

## 7

## Mesures et caractéristiques

L'activité physique se définit comme tout mouvement corporel produit par la contraction des muscles squelettiques entraînant une augmentation de la dépense d'énergie au dessus de la dépense de repos. Il s'agit d'un comportement qui se caractérise par plusieurs paramètres pouvant être mesurés au moyen de différentes méthodes.

L'activité physique a un coût énergétique qui peut être traduit en dépense énergétique quantifiable (LaMonte et coll., 2001 ; Schutz et coll., 2001). Les méthodes de mesure de la dépense énergétique permettent de mesurer directement le coût énergétique global de l'activité physique d'un individu. Cependant, elles dépendent de facteurs tels que la masse corporelle, le rendement et l'efficacité du mouvement, rendant difficile la comparaison entre individus (Schutz et coll., 2001).

À l'inverse, les méthodes de mesure de l'activité physique permettent de mesurer et comparer cette activité entre les individus, et également de recueillir les différentes caractéristiques de l'activité physique. Par extrapolation, la dépense énergétique liée à l'activité physique peut également être évaluée. Les indicateurs résultant de la combinaison des paramètres mesurés peuvent être un score, une appartenance à un groupe prédéfini, un temps ou une dépense énergétique.

L'activité physique est un phénomène complexe qui se caractérise par son type (quelle activité physique), sa durée (pendant combien de temps), sa fréquence (quelle régularité et quel fractionnement), son intensité (quel investissement physique et quelle dépense énergétique), et son contexte (quel environnement). Les conditions sociales dans lesquelles elle est pratiquée ont également leur importance (Montoye, 2000). Les variations saisonnières des activités physiques ne facilitent pas leur mesure mais il est nécessaire de les considérer (Uitenbroek, 1993 ; Matthews et coll., 2001a, b et 2002).

Cinq contextes dans lesquels l'activité physique peut se dérouler ont été identifiés : loisir, jardinage/bricolage, tâches ménagères, transport, activité occupationnelle (rémunérée ou non) (Booth, 2000). Il est intéressant de noter que toute activité modérée (c'est-à-dire qui demande un effort physique modéré et fait respirer un peu plus difficilement que normalement),

telles que les activités ménagères (Gunn et coll., 2002 et 2004 ; Brooks et coll., 2004) ou monter les escaliers (Boreham et coll., 2000), permet d'atteindre des bénéfices de santé équivalents et contribue à atteindre les recommandations (Blair et coll., 1992). En effet, une étude menée chez des femmes âgées de 60 à 79 ans a montré que plus des 2/3 des sujets atteignaient les recommandations lorsque les tâches ménagères étaient considérées mais que lorsque ces activités étaient exclues la proportion descendait à 21 % (Lawlor et coll., 2002). La mesure de ces activités n'est pas à négliger du fait de la relation inverse existant entre niveau d'activité physique et mortalité. Weller et Corey ont non seulement montré que plus le niveau d'activité physique est élevé, plus la mortalité diminue chez les femmes mais surtout que cette association est principalement due à l'énergie dépensée dans des activités autres que de loisir, notamment ménagères, qui représentent 82 % de leur activité totale (Weller et coll., 1998). Cependant, le coût énergétique de ces activités ne peut être qu'estimé étant donné les résultats contradictoires des études s'attachant à déterminer le coût énergétique des activités ménagères. Des auteurs ont montré que les tâches ménagères d'intérieur telles que faire les vitres, la poussière ou passer l'aspirateur et la marche à pas lent ne permettent pas d'atteindre un niveau de dépense énergétique modérée (Hendelman et coll., 2000). De plus, les valeurs énergétiques trouvées dans cette étude diffèrent significativement de celles du *compendium* (Ainsworth et coll., 2000b). Plus récemment, Gunn et coll. (2002) ont mis en évidence que les activités telles que la marche à un pas modéré, balayer, faire les vitres et tondre sont réalisées à une intensité modérée mais pas passer l'aspirateur, contrairement au *compendium* (Ainsworth et coll., 2000b).

Par ailleurs, une étude a montré que la prévalence de la marche peut grandement varier selon le type de marche inclus dans l'instrument de mesure, passant de 43 % si seul le temps de loisir est considéré à 81 % si la totalité de la marche est prise en compte (Bates et coll., 2005). Il est donc nécessaire de mieux comprendre la contribution respective de l'activité physique au travail et de l'activité physique de loisir dans le dénombrement du nombre de pas quotidien (Welk et coll., 2000b).

Une même activité physique peut se pratiquer à différentes intensités correspondant au coût énergétique d'un travail physique. En dehors de l'utilisation de méthodes objectives de mesure de la dépense énergétique, il existe deux méthodes pour estimer l'intensité de l'activité physique dont il a été montré qu'elles sont discordantes et qu'elles peuvent conduire à des erreurs de classement des individus par rapport aux recommandations (Wilcox et coll., 2001) :

- demander au sujet d'estimer l'intensité de chaque activité rapportée (légère, modérée, intense) en lui donnant des informations et des exemples ;
- attribuer une intensité à chaque activité rapportée en utilisant un système de classification uniforme.

Le coût énergétique lié à une activité physique peut être exprimé en équivalent métabolique (MET ou *Metabolic Equivalent Tasks* : rapport du coût énergétique d'une activité donnée à la dépense énergétique de repos)<sup>38</sup>. Le coût énergétique varie en fonction de l'intensité de l'activité physique : <3 METs pour une activité légère, 3-6 METs pour une activité moyenne et >6 METs pour une activité intense. Les tables disponibles dans la littérature permettent d'estimer la valeur énergétique de l'activité physique (Ainsworth et coll., 1993 et 2000b ; Vaz et coll., 2005). Le coût énergétique peut aussi être défini à partir de la perception de l'effort par les sujets eux-mêmes, notamment au moyen de l'échelle de perception de l'effort de Borg (1982), basée sur les sensations physiques qu'ont les sujets lorsqu'ils pratiquent une activité physique (fréquence cardiaque, respiration, transpiration, fatigue musculaire) (Goss et coll., 2003).

Une revue de la littérature a mis en évidence que le cumul de plusieurs périodes courtes (10-15 minutes) d'activité est aussi bénéfique qu'une période longue totalisant la même durée (Hardman, 2001). Des études récentes ont confirmé ces résultats (Lee et coll., 2000 ; Murphy et coll., 2002 ; Osei-Tutu et coll., 2005), bien que d'autres aient montré qu'une marche continue puisse engendrer des bénéfices supplémentaires (Woolf-May et coll., 1999 ; Murtagh et coll., 2005) ou une dépense énergétique supérieure comparé à une marche intermittente (Fulton et coll., 2001).

Peu d'informations sont disponibles sur les bénéfices dérivés de l'accumulation de très courtes périodes d'exercice (5-6 minutes) (Haskell, 2001), mais une étude récente tend à montrer que le cumul de périodes très courtes (50 % ≤ 6 minutes) peut améliorer la forme physique de sujets adultes sédentaires (Macfarlane et coll., 2006).

Les activités de la vie courante sont plus difficiles à mesurer que les exercices intenses car elles sont généralement moins structurées et il est donc plus difficile de s'en rappeler. Elles peuvent également être pratiquées à des intensités variables selon les individus et être cumulées au cours de la journée ce qui rend encore plus difficile les mesures de fréquence, durée et intensité de ces activités (Welk et coll., 2000a).

Plusieurs méthodes peuvent être utilisées pour mesurer l'activité physique et/ou la dépense énergétique qui lui est associée.

---

38. Le MET est l'équivalent métabolique correspondant à la consommation d'oxygène de repos qui équivaut à 3 millilitres d'oxygène par kilogramme de masse corporelle par minute ou à environ 1 kilocalorie par kilogramme de masse corporelle par heure. Les activités physiques peuvent être classées selon la dépense énergétique qu'elles engendrent. Par exemple, une activité physique de 2 METs exige une consommation d'oxygène 2 fois plus importante que celle de repos.

## Méthodes de mesure de l'activité physique et de la dépense énergétique

Des ouvrages sont consacrés à la présentation des différentes méthodes de mesure de l'activité physique et de la dépense énergétique (Montoye et coll., 1996 ; Welk, 2002) et de nombreux articles sont également disponibles dans la littérature (Melanson et coll., 1996 ; Haskell et coll., 2000 ; *International Life Sciences Institute*, 2000 ; Schutz et coll., 2001 ; Oppert, 2001 et 2004 ; Vanhees et coll., 2005). Des études s'attachent plus particulièrement à faire le point des méthodes existantes selon la pathologie considérée (Casillas et coll., 2005 ; Pitta et coll., 2006) alors que d'autres s'intéressent à repérer les spécificités de la mesure dans des populations particulières, telles que les enfants et les adolescents (Sirard et coll., 2001 ; Trost, 2001) mais aussi les personnes âgées (Starling et coll., 1999).

Nous distinguerons les méthodes de mesure de l'activité physique des méthodes de mesure de la dépense énergétique (tableau 7.I) (LaMonte et coll., 2001).

**Tableau 7.I : Méthodes de mesure de l'activité physique et de la dépense énergétique (d'après LaMonte et coll., 2001 ; Sirard et coll., 2001)**

	Activité physique	Dépense énergétique
Critères de références	Observation	Calorimétrie directe Calorimétrie indirecte (eau doublement marquée, consommation d'oxygène)
Mesures secondaires	Podomètre Accéléromètre	Fréquence cardiaque
Mesures déclaratives	Rappel d'activité (auto-administré, entretien) par le sujet ou une tierce personne Journal/log	

### Méthodes de mesure de l'activité physique

L'observation du comportement, le recensement de déclarations d'activité physique et les mesures effectuées à l'aide d'instruments portables permettent donc de rendre compte du niveau d'activité physique. Nous allons examiner ces différentes méthodes une à une.

#### **Observation**

L'observation directe du comportement par des observateurs est l'une des premières méthodes de mesure de l'activité physique qui nécessite la présence de l'observateur sur le terrain. L'observation indirecte consiste à enregistrer

les comportements des personnes puis à les visionner. Dans les deux cas, l'observation est menée par des observateurs entraînés qui utilisent des grilles d'observation pour relever les activités du sujet et les éléments qui s'y rapportent. Elle permet de caractériser l'activité physique et de quantifier les différents paramètres qui s'y rapportent. L'observation peut porter sur l'activité physique dans son ensemble ou sur un aspect spécifique du mouvement (partie du corps, nombre de mouvements par unité de temps, distance, durée, tempo, continuité, rythmicité du mouvement...) (Montoye et coll., 1996 ; McKenzie, 2002).

Cette technique est plus particulièrement utilisée chez les enfants du fait de la difficulté à utiliser d'autres méthodes dans cette population mais n'est pas utilisée dans les enquêtes épidémiologiques (tableau 7.II).

**Tableau 7.II : Atouts et limites de l'observation**

Atouts	Limites
Recueil d'informations en temps réel	Acceptabilité de l'observateur par le sujet (intrusif, influence sur le comportement)
Objectivité	Nombre d'observateurs nécessaires
Possibilité d'analyse du mouvement	Consommateur de temps
Ressources matérielles limitées (sauf si enregistrement vidéo)	Travail fastidieux (fatigue des observateurs)
	Reproductibilité inter-observateurs

### ***Journal/Log***

Le journal ou le log est une méthode déclarative qui consiste en un relevé régulier de l'activité physique par le sujet lui-même sur un formulaire préparé à l'avance. Le journal fournit un compte-rendu détaillé de toutes les activités physiques d'une journée alors que le log est un recueil continu de la participation du sujet à certaines activités physiques ; l'heure de début et de fin d'activité étant relevée au moment ou peu de temps après l'arrêt de l'activité physique. Le log diffère du journal par le fait que toutes les activités de la journée ne sont pas reportées (Haskell et coll., 2000). Le journal est rarement utilisé comme instrument de mesure seul mais plus fréquemment en complément d'une autre méthode. Cette méthode nécessite une bonne coopération des sujets et est inappropriée chez les enfants voire chez certaines personnes âgées. Ses atouts sont son faible coût et la possibilité de relever des données chez un grand nombre de sujets en même temps.

### ***Rappel d'activité (questionnaire)***

Le rappel d'activité est également une méthode déclarative qui se présente sous la forme d'un questionnaire rempli par le sujet lui-même, en auto-

administration ou au cours d'un entretien, ou par une tierce personne (enseignant, assistante maternelle, conjoint...). Les questionnaires sont souvent utilisés dans les études épidémiologiques pour déterminer quel est leur niveau d'activité physique habituel. Ils sont traditionnellement conçus de manière à ce que le sujet reporte le type d'activité pratiquée, la fréquence, la durée et l'intensité. Les questionnaires se présentent sous différentes formes : papier<sup>39</sup>, assisté par ordinateur (Berthouze et coll., 1993 ; Vuillemin et coll., 2000), à remplir sur le web (Marsden et coll., 2001) et leurs périodes de rappel sont variables pouvant s'étendre sur la vie du sujet (Friedenreich et coll., 1998 ; Vuillemin et coll., 2000 ; Chasan-Taber et coll., 2002).

Les indicateurs d'activité physique fournis sont calculés à partir d'informations recueillies à l'aide de questions ouvertes ou fermées (échelle de Likert, ensemble fini de modalités). Il est important de signaler que les indicateurs de dépense énergétique obtenus à partir de questionnaires restent imprécis du fait des multiples facteurs qui en influencent leur calcul, en particulier les caractéristiques physiques du sujet (âge, sexe, taille, poids) et les conditions environnementales et sociales de la pratique (température, altitude, humidité, niveau...) ; leur interprétation doit donc rester prudente. En effet, la validité d'un questionnaire peut varier du fait du poids du sujet (Norman et coll., 2001).

De nombreux questionnaires de mesure de l'activité physique sont disponibles dans la littérature. La plupart d'entre eux sont des questionnaires génériques, administrables en population générale. Certains questionnaires ont été spécifiquement élaborés pour mesurer l'activité physique au travail, d'autres ne mesurent que l'activité physique de loisir, mais de plus en plus, les questionnaires intègrent les différents contextes de pratique et permettent de mesurer l'activité physique habituelle globale. Des questionnaires ont plus particulièrement été conçus pour être administrés à des enfants/adolescents (Kohl et coll., 2000 ; Tessier et coll., 2007), des personnes âgées (DiPietro et coll., 1993 ; Washburn et coll., 1993 ; Pols et coll., 1995 ; Schuit et coll., 1997 ; Washburn et coll., 1999 ; Washburn, 2000 ; Harada et coll., 2001 ; Stewart et coll., 2001 ; Schuler et coll., 2001 ; Robert et coll., 2004 ; Taylor-Piliae et coll., 2006). De plus, des questionnaires élaborés pour les adultes (Baecke et coll., 1982 ; Berthouze et coll., 1993) comme le MLTPAQ (*Minnesota Leisure-Time Physical Activity Questionnaire*) (Taylor et coll., 1978 ; Sallis et coll., 1985) ont été adaptés ou utilisés dans des populations de personnes âgées (Voorrips et coll., 1991 ; Cartmel et coll., 1992 ; Bonnefoy et coll., 1996 ; Bonnefoy et coll., 2001). Les propriétés psychométriques de certains d'entre eux sont adaptées à des populations spécifiques, telles que les femmes enceintes (*Kaiser Physical*

---

39. À ce sujet, voir : A collection of physical activity questionnaire for health-related research. In : *Med Sci Sports Exerc* 1997, 29 (suppl)

*Activity Survey*) (Schmidt et coll., 2006), les sujets atteints du VIH/SIDA (*Baecke Physical Activity Questionnaire*) (Florindo et coll., 2006), de schizophrénie (IPAQ, *International Physical Activity Questionnaire*) (Faulkner et coll., 2006), de déficiences (Washburn et coll., 2002 ; Pitta et coll., 2006) ou d'obésité (*Baecke Physical Activity Questionnaire*, IPAQ) (Tehard et coll., 2005) voire les personnes âgées atteintes de douleur au genou ou d'infirmité physique (Martin et coll., 1999). Des questionnaires ont également été spécialement élaborés pour mesurer : l'activité physique chez des sujets déficients atteints de maladies chroniques (Rimmer et coll., 2001), les contraintes mécaniques exercées sur l'os (de Ridder et coll., 2002 ; Kemper et coll., 2002), une activité spécifique comme la marche (Giles-Corti et coll., 2006) ; mais aussi pour permettre au médecin de famille d'identifier rapidement les sujets insuffisamment actifs (Marshall et coll., 2005). En fonction du questionnaire administré et du mode de calcul du score appliqué, l'estimation de la proportion de sujets suivant les recommandations d'activité physique peut fortement varier (Sarkin et coll., 2000) et les comparaisons internationales sont donc difficiles (Zhu, 2000). Le questionnaire IPAQ est un des rares questionnaires ayant fait l'objet de traduction-adaptation en plusieurs langues<sup>40</sup> et dont les propriétés psychométriques ont été explorées (Craig et coll., 2003 ; Rutten et coll., 2003a et b). Cependant, ce questionnaire semble surestimer le niveau d'activité physique (Rzewnicki et coll., 2003).

L'utilisation de cette méthode est particulièrement problématique chez les enfants âgés de moins de 10 ans (Pate, 1993) du fait de leurs capacités cognitives et du caractère sporadique de l'intensité et de la durée de l'activité physique. Le tableau 7.III présente les atouts et les limites des questionnaires de rappels d'activité.

### **Actimétrie**

L'actimétrie est une méthode objective de mesure de l'activité d'un sujet, un dispositif permettant de quantifier le mouvement. Nous disposons actuellement d'appareils, portables à la ceinture ou à la cheville, qui permettent d'enregistrer les variations de vitesse des membres ou de la masse corporelle afin de rendre compte de l'activité physique voire de l'énergie dépensée au cours d'activités variées. Il existe deux principes de mesure de l'activité physique au moyen de détecteurs de mouvements. Le premier repose sur le principe du comptage des pas au moyen d'un podomètre. Le second intègre l'accélération du mouvement quantifiée à l'aide d'un accéléromètre.

40. [www.ipaq.ki.se](http://www.ipaq.ki.se)

**Tableau 7.III : Atouts et limites du rappel d'activité (d'après Sallis et coll., 2000 ; Shephard, 2003)**

Atouts	Limites
Faible coût	Précision du rappel
Application facile	Plusieurs facteurs liés à l'instrument et au sujet
Recueil des caractéristiques des activités physiques	(contexte des questions, âge, facteurs culturels, statut professionnel, capacité cognitive...)
Valide pour classer les sujets dans des catégories d'activité physique (Strath et coll., 2000)	modifie la précision du rappel (Durante et coll., 1996)
Prise en compte de la variation saisonnière des activités physiques si période de rappel suffisamment importante	Biais de mémoire, d'interprétation de la part du sujet (activités de faible intensité, anciennes, longueur de la période de rappel) (Washburn et coll., 2000 ; Bonnefoy et coll., 2001)
Utilisable dans des enquêtes épidémiologiques	Conception du questionnaire : questionnaires proposant un intervalle de réponse ont montré une quantité d'activité physique rapportée plus élevée comparé aux questions ouvertes (Sarkin et coll., 2000). Les questionnaires courts et simples montrent généralement des coefficients de reproductibilité et de validité plus élevés que des questionnaires longs (Bonnefoy et coll., 2001)
	Tables des coûts énergétiques : la plupart des données disponibles ont été dérivées de populations limitées en nombre de sujets, genre (un seul genre), âge (jeunes) et les valeurs ne sont pas disponibles pour toutes les activités physiques
	Surestimation du temps et sous-estimation de la dépense énergétique (Tzetzis et coll., 2001 ; Walsh et coll., 2004)
	Usage inapproprié des échelles ordinales ou des indices résumés basés sur des intervalles ou des <i>ratios</i> pour évaluer les effets de l'activité physique (Zhu, 1996 et 2000)
	Validité (corrélation entre mesure observée et critère externe) difficile à établir

### **Podomètre**

Le podomètre est le premier des appareils portables utilisé pour rendre compte du niveau d'activité physique. Il a été conçu pour comptabiliser le nombre de pas sur une période de temps à partir de l'enregistrement des mouvements réalisés dans le plan vertical (Bassett et coll., 2000). Le nombre de pas peut être converti en une distance voire une dépense énergétique si des paramètres sont renseignés dans l'appareil (longueur du pas moyen, sexe, âge, poids). Le podomètre fournit une estimation satisfaisante de l'activité physique si les mouvements coïncident avec les déplacements verticaux du centre de gravité du corps (marche, course, saut, mais aussi mouvements parasites). Tout mouvement dans le plan vertical (comme se lever d'une chaise) peut éventuellement être détecté et compté pour un pas selon le seuil de réglage du podomètre (Schonhofer et coll., 1997). Une mauvaise reproductibilité a été observée pour des vitesses lentes (Welk et coll.,



2000b) pouvant être expliquée par le fait que les accélérations sont moins prononcées au niveau de la hanche et donc mal comptabilisées (Bassett et coll., 1996). En effet, des degrés de sensibilité variés ont été relevés selon les podomètres (Bassett et coll., 1996 ; Hendelman et coll., 2000). La comparaison d'un podomètre (*Yamax Digi Walker 200*) à un accéléromètre uniaxial (*CSA accelerometer*) a montré que le podomètre est moins sensible que l'accéléromètre pour détecter la marche. Le seuil d'accélération verticale requis pour enregistrer un pas est plus élevé pour le podomètre ( $0,35xg$  versus  $0,30xg$ ) (Tudor-Locke et coll., 2002). Certains podomètres sont plus précis que d'autres mais la tension des ressorts présents dans ces appareils peut varier à l'intérieur d'une même marque. « Les podomètres sont précis pour évaluer le nombre de pas, moins précis pour évaluer une distance et encore moins précis pour évaluer les kilocalories » (Crouter et coll., 2003). Le podomètre est limité dans sa capacité à évaluer la distance marchée ou l'énergie dépensée du fait de l'accroissement de la longueur du pas avec l'augmentation de la vitesse de marche (Bassett et coll., 1996). Une étude comparant les mesures entre le podomètre *Yamax-Digiwalker-500®* et l'eau doublement marquée (voir partie « Méthodes de mesure de la dépense énergétique ») a montré que la dépense énergétique liée à l'activité physique estimée à partir du nombre de pas est sous-estimée de 59 % comparé à l'eau doublement marquée (Leenders et coll., 2001).

L'activité physique ne se limite pas à la marche ou à l'activité des membres inférieurs ce qui peut restreindre l'utilisation de cet appareil. Mais du fait que la marche et la course représentent une part importante de notre activité, le podomètre reste valable pour estimer la quantité totale de mouvements quotidiens (Crouter et coll., 2003). Des recommandations ont alors été élaborées afin de faciliter l'interprétation des données recueillies au moyen de cet appareil (Tudor-Locke et coll., 2004 et 2005) (tableau 7.IV).

**Tableau 7.IV : Atouts et limites du podomètre**

Atouts	Limites
Simple, facile d'utilisation	Données fournies : nombre de pas, estimation d'une distance
Faible coût	Pas d'information sur la nature de l'activité physique, le temps passé et l'intensité de ces activités
Acceptable, léger, petite taille	Pas de sensibilité au changement de vitesse, pas de détection de l'augmentation du coût métabolique du fait de la graduation de la marche ou du port d'une charge
Feed-back immédiat	Tendance à sous-estimer la marche très lente (Cyarto et coll., 2004)
Utile pour favoriser et contrôler la marche (atteinte du nombre de pas recommandé) ou dans un contexte d'éducation à la santé (intéressant comme instrument de modification du comportement) (Welk et coll., 2000b)	Impossibilité de segmenter l'activité dans le temps
Porté dans les conditions de la vie courante	Activités : marche, course (pas d'enregistrement des activités n'impliquant pas les membres inférieurs)
	Moins sensible qu'un accéléromètre (seuil d'accélération verticale plus élevé pour détecter un pas) ; validité
	Pas de mémorisation ni d'enregistrement des données qui doivent être relevées

### **Accéléromètre**

L'accéléromètre est un appareil porté pour enregistrer les accélérations et les décélérations occasionnées par les mouvements du sujet. L'accélération peut être mesurée dans un plan ou plusieurs plans (Mathie et coll., 2004). Les accéléromètres uniaxiaux détectent les mouvements dans le plan vertical, ils peuvent être imprécis pour les activités avec des mouvements statiques du tronc comme faire du vélo et ramer (Freedson et coll., 2000). Les accéléromètres triaxiaux sont capables de détecter les mouvements dans trois plans (vertical, médio-latéral et antéro-postérieur), mais ils peuvent être sensibles aux vibrations, comme par exemple celles occasionnées en voiture (Le Masurier et coll., 2003). L'accélération de la masse corporelle et/ou des membres étant proportionnelle à la dépense énergétique, l'accéléromètre est également utilisé pour estimer une dépense énergétique liée à l'activité physique à partir d'équations pré-établies intégrant les caractéristiques du sujet. L'accéléromètre permet d'obtenir une mesure valide de l'activité physique mais l'estimation de la dépense énergétique est moins précise (Pate, 1993 ; Hendelman et coll., 2000) avec la possibilité de sous-estimation de la dépense énergétique pour des intensités basses et de surestimation pour des intensités plus élevées (Montoye et coll., 1983 ; Maliszewski et coll., 1991), de surestimation du coût énergétique de la marche et de sous-estimation de celui des autres activités du fait de l'incapacité à détecter les mouvements des bras (Bassett et coll., 2000) ou de conditions incompatibles (natation). Ainsi, l'accéléromètre peut sous-estimer la dépense énergétique quotidienne de 50-55 % (comparé à l'eau doublement marquée) (Starling et coll., 1999) ainsi que celle des activités telles que le golf et les tâches ménagères jusqu'à 55 % (Hendelman et coll., 2000). De plus, des études (Bassett et coll., 2000 ; Ainsworth et coll., 2000a) montrent des résultats discordants avec les coûts énergétiques disponibles dans le *compendium* (Ainsworth et coll., 1993 ; Ainsworth et coll., 2000b). Les accéléromètres diffèrent par la sensibilité au mouvement et la manière dont le mouvement est enregistré et traité par l'appareil, mais malgré une technologie et une sensibilité différente, ces instruments fournissent les mêmes paramètres<sup>41</sup> (Bassett et coll., 2000 ; Welk et coll., 2000a).

L'appareil peut se porter au niveau de la hanche, du bas du dos ou de la cheville selon les modèles. Une période d'enregistrement de 3 à 5 jours, à raison d'un minimum de 10 h par jour, est nécessaire pour estimer le niveau habituel d'activité physique, 7 jours étant l'idéal (Trost et coll., 2005). L'utilisation simultanée d'un journal ou d'un rappel d'activité pour relever les activités permet d'augmenter la précision de la mesure. Le tableau 7.V présente les atouts et les limites de l'accéléromètre.

---

41. Le supplément du journal *Medicine and Science in Sports and Exercise* (2005, vol. 37) intitulé « Objective monitoring of physical activity. Closing the gaps in the science of accelerometry » fournit des explications détaillées sur les aspects techniques des accéléromètres.

**Tableau 7.V : Atouts et limites de l'accéléromètre (d'après Trost et coll., 2005 ; Ward et coll., 2005)**

Atouts	Limites
Objectivité	Coût
Petite taille	Expertise technique pour analyser les données
Portable sur une période de temps longue sans interférence avec le mouvement normal	Matériels informatiques (stockage des données, logiciels) Précision limitée dans l'estimation de la dépense énergétique (Leenders et coll., 2001)
Conditions de la vie courante	Manque d'équations valides pour des populations spécifiques pour chaque instrument (Welk et coll., 2000a)
Capacité à enregistrer les données en continu sur de longues périodes de temps	Traditionnellement validé en laboratoire sur tapis roulant (marche ou course) et non validé par des mesures directes de coûts énergétiques dans les conditions de la vie courante ou au cours d'activités autres que de locomotion
Données fournies : durée, fréquence, intensité du mouvement, segmentation des périodes de pratique	Disponibilité des équations utilisées pour convertir les informations enregistrées en dépense énergétique
Application en pratique clinique (Culhane et coll., 2005)	Compliance à considérer même si faible rôle des sujets (allumer l'accéléromètre, vérifier le positionnement correct, éviter les chocs, vérifier le niveau de la batterie) (20 % de non compliance dans une population de sujets âgés (Kochersberger et coll., 1996) et 19 % chez des patients atteints de broncho-pneumopathie chronique obstructive (BPCO) (Pitta et coll., 2005)

## Méthodes de mesure de la dépense énergétique

Les méthodes de mesure de la dépense énergétique incluent essentiellement la calorimétrie directe, la calorimétrie indirecte et la fréquence cardiaque.

### *Calorimétrie directe*

La calorimétrie directe repose sur la mesure de la production de chaleur. La quantification des composants de la perte de chaleur dans une chambre calorimétrique (enceinte hermétique) permet de calculer la dépense énergétique associée à partir du principe d'égalité entre production de chaleur et dépense énergétique.

Cette méthode précise permet de calculer la dépense énergétique globale sans limitation d'activités ou d'intensités, mais le peu d'équipements disponibles et le coût de la calorimétrie en font une méthode peu utilisée. Il est de plus très difficile de reproduire la complexité des activités dans lesquelles les sujets s'engagent dans la vie courante.

### *Calorimétrie indirecte*

Cette méthode inclut à la fois l'eau doublement marquée et la consommation d'oxygène. La méthode de l'eau doublement marquée (Prentice, 1990 ; Schoeller et coll., 1991 ; Speakman, 1998) est reconnue comme critère de

référence pour l'évaluation de la dépense énergétique en situation réelle et la validation d'autres méthodes de mesure de la dépense énergétique liée à l'activité physique (Melanson et coll., 1996). Une étude récente souligne les difficultés d'utiliser cette méthode comme critère standard de validation du fait du rôle de la composition corporelle (Masse et coll., 2004).

Le principe de l'eau doublement marquée consiste à déterminer la production de dioxyde de carbone en mesurant la différence d'élimination d'isotopes stables marqués (deutérium et oxygène-18) à partir de l'eau corporelle totale. Le sujet ingère de l'eau contenant une concentration connue d'isotopes d'hydrogène (deutérium) et d'oxygène (oxygène-18) dont la quantité dépend de sa masse corporelle. Les isotopes se mélangent à l'eau corporelle et sont éliminés en quelques jours dans les fluides corporels. L'hydrogène marqué est éliminé du corps sous forme d'eau (urines principalement, sueur, respiration) et l'oxygène marqué est éliminé sous forme d'eau et de dioxyde de carbone. Le métabolisme de l'eau corporelle est estimé en mesurant quotidiennement la concentration de deutérium dans des échantillons d'urine ou de salive. La différence de taux d'excrétion entre les traceurs, déterminé au moyen d'un spectromètre de masse, reflète le volume de dioxyde de carbone produit pendant la période d'observation (3 semaines maximum).

La précision et la nature non invasive de cette méthode en font un outil idéal pour l'étude du métabolisme énergétique chez l'Homme (Schoeller, 1999). Elle permet de calculer une dépense énergétique globale sur une période de temps déterminée mais ne permet pas de connaître la quantité d'énergie dépensée sur des périodes plus brèves à l'intérieur de cette période de temps. Le type d'activité pratiquée n'est pas pris en compte et doit être relevé séparément. La dépense énergétique liée à l'activité physique peut être estimée en faisant la différence entre la dépense énergétique totale, le métabolisme de repos, et la thermogenèse alimentaire (tableau 7.VI).

**Tableau 7.VI : Atouts et limites de la calorimétrie indirecte**

Atouts	Limites
Faible nécessité de coopération de la part du sujet	Disponibilité du sujet Coût Disponibilité de l'oxygène-18
Précision, validité	Matériel (spectromètre de masse)
Reflète l'activité du sujet en situation réelle	Expertise technique pour la préparation de l'échantillon et des mesures Estimation du quotient respiratoire (connaître la consommation d'oxygène) : délai d'au moins 3 jours pour avoir une moyenne de dépense énergétique quotidienne
Caractère non invasif	Mesure globale de la dépense énergétique (dépense énergétique liée à l'activité physique obtenue par déduction) Pas de segmentation de l'activité Pas de portrait qualitatif de l'activité physique Nécessité de combiner avec une autre méthode Non applicable en pratique clinique courante ou dans des études de populations

### **Consommation d'oxygène (calorimétrie indirecte)**

Les échanges gazeux pulmonaires en oxygène et en dioxyde de carbone sont essentiellement fonction de leur utilisation ou libération par les tissus au cours de l'effort. L'évaluation de la dépense énergétique au moyen de mesures respiratoires est fondée sur la relation existant entre la consommation d'oxygène et le coût énergétique de l'oxydation des substrats énergétiques (Jequier et coll., 1987).

La consommation maximale d'oxygène, appelée  $\text{VO}_2$  max, représente la quantité maximale d'oxygène que l'organisme peut prélever, transporter, et consommer par unité de temps (ml/kg/min) ; plus elle est élevée, plus grande est l'endurance<sup>42</sup>.

L'utilisation de la consommation d'oxygène pour quantifier la dépense énergétique dans des études de population est limitée pour plusieurs raisons : coûts, matériel encombrant et importun malgré les matériels portables (King et coll., 1999), manque de validité et de reproductibilité bien établi dans des contextes de terrain variés (LaMonte et coll., 2001).

### **Fréquence cardiaque**

La fréquence cardiaque est un paramètre physiologique communément utilisé comme une méthode objective de mesure de la dépense énergétique (Strath et coll., 2000 ; Epstein et coll., 2001). L'appareil de mesure se compose d'un émetteur et d'un récepteur. L'émetteur est porté au niveau de la poitrine et le récepteur, identique à une montre digitale, est porté au poignet. La fréquence cardiaque est enregistrée toutes les 15, 30, 45, ou 60 secondes pendant 24 heures. La dépense énergétique est déterminée individuellement à partir d'équations de régressions établies en mesurant simultanément la consommation d'oxygène et la fréquence cardiaque au repos et au cours d'exercices de différents niveaux. L'utilisation de la fréquence cardiaque pour estimer la dépense énergétique repose sur le postulat que la fréquence cardiaque est directement liée à la consommation d'oxygène (Ainslie et coll., 2003). Cette relation n'est pas toujours linéaire pour les activités d'intensité faible et très élevée (Freedson et coll., 2000). Du fait que beaucoup d'activités quotidiennes sont d'intensité faible à modérée (Ainsworth et coll., 1993 ; Ainsworth et coll., 2000b), l'enregistrement de la fréquence cardiaque peut ne pas fournir une estimation précise de la dépense énergétique quotidienne dans les conditions de la vie courante. Toutefois, la fréquence cardiaque peut être utilisée pour estimer la dépense énergétique (Wareham et coll., 1997 ; Kurpad et coll., 2006) mais la précision de l'estimation dépend du type de fréquence

---

42. L'endurance est la capacité de maintenir, pendant une durée prolongée, un effort d'intensité donnée.

cardiaque (FC) utilisé<sup>43</sup> (Hilloskorpi et coll., 2003) et des paramètres inclus pour prédire la dépense énergétique liée à l'activité physique (Hilloskorpi et coll., 1999). Une étude plus récente a montré que l'estimation de la dépense énergétique liée à l'activité physique à partir de la fréquence cardiaque est possible après ajustement selon l'âge, le genre, la masse corporelle et la forme physique (Keytel et coll., 2005) ; toutefois, son utilisation chez les adolescents n'est pas recommandée (Ekelund et coll., 2001 ; Epstein et coll., 2001).

La nécessité de développer de nouvelles courbes de calibration individuelle fréquence cardiaque-consommation d'oxygène et les facteurs pouvant affecter la fréquence cardiaque (stress, température corporelle, prise de médicaments...) font de l'enregistrement de la fréquence cardiaque une méthode moins adaptée à des recherches liées à la santé que pour l'entraînement sportif par exemple (LaMonte et coll., 2001). Cependant, la fréquence cardiaque peut être utile dans une approche intégrant plusieurs méthodes (Haskell et coll., 1993 ; Healey, 2000). L'utilisation de ce paramètre combiné avec un accéléromètre donne des résultats intéressants et prometteurs (Eston et coll., 1998 ; Truth et coll., 1998). Le tableau 7.VII présente les atouts et les limites de la fréquence cardiaque.

**Tableau 7.VII : Atouts et limites de la fréquence cardiaque**

Atouts	Limites
Faible coût Acceptabilité	Nécessité de définir la relation entre la fréquence cardiaque et la dépense énergétique pour chaque sujet ce qui implique le recours à la calorimétrie indirecte Facteurs intrinsèques et extrinsèques de variation de la fréquence cardiaque sans modification de la dépense énergétique Pas d'informations sur les caractéristiques de l'activité physique

Ces méthodes de mesure de la dépense énergétique fournissent des données sur une période de temps limitée, elles sont utiles en tant que critère d'évaluation d'autres méthodes (Montoye, 2000).

**Autres paramètres physiologiques**

Une étroite relation entre la température corporelle et la dépense énergétique a été rapportée dans des conditions de laboratoire. Cependant, cette approche n'est pas utilisable pour estimer une dépense énergétique du fait du

43. Différentes évaluations de la fréquence cardiaque : FC ; % de la FC de réserve =  $(100 \times [(FC \text{ activité} - FC \text{ repos}) / (FC \text{ max} - FC \text{ repos})])$  ; différence entre FC activité et FC repos (FC nette) ; la prédiction de la dépense énergétique est plus précise avec l'utilisation de FC réserve ou FC nette que FC

délai (environ 40 min) nécessaire pour atteindre un état stable de la température corporelle. De plus, la relation température corporelle-dépense énergétique est altérée par des conditions climatiques chaudes et humides et par le niveau de forme. Pour ces raisons, cette méthode ne convient pas dans la plupart des circonstances. Si le contrôle de la température corporelle n'est pas adapté en tant que seule mesure de la dépense énergétique, cette approche peut être utile comme partie d'un système de monitoring (Healey, 2000).

Il existe également une relation étroite entre la ventilation et la consommation d'oxygène mais les mêmes limites que celles décrites pour la consommation d'oxygène peuvent s'appliquer à la ventilation. Un appareil électronique porté autour du thorax servant à détecter la réponse ventilatoire au cours de l'activité physique a été proposé comme méthode de mesure de la dépense énergétique dans les conditions de la vie courante (Healey, 2000). Séparément ou combiné à d'autres méthodes, ce système pourrait permettre d'améliorer l'estimation de la dépense énergétique sur le terrain mais les données établissant les propriétés de cet instrument ne sont pas encore disponibles (LaMonte et coll., 2001).

L'évaluation de l'activité physique par le biais d'une question sur la sueur reste limitée du fait qu'il peut y avoir des interférences avec d'autres variables pouvant influencer le fait de suer (Washburn et coll., 1990 ; Dominguez-Berjon et coll., 1999) mais cet indicateur semble potentiellement intéressant chez les sujets atteints de maladie coronarienne (Gruner et coll., 2002). Des études complémentaires sont nécessaires avant de recommander une utilisation en population générale (Dominguez-Berjon et coll., 1999).

L'estimation de la dépense énergétique à partir de l'enregistrement de la pression sanguine n'est pas recommandée du fait du manque de validité des mesures à partir des appareils portables (notamment au cours d'exercices intenses) et de l'influence des paramètres émotionnels sur la pression sanguine. De plus, bien que l'augmentation de la pression systolique varie de façon quasi linéaire avec l'intensité, elle diffère selon l'exercice, que ce dernier soit dynamique ou statique (Montoye et coll., 1996).

Les différents paramètres cités sont tous liés à la dépense énergétique et peuvent être enregistrés par des équipements portés par le sujet. Néanmoins, ces méthodes sont limitées en précision et/ou faisabilité pour estimer la dépense énergétique dans des populations ou des conditions particulières.

**En conclusion,** la multiplicité et la diversité des méthodes et instruments sont certainement le reflet de l'intérêt et de la complexité de la mesure des activités physiques rendue difficile tant par la variété, les formes et les conditions de pratique, que par les contraintes liées aux relations entre activité physique et santé. Les différentes méthodes mesurent généralement diffé-

rents composants de l'activité physique et ne sont donc pas forcément comparables car elles ne permettent pas d'obtenir les mêmes informations. Il n'existe pas une méthode qui permette de mesurer tous les paramètres de l'activité physique dans les conditions de la vie courante (Schutz et coll., 2001) et de fournir une dépense énergétique précise. La combinaison de méthodes offre la possibilité de recueillir des informations complémentaires et d'augmenter la précision de ces informations (Sallis et coll., 2000). Par exemple, l'accéléromètre est fréquemment couplé à un journal, un rappel d'activité ou à un cardiofréquencemètre, voire à un GPS (*Global Positioning System*). La combinaison d'un accéléromètre et d'un cardiofréquencemètre pour mesurer l'activité physique date des années 1990 mais la disponibilité d'un seul appareil combinant les deux est récente ; l'Actiheart™ permet de procéder à un enregistrement sur une durée de 11 jours (Brage et coll., 2005 ; Corder et coll., 2005 ; Brage et coll., 2006).

Certaines des méthodes décrites sont également utilisées pour mesurer l'inactivité physique (Evenson et coll., 2005 ; Garnier et coll., 2006) et le comportement sédentaire (Macera et coll., 2001). Des mesure indirectes de l'activité physique basées sur le recensement et la fréquentation des environnements (installations et équipements sportifs, parcs, pistes de marche ou cyclable) favorables à l'activité physique ainsi que sur la perception de cet environnement par le sujet font leur apparition.

L'applicabilité d'un instrument de mesure peut s'apprécier au travers de 5 critères : le coût financier ou le coût en temps pour l'investigateur et le sujet, l'acceptabilité, le caractère intrusif ou la capacité à modifier l'activité du sujet, la fiabilité et la validité. Toutefois, le choix d'une méthode dépend avant tout du contexte et de l'objectif de la mesure.

## BIBLIOGRAPHIE

AINSLIE P, REILLY T, WESTERTERP K. Estimating human energy expenditure: a review of techniques with particular reference to doubly labelled water. *Sports Med* 2003, **33** : 683-698

AINSWORTH BE, HASKELL WL, LEON AS. Compendium of physical activities: energy costs of human movement. *Med Sci Sports Exerc* 1993, **25** : 71-78

AINSWORTH BE, BASSETT DR JR, STRATH SJ, SWARTZ AM, O'BRIEN WL, et coll. Comparison of three methods for measuring the time spent in physical activity. *Med Sci Sports Exerc* 2000a, **32** : S457-S464

AINSWORTH BE, HASKELL WL, WHITT MC, IRWIN ML, SWARTZ AM, et coll. Compendium of physical activities: an update of activity codes and MET intensities. *Med Sci Sports Exerc* 2000b, **32** : S498-S516

BAECKE JAH, BUREMA J, FRIJTERS JER. A short questionnaire for the measurement of habitual physical activity in epidemiological studies. *Am J Clin Nutr* 1982, **36** : 936-942



BASSETT DR JR, AINSWORTH BE, LEGGETT SR, MATHIEN CA, MAIN JA, et coll. Accuracy of five electronic pedometers for measuring distance walked. *Med Sci Sports Exerc* 1996, **28** : 1071-1077

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. *Med Sci Sports Exerc* 2000, **32** : S471-S480

BATES JH, SERDULA MK, KHAN LK, JONES DA, GILLESPIE C, AINSWORTH BE. Total and leisure-time walking among U.S. adults should every step count? *Am J Prev Med* 2005, **29** : 46-50

BERTHOUBE SE, MINAIRE PM, CHATARD JC, BOUTET C, CASTELLS J, LACOUR JR. A new tool for evaluating energy expenditure: the "Q.A.P.S.E." development and validation. *Med Sci Sports Exerc* 1993, **25** : 1405-1414

BLAIR SN, KOHL HW, GORDON NF, PAFFENBARGER RSJR. How much physical activity is good for health? *Annu Rev Public Health* 1992, **13** : 99-126

BONNEFOY M, KOSTKA T, BERTHOUBE SE, LACOUR JR. Validation of a physical activity questionnaire in the elderly. *Eur J Appl Physiol* 1996, **74** : 528-533

BONNEFOY M, NORMAND S, PACHIAUDI C, LACOUR JR, LAVILLE M, KOSTKA T. Simultaneous validation of ten physical activity questionnaires in older men: a doubly labeled water study. *J Am Geriatr Soc* 2001, **49** : 28-35

BOOTH M. Assessment of physical activity: an international perspective. *Res Q Exerc Sport* 2000, **71** : S114-S120

BOREHAM CA, WALLACE WF, NEVILL A. Training effects of accumulated daily stair-climbing exercise in previously sedentary young women. *Prev Med* 2000, **30** : 277-281

BORG GA. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc* 1982, **14** : 377-381

BRAGE S, BRAGE N, FRANKS PW, EKELUND U, WAREHAM NJ. Reliability and validity of the combined heart rate and movement sensor Actiheart. *Eur J Clin Nutr* 2005, **59** : 561-570

BRAGE S, BRAGE N, EKELUND U, LUAN J, FRANKS PW, et coll. Effect of combined movement and heart rate monitor placement on physical activity estimates during treadmill locomotion and free-living. *Eur J Appl Physiol* 2006, **96** : 517-524

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. *Eur J Appl Physiol* 2004, **91** : 638-648

CARTMEL B, MOON TE. Comparison of two physical activity questionnaires, with a diary, for assign physical activity in an elderly population. *J Clin Epidemiol* 1992, **45** : 877-883

CASILLAS JM, DELEY G, SALMI-BELMIHOUB S. Assessment of physical activity in cardiovascular diseases. *Ann Readapt Med Phys* 2005, **48** : 404-410

CHASAN-TABER L, ERICKSON JB, MCBRIDE JW, NASCA PC, CHASAN-TABER S, FREEDSON PS. Reproducibility of a self-administered lifetime physical activity questionnaire among female college alumnae. *Am J Epidemiol* 2002, **155** : 282-289

CORDER K, BRAGE S, WAREHAM NJ, EKELUND U. Comparison of PAEE from combined and separate heart rate and movement models in children. *Med Sci Sports Exerc* 2005, **37** : 1761-1767

CRAIG CL, MARSHALL AL, SJOSTROM M, BAUMAN AE, BOOTH ML, et coll. International physical activity questionnaire: 12-country reliability and validity. *Med Sci Sports Exerc* 2003, **35** : 1381-1395

CROUTER SE, SCHNEIDER PL, KARABULUT M, BASSETT DR JR. Validity of 10 electronic pedometers for measuring steps, distance, and energy cost. *Med Sci Sports Exerc* 2003, **35** : 1455-1460

CULHANE KM, O'CONNOR M, LYONS D, LYONS GM. Accelerometers in rehabilitation medicine for older adults. *Ageing* 2005, **34** : 556-560

CYARTO EV, MYERS AM, TUDOR-LOCKE C. Pedometer accuracy in nursing home and community-dwelling older adults. *Med Sci Sports Exerc* 2004, **36** : 205-209

DE RIDDER CM, KEMPER HC, BERTENS MJ, VAN GAMEREN AC, RAS E, et coll. Concurrent validity of a weight-bearing activity questionnaire in prepubertal and pubertal girls and boys. *Ann Hum Biol* 2002, **29** : 237-246

DIPIETRO L, CASPERSEN CJ, OSTFELD AM, NADEL ER. A survey for assessing physical activity among older adults. *Med Sci Sports Exerc* 1993, **25** : 628-642

DOMINGUEZ-BERJON F, BORRELL C, NEBOT M, PLASENCIA A. Physical activity assessment in population surveys: can it really be simplified? *Int J Epidemiol* 1999, **28** : 53-57

DURANTE R, AINSWORTH BE. The recall of physical activity: using a cognitive model of the question-answering process. *Med Sci Sports Exerc* 1996, **28** : 1282-1291

EKELUND U, POORTVLIET E, YNGVE A, HURTIG-WENNLOV A, NILSSON A, SJOSTROM M. Heart rate as an indicator of the intensity of physical activity in human adolescents. *Eur J Appl Physiol* 2001, **85** : 244-249

EPSTEIN LH, PALUCH RA, KALAKANIS LE, GOLDFIELD GS, CERNY FJ, ROEMMICH JN. How much activity do youth get? A quantitative review of heart-rate measured activity. *Pediatrics* 2001, **108** : E44

ESTON RG, ROWLANDS AV, INGLEDEW DK. Validity of heart rate, pedometry, and accelerometry for predicting the energy cost of children's activities. *J Appl Physiol* 1998, **84** : 362-371

EVENSON KR, MCGINN AP. Test-retest reliability of adult surveillance measures for physical activity and inactivity. *Am J Prev Med* 2005, **28** : 470-478

FAULKNER G, COHN T, REMINGTON G. Validation of a physical activity assessment tool for individuals with schizophrenia. *Schizophr Res* 2006, **82** : 225-231

FLORINDO AA, LATORRE MDO R, SANTOS EC, NEGRAO CE, AZEVEDO LF, SEGURADO AA. Validity and reliability of the Baecke questionnaire for the evaluation of habitual physical activity among people living with HIV/AIDS. *Cad Saude Publica* 2006, **22** : 535-541

FREEDSON PS, MILLER K. Objective monitoring of physical activity using motion sensors and heart rate. *Res Q Exerc Sport* 2000, **71** : S21-S29

FRIEDENREICH CM, COURNEYA KS, BRYANT HE. The lifetime total physical activity questionnaire: development and reliability. *Med Sci Sports Exerc* 1998, **30** : 266-274

FULTON JE, MASSE LC, TORTOLERO SR, WATSON KB, HEESCH KC, et coll. Field evaluation of energy expenditure from continuous and intermittent walking in women. *Med Sci Sports Exerc* 2001, **33** : 163-170

GARNIER D, BENEFICE E. Reliable method to estimate characteristics of sleep and physical inactivity in free-living conditions using accelerometry. *Ann Epidemiol* 2006, **16** : 364-369

GILES-CORTI B, TIMPERIO A, CUTT H, PIKORA TJ, BULL FC, et coll. Development of a reliable measure of walking within and outside the local neighborhood: RESIDE's Neighborhood Physical Activity Questionnaire. *Prev Med* 2006, **42** : 455-459

GOSS F, ROBERTSON R, DASILVA S, SUMINSKI R, KANG J, METZ K. Ratings of perceived exertion and energy expenditure during light to moderate activity. *Percept Mot Skills* 2003, **96** : 739-747

GRUNER C, ALIG F, MUNTWYLER J. Validity of self-reported exercise-induced sweating as a measure of physical activity among patients with coronary artery disease. *Swiss Med Wkly* 2002, **132** : 629-632

GUNN SM, BROOKS AG, WITHERS RT, GORE CJ, OWEN N, et coll. Determining energy expenditure during some household and garden tasks. *Med Sci Sports Exerc* 2002, **34** : 895-902

GUNN SM, VAN DER PLOEG GE, WITHERS RT, GORE CJ, OWEN N, et coll. Measurement and prediction of energy expenditure in males during household and garden tasks. *Eur J Appl Physiol* 2004, **91** : 61-70

HARADA ND, CHIU V, KING AC, STEWART AL. An evaluation of three self-report physical activity instruments for older adults. *Med Sci Sports Exerc* 2001, **33** : 962-970

HARDMAN AE. Issues of fractionization of exercise (short vs long bouts). *Med Sci Sports Exerc* 2001, **33** : S421-S427

HASKELL WL. What to look for in assessing responsiveness to exercise in a health context. *Med Sci Sports Exerc* 2001, **33** : S454-S458

HASKELL WL, KIERNAN M. Methodologic issues in measuring physical activity and physical fitness when evaluating the role of dietary supplements for physically active people. *Am J Clin Nutr* 2000, **72** : 541S-550S

HASKELL WL, YEE MC, EVANS A, IRBY PJ. Simultaneous measurement of heart rate and body motion to quantitate physical activity. *Med Sci Sports Exerc* 1993, **25** : 109-115

HEALEY J. Future possibilities in electronic monitoring of physical activity. *Res Q Exerc Sport* 2000, **71** : 137-145

HENDELMAN D, MILLER K, BAGGETT C, DEBOLD E, FREEDSON P. Validity of accelerometry for the assessment of moderate intensity physical activity in the field. *Med Sci Sports Exerc* 2000, **32** : S442-S449

HILLOSKORPI HK, FOGELHOLM M, LAUKKANEN R, PASANEN M, OJA P, et coll. Factors affecting the relation between heart rate and energy expenditure during exercise. *Int J Sports Med* 1999, **20** : 438-443

HIILOS KORPI HK, PASANEN ME, FOGELHOLM MG, LAUKKANEN RM, MANTTARI AT. Use of heart rate to predict energy expenditure from low to high activity levels. *Int J Sports Med* 2003, **24** : 332-336

INTERNATIONAL LIFE SCIENCES INSTITUTE. Measurement of moderate physical activity: advances in assessment techniques. *Med Sci Sports Exerc* 2000, **32**

JEQUIER E, FELBER JP. Indirect calorimetry. Baillieres. *Clin Endocrinol Metab* 1987, **1** : 911-935

KEMPER HC, BAKKER I, TWISK JW, VAN MECHELEN W. Validation of a physical activity questionnaire to measure the effect of mechanical strain on bone mass. *Bone* 2002, **30** : 799-804

KEYTEL LR, GOEDECKE JH, NOAKES TD, HIILOS KORPI H, LAUKKANEN R, et coll. Prediction of energy expenditure from heart rate monitoring during submaximal exercise. *J Sports Sci* 2005, **23** : 289-297

KING GA, MCLAUGHLIN JE, HOWLEY ET, BASSETT DRJR, AINSWORTH BE. Validation of Aerosport KB1-C portable metabolic system. *Int J Sports Med* 1999, **20** : 304-308

KOCHERSBERGER G, MCCONNELL E, KUCHIBHATLA MN, PIEPER C. The reliability, validity, and stability of a measure of physical activity in the elderly. *Arch Phys Med Rehabil* 1996, **77** : 793-795

KOHL HW, FULTON JE, CASPERSEN CJ. Assessment of physical activity among children and adolescents: a review and synthesis. *Prev Med* 2000, **31** : 54-76

KURPAD AV, RAJ R, MARUTHY KN, VAZ M. A simple method of measuring total daily energy expenditure and physical activity level from the heart rate in adult men. *Eur J Clin Nutr* 2006, **60** : 32-40

LAMONTE MJ, AINSWORTH BE. Quantifying energy expenditure and physical activity in the context of dose response. *Med Sci Sports Exerc* 2001, **33** : S370-S378

LAWLOR DA, TAYLOR M, BEDFORD C, EBRAHIM S. Is housework good for health? Levels of physical activity and factors associated with activity in elderly women. Results from the British Women's Heart and Health Study. *J Epidemiol Community Health* 2002, **56** : 473-478

LE MASURIER GC, TUDOR-LOCKE C. Comparison of pedometer and accelerometer accuracy under controlled conditions. *Med Sci Sports Exerc* 2003, **35** : 867-871

LEE IM, SESSO HD, PAFFENBARGER RSJR. Physical activity and coronary heart disease risk in men: does the duration of exercise episodes predict risk? *Circulation* 2000, **102** : 981-986

LEENDERS NYJM, SHERMAN WM, NAGARAJA HN, KIEN CL. Evaluation of methods to assess physical activity in free-living conditions. *Med Sci Sports Exerc* 2001, **33** : 1233-1240

MACERA CA, HAM SA, JONES DA, KIMSEY CD, AINSWORTH BE, NEFF LJ. Limitations on the use of a single screening question to measure sedentary behavior. *Am J Public Health* 2001, **91** : 2010-2012

MACFARLANE DJ, TAYLOR LH, CUDDIHY TF. Very short intermittent vs continuous bouts of activity in sedentary adults. *Prev Med* 2006, **43** : 332-336

MALISZEWSKI AF, FREEDSON PS, EBBELING CJ, CRUSSEMEYER J, KASTANGO KB. Validity of the Caltrac accelerometer in estimating energy expenditure and activity in children and adults. *Pediatr Exerc Sci* 1991, **3** : 141-151

MARSDEN J, JONES RB. Validation of Web-based questionnaires regarding osteoporosis prevention in young British women. *Health Bull (Edinb)* 2001, **59** : 254-262

MARSHALL AL, SMITH BJ, BAUMAN AE, KAUR S. Reliability and validity of a brief physical activity assessment for use by family doctors. *Br J Sports Med* 2005, **39** : 294-297

MARTIN KA, REJESKI WJ, MILLER ME, JAMES MK, ETTINGER WH, MESSIER SP. Validation of the PASE in older adults with knee pain and physical disability. *Med Sci Sports Exerc* 1999, **31** : 627-633

MASSE LC, FULTON JE, WATSON KL, MAHAR MT, MEYERS MC, WONG WW. Influence of body composition on physical activity validation studies using doubly labeled water. *J Appl Physiol* 2004, **96** : 1357-1364

MATHIE MJ, COSTER AC, LOVELL NH, CELLER BG. Accelerometry: providing an integrated, practical method for long-term, ambulatory monitoring of human movement. *Physiol Meas* 2004, **25** : R1-20

MATTHEWS CE, FREEDSON PS, HEBERT JR, STANEK EJIII, MERRIAM PA, et coll. Seasonal variation in household, occupational, and leisure time physical activity: longitudinal analyses from the seasonal variation of blood cholesterol study. *Am J Epidemiol* 2001a, **153** : 172-183

MATTHEWS CE, HEBERT JR, FREEDSON PS, STANEK EJIII, MERRIAM PA, et coll. Sources of variance in daily physical activity levels in the seasonal variation of blood cholesterol study. *Am J Epidemiol* 2001b, **153** : 987-995

MATTHEWS CE, AINSWORTH BE, THOMPSON RW, BASSETT DRJR. Sources of variance in daily physical activity levels as measured by an accelerometer. *Med Sci Sports Exerc* 2002, **34** : 1376-1381

MCKENZIE TL. Use of direct observation to assess physical activity. In : Physical activity assessments for health-related research. WELK GJ (ed). Human Kinetics, Champaign, IL, 2002 : 179-195

MELANSON ELJR, FREEDSON PS. Physical activity assessment: a review of methods. *Crit Rev Food Sci Nutr* 1996, **36** : 385-396

MONTOYE HJ. Introduction: evaluation of some measurements of physical activity and energy expenditure. *Med Sci Sports Exerc* 2000, **32** : S439-S441

MONTOYE HJ, WASHBURN R, SERVAIS S, ERTL A, WEBSTER JG, NAGLE FJ. Estimation of energy expenditure by a portable accelerometer. *Med Sci Sports Exerc* 1983, **15** : 403-407

MONTOYE HJ, KEMPER HCG, SARIS WHM, WASHBURN RA. Measuring physical activity and energy expenditure. Human Kinetics, Champaign, IL, 1996

MURPHY M, NEVILL A, NEVILLE C, BIDDLE S, HARDMAN A. Accumulating brisk walking for fitness, cardiovascular risk, and psychological health. *Med Sci Sports Exerc* 2002, **34** : 1468-1474

MURTAGH EM, BOREHAM CA, NEVILL A, HARE LG, MURPHY MH. The effects of 60 minutes of brisk walking per week, accumulated in two different patterns, on cardiovascular risk. *Prev Med* 2005, **41** : 92-97

NORMAN A, BELLOCCO R, BERGSTROM A, WOLK A. Validity and reproducibility of self-reported total physical activity-differences by relative weight. *Int J Obes Relat Metab Disord* 2001, **25** : 682-688

OPPERT JM. Mesure des dépenses énergétiques et de l'activité physique. In : *Traité de nutrition clinique de l'adulte*. BASDEVANT A, LAVILLE M, LERBOURS E (eds). Flammarion, Paris, 2001 : 337-343

OPPERT JM. Mesure des dépenses énergétiques et de l'activité physique. In : *Traité de Médecine, Tome 1*. GODEAU P, HERSON S, PIETTE JC (eds). Flammarion, Paris, 2004 : 1567-1571

OSEI-TUTU KB, CAMPAGNA PD. The effects of short- vs. long-bout exercise on mood, VO<sub>2</sub>max, and percent body fat. *Prev Med* 2005, **40** : 92-98

PATE RR. Physical activity assessment in children and adolescents. *Crit Rev Food Sci Nutr* 1993, **33** : 321-326

PITTA F, TROOSTERS T, SPRUIT MA, PROBST JC, DECRAMER M, GOSSELINK R. Characteristics of physical activities in daily life in chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med* 2005, **171** : 972-977

PITTA F, TROOSTERS T, PROBST VS, SPRUIT MA, DECRAMER M, GOSSELINK R. Quantifying physical activity in daily life with questionnaires and motion sensors in COPD. *Eur Respir J* 2006, **27** : 1040-1055

POLS MA, PEETERS PHM, BUENO-DE-MESQUITA HB. Validity and repeatability of a modified Baecke questionnaire on physical activity. *Int J Epidemiol* 1995, **24** : 388

PRENTICE A. The doubly-labelled water method for measuring energy expenditure. Technical recommendations for use in humans. International Atomic Energy Agency, Vienna, 1990

RIMMER JH, RILEY BB, RUBIN SS. A new measure for assessing the physical activity behaviors of persons with disabilities and chronic health conditions: the Physical Activity and Disability Survey. *Am J Health Promot* 2001, **16** : 34-42

ROBERT H, CASILLAS JM, ISKANDAR M, D'ATHIS P, ANTOINE D, et coll. The Dijon physical activity score: reproducibility and correlation with exercise testing in healthy elderly subjects. *Ann Readapt Med Phys* 2004, **47** : 546-554

RUTTEN A, VUILLEMIN A, OOIJENDIJK WT, SCHENA F, SJOSTROM M, et coll. Physical activity monitoring in Europe. The European Physical Activity Surveillance System (EUPASS) approach and indicator testing. *Public Health Nutr* 2003a, **6** : 377-384

RUTTEN A, ZIEMAINZ H, SCHENA F, STAHL T, STIGGELBOUT M, et coll. Using different physical activity measurements in eight European countries. Results of the European Physical Activity Surveillance System (EUPASS) time series survey. *Public Health Nutr* 2003b, **6** : 371-376

- RZEWNICKI R, VANDEN AUWEELE Y, DE BOURDEAUDHUIJ I. Addressing overreporting on the International Physical Activity Questionnaire (IPAQ) telephone survey with a population sample. *Public Health Nutr* 2003, **6** : 299-305
- SALLIS JF, SAELENS BE. Assessment of physical activity by self-report: status, limitations, and future directions. *Res Q Exerc Sport* 2000, **71** : S1-14
- SALLIS JF, HASKELL WL, WOOD PD. Physical activity assessment methodology in the Five-City Project. *Am J Epidemiol* 1985, **121** : 91-106
- SARKIN JA, NICHOLS JF, SALLIS JF, CALFAS KJ. Self-report measures and scoring protocols affect prevalence estimates of meeting physical activity guidelines. *Med Sci Sports Exerc* 2000, **32** : 149-156
- SCHMIDT MD, FREEDSON PS, PEKOW P, ROBERTS D, STERNFELD B, CHASAN-TABER L. Validation of the Kaiser Physical Activity Survey in pregnant women. *Med Sci Sports Exerc* 2006, **38** : 42-50
- SCHOELLER DA. Recent advances from application of doubly labeled water to measurement of human energy expenditure. *J Nutr* 1999, **129** : 1765-1768
- SCHOELLER DA, FJELD CR. Human energy metabolism: what have we learned from the doubly labelled water method? *Annu Rev Nutr* 1991, **11** : 355-373
- SCHONHOFER B, ARDES P, GEIBEL M, KOLHER D, JONES PW. Evaluation of a movement detector to measure daily activity in patients with chronic lung disease. *Eur Respir J* 1997, **10** : 2814-2819
- SCHUIT AJ, SCHOUTEN EG, WESTERTERP KR, SARIS WHM. Validity of the physical activity scale (PASE) for the elderly according to energy expenditure assessed by the doubly labelled water method. *J Clin Epidemiol* 1997, **50** : 541-546
- SCHULER PB, RICHARDSON MT, OCHOA P, WANG MQ. Accuracy and repeatability of the Yale physical activity survey in assessing physical activity of older adults. *Percept Mot Skills* 2001, **93** : 163-177
- SCHUTZ Y, WEINSIER RL, HUNTER GR. Assessment of free-living physical activity in humans: an overview of currently available and proposed new measures. *Obes Res* 2001, **9** : 368-379
- SHEPHARD RJ. Limits to the measurement of habitual physical activity by questionnaires. *Br J Sports Med* 2003, **37** : 197-206
- SIRARD JR, PATE RR. Physical activity assessment in children and adolescents. *Sports Med* 2001, **31** : 439-454
- SPEAKMAN JR. The history and theory of the doubly labelled water technique. *Am J Clin Nutr* 1998, **68** : 932S-938S
- STARLING RD, MATTHEWS DE, ADES PA, POEHLMAN ET. Assessment of physical activity in older individuals. *J Appl Physiol* 1999, **86** : 2090-2096
- STEWART AL, MILLS KM, KING AC, HASKELL WL, GILLIS D, RITTER PL. CHAMPS physical activity questionnaire for older adults: outcomes for interventions. *Med Sci Sports Exerc* 2001, **33** : 1126-1141

STRATH SJ, SWARTZ AM, BASSETT DRJR, O'BRIEN WL, KING GA, AINSWORTH BE. Evaluation of heart rate as a method for assessing moderate intensity physical activity. *Med Sci Sports Exerc* 2000, **32** : S465-S470

TAYLOR HL, JACOBS DR, SCHUCKER B, KNUDSEN J, LEON AS, DEBACKER GA. A questionnaire for the assessment of leisure time physical activities. *J Chron Dis* 1978, **31** : 741-755

TAYLOR-PILIAE RE, NORTON LC, HASKELL WL, MAHBOUDA MH, FAIR JM, et coll. Validation of a New Brief Physical Activity Survey among Men and Women Aged 60-69 Years. *Am J Epidemiol* 2006, **164** : 598-606

TEHARD B, SARIS WH, ASTRUP A, MARTINEZ JA, TAYLOR MA, et coll. Comparison of Two Physical Activity Questionnaires in Obese Subjects: The NUGENOB Study. *Med Sci Sports Exerc* 2005, **37** : 1535-1541

TESSIER S, VUILLEMIN A, BRIANCON S. Revue des questionnaires de mesure de l'activité physique validés chez les enfants et les adolescents. *Arch Pediatr* 2007, soumis

TREUTH MS, ADOLPH AL, BUTTE NF. Energy expenditure in children predicted from heart rate and activity calibrated against respiration calorimetry. *Am J Physiol* 1998, **275** : E12-E18

TROST SG. Objective measurement of physical activity in youth: current issues, future directions. *Exerc Sport Sci Rev* 2001, **29** : 32-36

TROST SG, MCIVER KL, PATE RR. Conducting accelerometer-based activity assessments in field-based research. *Med Sci Sports Exerc* 2005, **37** : S531-S543

TUDOR-LOCKE C, BASSETT DRJR. How many steps/day are enough? Preliminary pedometer indices for public health. *Sports Med* 2004, **34** : 1-8

TUDOR-LOCKE C, AINSWORTH BE, THOMPSON RW, MATTHEWS CE. Comparison of pedometer and accelerometer measures of free-living physical activity. *Med Sci Sports Exerc* 2002, **34** : 2045-2051

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, **40** : 293-298

TZETZIS G, AVGERINOS A, VERNADAKIS N, KIOUMOURTZOGLOU E. Differences in self-reported perceived and objective measures of duration and intensity of physical activity for adults in skiing. *Eur J Epidemiol* 2001, **17** : 217-222

UITENBROEK DG. Seasonal variation in leisure time physical activity. *Med Sci Sports Exerc* 1993, **25** : 755-760

VANHEES L, LEFEVRE J, PHILIPPAERTS R, MARTENS M, HUYGENS W, TROOSTERS T, BEUNEN G. How to assess physical activity? How to assess physical fitness? *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil* 2005, **12** : 102-114

VAZ M, KARAOLIS N, DRAPER A, SHETTY P. A compilation of energy costs of physical activities. *Public Health Nutr* 2005, **8** : 1153-1183

VOORRIPS LE, RAVELLI AC, DONGELMANS PC, DEURENBERG P, VAN STAVEREN WA. A physical activity questionnaire for the elderly. *Med Sci Sports Exerc* 1991, **23** : 974-979



VUILLEMIN A, GUILLEMIN F, DENIS G, HUOT J, JEANDEL C. A computer-assisted assessment of lifetime physical activity: reliability and validity of the QUANTAP software. *Rev Epidemiol Sante Publique* 2000, **48** : 157-167

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. *Am J Clin Nutr* 2004, **79** : 1013-1019

WARD DS, EVENSON KR, VAUGHN A, RODGERS AB, TROIANO RP. Accelerometer use in physical activity: best practices and research recommendations. *Med Sci Sports Exerc* 2005, **37** : S582-S588

WAREHAM NJ, HENNINGS SJ, PRENTICE AM, DAY NE. Feasibility of heart-rate monitoring to estimate total level and pattern of energy expenditure in a population-based epidemiological study: the Ely Young Cohort Feasibility Study 1994-5. *Br J Nutr* 1997, **78** : 889-900

WASHBURN RA. Assessment of physical activity in older adults. *Res Q Exerc Sport* 2000, **71** : S79-S88

WASHBURN RA, GOLDFIELD SR, SMITH KW, MCKINLAY JB. The validity of self-reported exercise-induced sweating as a measure of physical activity. *Am J Epidemiol* 1990, **132** : 107-113

WASHBURN RA, SMITH KW, JETTE AM, JANNEY CA. The physical activity scale for the elderly (PASE): development and evaluation. *J Clin Epidemiol* 1993, **46** : 153-162

WASHBURN RA, MCAULEY E, KATULA J, MIHALKO SL, BOILEAU RA. The physical activity scale for the elderly (PASE): evidence for validity. *J Clin Epidemiol* 1999, **52** : 643-651

WASHBURN RA, HEATH GW, JACKSON AW. Reliability and validity issues concerning large-scale surveillance of physical activity. *Res Q Exerc Sport* 2000, **71** : S104-S113

WASHBURN RA, ZHU W, MCAULEY E, FROGLEY M, FIGONI SF. The physical activity scale for individuals with physical disability: development and evaluation. *Arch Phys Med Rehabil* 2002, **83** : 193-200

WELK GJ. Physical activity assessments for health-related research. Human Kinetics, Champaign, IL, 2002

WELK GJ, BLAIR SN, WOOD K, JONES S, THOMPSON RW. A comparative evaluation of three accelerometry-based physical activity monitors. *Med Sci Sports Exerc* 2000a, **32** : S489-S497

WELK GJ, DIFFERDING JA, THOMPSON RW, BLAIR SN, DZIURA J, HART P. The utility of the Digi-walker step counter to assess daily physical activity patterns. *Med Sci Sports Exerc* 2000b, **32** : S481-S488

WELLER I, COREY P. The impact of excluding non-leisure energy expenditure on the relation between physical activity and mortality in women. *Epidemiology* 1998, **9** : 632-635

WILCOX S, IRWIN ML, ADDY C, AINSWORTH BE, STOLARCZYK L, et coll. Agreement between participant-rated and compendium-coded intensity of daily activities in a

triethnic sample of women ages 40 years and older. *Ann Behav Med* 2001, **23** : 253-262

WOOLF-MAY K, KEARNEY EM, OWEN A, JONES DW, DAVISON RC, BIRD SR. The efficacy of accumulated short bouts versus single daily bouts of brisk walking in improving aerobic fitness and blood lipid profiles. *Health Educ Res* 1999, **14** : 803-815

ZHU W. Should total scores from a rating scale be used directly? *Res Q Exerc Sport* 1996, **67** : 363-372

ZHU W. Score equivalence is at the heart of international measures of physical activity. *Res Q Exerc Sport* 2000, **71** : S121-S128