

- Article
- [Libre accès](#)
- [Publié :27 avril 2022](#)

Les manipulations proprioceptives en posture orthograde modulent le contrôle postural chez les patients lombalgiques : une étude pilote

- [Nicolas Bouisset](#) ,
- [Augustin Roland Gosselin](#) ,
- [Maurice Ouaknine](#) &
- [Jean-Luc Safin](#)

[Rapports scientifiques](#) le volume 12 , Numéro d'article : 6860 (2022) [Citer cet article](#)

- [Métriquedes détails](#)

Abstrait

Lorsque nous nous tenons debout, les afférences perceptives sont cruciales pour réussir à générer des commandes motrices posturales. Les patients lombalgiques non spécifiques présentent fréquemment un manque d'acuité proprioceptive, se traduisant souvent par des déficiences du contrôle postural. Pour la première fois, à notre connaissance, nous avons étudié les effets posturaux des manipulations proprioceptives en posture orthograde chez des patients Lombalgiques Non Spécifiques. À l'aide d'enregistrements de posturographie statique, nous avons calculé la vitesse de balancement, la variance de la vitesse et la direction principale du balancement. Nous avons également abordé les rétroactions subjectives du patient après avoir été manipulé. Cinq minutes après les manipulations proprioceptives, nos résultats ont révélé une diminution de la vitesse et des résultats de variance de vitesse, mais la direction principale du balancement n'a pas été modulée. De plus, après les manipulations proprioceptives, les patients ont également auto-déclaré de meilleurs résultats cliniques. Ces résultats fournissent de nouvelles connaissances ouvrant de nouveaux domaines de recherche ainsi que des stratégies de traitement potentielles chez les patients souffrant de lombalgie.

Introduction

Le comportement moteur humain dépend du traitement des entrées sensorielles et des sorties du moteur. L'acuité sensorielle est primordiale pour exécuter des tâches motrices précises, et les signaux moteurs impactent l'intégration sensorielle lors du déplacement volontaire [1](#) . Les humains naviguent et agissent sur leur environnement debout. Par conséquent, la posture orthograde est l'interface principale entre la perception et l'action. Le contrôle postural est la base sur laquelle repose le contrôle moteur général de l'homme [2](#) , car l'équilibre doit être ajusté dynamiquement pour que les mouvements soient précis et exacts. De plus, la posture droite sert également de cadre de référence fondamental autour duquel la puissance motrice est contrôlée et organisée [2](#) . En effet, le contrôle de la musculature axiale et proximale apporte un soutien stabilisateur pour des performances motrices distales accrues [3](#) . De plus, lorsque nous nous déplaçons, les changements continus dans la géométrie du corps génèrent un déplacement dynamique du centre de masse. De tels changements nécessitent un contrôle modulateur préétabli par des Ajustements Posturaux Anticipatoires (APA) [4](#) , pour éviter les instabilités ou les chutes [5](#) . De tels ajustements dérivent de modèles internes corticaux régulièrement mis à jour par des processus d'intégration multisensoriels où la vision, la somatosensibilité, la proprioception ainsi que les informations vestibulaires sont liées au sein du système nerveux central [6](#) [7](#) .

Les personnes souffrant de lombalgie présentent des changements de contrôle moteur [8](#). Les patients souffrant de lombalgie non spécifique (NSLBP), par exemple, présentent souvent des déficiences du contrôle postural [9](#). La lombalgie non spécifique est définie comme « une douleur qui ne peut être attribuée à une pathologie reconnaissable (p. ex., infection, tumeur, ostéoporose, fracture, déformation structurelle, troubles inflammatoires, syndrome radiculaire ou syndrome de la queue de cheval) » [10](#) le débat est toujours en cours sur la manière de traiter un tel problème compte tenu des différentes approches utilisées en clinique [11](#).

Le NSLBP aigu modifie la façon dont les signaux proprioceptifs sont intégrés. Les patients atteints de NSLBP ont moins d'acuité proprioceptive et de conscience du bas du dos [12](#). De plus, avec le NSLBP, la proprioception est repondérée de telle sorte que le gain d'information de la cheville augmente tandis que le gain d'information lombaire diminue en conséquence [13](#)·[14](#). Au total, ces mécanismes de pondération modulent les processus intégratifs induisant des changements plastiques non seulement au niveau de la corne dorsale de la moelle épinière mais également au niveau cortical [15](#).

S'ils sont maintenus, ces processus modulateurs pourraient avoir des conséquences importantes. Premièrement, du fait des mécanismes proprioceptifs de repondération, les modèles internes mal modulés pourraient impacter les APA. Avec un contrôle postural altéré, les patients NSLBP pourraient être plus sujets aux instabilités et aux chutes [16](#). Deuxièmement, les mécanismes de repondération impliqués dans l'émergence du NSLBP pourraient, à travers les changements plastiques neurologiques, aider à passer d'états douloureux aigus à des états plus chroniques [15](#).

Dans ce contexte, faciliter l'intégration proprioceptive et améliorer le contrôle postural chez les patients NSLBP pourrait non seulement être potentiellement bénéfique pour leur rétablissement, mais pourrait également éviter aux patients d'évoluer vers des états douloureux plus chroniques.

Un système français de thérapie manuelle prétend moduler le contrôle moteur en général et le contrôle postural plus spécifiquement [17](#). Curieusement, un tel système utilise des techniques de manipulation proprioceptive tandis que le patient se tient droit dans sa posture orthograde fonctionnelle. Pourtant, à notre connaissance, un tel système n'a jamais été scientifiquement évalué et donc publié dans une revue internationale à comité de lecture. Aucun programme d'études supérieures spécifiques à la physiothérapie (c'est-à-dire, maîtrise et doctorat) n'est disponible en France. Cela pourrait potentiellement expliquer pourquoi un tel système n'a pas été étudié à ce jour, alors même que des milliers de kinésithérapeutes français l'utilisent quotidiennement dans leur pratique. Ainsi, pour la première fois, à notre connaissance, l'étude décrite dans cet article a examiné si de telles manipulations modulent le contrôle postural chez les patients NSLBP.

Le but de cette étude était double. Premièrement, l'étude visait à déterminer si le contrôle postural altéré connu chez les patients lombalgiques [8](#)·[9](#) pouvait être modulé par de telles manipulations. Deuxièmement, nous voulions également aborder la façon dont les patients se sentaient subjectivement après avoir été manipulés. Étant donné que ces manipulations proprioceptives sont utilisées comme techniques de traitement en France, nous avons émis l'hypothèse (1) d'un meilleur contrôle postural et (2) que les patients rapporteraient des commentaires positifs sur la façon dont ils se sentaient après les manipulations.

Méthodes

Intervenants

Après une recommandation de leur médecin traitant, nous avons demandé aux patients avec un diagnostic médical NSLBP s'ils seraient disposés à participer à l'étude actuelle. Des hommes et des femmes âgés de 20 à 60 ans ayant reçu un diagnostic de NSLBP aigu (moins de 3 mois) avec ou sans douleur à la jambe ont été recrutés pour l'étude. Pour éviter tout biais a priori, nous avons exclu les patients qui avaient déjà été traités avec les techniques évaluées dans les travaux en cours. En collaboration avec le médecin généraliste des patients et sur la base de leur dossier médical, les critères d'exclusion ont été définis comme suit : (1) antécédents de chirurgie lombaire, troubles rhumatismaux, neurologiques, inflammatoires et mentaux connus, (2) grossesse ou suspicion de grossesse, (3) suspicion d'infection, malignité, ostéoporose, fracture, (4) patients avec tout type de médicaments, (5) maladies vestibulaires et visuelles connues,

La taille de l'échantillon a été calculée à l'aide du package PWR dans R. En supposant un test bilatéral, un niveau de signification de $\alpha = 0,05$, une puissance de 0,8 et une valeur de d fixée à 0,8, un minimum de 33 participants était nécessaire. Compte tenu de ces critères, quarante-deux patients ont été recrutés pour l'étude (voir tableau [1](#) pour les statistiques descriptives).

Tableau 1 Statistiques descriptives des participants. Valeurs moyennes et écarts-types pour l'âge, la taille, le poids et la pointure.

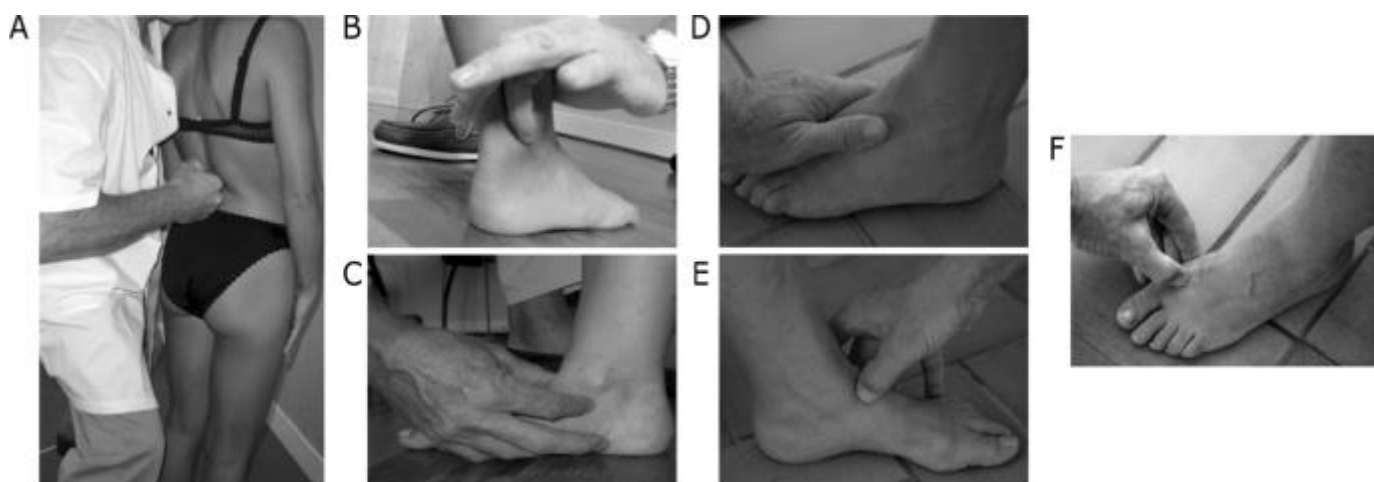
[Tableau pleine grandeur](#)

Procédure

L'expérience consistait en une seule séance d'environ une demi-heure au cours de laquelle les manipulations étaient appliquées une fois sur chaque partie du corps. Lors de la visite, deux mesures de contrôle postural ont été réalisées. Suivant un plan de mesures répétées, le premier enregistrement a été réalisé avant les manipulations proprioceptives et le second a été exécuté 5 min après.

Ces techniques sont toujours exécutées debout, dans la posture fonctionnelle orthograde du patient. Traditionnellement, chaque fois qu'un problème musculo-squelettique est traité à l'aide de ces techniques proprioceptives, les chevilles et les pieds sont toujours manipulés. Parce que le gain proprioceptif est favorablement repondéré au niveau des chevilles chez les patients NSLBP [13](#), [14](#), nous avons décidé d'incorporer les manipulations des chevilles et des pieds et de suivre la tradition. Par conséquent, nous avons exécuté les techniques manuelles une fois sur chaque cible anatomique fonctionnelle (Fig. [1](#)). Nous avons manipulé tous les niveaux de la colonne lombaire et des deux jambes au niveau des chevilles et des pieds. Chaque technique de manipulation durait environ 1 à 2 s.

Figure 1



Techniques de manipulation des lombaires, des chevilles et des pieds.

[Image pleine grandeur](#)

Chaque processus rachidien de L1 à L5 est manipulé selon la même technique (Fig. [1](#) A). Cette technique se fait avec l'articulation interphalangienne proximale de l'index en croisant linéairement les apophyses rachidiennes d'un côté à l'autre. Dans ce concept, et contrairement à la plupart des techniques de manipulation manuelle, l'orientation réelle de la technique est toujours la même en fonction de la main. En effet, l'orientation de la technique est inversée que le thérapeute soit droitier ou gaucher. Pour un thérapeute droitier (ce qui est le cas dans cette étude) les techniques lombaires sont toujours orientées de droite à gauche et en avant du processus rachidien.

Les muscles fibularis longus et fibularis brevis sont alternativement manipulés légèrement au-dessus de la face postérieure de la malléole latérale (Fig. [1](#) B). La technique se fait en tirant les tendons fibulaires vers l'avant avec le bord médial de l'index de la main homolatérale (c'est-à-dire la main droite pour le pied gauche et vice versa). En ce qui concerne les muscles tibialis postérieurs, la technique est exécutée en tirant le tendon vers l'avant et vers le haut avec la pulpe de l'index de la main controlatérale (Fig. [1](#) C). Lors de la manipulation des muscles tibialis antérieurs, la technique est exécutée avec la pulpe du pouce de la main controlatérale poussant vers l'avant et latéralement (Fig. [1](#) D).

Concernant les muscles extenseurs des orteils, la technique est exécutée avec le bord interphalangien médial du pouce de la main controlatérale poussant sur les tendons vers le haut et médialement (Fig. [1](#) E). Enfin, les longs extenseurs de l'hallux sont tous deux manipulés en poussant le tendon médialement avec le pouce de la main controlatérale (Fig. [1](#) F).

Une plateforme de force (Fig. [2](#)) (Cyber-Sabots, Innovative Technology, France) a été utilisée pour recueillir le balancement du corps des participants à 40 Hz. Les variables du centre de pression (COP) ont été calculées après l'enregistrement (voir « [Analyse des données](#) »). Toutes les données ont été acquises dans un environnement atténué par le bruit avec une température fixe (c'est-à-dire 21 °C).

Figure 2

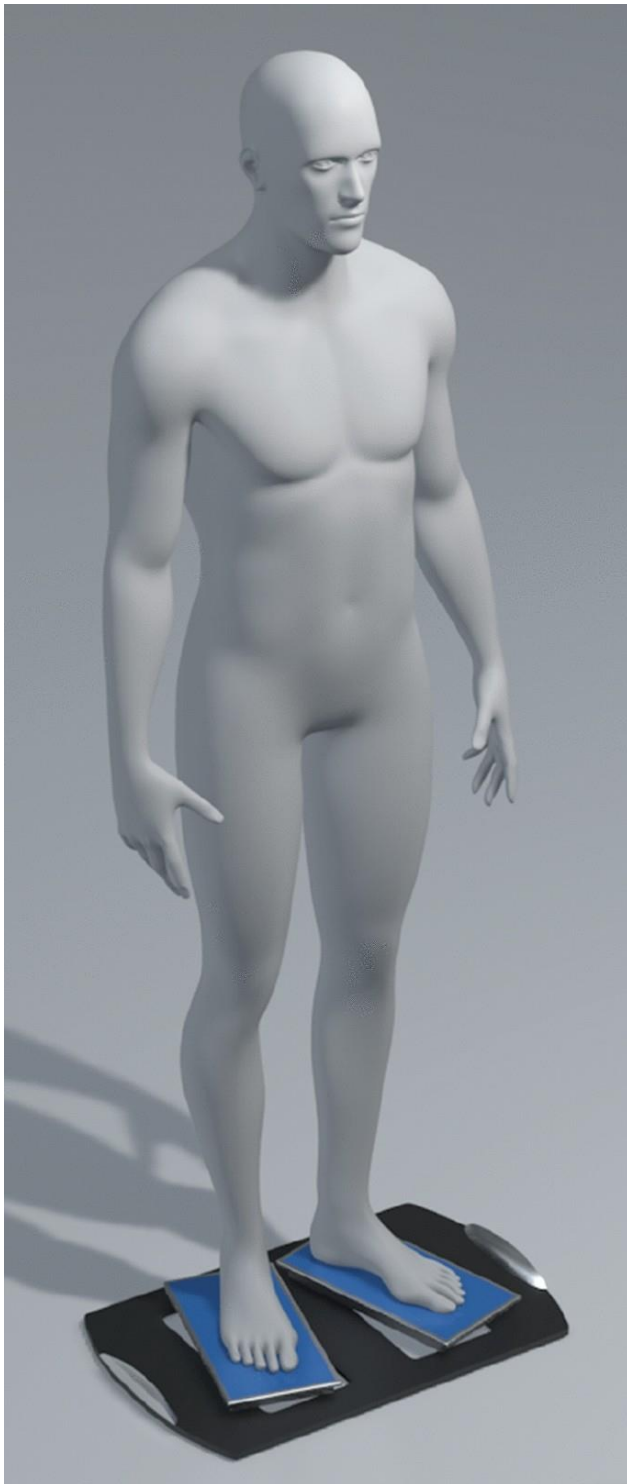


Deux plates-formes dynamométriques brevetées synchronisées distinctes, une pour chaque pied, constituent les Cyber-Sabots. Les marquages sérigraphiés de chaque semelle de pied sur les deux plaques mono permettent un placement correct en fonction de la taille des pieds du patient, maximisant la standardisation.

[Image pleine grandeur](#)

Étant donné une plus grande cohérence dans les mesures de la COP, les participants ont été explicitement invités à « se tenir aussi immobiles que possible » [18](#), sur la plateforme de force avec les yeux ouverts, les bras le long des côtés (Fig. [3](#)) et les pieds à un angle de 30° (figures [2](#) et [3](#)). La position des pieds était également obtenue en suivant les repères des plateformes par rapport à leur pointe (Fig. [2](#)). La position des pieds a également été choisie pour maximiser la standardisation des mesures. Les participants étaient pieds nus.

figure 3



Position du corps lors des mesures de contrôle postural. Les volontaires se tenaient les yeux ouverts, les bras le long du corps et les pieds positionnés à un angle de 30°, précisément localisés en suivant les repères gravés sur les plateformes.

[Image pleine grandeur](#)

Après avoir obtenu l'enregistrement de référence, le physiothérapeute a immédiatement manipulé les patients. Cinq minutes de repos ont été accordées entre la fin du traitement de manipulation et la deuxième mesure de contrôle postural. Pendant les périodes de repos, les participants pouvaient se détendre mais ne pouvaient pas s'asseoir pour éviter toute altération cérébrovasculaire qui pourrait

également biaiser les résultats posturaux après s'être relevé [19](#) . Chaque enregistrement a duré 51,2 s.

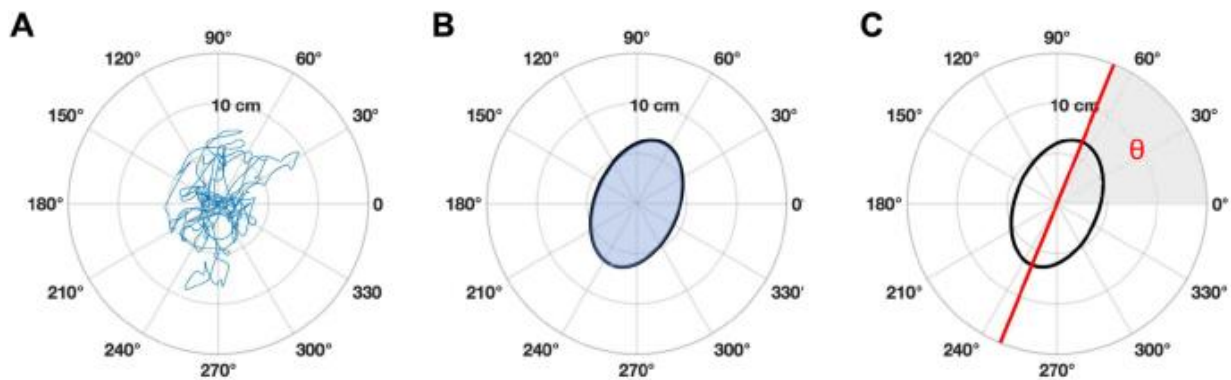
Enfin, nous avons demandé le retour des patients concernant ce qu'ils ressentaient pendant, ainsi qu'après les manipulations et à la fin de la période de repos. Juste après les manipulations, le kinésithérapeute a posé les questions suivantes : (1) "Voudriez-vous nous dire ce que vous avez vécu spécifiquement pendant les manipulations ?" et (2) "Y a-t-il quelque chose à propos du traitement que vous aimeriez nous dire maintenant ?". Puis, juste avant le deuxième enregistrement, le kinésithérapeute a demandé : "Y a-t-il quelque chose que vous aimeriez nous dire sur le traitement avant de procéder à la deuxième mesure ?". Enfin, le kinésithérapeute a posé cette dernière question : « Y a-t-il quelque chose que vous voudriez nous dire sur le traitement avant que nous terminions cette séance ? ».

L'étude a été menée conformément au protocole « Bonnes Pratiques Cliniques » et aux principes de la Déclaration d'Helsinki. Conformément à la loi française, tous les participants ont donné leur consentement verbal et écrit à participer après avoir été informés du protocole de l'étude, et leur confidentialité et leur anonymat ont toujours été préservés. La participation à l'étude n'a pas modifié la rééducation habituelle.

L'analyse des données

Les séries chronologiques COP ont été filtrées avec un filtre numérique passe-bas bidirectionnel Butterworth à phase zéro de 4e ordre avec une fréquence de coupure de 8 Hz. Comme conseillé par Winter [20](#) , la fréquence de coupure a été déterminée avec une analyse résiduelle, qui a été effectuée à l'aide d'un programme Matlab personnalisé. Les caractéristiques de balancement ont également été calculées à l'aide d'un programme Matlab personnalisé. Classiquement, les variables de balancement sont analysées sur les axes orthogonaux antéro-postérieur (AP) et médio-latéral (ML) indépendamment. Cependant, les analyses AP-ML sont connues pour être biaisées par des facteurs biomécaniques [21](#) tels que la position des pieds et les pieds des patients ont été contraints à un angle de 30°. Deuxièmement, les données AP et ML ne sont pas indépendantes car l'équilibre est contrôlé en coordonnant le corps dans l'espace dans les deux dimensions simultanément [22](#) . Par conséquent, nous avons privilégié les analyses de balancement planaire par rapport aux analyses unidimensionnelles AP-ML. Parmi les variables d'oscillation classiques, la longueur du trajet (la longueur totale de l'excursion COP) est signalée comme le résultat le plus sensible et le plus fiable [23](#) , [24](#) . Ainsi, nous avons calculé la longueur du trajet comme la somme totale des distances entre chaque point dans le plan AP-ML (Fig. [4](#) A). Cependant, comme la longueur du trajet varie avec la durée d'enregistrement des données, il est souvent difficile de comparer les résultats d'une étude à l'autre. Par conséquent, la vitesse moyenne appelée ici vitesse (longueur du trajet dans le temps) a été retenue.

Figure 4



Représentation graphique des variables dépendantes. En (A) le mouvement du COP est représenté par la ligne bleue. La longueur totale de la ligne bleue divisée par le temps passé à parcourir cette distance fournit la variable de vitesse. Dans (B), le mouvement du COP peut être résumé par la zone ombrée bleue représentant la zone de l'ellipse de l'intervalle de confiance à 95 %. Le grand axe de l'ellipse est utilisé pour calculer la direction principale du balancement. En (C) La ligne rouge représente la direction principale du balancement selon un angle θ , symbolisé par la zone grisée. Une direction de balancement à un angle de 90 degrés indiquerait un balancement antéro-postérieur pur.

[Image pleine grandeur](#)

En outre, la variance de la vitesse du COP s'est avérée fortement corrélée à l'activité électromyographique des muscles posturaux [25](#), [26](#). Ainsi, pour fournir une estimation de l'énergie dépensée pour stabiliser sa posture, nous avons calculé la variance de la vitesse comme $\frac{1}{N} \sum (X - \bar{X})^2$, où X est la vitesse instantanée, \bar{X} est la vitesse moyenne pendant l'essai et N le nombre de points dans la série chronologique.

Enfin, nous avons recherché si les manipulations modifieraient l'orientation du balancement dans l'espace. Ainsi, nous avons analysé la direction principale du balancement qui a été calculée comme l'axe principal de la zone d'ellipse de l'intervalle de confiance à 95 % (Fig. [4](#) B, C). Pour calculer la zone de balancement pour chaque essai, nous avons effectué une analyse en composantes principales (ACP) sur les ensembles de données COP comme prescrit par Oliveira et al. [27](#). La direction principale du balancement est décrite par la première composante principale (PC1) représentant la plus grande partie de la variance de la série chronologique COP. θ , l'angle entre l'axe ML et l'axe PC1 a été calculé pour décrire la direction principale du balancement (Fig. [4](#)C). θ était toujours présenté entre 0° et 180° quel que soit le sens du mouvement vers la droite ou vers la gauche : 0° étant aligné avec l'axe ML vers le côté droit du participant.

analyses statistiques

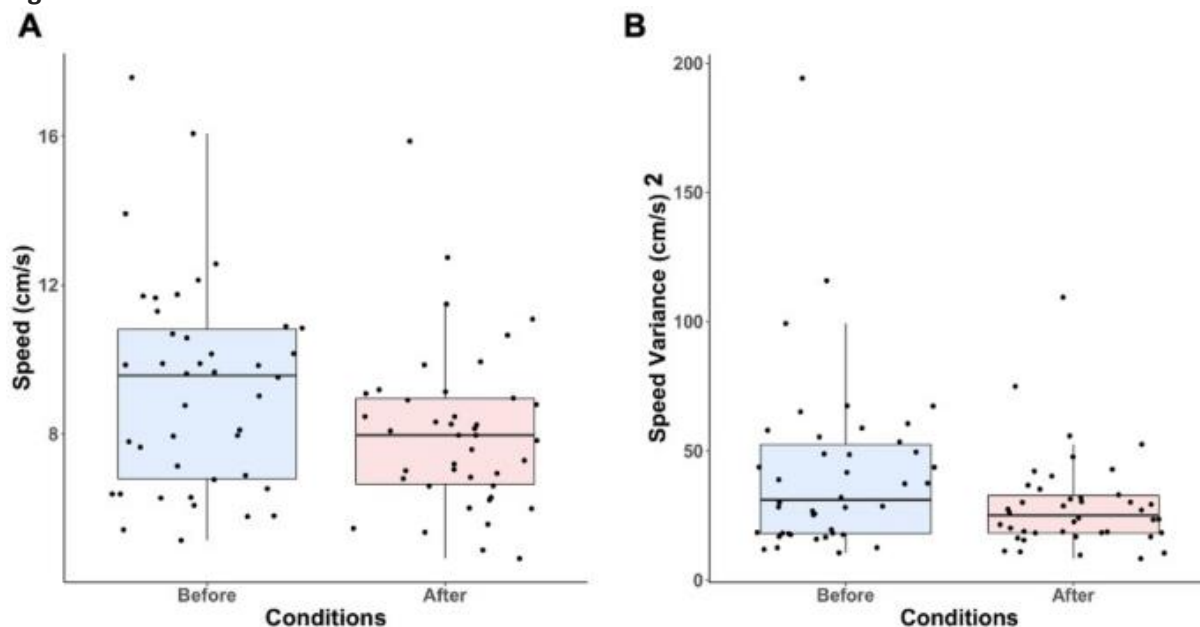
Nous avons effectué toutes les analyses statistiques linéaires à l'aide de R version 3.3.2 [28](#) et toutes les statistiques circulaires à l'aide de la boîte à outils CircStat dans Matlab [29](#). Un niveau de signification de $\alpha = 0,05$ a été adopté tout au long de l'analyse des données. Pour étudier le contrôle postural avant et après les manipulations, compte tenu de notre plan de mesures répétées, nous avons mis en place des tests t à échantillons appariés pour analyser l'impact sur la vitesse et la variance de la vitesse. Pour les analyses θ , nous nous sommes d'abord assurés que les échantillons de données θ n'étaient pas distribués uniformément, en utilisant le test d'espacement de Rao pour l'uniformité circulaire. La moyenne θ et la déviation angulaire (\pm AD) ont été utilisées pour décrire la direction principale du balancement. Un test Watson-Williams à deux échantillons a été utilisé pour étudier l'effet des manipulations sur la direction du balancement [29](#).

Résultats

Effets des manipulations proprioceptives sur le contrôle postural

Vitesse ($t(41) = 4,285$, $p = 0,0001$, $R^2 = 0,31$) (Fig. 5 A) et la variance de vitesse ($t(41) = 3,094$, $p = 0,0035$, $R^2 = 0,19$) (Fig. 5 B) ont été significativement diminués après les manipulations. Avant (Moyenne $\theta = 85,62^\circ \pm 28,9^\circ$, $p < 0,001$, Fig. 6 A) et après (Moyenne $\theta = 84,09^\circ \pm 26,74^\circ$, $p < 0,001$, Fig. 6 B) la direction des balancements était principalement orientée antéro- postérieurement, et aucune différence significative n'a été trouvée pour θ ($F(1,82) = 0,05$, $p = 0,81$) entre avant et après les manipulations.

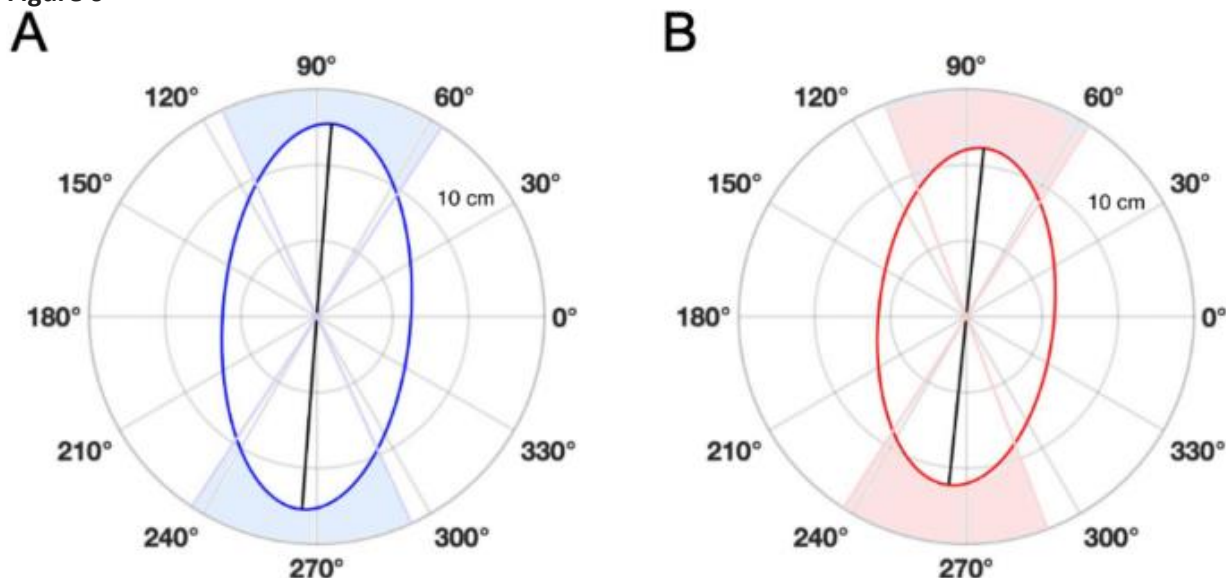
Figure 5



Boîtes à moustaches pour la vitesse (A) et la variance de la vitesse (B) pour les manipulations avant vs après.

[Image pleine grandeur](#)

Figure 6



Direction moyenne du balancement pour les manipulations avant (A) et après (B). Les lignes noires représentent la direction principale du balancement (PC1) à l'angle θ . La longueur de chaque ligne noire est proportionnelle à la quantité moyenne de mouvement exprimée par les participants. Les

ellipses sont une représentation de la zone moyenne à 95 % du déplacement du COP. Les zones ombrées bleu clair (Avant) et rouge clair (Après) représentent les déviations angulaires pour chaque condition.

[Image pleine grandeur](#)

Expériences subjectives

Pendant le traitement, les participants ont déclaré sentir leurs vertèbres bouger sous le doigt du thérapeute (36 %), et que leurs tendons et muscles vibraient (58 %) comme des « cordes de guitare », la technique étant respectivement appliquée aux segments de la colonne vertébrale, aux chevilles et les pieds. Les participants ont également signalé une augmentation de la transpiration (28 %) et des étourdissements (42 %). Ces sensations ont duré après les manipulations jusqu'à deux minutes pour un patient mais étaient inférieures à une minute pour le reste des patients rapportant un tel retour. Tous les effets secondaires ont disparu à la fin de la période de repos de 5 minutes. Après les manipulations, les patients ont rapporté moins de douleur (72 %), être libérés dans leur mouvement (62 %) et avoir moins de tension dans le bas du dos (78 %). Ces sensations ont duré jusqu'à ce que le patient sorte de la clinique.

Discussion

L'objectif principal de cette étude pilote était de mieux comprendre si les manipulations proprioceptives modulent le contrôle postural chez les patients NSLBP lorsqu'ils se tiennent debout. Nous avons constaté qu'après les manipulations proprioceptives, la vitesse du COP et la variance de la vitesse étaient significativement réduites, tandis que le balancement restait principalement orienté antéro-postérieur.

On pourrait tout d'abord souligner qu'une telle diminution pourrait être due à un effet d'apprentissage car les conditions expérimentales n'étaient pas randomisées. Pourtant, cela est probablement peu probable. Premièrement, les données posturales publiées ne montrent pas de différences statistiques dans les résultats de la COP lors d'essais répétés au hasard, même lorsque des stimulations sensorielles sont fournies [33](#)·[34](#)·[35](#). Deuxièmement, des preuves publiées soulignent également que la fiabilité test-retest des mesures de la COP est élevée [36](#)·[37](#)·[38](#)·[39](#). Troisièmement, les participants se tenaient dans un environnement immuable, les yeux ouverts sur une surface plane et dure. Par conséquent, la tâche ne représentait aucune difficulté pour un effet d'apprentissage pour tenir compte des tailles d'effet que nous avons trouvées pour la vitesse et la variance de la vitesse. Ainsi, étant donné que (1) la mesure de performance est fiable, (2) les variables mesurées restent généralement stables dans le temps, et (3) la seule altération entre les deux mesures était les manipulations, on peut émettre l'hypothèse que, toutes choses égales par ailleurs, les différences statistiques ici pourraient probablement être dues aux manipulations proprioceptives. En effet, quelle que soit la cause de ces changements, elle devait être suffisamment pertinente pour fournir de telles tailles d'effet et rien de significatif en dehors des manipulations ne s'est produit entre les deux mesures. Néanmoins,

De tels résultats contrastent avec les preuves antérieures montrant que les chevilles, les pieds et les manipulations lombaires isolées, lorsque les patients sont allongés, ne semblent pas moduler la vitesse de la COP [30](#)·[31](#)·[32](#). Dans notre étude, nous avons manipulé le rachis lombaire, les chevilles et les pieds au cours de la même séance. Il s'agit d'une limitation car nous ne pouvons pas déterminer si la diminution de la vitesse COP trouvée ici pourrait avoir résulté de manipulations de la colonne vertébrale, des pieds ou des chevilles seules ou de leur combinaison. Cette distinction devra être évaluée dans les futurs protocoles.

Par rapport à d'autres paramètres COP, la vitesse COP présente la fiabilité et la sensibilité les plus élevées [23](#)·[24](#) . Il est également considéré comme un bon biomarqueur postural, car une vitesse de COP réduite reflète un système de contrôle postural plus efficace dans l'ensemble [40](#) . Les preuves montrent que, par rapport aux témoins sains, les patients NSLBP ont un balancement corporel AP accru [41](#)·[42](#)·[43](#) . De plus, les patients atteints de NSLBP chronique expriment souvent des mesures de vitesse COP plus élevées [43](#)·[44](#)·[45](#) . Par conséquent, la diminution de la vitesse de la COP chez les patients NSLBP aigus, comme le montrent nos résultats, pourrait être un point de départ intéressant dans leur processus de réadaptation. Ce premier point soulève également la question de savoir si ces techniques proprioceptives pourraient aider à éviter de faire passer les patients NSLBP d'états de douleur aiguë à des états de douleur plus chroniques. Seuls de futurs protocoles pourraient répondre à cette question, et nous estimons qu'une telle recherche mériterait d'être étudiée.

Nos résultats montrent également une diminution significative de la variance de vitesse après avoir appliqué les manipulations proprioceptives. Les données publiées soulignent une forte corrélation entre la variance de la vitesse et l'activation des muscles posturaux globaux, quelle que soit la quantité de balancement du corps vers l'arrière ou vers l'avant [25](#)·[26](#) . L'augmentation de la variation de la vitesse a été liée à l'augmentation de la rigidité du corps [26](#) . Ainsi, puisque la variance de vitesse a été diminuée après les manipulations proprioceptives, on pourrait émettre l'hypothèse que ces manipulations auraient pu impacter l'activation musculaire en diminuant leur activité tonique. Les patients souffrant de maux de dos répondant aux manipulations vertébrales montrent une réduction significative de la raideur lombaire [46](#) . Un tel mécanisme implique une raideur du tronc et pourrait potentiellement être lié à des douleurs lombaires et à une altération du contrôle postural [15](#) . Fait intéressant, nos résultats montrent non seulement une diminution de la variance de la vitesse, mais les patients ont également déclaré moins de douleur, moins de tension musculaire et une sensation de liberté dans leur capacité à se déplacer. L'utilisation de nouvelles méthodes méthodologiques telles que l'électromyographie à haute densité (HDEMG) pourrait aider à fournir des réponses sur la question de savoir si ces techniques proprioceptives modulent l'activation des muscles lorsque les patients souffrent de lombalgie [47](#) . En effet, HDEMG s'est avéré efficace pour donner une représentation plus précise du comportement musculaire à la fois spatialement et temporellement que les enregistrements EMG plus classiques [47](#)·[48](#) .

Étant donné que ces manipulations proprioceptives sont utilisées dans un contexte clinique, notre objectif secondaire, dans cette étude pilote, était d'étudier comment les patients se sentaient subjectivement. Un nombre important de patients ont rapporté moins de douleur après les manipulations. Cependant, ce point doit être pris avec des pincettes. Compte tenu de l'effet présumé sur la douleur, il convient de noter que notre étude n'était pas destinée à se concentrer sur les niveaux de douleur. La douleur est un domaine de recherche très complexe et plusieurs paramètres non contrôlés dans notre protocole pourraient avoir gonflé les réponses en faveur d'une diminution des niveaux de douleur. Par exemple, les effets placebo ou la volonté de plaire au thérapeute ne peuvent pas être sous-estimés. Pourtant, d'un autre côté, sans être spécifiquement interrogés sur leur niveau de douleur, les patients ont déclaré librement et de manière non dirigée que leur douleur avait été réduite.

Pris ensemble, cinq minutes après l'application des manipulations proprioceptives sur des patients debout, nos résultats montrent un meilleur contrôle postural. Un tel impact ne peut être lié à un quelconque effet biomécanique étant donné (1) la faible nature des forces appliquées aux processus rachidiens, aux chevilles et aux pieds, (2) qu'aucun levier mécanique n'a été utilisé pour manipuler les structures anatomiques, (3) le fait que ces techniques n'étaient pas orientées biomécaniquement (c'est-à-dire toujours de droite à gauche dans cette étude) et (4) que ces techniques étaient pratiquées debout lorsque le tonus musculaire antigravitaire n'était pas inhibé, limitant ainsi

considérablement les mouvements des parties du corps. Par conséquent, nos résultats sont plus probablement dus à d'autres processus. Bien que seulement spéculatif à ce stade, il est nécessaire de fournir des mécanismes sous-jacents potentiels.

Les patients ont déclaré avoir senti leurs parties du corps bouger. Bien que nous n'ayons pas surveillé les mouvements réels de la colonne vertébrale et autres, cela n'est probablement pas dû à des mécanismes biomécaniques étant donné la nature des techniques, la force appliquée et le fait que le tonus musculaire luttant contre la gravité aurait évité de tels mouvements. Une explication plus rationnelle pourrait être qu'une telle perception du mouvement est générée par le cerveau trompé par l'intégration de l'influx somatosensoriel dans le cortex. Outre la sensation de mouvements de la colonne vertébrale, les patients ont également déclaré avoir senti leurs parties du corps vibrer lors de l'application des techniques. Les vibrations et les signaux kinesthésiques appliqués à la peau et aux muscles ont la capacité d'induire des illusions de mouvement spatial [49](#)·[50](#)·[51](#)·[52](#). Parce que ces mouvements illusoires ne seraient générés par aucune commande motrice autoproduite, ils pourraient être perçus comme une perturbation de l'équilibre générée de l'extérieur [53](#). Par conséquent, les techniques pourraient être interprétées et intégrées comme des informations exafférentes [1](#)·[54](#) perturbant les commandes myogéniques de contrôle postural en cours. Étant donné que les informations exafférentes sont perçues comme beaucoup plus fortes que les signaux réafférents [55](#), le système aurait pu être contraint de trouver une solution motrice appropriée pour maintenir un bon équilibre. En effet, les modulations du contrôle postural, plus précisément dans le sens AP, sont enregistrées immédiatement après l'application des vibrations aux muscles engagés dans les sollicitations motrices posturales en position debout [56](#). Dans l'ensemble, les mouvements illusoires induits incitant le cerveau à réajuster le contrôle postural en ligne pourraient avoir favorisé l'émergence de stratégies posturales nouvelles ou alternatives.

Nous proposons plusieurs hypothèses différentes qui pourraient expliquer un tel recalibrage des stratégies posturales. Tout d'abord, les neurones dits bimodaux codent à la fois les informations proprioceptives et vestibulaires dans les noyaux fastigiaux rostraux (rFN) du cervelet [54](#). Ces neurones bimodaux cérébelleux répondent explicitement aux mouvements corporels passifs [57](#) et, à leur tour, jouent un rôle majeur en garantissant une posture précise et appropriée et le maintien de l'équilibre en envoyant de fortes projections neurologiques motrices à la moelle épinière [58](#) et aux noyaux vestibulaires [59](#). Fait intéressant, ces neurones rFN sont également liés à la fonction vestibulo-autonome [58](#), ce qui pourrait également expliquer pourquoi un sous-groupe de patients a signalé une augmentation de la transpiration et des étourdissements [60](#). Les mouvements perçus passifs illusoires sont souvent intégrés et perçus comme de vrais mouvements physiologiques [52](#). En outre, sur la base des entrées sensorielles, on pense que le cervelet joue un rôle crucial dans le contrôle moteur en affinant les commandes motrices via des modèles internes [61](#). Ainsi, en induisant une perception virtuelle du mouvement, les afférences proprioceptives auraient pu mettre à jour les modèles cérébelleux en ligne, fournissant en retour les commandes motrices nécessaires pour réguler les demandes posturales en cours.

Deuxièmement, les techniques ont été appliquées au niveau du rachis lombaire mais aussi des chevilles et des pieds. Lorsqu'ils se tiennent debout sur une surface stable, les patients NSLBP s'appuient davantage sur la proprioception de la cheville que sur la proprioception des muscles du dos pour maintenir un contrôle postural approprié [13](#)·[14](#). Cela a été lié à une réorganisation du cortex somatosensoriel [14](#). Le résultat pourrait donc aussi provenir d'un mécanisme inversant la repondération de la cheville vers le rachis lombaire, normalisant ainsi les gains de proprioception, et donc le contrôle postural.

Troisièmement, de telles stratégies pourraient également provenir de réseaux corticaux impliquant le cortex moteur, compte tenu de son importante contribution au contrôle postural [62](#) . Fait intéressant, les patients lombalgiques présentant des déficits de contrôle postural présentent des modulations des cartes corticales dans leurs cortex moteurs [63](#) .

Quatrièmement, les patients atteints de NSLBP ont moins d'acuité et de conscience proprioceptives du bas du dos [12](#) , souvent associées à des perturbations du schéma corporel [64](#) . Là encore, des vibrations et/ou des signaux cutanés et musculaires peuvent également moduler les représentations labiles du schéma corporel [49](#) . Fait intéressant, les manipulations tactiles sont repondérées positivement en position debout alors que des déficits apparaissent en position couchée [65](#) .

Ainsi, les manipulations données dans une posture orthograde auraient pu optimiser l'intégration des signaux proprioceptifs. Si tel est le cas, ils auraient pu moduler et/ou mettre à jour les réseaux et cartes corticales en relation avec les mécanismes d'incarnation liés à la perception de son corps dans l'espace [66](#) . De plus, de tels réseaux relieraient plus spécifiquement le sillon intrapariétal, le cortex prémoteur, le cortex sensorimoteur, la zone corporelle extrastriée et le cortex temporo-pariétal. Les cinq zones corticales sont connues pour lier les signaux visuels, somatosensoriels et vestibulaires [67](#)·[68](#)·[69](#) tous impliqués dans le contrôle postural [70](#) .

L'entraînement au contrôle moteur est actuellement promu pour moduler la neuroplasticité sensorimotrice afin d'améliorer la lombalgie [15](#) . Un tel programme de rééducation envisage de cibler les réseaux corticaux intégrant le cortex moteur primaire pour affiner les activations musculaires du tronc afin d'aider à affiner le contrôle moteur de la colonne vertébrale [15](#) . Si les techniques de la présente étude réorganisent les modèles cérébelleux et/ou les cartes corticales sensorimotrices, devront être étudiées dans les futurs protocoles.

Les stratégies de réadaptation mettant en œuvre des régimes de contrôle moteur se sont révélées efficaces pour aider les patients atteints de NSLBP [71](#)·[72](#) . Pourtant, la formation des patients nécessitait souvent plusieurs séances par jour pendant des jours voire des semaines pour améliorer les ajustements posturaux [73](#) . Nous n'avons étudié les post-effets posturaux que 5 min après avoir appliqué les techniques et malheureusement aucun suivi de ces patients n'a été fait. On ne connaît donc pas les effets à moyen et long terme de telles manipulations qui devront être investigués dans le futur. De plus, bien que nos résultats puissent être considérés comme encourageants, seuls des essais cliniques randomisés contrôlés par placebo fourniront des réponses plus approfondies quant à la mesure dans laquelle ces techniques proprioceptives aident les patients. Néanmoins, si de futurs essais cliniques randomisés contrôlés par placebo devaient montrer des résultats améliorés au fil du temps, ces techniques pourraient aider à gagner du temps de récupération. Si c'est le cas, alors peut-être que ces manipulations pourraient éviter de faire passer les patients d'états lombaires aigus à des états plus chroniques qui ruinent la vie des patients et pèsent économiquement sur nos sociétés.[74](#)·[75](#) .

Les études futures devront également étudier les mécanismes sous-jacents. Les repères tactiles et proprioceptifs s'intègrent plus facilement en position debout qu'en position couchée [65](#) . Ainsi, la singularité du contexte de posture orthograde pourrait potentiellement ouvrir de nouvelles perspectives thérapeutiques. S'ils sont confirmés, avec des protocoles plus approfondis, ces résultats pourraient également être le début d'un changement de paradigme de thérapie manuelle combinant simultanément des signaux proprioceptifs manuels liés en ligne avec des commandes de contrôle moteur réglementaires. Compte tenu des effets posturaux, les techniques devront également être testées sur différentes populations. En effet, ils pourraient apporter une solution intéressante pour

un large éventail de patients tels que les personnes âgées, les personnes souffrant de vertiges et d'instabilités ainsi que les patients traumatisés crâniens légers, tous éprouvant des difficultés posturales et d'équilibre. Poursuivre l'étude des effets de ces techniques proprioceptives pourrait, si elles s'avéraient efficaces,⁷⁶ mais aussi pour les personnes présentant un éventail plus large de dysfonctionnements.

Conclusion

Pour la première fois, à notre connaissance, nous avons étudié et montré une amélioration de la stabilité posturale au sein du groupe après l'utilisation de techniques proprioceptives. Contrairement aux thérapies manuelles plus traditionnelles, ces techniques n'ont pas été appliquées sur des patients allongés sur le dos ou sur le ventre, mais dans leur posture fonctionnelle orthograde physiologique qui nécessite non seulement des commandes posturales et motrices simultanées, mais également des processus d'intégration multisensorielle en ligne.

Références

1. Brooks, JX & Cullen, KE Détection prédictive : le rôle des signaux moteurs dans le traitement sensoriel. *Biol. Psychiatrie Cogn. Neurosci. Neuroimagerie* **4** , 842–850 (2019).

[PubMed](#) [Centre PubMed](#) [Google Scholar](#)

2. Massion, J. Systèmes de contrôle postural dans une perspective développementale. *Neurosci. Biocomportement. Rév.* **22** , 465–472 (1998).

[CAS PubMed Article Google Scholar](#)

3. Citron, RN Voies descendantes dans le contrôle moteur. *Annu. Rév. Neurosci.* **31** , 195-218 (2008).

[CAS PubMed Article Google Scholar](#)

4. Bouisset, S. & Zattara, M. Une séquence de mouvements posturaux précède le mouvement volontaire. *Neurosci. Lett.* **22** , 263-270 (1981).

[Article Google Scholar](#)

5. Massion, J. Mouvement, posture et équilibre : Interaction et coordination. *Cambre. Ital. Biol.* **38** , 35–56 (1992).

[CAS Google Scholar](#)

6. Hansson, EE, Beckman, A. & Håkansson, A. Effet de la vision, de la proprioception et de la position de l'organe vestibulaire sur le balancement postural. *Acta Otolaryngol.* **130** , 1358-1363 (2010).

[PubMed Article Google Scholar](#)

7. Angelaki, DE & Cullen, KE Système vestibulaire : Les nombreuses facettes d'un sens multimodal. *Annu. Rév. Neurosci.* **31** , 125-150 (2008).

[CAS PubMed Article Google Scholar](#)

-
8. Van Dieën, JH, Peter Reeves, N., Kawchuk, G., Van Dillen, LR & Hodges, PW Changements de contrôle moteur dans la lombalgie : divergence dans les présentations et les mécanismes. *J. Orthop. Physique du sport. Là.* **49** , 370–379 (2019).

[PubMed Article Google Scholar](#)

-
9. Brumagne, S., Dolan, T. & Pickar, JG Quelle est la relation entre la proprioception et la lombalgie ? Dans *Spinal Control: The Rehabilitation of Back Pain: State of the art and Science* (eds Hodges, P. et al.) 219–230 (Elsevier, 2013).

[Google Scholar](#)

-
10. Balagué, F., Mannion, AF, Pellisé, F. & Cedraschi, C. Lombalgies non spécifiques. *Lancette* **379** , 482–491 (2012).

[PubMed Article Google Scholar](#)

-
11. Hodges, PW et al. Approche clinique intégrée des interventions de contrôle moteur dans les douleurs lombaires et pelviennes. Dans *Spinal Control: The Rehabilitation of Back Pain: State of the art and Science* (eds Hodges, PW et al.) 243–309 (Elsevier, 2013).

[Google Scholar](#)

-
12. Tong, MH et al. Existe-t-il une relation entre proprioception lombaire et lombalgie ? Une revue systématique avec méta-analyse. *Cambre. Phys. Méd. Réhabilit.* **98** , 120-136.e2 (2017).

[PubMed Article Google Scholar](#)

-
13. Brumagne, S., Cordo, P. & Verschueren, S. Modifications de la pondération proprioceptive chez les personnes souffrant de lombalgie et les personnes âgées en position debout. *Neurosci. Lett.* **366** , 63-66 (2004).

[CAS PubMed Article Google Scholar](#)

-
14. Goossens, N., Janssens, L. & Brumagne, S. Modifications de l'organisation du cortex somatosensoriel secondaire lors du traitement de la proprioception lombaire et relation avec le contrôle sensorimoteur dans la lombalgie. *Clin. J. Douleur* **35** , 394–406 (2019).

[PubMed Article Google Scholar](#)

-
15. Brumagne, S., Diers, M., Danneels, L., Lorimer Moseley, G. & Hodges, PW Neuroplasticité du contrôle sensorimoteur dans la lombalgie. *J. Orthop. Physique du sport. Là.* **49** , 402–414 (2019).

[PubMed Article Google Scholar](#)

16. Suetterlin, KJ & Sayer, AA Proprioception : où en sommes-nous ? Un commentaire sur l'évaluation clinique, les changements au cours de la vie, les implications fonctionnelles et les interventions futures. *Âge Vieillessement* **43** , 313–318 (2014).

[PubMed Article](#) [Google Scholar](#)

17. Safin, JL Orthopraxie et clinique posturale. In : *Pied, Equilibre et Mouvement* 81-92 (Masson, 2000).
18. Zok, M., Mazzà, C. & Cappozzo, A. Faut-il standardiser les consignes délivrées au sujet en posturographie statique traditionnelle ?. *Méd. Ing. Phys.* **30** , 913–916 (2008).

[CAS PubMed Article](#) [Google Scholar](#)

19. Wilson, TD, Serrador, JM & Shoemaker, JK La position de la tête modifie la réponse cérébrovasculaire au stress orthostatique. *Cerveau Res.* **961** , 261-268 (2003).

[CAS PubMed Article](#) [Google Scholar](#)

20. Winter, DA *Biomécanique et contrôle moteur du mouvement humain* 4e éd. (Wiley, 2009).

[Livre](#) [Google Scholar](#)

21. Chiari, L., Rocchi, L. & Cappello, A. Les paramètres stabilométriques sont affectés par l'anthropométrie et le placement du pied. *Clin. Bioméch.* **17** , 666–677 (2002).

[Article](#) [Google Scholar](#)

22. Rhea, CK, Kiefer, AW, Haran, FJ, Glass, SM & Warren, WH Une nouvelle mesure de la trajectoire CoP dans le balancement postural : Dynamique du changement de cap. *Méd. Ing. Phys.* **36** , 1473–1479 (2014).

[PubMed Article](#) [Google Scholar](#)

23. Nagymáté, G., Orlovits, Z. & Kiss, RM Analyse de fiabilité d'un ensemble de paramètres de stabilométrie sensibles et indépendants. *PLoS ONE* **13** , 1–14 (2018).

[Article](#) [CAS](#) [Google Scholar](#)

24. Fitzgerald, JE, Murray, A., Elliott, C. & Birchall, JP Comparaison des techniques d'analyse du balancement du corps : évaluation avec des sujets debout sur une surface stable. *Acta Otolaryngol.* **114** , 115-119 (1994).

[CAS PubMed Article](#) [Google Scholar](#)

25. Grini-Grandval, MN, Ouaknine, M. & Giovanni, A. Forçage vocal et variance de la vitesse : Corrélation entre la vitesse de déplacement du centre de gravité et le travail des muscles posturaux. *Révérend Laryngol. Otol. Rhinol.* **121** , 319–323 (2000).
-

[CAS Google Scholar](#)

-
26. Giovanni, A., Akl, L. & Ouaknine, M. Dynamique posturale et effort vocal : analyse expérimentale préliminaire. *Folia Phoniatr. Se connecter*. **60** , 80–85 (2008).
-

[PubMed Article Google Scholar](#)

-
27. Oliveira, LF, Simpson, DM et Nadal, J. Calcul de l'aire des signaux stabilométriques à l'aide de l'analyse en composantes principales. *Physiol. Mes.* **17** , 305-312 (1996).
-

[CAS PubMed Article Google Scholar](#)

-
28. Équipe centrale de développement R. *R : Un langage et un environnement pour le calcul statistique* (R Foundation for Statistical Computing, 2018).
-

[Google Scholar](#)

-
29. Berens, P. CircStat : Une boîte à outils MATLAB pour les statistiques circulaires. *J. Stat. Logiciel* **31** , 1–21 (2009).
-

[Article Google Scholar](#)

-
30. Albuquerque-Sendín, F., Fernández-de-las-Peñas, C., Santos-del-Rey, M. & Martín-Vallejo, FJ Effets immédiats de la manipulation bilatérale des articulations talocrurales sur la stabilité debout chez des sujets sains. *Homme. Là.* **14** , 75–80 (2009).
-

[PubMed Article Google Scholar](#)

-
31. Fagundes Loss, J. *et al.* Effets immédiats d'une manipulation de la colonne lombaire sur la sensibilité à la douleur et le contrôle postural chez les personnes souffrant de lombalgie non spécifique : un essai contrôlé randomisé. *Chiropr. Homme. Là.* **28** , 1–10 (2020).
-

[Article Google Scholar](#)

-
32. Holt, KR, Haavik, H. & Elley, CR Les effets de la thérapie manuelle sur l'équilibre et les chutes : une revue systématique. *J.Manip. Physiol. Là.* **35** , 227-234 (2012).
-

[Article Google Scholar](#)

-
33. Bouisset, N., Villard, S. & Legros, A. Réponses posturales humaines aux stimulations magnétiques spécifiques vestibulaires extrêmement basses fréquences. *Accès IEEE* **8** , 1–1 (2020).
-

[Article Google Scholar](#)

-
34. Bouisset, N., Villard, S. & Legros, A. Contrôle postural humain sous des niveaux élevés de champs magnétiques de fréquence extrêmement basse. *IEEE-Access* **8** , 1–9 (2020).
-

[Article Google Scholar](#)

35. Villard, S. *et al.* Impact des champs magnétiques extrêmement basse fréquence sur le contrôle postural humain. *Exp. Cerveau Res.* **3** , 611–623 (2018).
-

[Google Scholar](#)

36. de Sá Ferreira, A. & Junqueira Ferraz Baracat, P. Fiabilité test-retest pour l'évaluation de la stabilité posturale à l'aide des schémas spatiaux du centre de pression des statokinésigrammes tridimensionnels chez les jeunes participants en santé. *J. Biomech.* **47** , 2919-2924 (2014).
-

[Article Google Scholar](#)

37. Pinsault, N. & Vuillerme, N. Fiabilité test-retest des mesures de pression au centre du pied pour évaluer le contrôle postural en position non perturbée. *Méd. Ing. Phys.* **31** , 276-286 (2009).
-

[PubMed Article Google Scholar](#)

38. Scoppa, F., Capra, R., Gallamini, M. & Shiffer, R. Normalisation de la stabilométrie clinique Définitions de base : Intervalle d'acquisition : Fréquence d'échantillonnage. *Posture de marche* **37** , 290–292 (2013).
-

[PubMed Article Google Scholar](#)

39. Rossato, M., Ouaknine, M. & Bourgeois, P. *Directives standard de stabilisométrie 2011-2013 pendant la pratique clinique* . (2013).
40. Paillard, T. & Noé, F. Techniques et méthodes pour tester la fonction posturale chez des sujets sains et pathologiques. *Biomed Res. Int.* **2015** , 1–15 (2015).
-

[Google Scholar](#)

41. Nies Byl, N. & Sinnott, PL Variations de l'équilibre et du balancement du corps chez les adultes d'âge moyen : sujets ayant un dos en bonne santé par rapport à des sujets présentant un dysfonctionnement à faible neck. *Spine* **16** , 325-330 (1991).
-

[Article Google Scholar](#)

42. Hamaoui, A., Do, MC & Bouisset, S. L'augmentation du balancement postural chez les sujets lombalgiques n'est pas liée à une amplitude de mouvement réduite de la colonne vertébrale. *Neurosci. Lett.* **357** , 135–138 (2004).
-

[CAS PubMed Article Google Scholar](#)

43. Ruhe, A., Fejer, R. et Walker, B. Centre d'excursion de pression comme mesure de la performance d'équilibre chez les patients souffrant de lombalgie non spécifique par rapport

aux témoins sains : une revue systématique de la littérature. *EUR. Spine J.* **20** , 358–368 (2011).

[PubMed](#) [Article](#) [Google Scholar](#)

-
44. Della Volpe, R. *et al.* Changements dans la coordination du contrôle postural pendant la position dynamique chez les patients lombalgiques chroniques. *Gait Posture* **24** , 349–355 (2006).

[CAS PubMed](#) [Article](#) [Google Scholar](#)

-
45. Popa, T., Bonifazi, M., Della Volpe, R., Rossi, A. et Mazzocchio, R. Changements adaptatifs dans la sélection de la stratégie posturale dans la lombalgie chronique. *Exp. Cerveau Res.* **177** , 411–418 (2007).

[PubMed](#) [Article](#) [Google Scholar](#)

-
46. Wong, AYL, Parent, EC, Dhillon, SS, Prasad, N. & Kawchuk, GN Les participants souffrant de lombalgie qui répondent à la thérapie de manipulation vertébrale diffèrent-ils biomécaniquement des non-répondeurs, des témoins non traités ou des témoins asymptomatiques ?. *Colonne vertébrale* **40** , 1329–1337 (2015).

[PubMed](#) [Article](#) [Google Scholar](#)

-
47. Murillo, C. *et al.* L'électromyographie à haute densité fournit de nouvelles informations sur le phénomène de relaxation en flexion chez les personnes souffrant de lombalgie. *Sci. Rép.* **9** , 18–22 (2019).

[Article](#) [CAS](#) [Google Scholar](#)

-
48. Liew, BXW, Yue, Y., Cescon, C., Barbero, M. & Falla, D. Influence de la douleur expérimentale sur l'activité spatio-temporelle du trapèze supérieur pendant le levage dynamique : une enquête utilisant l'ANOVA spatio-temporelle bayésienne. *J. Electromyogr. Kinésiol.* **48** , 1–8 (2019).

[PubMed](#) [Article](#) [Google Scholar](#)

-
49. Lackner, JR Certaines influences proprioceptives sur la représentation perceptive de la forme et de l'orientation du corps. *Cerveau* **111** , 281-297 (1988).

[PubMed](#) [Article](#) [Google Scholar](#)

-
50. Lackner, J. & Levine, M. Modifications de l'orientation corporelle apparente et de la localisation sensorielle induites par la vibration des muscles posturaux : illusions myesthésiques vibratoires. *Aviat. Espace Environ. Moyen* **50** , 346-354 (1979).

[CAS PubMed](#) [Google Scholar](#)

51. Roll, JP & Vedel, JP Rôle kinesthésique des afférences musculaires chez l'homme, étudié par vibration tendineuse et microneurographie. *Exp. Cerveau Res.* **47** , 177-190 (1982).

[CAS](#) [PubMed](#) [Article](#) [Google Scholar](#)

52. Albert, F., Bergenheim, M., Ribot-Ciscar, E. & Roll, JP La rétroaction afférente la d'un mouvement donné évoque l'illusion du même mouvement lorsqu'il est renvoyé au sujet via la vibration du tendon musculaire. *Exp. Cerveau Res.* **172** , 163-174 (2006).

[PubMed](#) [Article](#) [Google Scholar](#)

53. Kavounoudias, A., Gilhodes, JC, Roll, R. & Roll, JP De la régulation de l'équilibre à l'orientation corporelle : Deux objectifs pour le traitement proprioceptif musculaire de l'information ?. *Exp. Cerveau Res.* **124** , 80–88 (1999).

[CAS](#) [PubMed](#) [Article](#) [Google Scholar](#)

54. Cullen, KE & Zobeiri, OA Proprioception et détection prédictive de l'auto-mouvement actif. *Courant. Avis. Physiol.* **20** , 29–38 (2021).

[PubMed](#) [Centre PubMed](#) [Article](#) [Google Scholar](#)

55. Shergill, SS, Bays, PH, Frith, CD & Wotpert, DM Deux yeux pour un œil : La neuroscience de l'escalade de force. *Sciences* **301** , 187 (2003).

[CAS](#) [PubMed](#) [Article](#) [Google Scholar](#)

56. Wierzbicka, MM, Gilhodes, JC & Roll, JP Post-effets posturaux induits par les vibrations. *J. Neurophysiol.* **79** , 143-150 (1998).

[CAS](#) [PubMed](#) [Article](#) [Google Scholar](#)

57. Brooks, JX & Cullen, KE Le cervelet du primate encode sélectivement des mouvements de soi inattendus. *Courant. Biol.* **23** , 947–955 (2013).

[CAS](#) [PubMed](#) [Centre PubMed](#) [Article](#) [Google Scholar](#)

58. Fujita, H., Kodama, T. & du Lac, S. Les circuits de sortie modulaires du noyau fastigial assurent la médiation de diverses fonctions motrices et non motrices du vermis cérébelleux. *bioRxiv* **74** , 653 (2020).

[Google Scholar](#)

59. Cullen, KE Traitement vestibulaire pendant l'auto-mouvement naturel : Implications pour la perception et l'action. *Nat. Rév. Neurosci.* **20** , 346–363 (2019).

[CAS](#) [PubMed](#) [Centre PubMed](#) [Article](#) [Google Scholar](#)

60. Yates, BJ, Bolton, PS & Macefield, VG Réponses vestibulo-sympathiques. *Compr. Physiol.* **4** , 851–887 (2015).

[Google Scholar](#)

61. Wolpert, DM, Miall, RC & Kawato, M. Modèles internes dans le cervelet. *Tendances Conn. Sci.* **2** , 338–347 (1998).

[CAS](#) [PubMed](#) [Article](#) [Google Scholar](#)

62. Deliagina, TG, Beloozerova, IN, Zelenin, PV & Orlovsky, GN Réseaux posturaux spinaux et supraspinaux. *Cerveau Res. Rév.* **57** , 212–221 (2008).

[CAS](#) [PubMed](#) [Article](#) [Google Scholar](#)

63. Tsao, H., Galea, MP & Hodges, PW La réorganisation du cortex moteur est associée à des déficits de contrôle postural dans les lombalgies récurrentes. *Cerveau* **131** , 2161-2171 (2008).

[CAS](#) [PubMed](#) [Article](#) [Google Scholar](#)

64. Moseley, GL Je ne le trouve pas ! Image corporelle déformée et dysfonctionnement tactile chez les patients souffrant de maux de dos chroniques. *Douleur* **140** , 239–243 (2008).

[PubMed](#) [Article](#) [Google Scholar](#)

65. Unwalla, K., Cadieux, ML & Shore, DI La conscience haptique change en position couchée. *Sci. Rép.* **11** , 1–7 (2021).

[Article](#) [CAS](#) [Google Scholar](#)

66. Blanke, O. Mécanismes cérébraux multisensoriels de la conscience de soi corporelle. *Nat. Rév. Neurosci.* **13** , 556–571 (2012).

[CAS](#) [PubMed](#) [Article](#) [Google Scholar](#)

67. Graziano, MSA & Cooke, DF Interactions pariéto-frontales, espace personnel et comportement défensif. *Neuropsychologie* **44** , 2621-2635 (2006).

[PubMed](#) [Article](#) [Google Scholar](#)

68. Rizzolatti, G., Fadiga, L., Fogassi, L. & Gallese, V. L'espace qui nous entoure. *Sciences* **277** , 190-191 (1997).

[CAS](#) [PubMed](#) [Article](#) [Google Scholar](#)

69. Lopez, C. & Blanke, O. Le système vestibulaire thalamocortical chez les animaux et les humains. *Cerveau Res. Rév.* **67** , 119–146 (2011).
-

[PubMed](#) [Article](#) [Google Scholar](#)

-
70. Chiba, R., Takakusaki, K., Ota, J., Yozu, A. & Haga, N. Modèles de contrôle de la posture droite humaine basés sur des entrées multisensorielles ; en dynamique rapide et lente. *Neurosci. Rés.* **104** , 96-104 (2016).

[PubMed](#) [Article](#) [Google Scholar](#)

-
71. Costa, LOP *et al.* Exercice de contrôle moteur pour la lombalgie chronique : un contexte d'essai randomisé contrôlé par placebo. La preuve que l'intervention d'exercice est efficace pour le traitement de. *Phys. Là.* **89** , 1275-1286 (2009).

[PubMed](#) [Article](#) [Google Scholar](#)

-
72. Ferreira, ML *et al.* Comparaison de l'exercice général, de l'exercice de contrôle moteur et de la thérapie de manipulation vertébrale pour la lombalgie chronique : un essai randomisé. *Douleur* **131** , 31–37 (2007).

[PubMed](#) [Article](#) [Google Scholar](#)

-
73. Tsao, H. & Hodges, PW Persistance des améliorations des stratégies posturales après un entraînement au contrôle moteur chez les personnes souffrant de lombalgies récurrentes. *J. Electromyogr. Kinésiol.* **18** , 559-567 (2008).

[PubMed](#) [Article](#) [Google Scholar](#)

-
74. Dagenais, S., Caro, J. & Haldeman, S. Une revue systématique des études sur le coût des maladies liées à la lombalgie aux États-Unis et dans le monde. *Spine J.* **8** , 8–20 (2008).

[PubMed](#) [Article](#) [Google Scholar](#)

-
75. Alonso-García, M. & Sarriá-Santamera, A. Le fardeau économique et social de la lombalgie en Espagne : Une évaluation nationale de l'impact économique et social de la lombalgie en Espagne. *Colonne vertébrale* **45** , E1026–E1032 (2020).

[PubMed](#) [Article](#) [Google Scholar](#)

-
76. Lewisp, JS, Cook, CE, Hoffmann, TC & O'Sullivan, P. L'éléphant dans la pièce : trop de médicaments dans la pratique musculo-squelettique. *J. Orthop. Physique du sport. Là.* **50** , 1–4 (2019).

[Article](#) [Google Scholar](#)

[Télécharger les références](#)

Informations sur l'auteur

Affiliations

1. **Département de kinésiologie, Université Western, London, ON, N6A 3K7, Canada**
Nicolas Bouisset

- 2. GRETM/Groupe de Recherche et d'Enseignement en Thérapie Manuelle, 03700, Bellerive-sur-Allier, France**
Nicolas Bouisset, Augustin Roland-Gosselin & Jean Luc Safin
- 3. Université de Grenoble-Alpes, Laboratoire AGIM, 38700, La Tronche, France**
Maurice Ouaknine
- 4. Institut de Formation en Masso-Kinésithérapie, 03200, Vichy, France**
Jean-Luc Safin

Contributions

NB, AR-G., et J.-LS, ont conçu l'expérience. NB, a conçu l'expérience, NB, a réalisé l'expérience. NB et MO ont analysé les données. NB, interprété les résultats ; NB a préparé les chiffres. NB a rédigé le manuscrit original. NB, AR-G., MO et J.-LS., ont édité et révisé le manuscrit et approuvé la version finale.

auteur correspondant

Correspondance à [Nicolas Bouisset](#) .

Déclarations éthiques
