

Evaluation d'un effet mécanique de distraction du HAPO BR par mesure de la variation staturale

Lidia GHALEM^a, Béranger LE TELLIER^{a*}

^aErgoSanté – 28 ZA de Labahou, Anduze, France

*b.letellier@hapo.eu

RESUME

Le HAPO BR est un dispositif d'assistance physique non motorisé (exosquelette) conçu pour appliquer une action mécanique de distraction de la colonne vertébrale avec pour objectif de permettre un soulagement immédiat associé à cette mise en tension. Cette étude vise à objectiver (1) l'effet mécanique immédiat du dispositif au moyen d'une mesure de la variation de stature et (2) à évaluer l'évolution de cet effet au cours de la journée. Vingt-cinq adultes (17 hommes et 8 femmes) ont participé à l'étude avec l'exosquelette porté mais non activé, puis avec l'exosquelette activé, le matin, le midi et en fin d'après-midi. Une augmentation de stature est observée après activation, avec une valeur moyenne de l'ordre de 4 mm en fin de journée et des valeurs individuelles pouvant atteindre 10 mm. L'étude apporte ainsi un premier élément objectif en faveur de l'effet mécanique immédiat du HAPO BR.

Mots-clés : Exosquelette non motorisé, distraction rachidienne, variation staturale

1. INTRODUCTION

La stature humaine varie au cours de la journée sous l'effet des contraintes mécaniques exercées sur la colonne. Ce phénomène est notamment associé aux variations de d'hydratation des disques intervertébraux sous l'effet de la gravité et de l'activité physique (ex : port de charge), et qu'elle peut retrouver une partie de cette variation après une période de récupération. Tyrrell, Reilly et Troup ont notamment mesuré une variation moyenne de 19,3 mm chez de jeunes adultes, avec une perte de stature particulièrement marquée au début de la journée active [1]. Cette mesure constitue ainsi un indicateur biomécanique simple permettant d'étudier les effets de chargements (pression intradiscale) et de mécanismes de récupération sur l'axe rachidien.

Par ailleurs, les mesures de pression intradiscale réalisées par Nachemson ont montré que la charge appliquée aux disques varie selon la position du corps et les tâches réalisées [2]. La Figure 1 montre que la posture impliquant une flexion du tronc avec port de charge est particulièrement contraignante et est associée à une pression intradiscale élevée

au niveau lombaire. A l'inverse, la position allongée sur le dos est associée à une pression plus faible. Ces données fournissent un cadre biomécanique général pour comprendre l'intérêt d'une action mécanique visant à diminuer temporairement certaines contraintes de compression. Elles ne permettent cependant pas de déduire directement la pression intradiscale à partir d'une simple mesure de stature.

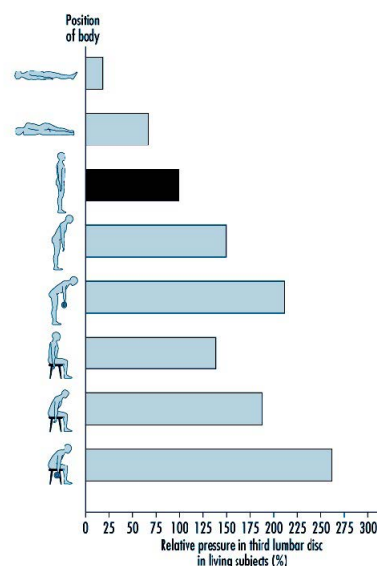


Figure 1 - Pression relative au niveau du 3ème disque lombaire en fonction de la position du corps. D'après Nachemson

Les exosquelettes professionnels constituent une technologie d'assistance physique visant à accompagner l'utilisateur dans la réalisation de ses tâches. Les travaux de Theurel et Desbrosses montrent que les exosquelettes d'assistance du dos peuvent notamment réduire certaines sollicitations musculaires lors de tâches impliquant une flexion du tronc ou le port de charges [3]. Plus largement, Theurel *et al.* soulignent l'importance d'une évaluation des exosquelettes adaptée au principe d'assistance propre à chaque dispositif et fondée sur des paramètres objectifs [4]. Si la plupart des exosquelettes professionnels du dos ont une action mécanique d'assistance lors de la flexion du tronc, d'autres modèles, tel que le Hapo BR, sont conçus pour générer une action mécanique de distraction de la colonne vertébrale lors de son activation.

La présente étude vise à objectiver l'effet BR au moyen d'une mesure de variation de stature. Cette mesure sera évaluée à différents moments de la journée afin d'évaluer si l'amplitude de la variation staturale associée à l'activation du dispositif évolue au cours de la journée, en lien avec les variations de stature décrites par Tyrrell *et al.* [1].

2. PROTOCOLE EXPERIMENTAL

a. Participants

Vingt-cinq participants adultes et en bonne santé ont pris part à l'étude après avoir signé une notice de consentement éclairé. Le panel comprenait 8 femmes (168 ± 4 cm, 72 ± 8 kg, 30 ± 9 ans) et 17 hommes (179 ± 8 cm, 73 ± 13 kg, 31 ± 12 ans). Ces participants étaient tous des salariés de Ergosanté, impliqués soit dans des tâches tertiaires (hors Bureau d'Etude pour limiter les biais) ou des tâches de production.

b. Exosquelette

Le HAPO BR (ErgoSanté, Anduze, France) est un exosquelette non motorisé léger (0,885 kg) conçu pour apporter un soulagement immédiat du dos. Il est constitué de deux ceintures textiles venant se positionner sur les hanches et sur les côtes flottantes, et de deux paires tiges-ressorts en fibre de verre. Une fois activés

grâce à deux sangles situées de part et d'autre de l'exosquelette, les tiges-ressorts vont venir écarter les deux ceintures textiles, générant ainsi une action de distraction de la colonne vertébrale. Une représentation de l'exosquelette et de ses composants est donnée sur la Figure 2.

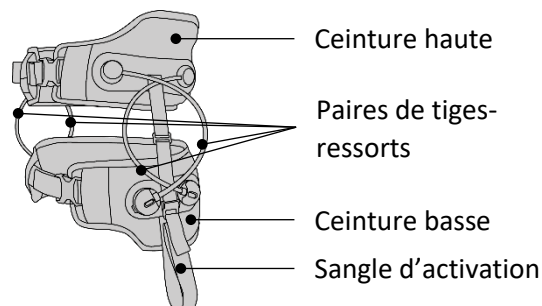


Figure 2 - Exosquelette HAPO BR

c. Procédure

L'effet du HAPO BR a été évalué par une mesure de variation staturale. Chaque participant, équipé d'un exosquelette adapté à sa morphologie, était placé pieds nus, talons contre le mur, regard horizontal et bras écartés à hauteur d'épaule, de telle sorte à favoriser la reproductibilité de la mesure. Deux conditions étaient comparées :

- (A) exosquelette porté mais non activé ;
- (B) exosquelette activé.

La hauteur du sommet du crâne était relevée à l'aide d'une toise fixée au mur. La différence entre les deux mesures était définie comme le ΔS de stature. Chaque mesure a été prise dans un ordre randomisé (exosquelette activé ou non) afin de limiter un éventuel biais lié à l'ordre de présentation des conditions

La procédure était réalisée à trois moments de la journée : le matin (H), avant midi (H+3h), et en fin de journée (H+8 h). En dehors de ces temps de prises de mesure, chaque participant était invité à reprendre son activité professionnelle. Cette organisation permettait d'observer si l'effet mesuré variait selon le moment de la journée et le niveau de sollicitation mécanique cumulée tel que décrit par Tyrrell *et al.* [1].

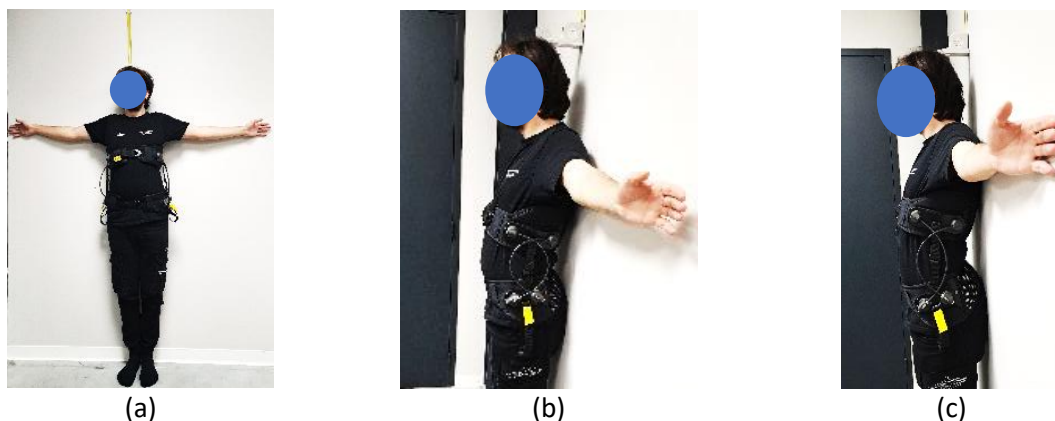


Figure 3 - Protocole expérimental : (a) posture des participants avec exosquelette activé ou non ; (b) exosquelette désactivé ; (c) exosquelette activé

3. RESULTATS

Les résultats des mesures présentés sur la Figure 4 montrent une augmentation de la stature et ce, quel que soit le moment de la journée. La différence est plus marquée en fin de journée, avec une moyenne et un écart-type de $4,3 \pm 1,1$ mm alors qu'elle était de $3,1 \pm 2,1$ mm le matin et $3,8 \pm 2,3$ mm à midi. L'effet observé correspond à une modification immédiate de la stature mesurée après

activation du dispositif. Des différences inter-individuelles sont toutefois à souligner puisque certains participants ont présenté une différence de stature ΔS allant jusqu'à 10 mm. Cette variation constitue un indicateur indirect compatible avec l'action mécanique de distraction rachidienne de l'exosquelette mais ne doit pas être assimilée à une mesure directe de l'écartement intervertébral ou de la pression intradiscale.

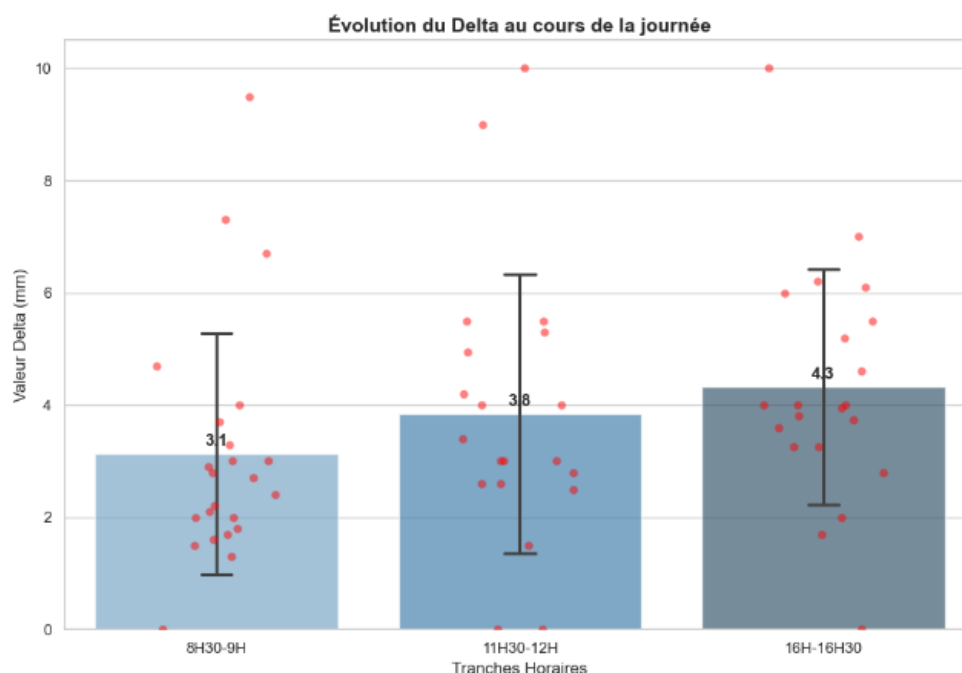


Figure 4 - Évolution du ΔS au cours de la journée. Les valeurs représentent la variation de stature mesurée après activation du dispositif.

4. DISCUSSION

Les résultats suggèrent que l'activation du HAPO BR produit un effet mécanique immédiat détecté par une mesure de stature. Le fait que la variation moyenne soit plus importante en fin de journée est cohérent avec les travaux montrant que la stature varie avec le

chargement quotidien de la colonne tel que rapporté par Tyrrell *et al.* [1]. Cette observation est également compatible avec le principe mécanique du dispositif : appliquer une action de distraction susceptible de compenser, au moins partiellement et temporairement, une diminution de stature associée au chargement.

Il convient néanmoins de distinguer clairement trois niveaux d'interprétation. Premièrement, l'étude montre une variation de stature mesurable. Deuxièmement, cette variation est compatible avec une action de distraction mécanique. Troisièmement, elle ne permet pas de mesurer directement la pression intradiscale ni de quantifier un éventuel changement de l'espace entre les structures rachidiennes. Les travaux de Nachemson [2] montrent que la pression intradiscale dépend de la posture et des tâches, mais ils ne permettent pas de transformer directement un ΔS mesuré par toise en variation de pression.

Enfin, les données de la littérature sur les exosquelettes d'assistance du dos montrent que ces dispositifs réduisent la sollicitation musculaire du dos (grand dorsal et longissimus) que ce soit pour des tâches statiques de flexion du tronc ou dynamiques de port de charge [3]. Ces éléments renforcent l'intérêt d'évaluations complémentaires spécifiquement centrées sur des principes d'action de distraction de la colonne vertébrale tel que retrouvé avec l'exosquelette HAPO BR.

5. LIMITES

Plusieurs limites de l'étude peuvent être soulevées. D'abord, la mesure de stature a pu être influencée par le positionnement du participant ou d'une éventuelle modification spontanée de sa posture entre deux mesures successives bien qu'il leur avait été demandé de conserver la même posture pour les deux conditions. Des répétitions et une analyse de la fiabilité intra- et inter-évaluateur permettraient de renforcer la robustesse du résultat.

Ensuite, le protocole mis en place s'est uniquement focalisé sur la différence de stature des participants, et ne permet donc pas de conclure quant à une modification de la pression intradiscale, de l'espace intervertébral ou d'un bénéfice subjectif. Des mesures instrumentées complémentaires seraient nécessaires pour améliorer les connaissances sur l'impact du port de l'exosquelette Hapo BR à court, moyen et long terme.

Enfin, cette étude a été réalisée sur des sujets jeunes, sains et salariés du groupe Ergosanté ce qui peut constituer un biais de mesure.

6. PERSPECTIVES

Une prochaine étape pourrait consister à compléter la mesure staturale par des méthodes biomécaniques plus directes : mesure des forces exercées par le dispositif, analyse cinématique de l'alignement, mesures de pression ou d'autres paramètres instrumentés lorsque cela est techniquement et éthiquement approprié. Il serait également pertinent d'évaluer la répétabilité de l'effet chez un même utilisateur, son évolution selon différentes postures et sa perception immédiate lors de l'activation.

7. CONCLUSION

Cette étude met en évidence une augmentation mesurable de la stature immédiatement après activation du HAPO BR, avec une variation moyenne de l'ordre de 4,3 mm en fin de journée et des valeurs individuelles pouvant atteindre 10 mm. Ce résultat est cohérent avec le principe de distraction mécanique recherché par le dispositif et fournit un indicateur objectif de son effet immédiat sur la stature.

Le HAPO BR doit toutefois être considéré ici comme un exosquelette professionnel dont l'objectif est de créer une distraction de la colonne visant à un soulagement immédiat associé à cette action mécanique. La mesure staturale ne permet pas, à elle seule, de quantifier une variation de pression intradiscale ni de tirer des conclusions à long terme. Des investigations complémentaires sont donc nécessaires pour caractériser plus précisément les mécanismes biomécaniques, la répétabilité de l'effet et la perception immédiate de l'utilisateur.

CONFLITS D'INTERETS

Les auteurs sont affiliés à la société qui fabrique et distribue l'exosquelette testé.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] Tyrrell, A. R., Reilly, T., & Troup, J. D. (1985). Circadian variation in stature and the

effects of spinal loading. *Spine*, 10(2), 161–164.
doi:10.1097/00007632-198503000-00011.

[2] Nachemson, A. L. (1981). Disc pressure measurements. *Spine*, 6(1), 93–97.
doi:10.1097/00007632-198101000-00020.

[3] Theurel, J., & Desbrosses, K. (2019). *Occupational Exoskeletons: Overview of Their Benefits and Limitations in Preventing Work-Related Musculoskeletal Disorders*. IISE Transactions on Occupational Ergonomics and Human Factors, 7(3–4), 264–280.
<https://doi.org/10.1080/24725838.2019.1638331>.

[4] Theurel, J., Atain-Kouadio, J. J., & Kerangueven, L. (2021). *Les exosquelettes pour prévenir les troubles musculosquelettiques et rôle des services de santé au travail*. Références en santé au travail, 166, TC 175. INRS.