



Journal Homepage: - www.journalijar.com

INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED RESEARCH (IJAR)

Article DOI: 10.21474/IJAR01/18907

DOI URL: <http://dx.doi.org/10.21474/IJAR01/18907>



RESEARCH ARTICLE

EVALUATION DES VARIABLES MECANIQUES LORS DE LA LOCOMOTION SUR TRICYCLES DES PARAPLEGIQUES

M.N. Beye and D. Diouf

Laboratoire STAPSJL/ INSEPS/ Université Cheikh Anta Diop de Dakar.

Manuscript Info

Manuscript History

Received: 16 April 2024

Final Accepted: 21 May 2024

Published: June 2024

Key words:-

Mechanical Variables, Locomotion, Pedal Tricycle, Pendulum Tricycle and Paraplegic

Abstract

The aim of this study was to quantify the average mechanical variables when moving paraplegics on two types of tricycles. The latter are means of transport that have been made at the national center for orthopedic equipment in Senegal to improve or preserve the autonomy of paraplegics. However, to our knowledge, no scientific study has been conducted to assess the mechanical parameters of these devices.

Methods: Twenty male paraplegics participated in the study. The subjects had traveled a distance of 4800 meters with the outrigger and pedal tricycles. On arrival, the level of arduous effort, the mechanical variables of locomotion on a tricycle were determined.

Results: The results showed that seventy-five percent (75%) of the subjects, i.e. 15/20, perceived the tricycle locomotion exercise as easy. Regarding the average speed respectively on the pedal tricycle and on the pendulum tricycle, it was 2.03 m/s and 1.86 m/s. The average power developed was 54.15 W and 50.15 W on the pedal tricycle and on the pendulum tricycle respectively. The mechanical work provided was 139.68 KJ and 138.67 KJ respectively on the pedal tricycle and on the pendulum tricycle. The average energy expenditure on the pendulum tricycle was 879.89 KJ and that on the pedal tricycle was 801.51 KJ. The average locomotion efficiency on the pedal tricycle was 19.87% and 16.62% on the pendulum tricycle.

Copy Right, IJAR, 2024.. All rights reserved.

Introduction:-

Les contraintes liées à la locomotion sur fauteuil roulant ou chaise roulante sont étudiées par Arnet et al. (2012) ; Dallmeijer et al. (2004) et par Van Der Woude et al. (2001) dans le but de préserver l'autonomie des sujets en situation de handicap moteur. Ce sont les contractions musculaires qui se traduisent en travail mécanique permettant le déplacement du sujet sur fauteuil roulant. Une locomotion très pénible due à un inconfort mécanique entrainerait un épuisement cardio-vasculaire et des lésions musculo-tendineuses (Drongelen et al., 2006 ; Samuelsson et al., 2004).

Une appréciation des variables mécaniques des tricycles est nécessaire lors du déplacement des paraplégiques du Sénégal. Cela aiderait à une amélioration de la conception de ces derniers et au bien-être de leur utilisateur. Le rapport entre la quantité de travail fourni et la quantité d'énergie dépensée permet de déterminer l'efficacité ou le rendement d'une activité physique. Ces appareils devraient avoir un bon rendement qui se manifeste par une dépense énergétique moindre lors du déplacement des sujets (Lindberg, 2012).

Corresponding Author:- Mame Ngone Beye

Address:- Dakar, Médina Rue 11, Stade Iba Mar Diop, INSEPS BP 3256.

Après une analyse de tous ces éléments il est d'une impérative nécessité d'avoir les données mécaniques sur les tricycles produits localement au Centre National d'Appareillage Orthopédique (CNAO) du Sénégal. Cependant à notre connaissance aucune étude scientifique n'a été faite dans ce sens pour apprécier ces variables. C'est dans ce cadre que s'inscrit cette présente étude dont l'objectif général est d'évaluer le niveau de confort, la puissance moyenne, le travail moyen, la dépense énergétique et le rendement mécanique lors de la locomotion des paraplégiques sur tricycles du CNAO.

Matériel et Méthodes:-

Matériel:-

Vingt (20) hommes paraplégiques, âgés de 20 à 40 ans, ne pratiquant aucune activité sportive, n'étant sous aucun traitement médical, capables d'utiliser avec les membres supérieurs un tricycle à pédalage simultané et un tricycle à pédalage alterné, ayant donné leur consentement après une explication détaillée du protocole, ont participé à l'étude.

Une échelle de Borg a permis de recueillir la réponse des sujets face à la pénibilité à l'effort.

Tableau I:- Echelle de BORG.

BORG 1 – 10 Modifié	% FC Maximale	Perception	Activité
0		Repos	Repos
1	50 – 60%	Très très facile	Marche Léger jogging
2	60 – 70%	Facile Modéré	
3			Jogging
4	70 – 80%	Un peu dur	
5			Seuil
6	80 – 90%	Dur	
7			Intervalle
8	90 – 95%	Très dur	
9		Très très dur	
10	95 – 100%	Maximal	

Les appareils ci-dessous ont été utilisés lors de l'expérimentation :

1. un pèse personne (Yamato, Chine) a servi à déterminer la masse des sujets au début de l'expérimentation (figure 1) ;
2. un Global Positioning System (GPS), ou Géo positionnement par Satellite (Global Sat DG-100, France) a permis d'obtenir la distance parcourue, le temps mis et la vitesse moyenne de déplacement. Le GPS (figure 2) était porté au cou du sujet et mis en marche du début à la fin de chaque activité ;
3. deux tricycles du CNAO, l'un à pédalier (figure 3A) et l'autre à balancier (figure 3B) ont servi pour l'exercice de locomotion des paraplégiques de cette expérimentation ;

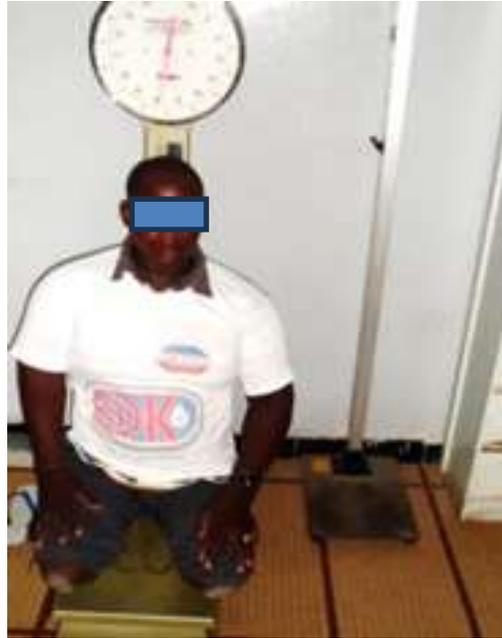


Figure 1:- Sujet sur le pèse personne.



Figure 2:- Global Positioning System (GPS).



Figure 3:- Tricycles à pédalier (A)



Tricycle à balancier (B)

Tableau II:- Caractéristiques des tricycles du CNAO:

Tricycle	Tricycle à pédalier du CNAO	Tricycle à balancier du CNAO
Caractéristiques		
Matériaux	Acier	Acier
Tubes	Ronde	Ronde
Roues	Moto	Moto
Diamètre roue avant	500 mm	500 mm
Diamètre roue arrière	600 mm	600 mm
Diamètre moyeu de roue avant	43 mm	52 mm
Diamètre moyeu de roue arrière	52 mm	52 mm
Transmission	Roulement à billes	Roulement à billes
Coefficient de frottement	0,001	0,001
Coefficient de roulement	0,03	0,03

Méthodes:-**Les conditions expérimentales**

Les sujets n'avaient pas consommé de cigarette, d'alcool, de cola et de café les trois (3) heures précédant le début de chaque activité. Seule la prise de l'eau était autorisée avant et même au moment des tests de locomotion sur tricycle.

Méthodologie du test:-

Chaque sujet a d'abord effectué le trajet de 4800 mètres « Stade Iba Mar Diop-rond-point Université Cheikh Anta Diop » sur l'un des tricycles. A l'arrivée le niveau de confort était apprécié par la pénibilité à l'effort, la puissance mécanique développée, le travail fourni, la dépense énergétique et le rendement mécanique ont été calculés.

Après quarante-huit (48) heures de récupération le sujet a refait le même trajet en utilisant l'autre type de tricycle et les mêmes variables ont été recueillies.

Calcul de la puissance mécanique développée sur tricycle

La puissance (P) développée en watt par le sujet lors du déplacement de son tricycle a été calculée à partir des moments de couples résistants (Mr.). Elle est égale à la somme (Σ) des trois puissances développées sur ces trois roues. Chacune d'elle est le produit de la somme des moments de couple résistant par la vitesse angulaire (ω) en radian/mètre.

$$P = \Sigma Mr. \omega$$

$$\text{Or } \omega = V / R$$

$$P = \Sigma Mr. V / R$$

V est la vitesse linéaire en mètre par seconde, R est le rayon de la roue en mètre.

Pour qu'une roue puisse avancer, elle doit vaincre toutes les forces qui lui empêchent de tourner :

- la résistance aérodynamique et la résistance due à l'inertie de rotation des roues ont été négligeables dans cette étude puisque que les vitesses étaient faibles ;
- la résistance à la pente a été négligeable, le terrain est plat ;
- les Forces appliquées dans ce cas étaient celles de résistance à l'avancée de la roue. Elles étaient constituées par deux types de couples résistants :
 - le couple résistant dans chacun des paliers des trois roues du tricycle. Le moment du couple résistant dans le palier est appelé le moment résistant au frottement (Mr. f) ;
 - le couple résistant au niveau de contact entre la roue du tricycle et le sol. Le moment de ce couple est le moment résistant au roulement (Mr. r), il est égal à la force de résistance au roulement en Newton (N) multipliée par le rayon de la roue en mètre (m) donc il s'exprime en N.m.

Calcul du travail mécanique produit sur tricycle

La quantité de travail moyen produite par chaque sujet durant la locomotion sur tricycle est égale au produit de la puissance moyenne développée par le temps mis.

Quantités d'énergies dépensées pour le déplacement sur tricycles

Elles étaient recueillies directement par le cardiofréquencemètre. Les valeurs trouvées en kilocalories étaient converties d'abord en Kilojoules (KJ) ensuite exprimées en consommation d'oxygène (VO₂). Selon l'équivalence, un litre d'oxygène correspond à vingt kilojoules (1L O₂ = 20 KJ), d'après (Monod et al., 2007).

Rendement mécanique

Le rendement moyen était égal au travail mécanique sur la dépense énergétique. C'est un nombre sans dimension.

Analyse statistique des données

Les données obtenues ont été traitées à l'aide du tableur Excel de Microsoft Office 2007 pour les différents calculs (moyenne, écartype).

Le logiciel R version 3.4.1 a été utilisé pour l'analyse statistique des données. Les tests de comparaison de Wilcoxon ont été utilisés. Le seuil de significativité est de 0,05.

Resultats:-

D'après l'interrogation 75% de nos sujets avaient perçu l'exercice de locomotion facile (figure 4) d'après l'échelle de Borg. Tous les sujets avaient signalé que les roues des tricycles étaient lourdes et suggéraient ainsi l'utilisation de celles de vélos.

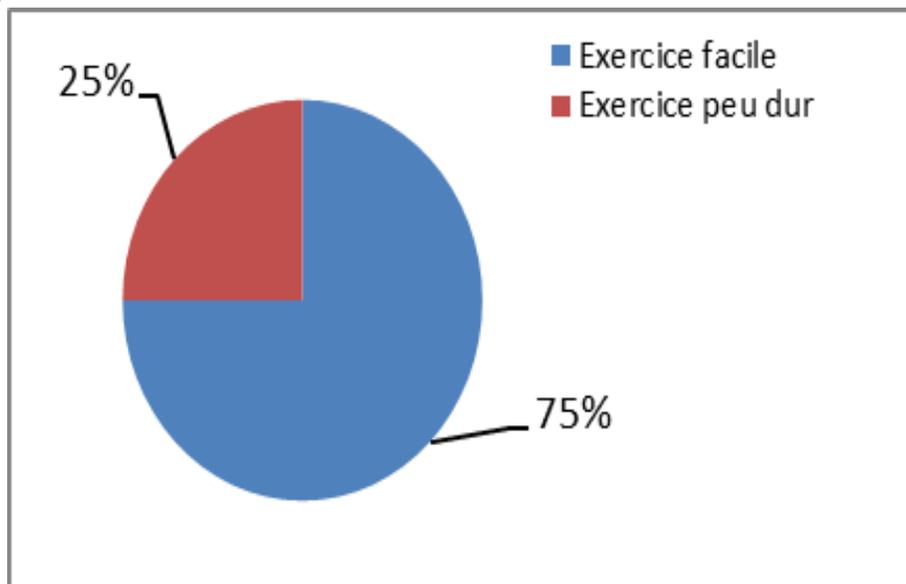


Figure 4:- Appréciation de la pénibilité à l'effort.

Tableau III:- Comparaison des variables biomécaniques de la locomotion sur les deux types tricycles.

Paramètres	Pédalier	Balancier	P- value
Vitesse moyenne (m. s ⁻¹)	2, 03 ± 0, 63	1, 85 ± 0, 57	0, 001
Puissance moyenne (W)	54, 15 ± 7, 89	50, 47 ± 10, 12	0, 381
Travail moyen (KJ)	139, 68 ± 17, 54	138, 67 ± 17, 95	0, 603
Dépense énergétique (KJ)	801, 52 ± 291, 09	879, 9 ± 200, 28	0, 406
Rendement mécanique en %	19, 87 ± 9, 06	16, 62 ± 5, 62	0, 364

La vitesse moyenne a été significativement plus élevée avec le tricycle à pédalier (2,03 ± 0,63 m/s) comparée à celle avec le tricycle à balancier (1,86 ± 0,57m/s) (p = 0,001).

Concernant la puissance, les valeurs moyennes développées étaient de 54,15 ± 7,89 W et 50,15 ± 10,12 W sur le tricycle à pédalier et sur celui à balancier respectivement. Il n'a pas été noté de différence statistiquement significative de la puissance entre les deux types de tricycles (p= 0, 381).

Le travail mécanique fourni était de $139,68 \pm 17,54$ KJ et de $138,67 \pm 17,95$ KJ respectivement sur le tricycle à pédalier et sur le tricycle à balancier. Ces valeurs ne sont pas différentes statistiquement ($p=0,60$).

La dépense énergétique sa valeur moyenne pour le balancier ($879,89 \pm 20,27$ KJ) était inférieure à celle pour le pédalier ($801,51 \pm 291,09$ KJ) sans différence de moyenne n'est pas statistiquement significative ($p=0,406$).

Le rendement moyen de la locomotion sur le tricycle à pédalier ($19,87 \pm 9,06$ %) est comparable à celui sur le balancier ($16,62 \pm 5,62$ % ; $p=0,364$).

Discussion:-

La vitesse moyenne sur le tricycle à pédalier ($2,03 \pm 0,63$ m. s⁻¹) était supérieure à celle sur le balancier ($1,85 \pm 0,57$ m. s⁻¹). Cela pourrait être expliqué par le fait que la locomotion sur le tricycle à balancier nécessite une bonne traction suivie d'une poussée avec les deux membres supérieurs. Ainsi le sujet mettra beaucoup plus de temps pour effectuer une propulsion. Nos résultats sont en accord avec ceux de Khélia et al. (2005) qui avaient comparé expérimentalement deux modes de propulsion sur fauteuils roulants, l'un rigide et l'autre facilité par un système de transmission semi souple. Ils avaient trouvé à couple identique, une vitesse significativement plus importante ($p < 0,001$) avec la liaison semi souple ($0,46$ km/h $\pm 0,09$) comparée à celle rigide ($0,41$ km/h $\pm 0,08$).

Concernant la puissance moyenne sur le tricycle à pédalier ($54,15 \pm 7,89$ W), elle était supérieure en valeur absolue à celle développée lors de la locomotion sur le balancier ($50,47 \pm 10,12$ W). Nos résultats sont dans les intervalles de puissances mécaniques externes ($48,2$ W et $92,2$ W) trouvées par Veeger et al. (1991) chez des sujets en fauteuils roulants. Toutefois nos valeurs sont inférieures à celles trouvées par Faupin (2005) chez des paraplégiques sur *handbikes* à propulsion simultanée ($77,6 \pm 22,1$ W) et à propulsion non simultanée ($71,7 \pm 18,1$ W). De plus, Faupin n'a trouvé aucune différence significative entre ces deux valeurs. Il faut noter aussi que leurs sujets avaient effectué des sprints d'une minute avec des temps de récupération de cinq minutes. La détermination des puissances moyennes des activités des paraplégiques sur leur moyen de déplacement permettrait d'améliorer l'ergonomie et de diminuer les contraintes liées à la propulsion des fauteuils roulants manuels (Sauret, 2010).

La dépense énergétique moyenne était plus importante en valeur absolue sur le tricycle à balancier ($879,9 \pm 200,28$ KJ) comparée à celle sur le tricycle à pédalier ($801,5 \pm 291,09$ KJ). Cependant cette différence de moyennes n'était pas statistiquement significative ($p = 0,406$). Elle a été égale à $13,94 \pm 3,89$ mL O₂ kg⁻¹ mn⁻¹ sur le tricycle à pédalier et égale à $14,73 \pm 4,90$ mL O₂ kg⁻¹ mn⁻¹ sur le tricycle à balancier. Nos valeurs sont inférieures à celles ($21,23 \pm 4,7$ mL O₂ kg⁻¹ mn⁻¹) trouvées par Lovell (2012) et celles ($27,3 \pm 3,2$ mL O₂ kg⁻¹ mn⁻¹) et ($27,4 \pm 3,8$ mL O₂ kg⁻¹ mn⁻¹) de Tørhaug (2016) enregistrées chez des paraplégiques non sportifs lors de tests de VO₂ max sur ergocycle à bras et sur ergomètre à fauteuil roulant. Cette différence de VO₂ pourrait être liée à une sollicitation moins intense du système des échanges gazeux respiratoires de nos sujets témoignant de l'état submaximal de nos tests. Ceci est confirmé par les réponses formulées par les sujets sur la pénibilité de l'effort car soixante-quinze pour cents (75%) d'entre eux l'avaient jugé facile.

Le travail mécanique moyen fourni sur le tricycle à pédalier ($139,68 \pm 17,54$ KJ) n'était statistiquement pas différent de celui ($138,67 \pm 17,95$ KJ) sur le tricycle à balancier ($p=0,60$). Ceci est en concordance avec les résultats trouvés sur la dépense énergétique.

Le rendement moyen sur le tricycle à pédalier ($19,87 \pm 9,06$ %) était supérieur en valeur absolue à celui sur le tricycle à balancier ($16,62 \pm 5,62$ %). Nos valeurs sont supérieures à celles ($10,2 \pm 1,1$ et $11,1 \pm 1,78$ %) de Van der Woude *et al.* (1997). Ces derniers avaient proposé un test sous maximal à ces sujets comme les nôtres sur tricycle à propulsion par levier. Toutefois, ces sujets n'étaient pas habitués au tricycle, ce qui pourrait expliquer leur faible rendement. Les rendements obtenus lors de la propulsion sur tricycles chez nos paraplégiques sont satisfaisants.

Conclusion:-

Il ressort de cette étude que le niveau de confort de la locomotion sur ces deux types de tricycles est satisfaisant selon les sujets qui l'ont jugé moins contraignante que la propulsion sur les mains courantes. En outre le tricycle à pédalier est plus rapide que celui à balancier. Concernant la puissance développée, le travail fourni, la dépense énergétique et le rendement obtenu, aucune différence significative de moyenne n'a été notée entre les deux

tricycles. Cependant la vitesse moyenne de déplacement de notre échantillon sur le tricycle à pédalier est significativement plus élevée que celle sur le tricycle à balancier.

Selon les paraplégiques la qualité des roues devrait être améliorée. Ils suggèrent de les remplacer par des roues de vélo plus légères. De plus ils préconisent la mise en place de boîte à vitesse pour le tricycle à balancier.

Tous ces facteurs font l'originalité de cette étude première sur les tricycles du CNAO du Sénégal qui devraient être adaptés à la population locale. Ce document servira de référence scientifique pour le fabricant et l'utilisateur. Il apporte une modeste contribution à la biomécanique de la propulsion sur tricycle. Les moyens d'évaluation non invasifs, simples d'utilisation, peu coûteux développés dans cette étude, présentent beaucoup d'avantages. L'utilisation de ces tricycles permettrait aux paraplégiques de vaquer à leurs activités quotidiennes tout en se maintenant en bonne condition physique.

En perspective, nous pensons dans l'avenir avoir à notre disposition du matériel nécessaire pour une étude ultérieure de la :

1. Cinématique de la propulsion par un goniomètre électromagnétique ;
2. Dynamique de la propulsion avec un ergomètre à rouleaux.

Bibliographie:-

1. Arnet U., Van Drongelen S., Van Der Woude L.H.V., Veeger. D.H.E.J. Shoulder load during synchronous handcycling and handrim wheelchair propulsion in persons with paraplegia. *J Rehabil. Med.* 2012; 44: 222–228.
2. Dallmeijer A.J., Zentgraaff I.D.B., Zijp N.I., Van Der Woude L.H.V. Submaximal physical strain and peak performance in handcycling versus handrim wheelchair propulsion. *Spinal Cord* (2004) 42, 91–98.
3. Van Der Woude L.H.V., Dallmeijer A.J., Janssen T.W.J. Alternative modes of manual wheelchair ambulation: An overview. *Am J Phys Med. Rehabil.* 2001; 80: 765–777.
4. Drongelen S. van, de Groot S., Veeger H. E. J., Angenot E. L. D., Dallmeijer A. J Post M. W. M. and van der Woude L. H. V. Upper extremity musculoskeletal pain during and after rehabilitation in wheelchair-using persons with a spinal cord injury. *Spinal Cord* (2006) 44, 152–159.
5. Samuelsson K. A. M., Tropp H. and Gerdle B. Shoulder pain and its consequences in paraplegic spinal cord-injured, wheelchair users. *Spinal Cord* (2004) 42, 41–46.
6. Lindberg T., Arndt A., Norrbrink C., Norrbrink K. and Bjerkefors A. Effects of seated double-poling ergometer training on aerobic and mechanical power in individuals with spinal cord injury. *J Rehabil Med* 2012 ; 44 : 893–898.
7. Monod H., Flandrois R., Vandewalle H. 2007. *Physiologie du sport. Bases physiologiques des activités physiques et sportives.* 6ème éd-Paris : Elsevier Masson, 303p.
8. Khélia I., Laboisse J.J., Pillu M., Lavaste F. Réduction des contraintes liées à la propulsion manuelle d'un fauteuil roulant, chez la personne âgée. *Rev Med Ass Maladie* 2005; 36 (1) :89-95.
9. Veeger H.E., Hadj Yahmed M., van der Woude L.H., Charpentier P. Peak oxygen uptake and maximal power output of Olympic wheelchair-dependent athletes. *Med Sci Sports Exerc.* 1991 Oct ; 23 (10) : 1201-9.
10. Faupin A. 2005. Analyse biomécanique de la propulsion sur fauteuil roulant. Thèse de doctorat en STAPS de l'Université du droit de la santé de Lille 2, FSSEP, 202p.
11. Sauret C. 2010. Cinétique et énergétique de la propulsion en fauteuil roulant manuel. Thèse de doctorat en Informatique (Biomécanique) de l'Université Blaise Pascal Clermont-Ferrand II, France 342p.
12. Lovell D., Shields D., Beck B., Cuneo R., McLellan C. The aerobic performance of trained and untrained handcyclists with spinal cord injury. *Eur J Appl physiol* (2012) 112: 3431 – 3437.
13. Tørhaug T., Brurok B., Hoff J., Helgerud J. and Leivseth G. Arm Crank and Wheelchair Ergometry Produce Similar Peak Oxygen Uptake but Different Work Economy Values in Individuals with Spinal Cord Injury. *BioMed Research International* 2016 (2016) ID 5481843, 7p.
14. Van Der Woude L.H.V., Eugenie Botden., Ingrid Vriend., Dirkjan Veeger, Mechanical advantage in wheelchair lever propulsion: Effect on physical strain and efficiency. *Journal of Rehabilitation Research and Development* Vol. 34 No. 3 1997.