



HAL
open science

Effet de l'utilisation d'un dispositif d'assistance physique pour des mouvements impliquant des flexions de tronc

Zakaria Jelti, Kevin Lebel, Simon Bastide, Pol Le Borgne, Pierre Slangen, Nicolas Vignais

► To cite this version:

Zakaria Jelti, Kevin Lebel, Simon Bastide, Pol Le Borgne, Pierre Slangen, et al.. Effet de l'utilisation d'un dispositif d'assistance physique pour des mouvements impliquant des flexions de tronc. ERGO'IA 2021 - De l'Interaction Homme-Machine à la Relation Homme-Machine, comment concevoir des systèmes performants et éthiques, Oct 2021, Bidart, France. hal-03365466

HAL Id: hal-03365466

<https://hal.science/hal-03365466>

Submitted on 5 Oct 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Effect of using a physical assistance device for bending trunk tasks

Zakaria Jelti [†]

Ergosante Technologie
28 Z.A de Labahou,CS 40104
30140 Anduze, France
suiviergo-exo@ergosante.fr

Kevin Lebel

Ergosante Technologie
28 Z.A de Labahou,CS 40104
30140 Anduze, France
kevin@ergosante.fr

Simon Bastide

Laboratoire CIAMS EA 4532
Université Paris Saclay,
Orsay, France
simon.bastide@universite-paris-saclay.fr

Pol Le Borgne

Laboratoire Biomécanique et
Ostéopathie, Cogitobio
94230, Cachan, France
leborgnepol@gmail.com

Pierre Slangen

EuroMov Digital Health in
Motion, Univ Montpellier,
IMT Mine Ales
pierre.slangen@mines-ales.fr

Nicolas Vignais

Laboratoire CIAMS EA 4532
Université Paris Saclay,
Orsay, France
nicolas.vignais@universite-paris-saclay.fr

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. Copyrights for third-party components of this work must be honored. For all other uses, contact the Owner/Author. Copyright is held by the owner/author. ERGO'IA 2021, October 6--8, 2021, Bidart, France. ISBN: 978-1-4503-8512-1

Abstract

Exoskeletons are a solution to physically relieve workers while allowing them to control the execution of their tasks and assist them (*Baltrusch et al.2018*) [1]. The study investigated in the search for elements able to quantify the action of a physical assistance device (PAD) on the human body for movements responsible for pathologies recognized as occupational diseases. The evaluation of a PAD allows to determine in which framework the exoskeleton can be useful for the realization of the movement. It is specified that a relevant way to insert exoskeletons in a company by always implementing a study or analysis beforehand to ensure its good integration. The objective of the study is to perform several tasks with and without the Posture Harness (HAPO) in order to analyze the kinematics of the movements and the electrical activity of erector muscles of the spine involved in carrying a load at work to understand its effects on the human body.

Author Keywords

Troubles Musculo-squelettiques (TMS) ; Prévention ; Dispositif d'Assistance Physique (DAP) ; Méthode d'analyse ; Flexion de tronc.

CSS Concepts

• **Human-centered computing**~**Human computer interaction (HCI)**; *Interaction device*.

2.2 Matériel : Le harnais de posture évalué dans cette étude est le HAPO, développé, conçu par l'entreprise Ergosanté (France) et commercialisé en mars 2020. Le HAPO est un dispositif d'assistance physique à contention léger (1,2 kg) qui fournit un couple de soutien au dos de l'utilisateur, en transférant les contraintes au niveau des manchons sur les cuisses.



Figure 1: Le dispositif d'assistance physique, harnais de posture HAPO.

2.3 Procédure : Les participants ont réalisé une tâche en statique de flexion de tronc à 45 degrés bras en extension vers l'avant pendant 2 minutes ainsi que plusieurs répétitions d'une tâche de port de charge de 7,5 kg sous deux conditions « Sans HAPO » et « Avec HAPO engagé » de la manière la plus naturelle possible. Ces conditions ont été réalisées dans un ordre aléatoire. Après avoir effectué la tâche de port de charge sous la condition « HAPO engagé », les participants ont répondu à un questionnaire pour évaluer l'acceptation du DAP (fig 2).

Introduction

Les troubles Musculo-squelettiques (TMS) liés au travail sont la première cause de maladies professionnelles. Les TMS proviennent de causes variées. Parmi elles, l'activité professionnelle joue fréquemment un rôle dans leur apparition, leur maintien ou leur aggravation. Les TMS résultent d'un déséquilibre entre les capacités physiques du corps et les sollicitations ainsi que les contraintes auxquelles le corps est exposé. Ils s'installent généralement de façon progressive après une longue sollicitation intensive des parties du corps atteintes. Les absences au travail provoquées par les TMS peuvent affecter la performance des entreprises dans lesquelles la manutention à une place importante.

Dans le monde professionnel, plus précisément dans le secteur de la logistique et de l'industrie, la problématique des exosquelettes est leur acceptation par l'utilisateur et l'adéquation avec l'environnement de travail. C'est la raison pour laquelle les entreprises réalisent des partenariats avec des concepteurs de dispositif d'assistance physique (DAP) afin d'obtenir des dispositifs fidèles aux différents postes de travail où une problématique biomécanique est présente. Avant de déployer un dispositif, il est important de s'assurer de son bon fonctionnement et de sa fiabilité. Pour répondre à ces problèmes, il faudrait concevoir un dispositif généralisé pour la prévention des TMS et notamment l'assistance lors de port de charge capable de soulager la zone lombaire des opérateurs. Les DAP sont conçus pour respecter la biomécanique du mouvement humain, cependant il reste des verrous scientifiques importants. C'est la raison pour laquelle l'analyse et la compréhension du contrôle du mouvement humain lors de l'interaction avec un exosquelette est une étape cruciale pour assurer une fiabilité du DAP.

L'Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS) suit cette démarche dans son étude sur les exosquelettes au travail (*Theurel et Schwartz, 2020*) [3]. Ils comparent différents dispositifs assistance physique lors de plusieurs tâches de port de charge. Ils soulignent l'importance de bien identifier la tâche que l'on souhaite assister pour choisir un exosquelette pertinent. Ainsi, pour obtenir des résultats positifs, le DAP choisi se doit d'être spécifique à la tâche.

Sur la base des connaissances disponibles dans la littérature, il semble que les exosquelettes sont efficaces dans le cadre de tâches spécifiques telles que l'élévation du bras, l'extension sagittale du tronc. Dans leurs travaux, l'INRS montre une diminution de 10 à 80 % de l'activité des muscles ciblés par l'assistance.

De tels écarts peuvent s'expliquer par le fait que les exosquelettes ne sont pas toujours bien adaptés à la situation dans laquelle ils sont utilisés. De plus les variabilités morphologiques et motrices des utilisateurs ne sont pas toujours prises en compte dans la conception de tels dispositifs (*Theurel et Schwartz, 2020*) [3].

Les limites soulignées précédemment proviennent souvent d'un manque de compréhension des interactions homme-exosquelette. Pour cette raison il est primordial de choisir le dispositif en fonction de l'assistance désirée et des spécificités de la tâche visée. Pour cela, une première étape nécessaire est d'analyser précisément l'action du dispositif sur l'utilisateur lors d'une situation proche d'une situation réelle.

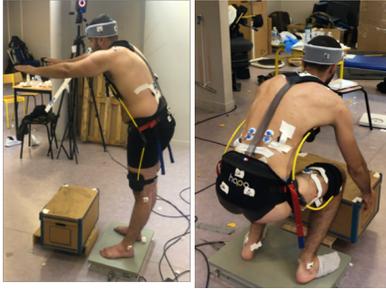


Figure 2: Photographies de l'expérimentation, à droite un participant réalisant la tâche de port de charge, à gauche un participant réalisant la tâche statique.



Figure 3: Dispositions des centrales inertielles sur les vertèbres T1, T11 et L5.

2 Protocole

Une étude préliminaire au laboratoire de l'IMT Mines d'Alès utilisant de la capture de mouvement (caméras Qualisys, miquis 3) a permis d'identifier les paramètres nécessaires à notre étude. Dans l'étude présentée ici, des mesures objectives sur la stabilité de la posture debout, la déformation lombaire du rachis et l'activité musculaire des muscles érecteurs du rachis de l'utilisateur ont donc été analysées.

2.1 Participants

Douze participants (7 hommes et 5 femmes) en bonne santé, d'âge moyen de 23,14 ans ($\pm 2,51$), de poids moyen de 73,71 kg [50-100 kg] et de taille moyenne de 1,73 m [1,6 - 1,98 m], ont participé à une expérimentation dans le laboratoire d'analyse du mouvement COGITOBIO. Les participants bénévoles ont dû remplir un formulaire de consentement éclairé avant l'expérimentation. Le protocole de recherche a été vérifié et validé par le Comité d'Éthique pour la Recherche (CER) POLETHIS de l'Université Paris Saclay. Les participants n'ont pas d'antécédent de troubles de locomotion et de l'équilibre documentés ou de condition médicale qui pourrait affecter le contrôle postural au cours des deux dernières années.

2.2 Matériels

Des mesures objectives ont été réalisées à l'aide de la force de réaction du sol (plateforme de force AMTI 60cm, fréquence de 1000 Hz), de l'Électromyographie de surface (EMG, Waves Plus Cometa, fréquence de 1000 Hz) sur le muscle longissimus droit et le muscle biceps fémoral. Des centrales inertielles (Cogitobio, fréquence 1000 Hz) ont été placées au niveau de T1,

T11 et L5 pour mesurer la déformation du rachis (fig 3). En étudiant l'orientation des centrales inertielles dans l'espace, un indicateur de la déformation du rachis de la chaîne squelettique des vertèbres thoraciques aux vertèbres sacrales pourrait nous communiquer des informations sur la déformation du rachis. Des évaluations subjectives de la perception et de l'acceptation du dispositif ont également été menées en tenant compte des préconisations de l'INRS (Wioland et al, 2019) [4].

2.4 Analyses de données

Le traitement de données a été réalisé us le langage de programmation Python 3. Les signaux ont été filtrés avec un filtre passe-bas (Butterworth, fréquence de coupure 10 Hz, ordre 3). Après avoir vérifié la normalité de nos échantillons (Test de Shapiro-Wilk), des tests statistiques ont été réalisés pour chacun des paramètres étudiés (Test de Wilcoxon). Pour l'ensemble des tests statistiques, le seuil de significativité a été fixé à $\alpha = 0,05$.

3 Resultats

3.1 Questionnaire de ressenti

Le questionnaire a été complété à chaque fin de condition « HAPO engagé ». Le taux de satisfaction des différents participants est présenté sur la figure 4. Les critères permettant de juger l'utilisation du HAPO sont « Facilité d'utilisation », « Facilité de mise en place », « Réduction de l'effort », « Bon confort », « Efficacité du dispositif ». Ces critères représentés sous forme de pourcentage font l'objet d'une combinaison des questions posées dans le questionnaire.

Pour une tâche de port de charge, la satisfaction du HAPO des participants lors de l'expérimentation a atteint un taux de $79 \pm 9,92$ %. Ce résultat montre que

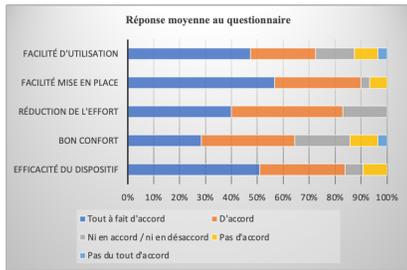


Figure 4: Moyenne des réponses au questionnaire de ressenti et de confort (n=12).

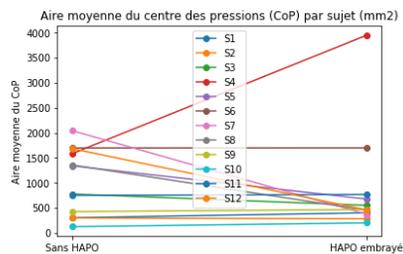


Figure 6 : Moyenne de l'aire de l'ellipse de confiance à 95 % sous les deux conditions Avec HAPO engagé et Sans HAPO (n=12).

les participant ont eu un bon ressenti en utilisant le HAPO. De plus, son efficacité a été ressentie dès le premier mouvement d'extension de tronc (fig 4).

3.2 Électromyographie (EMG)

La littérature nous informe que les DAP permettent de réduire l'activité des muscles du rachis. Dans cette étude, l'analyse porte sur le muscle longissimus. Les mesures EMG ont été analysées sur cinq participants. Il a été question ici de quantifier la contraction musculaire globale de chaque individu.

RMS – longissimus droit

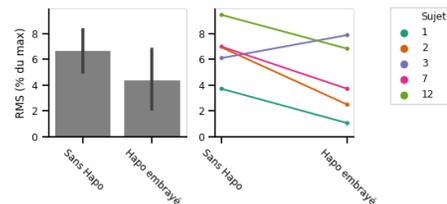


Figure 5: Moyenne de Root Mean Square (RMS) de l'activité musculaire du muscle longissimus droit (n=5).

3.3 Plateforme de force

La plateforme de force a servi à obtenir le déplacement des centres des pressions au cours des différentes tâches réalisées.

Ce paramètre nous permet de quantifier l'équilibre postural entre chaque condition. (fig 6).

3.3 « Spinomètre » : centrales inertielles

L'analyse des centrales inertielles s'est réalisée sur neuf participants.

Concernant la déformation de la colonne vertébrale au niveau de la lordose lombaire, on constate qu'il y a un changement significatif d'une condition à une autre (p

$<0,05$). Le HAPO engagé réduirait de 7,54 % l'indicateur de la modification de la courbure du rachis lombaire pour des tâches impliquant une flexion de tronc.

Moyenne de l'indicateur de l'évolution de la lordose lombaire Avec et Sans HAPO

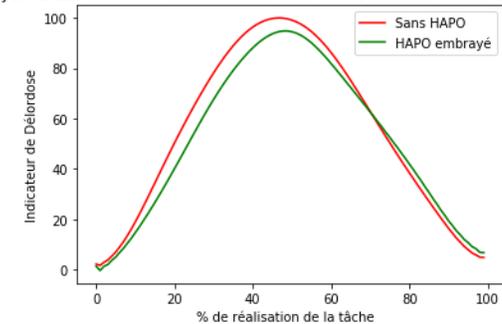


Figure 7: Courbe moyenne de l'indicateur de délordose lombaire Avec HAPO engagé et Sans HAPO (n=9).

4 Discussion

L'étude nous montrent ici que le ressenti et le confort de l'utilisation du HAPO est agréable. C'est un paramètre subjectif très important à identifier pour s'assurer de la bonne appropriation du DAP sur le poste de travail. Ce type de questionnaire permet d'identifier les limites et les améliorations à apporter au dispositif ou bien à sa mise en place.

Des tendances peuvent être observés concernant l'activité musculaire. L'utilisation du HAPO permet, comme attendu grâce aux travaux de *Baltrusch et al (2018)* et *Theurel et Desbrosses (2019)* [1][2], de diminuer en moyenne 33,8 % l'activité musculaire des érecteurs du rachis (ici le muscle longissimus). Le HAPO permet de soulager l'extension de la hanche et des genoux lors d'une tâche de port de charge.

On remarque également qu'à la fois le pic d'activation au cours du mouvement et la quantité d'activation totale diminuent.

Cela pourrait avoir des conséquences bénéfiques sur la fatigue musculaire et le risque de troubles musculo-squelettiques à long terme.

On constate également que l'équilibre postural va vers une diminution avec la condition « Avec HAPO engagé ».

La majorité des individus semblent avoir un meilleur contrôle de l'équilibre avec le DAP. Cependant dans notre étude, sans retirer les données outliers (ou aberrantes), ce contrôle de l'équilibre est variable d'un individu à un autre (d'où l'écart type supérieur à la moyenne pour une des conditions), ce qui ne permet pas de valider statistiquement qu'il y a une différence significative entre les deux conditions ($p > 0,05$). On peut donc conclure qu'il n'y a pas de modification significative d'une condition à une autre bien qu'il y ait une diminution pour certains des participants.

Pour finir un phénomène de modification de la lordose lombaire est observé. Il s'agit d'une réduction en moyenne de $7,54 \pm 4,55$ % de la délordose de la concavité lombaire pour une tâche de port de charge. Cela peut aller jusqu'à une diminution de 16 % chez certains sujets. Le port de charge avec le HAPO semble ne pas perturber les blocs ou chaînes articulaires de la colonne vertébrale. Une étude beaucoup plus soutenue faisant appel à du matériel clinique de radiologie pourrait valider précisément ces analyses.

5 Conclusion

A travers cette expérimentation, nous avons observé que l'utilisation du harnais de posture HAPO permettait pour des tâches incitant à réaliser une flexion de tronc, de réduire la sollicitation musculaire des muscles érecteurs du rachis tout en diminuant la délordose. Ces résultats montrent que l'exosquelette pourrait permettre de préserver l'intégrité de la courbure physiologique de la lordose lombaire de la colonne vertébrale. Les contraintes de cisaillement des disques intervertébraux seraient donc limitées.

De plus, ces améliorations surviennent sans incidence néfaste sur l'équilibre postural.

Dans l'ensemble, l'exosquelette HAPO a un effet bénéfique sur l'activité musculaire et sur la courbure du rachis. Malgré des résultats non significatifs, des résultats sur un plus grand nombre de sujets pourraient démontrer l'intérêt du HAPO pour le contrôle postural.

Cette expérience nous permet de mieux comprendre les effets préventifs du HAPO sur les utilisateurs.

L'approche adoptée ici est prometteuse pour évaluer les exosquelettes et juger de leur efficacité.

6 Limites

Comme signalé précédemment, les résultats présentés concernant la déformation du rachis doivent être approfondis d'une expérimentation à l'aide de matériel d'imagerie médicale afin d'obtenir la réelle déformation de courbure du rachis et ainsi pouvoir conclure. Il y a vraisemblablement une diminution de la modification des blocs articulaires qui permettrait de limiter la déformation de la colonne vertébrale. Il faut donc comprendre que sans donnée exacte de la déformation de la colonne vertébrale on ne peut estimer le pourcentage exact de réduction. Dans notre étude il s'agit de la diminution de l'indicateur de délordose qui est estimé être un amorçeur de l'analyse du rachis.

Concernant l'équilibre postural, des valeurs aberrantes sont observées. Ces phénomènes semblent très intéressants à développer pour rechercher d'où proviennent ces différenciations inter-participants et ainsi analyser individuellement l'effet du HAPO sur chaque individu pour en détecter les contre-indications.

Chez certains sujets, les données de l'activité musculaire n'ont pas pu être utilisées du fait d'un manque de contenu exploitable pour en réaliser une analyse. L'étude a conservé cependant les analyses des participants auxquels les données pouvaient complètement être utilisées. Les données EMG sur plus de participants auraient pu davantage confirmer les tendances observées et les conclusions de la littérature. Concernant la tâche de port de charge, le poids de la charge a été fixé à 7,5 kg. Cette étude a permis de s'intéresser au fonctionnement et l'utilisation du dispositif beaucoup plus que sur ses performances. La volonté était d'analyser l'effet d'un DAP pour des postes de travail sollicitant beaucoup de répétitions (avec charges légères) et des postures extrêmes prolongées. Après avoir effectué une analyse sur un DAP avec des actions plutôt simples à réaliser, il serait dorénavant captivant d'effectuer une analyse plus approfondie avec par exemple des charges plus lourdes et des mouvements plus diversifiés.

Remerciements

Cette étude a pu être menée grâce à une collaboration entre le laboratoire CIAMS, laboratoire COGITOBIO, laboratoire CERIS et la société ERGOSANTE.

REFERENCES

- [1] Baltrusch, S.J., Van Dieën, J. H., Van Bennekom, C. A. M., & Houdijk, H. 2018. The effect of a passive trunk exoskeleton on functional performance in healthy individuals. *Applied ergonomics*, 72, 94-106.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2018.04.007>
- [2] Theurel & Desbrosses. 2019. Occupational exoskeleton: overview of their benefits and limitations in preventing work-related musculoskeletal disorders. *IIEE Transactions on Occupational Ergonomics and Human Factors* 7, n°3-4, pp.264-280.
DOI: <https://doi.org/10.1080/24725838.2019.1638331>
- [3] Theurel & Schwartz. 2020. Exosquelettes au travail : quels bénéfices ? Quelles limites ? Webinaire INRS France. Référence INRS : Anim-24.
LINK: <https://youtu.be/7k1EnCohnrI>
- [4] Wioland, Debay, Kouadio. 2019. Acceptation des exosquelettes par les opérateurs : étude exploratoire. Références en santé au travail, Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles, Références en Santé au Travail, 157, pp.45-61.
LINK: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03079985/document>