

IFPEK

Institut de Formation en Masso-Kinésithérapie de Rennes

A S S O C I A T I O N
I F P E K



INSTITUT DE FORMATION
PÉDICURIE-PODOLOGIE
ERGOTHÉRAPIE
MASSO-KINÉSITHÉRAPIE

La dépense énergétique lors de la marche pendulaire unilatérale chez le sujet sain.

En vue de l'obtention du diplôme d'état de masseur-kinésithérapeute

LHOEST Marion

Année scolaire 2014-2015



PRÉFET DE LA RÉGION BRETAGNE

DIRECTION REGIONALE
DE LA JEUNESSE, DES SPORTS
ET DE LA COHÉSION SOCIALE
Pôle formation-certification-métier



Diplôme d'État de Masseur-Kinésithérapeute

Travail Écrit de Fin d'Études

Conformément à l'article L 122-4 du code de la propriété intellectuelle du 3 juillet 1992 :
« toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite. Il en est de même pour la traduction, l'adaptation ou la transformation, l'arrangement ou la reproduction par un art ou un procédé quelconque ».

J'atteste sur l'honneur que la rédaction du travail écrit de fin d'études, réalisé en vue de l'obtention du diplôme d'État de Masseur-Kinésithérapeute est uniquement la transcription de mes réflexions et de mon travail personnel.

Et, si pour mon argumentation, je copie, j'emprunte un extrait, une partie ou la totalité de pages d'un texte, je certifie avoir précisé les sources bibliographiques.

Fait à Rennes, le 17 mars 2015

Nom, prénom & signature de l'étudiant :

IFPEK

Institut de Formation en Masso-Kinésithérapie de Rennes

A S S O C I A T I O N
I F P E K



INSTITUT DE FORMATION
PÉDICURIE-PODOLOGIE
E R G O T H É R A P I E
MASSO-KINÉSITHÉRAPIE

La dépense énergétique lors de la marche pendulaire unilatérale chez le sujet sain.

Sous la direction de Monsieur Hervé MERDRIGNAC, directeur de mémoire

En vue de l'obtention du diplôme d'état de masseur-kinésithérapeute

LHOEST Marion

Année scolaire 2014-2015

Remerciements

Je remercie mon directeur de mémoire, Hervé MERDRIGNAC pour son encadrement et ses conseils.

Je remercie également les volontaires pour le temps précieux qu'ils m'ont consacré et leur gentillesse.

Mes parents qui m'ont toujours soutenu tout au long de mes études et sans qui je ne serais jamais arrivée là où j'en suis.

Je remercie également mes ami(e)s pour leur soutien.

Merci à toutes les personnes qui ont su m'accompagner dans la réalisation de mon mémoire.

Table des matières

INTRODUCTION	1
PARTIE I : CONTEXTE DE L'ETUDE	2
I.1. Aides techniques	2
<i>I.1.1. Béquilles antébrachiales</i>	2
<i>I.1.2. Béquilles axillaires</i>	3
<i>I.1.3. Déambulateur à 2 roues</i>	5
I.2. Dépense énergétique	7
<i>I.2.1. Indice Coût Physiologique</i>	7
<i>I.2.2. Marche pendulaire unilatérale</i>	12
PARTIE II : EXPERIMENTATION	15
II.1. Synthèse de la littérature, problématique, hypothèses et objectifs de l'étude	15
<i>II.1.1. Synthèse de la littérature</i>	15
<i>II.1.2. Problématique</i>	15
<i>II.1.3. Hypothèses</i>	15
<i>II.1.3. Objectifs de l'étude</i>	16
II.2. Méthode	16
<i>II.2.1. Population</i>	16
<i>II.2.2. Matériel</i>	16
<i>II.2.3. Protocole expérimental</i>	17
<i>II.2.4. Recueil des données</i>	19
<i>II.2.5. Traitement des statistiques</i>	19
II.3. Résultats	20
<i>II.3.1. Caractéristiques de la population étudiée</i>	20
<i>II.3.2. Résultat moyen de l'ICP pour chaque individu</i>	20
<i>II.3.3. Comparaison par paires de l'ICP moyen obtenu selon l'aide utilisée</i>	21
<i>II.3.4. Evolution des aides techniques au cours du test</i>	21
<i>II.3.5. Evolution de l'ICP Homme / Femme au cours du test</i>	22
II.4. Discussion	23
CONCLUSION	27
Bibliographies	28
Annexes	31

TABLE D'ILLUSTRATION

Figure 1. Béquille antébrachiale (Berthe 1987)	2
Figure 2. Béquilles axillaires (Sengler et al. 1999)	4
Figure 3. Déambulateur 2 roues (Bradley & Hernandez 2011).....	5
Figure 4. Comparaison des différentes aides techniques (selon Bradley & Hernandez 2011).....	6
Figure 5. Chronologie du protocole expérimental de Vezirian et al. (2004).....	8
Figure 6. Tableau récapitulatif des études sur la fiabilité de l'ICP (Ijzerman & Nene 2002)	10
Figure 7. Différentes phases de la marche pendulaire unilatérale (Berthe 1987).....	13
Figure 8. Piste de marche	17
Figure 9. <i>Cardio-fréquence mètre Kalenji®</i>	17
Figure 10. De gauche à droite : Béquilles Axillaires.....	17
Figure 11. Attelle de Zimmer.....	17
Figure 12. Positionnement du cardio fréquence mètre.....	18
Figure 13. Courbes d'évolution de l'Indice du Coût Phylogique (ICP) pour chaque aide technique.....	21
Figure 14. Graphiques comparant l'Indice du Coût Physiologique moyen chez les hommes et les femmes pour chaque aide technique	22
Tableau 1. Caractéristiques de l'échantillon étudié.....	20
Tableau 2. Moyenne de l'Indice du Coût Physiologique (ICP) de chaque individu et pour chaque aide technique	20

TABLE D'ABREVIATION

APU : Appui Pendulaire Unilatéral

EO2 : Cout de l'oxygène (ml/kg/m)

FCe : Fréquence Cardiaque à l'effort

FCr : Fréquence Cardiaque au repos

ICP : Indice du Coût Physiologique

PC : Paralyisie Cérébrale

PPDP : Pli Palmaire Distal du Poignet

V : Vitesse

VO2 : Volume d'Oxygène (ml/kg/min)

RESUME

Contexte : La prescription d'aide technique en masso-kinésithérapie fait partie de notre champ de compétence et se fait quasi quotidiennement. Il peut dans certains cas être intéressant de connaître le coût énergétique associé pour chacune des aides techniques avant de les prescrire.

Objectif : Il s'agit de savoir parmi les béquilles antébrachiales, les béquilles axillaires et le déambulateur 2 roues, quelle est l'aide technique qui demande le plus d'énergie à la marche pendulaire unilatérale chez les sujets sains.

Méthode : Un test de 6 minutes est répété avec trois aides techniques différentes (béquilles antébrachiales, béquilles axillaires et déambulateur 2 roues) chez 10 sujets sains (4 femmes, 6 hommes, âge 18-43 ans, $27,7 \pm 8,4$ ans) en relevant la fréquence cardiaque (FC) des sujets toutes les 30 secondes grâce à un cardio fréquence mètre. L'indice du coût physiologique (ICP, exprimé en battements/mètre) est ensuite calculé à partir des FC enregistrées. Les sujets ont leur genou droit immobilisé par une attelle de Zimmer et doivent avancer en marche pendulaire unilatérale.

Résultats : Le déambulateur 2 roues (ICP : $2,97 \pm 0,92$ batt/m) a un indice du coût physiologique supérieur, lors la marche pendulaire unilatérale, à celui des béquilles antébrachiales ($2,63 \pm 0,99$ batt/m) et des béquilles axillaires ($2,57 \pm 0,79$ batt/m). Les résultats du protocole expérimental mettent en valeur uniquement des différences significatives pour la comparaison entre déambulateur 2 roues et les béquilles axillaires

Discussion : Il semblerait que le déambulateur 2 roues sollicite d'avantage sur le plan cardio-respiratoire. Toutefois les résultats sont à interpréter avec précaution par la présence de biais et d'un faible échantillon.

Conclusion : Notre étude pilote a pu montrer des différences d'ICP en fonction des aides techniques utilisées, soit de manière significative statistiquement, soit par représentation graphique. Une étude menée à plus grande échelle serait intéressante pour affirmer ou infirmer nos suppositions.

Mots clés : Indice du coût physiologique, béquilles antébrachiales, déambulateur 2 roues, béquilles axillaires, marche pendulaire unilatérale

ABSTRACT

Context : The prescription of the gait device in physiotherapy been a part of our area of competence and is almost made daily. He can in certain cases be interesting to know the energy cost associated for each of the gait device before prescribing them.

Objective : It is a question of knowing among the elbow crutches, the axillary crutches and the walker two wheels, which is the gait device which asks for most energy the non-weight bearing to healthy subjects.

Methodology : A test of six minutes is repeated with three different gait device (elbow crutch, axillary crutch, walker two wheels) to healthy subjects (4 women, 4 men, age 18-43 years, $27,7 \pm 8,4$ years) by raising the heart rate (HR) of the subjects every 30 seconds thanks to one cardio frequency measures. The Physiological cost index (PCI, expressed in beating/meter) is then calculated from the recorded HR. The subjects have the right knee immobilized with a splint of Zimmer and have to move forward on the non-weight bearing.

Results : The walker two wheels (PCI : $2,97 \pm 0,92$ beat / m) have an upper physiological cost index, then non-weight bearing walking, on that of the elbow crutches ($2,63 \pm 0,99$ beat / m) and axillary crutch ($2,57 \pm 0,79$ beat / m). The results of the experimental protocol emphasize only significant differences in the comparison enter walker two wheels and axillary crutches.

Discussion : It would seem that the walker two wheels requests from advantage on the respiratory cardio plan. However the results are to be interpreted with precaution by the presence on the bias and of a low sample.

Conclusion : Our pilot study was able to show differences of PCI according to the used gait devices, either significantly statistically, or by graphical representation. A study led on a larger scale would be interesting to assert or counter our suppositions.

Key words : Physiological cost index, elbow crutches, walker two wheels, axillary crutch, non-weight bearing

INTRODUCTION

Dans le champ de la masso-kinésithérapie, nous faisons marcher des patients avec ou sans aides techniques quotidiennement. La marche est un moyen de locomotion bipède, spécifique à l'être humain. Quand celle-ci est altérée soit par rapport au vieillissement de l'organisme, soit suite à un traumatisme... nous avons recours à des aides techniques qui permettent de maintenir l'autonomie du sujet.

Au cours des stages effectués, nous avons observé que l'attribution d'une aide technique à un patient se fait en fonction de son équilibre, de son âge, la condition physique... Pour autant, la dépense d'énergie due à l'utilisation des différentes aides techniques est très peu prise en considération. Il serait intéressant d'avoir une idée de cette dépense pour chaque aide chez des sujets sains. Comme citent Vermeersch et al. (1996) : « *il faudrait avoir conscience, lorsque l'on choisit une aide technique et un moyen de déambulation, que l'on va demander au patient et à son organisme une adaptation en terme de coût énergétique.* ». Nous nous sommes donc penchés sur la littérature pour trouver un moyen valide, fiable et simple à utiliser pour mettre en évidence la dépense d'énergie à la marche. Nous avons trouvé un indice qui permet à l'aide de la fréquence cardiaque et de la vitesse d'évaluer celle-ci.

L'indice du Coût Physiologique n'a pas encore bénéficié à ce jour d'études sur différentes aides techniques au sein d'une population adulte saine lors de la marche pendulaire unilatérale.

L'objectif de ce travail est d'utiliser l'indice du coût physiologique moyen, comme un outil de mesure, chez les sujets adultes sains pour mettre en évidence l'aide technique demandant le plus d'énergie lors de la marche pendulaire unilatérale chez ces mêmes sujets.

Il s'agira d'une étude croisée expérimentale.

Dans notre étude, la problématique de recherche est :

En quoi le type d'aide technique influence-t-il la dépense énergétique lors de la marche pendulaire unilatérale chez le sujet sain ?

Nous aborderons en premier lieu le contexte des différentes aides techniques et l'outil de mesure utilisé pour mettre en évidence la dépense énergétique : l'indice du coût physiologique. Nous verrons également la marche pendulaire unilatérale.

Puis dans un deuxième temps, nous présenterons la méthode expérimentale mise en place pour répondre à la problématique, les résultats obtenus et une discussion aboutissant à une conclusion.

PARTIE I : CONTEXTE DE L'ETUDE

I.1. Aides techniques

Les aides techniques à la marche sont très régulièrement prescrites par les médecins mais aussi par les masseur-kinésithérapeutes. Leurs réglages ne sont pas toujours faits par les thérapeutes. Il arrive très souvent que ce soit le patient qui l'effectue en fonction de son ressenti.

1.1.1.. Béquilles antébrachiales

Cannes anglaises, cannes à appui antébrachial, cannes françaises, béquilles d'avant-bras, cannes Schlick, cannes Lofstrand. Malgré de nombreuses appellations, elles sont apparues dans les années 20 et sont les plus utilisées en Europe (Sengler et al. 1999). Ici nous les appellerons « béquilles antébrachiales ».

Description : Il s'agit de deux tubes, le plus souvent en alliage léger (Sengler et al. 1999), de diamètres différents afin qu'ils puissent s'emboîter et donc être réglables en hauteur. A partir de la poignée, le tube ayant le plus grand diamètre s'incline d'environ de 15° (Figure 1) pour terminer par une embrase semi ouverte. Cette dernière, dans certains modèles, peut être fixe ou articulée en hauteur. La poignée peut être éventuellement ergonomique, standard ou standard « rembourré ». Ici, nous utiliserons des béquilles antébrachiales avec une embrase fixe et une poignée ergonomique. Au bout de l'extrémité inférieure, un embout en caoutchouc est placé pour une meilleure adhésion avec le sol.

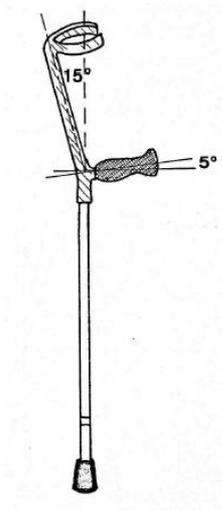


Figure 1. Béquille antébrachiale (Berthe 1987)

Réglages : Plusieurs études ont été faites sur le réglage de la hauteur. Après plusieurs travaux, Tuffier (1915) a montré que la distance poignet-sol peut être déduite de la taille du sujet grâce à cette formule :

$$\text{hauteur de la poignée (mètre)} = \left(\frac{\text{taille (mètre)}}{2} \right) + 2 \text{ cm}$$

Après une étude préliminaire faite par Mougenot & Petitdant (2010), le résultat de la formule utilisé par Tuffier (1915) correspond à la projection du grand trochanter.

Kumar, Roe, & Scremin (1995) ont remis en cause l'utilisation du grand trochanter comme repère anatomique pour obtenir une flexion du coude de 30°. Dans son étude, Kumar compare deux méthodes : l'une prenant comme repère anatomique le grand trochanter et l'autre le pli palmaire distal du poignet (PPDP). Il obtient un angle moyen de flexion de coude de 25,4° ± 6,1° avec le repère du PPDP et un angle de 44,8° ± 11,8° en utilisant le grand trochanter.

Quatremere & Gouilly (2003) s'inspirent de l'étude de Kumar pour la faire avec un échantillon plus important de 107 sujets contre 52 pour Kumar. Ils obtiennent une moyenne de flexion de coude de 33,4° avec le PPDP et de 46,28° avec le grand trochanter.

Pour ces deux auteurs, le repère anatomique fiable, afin d'obtenir les 30° de flexion, est le PPDP qui permet d'acquérir une efficacité optimale du muscle triceps brachial lors de la déambulation.

Dufour (2007) ; Lacôte, & al (2008); Lardry (1978) décrivent le triceps brachial comme un muscle important lors du « béquillage », que son angle d'efficacité optimale est compris entre 20° et 30° de flexion de coude. Cet angle de force maximale, dans la littérature, est donné en chaîne cinétique ouverte. Or, lors du « béquillage » le triceps brachial se retrouve en chaîne cinétique fermée.

Lors de la déambulation avec les béquilles antébrachiales, d'autres muscles sont sollicités : muscles du complexe de l'épaule, du coude, du poignet, de la main. « Le triceps n'est donc pas le muscle principal du « béquillage » en pendulaire. Il n'est, peut-être, pas nécessaire de respecter les 30° de flexion de coude pour permettre une bonne déambulation. » (Mougenot & Petitdant 2010).

1.1.2.. Béquilles axillaires

D'après Sengler et al. (1999), les béquilles axillaires ou cannes axillaires sont apparues dès le temps de l'Égypte ancienne. Elles sont surtout utilisées chez nos voisins anglo-saxons et très peu en Europe.

Description : la béquille axillaire est conçue à l'aide de deux grands tubes métalliques. L'extrémité inférieure de ces derniers est réunie avec un troisième petit tube métallique, à l'aide d'une vis et d'un écrou. Elle donne donc une possibilité de régler la hauteur. Le bout distal de ce dernier tube est recouvert d'un embout en caoutchouc. Nous observons un aspect en « V » de la béquille (Sengler et al. 1999). Les extrémités supérieures des deux grands tubes sont reliées par une transverse. Cette transverse dépasse de quelques centimètres sur les côtés et est incurvée. Elle peut également être « rembourrée » pour avoir un appui axillaire moins douloureux. Au centre de la canne axillaire, une deuxième transverse s'emboîte entre les deux grands tubes (Figure 2).



Figure 2. Béquilles axillaires (Sengler et al. 1999)

Réglages : Les béquilles axillaires étant de moins en moins utilisées, il y a très peu d'études publiées sur leur réglage.

Un article a été publié dans les années 90 par Bauer et al. (1991) sur les différentes techniques de réglages utilisées. Parmi les différentes méthodes, les deux statistiquement les plus précises sont :

- $(\text{Taille réelle du sujet (centimètre)} \times 0,72) + 5,2 \text{ cm}$
- $(\text{Taille rapportée par le sujet}^1 \text{ (centimètre)} \times 0,68) + 12,3 \text{ cm}$

Ces deux techniques sont recherchées statistiquement par analyse de régression (Bauer et al. 1991). Love (2001) dit que la soustraction de 40 cm à la taille du sujet est fiable uniquement chez les sujets de taille moyenne (165-173 cm), au risque d'avoir une béquille soit trop longue, soit trop courte. Sengler et al. (1999) règlent les béquilles de manière simple en s'inspirant du réglage des béquilles antébrachiales. Pour lui, la transverse supérieure est à 5 cm sous le creux axillaire et le coude est fléchi à 20° en gardant le poignet en extension.

¹ Le sujet donne sa taille à l'examineur en centimètre. Il n'y a pas de prise de mesure de la part du thérapeute.

1.1.3.. Déambulateur à 2 roues

Le cadre de marche est apparu dans les années 20. Il a été confectionné « à l'aide de tuyaux de conduites de gaz [...]. Les tubes aluminium ont été utilisés dans les années 50. » (Sengler et al. 1999). Depuis, sur le marché, nous trouvons différentes versions, dont le déambulateur 2 roues. Ce dernier peut prendre l'appellation de rollator® 2 roues. Ici, nous emploierons le terme « déambulateur 2 roues ».

Description : Il s'agit d'un cadre métallique de forme quadrangulaire (Sengler et al. 1999). Les pieds avant sont composés de deux roulettes unidirectionnelles et les pieds arrière ont des embouts en caoutchouc. Grâce à l'emboîtement des différents tubes métalliques, ces cadres peuvent être ajustés en fonction de la taille du sujet. La mise en place de poignées au niveau des parties supéro-latérales du déambulateur 2 roues permet d'obtenir une meilleure préhension et un meilleur appui lors de la déambulation (Figure 3).



Figure 3. Déambulateur 2 roues (Bradley & Hernandez 2011)

Réglages : Concernant le réglage de la hauteur du déambulateur 2 roues, il y a très peu d'études scientifiques mettant en évidence la méthode la plus adéquate. Pour Bradley & Hernandez (2011), le réglage de la hauteur du déambulateur 2 roues est le même que celui de la canne simple : la hauteur correcte des poignées correspond au pli du poignet du sujet en position anatomique. En utilisant cette technique, on obtient naturellement une flexion du coude entre 15 et 30 degrés. Van Hook et al. (2003) rejoignent Bradley (2011) sur l'utilisation du pli de poignet du sujet. Mais Van Hook dans son article affirme que la méthode la plus acceptée est la mesure entre le grand trochanter et le sol et le coude fléchi entre 15° et 30°.

Dans la pratique, il est important de prendre en considération les avantages et les inconvénients de chaque aide technique avant de les prescrire (Figure 4).

L'avantage des trois aides techniques vues ci-dessus est d'avoir la capacité de décharger le(s) membre(s) inférieur(s) lors de la marche, décharge compensée par les membres supérieurs.

Les béquilles axillaires entraînent une dépense d'énergie importante et leur apprentissage est difficile (Bradley & Hernandez 2011). Elles sont également connues pour entraîner une compression vasculo-nerveuse au niveau du creux axillaire. Elles sont peu prescrites en France.

Les béquilles antébrachiales sont largement utilisées en France car elles sont plus simples que les béquilles axillaires, notamment dans les escaliers.

Toutes les deux demandent une certaine stabilité de la part du patient.

Le déambulateur 2 roues donne un meilleur équilibre lors de la marche. Grâce à sa stabilité, les patients ayant un équilibre précaire peuvent garder leur autonomie à la marche. Les 2 roues évitent au sujet de devoir lever le cadre. En France, il est souvent utilisé par les personnes âgées.

<i>Assistive device</i>	<i>Pros</i>	<i>Cons</i>	<i>Examples of conditions indicated for use</i>
Canes			
Standard/straight cane	Improves balance; adjustable	Should not be used for weight bearing; umbrella handle may cause carpal tunnel syndrome	Mild ataxia (sensory, vestibular, or visual); mild arthritis
Offset cane	Appropriate for intermittent weight bearing; shotgun handle puts less pressure on palm	Commonly used incorrectly (backward)	Moderate arthritis
Quadripod (four-legged) cane	Increased base of support; can bear larger amount of weight; stands freely on its own	Slightly heavier than straight cane; awkward to use correctly with all four points on ground simultaneously	Hemiparesis
Crutches			
Axillary crutches	Able to completely redistribute weight off of lower extremities; permits 80 to 100 percent weight-bearing support; inexpensive	Difficult to learn to use; requires substantial energy expenditure and strength; risk of nerve or artery compression; unable to use hands	Lower extremity fracture
Forearm (Lofstrand) crutches	Frees hands without having to drop crutch; less cumbersome to use, particularly on stairs	Permits only occasional weight bearing	Paraparesis
Platform crutches	Forearm is used to bear weight rather than hand	Difficult to learn to use	Rheumatoid arthritis
Walkers			
Standard walker	Most stable walker; folds easily	Needs to be lifted up with each step; slower, less natural gait	Severe myopathy; severe neuropathy; cerebellar ataxia
Front-wheeled (two-wheeled) walker	Maintains normal gait pattern; does not need to be lifted up with each step	Large turning arc; less stable than standard walker	Severe myopathy; severe neuropathy; paraparesis; parkinsonism
Four-wheeled walker (rollator)	Easy to propel; highly maneuverable, with small turning arc; typically has seat and basket	Not for weight bearing; less stable than front-wheeled walker; does not fold easily	Moderate arthritis; claudication; lung disease; congestive heart failure

Figure 4. Comparaison des différentes aides techniques (selon Bradley & Hernandez 2011)

I.2. Dépense énergétique

I.2.1. Indice Coût Physiologique

Pour mesurer la dépense énergétique à la marche, la mesure du volume d'oxygène (VO₂) est utilisée en première intention. Les recueils de données du VO₂ se font avec un équipement onéreux et lourd à transporter et se déroulent dans des laboratoires adaptés. Ceci nécessite donc du personnel qualifié (Ijzerman et al. 1999).

C'est en 1979 que MacGregor (1981) a développé l'indice du coût physiologique (ICP) en se basant sur les travaux d'Astrand et Ryhming dans les années 50. Ces derniers ont mis en évidence une relation linéaire entre la fréquence cardiaque et la consommation d'oxygène (Annexe 1) lors d'un travail sous maximal (Viel 2000) qui permet « *d'estimer indirectement le VO₂* » (Vezirian et al. 2004). Comme citent Ijzerman & Nene (2002) : « *the PCI is closely related to oxygen cost (EO₂)* » (le PCI est étroitement lié au coût d'oxygène (EO₂)).

Mac Gregor a mis en place cet indice car il estimait que la méthode par les sacs de Douglas entraînait des répercussions (équipement volumineux) sur la consommation d'oxygène et recherchait une approche plus discrète (MacGregor 1981). L'indice du coût physiologique (ICP) se calcule en faisant la fréquence cardiaque à l'effort (FCe) moins la fréquence cardiaque au repos (assis) (FCr), le tout sur la vitesse (V). Nous obtenons un résultat en battement par mètre (batt/m).

$$\text{ICP}(\text{batt/m}) = \frac{\text{FCe}(\text{batt/min}) - \text{FCr}(\text{batt/min})}{V(\text{m/min})}$$

I.2.1.1. Différents protocoles de mesure

De nombreuses études ont été faites depuis celle de MacGregor (1981) et diffèrent méthodologiquement entre elles.

Vezirian et al. (2004) ont une chronologie de leur protocole bien définie. Ils prennent en compte la fréquence cardiaque nocturne précédant le protocole, la fréquence cardiaque de repos en décubitus et en position assise (Figure 5).

Dans l'étude de Danielsson et al. (2007), la durée de l'effort est de 5 minutes avec un jour de repos au minimum entre chaque essai et la fréquence cardiaque de repos est obtenue en position assise. D'autres auteurs ont une durée d'effort de 10 minutes avec un temps de repos de deux semaines entre chaque mesure (Ijzerman et al. 1999).

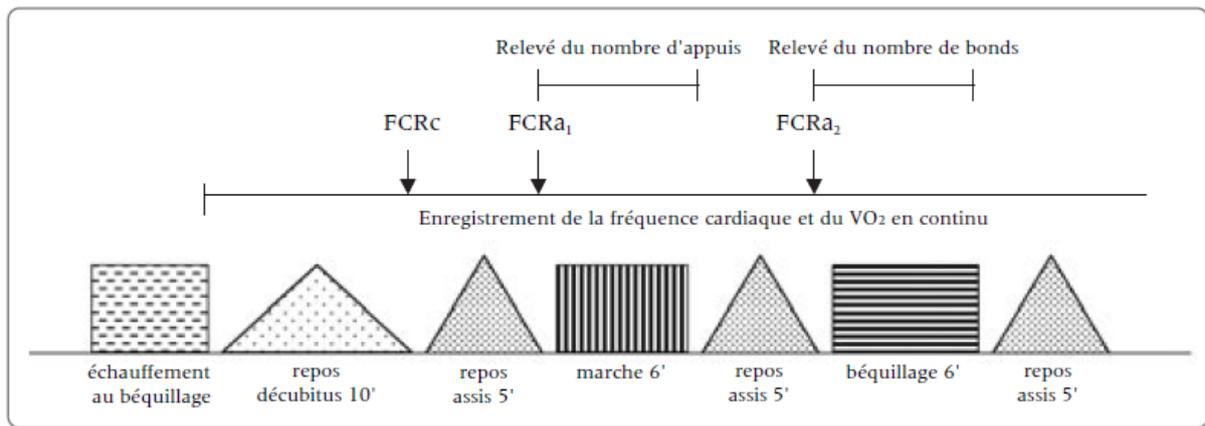


Figure 5. Chronologie du protocole expérimental de Vezirian et al. (2004)

Le temps nécessaire pour obtenir une fréquence de repos varie selon les auteurs.

Pour Danielsson et al. (2007), la mesure de la fréquence cardiaque au repos est prise sur une durée de 2 min 30. Ijzerman & Nene (2002) font asseoir le sujet pendant 5 minutes (Ijzerman et al. 1999) et établissent ensuite une moyenne de la fréquence cardiaque sur les deux dernières minutes. Tandis que dans l'étude de Graham et al. (2005), les sujets s'assoient jusqu'à ce que leur fréquence cardiaque se stabilise, c'est-à-dire pendant au moins 4 minutes. Vezirian et al. (2004) recueillent la fréquence cardiaque minimale (fréquence cardiaque de repos) en faisant une moyenne sur 15 minutes.

La piste de marche varie en fonction des auteurs. Graham et al. (2005) utilisent une piste en forme de 8 dont la circonférence de l'un des cercles est de 20 mètres et l'autre de 12 mètres. Ijzerman et al. (1999) utilisent une voie de 125 mètres de long et dans leur étude de 2002, ils se servent d'une piste circulaire de 160 mètres (Ijzerman & Nene 2002). Dans l'étude de Vezirian et al. (2004), les sujets doivent marcher dans un couloir de 60 mètres de long. Dans leur précédente étude, ils utilisent plutôt un couloir de 70 mètres de long (Vezirian et al. 2001). Danielsson et al. (2007) mesurent l'indice du coût physiologique sur un tapis de marche.

La marche et le béquillage sont réalisés à une vitesse non imposée, les sujets marchent donc à leur propre vitesse (Vezirian et al. 2004; Ijzerman et al. 1999; Danielsson et al. 2007; Voisin et al. 2001).

I.2.1.2.. Fiabilité, validité et reproductibilité

Reproductibilité : Dans leur étude préliminaire, Vezirian et al. (2004) ont pour objectif de mettre en évidence la reproductibilité de la vitesse spontanée, le nombre d'appuis, donc indirectement l'ICP chez des hommes. L'ICP prend en compte la fréquence cardiaque mais aussi la vitesse. Ils ont conclu qu'entre les deux tests, il n'y a « *pas de différence significative entre les paramètres étudiés [...], favorise le bon niveau de reproductibilité de l'ICP.* » (Vezirian et al. 2004).

L'étude de Bowen et al. (1998) porte sur la comparaison entre le coût d'oxygène (EO₂), la consommation de l'oxygène et l'ICP chez 5 enfants atteints d'une paralysie cérébrale (PC) et chez 5 enfants sains. Ils ont conclu que l'EO₂ est une mesure plus fiable que l'ICP.

Une étude « test et retest » sur les amputés du membre inférieur et des sujets sains montre une bonne reproductibilité chez un même sujet (CIC : 0,966 chez les amputés et 0,948 chez les sujets sains) (Hagberg et al. 2011).

Dans leur étude, sur les enfants atteints de paralysie cérébrale, Ijzerman & Nene (2002) concluent que l'ICP est reproductible.

Fiabilité et validité : Nene (1993) a comparé l'ICP chez les adultes et les adolescents à l'aide de test-retest. Il a conclu qu'il n'y a pas de différence significative entre les diverses tranches d'âge et en a déduit que l'ICP est un outil de mesure fiable pour mettre en évidence la dépense énergétique à la marche.

Graham et al. (2005) citent que la validité et la fiabilité de l'ICP dépendent de la forme de la piste sur laquelle les sujets marchent. Dans son étude, les 40 cobayes marchent sur une piste en forme de 8 dont l'une des boucles a un diamètre plus petit que l'autre. Ils démontrent la fiabilité intra et inter examinateur ainsi que « *to determine the validity of PCI as a measure of the EO₂ of walking.* » (« déterminer la validité de ICP comme une mesure de l'EO₂ lors de la marche) (Graham et al. 2005). Ils ont conclu que l'ICP est fiable en inter examinateur et intra examinateur. Par contre, ils ont mis en évidence que l'ICP n'est pas une mesure valable du coût de l'énergie à la marche chez les sujets sains. Ils ont également conclu que la piste de marche entraîne un changement de l'ICP (20 mètres : $0,30 \pm 0,1$ batt/m et 12 mètres : $0,34 \pm 0,1$ batt/m, $p < 0.002$).

Une étude chez des enfants atteints de paralysie cérébrale montre un coefficient de corrélation entre ICP et EO₂ de 0,50 (Bowen et al. 1998).

Danielsson et al. (2007) montrent que l'ICP a une fiabilité et une validité limitées chez les personnes ayant subi un accident vasculaire cérébral pour mesurer la dépense d'énergie à la marche.

Une étude de test retest, sur 15 étudiantes, a montré une bonne corrélation, que ce soit en conditions stationnaires ou non ou en post exercice (respectivement : $r = 0,868$, $r = 0,773$, $r = 0,796$). Elle conclut que l'ICP est une mesure fiable et valide pour la dépense énergétique. De plus, l'auteur cite que l'indice du coût physiologique peut être un outil dans l'évaluation du patient en kinésithérapie (Bailey & Ratcliffe 1995). Jaiyesimi & Fashakin (2007) ont retrouvé des résultats qui coïncident ($r = 0,0843$ à $0,944$) avec ceux obtenus par Bailey et al (1995). Jaiyesimi et al ont également conclu que l'ICP est une mesure fiable et valide comme outil de mesure de la dépense d'énergie.

De plus, Fredrickson et al. (2007) ont obtenu une bonne corrélation entre le coût de l'oxygène et l'ICP chez les personnes ayant subi un AVC ($r = 0,831$).

Le tableau ci-dessous (Figure 6) récapitule les études faites sur la fiabilité de l'ICP.

Table 3: Available Studies on Reproducibility and the Internal Responsiveness of the PCI

Study	Subjects	N	Analysis	Conclusion
Butler et al ¹⁰	H children	10	Raw data published	SDD _{PCI} = 81%* (barefoot) SDD _{PCI} = 75%* (shoes)
Nene et al ¹¹	Paraplegia	4	Differences	No specific conclusion
Nene ⁹	H adults	10	Raw data published	SDD _{PCI} = 19%*
	H adolescents	10		SDD _{PCI} = 24%*
Nene et al ¹⁴	CP children	18	Raw data before and after surgery	SDD _{PCI} = 130%*† Effect size: .70*
Bailey et al ²⁹	H students	15	PC	PC = .77-.86
Bowen et al ¹⁷	CP children	5	% variability	CV _{E02} = 13.2%
	H children	5		CV _{PCI} = 20.3%
Ijzerman et al ¹⁸	Paraplegia	10	SDD, ICC, effect size	PC = .63-.86 SDD _{E02} = 33.7% SDD _{PCI} = 41.8%
Boyd et al ²	H adults	4	% variability	% V _{E02} = 18C/22A
	H children	5		% V _{PCI} = 111C/169A
Present study	CP children	12	SDD, ICC, effect size	SDD _{E02} = 32% SDD _{PCI} = 70%

Abbreviations: H, healthy; PC, Pearson correlation; CV, coefficient of variation; A, adults; C, children.

* After analyzing the raw data.

† Using within-subject variability in the difference before and after surgery.

Figure 6. Tableau récapitulatif des études sur la fiabilité de l'ICP (Ijzerman & Nene 2002)

I.2.1.3. Outil d'évaluation

L'indice du coût physiologique depuis sa création est utilisé dans différents champs cliniques, voici quelques exemples :

- Comparaison entre un cadre de marche et un déambulateur 2 roues chez une population gériatrique (Cetin et al. 2010).
- Comparaison entre la propulsion d'un fauteuil roulant avec les deux jambes de manière alternée et propulsion du fauteuil roulant à l'aide d'une main et d'une jambe chez des patients hémiplésiques (Makino et al. 2005).
- Comparaison entre adolescents et adultes (Nene 1993).

- Comparaison entre la marche libre et la marche à 3 appuis en décharge avec béquilles axillaires et béquilles anglaises à trois vitesses différentes (LEE 1987).
- Comparaison avec et sans orthèse au niveau du pied et de la cheville chez des enfants atteints de paralysie cérébrale (Mossberg et al. 1990).
- Comparaison avec et sans chaussures chez des enfants (Butler et al. 1984).
- Comparaison avec ou sans plâtre sur le pied dominant chez les adultes (Laporte et al. 2014).
- ...

I.2.1.4. Dépense énergétique, aides techniques, marche pendulaire unilatérale et la littérature

Il existe dans la littérature deux articles utilisant l'ICP au cours du béquillage. Ces articles comparent l'ICP moyen entre la marche bipodale et la marche pendulaire unilatérale avec des cannes antébrachiales à une vitesse choisie par le sujet (Voisin et al. 2001; Vezirian et al. 2004).

Voisin et al. (2001) n'imposent pas un temps mais une distance de 120 mètres chez un échantillon de 67 étudiants. Il compare l'ICP moyen obtenu au cours de la marche et du béquillage chez les hommes et chez les femmes. Voisin et al. (2001) montrent qu'il n'y a pas de différence :

- Pour les hommes : ICP béquillage à 30 mètres : $0,82 \pm 0,33$, 60 mètres : $0,98 \pm 0,35$, 90 mètres : $1,07 \pm 0,35$ et à 120 mètres : $1,11 \pm 0,36$ batt/m.
- Pour les femmes : ICP béquillage à 30 mètres : $1,18 \pm 0,31$, 60 mètres : $1,38 \pm 0,35$, 90 mètres : $1,55 \pm 0,37$, et à 120 mètres : $1,61 \pm 0,41$.

Ils concluent qu'après 120 mètres de « béquillage », l'ICP est multiplié par 4 par rapport à la marche bipodale.

Dans l'étude de Vezirian, le but recherché est de mettre en évidence s'il y a « *une différence significative entre le VO₂, FC, de l'ICP, de la durée et de la distance parcourue lors d'un test de marche et de béquillage* » (Vezirian et al. 2004) dans une population de 10 hommes. Les sujets marchent pendant 6 minutes puis après un temps de repos de 5 minutes, ils enchainent avec un « béquillage » pendant 6 minutes à leur vitesse de confort. Ils obtiennent un ICP moyen à chaque minute (1 min à 6 min), respectivement de $1,16 \pm 0,39$, $1,34 \pm 0,38$, $1,47 \pm 0,43$, $1,59 \pm 0,46$, $1,73 \pm 0,48$, $1,79 \pm 0,49$ batt/m.

Vezirian et al. (2004) ont conclu que l'ICP au cours du «béquillage » est 5 fois plus élevé qu'au cours de la marche.

Une étude est réalisée sur la comparaison de l'ICP moyen entre une marche en appui contact de 100 Newton avec un cadre de marche, marche pendulaire unilatérale avec un cadre de marche et une marche bipodale sans aide technique (Westerman et al. 2008). Westerman et al. (2008) ont obtenu qu'il n'y a pas de différence significative entre la marche appui contact de 100 Newton (ICP moyen entre 1,5 et 2,5 batt/m) et la marche pendulaire unilatérale (ICP moyen entre 1,4 et 2,4 batt/m).

D'autres études ont comparé différentes aides techniques en utilisant la consommation d'oxygène et la marche pendulaire unilatérale.

Dounis et al. (1980) ont comparé la consommation de l'oxygène entre les béquilles axillaires, les béquilles antébrachiales et les béquilles canadiennes (Annexe 2). Ils ont fait marcher 10 sujets pendant 6 minutes pour chaque aide technique à une vitesse non imposée. Dounis et al ont conclu que les cannes antébrachiales demandent plus d'O₂ (24,6 ml/kg) suivies des béquilles axillaires (22,3 ml/kg) puis des béquilles canadiennes (19,6 ml/kg) (Dounis et al. 1980).

Raymond Y. W. LEE (1987) comparent les deux types d'aides techniques, béquilles axillaires & béquilles antébrachiales, à différentes vitesses (lente, normale, rapide) chez 12 étudiants pendant 5 minutes. Ils ont trouvé que quelle que soit la vitesse, les béquilles antébrachiales (vitesse lente : 15,76 ml/kg/min, normale : 16,64 ml/kg/min, rapide : 24,35 ml/kg/min) consomment globalement plus d'oxygène que les béquilles axillaires (vitesse lente : 15,88 ml/kg/min, normale : 18,49 ml/kg/min, rapide : 28,35 ml/kg/min).

Une étude utilisant également la consommation d'oxygène entre les béquilles axillaires, le cadre de marche et le déambulateur 2 roues a été réalisée sur 9 femmes. Chaque sujet doit marcher avec chaque aide technique pendant 7 minutes. Les résultats obtenus ont montré que les béquilles axillaires demandent plus d'énergie ($15,3 \pm 1,4$ ml/kg/min). Le déambulateur 2 roues ($13,8 \pm 2,1$ ml/kg/min) demande moins d'énergie que le cadre de marche ($14,1 \pm 1,4$ ml/kg/min) (Holder et al. 1993).

1.2.2. Marche pendulaire unilatérale

Le but de l'utilisation des aides techniques à la marche pendulaire unilatérale est de décharger totalement ou partiellement le membre inférieur concerné. Pour compenser la décharge de ce dernier, les membres supérieurs et la ceinture scapulaire vont être d'autant plus sollicités que la décharge sera importante. Le travail est en chaîne cinétique fermée, donc en charge (Berthe 1987).

La marche pendulaire unilatérale se fait à l'aide de deux aides techniques, une au bout de chaque extrémité des membres supérieurs et d'un membre inférieur qui sert d'appui, l'autre (généralement le côté lésé) n'est jamais en contact avec le sol. Ceci entraîne un déplacement avec 3 appuis. Cette déambulation permet au patient de se déplacer le plus tôt possible, sous réserve que son état physique le lui permette. L'APU se déroule en plusieurs étapes (Berthe 1987) (Figure 7) :

- Phase d'appui bimanuel antérieur (Figure 7. B) correspond à l'avancement des deux aides techniques.
- Phase intermédiaire d'appui bimanuel (Figure 7. C) coïncide avec le transfert d'appui de la jambe saine aux membres supérieurs. Cela va permettre au membre inférieur sain de passer le pas pour se retrouver de nouveau en avant des aides techniques et donc de faire la phase oscillante.
- Phase d'appui bimanuel postérieure (Figure 7. D) correspond à l'attaque du talon de la jambe saine en avant de l'aide technique. La personne est dans une position où les béquilles sont en arrière et le membre inférieur sain en avant.
- Phase d'appui unipodal (Figure 7. E) résulte d'un déplacement des aides de déambulation d'arrière en avant. Le sujet est en appui uniquement sur le membre inférieur sain.

Ces différentes phases sont aussi valables avec le déambulateur 2 roues. Le sujet se trouve « dans le déambulateur » pendant la phase d'appui bimanuel postérieure. Ses mains sont donc placées en arrière des jambes.

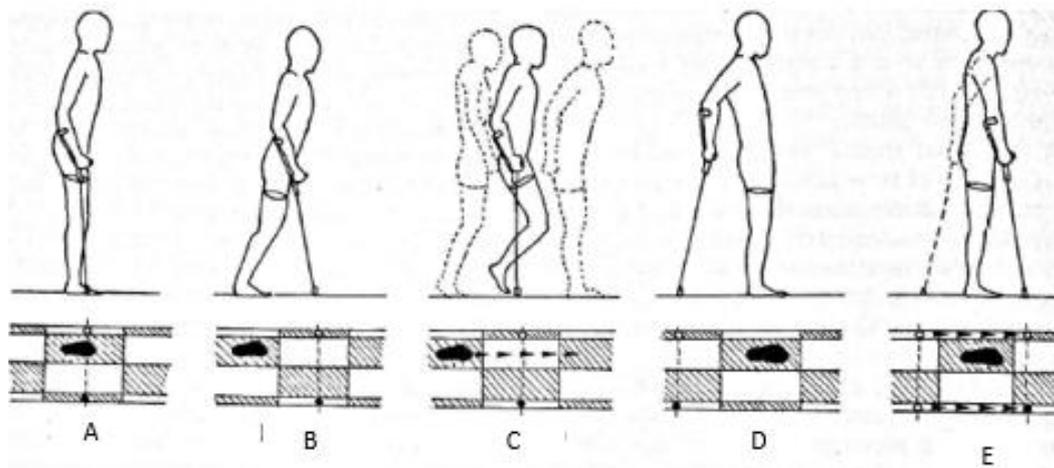


Figure 7. Différentes phases de la marche pendulaire unilatérale (Berthe 1987)

La marche pendulaire unilatérale en décharge sollicite les membres supérieurs et entraîne donc une sollicitation du système cardio-vasculaire qui n'est pas anodine. Après plus de 5 minutes d'APU avec des béquilles, Waters et al. (1987) obtiennent une augmentation de la fréquence cardiaque de 53 % et un taux de consommation d'oxygène de 32 %. Ils ont observé également qu'après 10 minutes d'APU, ces constantes se rapprochent des valeurs maximales calculées. C'est pourquoi il est important d'avoir une idée des indices du coût physiologique de chaque aide technique à la marche avant de les prescrire. De plus, la capacité d'adaptation à une contrainte physique diminue avec l'âge (Waters & Mulroy 1999).

PARTIE II : EXPERIMENTATION

II.1. Synthèse de la littérature, problématique, hypothèses et objectifs de l'étude

II.1.1.. Synthèse de la littérature

Cette partie de contextualisation sur l'indice du coût physiologique à la marche nous a conforté à l'idée que la plupart des professionnels de santé prescrivent des aides techniques au patient sans prendre en considération leur demande d'énergie.

D'après la littérature, le protocole de mesure de l'indice du coût physiologique est différent en fonction de chaque auteur quel que soit le champ, clinique ou non d'application. La prise de mesures diffère surtout sur le temps nécessaire pour la prise de la fréquence cardiaque au repos en position assise mais aussi sur la durée de l'expérience pour relever la fréquence cardiaque à l'effort. Certains auteurs ont effectué leur protocole sur un tapis roulant tandis que d'autres l'ont fait dans un couloir ou sur une piste circulaire en intérieur.

L'outil d'évaluation ICP est considéré comme un outil reproductible. Pour la fiabilité intra et inter examinateur, l'ensemble des auteurs a conclu que l'ICP est fiable. Alors que la validité dépend du type de population (pathologique ou non). Certains auteurs déclarent que l'ICP est validé chez les sujets sains tandis que d'autres disent qu'il ne l'est pas.

À ce jour, nous n'avons pas trouvé d'études comparant l'indice du coût physiologique des trois aides techniques différentes à la marche pendulaire unilatérale au sein d'un même échantillon avec une vitesse imposée. Cette information nous semble utile pour notre pratique quotidienne de la kinésithérapie.

II.1.2. Problématique

Dans notre étude, la problématique formulée est : **En quoi le type d'aide technique influence-t-il la dépense énergétique lors de la marche pendulaire unilatérale chez le sujet sain ?**

II.1.3. Hypothèses

Les hypothèses de travail sont :

- L'indice du coût physiologique est plus élevé avec les béquilles antébrachiales qu'avec le cadre de marche et les béquilles axillaires.

- L'indice du coût physiologique est majoré chez les femmes par rapport à celui des hommes quelle que soit l'aide technique utilisée tout au long du test.
- L'indice du coût physiologique se stabilise au même moment, quelle que soit l'aide technique utilisée.

II.1.3. Objectifs de l'étude

Le but de cette étude est d'utiliser l'indice du coût physiologique moyen, comme un outil de mesure, chez les sujets adultes sains pour mettre en évidence l'aide technique demandant le plus d'énergie lors de la marche pendulaire unilatérale chez ces mêmes sujets.

II.2. Méthode

II.2.1. Population

Une population de 10 sujets sains (4 femmes, 6 hommes, âge 18-43 ans, $27,7 \pm 8,4$ ans) a participé à la réalisation de l'expérimentation et répond aux critères suivants :

- Critères d'inclusions :
 - Sujets adultes (à partir de 18 ans).
 - Post prandial (2h après avoir mangé).
- Critères d'exclusions :
 - Présence de troubles cardio-respiratoires connus.
 - Présence de troubles musculo-squelettiques au niveau des membres supérieurs et inférieurs connus.
 - Présence de douleur au niveau des membres supérieurs, des membres inférieurs et du rachis.
 - Avoir subi une opération, dans l'année, au niveau des membres inférieurs et supérieurs.

II.2.2. Matériel

Une piste de forme circulaire est délimitée par des plots, avec une séparation d'un mètre entre chaque plot. La piste de marche a un périmètre de 35 mètres (Figure 8).

Pour l'enregistrement de la fréquence cardiaque, nous utilisons un cardio fréquence mètre de la marque Kalenji® (Figure 9).

Les aides techniques utilisées sont les béquilles antébrachiales, les béquilles axillaires et le déambulateur à deux roues (Figure 10). Chacune de ces aides techniques est ajustable.

Afin de réaliser la marche pendulaire unilatérale, nous utilisons une attelle de Zimmer (Figure 11).

Un métronome sur ordinateur est utilisé pour donner le rythme : métronome-en-ligne.com, onglet complet. Il fait également la fonction de chronomètre (Annexe 3).

La température ambiante de la salle est comprise entre 19° et 22°.



Figure 8. Piste de marche



Figure 9. Cardio-fréquence mètre Kalenji®.



Figure 10. De gauche à droite : Béquilles Axillaires, Béquilles Antébrachiales, Déambulateur 2 roues



Figure 11. Attelle de Zimmer

II.2.3. Protocole expérimental

L'étude expérimentale se déroule au sein de l'Institut de formation en Masso-Kinésithérapie à Rennes, dans la salle EDL. La prise des mesures se déroule sur deux semaines, en fin d'après-midi. Toutes les quarante minutes, un sujet ou un groupe de deux sujets passe l'expérimentation.

Préparation du sujet : Le cobaye place le cardio fréquence mètre (Figure 12) au niveau de la poitrine, sous les pectoraux. Le sujet a le genou droit immobilisé par une attelle de Zimmer (Figure 8). Il doit maintenir cette jambe en avant durant les 6 minutes.

Le réglage des aides techniques est fait en début de session pour chaque sujet et est suivi d'un essai sur quelques mètres afin d'apporter des modifications si nécessaire. Le choix du réglage des béquilles antébrachiales est l'utilisation du pli palmaire distal du poignet (PPDP), de même pour le déambulateur 2 roues. Sachant que la poignée ne peut pas être ajustée, nous réglons les béquilles axillaires en fonction du ressenti du sujet.



Figure 12. Positionnement du cardio fréquence mètre

Consignes de l'examineur : Durant les six minutes, aucune pause n'est autorisée. Il est également précisé que si la survenue d'une douleur insupportable apparaît, nous arrêtons le protocole. La consigne donnée au sujet est de marcher pendant six minutes avec l'aide technique en respectant le rythme imposé et la longueur de pas. L'examineur donne le départ et durant le passage donnera le temps restant à 3 minutes et à 5 minutes. Il y a la possibilité d'encourager le sujet.

Tâche : Lors de la réalisation, plusieurs paramètres ont été imposés afin de minimiser le risque de biais.

La vitesse est la même pour tous les cobayes et est déterminée à l'aide d'un métronome. La longueur de pas est de 50 cm, donc entre les plots, le pied gauche du sujet prend deux fois contact avec le sol. Le métronome est réglé de façon à obtenir un tempo de 45 BPM avec 2 temps par mesure. La vitesse est donc de 22,5 mètres par minute (soit 1,35 km/h). Nous avons

fixé la vitesse afin de mieux comparer nos résultats et donc de les analyser plus facilement. Le choix du réglage du métronome a été pris lors d'un essai reproduisant la marche pendulaire unilatérale avec un déambulateur à deux roues.

Pour chaque sujet, il est réalisé trois passages aléatoires de six minutes avec trois aides techniques différentes. L'ordre de passage des aides techniques se fait de manière aléatoire.

Un apprentissage avant session est réalisé pour que le sujet puisse se familiariser avec l'aide technique et le rythme imposé. Il permet également à l'examineur de voir si le sujet a assimilé correctement les consignes.

Après cet apprentissage, le sujet reste assis jusqu'à ce que la fréquence cardiaque se stabilise, nous relevons ensuite la fréquence cardiaque de repos. Il se positionne ensuite à la hauteur d'un plot, le top départ est annoncé. Entre les changements d'aide technique, une pause est effectuée. Dès que le sujet se sent prêt, nous commençons un nouveau passage avec une nouvelle aide technique.

II.2.4. Recueil des données

Le but est de noter la fréquence cardiaque toutes les 30 secondes, du temps zéro jusqu'à la sixième minute. Nous recueillons également pour chaque sujet les caractéristiques anthropométriques : l'âge, la taille, le poids, respectivement, en année, en centimètres et en kilogrammes. Toutes les données sont regroupées dans un tableur Microsoft Excel®.

II.2.5. Traitement des statistiques

Vu que l'échantillon est inférieur à 35 sujets, nous avons testé les mesures pour savoir si elles correspondent ou non à une loi normale² en utilisant le test Shapiro. Les mesures recueillies ne coïncident pas avec une loi normale. Nous avons donc utilisé un test non paramétrique afin de savoir s'il y avait une différence significative ou non. Cette mesure est effectuée à l'aide du test de Wilcoxon-Mann-Whitney apparié. Il permet de faire une comparaison de moyenne par paires. Le seuil de significativité retenu est $p < 0,05$.

² « La distribution des valeurs d'une variable s'agglutine autour d'une valeur moyenne. Ensuite ces valeurs décroissent symétriquement de part et d'autre de cette moyenne. Sa courbe de densité de probabilité a une forme tout à fait particulière appelée courbe en cloche » (Ancelle 2012).

II.3. Résultats

II.3.1. Caractéristiques de la population étudiée

Sujets	Effectif	Age (années)		Poids (Kg)		Taille (cm)		Fréquence cardiaque au repos (batt/min)	
		Moyenne	Min-Max	Moyenne	Min-Max	Moyenne	Min-Max	Moyenne	Min-Max
Femmes	4	23,5 ± 4,7	18-29	60,0 ± 8,5	54-72	170,0 ± 5,7	163-176	73,3 ± 6,0	69-82
Hommes	6	30,5 ± 9,6	19-43	65,7 ± 7,3	58-75	175,3 ± 4,1	171-182	64,5 ± 6,5	60-76
Tous	10	27,7 ± 8,4	18-43	63,4 ± 7,9	54-75	173,2 ± 5,3	163-182	67,9 ± 7,5	60-82

Tableau 1. Caractéristiques de l'échantillon étudié

II.3.2. Résultat moyen de l'ICP pour chaque individu

SUJET	BILAN		
	Beq. Ang.	Beq. Axi.	Déamb.
	ANG	AXI	DEA
1	2.66	3.18	3.66
2	1.60	1.27	1.44
3	1.61	1.99	1.79
4	4.07	3.99	3.64
5	3.99	2.93	3.74
6	1.83	1.80	2.31
7	1.72	2.19	2.34
8	3.59	3.15	3.96
9	2.11	2.63	3.74
10	3.10	2.59	3.09
Moyenne	2.63	2.57	2.97
Ecart-Type	0.99	0.79	0.92
Min	1.60	1.27	1.44
Max	4.07	3.99	3.96

Tableau 2. Moyenne de l'Indice du Coût Physiologique (ICP) de chaque individu et pour chaque aide technique (Beq. Ang. : béquilles anglaises (antébrachiale), Beq. Axi : béquilles axillaires, Déamb : déambulateur 2 roues)

Pour un test de 6 minutes répété avec 3 aides techniques différentes pour 10 sujets, nous obtenons un résultat de l'ICP moyen pour les béquilles anglaises de $2,63 \pm 0,99$ batt/m, pour

les béquilles axillaires de $2,57 \pm 0,79$ batt/m, et pour le déambulateur 2 roues de $2,97 \pm 0,92$ batt/m (tableau 2).

L'ICP moyen obtenu avec le déambulateur (2,97 batt/m) montre qu'il s'agit de l'aide technique qui demande le plus d'énergie à la marche pendulaire unilatérale, suivie des béquilles antébrachiales (2,63 batt/m) puis des béquilles axillaires (2,57 batt/m).

II.3.3. Comparaison par paires de l'ICP moyen obtenu selon l'aide utilisée

Nous n'avons pas de différence significative entre les béquilles antébrachiales / béquilles axillaires (p – value = 1, $p > 0,05$) et les béquilles antébrachiales / déambulateurs 2 roues (p – value = 0,1602, $p > 0,05$). Pour les béquilles axillaires / déambulateur 2 roues, nous obtenons une différence significative (p – value = 0,041, $p < 0,05$).

II.3.4. Evolution des aides techniques au cours du test

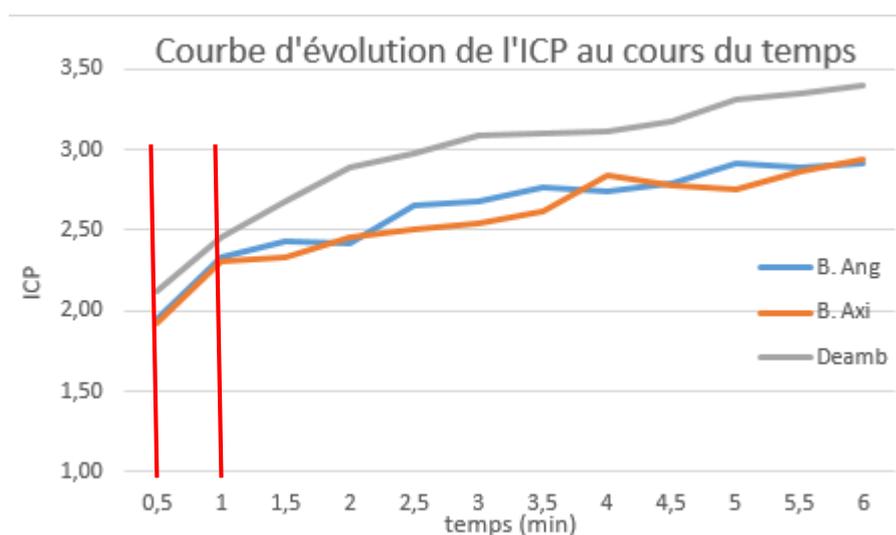


Figure 13. Courbes d'évolution de l'Indice du Coût Phylogique (ICP) pour chaque aide technique (Beq. Ang. : béquilles anglaises (antébrachiale), Beq. Axi : béquilles axillaires, Déamb : déambulateur 2 roues)

Ces courbes mettent en évidence l'évolution de l'ICP moyen de chaque aide technique au cours du temps (figure 13). Nous observons que la courbe de l'aide technique « déambulateur » dès le début se situe et reste jusqu'à la fin au-dessus des autres courbes. Cela montre que l'APU avec le déambulateur 2 roues demande plus d'énergie, environ + 0,5 ICP au regard du graphique.

Les courbes béquilles anglaises (béquilles antébrachiales) et les béquilles axillaires demandent quasi la même énergie au cours des 6 minutes. On remarque que la courbe correspondante aux

béquilles antébrachiales se stabilise progressivement au cours du temps. On constate également une pente plus raide entre 0,5 minute et 1 minute de l'ICP pour les trois aides techniques. Dans les dernières minutes, nous nous apercevons qu'aucune des trois courbes ne cesse de progresser.

II.3.5. Evolution de l'ICP Homme / Femme au cours du test

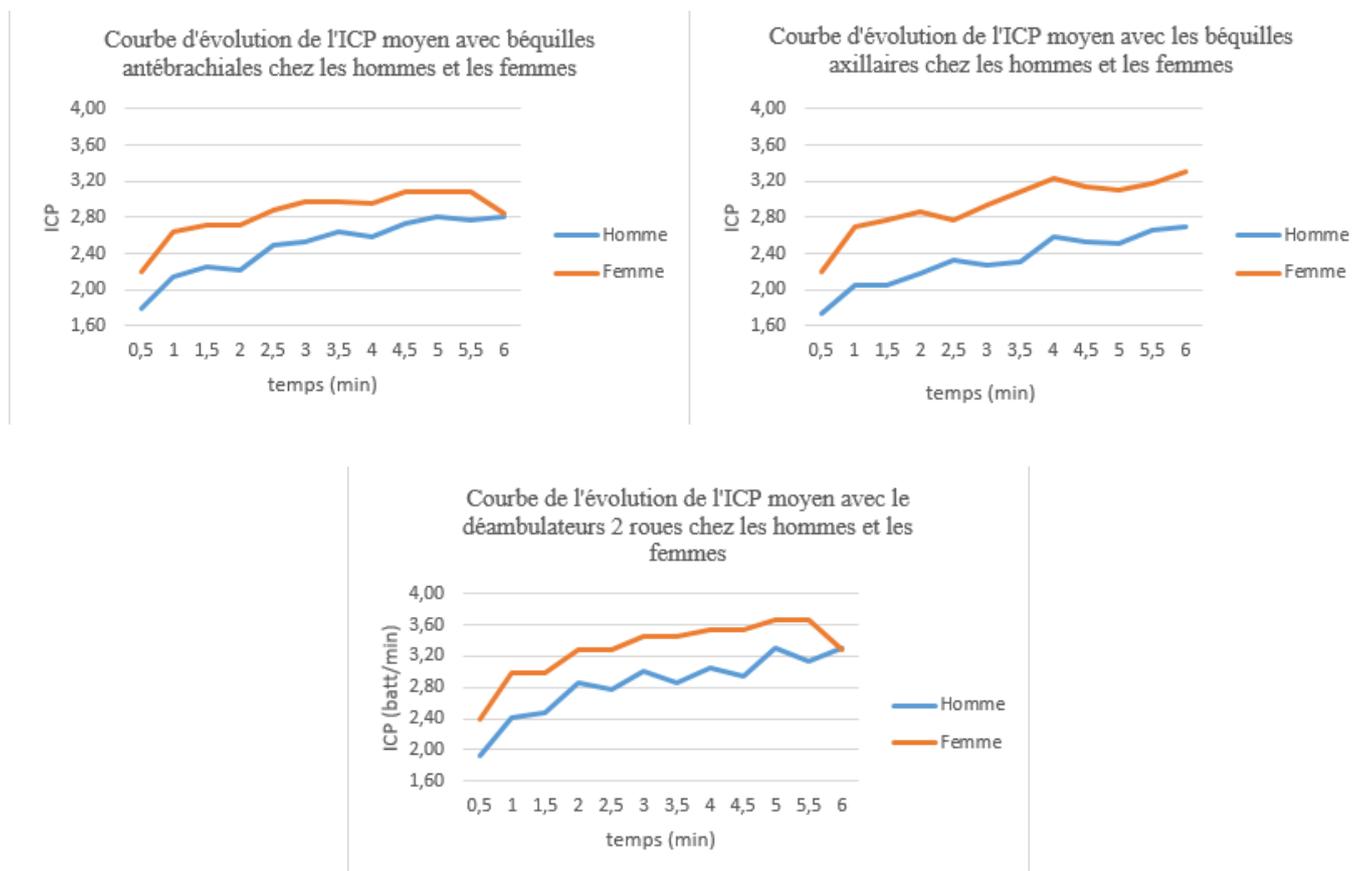


Figure 14. Graphiques comparant l'Indice du Coût Physiologique moyen chez les hommes et les femmes pour chaque aide technique

Quelle que soit l'aide technique et dès le début, l'ICP moyen chez les femmes se situe au-dessus de celui des hommes (ICP + 0,4 batt/m).

Nous observons, dans le cas de la marche pendulaire unilatérale avec les béquilles antébrachiales et le déambulateur 2 roues, que la courbe des femmes et celle des hommes se rejoignent au bout de 6 minutes. Nous avons au bout de 6 minutes, un ICP environ à 2,82 batt/m pour les béquilles anglaises et un ICP environ à 3,30 batt/m pour le déambulateur.

De plus, nous remarquons que l'évolution des deux courbes (hommes et femmes) progresse dans le temps de façon quasi parallèle pour les béquilles axillaires, une différence d'environ d'ICP + 0,55 batt/m au regard du graphique (Figure 14).

II.4. Discussion

Analyse des résultats

À l'heure actuelle, aucune étude n'a été faite sur la mesure de l'ICP de chaque aide technique à la marche pendulaire unilatérale à vitesse imposée chez le sujet sain.

Au regard des résultats ci-dessus, nous constatons dès la 1^{ère} minute que l'indice du coût physiologique moyen du déambulateur 2 roues est plus élevé (ICP + 0,5 batt/m). Nous obtenons comme résultat un ICP moyen de $2,97 \pm 0,92$ batt/m avec un minimum de 1,44 batt/m et un maximum de 3,96 batt/m, chez les 10 sujets. Bien que l'ICP moyen du déambulateur 2 roues (2,97 batt/m) soit supérieur à celui des béquilles antébrachiales 2,63 batt/m), il n'y a pas de différence significative ($p > 0,05$) pour un échantillon de 10 sujets. Par contre, nous obtenons une différence significative entre l'ICP du déambulateur 2 roues et celui des béquilles axillaires ($p < 0,05$).

Nos résultats ne correspondent pas à ceux trouvés dans l'étude de Holder et al. (1993). Ils ont obtenu par la mesure du VO₂ que le déambulateur 2 roues (13,8 ml/kg/min) a une consommation moindre que celle des béquilles axillaires (15,3 ml/kg/min).

Les résultats trouvés pour l'ICP moyen des béquilles axillaires sont $2,57 \pm 0,79$ batt/m avec un minimum de 1,27 batt/m et un maximum de 3,99 batt/m. Il s'agit de l'aide technique demandant le moins d'effort lors de la marche pendulaire unilatérale chez les sujets sains à vitesse imposée. Mais en comparaison avec l'ICP moyen des béquilles antébrachiales pour un échantillon de 10 cobayes, nous n'obtenons pas de différence significative ($p > 0,05$).

Bien qu'elles demandent plus d'énergie que le déambulateur 2 roues (Holder et al. 1993), d'après Dounis (1980) & LEE (1987), les béquilles axillaires ont une consommation de VO₂ moins importante que les béquilles antébrachiales.

L'ICP moyen pour les cannes antébrachiales, dans notre étude, est de $2,63 \pm 0,99$ batt/m avec un minimum de 1,60 batt/m et un maximum de 4,07 batt/m à une vitesse imposée de 1,35 km/h. Les données dans la littérature sur l'ICP sont obtenues à une vitesse qui est choisie par le sujet et correspond 3,6 km/h (Vezirian et al. 2004; Voisin et al. 2001). La vitesse choisie pour notre expérience se rapproche des vitesses lentes mesurées par LEE (1987) dans son étude. Il a trouvé 1,60 km/h pour les béquilles axillaires et 1,58 km/h pour les béquilles antébrachiales. Holder et al. (1993), en laissant les sujets choisir leur vitesse, ont trouvé une vitesse de 1,44 km/h avec le déambulateur 2 roues chez des femmes saines.

Voisin et al. (2001) ont obtenu un ICP moyen au bout de 120 mètres de béquillage, de $1,36 \pm 0,35$ batt/m. Vezirian et al. (2004) ont un ICP moyen de $1,51 \pm 0,23$ batt/m pour une durée de 6 minutes.

La différence entre les résultats obtenus par ces auteurs et les nôtres montrent que le fait d'imposer une vitesse engendre une contrainte supplémentaire pour le système cardio-respiratoire. Il s'agit là d'une hypothèse qui peut être validée ou infirmée à travers une autre expérience.

Concernant la comparaison de l'ICP homme / femme pour les béquilles antébrachiales, nous obtenons les mêmes résultats que ceux de l'étude de Voisin (2001). Leur étude montre un ICP moyen chez les femmes pour les béquilles antébrachiale supérieur à celui des hommes tout au long de l'épreuve (Voisin et al. 2001). Nous obtenons une différence homme / femme de l'ICP moyen de 0,36 batt/m pour une vitesse imposée et Voisin (2001) obtient une différence de l'ICP moyen de 0,43 batt/min pour une vitesse non imposée. Sachant qu'au bout de 6 minutes la courbe des hommes et celle des femmes se rejoignent.

Nous n'avons pas pu calculer la p-value entre l'ICP hommes / femmes pour montrer la présence ou non d'une différence significative du fait de notre faible échantillon.

Nous obtenons une légère stabilisation de l'ICP vers la fin du test (vers la 5^{ème} minute) pour les deux types de béquilles. Nos résultats rejoignent ceux de Vezirian et al. (2004) Ils obtiennent une stabilisation de fréquence cardiaque vers 5,10 minutes pour les béquilles antébrachiales, donc indirectement une stabilisation de l'ICP.

Vérification des hypothèses

Bien que les résultats ne soient pas significatifs, il semble que l'aide technique demandant le plus d'énergie lors de la marche pendulaire unilatérale à vitesse imposée ait tendance à être le déambulateur 2 roues, ceci reste tout de même à interpréter avec précaution.

Mais avec un faible échantillon et l'absence de publications, il est difficile de confronter nos résultats à ceux de la littérature pour affirmer quelle est l'aide technique demandant le plus d'énergie à la marche pendulaire unilatérale chez le sujet sain.

Au regard de la littérature, nous pouvons affirmer que l'ICP moyen des femmes est supérieur à celui des hommes tout au long des 6 minutes pour les béquilles antébrachiales. Nos résultats obtenus pour les autres aides techniques à la marche mettent évidence que l'ICP moyen des femmes est plus élevé que celui des hommes.

Nous ne pouvons pas confirmer une stabilisation de l'ICP moyen de chaque aide technique au regard des résultats obtenus sur le graphique (Figure 13). L'évolution de la courbe ne cesse de progresser dans le temps.

Limites de l'étude (Biais)

Le biais majeur de ce protocole expérimental est le faible échantillon (10 sujets). Malgré l'intérêt qu'ont porté les sujets à l'expérience, la durée du protocole pour chaque sujet est assez conséquente, environ 40 minutes. L'emploi du temps de chacun et la disponibilité de la salle ne nous a pas permis d'obtenir un échantillon plus important. Notre puissance statistique est faible. Du fait que nos valeurs ne suivent pas une loi normale, l'échantillon n'est pas représentatif de la population générale. Ce qui nous amène à un **biais de sélection**.

Nous avons été confrontés également à un **biais de mesure**. N'ayant pas de cardio-fréquence mètre avec interface, nous avons dû relever manuellement en regardant la montre la fréquence cardiaque toutes les 30 secondes. Ce recueil de données a été assez compliqué du fait du déplacement du sujet pendant l'expérience. Il se peut qu'il y ait eu un décalage entre l'affichage des 30 secondes écoulées et le relevé de la fréquence cardiaque.

Nous avons également un **biais de suivi**. L'évaluateur ainsi que les sujets ont eu connaissance de l'objectif de l'expérimentation. Il aurait été nécessaire d'avoir un examinateur extérieur. Le fait que ce soit la même personne qui recueille et analyse peut entraîner une influence, certes minime, sur les résultats.

Difficultés rencontrées

Pour la réalisation de ce mémoire de fin d'études, nous avons été confrontés à quelques difficultés.

La difficulté majeure a été le manque de temps pour la réalisation du protocole, ce qui résulte du faible échantillon obtenu. Ce manque de temps est dû à l'absence de disponibilité de chacun (stages, révisions, mémoire...) mais aussi à la durée du protocole.

Le temps d'apprentissage pour chaque aide technique nous a demandé plus de temps que prévu. Il aurait peut-être fallu faire venir les sujets un autre jour pour faire l'apprentissage.

N'ayant pas de protocole bien défini dans la littérature sur ce sujet, plusieurs essais ont été réalisés afin de déterminer le temps total nécessaire pour chaque individu.

Du point de vue de la littérature, les recherches bibliographiques se sont avérées difficiles. Il en est ressorti très peu d'études sur la comparaison de l'ICP des aides techniques chez les sujets

sains. Une difficulté s'est ajoutée lors de l'analyse des résultats, les auteurs n'ont pas imposé de vitesse. La comparaison de nos résultats à ceux obtenus dans la littérature n'est pas envisageable.

Points Fort

Le point fort de cette étude est qu'aucun des 10 sujets n'a abandonné au cours de l'expérience, nous n'avons pas de biais d'attrition. Il s'agit d'une expérience qui n'exige pas de matériel coûteux pour la réalisation. Elle peut facilement être mise en place en centre de rééducation mais également en libéral.

L'intitulé du sujet reste tout de même quelque peu innovateur au regard de la littérature actuelle.

CONCLUSION

La problématique de ce travail de fin d'études est : En quoi le type d'aide technique influence-t-il la dépense énergétique lors de la marche pendulaire unilatérale chez le sujet sain ? Le développement de l'étude a permis de répondre en partie à cette problématique, malgré la présence de quelques biais et le faible échantillon.

Ainsi ce travail a montré que le déambulateur 2 roues est l'aide technique demandant le plus d'énergie, suivi par les béquilles antébrachiales puis les béquilles axillaires. Il a également mis en évidence que chez les femmes, la contrainte cardio-respiratoire est plus importante que chez les hommes pour les trois aides techniques. Nous n'avons pas pu répondre à l'hypothèse concernant la stabilisation de l'indice du coût physiologique.

Pour répondre à cette dernière hypothèse, il serait nécessaire de mettre en place un protocole plus long et l'utilisation d'un cardio fréquence mètre avec interface. Un échantillon plus important permettrait peut-être d'obtenir un meilleur résultat sur le plan statistique.

Par rapport aux résultats obtenus, une question s'est soulevée : est-ce qu'en n'imposant pas la vitesse de marche, nous obtiendrons les mêmes résultats ?

Une piste de réflexion future pourrait être de refaire cette étude à plus grande échelle en ajoutant un groupe de sujets à vitesse non imposée. Ceci permettrait donc de répondre à la question soulevée mais aussi de pouvoir comparer les résultats obtenus à ceux de la littérature.

Il serait intéressant d'aller plus loin dans l'optique de créer un référentiel regroupant les différentes aides techniques du marché. Ce référentiel permettrait aux masseur-kinésithérapeute d'avoir une idée du coût énergétique de chaque aide technique à la marche en fonction des tranches d'âge, du type de marche... et donc de prescrire les aides techniques en fonction des capacités cardio-respiratoires du patient et non pas uniquement en fonction de leur équilibre et de leur force au niveau des membres supérieurs.

Cette étude nous a permis de développer nos capacités de recherches bibliographiques c'est-à-dire d'avoir un regard critique sur les études existantes. Cet esprit critique va nous permettre lors de la pratique de nous poser plus de questions sur l'intérêt des techniques utilisées.

Bibliographies

- © Metronome-en-ligne.com, 2014. Metronome. Available at: <http://www.metronome-en-ligne.com/complet/> [Accessed April 23, 2015].
- Ancelle, T., 2012. *Statistique épidémiologique*,
- Bailey, M.J. & Ratcliffe, C.M., 1995. Reliability of Physiological Cost Index Measurements in Walking Normal Subjects Using Steady-state, Non-steady-state and Post-exercise Heart Rate Recording. *Physiotherapy*, 81(10), pp.618–623.
- Bauer, D.M. et al., 1991. A comparative analysis of several crutch-length-estimation techniques. *Physical therapy*, 71(4), pp.294–300.
- Berthe, A., 1987. *Les ambulations et les aides de marche en traumatologie*, Paris: Masson.
- Bowen, T. et al., 1998. Variability of Energy-Consumption Measures in Children with Cerebral Palsy. *Journal of pediatric orthopaedics*, 18(6), pp.738–742.
- Bradley, S.M. & Hernandez, C.R., 2011. Geriatric assistive devices. *American family physician*, 84(4), pp.405–11.
- Butler, P. et al., 1984. Physiological cost index of walking for normal children and its use as an indicator of physical handicap. *Developmental medicine and child neurology*, 26(5), pp.607–12.
- Cetin, E. et al., 2010. Impact of different types of walking aids on the physiological energy cost during gait for elderly individuals with several pathologies and dependent on a technical aid for walking. *Annals of physical and rehabilitation medicine*, 53(6-7), pp.399–405.
- Danielsson, A., Willén, C. & Sunnerhagen, K.S., 2007. Measurement of Energy Cost by the Physiological Cost Index in Walking After Stroke. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 88(October), pp.1298–1303.
- Dounis, E. et al., 1980. A comparison of efficiency of three types of crutches using oxygen consumption. *Rheumatology and rehabilitation*, 19(4), pp.252–5.
- Dufour, M., 2007. *Anatomie de l'appareil locomoteur : membre inférieur*,
- Fredrickson, E., Ruff, R.L. & Daly, J.J., 2007. Physiological Cost Index as a proxy measure for the oxygen cost of gait in stroke patients. *Neurorehabilitation and neural repair*, 21(5), pp.429–434.
- Graham, R.C., Smith, N.M. & White, C.M., 2005. The reliability and validity of the physiological cost index in healthy subjects while walking on 2 different tracks. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 86(10), pp.2041–6.
- Hagberg, K. et al., 2011. Reproducibility of the Physiological Cost Index among Individuals with a Lower-Limb Amputation and Healthy Adults. *Physiotherapy Research International*, 16(2), pp.92–100.

- Holder, C.G., Haskvitz, E.M. & Weltman, A., 1993. The effects of assistive devices on the oxygen cost, cardiovascular stress, and perception of nonweight-bearing ambulation. *The Journal of orthopaedic and sports physical therapy*, 18(4), pp.537–42.
- Van Hook, F.W., Demonbreun, D. & Weiss, B.D., 2003. Ambulatory devices for chronic gait disorders in the elderly. *American family physician*, 67(8), pp.1717–24.
- Ijzerman, M.J. et al., 1999. Validity and reproducibility of crutch force and heart rate measurements to assess energy expenditure of paraplegic gait. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 80(9), pp.1017–23.
- Ijzerman, M.J. & Nene, A. V, 2002. Feasibility of the physiological cost index as an outcome measure for the assessment of energy expenditure during walking. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 83(12), pp.1777–82.
- Jaiyesimi, A.O. & Fashakin, O.G., 2007. Reliability of physiological cost index measurements. *African journal of medicine and medical sciences*, 36(3), pp.229–34.
- Kumar, R., Roe, M.C. & Scremin, O.U., 1995. Methods for estimating the proper length of a cane. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 76(12), pp.1173–1175.
- Lacôte, M. et al., 2008. *Evaluation clinique de la fonction musculaire*,
- Laporte, C. et al., 2014. The Effect of Lower Leg Casting on Energy Cost During Independent Ambulation : Considerations for Clinical Practice. *The Internet journal of allied health sciences and practice*, 12(1), pp.1–6.
- Lardry, J.-M., 1978. La canne anglaise. *kinésithérapie scientifique*, 159, pp.19–26.
- LEE, R.Y.W., 1987. Energy Expenditure of Three-Point Non weight Bearing Walking with Axillary Crutches and Elbow Crutches. *Hong Kong physiotherapy journal*, 9, pp.29–37.
- Love, C., 2001. Using assisted walking devices. *Journal of Orthopaedic Nursing*, 5(1), pp.45–53.
- MacGregor, J., 1981. The evaluation of patient performance using long-term ambulatory monitoring technique in the domiciliary environment. *Physiotherapy*, 67(2), pp.30–3.
- Makino, K. et al., 2005. Speed and physiological cost index of hemiplegic patients pedalling a wheelchair with both legs. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 37(2), pp.83–86.
- Mossberg, K.A., Linton, K.A. & Friske, K., 1990. Ankle-foot orthoses: effect on energy expenditure of gait in spastic diplegic children. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 71(7), pp.490–4.
- Mougenot, M. & Petidant, B., 2010. Réglage des cannes anglaises pour la marche pendulaire unilatérale - EM|consulte. *kinésithérapie, la revue*, 10(98), pp.35–41.
- Nene, A., 1993. Physiological cost index of walking in able-bodied adolescents and adults. *Clinical Rehabilitation*, 7(4), pp.319–326.

- Quatremere, J. & Gouilly, P., 2003. Coude et cannes anglaises - Entretiens de Bichat - Journées de médecine orthopédique et de rééducation. *expansion scientifique française*, p.13.
- Sengler, J., Perrin, S. & Fermeaux, M.-C., 1999. Aides à la locomotion. *Encyclopédie Médico-Chirurgicale*, p.14.
- Tuffier, 1915. Cannes et béquilles en orthopédie dynamique. Modèle scientifique d'une canne-soutien. *Comptes-rendus hebdomadaires des séances*, 161, pp.302–304.
- Vermeersch, B. et al., 1996. Evaluation de la dépense énergétique de l'ambulation pendulaire unilatérale avec cannes antibrachiales. *Annales Kinésithérapies*, 23(6), pp.290–295.
- Vezirian, T. et al., 2001. Calcul de l'indice de coût physiologique (ICP) au cours d'une épreuve de marche. *Annales Kinésithérapies*, 28(86571), pp.162–165.
- Vezirian, T. et al., 2004. Évolution de l'indice du coût physiologique (icp), du VO₂ et de la fréquence cardiaque au cours d'une épreuve de marche et de béquillage unipodal. *KINESITHERAPIE, les Annales*, 32-33, pp.15–36.
- Viel, É., 2000. *La Marche humaine, la course et le saut: biomécanique, explorations, normes et dysfonctionnements*, Elsevier Masson.
- Voisin, P. et al., 2001. Mesure par la détermination de l'indice de coût physiologique (ICP) de l'adaptation cardiaque au cours du béquillage en appui unipodal. *kinésithérapie scientifique*, 408(59), pp.25–29.
- Waters, R.L., Campbell, J. & Perry, J., 1987. Energy Cost of Three-Point Crutch Ambulation in Fracture Patients. *Journal of Orthopaedic Trauma*, 1(2), pp.170–173.
- Waters, R.L. & Mulroy, S., 1999. The energy expenditure of normal and pathologic gait. *Gait & posture*, 9(3), pp.207–31.
- Westerman, R.W. et al., 2008. The physiological cost of restricted weight bearing. *Injury*, 39(7), pp.725–7.

Annexes

ANNEXE 1 : Relation linéaire entre la fréquence cardiaque et le volume d'oxygène

ANNEXE 2 : Béquilles canadiennes

ANNEXE 3 : Métronome

ANNEXE 4/5/6 : Fiches de lecture

ANNEXE 1 : Relation linéaire entre la fréquence cardiaque et le volume d'oxygène
(Viel 2000)

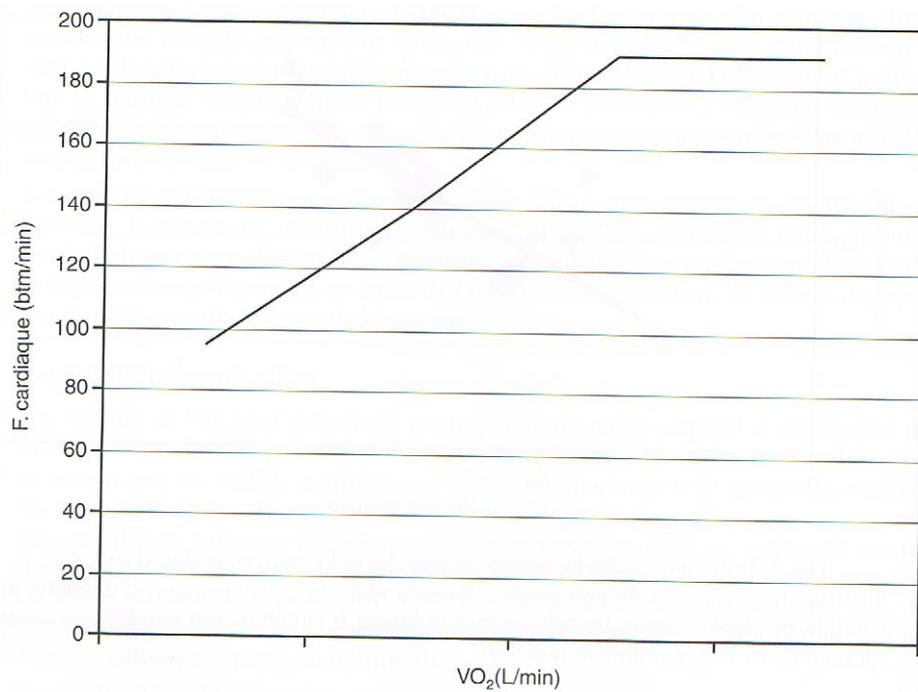


Fig. 7.2. Relation entre la VO₂ et la fréquence cardiaque.

ANNEXE 2 : Béquilles canadiennes (Dounis et al. 1980)



(c) The Canadian crutch

The screenshot shows the 'Métro complet' interface on the website. At the top, there is a navigation bar with links: Accueil, Simple, Complet (highlighted), Vidéos, Aidez Metronome-en-ligne, and Contact. The main title is 'Métro complet'. The interface is divided into several sections:

- Tempo (BPM):** A large digital display shows '045'. To its left is a 'TAP TEMPO' button. To its right are up/down arrows and the text 'Largo' and 'Délai : 1333,33 ms'.
- Chronomètre:** A digital display shows '00:06'. Below it is a 'Volume' bar with 6 levels.
- Mesures:** A digital display shows '003'. To its left is a 'Décompte' section with a '0' and 'mesures' label.
- Temps:** A digital display shows '02'. To its right is a '2' and 'temps par mesure' label, and a checked box for 'Accentuer le 1er temps'.
- Automation du tempo:** A checkbox is currently unchecked. Below it are controls for 'Tempo initial' (100 BPM), 'Paliers' (2 BPM), 'Tempo final' (120 BPM), and 'Durée' (4 mesures).
- Sound Selection:** A vertical list of icons and labels: Electronique, Mécanique, Horloge, Conga, Woodblock, and Shaker.
- Start:** A large green circular button labeled 'START'.
- Flags:** French and British flags are visible at the bottom right.

At the bottom of the interface, it says: 'Ce métronome vous est proposé par www.InstinctGuitare.com'.

Métro complet

Ce métronome comporte des fonctions avancées qui ne sont pas disponibles dans le métronome simple :

- Un compteur de mesures.
- Un chronomètre.
- Un choix de la division du temps.
- 6 sonorités.

ANNEXE 4 : Fiche de lecture n°1

Référence	<p>Veziarian, T. et al., 2004. Évolution de l'indice du coût physiologique (icp), du VO 2 et de la fréquence cardiaque au cours d'une épreuve de marche et de béquillage unipodal. <i>KINESITHERAPIE, les annales</i>, 32-33, pp.15-36.</p>																			
Localisation	EM consulte																			
Information sur le/les auteur(s)	<p>Veziarian, T. ; Leleu, B. : kinésithérapeute, enseignant à l'Institut de Formation en Masso-Kinésithérapie du Nord de la France, Faculté de médecine H. Warembourg, 59045 Lille cedex</p> <p>Voisin, P. : enseignant à l'Institut de Formation en Masso-Kinésithérapie du Nord de la France, Faculté de médecine H. Warembourg, 59045 Lille cedex et C.R.F. L'Espoir, 25 Pavé du Moulin, 59260 Lille Hellemmes.</p>																			
Sujet traité	<p>Domaine cardio-respiratoire</p> <p>A travers une étude préliminaire : mettre en évidence le niveau de reproductibilité des paramètres cinématique lors de la marche et du béquillage unipodal dans une population de sujets sains entre deux épreuves espacée de 24 heures</p> <p>A travers l'étude principale : déterminer la durée minimale pour obtenir une stabilisation des paramètres cardio-respiratoire et mettre en corrélation l'indice du cout physiologique et le volume d'oxygène au cours de la marche et du béquillage unipodal.</p>																			
Mots-clés	<ul style="list-style-type: none"> • Test de marche • Test de béquillage • Coût énergétique • Indice du coût physiologique 																			
Résumé sélectif	<p>Méthode : Un test de 6 minutes est répété avec une marche bipodale sans aide technique et un béquillage unipodal avec des cannes anglaises à vitesse libre. Ils ont relevé certains paramètres comme la vitesse, la consommation d'oxygène, la fréquence cardiaque de repos et pendant l'effort. Cette dernière va permettre de calculer l'indice du coût physiologique au cours de la marche et du béquillage chez une population de 10 sujets masculins (moyenne d'âge : 20 ± 1 ans). Les auteurs ont montré la reproductibilité de ces paramètres par une étude préliminaire chez 15 hommes ($20 \pm 1,4$ ans) sur une distance de 120 mètres. Cette étude comporte deux épreuves avec un temps de repos de 24 heures.</p> <p>Que ce soit pour la pré-étude ou l'étude principale, les sujets ont une jambe immobilisée par une attelle cruro-jambière.</p> <p>Résultats : Pour l'étude préliminaire, ils obtiennent les résultats suivant :</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="2">EPREUVE 1</th> <th colspan="2">EPREUVE 2</th> </tr> <tr> <th>Marche</th> <th>Béquillage</th> <th>Marche</th> <th>Béquillage</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Durée (s)</td> <td>106 ± 13</td> <td>132 ± 31</td> <td>102 ± 12</td> <td>132 ± 35</td> </tr> <tr> <td>Vitesse m/s</td> <td>$1,15 \pm 0,14$</td> <td>$0,95 \pm 0,22$</td> <td>$1,19 \pm 0,14$</td> <td>$0,96 \pm 0,25$</td> </tr> </tbody> </table> <p>Pour l'étude centrale, les résultats obtenus sont un indice du coût physiologique moyen de $1,51 \pm 0,23$ batt/m pour une durée de 6 minutes pour le béquillage unipodal à une vitesse moyenne de 0,81 m/s</p> <p>Discussion : les résultats de l'étude préliminaire montrent qu'il n'y a pas de différences significatives entre les deux épreuves. Le niveau de reproductibilité de l'étude est bon. Les résultats de l'étude centrale, montrent que lors du béquillage, l'indice du coût physiologique se stabilise légèrement vers la cinquième minute. Au bout des 6 minutes de test, l'indice du coût physiologique est de $1,79 \pm 0,49$ battement/minutes.</p>		EPREUVE 1		EPREUVE 2		Marche	Béquillage	Marche	Béquillage	Durée (s)	106 ± 13	132 ± 31	102 ± 12	132 ± 35	Vitesse m/s	$1,15 \pm 0,14$	$0,95 \pm 0,22$	$1,19 \pm 0,14$	$0,96 \pm 0,25$
	EPREUVE 1		EPREUVE 2																	
	Marche	Béquillage	Marche	Béquillage																
Durée (s)	106 ± 13	132 ± 31	102 ± 12	132 ± 35																
Vitesse m/s	$1,15 \pm 0,14$	$0,95 \pm 0,22$	$1,19 \pm 0,14$	$0,96 \pm 0,25$																

	<p>Conclusion le béquillage demande une énergie importante sur le plan cardio-respiratoire. L'indice du coût physiologique est un outil de mesure fiable pour mettre en évidence l'état du patient.</p>
Pistes de lectures complémentaires	<p>Nene, A., 1993. Physiological cost index of walking in able-bodied adolescents and adults. <i>Clinical Rehabilitation</i>, 7(4), pp.319–326.</p> <p>MacGregor, J., 1981. The evaluation of patient performance using long-term ambulatory monitoring technique in the domiciliary environment. <i>Physiotherapy</i>, 67(2), pp.30–3.</p>
Commentaire	<p>Cet article est réalisé sur un faible échantillon (10 sujet / 15 sujets). Les sujets sont de sexe masculin ce qui met en évidence uniquement l'indice du coût physiologique chez les hommes. De plus, les auteurs laissent au patient le choix de l'immobilisation de la jambe. Ces données n'ont pas été reportées.</p>

ANNEXE 5 : Fiche de lecture n°2

Référence	Voisin, P. et al., 2001. Mesure par la détermination de l'indice de coût physiologique (ICP) de l'adaptation cardiaque au cours du béquillage en appui unipodal. <i>kinésithérapie scientifique</i> , 408(59), pp.25–29.															
Localisation	Kinésithérapie scientifique, centre de documentation de l'IFMK de Rennes															
Information sur le/les auteur(s)	Voisin, P. : enseignant à l'Institut de Formation en Masso-Kinésithérapie du Nord de la France, Faculté de médecine H. Warembourg, 59045 Lille cedex et C.R.F. L'Espoir, 25 Pavé du Moulin, 59260 Lille Hellemmes Vezirian, T. : kinésithérapeute, enseignant à l'Institut de Formation en Masso-Kinésithérapie du Nord de la France, Faculté de médecine H. Warembourg, 59045 Lille cedex															
Sujet traité	Domaine cardio-respiratoire. L'objectif est de déterminer l'ICP moyen à la marche et au béquillage unipodal avec des béquilles anglaises.															
Mots-clés	<ul style="list-style-type: none"> • Adaptation cardiaque • Béquillage • Indice de coût physiologique 															
Résumé sélectif	<p>Méthode : Un test d'une distance 120 mètres est répété avec une marche bipodale sans aide technique et un béquillage unipodal avec des cannes anglaises à vitesse libre chez une population de 67 de étudiants en kinésithérapie (32 hommes : âge moyen de $22,2 \pm 2$ ans et 35 femmes : âge moyen de $22,2 \pm 2$ ans). La fréquence cardiaque est relevée tous les 30 mètres à l'aide d'un cardio fréquence mètre avec interface. Les étudiants ont la jambe gauche immobilisée par une attelle cruro-jambière. La chronologie du protocole est la suivante : apprentissage du béquillage sur une vingtaine de mètre, repos de 10 minutes en décubitus, un repos de 5 minutes en position assise, une marche sur 120 mètre, un repos de 5 minutes, béquillage sur 120 mètres puis un repos de 5 minutes en position assise.</p> <p>Résultats : (ICP en batt/m)</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th></th> <th>ICP 30 mètres</th> <th>ICP 60 mètres</th> <th>ICP 90 mètres</th> <th>ICP 120 mètres</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Femmes</td> <td>$0,82 \pm 0,33$</td> <td>$0,98 \pm 0,35$</td> <td>$1,07 \pm 0,35$</td> <td>$1,11 \pm 0,36$</td> </tr> <tr> <td>Hommes</td> <td>$1,18 \pm 0,31$</td> <td>$1,38 \pm 0,35$</td> <td>$1,55 \pm 0,37$</td> <td>$1,61 \pm 0,41$</td> </tr> </tbody> </table> <p>Discussion : les résultats montrent que l'ICP moyen chez les femmes est supérieur à 1 batt/min et est supérieur à celui des hommes. La comparaison par paires montre qu'il y a bien une différence significative au cours du temps.</p> <p>Conclusion : l'ICP montre le caractère coûteux du béquillage unipodal.</p>		ICP 30 mètres	ICP 60 mètres	ICP 90 mètres	ICP 120 mètres	Femmes	$0,82 \pm 0,33$	$0,98 \pm 0,35$	$1,07 \pm 0,35$	$1,11 \pm 0,36$	Hommes	$1,18 \pm 0,31$	$1,38 \pm 0,35$	$1,55 \pm 0,37$	$1,61 \pm 0,41$
	ICP 30 mètres	ICP 60 mètres	ICP 90 mètres	ICP 120 mètres												
Femmes	$0,82 \pm 0,33$	$0,98 \pm 0,35$	$1,07 \pm 0,35$	$1,11 \pm 0,36$												
Hommes	$1,18 \pm 0,31$	$1,38 \pm 0,35$	$1,55 \pm 0,37$	$1,61 \pm 0,41$												
Pistes de lectures complémentaires	Bailey, M.J. & Ratcliffe, C.M., 1995. Reliability of Physiological Cost Index Measurements in Walking Normal Subjects Using Steady-state, Non-steady-state and Post-exercise Heart Rate Recording. <i>Physiotherapy</i> , 81(10), pp.618–623.															
Commentaire	L'échantillon choisi est assez conséquent mais il reste dans la tranche d'âge des adultes jeunes. Chez ces derniers, le système cardio-respiratoire peut plus facilement s'adapter à la contrainte imposée lors du béquillage. Il serait judicieux de faire le même protocole mais avec des tranches d'âge différentes.															

ANNEXE 6 : Fiche de lecture n°3

Référence	Westerman, R.W. et al., 2008. The physiological cost of restricted weight bearing. <i>Injury</i> , 39(7), pp.725–7.
Localisation	Science direct, pubmed
Information sur le/les auteurs	R.W. Westerman : Selly Oak Hospital, University Hospital Birmingham NHS Foundation Trust, Birmingham, United Kingdom
Sujet traité	Adaptation cardio-respiratoire L'objectif est montré si oui ou non la variation du poids augmente le coût physiologique.
Mots-clés	<ul style="list-style-type: none"> • Poids • Réadaptation • Coût physiologique • Indice du coût physiologique
Résumé sélectif	<p>Méthode : Mesure de l'indice du coût Physiologique (ICP) pour 11 volontaires (24-47 ans) sains effectuant trois types de marche sur 100 m dans un laboratoire de physiologie : la marche normale ; sans poids sur une jambe et avec une décharge partielle. Ces deux derniers ont été exécutés utilisant un déambulateur. La décharge partielle est définie comme un appui contact de moins de 100 Newton.</p> <p>Résultats : La marche en appui unipodal (moyenne de 1,6 batt/m) et la marche avec appui contact de moins de 100 Newton (2 batt/m) ont montré un ICP significativement plus important que la marche normale (0,3 batt/m).</p> <p>Conclusion : La marche en appui unipodal augmente significativement les dépenses énergétiques et donc l'ICP. La décharge partielle du membre inférieur peut être considérée comme plus tolérable que la marche en appui unipodal. L'ICP n'a pas mis de différence significative entre les deux.</p>
Pistes de lectures complémentaires	Même que les précédentes fiches
Commentaire	Dans cet article, il n'y a pas de tableau qui récapitule les données principales recueillies au cours des 100 mètres. Dans l'article, nous disposons uniquement d'un graphique. Le nombre de relevée de la fréquence cardiaque n'est pas indiqué par l'auteur. Nous ne savons pas à quelle vitesse les sujets marchent.