



Influence de stimulations nociceptives sur le sens de repositionnement céphalique

(Impact of nociceptive stimuli on cervical kinesthesia)

J. Vaillant^{1,2}, D. Meunier¹, JL. Caillat-Mioussé¹, G. Virone³, B. Wuyam², R. Juvin⁴.

¹ Centre de Recherche et d'Innovation en Kinésiologie, Kinésiopathologie et Kinésithérapie (CRIK3), École de Kinésithérapie du Centre Hospitalier Universitaire de Grenoble, Institut Universitaire Professionnalisé en Ingénierie de la Santé, BP 217, 38049 Grenoble Cedex 09

² Laboratoire HP2, INSERM ERI 027, Equipe Rex-S, Université Joseph Fourier, BP 53, 38049 Grenoble cedex 09.

³ Department of Computer Science, University of Virginia, Charlottesville, VA 22904-4740, USA.

⁴ Service de Rhumatologie du CHU de Grenoble, BP 217, 38049 Grenoble Cedex 09.

Auteur correspondant :

Jacques Vaillant,

École de Kinésithérapie du Centre Hospitalier Universitaire de Grenoble,

BP 217, 38049 Grenoble cedex 9

JVaillant@chu-grenoble.fr

Mots Clés :

- nociception
- proprioception
- rachis cervical
- repositionnement céphalique
- douleur

Résumé :

Objectif. Le but de cette étude était d'évaluer l'impact de stimuli nociceptifs sur la capacité proprioceptive cervicale. **Méthode.** Trente sujets jeunes et sains ont effectué un test de repositionnement céphalique (TRC) dans deux conditions aléatoires : avec une stimulation électrique nociceptive (condition « douleur ») et avec une stimulation électrique indolore (condition « contrôle »). Le TRC consistait à faire repositionner la tête sur le tronc, après un mouvement actif de la tête dans le plan transversal, les yeux clos. Le pointage, enregistré par vidéo, s'effectuait au départ et à l'arrivée de chaque rotation. **Résultats.** L'erreur moyenne de repositionnement était de $3,98 \pm 0,99^\circ$ (moyenne, écart-type) en condition « douleur » contre $1,75 \pm 0,37^\circ$ en condition « contrôle » ($p < 0,01$). **Conclusion.** La douleur aiguë induit une perturbation des capacités proprioceptives cervicales sans qu'il y ait de détérioration des structures anatomiques. Ce constat suggère l'intérêt d'une prise en charge précoce de la douleur pour éviter les perturbations sensorielles, et en complément, l'utilité d'une rééducation cervicale proprioceptive après tout épisode algique.

Key words

- nociception
- proprioception
- neck
- cervicocephalic relocation test
- pain

Summary

The goal of this study was to evaluate the impact of nociceptive stimuli upon the cervical proprioception ability. Method. Thirty healthy young subjects performed a cervicocephalic relocation test (CRT) in two random conditions: the first one was based on a nociceptive electric stimulation called condition “pain”, whereas the second one was targeting a painless electric condition called condition “control”. The CRT consisted of repositioning the head on the trunk, after an active transversal movement of the head in the transverse field with closed eyes. The pointing was recorded at the beginning and at the end of each rotation using a custom video acquisition system. Results. The average mean of error repositioning was worth $3.98 \pm 0.99^\circ$ (average mean, standard deviation) in the condition “pain”, and $1.75 \pm 0.37^\circ$ in the condition “control” ($p < 0,01$). Conclusion. Acute pain provokes a disturbance of the cervical proprioception ability without damaging the anatomic structure. This observation suggests the interest of an early follow-up of the pain to avoid sensory disturbances, as well as the establishment of a cervical proprioceptive rehabilitation program after an algic event.

INTRODUCTION.

La cervicalgie est un symptôme fréquent dont l'incidence est estimée de 14 à 43 % [26]. Ce symptôme est une identité clinique caractérisée par une douleur cervicale mais dont les autres signes cliniques sont polymorphes [27]. Les sources anatomiques de douleur cervicale sont diverses : le disque intervertébral, les articulations zigapophysaires, les articulations uncovertébrales, les muscles et les ligaments [9,26]. Au niveau des perturbations fonctionnelles, plusieurs études ont mis en évidence une détérioration de la capacité proprioceptive du rachis cervical, au décours d'une cervicalgie aiguë (de type « coup de fouet » cervical) [12,13,15,17] ou chronique (de type cervicalgie commune) [28-30].

La diminution observée des performances proprioceptives pourrait, soit provenir d'une détérioration des informations sensorielles par la lésion d'une ou plusieurs des structures anatomiques constituant le rachis cervical, soit d'un conflit entre les informations sensorielles et nociceptives. En effet, le rachis cervical est très riche en récepteurs sensoriels [1,19]. Parallèlement, l'implication de ces récepteurs sensoriels musculaires, péri-articulaires et articulaires dans le contrôle postural est aujourd'hui démontrée. La fatigue musculaire [11,31,32,37], les dystonies [39], les cervicalgies [20], les névralgies-cervico-brachiales [14] induisent une diminution des performances d'équilibre. Cependant comme précisé par Bennell et al. [3,4] sur une problématique similaire au niveau du genou, chez les patients symptomatiques, il est difficile de savoir si la perturbation posturale est due à la douleur ou aux

détériorations structurales associées à la pathologie. Le lien de causalité ne peut être établi dans une étude comparant sujets sains et sujets pathologiques. La douleur peut, d'une part, être la conséquence des tensions musculaires et de l'altération de différentes structures passives et actives qui perturbent la proprioception cervicale, et d'autre part, être directement la cause des perturbations proprioceptive [22]. Aussi, l'utilisation d'un modèle expérimental de la douleur est nécessaire [18].

L'évaluation de la capacité à repositionner la tête dans une position neutre (ou test de repositionnement céphalique) est un test très employé pour évaluer la proprioception du rachis cervical chez les sujets sains [28], les cervicalgiques [28,29], les cervicalgiques chroniques [13] et les sujets victimes d'un coup du lapin (*Whiplash*) [12,17,35,36]. Le test bénéficie d'une bonne reproductibilité [23,24].

Le but de cette étude était d'évaluer, chez des sujets sains, si une stimulation douloureuse aiguë délivrée de façon expérimentale, par appareil d'électrothérapie, induisait une modification de la kinesthésie cervicale. L'hypothèse testée était que la douleur peut induire une diminution des performances kinesthésiques, en absence de toute lésion anatomique ou dysfonctionnement mécanique.

PATIENTS ET METHODES

Population :

La population était composée d'étudiants volontaires. Arbitrairement, 30 ont été recrutés, ils devaient être indemnes de toute pathologie cervicale, de toute douleur cervicale ou céphalique et ne devaient pas présenter de contre-indications à l'application d'électrothérapie. Enfin, les personnes devaient approuver et signer le formulaire de consentement éclairé.

Matériel :

Un pointeur laser était solidement fixé sur la tête des sujets à l'aide d'un casque sanglé (figure 1) et relié par un fil électrique à un bouton-poussoir maintenu par les sujets. Le test était filmé pour une analyse des performances par informatique.

Méthode :

Concernant la tâche à réaliser et l'installation du sujet, au cours du test de repositionnement céphalique (TRC), nous avons repris de manière stricte les principes décrits par Minguet et al. et Revel et al. [21,28]. Le sujet était en position assise adossée sur une chaise à dossier haut, les mains reposant sur ses cuisses (figure 1). Il devait définir la position de référence « droit devant », les yeux fermés, face à un mur blanc distant de trois mètres, dans une position confortable du cou. La consigne était de mémoriser cette position puis de presser le bouton poussoir afin de déclencher le faisceau lumineux. L'impact du faisceau constituait le « point zéro ». Puis, le sujet réalisait un mouvement actif de rotation horizontale, dans toute l'amplitude confortable du mouvement, en 2 secondes environ. La tâche consistait alors à retrouver la position de référence en réalisant le mouvement retour, sans consigne de vitesse, mais avec

le maximum de précision. Quand le sujet pensait être revenu exactement dans la position de référence, il déclenchait à nouveau le faisceau lumineux. L'impact du faisceau constituait le « point de repositionnement » [23,24].

Une série comprenant cinq mesures, comme validé par Pinsault et al. [23], a ainsi été effectuée en renouvelant la même procédure, d'abord d'un côté, puis de l'autre, selon un ordre défini de façon aléatoire, soit un total de 10 repositionnements.

Les pointages successifs effectués par les sujets étaient enregistrés par une caméra vidéo numérique, filmant à 25 images par seconde, installée juste derrière le sujet. Dans un second temps, l'image de chacun des pointages du laser sur le mur était extraite à l'aide d'un logiciel de traitement d'image, de type Adobe – Première Pro ®. Enfin, à partir de l'image du « point zéro » et de l'image du « point de repositionnement », l'écart en pixels (traduite en cm) entre les deux points était déterminé à l'aide du logiciel Kinestheneck ® mis au point à cet effet [23,24].

Procédure de stimulation

Le TRC était effectué au décours d'une application d'une électrostimulation dans deux conditions « douleur » et « contrôle », enchainées, sans période de repos, dans un ordre établi par tirage au sort.

La stimulation électrique était produite par un générateur de type Biostim 6025 ®, dont les paramètres de stimulation étaient les suivants : durée

d'impulsion de 500 ms, pente d'impulsion progressive (afin de provoquer une sensation douloureuse), période d'impulsion et temps de repos toutes les secondes. Les électrodes étaient de type « caoutchouc » avec interposition d'un gel conducteur neutre. L'anode et la cathode étaient disposées, selon randomisation, l'une sur C4 et l'autre sur C7.

Une fois le sujet installé, en condition « douleur », on demandait au sujet de régler l'intensité du courant et de s'arrêter quand il estimait avoir atteint une sensation douleur « moyenne ». Une appréciation à l'aide d'une Echelle Visuelle Analogique (EVA) était alors proposée, puis réitérée juste à la fin de la stimulation. En condition « contrôle », le sujet réglait l'intensité au seuil de perception du passage du courant. Une fois ces réglages effectués, le sujet réalisait le TRC.

Les variables dépendantes

La variable principale étudiée était l'erreur de repositionnement définie comme la moyenne des « erreurs de repositionnements » de chacun des 10 essais. Celle-ci représentait la valeur absolue de l'erreur de repositionnement calculée à partir de la distance la plus courte entre le « point zéro » et le « point de repositionnement ». Les composantes horizontale et verticale de l'erreur étaient également obtenues et constituaient des variables secondaires. Elles représentaient la moyenne des erreurs horizontales et verticales calculées respectivement à partir de la distance entre une ligne verticale et horizontale passant par le « point zéro » et le « point de repositionnement ». Les erreurs étaient exprimées en degrés d'angle.

Analyse statistique

Les données recueillies après extraction informatique étaient traitées sous logiciel Abacus-Statview ®. Les variables ne répondant pas à la loi normale, le test non paramétrique de Wilcoxon pour séries appariées a été utilisé. Sous hypothèse alternative bilatérale, le seuil α était fixé par convention, à 0,05.

RESULTATS.

Les résultats sont exprimés en (moyenne \pm écart-type). Au total, la population est composée de 16 filles et 14 garçons âgés de $21,7 \pm 3,3$ ans mesurant $173,4 \pm 9,0$ cm et pesant $66,3 \pm 9,5$ Kg. Durant la condition « douleur », la cotation à l'EVA est de $5,4 \pm 1,1$.

L'erreur de repositionnement en condition douloureuse au TRC est de $3,98 \pm 0,99^\circ$ contre $1,75 \pm 0,37^\circ$ en condition « contrôle » ($p < 0,01$) (tableau 1, figure2).

L'erreur moyenne dans le plan horizontal (figure 3), en condition « douleur » est de $3,31 \pm 0,1^\circ$ contre $1,36 \pm 0,41^\circ$ en condition « contrôle » ($p < 0,01$). Dans le plan vertical (figure 4), l'erreur moyenne selon les conditions est respectivement de $1,6 \pm 0,64^\circ$ et $0,83 \pm 0,22^\circ$ ($p < 0,01$).

DISCUSSION.

Dans notre étude, l'application d'une stimulation électrique nociceptive altère de façon significative la kinesthésie cervicale en comparaison à la perturbation que peut amener une stimulation électrique indolore.

Les performances des sujets en condition contrôle sont conformes aux données de la littérature, laissant penser que la modification de performance, induite par la stimulation liminale, n'est pas certain. En effet, Rix et Bagust [30] ont noté une erreur moyenne de repositionnement de $4,2^\circ$, contre $0,69$ à $1,57^\circ$ pour Loudon et al. [17], $2,7^\circ$ pour Heikkila et Aström [12], $2,2$ à $3,0^\circ$ pour Kristjansson et al. [16,17], $2,5$ à $3,3^\circ$ pour Strimpakos et al. [33], $3,1^\circ$ pour Revel et al. [28] et $3,96$ à $6,00^\circ$ pour Demaille-Wlodyka et al. [7].

Par contre, les performances des sujets sains en condition douleur ($3,98 \pm 0,99^\circ$) restent parmi les meilleures performances décrites chez les sujets souffrant des cervicales et également en deçà de la valeur seuil (*cut-off*) de $4,5^\circ$ proposée par Revel et par Minguet [21,28]. En effet, selon les études, les performances de sujets cervicalgiques sont variables : $3,6^\circ$ pour Armstrong et al. [2], $2,8$ à $4,5^\circ$ pour Treleaven et al. [36], $3,3$ à $4,1^\circ$ pour Kristjansson et al. [15], $3,99$ à $4,32^\circ$ pour Heikkila et al. [12,13], $5,7^\circ$ pour Rix et Bagust [30], $6,1$ à $7,7^\circ$ pour Revel et al. [28,29].

Plusieurs hypothèses peuvent être proposées pour expliquer une performance perturbée mais restant meilleure que celle des sujets pathologiques chroniques. D'une part, les sujets recrutés sont jeunes et sains, et d'autre part, il s'agit d'une douleur de durée brève. Même si la performance n'est pas dépendante de

l'âge en condition sans douleur [7], il peut être posé l'hypothèse que des sujets jeunes pourraient pondérer les informations sensorielles perturbées induites par l'électrostimulation. Aussi la plasticité dans le traitement des afférences leur permettrait de pondérer les informations nociceptives et informations sensorielles. Cette capacité d'adaptation a été observée lors de la réalisation de tâches de contrôle postural, au cours desquelles des informations sensorielles, cognitives ou douloureuses sont modifiées de façon brutale [3,4].

Autre possibilité, du fait de la stimulation nociceptive essentiellement cutanée, seules les afférences tégumentaires sont perturbées alors que les afférences musculaires et articulaires sont intactes et peuvent ainsi compenser. Enfin, les sujets étant sains, on peut supposer qu'ils n'avaient *a priori* ni lésion anatomique, ni perturbations de leur schéma corporel comme cela peut être le cas chez des sujets atteints de pathologies traumatiques ou chroniques du rachis. Néanmoins, des expériences complémentaires sont nécessaires pour affirmer ou infirmer ces différentes hypothèses.

Enfin, dans un souci éthique et méthodologique, nous avons choisi de demander au sujet de s'auto-induire seulement une « douleur moyenne ». Il s'agissait de respecter deux principes fondamentaux : ne pas risquer de lésions (cutanées plus particulièrement) et de ne pas provoquer de contractions musculaires. De plus, il n'y avait pas d'arguments scientifiques solides pour supposer l'existence d'un niveau seuil minimal. En effet, plusieurs auteurs [12,28] ont constaté cliniquement, chez les cervicalgiques, qu'il n'y avait pas

de corrélation entre l'intensité de la douleur ressentie et la perturbation de la kinesthésie.

Le but de notre travail étant d'étudier l'effet de la douleur et non pas la douleur musculaire, aussi nous avons fait le choix de placer nos électrodes de façon médiale, en regard des apophyses épineuses. Cette localisation est susceptible de provoquer des sensations douloureuses peu différenciées à la fois cutanées ou musculaire, cliniquement assez semblables à celles décrites par les patients. Enfin, Revel et al. [28], n'ont pas trouvé de lien entre l'importance des détériorations au TRC et le type de cervicalgie.

Si Corbeil et al. [6] ont mis en évidence l'effet négatif sur le contrôle postural d'une perturbation douloureuse appliquée sur une zone anatomique impliquée dans ce contrôle, ils n'en ont pas totalement élucidé le mécanisme. Leur travail tend à démontrer que c'est bien la perturbation sensorielle et non pas la perturbation cognitive liée à la douleur qui occasionnent la diminution de performance. Dans notre expérience, bien que la stimulation douloureuse soit appliquée sur un temps court, il n'est pas possible d'éliminer *a priori* l'hypothèse que la stimulation douloureuse cutanée pourrait induire une perturbation de l'image corporelle [38] ou engendrer un défaut d'intégration des informations sensorielles tel que décrit par Gandevia & Phegan [10]. En effet, au cours de la tâche de repositionnement céphalique, la précision est très dépendante des afférences sensorielles. Les différents stimuli électriques réalisés au cours de l'expérience ont été véhiculés d'une part par les fibres myélinisées de gros A β et petit diamètre A δ et d'autre part par les fibres non-

myélinisées de type C. Dans la condition « douleur », ce sont donc essentiellement les fibres A δ et C qui ont été sollicitées. A l'inverse, en condition « contrôle » se sont principalement les fibres A β qui sont stimulées par le courant électrique. La modulation sensitive segmentaire [8], habituellement décrite par son versant d'antinociception segmentaire ou « *gate control* » pourrait agir de façon inverse en cas de douleur intense, perturbant les afférences sensorielles non nociceptives.

En terme clinique, les résultats de notre travail, montrent que la douleur aiguë provoquée d'origine électrique est un facteur à lui seul suffisant pour perturber la proprioception cervicale. Au niveau de la prise en charge médicale et kinésithérapique, il apparaît que la recherche d'antalgie est importante pour répondre à la plainte du patient mais également pour prévenir les conséquences indirectes en termes de proprioception et de fonction.

Les bénéfices de la lutte contre la douleur pourraient également être évalués en termes de capacité proprioceptive. La difficulté en évaluation clinique est de distinguer les effets de la rééducation comprenant le plus souvent des techniques de rééducation sensitivo-motrice ou oculo-cervicales [25] des effets des autres traitements médicaux, nonobstant les interactions entre les deux. Enfin, cela pose la question de l'intérêt d'éviter une prolongation dans le temps des informations kinesthésiques « perturbées », car des phénomènes de « potentialisation » de ces afférences sensibles « perturbées » ont déjà été décrits à d'autres niveaux corporels [3].

D'une manière plus générale, la détérioration observée de la proprioception cervicale pourrait être un facteur explicatif des perturbations des capacités posturales observées chez les sujets souffrant du rachis cervical [11,14,20,31,32,37,39]. La douleur pourrait occasionner une perturbation sensorielle à l'origine de ces troubles de posture. Une étude utilisant un modèle expérimental de la douleur serait utile pour étayer cette hypothèse.

CONCLUSION.

En résumé, les résultats de notre expérience démontrent que les douleurs cervicales brèves, occasionnent une perturbation de la capacité kinesthésique vraisemblablement due à une perturbation des informations sensorielles. Ils suggèrent également que, chez les sujets pathologiques, les lésions ou modifications des structures anatomiques du rachis cervical ne sont pas les seuls facteurs de détérioration de la proprioception.

Ce constat apporte un nouvel argument à l'utilisation de techniques antalgiques qui outre le soulagement du patient pourraient contribuer à éviter des perturbations sensorielles conjointes.

Références bibliographiques.

1. Abrahams VC, Richmond JFR. Specialization of sensorimotor organization in the neck muscle system. *Prog Brain Res* 1988;76:125-35.
2. Armstrong BS, McNair PJ, Williams M. Head and neck position sense in whiplash patients and healthy individuals and the effect of the cranio-cervical flexion action. *Clin Biomech* 2005;20(7):675-84.
3. Bennell K, Wee E, Crossley K, Stillman B, Hodges P. Effects of experimentally induced anterior knee pain on knee joint position sense in healthy individuals. *J Orthop Res* 2005;23:46-53.
4. Bennell KL, Hinman RS. Effect of experimentally induced knee pain on standing balance in healthy older individuals. *Rheumatology* 2005;44:378-81.
5. Blouin JS. Mécanisme de stabilisation de la tête sur le tronc en posture assise ; Contribution réflexe, cognitive et adaptabilité de ses mécanismes. PhD Thesis, Université de Laval (Quebec) ;2004.
6. Corbeil P, Blouin JS, Teasdale N. Effects of intensity and locus of painful stimulation on postural stability. *Pain* 2004;108:43-50.
7. Demaille-Wlodyka S, Chiquet C, Lavaste JF, Skalli W, Revel M, Poiraudreau S. Cervical range of motion and cephalic kinesthesia: ultrasonographic analysis by age and sex. *Spine* 2007;32:E254-61.
8. Fouquet B, Borie MJ. Approche multidisciplinaire des cervicalgies communes. *Rev Rhum* 2004;71:665-9.
9. FitzGerald MJT, Folan-Curran J. *Clinical Neuroanatomy and related neuroscience*. New-York; Harcourt, 2002.

10. Gandevia SC, Phegan CML. Perceptual distortions of the human body image produced by local anaesthesia, pain and cutaneous stimulation. *J Physiol* 1999;514:609-16.
11. Gosselin G, Rassoulain H, Brown I. Effects of neck extensor muscles fatigue on balance. *Clin Biomech* 2004;19:473-9.
12. Heikkilä H, Astrom PG. Cervicocephalic kinesthetic sensibility in patients with whiplash injury. *Scand J Rehabil Med* 1996;28:133-8.
13. Heikkilä HV, Wenngren BI. Cervicocephalic kinesthetic sensibility, active range of cervical motion, and oculomotor function in patients with whiplash injury. *Arch Phys Med Rehabil* 1998;79:1089-94.
14. Karlberg M., Persson L., Magnusson V. Reduced postural control in patients with chronic cervicobrachial pain syndrome. *Gait Posture* 1995;3:241-49
15. Kristjansson E, Dall'Alba P, Jull G. A study of five cervicocephalic relocation tests in three different subject groups. *Clin Rehabil* 2003;17:768-74.
16. Kristjansson E, Dall'Alba P, Jull G. Cervicocephalic kinaesthesia: reliability of a new test approach. *Physiother Res Int* 2001;6:224–35.
17. Loudon JK, Ruhl M, Field E – Ability to reproduce head position after whiplash injury. *Spine* 1997;22:865-8.
18. Madeleine P, Lundager B, Voigt M, Arendt-Nielsen L. Shoulder muscle coordination during chronic and acute experimental neck-shoulder pain. An occupational pain study. *Eur J Appl Physiol* 1999;79:127-40.

19. Mc Lain RF, Pickar JG. Mechanoreceptor endings in human thoracic and lumbar facet joint. *Spine* 1998;23:168-73.
20. Michaelson P, Michaelson M, Jaric S, Latash ML, Sjölander P, Djupsöbacka M. Vertical posture and head stability in patients with chronic neck pain. *J Rehabil Med* 2003;35:229-35.
21. Minguet M, André-Deshays C, Revel M. Kinesthésie cervico-céphalique chez le cervicalgique. *Ann Readapt Med Phys* 1990;33:563-72.
22. Persson L, Karlberg M, Magnusson M. Effects of different treatments on postural performance in patients with cervical root compression: A randomized prospective study assessing the importance of neck in postural control. *J Vestib Res* 1996;6:439-53.
23. Pinsault N, Fleury A, Virone G, Bouvier B, Vaillant J, Vuillerme N. Test-retest reliability of cervicocephalic relocation test to neutral head position. *Physiother Theory Pract* (sous presse).
24. Pinsault N, Vaillant J, Virone G, Caillat-Miosse JL, Lachens L, Vuillerme N. Test de repositionnement céphalique : étude de la stabilité de performance. *Ann Readapt Med Phys*. 2006;49:647-51.
25. Poiraudau S, Revel M. Couplage oculocervical et cervicalgie chronique : incidence sur le sens de positionnement céphalique. *Ann Readapt Med Phys* 1998;41:279-82.
26. Rat AC, Guillemin F. Épidémiologie et impact médico-économique des cervicalgies. *Rev Rhum* 2004;71:653–8.
27. Rannou F, Revel M, Poiraudau S. Sources anatomiques de la douleur cervicale. *Rev Rhum* 2004;71:650–2.

28. Revel M, André-Deshays C, Minguet M – Cervicocephalic kinesthetic sensibility in patient with cervical pain. Arch Phys Med Rehabil 1991;72:288-91.
29. Revel M, Minguet M, Gergoy P, Vaillant J, Manuel JL – Changes in cervicocephalic kinesthesia after a proprioceptive rehabilitation program in patients with neck pain: a randomized controlled study. Arch Phys Med Rehabil 1994 ;75:895-9.
30. Rix GD, Bagust J – Cervicocephalic kinesthetic sensibility in patients with chronic, nontraumatic cervical spine pain. Arch Phys Med Rehabil 2001;82:911-9.
31. Schieppati M., Nardone A., Schmid M. Neck muscle fatigue affects postural control in man. Neuroscience 2003;121:277-85
32. Schmid M., Schieppati M. Neck muscle fatigue and spatial orientation during stepping in place in humans. J Appl Physiol 2005;99(1):141-53.
33. Strimpakos N, Sakellari V, Gioftsos G, Kapreli E, Oldham J. Cervical joint position sense: an intra- and inter-examiner reliability study. Gait Posture 2006;23:22-31.
34. Teasdale N, Simoneau M. Attentional demands for postural control : the effects of aging and sensory reintegration. Gait Posture 2001;14:203-10.
35. Treleaven J, Jull G, LowChoy N. The relationship of cervical joint position error to balance and eye movement disturbances in persistent whiplash. Man Ther 2006;11:99-106.

36. Treleaven J, Jull G, Sterling M. Dizziness and unsteadiness following whiplash injury: Characteristic features and relationship with cervical joint position error. *J Rehabil Med* 2003;35:36-43.
37. Vuillerme N, Pinsault N, Vaillant J. Postural control during quiet standing following cervical muscular fatigue: effects of changes in sensory inputs. *Neurosci Lett*. 2005;22;378:135-9.
38. Weerakkody NS, Percival P, Hickey MW, Morgan DL, Gregory JE, Canny BJ, Proske U. Effects of local pressure and vibration on muscle pain from eccentric exercise and hypertonic saline. *Pain* 2003;105:425-35.
39. Wober C, Schnider P, Steinhoff N, Trattinig S, Zebenholzer K, Auff E. Posturographic findings in patients with idiopathic cervical dystonia before and after local injections with botulinum toxin. *Eur Neurol* 1999;41:194-200.

Figures et tableaux

Tableau 1 : Erreur de repositionnement (hypoténuses angulaires, erreur horizontale, erreur verticale) et intervalle de confiance (à 95%), en condition « douleur » (D) et « contrôle » (C).

	Condition	Erreur de repositionnement Moyenne (\pm Ecart-type)	Intervalle de confiance à 95 %	
			Seuil bas	Seuil haut
Hypoténuse	C	1,75° (\pm 0,37)	1,62	1,88
	D	3,98° (\pm 0,99)	3,63	4,33
Erreur horizontale	C	1,36° (\pm 0,41)	1,21	1,51
	D	3,31° (\pm 0,10)	3,27	3,35
Erreur verticale	C	0,83° (\pm 0,22)	0,75	0,90
	D	1,60° (\pm 0,64)	1,37	1,83

Figure 1 : Le sujet était assis, les yeux clos, un casque solidement fixé sur sa tête et muni d'un pointeur laser relié par un système filaire à un bouton poussoir.

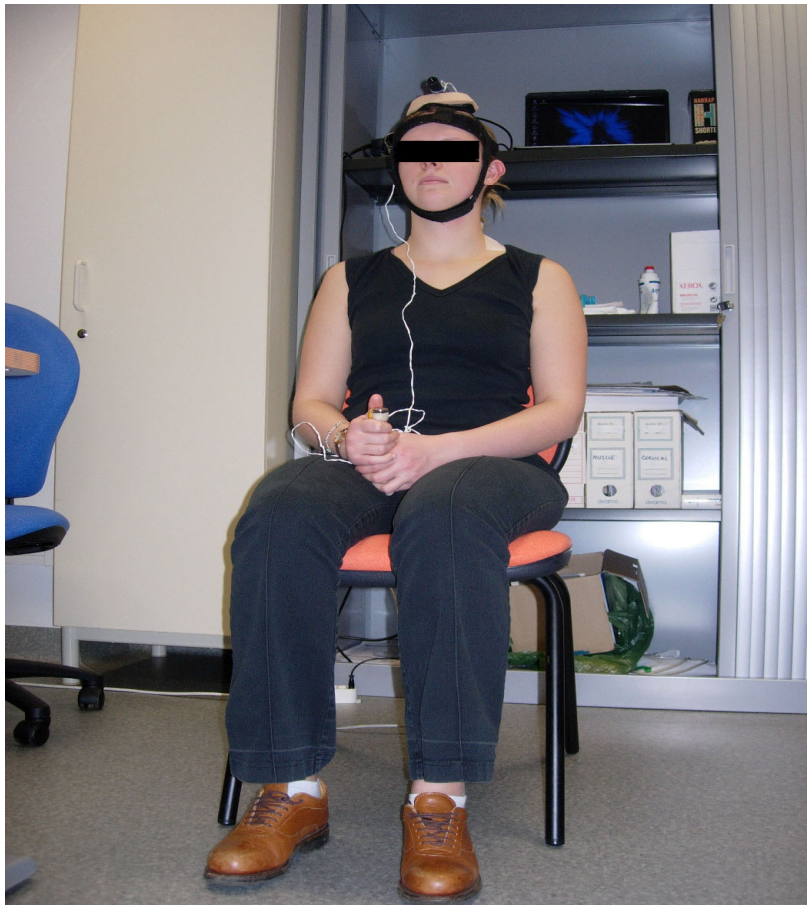


Figure 2 : Erreur de repositionnement (hypoténuse) en condition « douleur » et « contrôle » Moyenne (\pm Ecart-type)

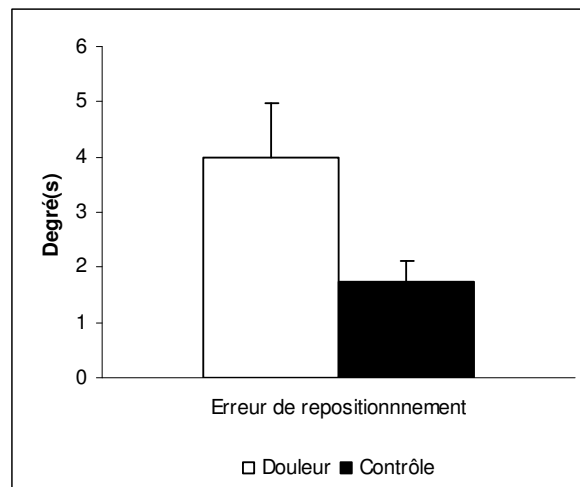


Figure 3 : Composante horizontale de l'erreur de repositionnement Moyenne (\pm Ecart-type)

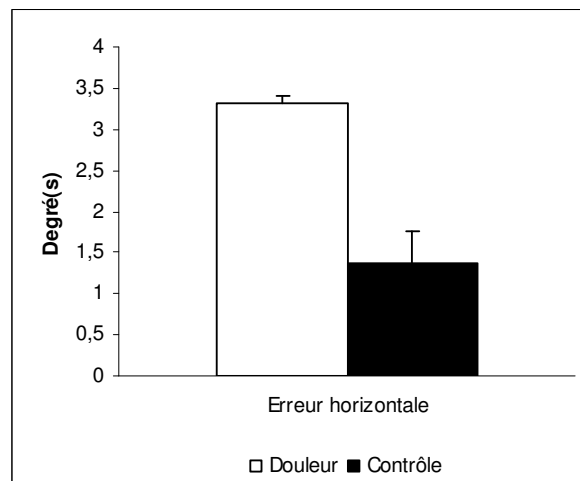


Figure 4 : Composante verticale de l'erreur de repositionnement Moyenne (\pm Ecart-type)

