MAQ and the Actigraph were assessed using Spearman correlation coefficients. All analyses were performed using SAS software (SAS, version 9.1, SAS Institute Inc., Cary, NC).

RESULTS

Table 1 shows the characteristics of the study population. Subjects were aged 19–63 years. Employed subjects represented 74.7% of the population (83.3% of men and 69.8% of women). Occupations included “assistant non manual employees” (36.4%), “higher civil servants and executives” (29.5%), “non-manual employees” (26.1%), and “employed and self-employed professionals” (4.5%), “manual workers” (2.3%), “farmers” (1.1%). The “not employed” group (23.1%) included “students” (40.5%), “housewives” (29.7%), “retired” subjects (16.2%), those currently unemployed (5.4%), and those who could not be classified (8.1%).

Table 2 displays past-year habitual PA data as assessed by the MAQ. When expressed in $\text{h}\cdot\text{week}^{-1}$, occupational PA ranked first in both genders. It was followed, in men, by leisure-time PA and, in women, by non-occupational non-leisure PA. When expressed in $\text{MET}\cdot\text{h}\cdot\text{week}^{-1}$, non-occupational non-leisure PA ranked first in women, whereas, in men, occupational PA remained the highest contributor to total PA. Leisure-time PA of moderate intensity represented the major part of total leisure PA in both genders. The most frequently reported leisure-time PA were gardening (reported by 60.3% of men and 37.4% of women), do-it-yourself activities (e.g. interior wall painting, furniture repair...; 58.6% of men and 18.2% of women), walking (51.7% of men and 59.6% of women), swimming (31% of men and 27.3% of women), and cycling (27.6% of men and 25.3% of women). In men, leisure-time PA with the highest durations were do-it-yourself activities, gardening, and walking. In women, leisure-time PA with the highest durations were walking, gardening, and do-it-yourself activities. The most frequently reported non-occupational non-leisure PA were shopping (27.6% of men and 22.4% of women) and household chores (22.4% of men and 59.6% of women).

Table 3 shows daily PA data as measured by the Actigraph. Sedentary time averaged 7 h and 17 min, accounting for about 52.8% of the total daily recording duration. There was only little PA that was registered as being moderate or vigorous. These values were especially low when the criterion for bout PA, i.e., ten consecutive minutes above the threshold for a given intensity of PA, was used. Time spent in moderate PA was similar in men and women. Time spent in vigorous PA, as well as sedentary time, was higher in men than women.

Table 4 lists the correlations between questionnaire domains (occupational, leisure, and “non-occupational non-leisure” PA and “screen viewing” time) and accelerometry (total activity and sedentary time). In women, total PA (in $\text{counts}\cdot\text{day}^{-1}$) was positively associated with total leisure-time PA (in $\text{h}\cdot\text{week}^{-1}$) and moderate intensity leisure-time PA (in $\text{MET}\cdot\text{h}\cdot\text{week}^{-1}$). In men, total PA (in $\text{counts}\cdot\text{day}^{-1}$) was positively associated with occupational and total PA (in $\text{MET}\cdot\text{h}\cdot\text{week}^{-1}$). In all subjects combined, total accelerometry-assessed PA (in $\text{counts}\cdot\text{day}^{-1}$) was also positively associated with total reported PA (in $\text{MET}\cdot\text{h}\cdot\text{week}^{-1}$). In all subjects combined, and in women, accelerometry-measured sedentary time was inversely related with non-occupational non-leisure PA and with total PA (both in $\text{MET}\cdot\text{h}\cdot\text{week}^{-1}$). Accelerometry-measured sedentary time was not significantly related to the reported screen viewing time ($P<0.1$).

DISCUSSION

In this study, we used both self-reported (questionnaire) and objectively measured (accelerometry) data to assess PA and sedentary patterns in an adult population characterized by low activity levels. Our aim was to assess the contribution of different PA domains to total PA and their relationships with accelerometry-measured total PA and sedentary time. In men and women combined, self reported past-year non-occupational non-leisure PA contributed more to total reported PA than leisure-time PA. Non-occupational non-leisure PA was inversely correlated with sedentary time as assessed by accelerometry. The accelerometry counts correlated with moderate intensity leisure-time PA in women, and with occupational PA in men. Of note is the fact that occupational PA was twofold higher in men than in women in this population with low overall and leisure PA levels.

Both counts data and reported time spent in each PA domain confirmed our subjects had low habitual PA level. Field studies of one-week duration with the Actigraph found higher PA levels than those reported herein. In a population of similar age and BMI ($n=185$), Ekelund *et al.* (203) reported total activity of 443 ± 153 and 473 ± 151 counts $\cdot\text{min}^{-1}$ versus 338 ± 139 and 336 ± 100 counts $\cdot\text{min}^{-1}$ in our study, in men and women, respectively. In another population of similar age and BMI, Cooper *et al.* (209) also reported higher counts data than those reported herein. Similarly, previous studies of past-year PA using the MAQ in adults reported higher levels of PA. Participants in the Diabetes Prevention Program (23), who were older and more obese than our study subjects, reported a mean of 16.3 MET $\cdot\text{h}\cdot\text{week}^{-1}$ of leisure-time PA versus 6.1 MET $\cdot\text{h}\cdot\text{week}^{-1}$ in our study. In data derived from the cohort of the French SU.VI.MAX study, obtained from a middle aged population, leisure-time PA was 12 MET $\cdot\text{h}\cdot\text{week}^{-1}$ and occupational PA was 41.5 MET $\cdot\text{h}\cdot\text{week}^{-1}$ versus 6.1 and 15.4 MET $\cdot\text{h}\cdot\text{week}^{-1}$ in the present study, respectively (67).

In this study we investigated PA that was neither occupational nor leisure-time related, a PA domain which we termed “non-occupational non-leisure” PA. This terminology may prevent overlap between PA domains. Indeed some “domestic” activities (e.g. do-it-yourself, gardening) are also considered as “leisure-time” PA. Whereas domestic PA is usually defined as activities carried out only in and around the household (198), the non-occupational non-leisure PA domain encompasses activities that can also be performed away from the household. An example of such activities is shopping, found here to be an important

contributor to this PA domain. However, the contribution of non-occupational non-leisure PA to total reported PA appeared modest, especially in men. It has been previously reported that household PA contributes more to total energy expenditure in women than in men (193). Non-occupational non-leisure PA did not correlate significantly with the objective measure of total PA. In women, although time spent in non-occupational non-leisure PA was much higher than the time spent in leisure time PA, only the latter correlated with the accelerometry measure of total PA. Therefore, these activities could only contribute in a minor way to the total counts despite their prolonged duration. We might have overestimated the true metabolic cost associated with the non-occupational non-leisure PA. In line with this hypothesis, Brooks *et al.* (201) showed that the intensity of self-paced household chores performed by women was lower at home than in a laboratory environment.

We observed that total reported PA correlated with total daily activity counts recorded by the accelerometer. This association was significant in the whole sample population but was more apparent in men. Such a relationship is in line with early validation data by Kriska *et al.* (66) comparing total PA assessed with the MAQ to the Caltrac accelerometer output in Pima Indians. The fact that our population was relatively homogeneous and recruited to have low PA levels may explain in part that the correlation found here was low (Spearman $r=0.18$ for total reported PA in $\text{MET}\cdot\text{h}\cdot\text{week}^{-1}$). Considering PA domains separately, the correlations found by Kriska *et al.* (66) were higher than those reported here (in $\text{MET}\cdot\text{h}\cdot\text{week}^{-1}$, Spearman $r=0.44$ vs. $r=0.09$ for leisure-time PA, and $r=0.41$ vs. $r=0.22$ for occupational PA, respectively). The persistent engagement of the Pima population in physically demanding occupations at the time of the study by Kriska *et al.* (66) may account for the higher correlations observed in this domain.

There was also a consistent pattern of negative relationships between total reported PA and sedentary time as assessed by the accelerometer. This is not in agreement with the notion that subjects with higher PA levels may compensate by increased sedentary periods in other parts of their day (196). More specifically, this relationship appeared to be linked to the non-occupational non-leisure PA domain, as neither leisure-time nor occupational PA were significantly correlated with sedentary time. This suggests the importance of considering PA performed in this context when targeting a decrease in sedentary behavior. Public health recommendations insist on daily living PA as a starting point to exchange sedentary behaviors for active ones (6, 115, 186).

Using accelerometry as an objective measure of PA allowed us to analyze bouts of PA. Based on public health PA recommendations (75, 186), we used a ten consecutive minutes accumulation criteria to define such bouts. Applying this criterion resulted in a tenfold decrease in the mean number of hours spent in moderate or vigorous PA. A change of this magnitude is likely to have a very strong impact in analyses of PA categories and of relationships with health outcomes in future studies. It may therefore be questioned whether such a 10 min criterion is appropriate when analyzing accelerometry data. To our knowledge, there is, however, no consensus on how to extract bouts of PA from the raw activity count data. There are also very few data to which we can compare our results.

Another finding was the discrepancy between self reported and measured PA duration. Noticeably, the duration of reported moderate leisure-time PA was longer than measured moderate intensity bout PA. Although it is specified with the MAQ that only activities performed for at least 10 min are to be reported, it appears that the notion of PA bout derived from self-report and from motion sensors such as accelerometers is very different. Of note, the MAQ in total captured less than half of the time that the accelerometers were worn. Indeed, PA questionnaires appear better suited to investigate moderate and vigorous volitional activities than light intensity activities (65, 202). Since our subjects had low habitual PA levels, this could partly explain the low correlation coefficients observed.

Some limitations to this work may be considered. First, accelerometry did not assess the same time period as recalled by the MAQ. However, both tools aim to assess “habitual PA” and accelerometer recordings in this study spanned over several days, including weekdays and weekends, as recommended (123, 210). Second, as pointed out in a recent review about PA questionnaires validity (211), correlation coefficients may be imprecise if based on few observations and will depend on the degree of between-subject variability in a given population. However, as our population (n=141) was relatively homogenous and recruited to have low PA levels, it is unlikely that the correlations found are exaggerated by high between-subject variability. Third, although waist mounted accelerometers adequately detect dynamic activities (e.g., walking, running), they are less suitable for activities with a more important static component (108) and their validity may vary depending on the population studied. Conversely, recall bias is inherent to self-reported questionnaires and it is known that self-reported measures of PA are likely to contain errors of over reporting (202, 205). In this study, questionnaires were interviewer-administered which may minimize this bias. Finally, study subjects were middle-aged men and women, with low PA levels, living in a semi-urban

environment, which may limit the generalization of the findings to other populations or settings.

In conclusion, our results indicate that non-occupational non-leisure PA makes a more important quantitative contribution to total PA in women compared to men, in adults with low habitual PA levels. The non-occupational non-leisure PA domain is inversely correlated to sedentary time. This gives support to the notion that assessment of non-occupational non-leisure PA will help in understanding how individuals partition their time between active or sedentary behaviors. Such knowledge is much needed in the development of public health initiatives that aim to increase PA while reducing sedentary behaviors.

Table 1: Characteristics of study population

	Men	Women	All
N	59	101	160
Age (yr)	42.6 ± 10.1	40.1 ± 11.1	41.0 ± 10.8
Weight (kg)	80.9 ± 11.6	65.2 ± 11.4	71.0 ± 13.7
Height (cm)	175.9 ± 6.6	163.4 ± 6.2	168.1 ± 8.7
BMI (kg·m ⁻²)	26.1 ± 3.6	24.4 ± 4.3	25.1 ± 4.1
Overweight (BMI ≥ 25 kg·m ⁻²) (n, %)	37 (62.7)	41 (40.6)	78 (48.8)
Obese (BMI ≥ 30 kg·m ⁻²) (n, %)	10 (16.9)	17 (16.8)	27 (16.9)
Current smokers (n, %)	15 (25.4)	11 (10.9)	26 (16.3)
Education (n, %)			
Low (≤ 9 years of education)	16 (30.8)	31 (32.6)	47 (32.0)
Intermediate (10-11 years of education)	4 (7.7)	21 (22.1)	25 (17.0)
High (university studies)	32 (61.5)	43 (45.3)	(51.0)

Data are mean ± SD

Table 2: Questionnaire-assessed (MAQ) past-year habitual physical activity

	Men	Women	All
N	58	99	157
Leisure-time activity			
Total (h·week ⁻¹)	3.8 (1.5;6.9)	1.6 (0.7;2.7)	1.9 (0.9;4.2)
Total (MET·h·week ⁻¹)	11.3 (1.0;22.6)	4.9 (0;10.3)	6.1 (0;15)
Walking for leisure (h·week ⁻¹)	0.2 (0;0.9)	0.3 (0;0.9)	0.3 (0;0.9)
Walking for leisure (MET·h·week ⁻¹)	0.8 (0;2.0)	1.1 (0;3.2)	1.1 (0;3.2)
Moderate (h·week ⁻¹)	1.2 (0.7;2.6)	0.8 (0.4;1.5)	0.9 (0.4;1.7)
Moderate (MET·h·week ⁻¹)	6.2 (3.7;12.5)	3.5 (1.7;7.4)	4.6 (2.3;8.5)
Vigorous (h·week ⁻¹)	0 (0;0)	0 (0;0)	0 (0;0)
Vigorous (MET·h·week ⁻¹)	0 (0;0)	0 (0;0)	0 (0;0)
Occupational activity			
h·week ⁻¹	39 (24;49)	20 (0;34.9)	29.1 (2.9;38.7)
MET·h·week ⁻¹	20 (4.1;51.7)	9.1 (0;38.1)	15.4 (0;40)
Non-occupational non-leisure activity			
h·week ⁻¹	1 (0;6.3)	7.7 (2.5;18.6)	5.2 (1.0;17.0)
MET·h·week ⁻¹	0 (0;8.0)	18 (0;37.4)	8.0 (0;31.0)
Total activity			
MET·h·week ⁻¹	50.0 (30.1;79.9)	47.7 (25.6;81.0)	49.5 (26.6;79.9)
Sedentary time			
Screen viewing (h·week ⁻¹)	16.7 (12.5;25.0)	14.0 (7.0;20.0)	15.0 (9.0;21.0)

Data are median (Q1;Q3)

Table 3: Accelerometry-assessed (Actigraph) measures of physical activity and sedentary time

	Men	Women	All
N	52	89	141
Time worn			
Days	7.1 ± 1.5	6.6 ± 1.3	6.7 ± 1.4
h·d ⁻¹	14.2 ± 1.4	13.5 ± 1.5	13.8 ± 1.5
Total activity			
Counts x 1000·d ⁻¹	285 ± 109	273 ± 89	278 ± 97
Counts·min ⁻¹	338 ± 139	336 ± 100	337 ± 115
Moderate activity (h·week⁻¹)			
Total	3.17 ± 2.39	2.37 ± 1.51	2.67 ± 1.91
If 10 consecutive minutes	0.28 ± 0.48	0.23 ± 0.46	0.25 ± 0.47
Vigorous activity (h·week⁻¹)			
Total	0.13 ± 0.26	0.04 ± 0.17	0.08 ± 0.21
If 10 consecutive minutes	0.07 ± 0.21	0.02 ± 0.15	0.04 ± 0.18
Sedentary time (h·week⁻¹)	55.8 ± 13.3	2898 ± 693	3059 ± 763

Data are mean ± SD

Cut-offs for sedentary, moderate, and vigorous activity were <100 counts/min, ≥1952 and <5724 counts/min, and ≥5724 counts/min, respectively

Table 4: Relationships of physical activity and inactivity from accelerometry measures (Actigraph) with questionnaire data (MAQ)

MAQ	Actigraph					
	Total activity (counts·d ⁻¹)			Sedentary time (h·d ⁻¹)		
	Men	Women	All	Men	Women	All
Leisure-time activity						
Total (h·week ⁻¹)	0.04	0.25*	0.19*	-0.07	-0.08	0.05
Total (MET·h·week ⁻¹)	-0.05	0.18	0.09	0.01	-0.13	0.01
Walking for leisure (h·week ⁻¹)	-0.02	0.16	0.11	-0.04	0.01	-0.01
Walking for leisure (MET·h·week ⁻¹)	-0.02	0.16	0.10	-0.03	0.01	-0.01
Moderate (h·week ⁻¹)	0.04	0.20 ^{\$}	0.14	0.02	-0.04	0.06
Moderate (MET·h·week ⁻¹)	0.03	0.22*	0.14 ^{\$}	0.04	-0.03	0.07
Vigorous (h·week ⁻¹)	-0.15	0.08	-0.02	0.11	0.02	0.10
Vigorous (MET·h·week ⁻¹)	-0.15	0.08	-0.02	0.11	0.02	0.10
Occupational activity						
h·week ⁻¹	0.13	-0.03	0.06	0.04	0.14	0.20*
MET·h·week ⁻¹	0.43**	0.13	0.22**	-0.19	-0.10	-0.08
Non-occupational non-leisure activity						
h·week ⁻¹	-0.08	-0.18	-0.15 ^{\$}	-0.19	0.01	-0.14
MET·h·week ⁻¹	0.01	0.04	0.02	-0.18	-0.26*	-0.30***
Total activity						
MET·h·week ⁻¹	0.39**	0.07	0.18*	-0.25 ^{\$}	-0.28**	-0.25**
Sedentary time						
Screen viewing (h·week ⁻¹)	-0.25	-0.10	-0.13	0.00	0.17	0.14 ^{\$}

Data are Spearman correlation coefficients. \$: p<0.1, *: p<0.05, **: p<0.01, ***: p<0.001

2.4. Présentation de l'article 4

David Jacobi, Agnès Caille, Jean-Michel Borys, Agnès Lommez, Charles Couet, Marie-Aline Charles, Jean-Michel Oppert. FLVS Study Group. Parents-offspring correlations in pedometer-assessed activity. Soumis pour publication

- **Introduction**

L'objectif de ces analyses était d'estimer les corrélations familiales du comportement ambulateur mesuré par podomètres.

- **Matériels et méthodes**

Nous avons mesuré l'activité ambulateur de sujets appartenant à 286 familles nucléaires (283 mères, 237 pères et 631 enfants de 8 à 18 ans) par des enregistrements sur une semaine par podomètres (Yamax Digiwalker DW 450). Les corrélations ont été calculées avec leur IC95% pour plusieurs groupes : coefficients de corrélation de Pearson pour les paires d'époux, coefficient de corrélation intra classe pour les fratries et coefficient de corrélation inter classe pour les paires parents (mères ou pères)-enfants.

- **Résultats**

Les corrélations étaient les plus fortes entre enfants ($r=0,28$, IC 95% : 0,17–0,38). Alors qu'elles étaient pratiquement absentes chez les pères, les corrélations parents-enfants étaient significatives chez les mères ($r=0,21$, IC 95% : 0,12-0,30), et en particulier entre les mères et les filles ($r=0,24$, IC 95% : 0,12-0,36 versus 0,18, IC 95% : 0,05-0,31 pour les fils). Les corrélations étaient systématiquement plus élevées pendant les week-ends par comparaison aux jours de la semaine. Pour les corrélations mères-enfants, les coefficients ne diminuaient pas avec l'augmentation de l'âge de l'enfant ($r=0,17$, IC 95% : 0,00-0,34 chez les 8-11 ans, $r=0,20$, IC 95% : 0,07-0,33 chez les 12-15 ans et $r=0,22$, IC 95% : 0,07-0,36 chez les ≥ 16 ans). Enfin, les corrélations pour les paires d'époux étaient significatives uniquement durant les week-ends ($r=0,14$, IC 95% : 0,01-0,27).

- **Conclusion**

Les données suggèrent que l'activité ambulateur, telle que enregistrée par un podomètre, corrèle à l'intérieur des familles, avec un possible effet maternel. D'autres résultats suggèrent

que ces corrélations restent significatives pendant la transition de l'enfance à l'adolescence. Les données auto déclarées au sein d'une famille posent le problème du risque de corrélation des erreurs de déclaration au sein de la famille. Le podomètre n'est pas sujet à cette erreur. Les corrélations familiales mises en évidence par les analyses présentées ici ne représentent qu'une partie des influences parents-enfants sur le niveau d'activité physique (les parents pouvant par exemple renforcer la pratique de l'activité physique chez l'enfant sans pour autant eux-mêmes faire plus d'activité). Une partie de la ressemblance familiale peut aussi provenir de facteurs génétiques influant le niveau d'activité physique habituel. L'intérêt est ici d'avoir une approche objective de la mesure du comportement 'activité physique' qui est une étape indispensable pour établir la réalité des déterminants de l'activité physique.

Abstract

Background: There is evidence of familial influences on physical activity but few studies have addressed this issue with objective measures. The purpose of this study was to assess familial correlations in pedometer-assessed activity.

Methods: We measured ambulatory activity in 286 French nuclear families (283 mothers, 237 fathers, and 631 children aged 8-18 years) by pedometer recordings (Yamax Digiwalker DW 450) over a week. Correlations were computed with their 95% confidence intervals (CI) for spouse pairs, siblings, mother-offspring, and father-offspring. Data were expressed as steps per day and computed both for the full recording period and separately for weekdays and weekends.

Results: The correlations were the highest between siblings ($r=0.28$, 95%CI: 0.17–0.38). Parent–offspring correlations were significant in mothers ($r=0.21$, 95%CI: 0.12–0.30), especially between mothers and daughters ($r=0.24$, 95%CI: 0.12–0.36 vs. $r=0.18$, 95%CI: 0.05–0.31 for sons), but were almost nonexistent in fathers. Correlations were consistently higher on weekends compared to weekdays. Mother-offspring correlations did not decrease with increasing age of children ($r=0.17$, 95%CI: 0.00–0.34 in 8–11-year-olds, $r=0.20$, 95%CI: 0.07–0.33 in 12–15-year-olds, and $r=0.25$, 95%CI: 0.07–0.39 in ≥ 16 -year-olds). Finally, between-spouse correlations were significant only during weekends ($r=0.14$, 95%CI: 0.01–0.27).

Conclusion: The data suggest that ambulatory activity, as assessed by pedometer recordings, correlates within families, with a possible mother effect. Other results indicate that these correlations remain significant through the transition from childhood to adolescence. Further studies are required to better understand the respective influences of shared activities, parental modeling and support and genetic factors on the familial aggregation of physical activity.

Key words

physical activity; walking; family; child; adolescent; sibling relations

INTRODUCTION

There is evidence to suggest the existence of familial correlates of children and adolescents' physical activity levels (212-214). Possible mechanisms for the similarity between physical activity of parents and their children include the parents acting as role models, sharing of activities by family members, support by active parents of their children participating in physical activity (215). Studies based on different types of relatives also suggest some transmission from parents to their children in terms of physical activity habits (216-219). As reviewed recently, several types of data support a potential role of genetic factors not only for the determination of traits related to training response but also for usual physical activity levels, and emerging evidence suggests potential genomic locations for these genetic influences (220). Interestingly, Joosen *et al.*, who reported the highest heritability levels in habitual physical activity, conducted the only study where physical activity was measured objectively (both by indirect calorimetry and accelerometry) (221).

However, it should be acknowledged that the findings from studies on the relationship between physical activity levels of parents and those of their children have been mixed. In a review of environmental correlates of physical activity in youth, Ferreira *et al.* concluded that despite most studies failing to find any association, fathers appear to be more important role models compared to mothers, especially in childhood, and the physical activity of fathers may be related to their children physical activity regardless of gender, whereas the physical activity of mothers appears to be more often associated with girls' rather than boys' physical activity (213). It should be noted that current knowledge on how physical activity correlates between parents and offspring mainly relies on assessments of physical activity by recall data whether provided by the parents themselves (self-reports and reports for the child) or by children's (perceived' parental physical activity levels) (212-214). More objective methods would be expected to give greater accuracy (163).

Pedometers provide information on ambulatory activity (i.e. walking and running). Walking, as a typical popular and natural moderate-intensity activity, forms the basis of current physical activity recommendations (2). Three cross-sectional studies (222-224) and one longitudinal study (225) focused on family determinants of pedometer-determined steps taken by children. A single study provided concomitant pedometry data for both parents and offspring but did not report on the correlation between these variables (223). By design, the latter four studies were also limited to a short age range of children as recruitment relied on

school grades as opposed to a nuclear family-based recruitment that would have included all siblings within the family. As a result, there are no data available on the evolution of ambulatory activity in offspring from childhood to adolescence and its relationship with ambulatory activity in parents.

Taking advantage of pedometer recordings collected in nuclear families in a French population sample, the aim of this study was to investigate familial aggregation in ambulatory activity by assessing parent-offspring correlations in ambulatory activity under daily life conditions.

METHODS

Population

Nuclear families, defined as family groups consisting of a father and/or mother and their children who share living quarters, were drawn from the Fleurbaix-Laventie Ville-Santé II (FLVS II) study, a prospective study (1999–2001) aimed at identifying determinants of adiposity and its changes over time in families living in two small towns in Northern France, Fleurbaix and Laventie (204, 226). The target population included approximately 1500 adults within 393 families, of which 294 (75%) agreed to participate in the study after an advertisement in the local medias. Children and adolescents were asked to participate in the study along with their parents. The choice of cut-off age (8 years) was related to difficulties of younger children in understanding the requirements of the study for accurate participation.

Research assistants met the participants at their home and collected the following data: body weight in light clothes to the nearest 0.1 kg using a bipedal bio-electrical impedance device (Tanita TBF 310 model; Tanita, Courbevoie, France) and standing height without shoes to the nearest centimeter using a portable stadiometer. Each participant was provided with a pedometer (Yamax Digiwalker DW 450; Japan) and with a diary so that they could record every evening the number of steps walked each day. Research assistants showed the participants how to operate the pedometer, gave oral instructions on how to record the number of steps taken each day in the diary, and made the appointments. The pedometer was worn on the belt during waking hours for 7 consecutive days. Advice was given to both the parents and children to follow their usual physical activity routine. Self-declared past-year leisure-time physical activity (LTPA) was assessed using the Modifiable Activity Questionnaire (MAQ)

administered at the initial visit by trained interviewers. The study protocol was approved by the regional Ethics Committee of Lille, France. All parents gave their written informed consent. Data from the initial visit were used for the present paper.

Statistics

The data are presented as means $\pm$ standard deviation (SD) and as median and interquartile range for normally and non-normally distributed data, respectively. Wilcoxon rank tests were used to compare non-normally distributed number of steps between different categories of individuals. Spearman correlation coefficients were compared with Z test on Z transformed values.

Analysis of familial associations

Four different variables were created for pedometer data: mean number of daily steps over 1 week (≥ 4 days of pedometry recording required for the correlation analysis in accordance with previous recommendations in youth (227) and adults (228)), mean number of daily steps during week-days (≥ 2 days of pedometry recording required for the correlation analysis), mean number of daily steps during weekends (≥ 1 day of pedometry recording required for the correlation analysis), and number of steps taken on Wednesdays (a day in the week when children are off school in France and adolescent attend school for half a day). In order to estimate the correlations, each of these variables was standardized according to age and gender with a z-score (Eliasziv). The z-score is defined by $Z = (x - M_i) / S_i$ with M_i and S_i corresponding to the mean and SD specific to gender and age category of the considered individual. For the offspring, the age categories were defined as follows: 8–11, 12–15, and ≥ 16 -year-old. For the analysis, the participants were grouped as parents, mothers, fathers, offspring, sons, and daughters.

The familial correlations were estimated by intraclass correlation coefficients (CCI), which quantify the degree of resemblance between any two members of the same category of individuals in a family and by interclass correlation coefficient which quantify the degree of resemblance between any two members from different classes of individuals in a family. Higher scores imply a stronger familial resemblance. Spouses' correlations were computed

with Pearson product-moment correlation. Siblings correlations were computed with intraclass correlation coefficient (one way analysis of variance) and 95% confidence interval (CI) according to Searle's method (229). For parent (mother or father)-offspring correlations, interclass correlation coefficients were estimated with the pairwise estimator described by Rosner *et al.* (230). The 95%CI was estimated with a method based on a modification of a Fisher transformation. For all correlation coefficients, negative values were truncated to 0. All analyses were carried out using SAS software (Version 9.1 of SAS system for Windows; SAS Institute Inc., Cary, NC) or R Project for Statistical Computing v2.8.1.

RESULTS

From the initial 294 families (1,168 individuals), eight families were excluded because no pedometry data were available either for the parents or their offspring, thus the final number of families was 286 (1151 individuals). The number of children per family was: one in 53 families (18.5%), two in 142 families (49.7%), three in 75 families (26.2%), four in 11 families (3.9%), and five in 5 families (1.8%). Most families (81.2%) had two parents.

Descriptive characteristics

The characteristics of the study population are shown in Table 1, by gender and by age groups in children. In children, boys took significantly more steps than girls (median 9453 (Q1: 7149; Q3: 11819) vs. 7770 (6168–9567), $p < 0.0001$). There was a consistent decrease in number of steps taken with increasing age (Spearman $r = -0.25$, 95% CI: -0.33 – -0.17). This decrease was more pronounced among boys when compared to girls (boys Spearman $r = -0.29$, 95% CI: -0.39 – -0.18 and girls $r = -0.26$, 95% CI: -0.36 – -0.14 , Z test, $p < 0.0001$). Compared to week days, there was no consistent pattern of variation in the number of steps taken on Wednesdays or during week-end days with differences rarely exceeding $\pm 10\%$. In adults, 68 mothers (24.2%) and 106 fathers (45.5%) were overweight (body mass index (BMI) 25 – $30 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$) and 37 mothers (13.2%) and 27 fathers (11.6%) were obese ($\text{BMI} \geq 30 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$). Fathers were more often employed than mothers and spent more time working outside the home. Fathers walked 9% more steps than mothers during both week days and week-end days ($p = 0.07$ and $p = 0.10$, respectively). In both genders, there were 45% less steps during weekend

days compared to weekdays ($p=0.02$) and only 2–3% more steps during Wednesdays when compared to weekdays ($p=0.90$).

Intrafamily correlations

Table 2 shows the correlations in number of steps per day within the family. Correlations were generally the highest between siblings. Spouse-spouse and parent-offspring correlations were higher during week-ends. Most of the significant parent-offspring correlations were found between mothers and offspring, especially in the mother-daughter pairings. There was a mother effect rather than a same-sex parent effect, and most fathers-offspring correlations were not significant. These correlations generally increased as the offspring age class increased and were higher for daughters when compared to sons.

Table 3 shows the correlation in number of steps per day between mothers and their offspring. Correlations were higher in mothers who were employed, who declared leisure time physical activity above the median of the population, and who declared a weekly walking time above the median. Fathers-offspring correlations were only significant during week-ends for children ≥ 16 -year-old ($ICC=0.19$, 95%CI: 0.02–0.35).

DISCUSSION

The results of the present study analyzing pedometer recordings indicate the presence of familial aggregation of ambulatory activity in a free-living population. Correlations were highest between offspring and lowest in spouse-pairs. Parent-offspring correlations were only significant in mothers, and stronger between mothers and daughters. Higher correlations were found during week-ends. Finally, mother-offspring correlations remained of the same magnitude through the transition from childhood to adolescence.

The correlations between parents and offspring were only significant for mothers. This is not consistent with questionnaire-derived physical activity correlations obtained in a large sample of 2375 nuclear families by Seabra *et al.*: these were 0.12, 0.05, 0.12, and 0.18, for father-son, father-daughter, mother-son, and mother-daughter, respectively (231). Previous literatures shows that fathers appear to be more important role models compared to mothers, especially in childhood (213). However, a recent study using semi-structured interviews

suggested that mothers are more likely than fathers to pair off with one or more children because of complexities of schedules in two-parent households (232). Consistent with this hypothesis of mother-offspring shared activities of daily living, our data show that mothers work fewer hours than fathers. Previous studies have emphasized the interest of detailing contextual information when analyzing pedometer data (233).

Interestingly, although this study does not have a longitudinal design, the cross-sectional data suggest that mother-offspring correlations may remain stable over the transition from childhood to adolescence. This is interesting as shared activities, role modeling, the support of active parents, together with other environmental factors, are likely to vary from childhood to adolescence.

Correlations were generally higher during weekend days compared to weekdays. It is intuitive that family members spend more time together and share more activities during days out of work/school than during working days. Sharing of activities depends on when parents have the opportunity to be present for their offspring's activity, as suggested in previous studies where parents answered a social support questionnaire that was compared to their children's ambulatory activity (222).

Parent-offspring and siblings correlations were higher than spouse-spouse correlations. Spouse-spouse correlations were only present as low during weekends, and could be related to shared activities such as shopping together. Interestingly, the observation of almost no spouse correlation with pedometry is not entirely consistent with previous studies reporting significant spouse correlation coefficients for self-declared exercise behavior ranging from 0.16–0.60 (231). Spouse similarity could result from non-random mating (the phenomenon that the phenotypes of spouses are correlated) and/or a common marital environment. This heterogeneity in results could reflect cohort or cultural differences, unequal sex effects, or the use of different methods for physical activity assessment.

Two previous studies used objective measurements (Caltrac accelerometers) of physical activity in smaller selected samples of families to establish parent-offspring aggregation of physical activity. The data involved younger children (5-9, and 4-7-year-old) than our subjects. Based on analyses of categorical data, Freedson *et al.* used Chi² tests to show that familial resemblance occurred in 67% (father-child) and 73% (mother-child) of the families (234). Moore *et al.* showed that the relative odds ratios of being active for the children of active mothers, or active fathers, or both active parents were 2.0, 3.5, and 5.8, respectively (235).

In accordance with our data, Pérusse *et al.* found ICCs of similar magnitude (0.16 for parent-child pairs and 0.42 for sibling pairs) in 375 nuclear families living in the Quebec City area for habitual physical activity level assessed using a self-reported questionnaire (217). In general, the correlations observed with our pedometer data appear to be of a similar magnitude when compared to other familial outcomes or traits, either behavioral or physiological. Behavioral outcomes such as energy intake have been found to aggregate in families with weak to moderate parent-child correlations ($r=0.20-0.33$) (236, 237). Physiological outcomes such as blood pressure levels (238), weight, height, and BMI ($r=0.29-0.44$ between parents and daughters) (239), and muscular strength and endurance ($0.14 \leq r \leq 0.55$ for parent-child and sibling correlations) (240) also display significant familial aggregation.

Our study has a number of limitations. Pedometers do not assess every aspect of ambulatory behavior. Pedometers cannot measure duration, frequency or intensity of physical activity (i.e. discriminate between steps accumulated in walking or running for instance). Family data are used to document phenotype similarities among family members, such as those shown in parent-offspring correlations and sibling correlations. These correlations, however, reflect a mix of cultural and genetic transmission. The relations found herein may therefore vary strongly in different populations and settings. However, the characteristics of the study population were similar those described elsewhere. First, the mean number of daily steps in children and adolescents was similar to that reported in other studies (241). Second, there was a decrease in ambulatory activity from childhood to adolescence similar to that observed by others at the end of primary school (10–11 years of age) described previously as a pivotal period of change (242, 243). Third, our data are consistent with the well-documented lower activity levels of girls compared to boys (244).

In conclusion, our data give support to the idea that pedometer-assessed activity aggregates within families, with a possible mother effect. These data may help to intervention strategies for the promotion of habitual physical activity at community and family levels. Further studies are required to better understand the respective influences of shared activities and parental modeling and support on the familial aggregation of physical activity.

Table 1: Characteristics of the study population

	Girls (n=313)			Boys (n=318)			Mothers (n=283)	Fathers (n=237)
Age of the children parents (years)	8-11 n=79 (25.2%)	12-15 n=120 (38.3%)	≥16 n=114 (36.4%)	8-11 n=72 (22.7%)	12-15 n=141 (44.5%)	≥16 n=104 (32.8%)	42.4 (4.6)	44.2 (5.1)
Weight (kg)	35 ± 8	50 ± 10	58 ± 9	34 ± 8	52 ± 12	69 ± 12	66 ± 13	81 ± 15
Height (cm)	141 ± 9	161 ± 7	166 ± 6	143 ± 10	164 ± 11	178 ± 6	163 ± 6	176 ± 6
BMI (kg·m ⁻²)	17.3 ± 2.8	19.2 ± 3.0	21.1 ± 3.0	16.4 ± 2.2	19.0 ± 3.1	21.8 ± 3.8	24.8 ± 4.9	25.9 ± 4.2
Leisure time (h·week ⁻¹)	3.38 (2.04-5.65)	3.04 (1.74-4.61)	2.42 (1.27-5.99)	4.43 (2.55-7.59)	5.44 (3.71-10.27)	4.93 (2.08-8.62)	2.32 (1.08-3.79)	3.46 (1.85-5.81)
Walking time (h·week ⁻¹)	0.29 (0-1.08)	0.17 (0-1.38)	0.31 (0-1.85)	0 (0-0.92)	0 (0-0.48)	0 (0-0.72)	0.46 (0-1.38)	0.12 (0-0.81)
Leisure time without walking (h·week ⁻¹)	2.97 (1.31-4.52)	2.24 (1.23-3.71)	1.63 (0.77-3.24)	3.46 (2.16-6.95)	4.94 (3.24-8.07)	4.32 (1.71-7.90)	1.54 (0.46-2.65)	2.77 (1.21-5.19)
Time spent working (h·week ⁻¹)	-	-	-	-	-	-	39.94 (31.95-39.94)	42.10 (39.94-49.93)
Time spent working without time at home (h·week ⁻¹)	-	-	-	-	-	-	27.96 (0-39.11)	39.94 (39.94-49.93)
Employed, n (%)	-	-	-	-	-	-	199 (71.8)	222 (95.3)
Daily steps	8523 ± 2373 8432 (7231-9775)	8722 ± 3559 8475 (6532-9819)	7232 ± 2991 6688 (5038-8440)	11692 ± 4576 11030 (8412-14028)	9852 ± 3695 9508 (7606-11350)	8579 ± 3561 7942 (6473-10519)	7603 ± 2740 7273 (5776-9231)	8298 ± 3237 8091 (5993-9899)
Daily steps (week days)	8845 ± 3041 8631 (7179-10153)	8747 ± 3234 8304 (6604-10081)	7447 ± 3191 7028 (5061-9071)	11355 ± 4530 10900 (8454-14427)	9705 ± 3612 9416 (7347-11476)	8919 ± 3871 7965 (6560-10734)	7700 ± 2886 7403 (5629-9504)	8378 ± 3587 8116 (5704-10143)
Daily steps (weekend days)	8262 ± 4041 7654 (5372-10552)	8878 ± 4954 8045 (5793-10597)	6563 ± 3533 5770 (4460-8218)	12298 ± 6793 10888 (7732-15531)	10113 ± 5217 9239 (6561-12377)	7816 ± 4169 7283 (4659-9436)	7346 ± 3397 6918 (4904-9179)	8009 ± 4091 7474 (5166-9906)
Daily steps (Wednesdays)	8882 ± 4009 8166 (6238-10511)	8297 ± 4120 7277 (5195-11229)	7737 ± 4428 6626 (4609-9670)	10214 ± 5976 10309 (5807-12830)	9201 ± 4561 8784 (5867-12319)	8780 ± 5422 7740 (4606-11041)	7885 ± 3808 7254 (5200-9852)	8601 ± 4417 8018 (5229-10894)

Values are expressed as mean ± standard deviation, or median (Q1, Q3)

Table 2: Walking correlations within the family

Maximal number of subjects in the analysis (maximal number of clusters)	Spouse-spouse n=468 (234)	Siblings n=631 (286)	Mother-offspring n=914 (283)	Father-offspring n=868 (237)
Daily steps	0.05 (0.00–0.18)	0.28 (0.17–0.38)	0.21 (0.12–0.30)	0.01 (0.00–0.12)
Daily steps, Weekdays	0.02 (0.00–0.15)	0.25 (0.14–0.35)	0.15 (0.06–0.24)	0.00 (0.00–0.09)
Daily steps, week-ends	0.14 (0.01–0.27)	0.24 (0.14–0.35)	0.25 (0.15–0.34)	0.05 (0.00–0.15)
Daily steps, Wednesdays	0.06 (0.00–0.20)	0.31 (0.20–0.42)	0.15 (0.04–0.24)	0.02 (0.00–0.13)

Data are correlation coefficients (95%CI) standardized for sex and age. Maximal number of clusters because for each coefficient computation data could be missing

Table 3: Walking correlations between mothers and children

Number of subjects in analysis (number of clusters)	Depending on mother's characteristics						Depending on child's age and sex				
	Employed n=634 (199)	Not employed n=252 (78)	Leisure time physical activity $\geq 2.32 \text{ h} \cdot \text{week}^{-1}$ n=459 (141)	Leisure time physical activity $< 2.32 \text{ h} \cdot \text{week}^{-1}$ n=444 (140)	Walking $\geq 0.46 \text{ h} \cdot \text{week}^{-1}$ n=488 (151)	Walking $< 0.46 \text{ h} \cdot \text{week}^{-1}$ n=415 (130)	8-11 years n=435 (283)	12-15 years n=545 (283)	≥ 16 years n=501 (283)	Daughters n=596 (283)	Sons n=601 (283)
Daily steps	0.24 (0.13–0.35)	0.11 (0.00–0.29)	0.24 (0.10–0.36)	0.18 (0.04–0.31)	0.27 (0.14–0.39)	0.09 (0.00–0.23)	0.17 (0.00–0.33)	0.20 (0.07–0.33)	0.22 (0.07–0.36)	0.24 (0.12–0.36)	0.18 (0.06–0.31)
Daily steps, weekdays	0.17 (0.06–0.28)	0.10 (0.00–0.28)	0.18 (0.05–0.31)	0.11 (0.00–0.24)	0.20 (0.07–0.32)	0.05 (0.00–0.19)	0.08 (0.00–0.24)	0.18 (0.05–0.31)	0.16 (0.01–0.30)	0.20 (0.07–0.32)	0.11 (0.00–0.24)
Daily steps, week-ends	0.29 (0.19–0.39)	0.17 (0.00–0.31)	0.27 (0.14–0.39)	0.19 (0.06–0.32)	0.32 (0.20–0.43)	0.10 (0.00–0.23)	0.21 (0.03–0.37)	0.17 (0.04–0.30)	0.35 (0.21–0.47)	0.23 (0.11–0.35)	0.26 (0.14–0.38)
Daily steps, Wednesdays	0.19 (0.07–0.31)	0.00 (0.00–0.19)	0.21 (0.07–0.35)	0.06 (0.00–0.20)	0.16 (0.02–0.29)	0.10 (0.00–0.25)	0.13 (0.00–0.32)	0.13 (0.00–0.27)	0.18 (0.03–0.33)	0.18 (0.05–0.31)	0.12 (0.00–0.25)

Data are correlation coefficients (95% CI). Data for physical activity during leisure time are from the Modifiable Activity Questionnaire.

QUATRIÈME PARTIE : DISCUSSION ET PERSPECTIVES

1. VALIDITÉ DES OUTILS DE MESURE DE LA DEAP EN CONDITIONS DE VIE COURANTE

Un premier objectif de ce travail de thèse consistait à **préciser la validité des outils de mesure de la DEAP en conditions de vie courante**. Le premier article est une étude de comparaison des estimations de la DEAP par accélérométrie triaxiale avec des mesures de référence de la dépense énergétique. L'intérêt principal était de proposer une comparaison en conditions de vie courante. L'analyse de la variabilité interindividuelle de la différence avec la méthode de référence met certes en évidence l'incapacité des accéléromètres à obtenir une évaluation exacte de la DEAP au niveau individuel, mais l'analyse à l'échelle du groupe donne une approximation paraissant acceptable de la DEAP. Les technologies les plus récentes (RT3 vs. Tritrac-R3D) donnent une meilleure estimation individuelle de la DEAP. Cela pourrait être mis sur le compte d'une meilleure qualité métrologique du RT3 par rapport au Tritrac-R3D mais les études comparatives des données brutes des 2 appareils (comparaison du *vector magnitude* avec la consommation d'oxygène et la fréquence cardiaque lors de la marche sur tapis à diverses vitesses et avec diverses pentes chez des sujets minces) n'ont pas mis en évidence de différence de l'un par rapport à l'autre (146). Il est donc difficile de savoir dans quelle mesure les qualités métrologiques du RT3 contribuent aux différences observées. Néanmoins, même un appareil aux qualités métrologiques parfaites ne pourrait pas donner une estimation exacte de la DEAP étant donné, en particulier, que la part statique de l'activité physique n'est pas prise en compte par l'accéléromètre. Malgré les limites évoquées, l'intérêt de ces moniteurs d'activité physique apparaît ici évident, notamment pour leur objectivité, le niveau de détail (minute par minute) fourni et le peu d'interférence avec le comportement habituel du sujet.

Un **modèle d'étude auquel peut s'appliquer notre travail est représenté par l'activité physique habituelle des personnes chez qui est réalisée une chirurgie bariatrique**. Après chirurgie bariatrique, un enjeu majeur est le maintien de la perte de poids à long terme (245). L'activité physique est reconnue comme un élément essentiel de la prise en charge des personnes obèses (246), mais son importance vis-à-vis de la perte de poids après chirurgie bariatrique est encore mal évaluée. La mesure précise de l'activité physique dans ces populations particulières est importante et passe par le recours à des techniques de mesure

dont la validité doit être vérifiée dans le contexte d'une perte de poids importante, secondaire à la chirurgie.

Dans ce contexte, nous avons réalisé une revue de la littérature visant à décrire l'évolution de l'activité physique après la chirurgie bariatrique et à identifier la relation entre activité physique et perte de poids (247). La recherche systématique de la littérature (de 1990 à mai 2010) a identifié 23 publications (22 études) évaluant l'activité physique dans le contexte de la chirurgie bariatrique. En dehors de deux essais interventionnels, les études étaient observationnelles. Des données déclaratives de l'activité physique ont été utilisées dans 21 études. Les mesures objectives par actimètres ont été utilisées dans trois études seulement. Le moment de l'évaluation était variable : avant l'intervention chirurgicale dans une étude, après l'intervention chirurgicale dans 11 études et évolution pré à postopératoire dans dix études. Parmi ces dernières études, sept montraient une augmentation de l'activité physique après la chirurgie, deux présentaient les résultats de deux techniques de mesure de l'activité physique avec des résultats discordants selon la technique et une était en faveur d'une stabilité. Dans 11 des 13 études où la relation entre le niveau d'activité physique et la perte de poids a été étudiée, celle-ci était positive. Cette revue de la littérature nous a permis de conclure que les données déclaratives suggèrent une augmentation de l'activité physique après chirurgie bariatrique ainsi qu'une association positive entre changement d'activité physique et la perte de poids induite chirurgicalement (figure 8). Les données disponibles ne permettent donc pas de conclure sur le sens du lien de causalité entre perte de poids et augmentation de l'activité physique. Nous avons indiqué que ces données incitaient d'une part à réaliser d'autres évaluations à l'aide de mesures objectives de l'activité physique (pour mieux quantifier les modifications postchirurgicales de l'activité physique) et, d'autre part, à mettre en place des essais contrôlés avec intervention sur l'activité physique (pour mieux comprendre le lien de causalité entre activité physique et perte de poids).

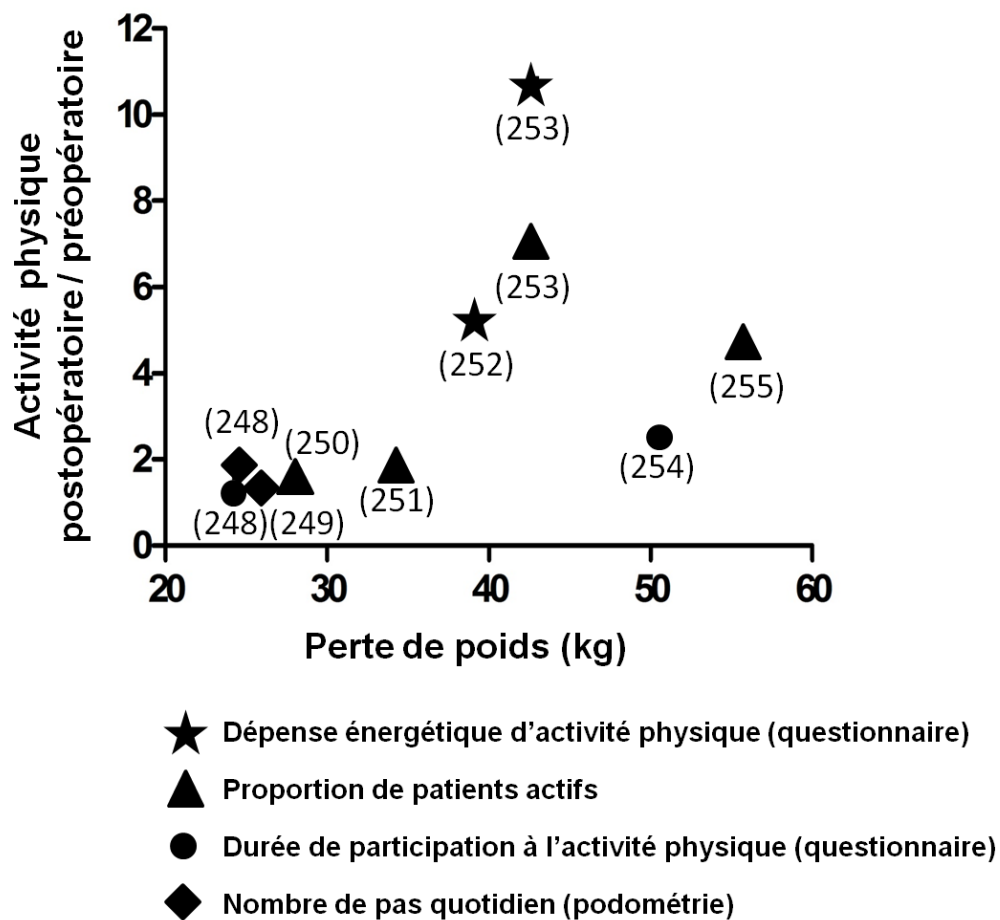


Figure 8 : Perte de poids et augmentation de l'activité physique entre les périodes pré et post chirurgie bariatrique (d'après Jacobi *et al.* (247)).

Les modifications de l'activité physique ont été calculées de la manière suivante : les études avec une évaluation pré et postopératoire pour les groupes chirurgicaux (C) et témoins (T) : $(C_{\text{post}}/C_{\text{pre}}) - (T_{\text{post}}/T_{\text{pre}}) + 1$. Études sans groupe témoin : $C_{\text{post}}/C_{\text{pre}}$. La perte de poids absolue a été obtenue directement des articles ou calculée à partir des données fournies. Les numéros des références sont donnés entre parenthèses à l'intérieur de la figure.

Suite à la publication de notre revue de la littérature, une étude comparant des données déclaratives avec des données d'accélérométrie entre les périodes pré et postopératoire a été publiée (113). Vingt patients de chirurgie bariatrique (65% anneaux gastriques ajustables, 35% *bypass* gastrique, $46,2 \pm 9,8$ ans, 88% de femmes, IMC préopératoire = $50,8 \pm 9,7$ kg·m²) ont porté un accéléromètre RT3 et ont complété le *Paffenbarger Physical Activity Questionnaire* (PPAQ) avant et 6 mois après la chirurgie bariatrique. Le temps passé à faire de l'activité physique (min·semaine⁻¹) d'intensité au moins modérée a été calculé pour le RT3 et le PPAQ. Les données déclaratives ont augmenté d'un facteur 5 entre les périodes pré et postopératoires ($44,6 \pm 80,8$ à $212,3 \pm 212,4$ min·semaine⁻¹ ; $p < 0,005$). En revanche, le RT3 n'a pas montré de modification significative de la durée d'activité physique d'intensité au moins modérée à la fois avec un critère ≥ 1 min ($186,0 \pm 169,0$ à $151,2 \pm 118,3$ min·semaine⁻¹) et avec un critère ≥ 10 min ($41,3 \pm 109,3$ à $39,8 \pm 71,3$ min·semaine⁻¹). En pré opératoire, le pourcentage de participants qui cumulaient ≥ 150 min·semaine⁻¹ d'activité physique d'intensité au moins modérée en séance ≥ 10 min était identique avec le PPAQ et le RT3 (10%). Cependant en postopératoire, 55% des participants atteignaient le même critère avec le PPAQ mais seulement 5% avec les résultats du RT3 ($P = 0,002$).

Cette dernière étude illustre le risque d'obtenir des résultats inexacts lorsque la validité des méthodes de mesure n'est pas vérifiée. Comme dans de nombreuses situations cliniques, notamment chez les personnes obèses (125) et même en population générale, chez les patients opérés d'une chirurgie de l'obésité, un biais de désirabilité peut fausser les données déclaratives (83). La plus grande facilité avec laquelle l'activité physique est réalisée après avoir obtenu une perte de poids pourrait aussi faire surestimer le niveau d'activité physique. De la même manière, il convient d'être prudent avec l'interprétation qui est faite des données des accéléromètres. Il est en effet aussi possible que le RT3 ait sous estimé l'activité postopératoire en raison de modification de la dynamique de la marche en rapport avec la perte de poids ou des différences de position du moniteur après perte de poids. De plus, les seuils de coup·min⁻¹ utilisés pour définir l'activité physique d'intensité au moins modérée étaient dérivés de mesures réalisées chez un groupe d'individus minces (132) et pourraient ne pas être adaptés chez les personnes souffrant d'obésité massive. De fait les auteurs de cette dernière étude auraient pu comparer les *vector magnitude* des mesures avant et après chirurgie pour ne pas ajouter d'erreur liée à la transformation des données brutes en DEAP dans une population (IMC > 50 kg·m²) n'ayant pas fait d'une comparaison spécifique du mouvement mesuré par le RT3 avec la DEAP mesurée par une méthode de référence.

Une manière d'améliorer l'exactitude des mesures est d'utiliser une calibration individuelle des mesures de l'activité physique. Notamment, l'utilisation de la relation entre la fréquence cardiaque et la DEAP permet d'améliorer les résultats. L'association d'une mesure du mouvement à la mesure de la fréquence cardiaque permet de compenser pour les limites de cette dernière (256). Nous avons mis en application ces principes dans une étude de l'activité physique au cours de la phase de maintien de la perte de poids après traitement diététique de l'obésité. Il s'agit d'une étude monocentrique en cours au CHU de Tours (financement : Projet Hospitalier de Recherche Clinique interrégional 2007). La phase de stabilisation pondérale après traitement diététique de l'obésité s'accompagne d'une diminution de l'oxydation lipidique et est le plus souvent suivie d'une phase de rebond. L'exercice de marche a un intérêt potentiel pour prévenir ce rebond notamment grâce à son effet sur l'oxydation lipidique pendant l'exercice. Néanmoins, les modalités optimales de prescription de la marche dans cette situation ne sont pas définies.

L'objectif de l'étude est de déterminer si la pratique de l'exercice de marche après traitement diététique de l'obésité s'accompagne d'une diminution de l'activité physique habituelle (en dehors de l'exercice de marche) mesurée par l'association de mesure par accéléromètre et par moniteur de fréquence cardiaque (Actiheart, CamNtech, Cambridge, UK). Un objectif secondaire est de déterminer si la pratique de l'exercice de marche entraîne une augmentation de l'oxydation lipidique des 24 heures mesurée en chambre calorimétrique pour différents niveaux d'activité physique. L'étude est un essai randomisé. **L'intervention à l'étude** dans le groupe intervention est la pratique de l'exercice de marche à 60% de la réserve de fréquence cardiaque pour un total de DEAP de 2000 kcal·semaine⁻¹. La durée de marche hebdomadaire est calculée à partir des résultats d'un test de marche avec mesure simultanée de la DET et de la fréquence cardiaque. Les sujets, recrutés au CHU de Tours, sont des femmes caucasiennes de 18 à 50 ans, en phase de stabilité pondérale, incluses au décours du traitement diététique d'une obésité (perte de 5 à 20% du poids initial). Le recrutement prévu est de 10 sujets dans chaque groupe soit 20 au total. **Les retombées attendues sont la mise** en évidence des facteurs limitant l'efficacité de l'exercice de marche après réduction pondérale. La connaissance de ces facteurs est nécessaire à l'application durablement efficace d'une intervention par l'exercice visant à réduire les échecs secondaires après réduction pondérale. Les résultats de cette étude pourraient servir à l'élaboration d'un essai d'intervention suivant le même schéma expérimental mais de plus grande envergure et utilisant comme critère de jugement principal l'évolution pondérale.

2. COMPARAISON DES QUESTIONNAIRES ÉVALUANT LE CONTEXTE DE L'ACTIVITÉ PHYSIQUE HABITUELLE AUX MESURES OBJECTIVES DE L'ACTIVITÉ PHYSIQUE

Un second objectif consistait à **étudier comment les questionnaires qui s'appuient sur une évaluation du contexte se comparent aux résultats des méthodes objectives.**

Les questionnaires d'activité physique les plus simples explorent surtout l'activité physique de loisir et seront peut-être mieux corrélés à la capacité cardio-respiratoire qu'à la DEAP (65). Les questionnaires explorant l'ensemble des domaines de pratique de l'activité physique peuvent permettre de réaliser une prédiction de la DEAP. On peut néanmoins questionner leur capacité à évaluer l'activité physique des populations les moins actives qui comprennent peu d'activités physiques volontaires dont la remémoration est plus facile. Dans ces conditions, on peut s'interroger sur **la manière dont les estimations de DEAP de ces questionnaires se comparent avec les mesures objectives.** Les articles n°2 et n°3 se sont intéressés à des populations d'intérêt majeur dans le domaine du risque pour la santé associé à l'inactivité physique : les personnes diabétiques (article n°2) et la fraction la plus sédentaire de la population (article n°3). Bien que s'adressant à une population peu active, on observe dans l'article n°2 que les données issues du IPAQ corrélaient significativement avec les données du podomètre, un outil objectif de mesure de l'activité physique mais aussi un outil de mesure 'clinique' de l'activité physique bénéficiant d'un niveau de preuve élevé en tant qu'outil pour la promotion de l'activité physique (257). L'analyse présentée dans l'article n°3 trouve sa justification initiale dans la description 'avant intervention' d'un groupe de personnes sélectionnées au sein d'une population pour leur faible niveau d'activité physique. L'outil utilisé pour l'étude du contexte de l'activité physique est ici le MAQ. Il s'agit d'un outil important si on considère, par exemple, qu'il a été utilisé dans l'étude du *Diabetes Prevention Program* (23). Il faut noter que dans cette dernière étude, seule l'activité physique de loisir était considérée. Le caractère 'modifiable' du MAQ a permis ici l'étude de l'activité physique en dehors du loisir et de l'activité professionnelle. Malgré cette approche plus globale de l'activité physique habituelle, de la même manière que dans l'article n°2, les corrélations restent faibles entre DEAP totale auto déclarée et mouvement total enregistré par les moniteurs portables (ici des accéléromètres).

On dispose d'études étudiant la validité concurrente des questionnaires pour leur capacité à estimer la dépense énergétique. Une revue récente de la littérature a résumé les résultats de 20 études concernant 23 questionnaires d'activité physique dont la validité concurrente a été évaluée avec la technique de l'eau doublement marquée (211). Les coefficients de corrélation entre la DEAP mesurée (DEAPm) et la DEAP prédite par les questionnaires (DEAPq) allaient de 0,05 à 0,83 (moyenne $\pm$ écart-type : $0,37 \pm 0,21$ pour 19 comparaisons). Pour l'ensemble des études, les questionnaires ne donnaient pas plus de sous-estimations que de surestimations comparés à la DEAPm avec une différence à $1,3 \pm 36,1\%$ (moyenne $\pm$ écart-type). Malgré des évaluations intéressantes à l'échelle des groupes, aucunes des limites de concordance à 95% de la différence moyenne entre la DEAPq et la DEAPm n'étaient sous les $100 \text{ kcal}\cdot\text{j}^{-1}$ (soit 10% si la DEAP vaut $1000 \text{ kcal}\cdot\text{j}^{-1}$). Ceci suggère que les questionnaires sont d'intérêt limité pour estimer la dépense énergétique à l'échelle individuelle. Par ailleurs, il n'y a pas, dans la littérature, de réponse claire à la question de savoir si une investigation plus exhaustive des domaines ou une investigation plus exhaustive des activités selon leur intensité (par exemple prise en compte ou non des activités physiques d'intensité légère) améliore la concordance de la DEAPq avec la DEAPm. Il faut se souvenir que la validité des questionnaires d'activité physique est soumise à l'influence de deux types d'erreurs systématiques : le biais de déclaration, lié aux individus étudiés, avec une surestimation fréquente notamment en situation d'obésité (125) et un biais lié à l'outil de mesure, qui est la non prise en compte de certaines activités qui influent pourtant la DEAP (telles que les activités physiques d'intensité légère).

Un résultat commun des articles n°2 et n°3 est la mise en évidence, à partir des données déclarées, de **la contribution importante de l'activité physique domestique** (article n°2) ou 'non-travail non-loisir' (article n°3) à la DEAP et à la durée totale d'activité physique. Les mesures objectives ne permettent pas ici de vérifier la réalité de l'importance de ces domaines d'activité physique. En effet, les questionnaires utilisés ne précisant pas à quel moment les activités de chaque domaine sont réalisées, il n'est donc pas possible d'étudier leur validité en les comparant avec les mesures concomitantes des accéléromètres. Ces résultats montrent les limites des outils actuels de validation pour montrer la contribution réelle de chaque domaine à la quantité totale d'activité physique. Cette vérification est pourtant justifiée car les sources d'erreurs (défaut de mémorisation, biais de rappel, biais lié à la mauvaise perception de l'intensité réelle de l'activité) sont probablement différentes entre chaque domaine. Il n'y a

pas actuellement de donnée dans la littérature qui permettent de connaître la validité de la mesure des sous-domaines de l'activité physique.

Les années 90 ont vu la création de nombreux questionnaires qui prennent en compte un panel plus exhaustif des domaines de l'activité physique par rapport à leurs prédécesseurs qui prenaient en compte essentiellement l'activité physique professionnelle et/ou de loisir. Les données les plus récentes permettent ainsi de présenter les domaines de l'activité physique en tant que déterminants de la santé. Des études de cohortes publiées récemment se sont intéressées aux associations entre l'activité physique domestique et la mortalité (258-260) ou encore entre l'activité physique de transport et la mortalité (261). La confiance en ces résultats est largement influencée par les biais inhérents aux questionnaires d'activité physique et aux difficultés associées à leur validation. Dans ce contexte il est important d'envisager les perspectives pour la détermination des domaines de l'activité physique et l'analyse de la contribution de chaque domaine à l'activité physique totale.

Le journal est une méthode lourde nécessitant une forte coopération des individus étudiés. Les questionnaires d'activité physique de type rappel sont limités par la capacité des individus interrogés à se souvenir de ce qu'ils ont fait au cours de la période étudiée. Le *Global Positioning System* (GPS) a été évoqué par certains auteurs comme une opportunité de connaître, en combinant un système d'information géographique (SIG), les endroits dans lesquels les individus accumulent de l'activité physique (262-264). Les SIG sont des méthodes et des outils informatiques qui, via différentes sources d'information, permettent l'organisation spatiale et thématique de données et la représentation et l'analyse des résultats selon la localisation géographique. Certains ont couplé le GPS à des moniteurs de fréquence cardiaque (262, 265) ou à l'accélérométrie pour préciser les liens entre localisation géographique/contexte et intensité de l'activité physique (263, 264). Ainsi, un moniteur non encombrant associant une mesure en continu du mouvement et de la géolocalisation intégré dans un SIG donnerait une possibilité de mesure plus exacte du contexte de l'activité physique. Il faut bien noter que de telles perspectives de progrès techniques, loin de supprimer la nécessité de l'interrogatoire des personnes étudiées, pourrait plutôt en déplacer les cibles sur d'autres dimensions (évaluation plus détaillée du contexte de réalisation de l'activité physique, évaluation de la perception de l'environnement et des barrières potentielles à la réalisation de l'activité physique par exemple).

3. INTÉRÊT DES MÉTHODES OBJECTIVES POUR L'ÉTUDE DES DÉTERMINANTS DE L'ACTIVITÉ PHYSIQUE

Un troisième objectif était d'étudier l'intérêt des méthodes objectives pour l'étude de certains déterminants de l'activité physique. L'identification des déterminants de l'activité physique parmi les divers segments de la population est nécessaire pour concevoir et diffuser des programmes de promotion efficaces de l'activité physique (6, 266). Comme l'illustre la figure 9, la mesure de l'activité physique est partie intégrante de ce processus. Les défis concernent l'identification et la quantification des déterminants pour des sous groupes de la population et au cours des différentes étapes de la vie. Parmi les difficultés rencontrées pour identifier les déterminants de l'activité physique et quantifier leur importance, on notera dans les différentes études que les mesures de l'activité physique peuvent être obtenues par différentes techniques et pour différentes populations.

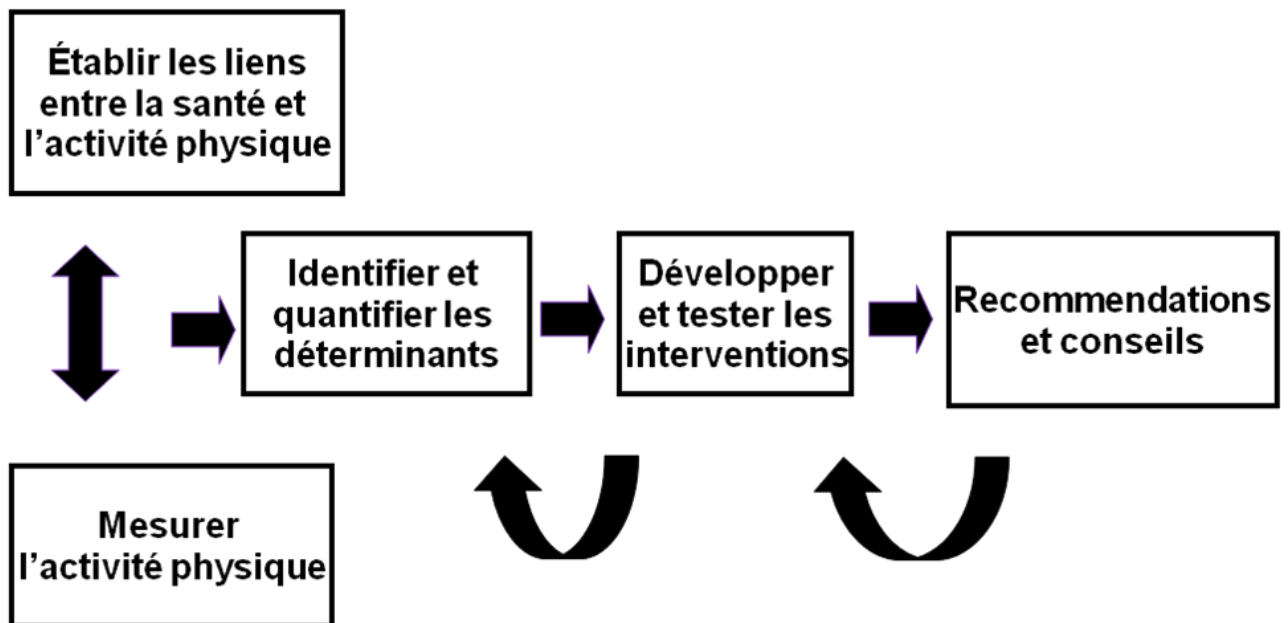


Figure 9 : La mesure de l'activité physique est une étape clé des interventions de promotion de l'activité physique

Les grandes catégories de déterminants sont personnels (psychosociaux, culturels, génétiques) et environnementaux (environnement bâti, espaces verts, équipements sportifs, systèmes de transport, politiques de santé publique et aménagement du territoire, etc.) D'une façon générale, les modèles les plus complets pour l'étude des déterminants de l'activité physique intègrent des modèles « socio-écologiques » du comportement, qui renvoient aux interactions dynamiques entre les individus et leur environnement physique et socioculturel (4, 267). Si des facteurs intra personnels tels que les attitudes, les valeurs, les attentes positives, les capacités et les compétences peuvent être importants au niveau individuel, des facteurs qui touchent l'environnement social et physique sont aussi importants. Une revue récente de la littérature montre sur une période 20 ans que les études des déterminants de l'activité physique utilisent de plus en plus une approche socio-écologique par opposition à l'étude de facteurs intra-personnels (268).

Les études dans des échantillons spécifiques de la population sont une opportunité pour l'utilisation de mesures plus précises de l'activité physique et de ses déterminants. Par exemple, la famille est considérée comme un facteur important influençant l'activité physique de ses membres par une variété de mécanismes (212, 218, 232, 269-272). On peut citer parmi les influences parentales de l'activité physique des enfants, les croyances et attitudes envers l'activité physique qui incluent les encouragements parentaux, le rôle de modèles des parents, la participation et la facilitation via l'aide au transport et le financement des activités ou encore la réalisation d'activité physique avec les enfants (212). Par ailleurs certains déterminants environnementaux, notamment économiques et culturels, exercent leurs influences sur les niveaux d'activité physique via la cellule familiale (213). Enfin, plusieurs types de données sont en faveur du rôle des facteurs génétiques pour la détermination du niveau d'activité physique habituelle (220). Ainsi, la famille est-elle un intégrateur de nombreuses influences sur l'activité physique. Pour toutes ces raisons, il est important de s'intéresser à l'étude des déterminants familiaux de l'activité physique. Une mesure exacte de l'activité physique est indispensable y compris pour les études génétiques utilisant l'activité physique en tant que phénotype quantitatif.

L'article n°4 présente un modèle intéressant pour l'étude d'un aspect des influences familiales sur l'activité physique. En effet, la comparaison d'adultes et d'enfants pose des difficultés méthodologiques spécifiques. Nous discutons ici en quoi les discordances entre les conclusions issues soit de données déclaratives soit de mesures objectives peuvent en partie être issues des choix des méthodes de mesure.

Au regard des avantages et inconvénients des différentes techniques, une attention particulière est nécessaire pour choisir la méthode appropriée pour des applications de recherche spécifiques. En matière d'étude des corrélations familiales de l'activité physique, une **première étape consiste à sélectionner une approche appropriée à la question de recherche**. Comme nous l'avons évoqué en début de ce travail de thèse, au contraire des autres méthodes de mesure de l'activité physique, les mesures déclaratives s'appuient totalement sur la capacité de la personne enquêtée à restituer des informations exactes correspondant à la réalité de ses propres comportements. A cause de difficultés dans l'habilité à penser de manière abstraite et de faire un rappel détaillé, les enfants sont moins capables de fournir des données de rappel exactes par rapport aux adultes (273, 274). Bien que les méthodes auto-déclarées soient encore les principales sources d'information pour beaucoup d'études, d'autres approches peuvent être nécessaires pour mieux caractériser l'activité physique des enfants. Alors que les mesures objectives nécessitent plus de temps et de ressources que les mesures déclaratives, il est plus simple d'appréhender la variable d'exposition par ces méthodes par rapport aux mesures déclaratives. Notamment, dans l'objectif de réaliser une étude d'inter-corrélation de variables d'activité physique entre adultes et enfants, une mesure objective est préférable à une mesure déclarative dont l'exactitude peut largement varier entre parents et enfants. Un autre risque lié aux mesures déclaratives, outre le manque d'exactitude pouvant limiter la capacité à mettre en évidence des relations existantes, est le risque de non prise en compte de variables confondantes dans le rappel de l'activité physique des parents et des enfants. Les méthodes objectives sont exemptes des biais précédents. Les méthodes objectives envisageables sont l'eau doublement marquée, les moniteurs de fréquence cardiaque, les accéléromètres ou les podomètres. Pour une étude de plusieurs centaines de sujets, l'utilisation de l'eau doublement marquée est limitée par son coût prohibitif et ne permet pas de détailler les caractéristiques de la DEAP en fonction du temps.

Une **deuxième étape consiste à sélectionner une variable appropriée pour les études de corrélation**. Les variables possibles sont une estimation de la DEAP, le temps passé à faire de l'activité physique au dessus d'une intensité seuil (fréquence cardiaque seuil ou quantité de mouvement seuil), une quantité de mouvement sur un intervalle de temps, un nombre de pas sur un intervalle de temps ou la fréquence cardiaque moyenne. Dans cette situation, l'utilisation d'une estimation de la DEAP à partir des données biomécaniques ou physiologiques (fréquence cardiaque) risque d'ajouter des erreurs à l'évaluation et donc de

limiter la capacité à répondre à la question de recherche. Par ailleurs, une difficulté spécifique tient ici au fait que l'activité physique des enfants est de nature sporadique et intermittente et est donc différente de celle des adultes (275). L'utilisation de la durée passée à faire de l'activité physique au dessus d'une intensité seuil paraît donc complexe en l'absence de définition d'une intensité représentant la même exposition à l'activité physique chez les enfants et chez les parents. L'utilisation de la fréquence cardiaque moyenne est limitée par le fait que les enfants et les adultes passent un pourcentage élevé de leur temps, mais pas le même, à des activités sédentaires ou d'intensité légère où la fréquence cardiaque n'est pas prédictive de l'activité physique. Ainsi, la variable la plus appropriée apparaît être la quantité de mouvement ou le nombre de pas sur un intervalle de temps.

En conclusion, pour l'étude des inter-corrélations de l'activité physique entre parents et enfants, lorsque la variable d'intérêt doit être représentée par une variable quantitative de l'activité physique, l'utilisation de données déclaratives ne nous paraît pas recommandée. L'utilisation des accéléromètres présente plusieurs avantages par rapport aux podomètres en donnant un accès aux dimensions fréquences, durée et intensité en plus d'un indicateur global de la quantité de mouvement. Il est ainsi possible avec ces outils d'étudier les déterminants de dimensions spécifiques de l'activité physique (activité physique intense, etc.) On notera que dans les études ayant utilisé les accéléromètres pour étudier les corrélations familiales de l'activité physique, seul l'aspect quantité totale de mouvement a été analysé (234, 235).

CONCLUSION

Les techniques de référence de la mesure de la dépense énergétique gardent encore une place importante pour valider les outils de mesure de l'activité physique. L'appréciation du contexte ne peut être obtenue que par l'emploi d'un questionnaire ou d'un carnet, éventuellement en complément de l'utilisation d'une mesure objective. Il faut néanmoins reconnaître que les limites intrinsèques des méthodes de mesure de l'activité physique en conditions de vie habituelle peuvent être considérées comme des freins à l'amélioration des connaissances. On peut ainsi s'interroger sur les perspectives d'amélioration des méthodes et techniques de mesure de l'activité physique.

Les progrès ergonomiques et technologiques des moniteurs portables autorisent déjà des mesures détaillées, avec peu d'échecs, de durée suffisamment prolongée pour être représentatives de l'activité physique habituelle et avec un minimum d'encombrement pour les individus étudiés (les accéléromètres RT3 et Actigraph GT1M [successeur de l'Actigraph model 7164 utilisé dans FLVS, Manufacturing Technology, Inc., FL, USA] ont des dimensions de 68 x 48 x 18 mm et 38 x 36 x 17, respectivement, et des poids de 62,5 g et 27 g, respectivement). Une amélioration de ces caractéristiques ne conduira pas à un gain important au regard des limites de chaque méthode : les accéléromètres restent insensibles à la marche en côte (105) ou à la composante statique de l'activité physique (77) et les moniteurs de fréquence cardiaque ne sont pas adaptés à la mesure des activités physiques d'intensité légère (93).

Actuellement, les systèmes les plus exacts pour mesurer les vitesses de marche, de course ou à vélo associent des accéléromètres et du *Global Positioning System* (GPS) (276). Cependant ces systèmes restent encombrants et coûteux et pour des études à grande échelle (277). Un progrès conceptuel et technologique provient des appareils qui sont capables de détecter les caractéristiques des activités physiques réalisées (76). Pour les accéléromètres, un développement récent est l'identification de l'activité avec des algorithmes de classification (278, 279). L'utilisation de différentes équations de prédiction qui se basent sur le type de mouvement détecté peut permettre de réduire l'erreur d'estimation de la DEAP (280, 281). Néanmoins, un seul accéléromètre, même si il est moins encombrant et interfère peut-être moins avec l'activité physique, ne peut pas être aussi discriminant qu'un système multi moniteurs. Le *Intelligent Device for Energy Expenditure and Physical Activity* (IDEEA) utilise un réseau d'électrodes pour déterminer les postures et les mouvements réalisés (282). L'appareil consiste en un enregistreur et cinq capteurs (sur la poitrine, sur la face antérieure

des cuisses et sous chaque pied), qui mesurent l'accélération et l'angle des segments du corps. Les capteurs sont connectés à l'enregistreur par des câbles de 2 mm de diamètre. La capacité de cet outil à identifier et à quantifier l'activité physique permet un calcul de la DEAP en conditions de vie courante. Ceci est possible grâce à l'utilisation de multiples équations pour la DEAP de chaque activité identifiée (telles que : être assis, être debout, marcher et courir à différentes vitesses). La validité de l'IDEEA pour la mesure de la DEAP a été testée durant plusieurs activités avec la calorimétrie indirecte (masque) chez 27 individus (âge $33,7 \pm 13,8$ ans ; IMC $24,8 \pm 4,8 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$) et la chambre respiratoire chez 10 individus (âge $32,9 \pm 12,4$ ans ; IMC $26,1 \pm 5,6 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$) (282). Avec le masque, les individus ont fait différentes activités (assis, debout, couchés, marche et course à différentes vitesses) pendant 50 min. Dans la chambre pendant 23 h, les individus ont fait des exercices. Les résultats ont montré que l'IDEEA fourni des estimations exactes à la fois instantanées et cumulatives de la DEAP. Le progrès méthodologique est ici important puisque qu'un appareil de ce type, associant exactitude et détail de mesure, peut être utilisé pour les études de validation des moniteurs portables d'activité physique y compris pour leur capacité à estimer la DEAP (283).

Si le coût et l'encombrement de ces dernières avancées technologiques restent encore prohibitifs pour des enregistrements prolongés et sur un grand nombre d'individus, l'amélioration probable de leur ergonomie et leur diffusion sont susceptibles de donner accès à des données plus proches de la réalité de l'activité physique et de la DEAP.

En outre, les « nouvelles technologies » sont susceptibles de participer à l'amélioration de nos connaissances de l'activité physique tant pour la collecte d'informations contextuelles en temps réel (utilisation de journaux d'activité avec des téléphones « intelligents », géolocalisation et SIG, etc.) que pour l'obtention de mesures plus exactes et plus détaillées par des capteurs multiples dont le niveau d'encombrement pour le sujet à l'étude pourrait être amélioré grâce aux technologies sans fil.

Un enjeu de l'avenir de la recherche en activité physique est de maintenir l'adéquation entre les progrès technologiques et le niveau de validation des méthodes de mesure de l'activité physique. Ceci permettra une amélioration de la mesure de l'activité physique et des connaissances concernant ses relations à la santé. Le but ultime est de transcrire les connaissances obtenues en recommandations pertinentes qui doivent guider des interventions de promotion efficaces pour diminuer dans la population générale les risques liés à l'inactivité physique.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Caspersen CJ, Powell KE, Christenson GM. Physical activity, exercise, and physical fitness: definitions and distinctions for health-related research. *Public Health Rep.* 1985 Mar-Apr;100(2):126-31.
2. Physical Activity Guidelines Advisory Committee. *Physical Activity Guidelines Advisory Committee Report*, 2008. Washington, DC: U.S. Department of Health and Human Services, 2008.
3. USDHHS. 2008 physical activity guidelines for Americans. Washington DC: USDHHS, 2008.
4. Activité physique : contextes et effets sur la santé. Expertise collective. Synthèse et recommandations. Les éditions Inserm, 2008.
5. Morris JN, Heady JA, Raffle PA, Roberts CG, Parks JW. Coronary heart-disease and physical activity of work. *Lancet.* 1953 Nov 28;265(6796):1111-20; concl.
6. U.S. Department of Health and Human Services. *Physical activity and health: a report of the surgeon general*. Atlanta: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Center for Chronic Disease Prevention and Health Promotion, S/N 017-023-00196-5; 1996
7. Bouchard C. Physical activity and health: introduction to the dose-response symposium. *Medicine and science in sports and exercise.* 2001 Jun;33(6 Suppl):S347-50.
8. Manini TM, Everhart JE, Patel KV, Schoeller DA, Colbert LH, Visser M, et al. Daily activity energy expenditure and mortality among older adults. *Jama.* 2006 Jul 12;296(2):171-9.
9. Lee IM, Hsieh CC, Paffenbarger RS, Jr. Exercise intensity and longevity in men. The Harvard Alumni Health Study. *Jama.* 1995 Apr 19;273(15):1179-84.
10. Wannamethee SG, Shaper AG, Walker M. Changes in physical activity, mortality, and incidence of coronary heart disease in older men. *Lancet.* 1998 May 30;351(9116):1603-8.
11. Tanasescu M, Leitzmann MF, Rimm EB, Hu FB. Physical activity in relation to cardiovascular disease and total mortality among men with type 2 diabetes. *Circulation.* 2003 May 20;107(19):2435-9.
12. Carlsson S, Andersson T, Wolk A, Ahlbom A. Low physical activity and mortality in women: baseline lifestyle and health as alternative explanations. *Scandinavian journal of public health.* 2006;34(5):480-7.
13. Fried LP, Kronmal RA, Newman AB, Bild DE, Mittelmark MB, Polak JF, et al. Risk factors for 5-year mortality in older adults: the Cardiovascular Health Study. *Jama.* 1998 Feb 25;279(8):585-92.
14. Lee IM, Paffenbarger RS, Jr. Associations of light, moderate, and vigorous intensity physical activity with longevity. The Harvard Alumni Health Study. *American journal of epidemiology.* 2000 Feb 1;151(3):293-9.
15. Sundquist K, Qvist J, Sundquist J, Johansson SE. Frequent and occasional physical activity in the elderly: a 12-year follow-up study of mortality. *Am J Prev Med.* 2004 Jul;27(1):22-7.

16. Janssen I, Jolliffe CJ. Influence of physical activity on mortality in elderly with coronary artery disease. *Medicine and science in sports and exercise*. 2006 Mar;38(3):418-7.
17. Kujala UM, Kaprio J, Sarna S, Koskenvuo M. Relationship of leisure-time physical activity and mortality: the Finnish twin cohort. *Jama*. 1998 Feb 11;279(6):440-4.
18. Rockhill B, Willett WC, Manson JE, Leitzmann MF, Stampfer MJ, Hunter DJ, et al. Physical activity and mortality: a prospective study among women. *American journal of public health*. 2001 Apr;91(4):578-83.
19. Trolle-Lagerros Y, Mucci LA, Kumle M, Braaten T, Weiderpass E, Hsieh CC, et al. Physical activity as a determinant of mortality in women. *Epidemiology (Cambridge, Mass)*. 2005 Nov;16(6):780-5.
20. Lan TY, Chang HY, Tai TY. Relationship between components of leisure physical activity and mortality in Taiwanese older adults. *Prev Med*. 2006 Jul;43(1):36-41.
21. Lee DC, Sui X, Blair SN. Does physical activity ameliorate the health hazards of obesity? *British journal of sports medicine*. 2009 Jan;43(1):49-51.
22. Swain DP, Franklin BA. Comparison of cardioprotective benefits of vigorous versus moderate intensity aerobic exercise. *The American journal of cardiology*. 2006 Jan 1;97(1):141-7.
23. Knowler WC, Barrett-Connor E, Fowler SE, Hamman RF, Lachin JM, Walker EA, et al. Reduction in the incidence of type 2 diabetes with lifestyle intervention or metformin. *The New England journal of medicine*. 2002 Feb 7;346(6):393-403.
24. Pan XR, Li GW, Hu YH, Wang JX, Yang WY, An ZX, et al. Effects of diet and exercise in preventing NIDDM in people with impaired glucose tolerance. The Da Qing IGT and Diabetes Study. *Diabetes care*. 1997 Apr;20(4):537-44.
25. Tuomilehto J, Lindstrom J, Eriksson JG, Valle TT, Hamalainen H, Ilanne-Parikka P, et al. Prevention of type 2 diabetes mellitus by changes in lifestyle among subjects with impaired glucose tolerance. *The New England journal of medicine*. 2001 May 3;344(18):1343-50.
26. Dempsey JC, Butler CL, Williams MA. No need for a pregnant pause: physical activity may reduce the occurrence of gestational diabetes mellitus and preeclampsia. *Exercise and sport sciences reviews*. 2005 Jul;33(3):141-9.
27. Dye TD, Knox KL, Artal R, Aubry RH, Wojtowycz MA. Physical activity, obesity, and diabetes in pregnancy. *American journal of epidemiology*. 1997 Dec 1;146(11):961-5.
28. Dempsey JC, Butler CL, Sorensen TK, Lee IM, Thompson ML, Miller RS, et al. A case-control study of maternal recreational physical activity and risk of gestational diabetes mellitus. *Diabetes research and clinical practice*. 2004 Nov;66(2):203-15.
29. Dempsey JC, Sorensen TK, Williams MA, Lee IM, Miller RS, Dashow EE, et al. Prospective study of gestational diabetes mellitus risk in relation to maternal recreational physical activity before and during pregnancy. *American journal of epidemiology*. 2004 Apr 1;159(7):663-70.

30. Oken E, Ning Y, Rifas-Shiman SL, Radesky JS, Rich-Edwards JW, Gillman MW. Associations of physical activity and inactivity before and during pregnancy with glucose tolerance. *Obstetrics and gynecology*. 2006 Nov;108(5):1200-7.
31. Zhang C, Solomon CG, Manson JE, Hu FB. A prospective study of pregravid physical activity and sedentary behaviors in relation to the risk for gestational diabetes mellitus. *Archives of internal medicine*. 2006 Mar 13;166(5):543-8.
32. Standards of medical care in diabetes--2010. *Diabetes care*. Jan;33 Suppl 1:S11-61.
33. Colberg SR, Sigal RJ, Fernhall B, Regensteiner JG, Blissmer BJ, Rubin RR, et al. Exercise and type 2 diabetes: the American College of Sports Medicine and the American Diabetes Association: joint position statement. *Diabetes care*. Dec;33(12):e147-67.
34. Moy CS, Songer TJ, LaPorte RE, Dorman JS, Kriska AM, Orchard TJ, et al. Insulin-dependent diabetes mellitus, physical activity, and death. *American journal of epidemiology*. 1993 Jan 1;137(1):74-81.
35. Ramalho AC, de Lourdes Lima M, Nunes F, Cambui Z, Barbosa C, Andrade A, et al. The effect of resistance versus aerobic training on metabolic control in patients with type-1 diabetes mellitus. *Diabetes research and clinical practice*. 2006 Jun;72(3):271-6.
36. Waden J, Thorn LM, Forsblom C, Lakka T, Saraheimo M, Rosengard-Barlund M, et al. Leisure-time physical activity is associated with the metabolic syndrome in type 1 diabetes: effect of the PPARGgamma Pro12Ala polymorphism: the FinnDiane Study. *Diabetes care*. 2007 Jun;30(6):1618-20.
37. Lehmann R, Kaplan V, Bingisser R, Bloch KE, Spinass GA. Impact of physical activity on cardiovascular risk factors in IDDM. *Diabetes care*. 1997 Oct;20(10):1603-11.
38. Balducci S, Iacobellis G, Parisi L, Di Biase N, Calandriello E, Leonetti F, et al. Exercise training can modify the natural history of diabetic peripheral neuropathy. *Journal of diabetes and its complications*. 2006 Jul-Aug;20(4):216-23.
39. Kriska AM, LaPorte RE, Patrick SL, Kuller LH, Orchard TJ. The association of physical activity and diabetic complications in individuals with insulin-dependent diabetes mellitus: the Epidemiology of Diabetes Complications Study--VII. *J Clin Epidemiol*. 1991;44(11):1207-14.
40. Orchard TJ, Dorman JS, Maser RE, Becker DJ, Ellis D, LaPorte RE, et al. Factors associated with avoidance of severe complications after 25 yr of IDDM. Pittsburgh Epidemiology of Diabetes Complications Study I. *Diabetes care*. 1990 Jul;13(7):741-7.
41. Samanta A, Burden AC, Jagger C. A comparison of the clinical features and vascular complications of diabetes between migrant Asians and Caucasians in Leicester, U.K. *Diabetes research and clinical practice*. 1991 Dec;14(3):205-13.
42. Waden J, Tikkanen H, Forsblom C, Fagerudd J, Pettersson-Fernholm K, Lakka T, et al. Leisure time physical activity is associated with poor glycemic control in type 1 diabetic women: the FinnDiane study. *Diabetes care*. 2005 Apr;28(4):777-82.
43. Wannamethee SG, Shaper AG, Alberti KG. Physical activity, metabolic factors, and the incidence of coronary heart disease and type 2 diabetes. *Archives of internal medicine*. 2000 Jul 24;160(14):2108-16.

44. Gregg EW, Gerzoff RB, Caspersen CJ, Williamson DF, Narayan KM. Relationship of walking to mortality among US adults with diabetes. *Archives of internal medicine*. 2003 Jun 23;163(12):1440-7.
45. Hu G, Eriksson J, Barengo NC, Lakka TA, Valle TT, Nissinen A, et al. Occupational, commuting, and leisure-time physical activity in relation to total and cardiovascular mortality among Finnish subjects with type 2 diabetes. *Circulation*. 2004 Aug 10;110(6):666-73.
46. Hu G, Jousilahti P, Barengo NC, Qiao Q, Lakka TA, Tuomilehto J. Physical activity, cardiovascular risk factors, and mortality among Finnish adults with diabetes. *Diabetes care*. 2005 Apr;28(4):799-805.
47. Irwin ML, Yasui Y, Ulrich CM, Bowen D, Rudolph RE, Schwartz RS, et al. Effect of exercise on total and intra-abdominal body fat in postmenopausal women: a randomized controlled trial. *Jama*. 2003 Jan 15;289(3):323-30.
48. McTiernan A, Sorensen B, Irwin ML, Morgan A, Yasui Y, Rudolph RE, et al. Exercise effect on weight and body fat in men and women. *Obesity (Silver Spring, Md)*. 2007 Jun;15(6):1496-512.
49. Slentz CA, Aiken LB, Houmard JA, Bales CW, Johnson JL, Tanner CJ, et al. Inactivity, exercise, and visceral fat. STRRIDE: a randomized, controlled study of exercise intensity and amount. *J Appl Physiol*. 2005 Oct;99(4):1613-8.
50. Ewbank PP, Darga LL, Lucas CP. Physical activity as a predictor of weight maintenance in previously obese subjects. *Obesity research*. 1995 May;3(3):257-63.
51. Jakicic JM, Winters C, Lang W, Wing RR. Effects of intermittent exercise and use of home exercise equipment on adherence, weight loss, and fitness in overweight women: a randomized trial. *Jama*. 1999 Oct 27;282(16):1554-60.
52. Schoeller DA, Shay K, Kushner RF. How much physical activity is needed to minimize weight gain in previously obese women? *The American journal of clinical nutrition*. 1997 Sep;66(3):551-6.
53. World Cancer Research Fund / American Institute for Cancer Research. Food, Nutrition, Physical Activity, and the Prevention of Cancer: a Global Perspective. Washington DC: AICR, 2007.
54. McTiernan A. Mechanisms linking physical activity with cancer. *Nature reviews*. 2008 Mar;8(3):205-11.
55. Berglund G, Bolund C, Gustafsson UL, Sjoden PO. One-year follow-up of the 'Starting Again' group rehabilitation programme for cancer patients. *Eur J Cancer*. 1994;30A(12):1744-51.
56. Cunningham BA, Morris G, Cheney CL, Buergel N, Aker SN, Lenssen P. Effects of resistive exercise on skeletal muscle in marrow transplant recipients receiving total parenteral nutrition. *Jpen*. 1986 Nov-Dec;10(6):558-63.
57. Nieman DC, Cook VD, Henson DA, Suttles J, Rejeski WJ, Ribisl PM, et al. Moderate exercise training and natural killer cell cytotoxic activity in breast cancer patients. *International journal of sports medicine*. 1995 Jul;16(5):334-7.

58. Lawlor DA, Hopker SW. The effectiveness of exercise as an intervention in the management of depression: systematic review and meta-regression analysis of randomised controlled trials. *BMJ (Clinical research ed)*. 2001 Mar 31;322(7289):763-7.
59. Bize R, Johnson JA, Plotnikoff RC. Physical activity level and health-related quality of life in the general adult population: a systematic review. *Prev Med*. 2007 Dec;45(6):401-15.
60. Vuillemin A, Boini S, Bertrais S, Tessier S, Oppert JM, Hercberg S, et al. Leisure time physical activity and health-related quality of life. *Prev Med*. 2005 Aug;41(2):562-9.
61. World Health Organization. Global Strategy on Diet, Physical Activity and Health. Geneva, World Health Organization, 2004.
62. Oppert JM, Simon C, Rivière D, Guezennec CY. Activite physique et santé : arguments scientifiques, pistes pratiques. Paris, ministère de la Santé, collection « Les synthèses du PNNS, 2005.
63. Willis G, Royston P, Bercini D. The use of verbal report methods in the development and testing of survey questionnaires. *Applied Cognitive Psychology*. 1991;5:251-67.
64. Matthews CE. Use of self-report instruments to assess physical activity. In: Welk GJ, editor. *Physical activity assessments for health-related research: Human Kinetics*; 2002. p. 107-23.
65. Shephard RJ. Limits to the measurement of habitual physical activity by questionnaires. *British journal of sports medicine*. 2003 Jun;37(3):197-206; discussion
66. Kriska AM, Knowler WC, LaPorte RE, Drash AL, Wing RR, Blair SN, et al. Development of questionnaire to examine relationship of physical activity and diabetes in Pima Indians. *Diabetes care*. 1990 Apr;13(4):401-11.
67. Vuillemin A, Oppert JM, Guillemin F, Essermeant L, Fontvieille AM, Galan P, et al. Self-administered questionnaire compared with interview to assess past-year physical activity. *Medicine and science in sports and exercise*. 2000 Jun;32(6):1119-24.
68. Craig CL, Marshall AL, Sjostrom M, Bauman AE, Booth ML, Ainsworth BE, et al. International physical activity questionnaire: 12-country reliability and validity. *Medicine and science in sports and exercise*. 2003 Aug;35(8):1381-95.
69. Wareham NJ, Jakes RW, Rennie KL, Mitchell J, Hennings S, Day NE. Validity and repeatability of the EPIC-Norfolk Physical Activity Questionnaire. *International journal of epidemiology*. 2002 Feb;31(1):168-74.
70. Stewart AL, Mills KM, King AC, Haskell WL, Gillis D, Ritter PL. CHAMPS physical activity questionnaire for older adults: outcomes for interventions. *Medicine and science in sports and exercise*. 2001 Jul;33(7):1126-41.
71. McKenzie TL. 2009 C. H. McCloy Lecture. Seeing is believing: observing physical activity and its contexts. *Research quarterly for exercise and sport*. Jun;81(2):113-22.
72. Tudor-Locke C, Bassett DR, Jr. How many steps/day are enough? Preliminary pedometer indices for public health. *Sports Med*. 2004;34(1):1-8.

73. Chen KY, Bassett DR, Jr. The technology of accelerometry-based activity monitors: current and future. *Medicine and science in sports and exercise*. 2005 Nov;37(11 Suppl):S490-500.
74. Bouten CV, Sauren AA, Verduin M, Janssen JD. Effects of placement and orientation of body-fixed accelerometers on the assessment of energy expenditure during walking. *Med Biol Eng Comput*. 1997 Jan;35(1):50-6.
75. Centers for Disease Control and Prevention. Actigraph National Center for Health Statistics (NCHS). National Health and Nutrition Examination Survey Data. Actigraph. Available at: http://www.cdc.gov/nchs/data/nhanes/nhanes_03_04/paxraw_c.pdf.
76. Schutz Y, Weinsier S, Terrier P, Durrer D. A new accelerometric method to assess the daily walking practice. *Int J Obes Relat Metab Disord*. 2002 Jan;26(1):111-8.
77. Welk GJ. Use of accelerometry-based activity monitors to assess physical activity. In: Welk GJ, editor. *Physical activity assessments for health-related research: Human Kinetics*; 2001. p. 125-41.
78. Schoeller DA, Fjeld CR. Human energy metabolism: what have we learned from the doubly labeled water method? *Annu Rev Nutr*. 1991;11:355-73.
79. Ritz P, Cole TJ, Couet C, Coward WA. Precision of DLW energy expenditure measurements: contribution of natural abundance variations. *The American journal of physiology*. 1996 Jan;270(1 Pt 1):E164-9.
80. Rosenbaum M, Ravussin E, Matthews DE, Gilker C, Ferraro R, Heymsfield SB, et al. A comparative study of different means of assessing long-term energy expenditure in humans. *The American journal of physiology*. 1996 Mar;270(3 Pt 2):R496-504.
81. Ainsworth BE, Haskell WL, Whitt MC, Irwin ML, Swartz AM, Strath SJ, et al. Compendium of physical activities: an update of activity codes and MET intensities. *Medicine and science in sports and exercise*. 2000 Sep;32(9 Suppl):S498-504.
82. Vocabulaire international de métrologie — Concepts fondamentaux et généraux et termes associés (VIM). Groupe de travail 2 du comité commun pour les guides en métrologie (JCGM/WG 2).
83. Marlowe D, Crowne DP. Social desirability and response to perceived situational demands. *Journal of consulting psychology*. 1961 Apr;25:109-15.
84. Patterson P. Reliability, validity, and methodological response to the assessment of physical activity via self-report. *Research quarterly for exercise and sport*. 2000 Jun;71(2 Suppl):S15-20.
85. Mahar MT, Rowe DA. Construct validity in physical activity research. In: Welk GJ, editor. *Physical activity assessments for health-related research: Human kinetics*; 2000. p. 51-72.
86. Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet*. 1986 Feb 8;1(8476):307-10.

87. Bassett DR, Jr., Ainsworth BE, Leggett SR, Mathien CA, Main JA, Hunter DC, et al. Accuracy of five electronic pedometers for measuring distance walked. *Medicine and science in sports and exercise*. 1996 Aug;28(8):1071-7.
88. Leenders N, Sherman WM, Nagaraja HN. Comparisons of four methods of estimating physical activity in adult women. *Medicine and science in sports and exercise*. 2000 Jul;32(7):1320-6.
89. Ainsworth BE, Leon AS, Richardson MT, Jacobs DR, Paffenbarger RS, Jr. Accuracy of the College Alumnus Physical Activity Questionnaire. *J Clin Epidemiol*. 1993 Dec;46(12):1403-11.
90. Bassett DR, Jr., Cureton AL, Ainsworth BE. Measurement of daily walking distance-questionnaire versus pedometer. *Medicine and science in sports and exercise*. 2000 May;32(5):1018-23.
91. Bassett D, Strath SJ. Use of pedometers to assess physical activity. In: Welk G, editor. *Physical activity assessments for health-related research: HumanKinetics*; 2000. p. 163-77.
92. Plasqui G, Westerterp KR. Physical activity assessment with accelerometers: an evaluation against doubly labeled water. *Obesity (Silver Spring, Md)*. 2007;15(10):2371-9.
93. Janz KF. Use of heart rate monitors to assess physical activity. In: Welk GJ, editor. *Physical activity assessments for health-related research: Human Kinetics*; 2001. p. 143-61.
94. Ceesay SM, Prentice AM, Day KC, Murgatroyd PR, Goldberg GR, Scott W, et al. The use of heart rate monitoring in the estimation of energy expenditure: a validation study using indirect whole-body calorimetry. *The British journal of nutrition*. 1989 Mar;61(2):175-86.
95. Schulz S, Westerterp KR, Bruck K. Comparison of energy expenditure by the doubly labeled water technique with energy intake, heart rate, and activity recording in man. *The American journal of clinical nutrition*. 1989 Jun;49(6):1146-54.
96. Kashiwazaki H. Heart rate monitoring as a field method for estimating energy expenditure as evaluated by the doubly labeled water method. *Journal of nutritional science and vitaminology*. 1999 Jan;45(1):79-94.
97. Strath SJ, Swartz AM, Bassett DR, Jr., O'Brien WL, King GA, Ainsworth BE. Evaluation of heart rate as a method for assessing moderate intensity physical activity. *Medicine and science in sports and exercise*. 2000 Sep;32(9 Suppl):S465-70.
98. Washburn RA, Montoye HJ. The assessment of physical activity by questionnaire. *American journal of epidemiology*. 1986 Apr;123(4):563-76.
99. Baranowski T. Validity and reliability of self report measures of physical activity: an information-processed perspective. *Research quarterly for exercise and sport*. 1988;59:314-27.
100. Blair SN, Dowda M, Pate RR, Kronenfeld J, Howe HG, Jr., Parker G, et al. Reliability of long-term recall of participation in physical activity by middle-aged men and women. *American journal of epidemiology*. 1991 Feb 1;133(3):266-75.

101. Richardson MT, Leon AS, Jacobs DR, Jr., Ainsworth BE, Serfass R. Comprehensive evaluation of the Minnesota Leisure Time Physical Activity Questionnaire. *J Clin Epidemiol*. 1994 Mar;47(3):271-81.
102. Sallis JF, Haskell WL, Wood PD, Fortmann SP, Rogers T, Blair SN, et al. Physical activity assessment methodology in the Five-City Project. *American journal of epidemiology*. 1985 Jan;121(1):91-106.
103. Westerterp KR. Pattern and intensity of physical activity. *Nature*. 2001 Mar 29;410(6828):539.
104. Bassett DR, Jr., Ainsworth BE, Swartz AM, Strath SJ, O'Brien WL, King GA. Validity of four motion sensors in measuring moderate intensity physical activity. *Medicine and science in sports and exercise*. 2000 Sep;32(9 Suppl):S471-80.
105. Terrier P, Aminian K, Schutz Y. Can accelerometry accurately predict the energy cost of uphill/downhill walking? *Ergonomics*. 2001 Jan 15;44(1):48-62.
106. Freedson PS, Melanson E, Sirard J. Calibration of the Computer Science and Applications, Inc. accelerometer. *Medicine and science in sports and exercise*. 1998 May;30(5):777-81.
107. Matthews CE. Calibration of accelerometer output for adults. *Medicine and science in sports and exercise*. 2005 Nov;37(11 Suppl):S512-22.
108. Matthews CM. Calibration of accelerometer output for adults. *Medicine and science in sports and exercise*. 2005;37:S512-22.
109. Armstrong B, Boffetta P. Measurement of exposure and outcome in epidemiological studies used for quantitative estimation and prediction of risk. *IARC scientific publications*. 1999(131):75-102.
110. Schoeller DA, Hnilicka JM. Reliability of the doubly labeled water method for the measurement of total daily energy expenditure in free-living subjects. *The Journal of nutrition*. 1996 Jan;126(1):348S-54S.
111. Levin S, Jacobs DR, Jr., Ainsworth BE, Richardson MT, Leon AS. Intra-individual variation and estimates of usual physical activity. *Annals of epidemiology*. 1999 Nov;9(8):481-8.
112. Dishman RK, Darracott CR, Lambert LT. Failure to generalize determinants of self-reported physical activity to a motion sensor. *Medicine and science in sports and exercise*. 1992 Aug;24(8):904-10.
113. Bond DS, Jakicic JM, Unick JL, Vithiananthan S, Pohl D, Royce GD, et al. Pre- to postoperative physical activity changes in bariatric surgery patients: self report vs. objective measures. *Obesity (Silver Spring, Md)*. Dec;18(12):2395-7.
114. Prentice AM, Jebb SA. Obesity in Britain: gluttony or sloth? *BMJ (Clinical research ed)*. 1995 Aug 12;311(7002):437-9.
115. Pate RR, Pratt M, Blair SN, Haskell WL, Macera CA, Bouchard C, et al. Physical activity and public health. A recommendation from the Centers for Disease Control and Prevention and the American College of Sports Medicine. *Jama*. 1995 Feb 1;273(5):402-7.

116. Hardman AE. Physical activity and health: current issues and research needs. *International journal of epidemiology*. 2001 Oct;30(5):1193-7.
117. Church TS, Blair SN, Cocreham S, Johannsen N, Johnson W, Kramer K, et al. Effects of aerobic and resistance training on hemoglobin A1c levels in patients with type 2 diabetes: a randomized controlled trial. *Jama*. Nov 24;304(20):2253-62.
118. Grundy SM, Blackburn G, Higgins M, Lauer R, Perri MG, Ryan D. Physical activity in the prevention and treatment of obesity and its comorbidities: evidence report of independent panel to assess the role of physical activity in the treatment of obesity and its comorbidities. *Medicine and science in sports and exercise*. 1999 Nov;31(11):1493-500.
119. Clinical Guidelines on the Identification, Evaluation, and Treatment of Overweight and Obesity in Adults--The Evidence Report. National Institutes of Health. Obesity research. 1998 Sep;6 Suppl 2:51S-209S.
120. Jakicic JM, Clark K, Coleman E, Donnelly JE, Foreyt J, Melanson E, et al. American College of Sports Medicine position stand. Appropriate intervention strategies for weight loss and prevention of weight regain for adults. *Medicine and science in sports and exercise*. 2001 Dec;33(12):2145-56.
121. Saris WH, Blair SN, van Baak MA, Eaton SB, Davies PS, Di Pietro L, et al. How much physical activity is enough to prevent unhealthy weight gain? Outcome of the IASO 1st Stock Conference and consensus statement. *Obes Rev*. 2003 May;4(2):101-14.
122. Klem ML, Wing RR, McGuire MT, Seagle HM, Hill JO. A descriptive study of individuals successful at long-term maintenance of substantial weight loss. *The American journal of clinical nutrition*. 1997 Aug;66(2):239-46.
123. Bassett DR, Jr. Validity and reliability issues in objective monitoring of physical activity. *Research quarterly for exercise and sport*. 2000 Jun;71(2 Suppl):S30-6.
124. Westerterp KR. Assessment of physical activity level in relation to obesity: current evidence and research issues. *Medicine and science in sports and exercise*. 1999 Nov;31(11 Suppl):S522-5.
125. Lichtman SW, Pisarska K, Berman ER, Pestone M, Dowling H, Offenbacher E, et al. Discrepancy between self-reported and actual caloric intake and exercise in obese subjects. *The New England journal of medicine*. 1992 Dec 31;327(27):1893-8.
126. Walsh MC, Hunter GR, Sirikul B, Gower BA. Comparison of self-reported with objectively assessed energy expenditure in black and white women before and after weight loss. *The American journal of clinical nutrition*. 2004 Jun;79(6):1013-9.
127. Bouten CV, Westerterp KR, Verduin M, Janssen JD. Assessment of energy expenditure for physical activity using a triaxial accelerometer. *Medicine and science in sports and exercise*. 1994 Dec;26(12):1516-23.
128. Montoye HJ, Washburn R, Servais S, Ertl A, Webster JG, Nagle FJ. Estimation of energy expenditure by a portable accelerometer. *Medicine and science in sports and exercise*. 1983;15(5):403-7.

129. Nichols JF, Morgan CG, Sarkin JA, Sallis JF, Calfas KJ. Validity, reliability, and calibration of the Tritrac accelerometer as a measure of physical activity. *Medicine and science in sports and exercise*. 1999 Jun;31(6):908-12.
130. Nichols JF, Morgan CG, Chabot LE, Sallis JF, Calfas KJ. Assessment of physical activity with the Computer Science and Applications, Inc., accelerometer: laboratory versus field validation. *Research quarterly for exercise and sport*. 2000 Mar;71(1):36-43.
131. Jakicic JM, Winters C, Lagally K, Ho J, Robertson RJ, Wing RR. The accuracy of the TriTrac-R3D accelerometer to estimate energy expenditure. *Medicine and science in sports and exercise*. 1999 May;31(5):747-54.
132. Rowlands AV, Thomas PW, Eston RG, Topping R. Validation of the RT3 triaxial accelerometer for the assessment of physical activity. *Medicine and science in sports and exercise*. 2004 Mar;36(3):518-24.
133. Sherman WM, Morris DM, Kirby TE, Petosa RA, Smith BA, Frid DJ, et al. Evaluation of a commercial accelerometer (Tritrac-R3 D) to measure energy expenditure during ambulation. *International journal of sports medicine*. 1998 Jan;19(1):43-7.
134. Levine JA, Baukol PA, Westerterp KR. Validation of the Tracmor triaxial accelerometer system for walking. *Medicine and science in sports and exercise*. 2001 Sep;33(9):1593-7.
135. Fogelholm M, Hiilloskorpi H, Laukkanen R, Oja P, Van Marken Lichtenbelt W, Westerterp K. Assessment of energy expenditure in overweight women. *Medicine and science in sports and exercise*. 1998 Aug;30(8):1191-7.
136. Goris AH, Meijer EP, Kester A, Westerterp KR. Use of a triaxial accelerometer to validate reported food intakes. *The American journal of clinical nutrition*. 2001 Mar;73(3):549-53.
137. Lof M, Hannestad U, Forsum E. Comparison of commonly used procedures, including the doubly-labelled water technique, in the estimation of total energy expenditure of women with special reference to the significance of body fatness. *The British journal of nutrition*. 2003 Nov;90(5):961-8.
138. Rafamantanantsoa HH, Ebine N, Yoshioka M, Higuchi H, Yoshitake Y, Tanaka H, et al. Validation of three alternative methods to measure total energy expenditure against the doubly labeled water method for older Japanese men. *Journal of nutritional science and vitaminology*. 2002 Dec;48(6):517-23.
139. Bouten CV, Verboeket-van de Venne WP, Westerterp KR, Verduin M, Janssen JD. Daily physical activity assessment: comparison between movement registration and doubly labeled water. *J Appl Physiol*. 1996 Aug;81(2):1019-26.
140. Leenders NY, Sherman WM, Nagaraja HN, Kien CL. Evaluation of methods to assess physical activity in free-living conditions. *Medicine and science in sports and exercise*. 2001 Jul;33(7):1233-40.
141. Meijer GA, Westerterp KR, van Hulsel AM, ten Hoor F. Physical activity and energy expenditure in lean and obese adult human subjects. *European journal of applied physiology and occupational physiology*. 1992;65(6):525-8.

142. Plasqui G, Joosen AM, Kester AD, Goris AH, Westerterp KR. Measuring free-living energy expenditure and physical activity with triaxial accelerometry. *Obesity research*. 2005 Aug;13(8):1363-9.
143. Starling RD, Matthews DE, Ades PA, Poehlman ET. Assessment of physical activity in older individuals: a doubly labeled water study. *J Appl Physiol*. 1999 Jun;86(6):2090-6.
144. Chen KY, Acra SA, Donahue CL, Sun M, Buchowski MS. Efficiency of walking and stepping: relationship to body fatness. *Obesity research*. 2004 Jun;12(6):982-9.
145. Matthews CE, Freedson PS. Field trial of a three-dimensional activity monitor: comparison with self report. *Medicine and science in sports and exercise*. 1995 Jul;27(7):1071-8.
146. DeVoe D, Gotshall R, McArthur T. Comparison of the RT3 Research Tracker and Tritrac R3D accelerometers. *Perceptual and motor skills*. 2003 Oct;97(2):510-8.
147. Thomas S, Reading J, Shephard RJ. Revision of the Physical Activity Readiness Questionnaire (PAR-Q). *Canadian journal of sport sciences = Journal canadien des sciences du sport*. 1992 Dec;17(4):338-45.
148. Schutz Y, Bessard T, Jequier E. Diet-induced thermogenesis measured over a whole day in obese and nonobese women. *The American journal of clinical nutrition*. 1984 Sep;40(3):542-52.
149. Seale JL, Conway JM, Canary JJ. Seven-day validation of doubly labeled water method using indirect room calorimetry. *J Appl Physiol*. 1993 Jan;74(1):402-9.
150. Bonnefoy M, Normand S, Pachaiaudi C, Lacour JR, Laville M, Kostka T. Simultaneous validation of ten physical activity questionnaires in older men: a doubly labeled water study. *Journal of the American Geriatrics Society*. 2001 Jan;49(1):28-35.
151. Schoeller DA, Ravussin E, Schutz Y, Acheson KJ, Baertschi P, Jequier E. Energy expenditure by doubly labeled water: validation in humans and proposed calculation. *The American journal of physiology*. 1986 May;250(5 Pt 2):R823-30.
152. Weir JB. New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. *The Journal of physiology*. 1949 Aug;109(1-2):1-9.
153. Harris JA, Benedict FG. *A Biometric Study of Metabolism in Man* [Publication No. 279]. Washington, DC: Carnegie Institute;1919.
154. Prentice AM, Black AE, Coward WA, Davies HL, Goldberg GR, Murgatroyd PR, et al. High levels of energy expenditure in obese women. *British medical journal (Clinical research ed)*. 1986 Apr 12;292(6526):983-7.
155. Meijer EP, Goris AH, Wouters L, Westerterp KR. Physical inactivity as a determinant of the physical activity level in the elderly. *Int J Obes Relat Metab Disord*. 2001 Jul;25(7):935-9.
156. Hendelman D, Miller K, Baggett C, Debold E, Freedson P. Validity of accelerometry for the assessment of moderate intensity physical activity in the field. *Medicine and science in sports and exercise*. 2000 Sep;32(9 Suppl):S442-9.

157. Levine JA, Schleusner SJ, Jensen MD. Energy expenditure of nonexercise activity. *The American journal of clinical nutrition*. 2000 Dec;72(6):1451-4.
158. Sigal RJ, Kenny GP, Wasserman DH, Castaneda-Sceppa C, White RD. Physical activity/exercise and type 2 diabetes: a consensus statement from the American Diabetes Association. *Diabetes care*. 2006 Jun;29(6):1433-8.
159. Boule NG, Haddad E, Kenny GP, Wells GA, Sigal RJ. Effects of exercise on glycemic control and body mass in type 2 diabetes mellitus: a meta-analysis of controlled clinical trials. *Jama*. 2001 Sep 12;286(10):1218-27.
160. Church TS, Cheng YJ, Earnest CP, Barlow CE, Gibbons LW, Priest EL, et al. Exercise capacity and body composition as predictors of mortality among men with diabetes. *Diabetes care*. 2004 Jan;27(1):83-8.
161. Hu FB, Stampfer MJ, Solomon C, Liu S, Colditz GA, Speizer FE, et al. Physical activity and risk for cardiovascular events in diabetic women. *Annals of internal medicine*. 2001 Jan 16;134(2):96-105.
162. Pate RR, O'Neill JR, Lobelo F. The evolving definition of "sedentary". *Exercise and sport sciences reviews*. 2008 Oct;36(4):173-8.
163. Wareham NJ, Rennie KL. The assessment of physical activity in individuals and populations: why try to be more precise about how physical activity is assessed? *Int J Obes Relat Metab Disord*. 1998 Aug;22 Suppl 2:S30-8.
164. Corder K, Brage S, Ekelund U. Accelerometers and pedometers: methodology and clinical application. *Current opinion in clinical nutrition and metabolic care*. 2007 Sep;10(5):597-603.
165. Ainsworth BE. How do I measure physical activity in my patients? Questionnaires and objective methods. *British journal of sports medicine*. 2009 Jan;43(1):6-9.
166. Morrato EH, Hill JO, Wyatt HR, Ghushchyan V, Sullivan PW. Physical activity in U.S. adults with diabetes and at risk for developing diabetes, 2003. *Diabetes care*. 2007 Feb;30(2):203-9.
167. Tudor-Locke CE, Bell RC, Myers AM, Harris SB, Lauzon N, Rodger NW. Pedometer-determined ambulatory activity in individuals with type 2 diabetes. *Diabetes research and clinical practice*. 2002 Mar;55(3):191-9.
168. Huebschmann AG, Reis EN, Emsermann C, Dickinson LM, Reusch JE, Bauer TA, et al. Women with type 2 diabetes perceive harder effort during exercise than nondiabetic women. *Applied physiology, nutrition, and metabolism = Physiologie appliquee, nutrition et metabolisme*. 2009 Oct;34(5):851-7.
169. Smith DG, Domholdt E, Coleman KL, Del Aguila MA, Boone DA. Ambulatory activity in men with diabetes: relationship between self-reported and real-world performance-based measures. *Journal of rehabilitation research and development*. 2004 Jul;41(4):571-80.
170. Johnson-Kozlow M, Rock CL, Gilpin EA, Hollenbach KA, Pierce JP. Validation of the WHI brief physical activity questionnaire among women diagnosed with breast cancer. *American journal of health behavior*. 2007 Mar-Apr;31(2):193-202.

171. Boon RM, Hamlin MJ, Steel GD, Ross JJ. Validation of the New Zealand Physical Activity Questionnaire (NZPAQ-LF) and the International Physical Activity Questionnaire (IPAQ-LF) with Accelerometry. *British journal of sports medicine*. 2008 Nov 3.
172. Graff-Iversen S, Anderssen SA, Holme IM, Jenum AK, Raastad T. An adapted version of the long International Physical Activity Questionnaire (IPAQ-L): construct validity in a low-income, multiethnic population study from Oslo, Norway. *The international journal of behavioral nutrition and physical activity*. 2007;4:13.
173. Schmidt MD, Cleland VJ, Thomson RJ, Dwyer T, Venn AJ. A comparison of subjective and objective measures of physical activity and fitness in identifying associations with cardiometabolic risk factors. *Annals of epidemiology*. 2008 May;18(5):378-86.
174. Vandelanotte C, De Bourdeaudhuij I, Philippaerts R, Sjöström M, Sallis J. Reliability and Validity of a Computerized and Dutch Version of the International Physical Activity Questionnaire (IPAQ). *Journal of Physical Activity and Health*. 2005;2:63-75.
175. De Cocker K, Cardon G, De Bourdeaudhuij I. Pedometer-determined physical activity and its comparison with the International Physical Activity Questionnaire in a sample of Belgian adults. *Research quarterly for exercise and sport*. 2007 Dec;78(5):429-37.
176. De Cocker KA, De Bourdeaudhuij IM, Cardon GM. What do pedometer counts represent? A comparison between pedometer data and data from four different questionnaires. *Public health nutrition*. 2009 Jan;12(1):74-81.
177. Gauthier AP, Lariviere M, Young N. Psychometric properties of the IPAQ: a validation study in a sample of northern Franco-Ontarians. *Journal of physical activity & health*. 2009;6 Suppl 1:S54-60.
178. Hagstromer M, Oja P, Sjostrom M. The International Physical Activity Questionnaire (IPAQ): a study of concurrent and construct validity. *Public health nutrition*. 2006 Sep;9(6):755-62.
179. Guidelines for data processing and analysis of the IPAQ. <http://www.ipaq.ki.se/>
180. Efron B, Tibshirani R. An Introduction to the Bootstrap. In: Hall/CRC. C, editor.; 1994.
181. Cohen J. A coefficient of agreement for nominal scales. *Educ Psychol Measure*. 1960;400(20):37-46.
182. Tudor-Locke C, Hart TL, Washington TL. Expected values for pedometer-determined physical activity in older populations. *The international journal of behavioral nutrition and physical activity*. 2009;6:59.
183. Lopes VP, Magalhaes P, Bragada J, Vasques C. Actigraph calibration in obese/overweight and type 2 diabetes mellitus middle-aged to old adult patients. *Journal of physical activity & health*. 2009;6 Suppl 1:S133-40.
184. Etude Entred 2007-2010. <http://www.invs.sante.fr/entred>.
185. World Health Organization. World Health Report 2002: reducing risks promoting healthy life. Geneva: World Health Organization; 2002.

186. Haskell WL, Lee IM, Pate RR, Powell KE, Blair SN, Franklin BA, et al. Physical Activity and Public Health: Updated Recommendation for Adults from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. *Medicine and science in sports and exercise*. 2007 Aug;39(8):1423-34.
187. Sjöström M, Oja P, Hagströmer M, Smith BJ, Bauman A. Health-enhancing physical activity across European Union countries: the Eurobarometer study. *J Public Health*. 2006(14):291-300.
188. Escalon H, Vuillemin A, Erpalding ML, Oppert JM. Physical activity: between sports and sedentary behavior [in French]. Paris: Editions INPES; 2008.
189. Hamilton MT, Hamilton DG, Zderic TW. Role of low energy expenditure and sitting in obesity, metabolic syndrome, type 2 diabetes, and cardiovascular disease. *Diabetes*. 2007 Nov;56(11):2655-67.
190. Hu FB, Li TY, Colditz GA, Willett WC, Manson JE. Television watching and other sedentary behaviors in relation to risk of obesity and type 2 diabetes mellitus in women. *Jama*. 2003 Apr 9;289(14):1785-91.
191. Bertrais S, Beyeme-Ondoua JP, Czernichow S, Galan P, Hercberg S, Oppert JM. Sedentary behaviors, physical activity, and metabolic syndrome in middle-aged French subjects. *Obesity research*. 2005 May;13(5):936-44.
192. Abu-Omar K, Rutten A. Relation of leisure time, occupational, domestic, and commuting physical activity to health indicators in Europe. *Prev Med*. 2008 Mar 26.
193. Dong L, Block G, Mandel S. Activities Contributing to Total Energy Expenditure in the United States: Results from the NHAPS Study. *The international journal of behavioral nutrition and physical activity*. 2004 Feb 12;1(1):4.
194. Greendale GA, Bodin-Dunn L, Ingles S, Haile R, Barrett-Connor E. Leisure, home, and occupational physical activity and cardiovascular risk factors in postmenopausal women. The Postmenopausal Estrogens/Progestins Intervention (PEPI) Study. *Archives of internal medicine*. 1996 Feb 26;156(4):418-24.
195. Lawlor DA, Keen S, Neal RD. Increasing population levels of physical activity through primary care: GPs' knowledge, attitudes and self-reported practice. *Fam Pract*. 1999 Jun;16(3):250-4.
196. Salmon J, Owen N, Bauman A, Schmitz MK, Booth M. Leisure-time, occupational, and household physical activity among professional, skilled, and less-skilled workers and homemakers. *Prev Med*. 2000 Mar;30(3):191-9.
197. Stamatakis E, Ekelund U, Wareham NJ. Temporal trends in physical activity in England: The Health Survey for England 1991 to 2004. *Prev Med*. 2007 Jan 8.
198. Stamatakis E, Hillsdon M, Primatesta P. Domestic physical activity in relationship to multiple CVD risk factors. *Am J Prev Med*. 2007 Apr;32(4):320-7.
199. Weller I, Corey P. The impact of excluding non-leisure energy expenditure on the relation between physical activity and mortality in women. *Epidemiology*. 1998 Nov;9(6):632-5.

200. Stamatakis E, Ekelund U, Wareham NJ. Temporal trends in physical activity in England: the Health Survey for England 1991 to 2004. *Prev Med.* 2007 Dec;45(6):416-23.
201. Brooks AG, Withers RT, Gore CJ, Vogler AJ, Plummer J, Cormack J. Measurement and prediction of METs during household activities in 35- to 45-year-old females. *European journal of applied physiology.* 2004 May;91(5-6):638-48.
202. Lagerros YT, Ligiou P. Assessment of physical activity and energy expenditure in epidemiological research of chronic diseases. *Eur J Epidemiol.* 2007;22(6):353-62.
203. Ekelund U, Griffin SJ, Wareham NJ. Physical activity and metabolic risk in individuals with a family history of type 2 diabetes. *Diabetes care.* 2007 Feb;30(2):337-42.
204. Kettaneh A, Oppert JM, Heude B, Deschamps V, Borys JM, Lommez A, et al. Changes in physical activity explain paradoxical relationship between baseline physical activity and adiposity changes in adolescent girls: the FLVS II study. *Int J Obes (Lond).* 2005 Jun;29(6):586-93.
205. Tehard B, Saris WH, Astrup A, Martinez JA, Taylor MA, Barbe P, et al. Comparison of two physical activity questionnaires in obese subjects: the NUGENOB study. *Medicine and science in sports and exercise.* 2005 Sep;37(9):1535-41.
206. Schulz LO, Harper IT, Smith CJ, Kriska AM, Ravussin E. Energy intake and physical activity in Pima Indians: comparison with energy expenditure measured by doubly-labeled water. *Obesity research.* 1994 Nov;2(6):541-8.
207. Pereira MA, FitzerGerald SJ, Gregg EW, Joswiak ML, Ryan WJ, Suminski RR, et al. A collection of Physical Activity Questionnaires for health-related research. *Medicine and science in sports and exercise.* 1997 Jun;29(6 Suppl):S1-205.
208. Balkau B, Mhamdi L, Oppert JM, Nolan J, Golay A, Porcellati F, et al. Physical Activity and Insulin Sensitivity. The RISC Study. *Diabetes.* 2008 Jun 30.
209. Cooper AR, Page A, Fox KR, Misson J. Physical activity patterns in normal, overweight and obese individuals using minute-by-minute accelerometry. *European journal of clinical nutrition.* 2000 Dec;54(12):887-94.
210. Ward DS, Evenson KR, Vaughn A, Rodgers AB, Troiano RP. Accelerometer use in physical activity: best practices and research recommendations. *Medicine and science in sports and exercise.* 2005 Nov;37(11 Suppl):S582-8.
211. Neilson HK, Robson PJ, Friedenreich CM, Csizmadi I. Estimating activity energy expenditure: how valid are physical activity questionnaires? *The American journal of clinical nutrition.* 2008 Feb;87(2):279-91.
212. Edwardson CL, Gorely T. Parental influences on different types and intensities of physical activity in youth: A systematic review. *Psychology of Sport and Exercise.* 2010;11:522-35.
213. Ferreira I, van der Horst K, Wendel-Vos W, Kremers S, van Lenthe FJ, Brug J. Environmental correlates of physical activity in youth - a review and update. *Obes Rev.* 2007 Mar;8(2):129-54.

214. Gustafson SL, Rhodes RE. Parental correlates of physical activity in children and early adolescents. *Sports Med.* 2006;36(1):79-97.
215. Trost SG, Sallis JF, Pate RR, Freedson PS, Taylor WC, Dowda M. Evaluating a model of parental influence on youth physical activity. *Am J Prev Med.* 2003 Nov;25(4):277-82.
216. Perusse L, Leblanc C, Bouchard C. Familial resemblance in lifestyle components: results from the Canada Fitness Survey. *Canadian journal of public health.* 1988 May-Jun;79(3):201-5.
217. Perusse L, Tremblay A, Leblanc C, Bouchard C. Genetic and environmental influences on level of habitual physical activity and exercise participation. *American journal of epidemiology.* 1989 May;129(5):1012-22.
218. Simonen RL, Perusse L, Rankinen T, Rice T, Rao DC, Bouchard C. Familial aggregation of physical activity levels in the Quebec Family Study. *Medicine and science in sports and exercise.* 2002 Jul;34(7):1137-42.
219. Simonen RL, Rankinen T, Perusse L, Rice T, Rao DC, Chagnon Y, et al. Genome-wide linkage scan for physical activity levels in the Quebec Family study. *Medicine and science in sports and exercise.* 2003 Aug;35(8):1355-9.
220. Rankinen T, Roth SM, Bray MS, Loos R, Perusse L, Wolfarth B, et al. Advances in exercise, fitness, and performance genomics. *Med Sci Sports Exerc.* May;42(5):835-46.
221. Joosen AM, Gielen M, Vlietinck R, Westerterp KR. Genetic analysis of physical activity in twins. *The American journal of clinical nutrition.* 2005 Dec;82(6):1253-9.
222. Beets MW, Vogel R, Chapman S, Pitetti KH, Cardinal BJ. Parent's social support for children's outdoor physical activity: Do weekdays and weekends matter? *Sex Roles.* 2007;56(125-131).
223. Loucaides CA, Jago R. Correlates of pedometer-assessed physical activity in Cypriot elementary school children. *Journal of physical activity & health.* 2006;3:267-76.
224. Ziviani J, Macdonald D, Jenkins D, Rodger S, Batch J, Cerin E. Physical activity of young children. *Occupation, Participation and Health.* 2006;26:4e14.
225. Ziviani J, Macdonald D, Ward H, Jenkins D, Rodger S. Physical activity of young children: a two-year follow-up. *Physical & occupational therapy in pediatrics.* 2008;28(1):25-39.
226. Romon M, Lafay L, Bresson JL, Oppert JM, Borys JM, Kettaneh A, et al. Relationships between physical activity and plasma leptin levels in healthy children: the Fleurbaix-Laventie Ville Sante II Study. *Int J Obes Relat Metab Disord.* 2004 Oct;28(10):1227-32.
227. Trost SG, Pate RR, Freedson PS, Sallis JF, Taylor WC. Using objective physical activity measures with youth: how many days of monitoring are needed? *Medicine and science in sports and exercise.* 2000 Feb;32(2):426-31.
228. Tudor-Locke C, Burkett L, Reis JP, Ainsworth BE, Macera CA, Wilson DK. How many days of pedometer monitoring predict weekly physical activity in adults? *Prev Med.* 2005 Mar;40(3):293-8.

229. Ukoumunne OC. A comparison of confidence interval methods for the intraclass correlation coefficient in cluster randomized trials. *Statistics in medicine*. 2002 Dec 30;21(24):3757-74.
230. Rosner B, Donner A, Hennekens CH. Estimation of interclass correlation from familial data. *Appl Stat*. 1977(26):179-87.
231. Seabra AF, Mendonca DM, Goring HH, Thomis MA, Maia JA. Genetic and environmental factors in familial clustering in physical activity. *Eur J Epidemiol*. 2008;23(3):205-11.
232. Thompson JL, Jago R, Brockman R, Cartwright K, Page AS, Fox KR. Physically active families - de-bunking the myth? A qualitative study of family participation in physical activity. *Child: care, health and development*. 2009 Dec 29.
233. Sequeira MM, Rickenbach M, Wietlisbach V, Tullen B, Schutz Y. Physical activity assessment using a pedometer and its comparison with a questionnaire in a large population survey. *American journal of epidemiology*. 1995 Nov 1;142(9):989-99.
234. Freedson PS, Evenson S. Familial aggregation in physical activity. *Research quarterly for exercise and sport*. 1991 Dec;62(4):384-9.
235. Moore LL, Lombardi DA, White MJ, Campbell JL, Oliveria SA, Ellison RC. Influence of parents' physical activity levels on activity levels of young children. *The Journal of pediatrics*. 1991 Feb;118(2):215-9.
236. Beydoun MA, Wang Y. Parent-child dietary intake resemblance in the United States: evidence from a large representative survey. *Social science & medicine (1982)*. 2009 Jun;68(12):2137-44.
237. Perusse L, Tremblay A, Leblanc C, Cloninger CR, Reich T, Rice J, et al. Familial resemblance in energy intake: contribution of genetic and environmental factors. *The American journal of clinical nutrition*. 1988 Apr;47(4):629-35.
238. Patterson TL, Kaplan RM, Sallis JF, Nader PR. Aggregation of blood pressure in Anglo-American and Mexican-American families. *Prev Med*. 1987 Sep;16(5):616-25.
239. Treuth MS, Butte NF, Ellis KJ, Martin LJ, Comuzzie AG. Familial resemblance of body composition in prepubertal girls and their biological parents. *The American journal of clinical nutrition*. 2001 Oct;74(4):529-33.
240. Perusse L, Leblanc C, Tremblay A, Allard C, Theriault G, Landry F, et al. Familial aggregation in physical fitness, coronary heart disease risk factors, and pulmonary function measurements. *Prev Med*. 1987 Sep;16(5):607-15.
241. Tudor-Locke C, Johnson WD, Katzmarzyk PT. Accelerometer-Determined Steps/Day in U.S. Children and Youth. *Medicine and science in sports and exercise*. Apr 22.
242. Caspersen CJ, Pereira MA, Curran KM. Changes in physical activity patterns in the United States, by sex and cross-sectional age. *Medicine and science in sports and exercise*. 2000 Sep;32(9):1601-9.
243. Nader PR, Bradley RH, Houts RM, McRitchie SL, O'Brien M. Moderate-to-vigorous physical activity from ages 9 to 15 years. *Jama*. 2008 Jul 16;300(3):295-305.

244. Trost SG, Pate RR, Sallis JF, Freedson PS, Taylor WC, Dowda M, et al. Age and gender differences in objectively measured physical activity in youth. *Medicine and science in sports and exercise*. 2002 Feb;34(2):350-5.
245. Bond DS, Phelan S, Leahey TM, Hill JO, Wing RR. Weight-loss maintenance in successful weight losers: surgical vs non-surgical methods. *Int J Obes (Lond)*. 2009 Jan;33(1):173-80.
246. Wing RR, Phelan S. Long-term weight loss maintenance. *The American journal of clinical nutrition*. 2005 Jul;82(1 Suppl):222S-5S.
247. Jacobi D, Ciangura C, Couet C, Oppert JM. Physical activity and weight loss following bariatric surgery. *Obes Rev*. May;12(5):366-77.
248. Josbeno DA, Jakicic JM, Hergenroeder A, Eid GM. Physical activity and physical function changes in obese individuals after gastric bypass surgery. *Surg Obes Relat Dis*. 2008 Aug 14.
249. Colles SL, Dixon JB, O'Brien PE. Hunger control and regular physical activity facilitate weight loss after laparoscopic adjustable gastric banding. *Obesity surgery*. 2008 Jul;18(7):833-40.
250. Karason K, Lindroos AK, Stenlof K, Sjostrom L. Relief of cardiorespiratory symptoms and increased physical activity after surgically induced weight loss: results from the Swedish Obese Subjects study. *Archives of internal medicine*. 2000 Jun 26;160(12):1797-802.
251. Mathus-Vliegen EM, de Wit LT. Health-related quality of life after gastric banding. *The British journal of surgery*. 2007 Apr;94(4):457-65.
252. Boan J, Kolotkin RL, Westman EC, McMahon RL, Grant JP. Binge eating, quality of life and physical activity improve after Roux-en-Y gastric bypass for morbid obesity. *Obesity surgery*. 2004 Mar;14(3):341-8.
253. Welch G, Wesolowski C, Zagarins S, Kuhn J, Romanelli J, Garb J, et al. Evaluation of clinical outcomes for gastric bypass surgery: results from a comprehensive follow-up study. *Obesity surgery*. Jan;21(1):18-28.
254. Bond DS, Phelan S, Wolfe LG, Evans RK, Meador JG, Kellum JM, et al. Becoming physically active after bariatric surgery is associated with improved weight loss and health-related quality of life. *Obesity (Silver Spring, Md)*. 2009 Jan;17(1):78-83.
255. Silver HJ, Torquati A, Jensen GL, Richards WO. Weight, dietary and physical activity behaviors two years after gastric bypass. *Obesity surgery*. 2006 Jul;16(7):859-64.
256. Brage S, Brage N, Franks PW, Ekelund U, Wong MY, Andersen LB, et al. Branched equation modeling of simultaneous accelerometry and heart rate monitoring improves estimate of directly measured physical activity energy expenditure. *J Appl Physiol*. 2004 Jan;96(1):343-51.
257. Bravata DM, Smith-Spangler C, Sundaram V, Gienger AL, Lin N, Lewis R, et al. Using pedometers to increase physical activity and improve health: a systematic review. *Jama*. 2007 Nov 21;298(19):2296-304.

258. Autenrieth CS, Baumert J, Baumeister SE, Fischer B, Peters A, Doring A, et al. Association between domains of physical activity and all-cause, cardiovascular and cancer mortality. *Eur J Epidemiol.* Feb;26(2):91-9.
259. Stamatakis E, Hamer M, Lawlor DA. Physical activity, mortality, and cardiovascular disease: is domestic physical activity beneficial? The Scottish Health Survey -- 1995, 1998, and 2003. *American journal of epidemiology.* 2009 May 15;169(10):1191-200.
260. Besson H, Ekelund U, Brage S, Luben R, Bingham S, Khaw KT, et al. Relationship between subdomains of total physical activity and mortality. *Medicine and science in sports and exercise.* 2008 Nov;40(11):1909-15.
261. Hu G, Jousilahti P, Antikainen R, Tuomilehto J. Occupational, commuting, and leisure-time physical activity in relation to cardiovascular mortality among finnish subjects with hypertension. *American journal of hypertension.* 2007 Dec;20(12):1242-50.
262. Duncan JS, Badland HM, Schofield G. Combining GPS with heart rate monitoring to measure physical activity in children: A feasibility study. *Journal of science and medicine in sport / Sports Medicine Australia.* 2009 Sep;12(5):583-5.
263. Quigg R, Gray A, Reeder AI, Holt A, Waters DL. Using accelerometers and GPS units to identify the proportion of daily physical activity located in parks with playgrounds in New Zealand children. *Prev Med.* May-Jun;50(5-6):235-40.
264. Wheeler BW, Cooper AR, Page AS, Jago R. Greenspace and children's physical activity: a GPS/GIS analysis of the PEACH project. *Prev Med.* Aug;51(2):148-52.
265. Fjortoft I, Lofman O, Halvorsen Thoren K. Schoolyard physical activity in 14-year-old adolescents assessed by mobile GPS and heart rate monitoring analysed by GIS. *Scandinavian journal of public health.* Nov;38(5 Suppl):28-37.
266. Dishman RK, Sallis JF, Orenstein DR. The determinants of physical activity and exercise. *Public Health Rep.* 1985 Mar-Apr;100(2):158-71.
267. Stokols D. Translating social ecological theory into guidelines for community health promotion. *Am J Health Promot.* 1996;10(4):282-98.
268. Richard L, Gauvin L, Raine K. Ecological models revisited: their uses and evolution in health promotion over two decades. *Annual review of public health.* Apr 21;32:307-26.
269. Brockman R, Jago R, Fox KR, Thompson JL, Cartwright K, Page AS. "Get off the sofa and go and play": family and socioeconomic influences on the physical activity of 10-11 year old children. *BMC public health.* 2009;9:253.
270. Gruber KJ, Haldeman LA. Using the family to combat childhood and adult obesity. *Preventing chronic disease.* 2009 Jul;6(3):A106.
271. Kantomaa MT, Tammelin TH, Nayha S, Taanila AM. Adolescents' physical activity in relation to family income and parents' education. *Prev Med.* 2007 May;44(5):410-5.
272. Mitchell BD, Rainwater DL, Hsueh WC, Kennedy AJ, Stern MP, Maccluer JW. Familial aggregation of nutrient intake and physical activity: results from the San Antonio Family Heart Study. *Annals of epidemiology.* 2003 Feb;13(2):128-35.

273. Going SB, Levin S, Harrell J, Stewart D, Kushi L, Cornell CE, et al. Physical activity assessment in American Indian schoolchildren in the Pathways study. *The American journal of clinical nutrition*. 1999 Apr;69(4 Suppl):788S-95S.
274. Sallis JF, Buono MJ, Freedson PS. Bias in estimating caloric expenditure from physical activity in children. Implications for epidemiological studies. *Sports Med*. 1991 Apr;11(4):203-9.
275. Welk GJ, Corbin CB, Dale D. Measurement issues in the assessment of physical activity in children. *Research quarterly for exercise and sport*. 2000 Jun;71(2 Suppl):S59-73.
276. Schutz Y, Herren R. Assessment of speed of human locomotion using a differential satellite global positioning system. *Medicine and science in sports and exercise*. 2000 Mar;32(3):642-6.
277. Tan H, Wilson AM, Lowe J. Measurement of stride parameters using a wearable GPS and inertial measurement unit. *Journal of biomechanics*. 2008;41(7):1398-406.
278. Zhang K, Werner P, Sun M, Pi-Sunyer FX, Boozer CN. Measurement of human daily physical activity. *Obesity research*. 2003 Jan;11(1):33-40.
279. Staudenmayer J, Pober D, Crouter S, Bassett D, Freedson P. An artificial neural network to estimate physical activity energy expenditure and identify physical activity type from an accelerometer. *J Appl Physiol*. 2009 Oct;107(4):1300-7.
280. Bonomi AG, Plasqui G, Goris AH, Westerterp KR. Improving assessment of daily energy expenditure by identifying types of physical activity with a single accelerometer. *J Appl Physiol*. 2009 Sep;107(3):655-61.
281. Crouter SE, Clowers KG, Bassett DR, Jr. A novel method for using accelerometer data to predict energy expenditure. *J Appl Physiol*. 2006 Apr;100(4):1324-31.
282. Zhang K, Pi-Sunyer FX, Boozer CN. Improving energy expenditure estimation for physical activity. *Medicine and science in sports and exercise*. 2004 May;36(5):883-9.
283. Welk GJ, McClain JJ, Eisenmann JC, Wickel EE. Field validation of the MTI Actigraph and BodyMedia armband monitor using the IDEEA monitor. *Obesity (Silver Spring, Md)*. 2007 Apr;15(4):918-28.

Annexe 1 : courrier d'acceptation pour publication (article 2)

From: eic_jpah@hkusa.com, eic-jpah@hkusa.com

To: jacobi@med.univ-tours.fr

Subject: Journal of Physical Activity & Health - Decision on Manuscript ID JPAH_2009_0275.R1

Body: @@15-MAY-2010@@

Dear Dr. Jacobi:

Congratulations. It is a pleasure to accept your manuscript entitled "Reproducibility and validity of the French version of the long International Physical Activity Questionnaire in patients with type 2 diabetes" JPAH_2009_0275.R1 in its current form for publication in the Journal of Physical Activity & Health. Thank you for being so responsive to the comments of the reviewers.

Please be aware that substantive changes to text CANNOT be made after a manuscript has been submitted for publication. In addition, NO changes can be made to figures after a manuscript has been submitted to the publisher. If an error is found in a figure, please contact Kim McCallum immediately at jpah@hkusa.com; do not contact Human Kinetics personnel directly. Any request for changes may result in removal of your paper from its assigned issue and placement in a later issue, as space permits.

When it is appropriate, you will receive galleys to review, notice of your publication date, and any other pertinent information from our Managing Editor. When the galley proofs from your manuscript are available, please review them very carefully and respond to Human Kinetics, following their instructions, within 48 hours. To avoid production delays, please respond with your changes in an expeditious manner.

Should you have a change of address during the publication phase, please notify Kim McCallum and she will notify the publisher. If you have any questions, please contact her at jpah@hkusa.com.

Again, congratulations on the acceptance of your manuscript and thank you for your support of JPAH.

Sincerely,
Jennifer M. Hootman & Harold W. Kohl, III

Editors-In-Chief
Journal of Physical Activity & Health

MESURES DE L'ACTIVITE PHYSIQUE EN CONDITIONS DE VIE COURANTE :

VALIDITÉ ET APPLICATIONS CHEZ DES SUJETS PEU ACTIFS

Résumé

L'inactivité physique, facteur de risque de pathologies chroniques, est un problème majeur de santé publique. Des méthodes validées sont essentielles pour mesurer l'activité physique (AP). Le 1^{er} objectif de cette thèse était de préciser la validité des techniques de mesure de l'AP. Le 2nd objectif visait à comparer les résultats de questionnaires de rappel évaluant le contexte aux mesures objectives de l'AP. Le 3^{ème} objectif était d'évaluer l'intérêt des méthodes objectives pour l'étude de certains déterminants de l'AP. Nous avons mesuré par différentes méthodes (calorimétrie indirecte, actimètres, questionnaires de rappel) l'AP, en vie libre, de sujets peu actifs (personnes obèses, diabétiques ou sédentaires). Nos résultats illustrent l'intérêt des méthodes objectives mais aussi leurs limites, ainsi que l'intérêt des données déclaratives pour évaluer le contexte. Le choix des méthodes influence le résultat des études et doit tenir compte des caractéristiques de l'AP des sujets les moins actifs. Ce choix participe à l'amélioration des connaissances des liens entre AP et santé pour guider la promotion de l'AP des segments peu actifs de la population.

Mots clés : validation, activité physique, dépense énergétique, questionnaire, podomètre, accéléromètres, obésité, diabète, famille

Abstract

Physical inactivity is a risk factor for chronic diseases and is recognized as a major public health issue. Validated methods are essential to describe accurately physical activity (PA). The 1st aim of this work was to assess the validity of PA assessment techniques. The 2nd was to compare the results of recall questionnaires evaluating PA context with objective PA measures. The 3rd was to assess the usefulness of objective methods in the assessment of some determinants of PA. We measured free-living PA with different methods (indirect calorimetry, actimetry, recall questionnaire assessing PA context) in individuals with low PA levels (obese subjects, type 2 diabetic patients, inactive subjects). The results highlight the usefulness but also the limits of the methods of PA measurement in daily life conditions. The choice of an assessment method will influence the study results and must be adapted to the unique ways in which the least active individuals engage in PA. Selecting the appropriate method is a pre-requisite for improving our knowledge on the relations between PA and health in order to guide PA promotion in the least active segments of the population.

Key words: validation, physical activity, energy expenditure, questionnaire, pedometer, accelerometer, obesity, diabetes, family