



HAL
open science

Innovation méthodologique en ergonomie physique pour la prévention des TMS : deux cas d'application au métier de sellier

Nima Caën, Agnès Olivier, Nicolas Vignais

► To cite this version:

Nima Caën, Agnès Olivier, Nicolas Vignais. Innovation méthodologique en ergonomie physique pour la prévention des TMS : deux cas d'application au métier de sellier. ERGO'IA 2018, Oct 2018, Bidart, France. hal-01882622

HAL Id: hal-01882622

<https://hal.science/hal-01882622v1>

Submitted on 27 Sep 2018

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.

Innovation méthodologique en ergonomie physique pour la prévention des TMS : deux cas d'application au métier de sellier

Nima Caën
Voltaire Design
Technopole Izarbel
231 allée Fauste d'Elhuyar
64210 Bidart, France
nima.caen@u-psud.fr

Agnès Olivier
Voltaire Design
Technopole Izarbel
231 allée Fauste d'Elhuyar
64210 Bidart, France
agnes@groupevoltaire.com

Nicolas Vignais
CIAMS Paris-Sud
335 Rue Pierre de Coubertin
91440 Bures-sur-Yvette, France
nicolas.vignais@u-psud.fr

RESUME

Les artisans manuels sont parmi les plus exposés aux troubles musculo-squelettiques, étant régulièrement confrontés à des gestes répétés, en force, et à des postures inadaptées. Afin de prévenir ces pathologies lors de la fabrication de selle (Voltaire Design, Bidart, France), une approche issue de la biomécanique a été développée pour reconcevoir les postes de travail de laçage et de jointure. En utilisant des centrales inertielles (Delsys Trigno) et une caméra vidéo, les mouvements des travailleurs ont été enregistrés pendant 20 minutes (n=4). Associées à un modèle biomécanique, les données inertielles ont permis de calculer les angles articulaires du haut du corps en continu pendant le mouvement. Ces angles ont été utilisés pour évaluer le risque ergonomique à travers la méthodologie RULA (score de risque de 0 à 7, [9]). Cette évaluation a permis de démontrer que les tâches de laçage et de jointure étaient soumises à un risque ergonomique élevé (laçage : $5,78 \pm 0,46$; jointure : $6 \pm 0,21$). Les pourcentages de temps passé à chaque score RULA ainsi que les scores locaux associés à chaque articulation/segment ont également été calculés. Cette évaluation s'inscrit dans une démarche ergonomique anthropocentrée basée sur l'utilisation de capteurs embarqués.

Mots Clés

Troubles musculo-squelettiques ; Ergonomie physique ; Biomécanique ; Centrales inertielles ; Sellerie

ABSTRACT

Manual maker work is one of the most exposed to musculoskeletal disorders given the fact that they frequently have to perform repetitive tasks, with high force, including awkward postures. To prevent these damages during saddle manufacturing (Voltaire Design, Bidart, France), a biomechanics-based approach has been developed to redesign workstations associated with lacing and jointing. Using inertial measurement units (Delsys Trigno) and a camcorder, workers' movements have been recorded during 20 minutes (n=4). Related to an underlying biomechanical model, inertial data allowed computing joint angles from the upper body

continuously during the movement. These angles have been used to calculate an ergonomic risk score through the RULA methodology (from 0 to 7, McAtamney et Corlett, 1993). This evaluation showed that lacing and jointing tasks were subject to a high ergonomic risk (lacing: $5,78 \pm 0,46$; jointing: $6 \pm 0,21$). Percentages of time spent at each RULA range as well as local scores associated to joint/segment have been computed. This study falls within an anthropocentric ergonomic approach based on on-body sensors.

INTRODUCTION

Les troubles musculo-squelettiques (TMS) représentent à ce jour 91% des maladies professionnelles (INRS, 2016). Ils constituent un enjeu de santé publique majeur pour les entreprises, étant donné les coûts liés aux absences des travailleurs et la perte de productivité. Les TMS touchent principalement les articulations des poignets, des mains et des doigts (48%), l'articulation du coude (23%), l'articulation de l'épaule (20%), le dos (7%), et à moindre mesure les articulations du genou (1,2%), de la cheville, et du pied (0,2%) (INRS, 2016). Les affections principalement rencontrées sont les tendinites, les épicondylites ou encore le syndrome du canal carpien. Ces affections sont principalement dues aux facteurs biomécaniques de postures (statiques ou dynamiques), de force, de répétitivité, de fatigue, ou à une combinaison de ces facteurs.

De nombreux métiers de l'artisanat intègrent ce type de contraintes biomécaniques [1,3,4,5]. C'est notamment le cas du métier de sellier qui consiste en la fabrication de selles d'équitation. Cette production comprend plusieurs étapes allant de la découpe du cuir à la jointure en passant par le laçage. La jointure permet d'associer plusieurs parties de cuir de différentes épaisseurs relatives au siège de la selle au moyen d'une aiguille, du fil et d'une pince à jointure. Cette tâche est difficilement substituable par la machine, exige force, répétition et précision du geste. La tâche de laçage est l'ultime étape permettant d'associer le siège aux panneaux (pièces en mousse bordé de cuir qui sera en contact direct avec le dos du cheval). Les opérateurs associent ces deux parties au moyen d'une aiguille et du fil. Ainsi, de nombreux TMS apparaissent dans ces métiers de l'artisanat manuel.

Différentes méthodes et outils existent pour évaluer l'exposition aux facteurs de risques biomécaniques lors de la réalisation d'une tâche professionnelle. Ces méthodes peuvent globalement être classifiées en trois catégories : les méthodes subjectives (questionnaires, etc.), les méthodes observationnelles (méthode REBA, RULA, OCRA, etc.) et les méthodes directes (capteurs posés directement sur le sujet) [2].

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, 3 - 5 Octobre, 2018, Bidart, France.

Les dernières avancées technologiques dans l'analyse du mouvement humain et des capteurs embarqués nous permettent aujourd'hui de combiner ces méthodes pour calculer un score de risque ergonomique en continu, qui peut être localisé pour une articulation, et non un score global pour une seule posture donnée [14]. Ainsi, à partir de centrales inertielles et de goniomètres électroniques, il est possible de proposer un retour visuel en temps réel pour améliorer la posture des opérateurs [16]. A partir de la même démarche et d'une analyse vidéo approfondie, des sous-tâches à risque ont pu être identifiées, ce qui apparaît comme un outil pertinent pour la reconception des postes de travail [17].

L'objectif de cette étude est de réaliser une évaluation ergonomique sur deux postes de travail chez un sellier à partir de capteurs embarqués et de la méthode RULA [9]. Cette évaluation nous permettra d'orienter nos préconisations ergonomiques (sous-tâche, articulation à risque) en vue de reconcevoir les postes de travail.

METHODOLOGIE

2. 1.1 Participants

4 opérateurs (2 femmes, 2 hommes) ont participé à cette étude. L'âge moyen, la taille moyenne et le poids moyen des participants étaient respectivement de $32,25 \pm 9,03$, $1,74 \pm 0,09$ m et $67,75 \pm 10,72$ kg. L'ensemble des participants ont signé un consentement de participation au préalable.

2.1 Matériels

Centrales Inertielles

Neuf centrales inertielles sans fil (Delsys Trigno Wireless System IM, 148 Hz) ont été utilisées. Chaque centrale inertielle comprenait un accéléromètre triaxial, un gyroscope triaxial et un magnétomètre triaxial. Les capteurs ont été disposés sur opérateur de la manière suivante : au niveau de l'occiput de la tête, sur le rachis au niveau de la 5^{ème} vertèbre thoracique (T5), au niveau du sacrum, au niveau de chaque bras, avant-bras et main (cf. figure 1).

Vidéo

Chaque tâche de l'opérateur a été filmée au moyen d'une caméra (Sony) en parallèle de l'enregistrement par les centrales inertielles, de manière synchronisée. Elle a été fixée sur un trépied placé sur le côté de l'opérateur, à droite ou à gauche de celui-ci selon la configuration du poste de travail. L'angle utilisé pour la prise de vidéo était adapté selon les opérateurs en vue d'obtenir le plus d'informations possible pour l'analyse des données.

3.1 Procédure

L'opérateur a tout d'abord été informé du déroulement de l'expérience et de son but. Il lui a ensuite été demandé de répondre à deux questionnaires : l'un portait sur des questions d'ordre anthropométriques, et l'autre était le questionnaire Nordique [7,15]. Puis l'opérateur était équipé des centrales inertielles. Une phase de calibration des centrales inertielles a été effectuée en position de référence (position anatomique de

référence en pronosupination) avant chaque enregistrement.. L'activité de l'opérateur (tâche de jointure pour les femmes et tâche de laçage pour les hommes, cf. Figure 1) a ensuite été enregistrée en continu pendant 20 minutes.

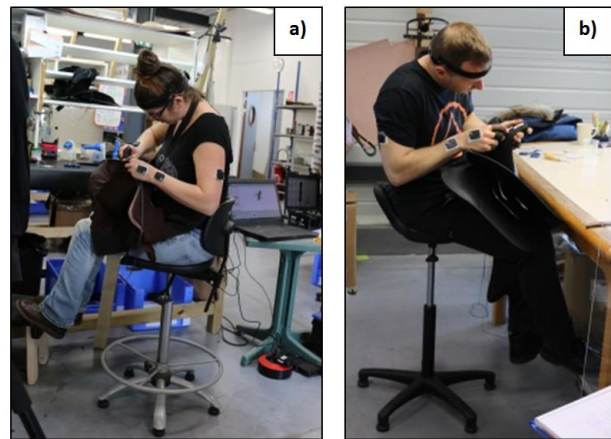


Figure 1: Postes de travail de jointure (a) et de laçage (b).

4.1 Analyse des données

Estimation des angles articulaires

Les angles articulaires du poignet, du coude, de l'épaule, du cou et du dos ont été calculés à partir du logiciel EMMA (Delsys) associé au système des centrales inertielles. Ce logiciel utilise les données d'orientation relative des centrales inertielles pour calculer les angles articulaires.

Calcul des scores de risque

Les angles articulaires ont ensuite été utilisés pour calculer un score de risque global et des scores de risques locaux, à chaque pas de temps et de manière automatisée, sur la base de la méthode RULA [9]. Cette méthode permet d'estimer le risque d'exposition aux TMS du haut du corps à partir de la posture de l'opérateur, la force mise en jeu, le poids des charges associées, la durée et la répétitivité de la tâche.

A chaque pas de temps, le score RULA variait de 1 à 7. Un score entre 1 et 2 correspondait à une posture acceptable ; de 3 à 4 il signifiait que la posture pouvait exiger une modification ; de 5 à 6 il signifiait que la posture nécessitait une étude plus approfondie et qu'elle devait être changée rapidement ; enfin, 7 indiquait que le poste de travail devait absolument être modifié. Le calcul du score RULA global à chaque pas de temps a ensuite permis de déduire les pourcentages de temps passé aux différentes plages de score (1-2, 3-4, 5-6 et 7).

Grâce à l'implémentation de la méthode RULA de façon automatisée, il était possible d'avoir accès aux scores associés à chaque articulation/segment à chaque instant. Ces scores sont appelés « scores locaux » par la suite. A partir de seuils locaux définis précédemment dans la littérature [16], il était possible de déterminer lorsque chaque articulation était soumise à une contrainte trop importante.

RESULTATS

5.1 Scores RULA moyens

En moyenne, les deux opérateurs qui ont effectué la tâche de laçage ont obtenu un score RULA moyen de $5,78 \pm 0,46$. Ce score était $5,83 \pm 0,3$ à droite et $5,72 \pm 0,62$ à gauche. Pour ce qui est des opératrices ayant effectué la tâche de jointure, le score RULA moyen était de $6 \pm 0,21$. Plus précisément, elles ont obtenu un score de $6,04 \pm 0,21$ à droite et de $5,97 \pm 0,21$ à gauche. Les résultats pour l'ensemble des opérateurs sont décrits dans le tableau 1.

Participants	Tâche effectuée	Score RULA	
		Droite	Gauche
S1	Laçage	$6,05 \pm 1,1$	$6,16 \pm 0,99$
S2	Laçage	$5,62 \pm 1,17$	$5,29 \pm 1,42$
S3	Jointure	$5,89 \pm 1,07$	$5,82 \pm 1,1$
S4	Jointure	$6,19 \pm 0,8$	$6,11 \pm 0,67$

Tableau 1 : score RULA moyens à droite et à gauche obtenus par l'ensemble des sujets (\pm écart-types).

D'après McAtamney et Corlett [9], ces résultats suggèrent que les deux postes de travail doivent être rapidement modifiés.

Pourcentage de temps passé à un score élevé

Les pourcentages de temps montrent que les opérateurs associés à la tâche de laçage passent la majeure partie de leur temps à un score de 5-6 (droite : $45,23 \pm 4,63\%$; gauche : $40,72 \pm 1,28$). Ils passent également un temps non négligeable à un score de 7 (droite : $37,76 \pm 15,28\%$; gauche : $38,6 \pm 15,99\%$). Le pourcentage de temps passé à un score de 3-4 est de $17,01 \pm 3,01\%$ à droite et de $20,7 \pm 9,27\%$ à gauche. Pour les opératrices chargées de la tâche de jointure, les pourcentages de temps passés à un score de 5-6 sont plus élevés (droite : $52,65 \pm 4,5\%$; gauche : $60,46 \pm 11,38\%$). Un score de 7 est obtenu pour $38,2 \pm 2,81\%$ du temps à droite, et $30,16 \pm 4,98\%$ à gauche. Enfin, les opératrices ont passé un faible pourcentage de temps à un score de 3-4 (droite : $9,15 \pm 4,12\%$; gauche : $9,38 \pm 5,4\%$). Les résultats individualisés sont représentés dans la figure 2.

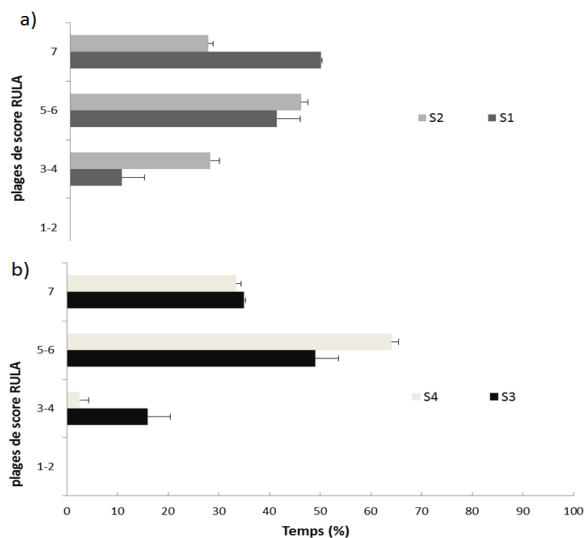


Figure 2 : Pourcentages de temps passé aux différentes plages de score RULA pour chaque opérateur pour les tâches de laçage (a) et de jointure (b).

Scores articulaires/segmentaires moyens

La méthodologie mise en place nous a permis de calculer les scores de risque associés à chaque articulation/segment au cours du mouvement. A partir de seuils de risque définis précédemment pour différentes tâches manuelles [16,17], nous avons pu démontrer que le score local associé au poignet et à la main des opérateurs de laçage était au-dessus du seuil de risque fixé à 5 (droite : $5,07 \pm 0,02$; gauche : $5,07 \pm 0,04$).

DISCUSSION

Cette étude avait pour but de réaliser une évaluation en ergonomie physique pour la prévention des TMS pour deux postes de travail lors de la fabrication de selle d'équitation. A cet effet, il a été fait usage de centrales inertielles sans fil positionnés sur le haut du corps des opérateurs, couplés à une caméra. Les capteurs embarqués nous ont fourni les angles articulaires nécessaires à l'emploi de la méthode RULA. Cette méthodologie a été automatisée pour obtenir un score de risque ergonomique à chaque pas de temps. De plus, l'implémentation informatique de cette méthode nous a donné accès aux scores locaux associés à chaque articulation/segment durant la tâche. Ces scores indiquaient respectivement le risque global d'exposition à des TMS pendant la réalisation de la tâche (score global), et le risque localisé d'atteinte articulaire (scores locaux).

Les résultats ont montré que les deux tâches analysées, laçage et jointure, étaient soumises à risque élevé de développement de TMS car le score global était situé au-dessus de 5. Il apparaît donc nécessaire, d'après la méthodologie RULA, de modifier l'organisation de ces postes de travail. De plus, l'analyse des scores locaux a révélé une sollicitation accrue du poignet et de la main lors de la tâche de laçage. Il sera donc nécessaire de focaliser la reconception du poste de laçage sur ces mouvements associés.

La méthodologie ergonomique employée apparaît innovante à plusieurs niveaux. Tout d'abord, au niveau matériel : les centrales inertielles ont permis d'enregistrer l'activité humaine en continu sans gêner la réalisation de la tâche. Ensuite, au niveau méthodologique : les angles articulaires constituaient la variable d'entrée de la méthode RULA automatisée, permettant ainsi un calcul du score ergonomique de manière continu. Enfin, au niveau biomécanique : le calcul des scores locaux nous a indiqué les régions anatomiques les plus susceptibles de subir une atteinte traumatique, c'est-à-dire le poignet et la main dans le cas présent pour la tâche de laçage. L'ensemble de ces éléments vont permettre d'orienter la modification des postes de travail de manière cohérente et scientifique. L'utilisation de potences, de tapis antifatigue et de repose-pieds réglables est d'ores et déjà envisagée. Au niveau des outils manuels, la fixation de pince à coudre devant l'opérateur pourrait permettre à l'opérateur d'adopter une meilleure posture.

Néanmoins, la méthodologie décrite peut contenir certaines limites. Ainsi, le modèle biomécanique associé aux capteurs embarqués n'a pas été validé dans la littérature et devrait faire l'objet d'une étude comparative avec un système de référence tel qu'un système optoélectronique. La méthodologie RULA souffre d'un manque de données épidémiologiques fiables. De plus, l'automatisation d'une telle méthode nécessite la

formulation d'hypothèses [17] qu'il faudrait valider. Enfin, le faible nombre de sujets permet difficilement une analyse statistique approfondie, même s'il s'agit là de contraintes de terrain relativement fréquente en ergonomie.

A moyen terme, cette évaluation sera de nouveau réalisée après modification des postes de travail et il est attendu que les scores RULA globaux et locaux seront alors diminués significativement, démontrant l'intérêt d'une telle démarche en ergonomie physique.

CONCLUSION

5. Cette étude avait pour objectif la réalisation d'une évaluation ergonomique pour deux postes de travail dans le métier de sellier. A partir de capteurs embarqués et de l'outil ergonomique RULA, cette méthodologie innovante a permis une évaluation précise en continu des tâches réalisées. Ainsi, les deux postes de travail doivent faire l'objet de modification. De plus, les sous-tâches associées au poignet et à la main devront être considérées avec une attention particulière. Cette évaluation va permettre une reconception des postes de travail. Les tâches réalisées suite à cette reconception seront de nouveau évaluées par la méthodologie décrite dans cette étude, afin de valider l'approche anthropocentrée proposée.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient l'entreprise Voltaire Design, qui a rendue possible la mise en place de cette étude.

BIBLIOGRAPHIE

1. Das et al. A systematic review of work-related musculoskeletal disorders among handicraft workers. *Int J Occup Safety Ergon* (2018), 1-30.
2. David, G.C. Ergonomic methods for assessing exposure to risk factors for work-related musculoskeletal disorders. *Occup.Med-Oxford* (2005) 55, 190-199.
3. Dianat, I., Salimi, A. Working conditions of Iranian hand-sewn shoe workers and associations with musculoskeletal symptoms. *Ergonomics* (2014), 57:4, 602-611.
4. Dianat, I., Kord, M., Yahyazade, P., Ali Karimi, M., Stedmon, A.W. Association of individual and work-related risk factors with musculoskeletal symptoms among Iranian sewing machine operators. *Appl. Ergon* (2015), 190-188.
5. Dianat, I., Ali Karimi, M. Musculoskeletal symptoms among handicraft workers engaged in hand sewing tasks. *J Occup Health* (2016), 58: 544-652.
6. Habibi, E., Zare, M., Haghi, A., H, P., Hassanzadeh, A. Assessment of physical risk factors among artisans using occupational repetitive actions and Nordic questionnaire. *Int J Env Health Eng* (2013), 2-14.
7. Kuorinka, I., Jonsson, B., Kilbom, A., Vinterberg, H et al. Standardised Nordic questionnaires for the analysis of musculoskeletal symptoms. *Appl Ergon* (1987) ; 18 (3): 233-37.
8. Kushwaha, D., Kane, P.V. Ergonomic assessment and workstation design of shipping crane cabin in steel industry. *International Journal of Industrial Ergonomics* (2016), 29-39.
9. McAtamney, L., Corlett, E.N. RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders. *Appl Ergon* (1993), 24, 91-99.
10. Meksawi, S., Tangtrakulwanich, B., Chongsuvivatwong, V. Musculoskeletal problems and ergonomic risk assessment in rubber tappers: A community-based study in southern Thailand. *Int J Ind Ergon* 42 (2012), 129-135.
11. Nordander, C., Hansson, G-A., Ohlsson, K., Arvidsson, I., Balogh, I., Strömberg, U., Rittner, R., Skerfving, S. Exposure-response relationships for work-related neck and shoulder musculoskeletal disorders – Analyses of pooled uniform data sets. *ApplErgon* 55 (2016), 70-84.
12. Öztürk, N., NihalEsin, M. Investigation of musculoskeletal symptoms and ergonomic risk factors among female sewing machine operators in Turkey. *International Journal of Industrial Ergonomics* (2011), 585-591.
13. Peppoloni, L., Filippeschi, A., Ruffaldi, E., Avizzano, C.A. (WMSDs issue) A novel wearable system for the online assessment of risk for biomechanical load in repetitive efforts. *Int J Ind Ergon* 52 (2016), 1-11.
14. Plantard, P., Mullen, A., Pontonnie, C., Dumont, G., Shum, H.P.H., Multon, F. Inverse dynamics based on occlusion-resistant Kinect data : Is it usable for ergonomics?. *Int J Ind Ergon* 61 (2017), 71-80.
15. Roquelaure, Y., Ha, C., Leclerc, A., Touranchet, A. et al. Epidemiologic surveillance of upper-extremity musculoskeletal disorders in the working population. *Arthritis Rheum* 55 (2006), 765-778.
16. Vignais, N., Miezal, M., Bleser, G., Mura, K., Gorecky, D., & Marin, F. (2013). Innovative system for real-time ergonomic feedback in industrial manufacturing. *Appl Ergon*, 44 (2013), 566-574.
17. Vignais, N., Bernard, F., Touvenot, G., & Sagot, J. C. (2017). Physical risk factors identification based on body sensor network combined to videotaping. *Appl Ergon*, 65 (2017), 410-417.