



Coactivations des fléchisseurs plantaires en réponse à une rotation non balistique de la tête. Implications cliniques



Plantar flexor coactivations in response to non-ballistic head rotation. Clinical implications

Michaël Nisand^a
 Christian Callens^a
 Christiane Destieux^a
 Joseph-Omer Dyer^b
 Erik Sauleau^{c,d}
 Catherine Mutter^e

^aService de formation continue, université de Strasbourg, 21, rue du Maréchal-Lefebvre, Strasbourg, France

^bÉcole de réadaptation, faculté de médecine, université de Montréal. C.P. 6128, Montréal, Québec H3C 3J7, Canada

^cGroupe méthode en recherche clinique, pôle santé publique, hôpitaux universitaires de Strasbourg, 1, place de l'Hôpital, Strasbourg, France

^dLaboratoire de biostatistique, CNRS UMR 7357, ICube, 300, boulevard Sébastien-Brant, Strasbourg, France

^eCentre d'Investigation Clinique (Inserm CIC-1434), hôpitaux universitaires de Strasbourg, 1, place de l'Hôpital, Strasbourg, France

Reçu le 15 mars 2022 ; reçu sous la forme révisée le 11 novembre 2022 ; accepté le 21 novembre 2022

RÉSUMÉ

Objectifs.– Identification dans des conditions expérimentales d'une technique inductive de physiothérapie propre à déclencher une coactivation des fléchisseurs plantaires en réponse à une rotation céphalique non balistique.

Méthodes.– Étude observationnelle et transversale. **Population** : étudiants en masso-kinésithérapie, indemnes d'affections de l'appareil locomoteur. **Outils** : plateforme de baropodométrie. Mesure en pourcentage des pressions plantaires lors d'une rotation céphalique statique soutenue pendant 120 sec. dans son amplitude maximale. **Analyse statistique** : approche bayésienne (chaînes de Markov, techniques d'intégration de Monte Carlo).

Résultats.– Au total, 52 femmes et 38 hommes (âge médian 20,6 ± 1,3 ; 8 gauchers, 82 droitiers). Intervalle de crédibilité de 95 % : pression plantaire sur l'avant-pied sans rotation = 75,40 % [73,41–78,33] ; avec rotation = 90,09 % [88,76–91,35]. Différence statistique significative = 14,70 [12,66–16,79] en points de pourcentage.

Discussion.– La tendance haussière systématique des pressions sur l'avant-pied plaide en faveur d'une coactivation involontaire des fléchisseurs plantaires en réponse à une activation volontaire des muscles cervicaux. Cette technique pourrait contribuer à promouvoir les stratégies inductives dans le traitement de certains troubles de l'appareil locomoteur.

Niveau de preuve : III.

© 2023 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

SUMMARY

Objectives.– To identify under experimental conditions an inductive physiotherapy technique capable of triggering plantar flexor coactivation in response to non-ballistic cephalic rotation.

Methods.– Observational and cross-sectional study. **Population:** physiotherapy students, free

MOTS CLÉS

Baropodométrie
 Irradiation motrice
 Physiothérapie normo-inductive
 Rotation céphalique

KEYWORDS

Baropodometry
 Head rotation
 Motor overflow
 Normo-inductive
 physiotherapy

Auteur correspondant :

Michaël Nisand

Service de formation continue,
 université de Strasbourg,
 21, rue du Maréchal-Lefebvre,
 67100 Strasbourg, France
 Adresse e-mail :

m.nisand@free.fr mnisand@unistra.fr

of musculoskeletal disorders. Tools: baropodometric platform. Percentage measurement of plantar pressures during a static cephalic rotation sustained for 120 seconds in its maximum amplitude. Statistical analysis: Bayesian approach (Markov chains, Monte Carlo integration techniques).

Results.— In all, 52 females and 38 males (median age 20.6 ± 1.3 ; 8 left-handed, 82 right-handed). 95% credibility interval: mean forefoot plantar pressure without rotation = 75.40% [73.41–78.33]; with rotation = 90.09% [88.76–91.35]. Statistically significant difference = 14.70 [12.66–16.79] in percentage points.

Discussion.— The systematic increase in forefoot pressure argues for involuntary coactivation of the plantar flexors in response to voluntary activation of the cervical muscles. This technique could help promote inductive strategies in the treatment of certain musculoskeletal disorders.

Level of evidence: III.

© 2023 Elsevier Masson SAS. All rights reserved

INTRODUCTION

En physiothérapie, la plupart des techniques destinées à traiter les troubles acquis non spécifiques de l'appareil locomoteur sollicitent directement les systèmes déficients. La sollicitation est locale, son effet aussi [1]. Par exemple, un programme de renforcement des muscles stabilisateurs profonds du rachis cervical dans les cervicalgies chroniques [2,3]. Les techniques qui sollicitent les systèmes déficients par un travail à distance sont habituellement réservées aux rééducations post-traumatiques ou post-chirurgicales. La sollicitation est locale (muscles efficients), mais son effet est délocalisé (muscles déficients). Ce principe de délocalisation caractérise un mode d'action indirect qui fait appel à un débordement d'énergie via un phénomène de facilitation neuromusculaire [4]. Par exemple, la levée d'inhibition des muscles d'un poignet immobilisé par sollicitation des groupes musculaires synergiques sains situés à distance [5].

Le champ d'application des techniques inductives ne se limite pourtant pas aux muscles sidérés. Les muscles déficients en force, en endurance et/ou en stratégies de stabilisation sont tous possiblement activables à distance [6]. Le recours à un mode indirect d'action qui s'accorde avec le principe la non-douleur pourrait par ailleurs constituer une alternative de choix en cas d'échec des modes d'action directs. Cependant, les techniques inductives semblent être encore sous-utilisées en première intention dans le traitement des troubles acquis non-spécifiques de l'appareil locomoteur.

Cet article rapporte une étude menée dans le but de tester une impression clinique issue d'une observation : en position debout, une rotation céphalique active, mais non balistique, maintenue dans l'amplitude maximale disponible (pour le sujet donné), déclenche une majoration de la pression plantaire sur les avant-pieds. Le changement de distribution antéro-postérieure des pressions est objectivé par les doigts de l'observateur placés sous les avant-pieds. Il est fréquent que l'augmentation de pression s'accompagne d'un décollement des talons du sol, du blanchiment de la face dorsale des avant-pieds, d'une tension excessive ressentie par les sujets dans les muscles postérieurs de la jambe, voire de clonies. Ce faisceau d'indices concordants plaide en faveur d'une activation involontaire des muscles fléchisseurs plantaires en réponse à une activation volontaire des muscles cervicaux et donc d'un phénomène de type inductif. Les conditions de cette observation ont été reproduites en laboratoire dans le cadre d'une démarche expérimentale dans le but de vérifier cette impression clinique [7]. Les pressions développées ont été mesurées via une plateforme de baropodométrie.

La question de recherche a été formulée en deux points :

- La majoration des pressions plantaires sur les avant-pieds est-elle statistiquement significative ?
- Le temps de maintien des contractions statiques des muscles cervicaux, le côté de la mesure (pied droit ou pied gauche) par rapport au sens de la rotation, la latéralité du sujet (gaucher ou droitier) exercent-ils une influence sur la modification de distribution des pressions ?

Des résultats positifs pourraient ouvrir la voie à l'exploitation de la rotation céphalique non balistique comme option alternative dans le traitement d'affections de l'appareil locomoteur qui incriminent un dysfonctionnement des muscles Gastrocnémiens et/ou des muscles Soléaires.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Type d'étude

Il s'agissait d'une étude observationnelle et transversale. Le protocole était conforme aux principes de la Déclaration d'Helsinki (1964) et à sa dernière mise à jour (2013). Il a été approuvé par le comité local de protection des personnes (CPP Est IV, Strasbourg, référence 14/46). L'expérimentation, préalablement déclarée sur la base de données *Clinicals Trial.gov* (NCT02320097) a été réalisée au Centre d'Investigation Clinique des Hôpitaux Universitaires de Strasbourg (*Inserm CIC 1434, Strasbourg*).

Participants

Les participants ont été recrutés sur le mode du volontariat au sein d'une population de 134 étudiants (18–30 ans) de l'Institut de Formation de Masso-Kinésithérapie d'Alsace. Ils ont bénéficié collectivement d'une information, après quoi l'investigateur de l'étude a répondu individuellement aux questions dans le cadre d'une visite d'inclusion. Les sujets volontaires qui répondaient aux critères d'éligibilité (*Tableau I*) ont été conviés à donner leur consentement éclairé. La signature de ce consentement scellait leur inclusion dans l'étude.

Procédure

Intervention

Les modalités d'expérimentation étaient standardisées (*Fig. 1*) :

- un gabarit — matérialisé par une plateforme de baropodométrie (référence horizontale) et une planche (référence verticale) — permettait de réduire les sources



Tableau I. Critères d'éligibilité.

Critères d'inclusion	<p>Âge compris entre 18 et 30 ans ; Affilié à un régime de protection sociale d'assurance maladie ; Apte à comprendre l'objectif, les modalités et les risques de l'étude et à donner un consentement éclairé écrit</p>
Critères de non-inclusion	<p>Processus infectieux ou néoplasique en cours ou passé du rachis ; Ostéosynthèse vertébrale ; Cervicalgies aiguës ou douleurs aiguës des membres supérieurs ; Traumatismes récents des membres inférieurs (inférieurs à 12 mois) ; Algies aiguës des membres inférieurs ; Neuropathies ou séquelles de neuropathies des membres inférieurs ; Myasthénie ; Troubles neurologiques centraux ; Problèmes d'oreille interne ; Sujet sous tutelle ou curatelle ; Grossesse déclarée ; Participation à un autre projet de recherche biomédicale portant sur un médicament ou un dispositif médical.</p>

de biais liées aux différences interindividuelles inhérentes à la position debout ;

- deux conditions successives ont été implémentées pour chaque participant ; un seul essai par participant :
 - une condition de référence (C0) : préinstallation du sujet à l'intérieur du gabarit et maintien de cette position pendant une durée de 30 sec.,
 - une condition test (C1) : maintien actif pendant 120 sec. de l'amplitude extrême de rotation céphalique (pour le participant donné) du côté droit, puis côté gauche (cette distribution a été arrêtée arbitrairement).

Mesures

Le changement de distribution des pressions plantaire a été identifié et quantifié au moyen d'une plateforme de baropodométrie (type Win-Pod¹). La surface totale du pied est divisée en 2 zones égales : antérieure et postérieure. Les graphes sont centrés au sein du même référentiel spatial pour homogénéiser les enregistrements.

L'enregistrement a été réalisé en continu. Trois temps successifs d'enregistrement d'une seconde chacun ont été retenus pour l'analyse statistique :

- (T0) : à la 30^e sec. dans la condition de référence ;
- (T1) : à la 1^{re} sec. du maintien de l'amplitude maximale de rotation ;
- (T2) : à la 120^e sec. du maintien de l'amplitude maximale de rotation.

Critères d'évaluation

Pour répondre à la question de recherche, ont été sélectionnés :

- un critère principal :
 - pressions plantaires exprimées en pourcentage qui s'exerçaient sur l'avant-pied ;

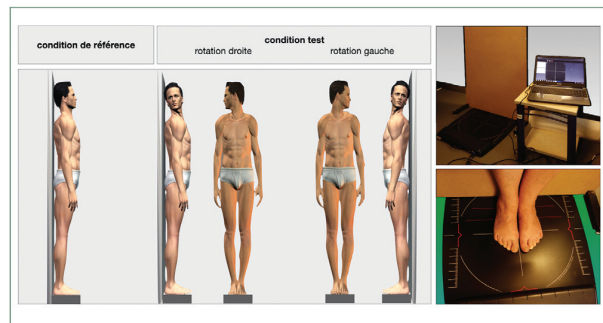


Figure 1. Modalités de l'expérimentation. Condition de référence (C0). Participant debout, yeux ouverts, regardant droit devant lui, pieds nus sur la plateforme, en sous-vêtements ajustés, bras ballants ; talons, masse glutéale, masse scapulaire et masse céphalique, au contact du plan vertical postérieur. Condition test (C1) : séquence dynamique : masse céphalique maintenue au contact du plan postérieur, le participant effectue une rotation de la tête jusqu'à atteindre l'amplitude extrême du mouvement. L'opérateur veille à ce que la tête tourne dans l'alignement strict de l'axe corporel médian, sans rotations associées des autres masses corporelles (épaules, thorax, bassin) ; séquence statique : le participant maintient la tête tournée dans l'amplitude maximale pendant 120 sec.

- trois critères secondaires :
 - moment de la mesure du maintien actif de l'amplitude maximale de chaque rotation : (T1), (T2),
 - côté de la mesure par rapport au sens de la rotation : pied droit/rotation droite-rotation gauche ; pied gauche/rotation droite-rotation gauche,
 - latéralité du participant : droitier ou gaucher.

Méthode statistique

Sur la base d'une étude pilote, l'augmentation moyenne de la pression sur l'avant-pied est de 5 % avec un écart-type de

¹Medicaptureurs SA, Toulouse, France ; zone de détection : 400 ´ 400 mm ; taux d'échantillonnage : 200 par seconde ; capteurs : n = 2304 ; plage de pression par capteur : 0,4 à 100 N ; logiciel WIN-POD (version 6, Medicaptureurs SA).

0,025 : la variabilité des pourcentages est importante, mais raisonnable (95 % des valeurs sont entre 1,3 et 10,9 %). La fraction des fichiers de données dans lesquels ce paramètre est significatif (au seuil de 5 %) par rapport au nombre de fichiers simulés (10 000) confère sa puissance à l'étude. En faisant varier la taille de l'échantillon pour obtenir une puissance de l'ordre de 95 %, le nombre de sujets nécessaire est égal à 90. Seules les pressions — exprimées en pourcentage de 0 à 100 % — qui s'exerçaient sur l'avant-pied ont été retenues. Le pourcentage a été divisé par 100 pour paramétrer la valeur à une grandeur variant de 0 à 1 (intervalle de support de la loi bêta²).

Le grand nombre de paramètres rendait le modèle statistique particulièrement complexe. C'est pourquoi les analyses ont été effectuées au moyen d'une approche bayésienne qui utilise des chaînes de Markov et des techniques d'intégration de Monte Carlo (logiciel OpenBUGS) [7]. Ce type d'approche permet de déterminer les distributions *a posteriori* de chaque paramètre, ainsi que l'intervalle de crédibilité (équivalent bayésien de l'intervalle de confiance) à 95 %.

RÉSULTATS

À l'issue de la visite d'inclusion, 88 des 90 sujets volontaires ont répondu aux critères d'éligibilité. Les deux premiers volontaires d'un nouvel appel se trouvaient être aptes. Finalement, 90 participants qui répondaient aux critères d'éligibilité ont été inclus. L'échantillon était constitué de 52 femmes et 38 hommes ; âge médian 20,6 ± 1,3 (19–26) ; 8 étaient gauchers, 82 droitiers. Toutes les données de tous les participants ont été analysées. Il n'y a eu ni sortie d'étude, ni de perdu de vue (Fig. 2).

Ni le moment de la mesure (0,017 [−0,085 ; 0,12]), ni le côté de la mesure (0,016 [−0,083 ; 0,11]), ni la latéralité du participant (−0,016 [−0,53 ; 0,49]) n'ont exercé une influence statistiquement significative sur la distribution antéro-postérieure de la pression plantaire [intervalle de crédibilité de 95 %].

C'est pourquoi ces variables ont été retirées du modèle. Seuls les paramètres plantaires *a posteriori* d'intérêt dérivés du modèle réduit ont été retenus. Avec un intervalle de crédibilité de 95 %, la pression augmentait sur l'avant-pied de manière statistiquement significative entre les deux conditions d'expérimentation (C0) — (C1) (Tableau II) (Fig. 3).

Considérant que le meilleur modèle inclut l'effet de la rotation seule, la pression plantaire de l'avant-pied de chaque participant dans la condition de référence (C0) (moyenne des mesures gauche et droite sans rotation de la tête) a été comparée à la valeur dans la condition test (C1) (moyenne des mesures gauche et droite après 1 sec. ou 120 sec. de rotation). Lorsque la rotation de la tête était appliquée, la pression augmentait sur l'avant-pied chez 89 des 90 participants (98,89 %).

DISCUSSION

Sur l'échantillon de population étudié (90 adultes jeunes en bonne santé), la majoration de la pression sur l'avant-

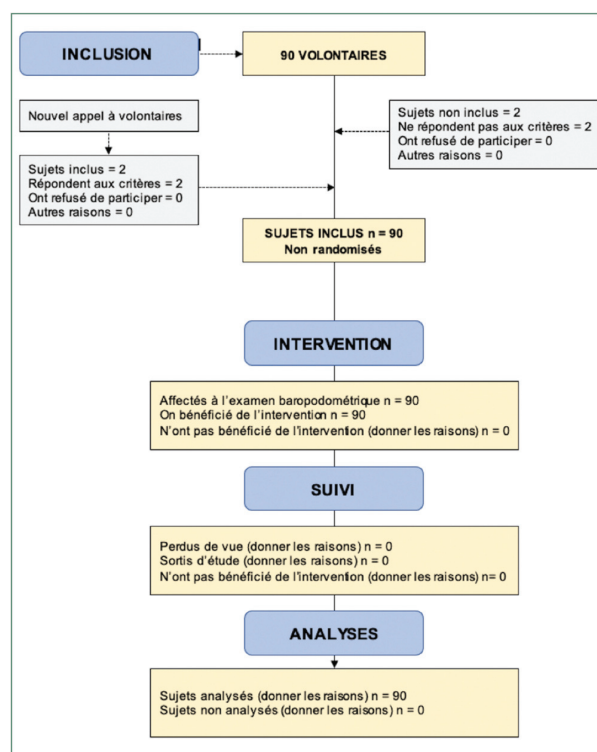


Figure 2. Représentation graphique du déroulement de l'étude (flow chart).

pied en (C1) est statistiquement significative. Ce résultat confirme l'impression clinique à l'origine de cette étude quant au caractère univoque et systématique de la réponse et quant à son importance. La tendance haussière n'est modulée que par la tâche motrice (rotation de tête maintenue activement dans son amplitude maximale pendant 120 sec.). Ce résultat confirme l'impression clinique pour ce qui est : (i) de l'absence d'influence du côté de la mesure par rapport au sens de la rotation (pas de différence droite/gauche), (ii) de la latéralité des participants (pas de différence gauchers/droitiers). Mais il l'infirme pour le facteur temporel (moment de la mesure). Lors des observations en pratique courante, il avait semblé que la pression augmentait graduellement. En l'occurrence, une majoration de la pression à la 120^e sec. (T2) était attendue par rapport à la 1^{re} sec. (T1).

La réponse univoque — majoration de la pression sur l'avant-pied — signe une résultante antérieure d'une force verticale. Cette résultante — qui modifie la distribution antéro-postérieure des pressions — est interprétée comme l'expression d'une activation involontaire des fléchisseurs plantaires. À la connaissance des auteurs, aucune recherche effectuée via une plateforme de baropodométrie ne mentionne l'identification et la quantification d'une coactivation de ces muscles en réponse à des rotations céphaliques.

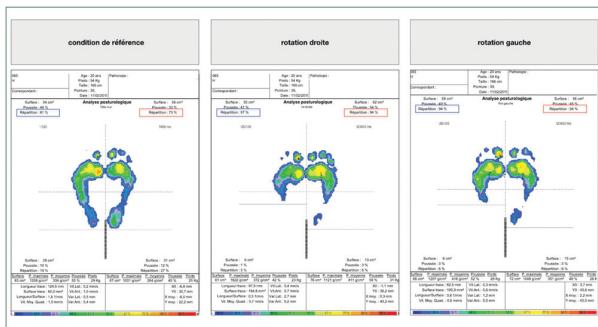
Dans les travaux publiés qui utilisent l'électromyographie comme outil de mesure, la coactivation du Soléaire, induite

² https://fr.wikipedia.org/wiki/Loi_bêta.



Tableau II. Moyenne de la pression plantaire sur l'avant-pied (%) des participants (n=90) en C0 (condition de référence) et C1 (condition test) avec un intervalle de crédibilité de 95 % (Distributions des variables d'intérêt dans le modèle réduit).

	Moyenne (écart-type)	Médiane	Intervalle de crédibilité (95 %)
Pression sur l'avant-pied			
C0, référence (%)	75,40 (1,50)	75,41	[72,41; 78,33]
C1, rotation (%)	90,09 (0,663)	90,54	[88,76; 91,35]
Différence	14,70 (1,047)	14,62	[12,66; 16,79]
Paramètres du modèle			
Intercept	1,121 (0,081)	1,12	[0,965; 1,285]
Effet de la rotation	1,088 (0,049)	1,089	[0,989; 1,184]



	C0	C1
	Rotation droite	Rotation gauche
Avant-pied gauche	81 %	94 %
Avant-pied droit	73 %	94 %

Figure 3 Distribution antéro-postérieure des pressions plantaires pour un participant donné.

par une rotation céphalique balistique, est expliquée par un phénomène réflexe spinal monosynaptique bien connu sous le nom de réflexe de Hoffmann. Ce réflexe est interprété comme une réponse à une perturbation sensorielle du système vestibulaire (qui place l'utricule en dehors de sa plage de fonctionnement) provoquée par le mouvement de rotation [8]. Dans la présente étude, plusieurs facteurs discriminants semblent plaider en défaveur d'une réponse vestibulo-spinale de nature réflexe :

- la majoration statistiquement significative de la pression sur l'avant-pied mesurée à la 1^{re} sec. d'enregistrement (T1) – dans une phase statique où la tête est immobile – intervient après la perturbation liée au mouvement rotatoire (phase dynamique). Cette majoration est toujours présente à la 120^e sec. Même en admettant une interférence vestibulaire, la plausibilité d'une neutralisation

de cette interférence est forte compte-tenu du temps long d'immobilité céphalique (120 sec.) ;

- le côté de la mesure (pied droit ou pied gauche) par rapport au sens de la rotation (vers la droite ou vers la gauche) n'influence pas la réponse ;
- Ce résultat contraste avec la littérature : dans l'étude d'Anson *et al.*, l'amplitude du réflexe H du Soléaire est inhibée du côté controlatéral et peu affectée du côté homolatéral [9] ; dans celle de Kennedy *et al.*, la rotation gauche facilite le réflexe H du Soléaire droit, alors que la rotation droite l'inhibe [8] ;
- le gabarit conçu et utilisé pour standardiser les conditions d'expérimentation neutralise les variations de l'angle de flexion-extension des chevilles et donc le bruit associé à la recherche et au maintien d'un équilibre antéropostérieur ;
- les résultats sont convergents avec une précédente expérimentation publiée en 2020 [10]. Un protocole similaire avait été appliqué. La même réponse univoque – majoration de la pression plantaire sur l'avant-pied – avait été systématiquement déclenchée, sans rotation céphalique, par le maintien actif de la tête au contact du plan postérieur et alignée sur les autres masses corporelles (talon, masses glutéales et scapulaires). En l'occurrence, l'interférence du système vestibulaire était négligeable.

Pour expliquer cette réponse univoque, l'hypothèse est qu'il s'agit de coactivations musculaires induites par un phénomène d'irradiation d'origine essentiellement supra-médullaire. Ce processus pourrait s'assimiler à une forme de débordement d'énergie (motor overflow) caractéristique d'un travail à distance [11]. On sait que, chez les sujets atteints d'affections neurologiques, de telles coactivations sont présentes spontanément. On sait aussi qu'elles sont facilement déclenchables chez les jeunes enfants et les personnes âgées neurologiquement indemnes. Mais, dans la tranche d'âge intermédiaire, chez l'adulte sain, qui plus est chez l'adulte jeune, la force développée par les muscles déclencheurs et la fatigue générée par l'activité contractile sollicitée doivent être d'une intensité maximale [12, 13]. Or, dans la présente étude, c'est justement dans cette tranche d'âge que les coactivations induites sont déclenchées.

L'outil – une plateforme de baropodométrie – a permis d'identifier la zone de l'hyper-appui (avant-pied) et de

quantifier la force verticale qui s'exerce sur les capteurs (en pourcentages de pression). L'outil est simple à manipuler, rapide, financièrement accessible dans le contexte d'une expérimentation et bien toléré par les participants. Son usage est toutefois limité aux positions debout ou assise lorsqu'il s'agit d'explorer l'activation des fléchisseurs plantaires.

Indirectement, l'outil a aussi permis d'identifier le groupe musculaire activé responsable de l'hyper-appui antérieur (fléchisseurs plantaires) et surtout de quantifier la force développée (en pourcentage de pressions). Même si son usage est limité aux groupes musculaires antérieurs et postérieurs de la jambe et du pied, c'est précisément l'accès à la quantification de la force développée qui a conduit à préférer la baropodométrie à l'électromyographie. Sans la mesure objective que confère l'électromyographie, il est bien sûr impossible d'affirmer que l'activité électrique de ces muscles est effectivement amplifiée et d'identifier les caractéristiques de cette activation. Il est aussi impossible d'isoler l'activité du Soléaire de celle des Gastrocnémiens, sous réserve d'avoir neutralisé les signaux émis par les muscles subséquents susceptibles de parasiter la lecture des graphes (phénomène de diaphonie ou *cross talk*) [14].

Une étude de preuve de concept qui utilisait l'électromyographie a mis en évidence une augmentation de l'activité électrique du Gastrocnémien médial droit et gauche chez deux adultes (déclenchée par la circumduction simultanée des poignets en position de décubitus) [15].

L'échantillon de la présente étude est homogène en ce qui concerne l'âge et le genre, ce qui contribue à conférer leur puissance aux résultats. Mais, du fait de l'étroitesse de la tranche d'âge (19–26 ans), ces résultats ne sont pas généralisables à l'ensemble de la population.

La durée du maintien de la tâche motrice volontaire a été arbitrairement arrêtée à 120 sec. Une durée plus longue, ainsi qu'une mesure intermédiaire auraient peut-être permis de mettre en évidence une évolution de type courbe en cloche : tendance haussière de la pression à (T2) par rapport à (T1) (pente ascendante), tendance baissière à (T3) par rapport à (T2) (pente descendante). Deux autres facteurs auraient pu être documentés pour mesurer leur influence sur la distribution antéropostérieure des pressions plantaires : la latéralité préférentielle droite/gauche des membres inférieurs ainsi que la typologie des pieds : pied normal, pied plat, pied creux.

Plusieurs essais par participant auraient permis de réaliser un suivi. Possiblement celui-ci aurait pu montrer un éventuel décrétement du phénomène observé. Mais, pour des raisons logistiques, le choix a été fait de ne pas reproduire le test (nombre élevé de participants, durée longue du maintien de la rotation).

Lors de l'observation clinique faite en pratique courante, dans les rares cas où la réponse motrice était consciente, les sujets n'étaient pas en mesure de la maîtriser. L'idée de documenter ce paramètre a été soulevée. Ces informations auraient été de nature à possiblement étayer l'hypothèse d'une origine subcorticale du phénomène observé (ce qui n'exclut cependant pas l'interférence de connexions fonctionnelles corticales et/ou médullaires). Mais, ces données n'ont pas été colligées du fait que la demande d'un contrôle volontaire aurait forcément parasité les mesures.

Implications cliniques

Les cocontractions déclenchées par un travail à distance peuvent être exploitées selon deux approches dont les similarités ne sont qu'apparentes :

- la première vise à optimiser l'activité contractile des muscles coactivés. Ce principe thérapeutique découle d'une hypothèse pathogénique : une altération de l'activité contractile en force, en endurance et/ou en stratégies d'activation. L'implémentation passe par des techniques inductives type PNF qui ont vu progressivement leur champ d'application s'étendre à certains troubles de l'appareil locomoteur [4, 16] ;
- la seconde vise à normaliser l'activité tonique (non contractile) des muscles coactivés. Ce principe découle d'une hypothèse pathogénique : des désordres de l'activité tonique d'origine centrale (non lésionnels) qui se traduisent par une dérive (souvent) haussière du tonus basal de certains groupes musculaires. Ce principe constitue la colonne vertébrale de la physiothérapie normo-inductive (PNI) [17]. Dans l'approche PNI, l'activité contractile involontaire est perçue comme une activité sentinelle de l'hypertonie sous-jacente. Pour rappel, contrairement à l'activité contractile, l'activité tonique physiologique n'est pas quantifiable. Cette activité sentinelle permet de l'appréhender qualitativement : l'acmé de son intensité est interprétée comme l'expression du paroxysme d'une exacerbation du tonus sous-jacent ; son extinction, sur le maintien du travail à distance, est interprétée comme l'expression d'un épuisement de l'hypertonie induite. C'est cette normalisation qui aurait sur certains troubles de l'appareil locomoteur un effet potentiellement positif (sédation des algies, optimisation de la fonction, réalignement des segments osseux³) [18–20].

La pérennité de ces effets suppose un changement des schémas d'activation cérébrale qui impliquent la plasticité cérébrale, ce qui a été montré dans un précédent essai contrôlé randomisé [21].

En l'occurrence, dans le cadre d'un traitement des troubles de l'appareil locomoteur en relation avec un dysfonctionnement des fléchisseurs plantaires (métatarsalgies, syndrome de Morton, tendinite achilléenne, etc.) [22,23], la cocontraction de ces muscles en réponse à une rotation non balistique de la tête pourrait être exploitée :

- Pour optimiser leur activité contractile (approche type PNF) :
 - critère de validité : obtention du niveau optimal de l'intensité de la réponse motrice. Ce critère est évalué cliniquement via la pression qui s'exerce sur les avant-pieds. Il ne peut être atteint que si la contraction statique volontaire des muscles cervicaux qui opèrent à distance se produit sur l'amplitude extrême du mouvement de rotation (dite amplitude critique),
 - critère d'arrêt : sur une amplitude critique constante, la réponse motrice n'est plus maintenable à son niveau optimal d'intensité.

³ Dans les années 1990, cet effet (réalignement des segments osseux), positif mais aléatoire, avait été confondu avec un objectif ultime de traitement et a conduit à la dénomination impropre de « reconstruction posturale ».



- Pour normaliser leur activité tonique (approche PNI) :
 - critère de validité : identique à l'approche type PNF,
 - critère d'arrêt : sur une amplitude critique constante, la réponse motrice finit par s'épuiser. Cette tendance baissière est évaluée cliniquement via les fluctuations de pressions exercées par les avant-pieds.

L'ordre de grandeur de la durée requise du maintien actif de l'amplitude critique de rotation céphalique est d'environ une dizaine de minutes. Forcément plus longue que dans l'approche type PNF, cette durée peut varier d'un individu à l'autre. Elle peut aussi fluctuer pour un même individu d'une séance à l'autre.

La bilatéralisation des rotations s'avère par ailleurs souvent pertinente.

CONCLUSION

Avec ses points forts et ses faiblesses, la présente étude, menée par des physiothérapeutes libéraux, constitue une première étape du processus de validation par l'expérimentation. Elle ouvre la voie à de futurs travaux potentiellement contributifs à l'élargissement d'un éventail de techniques inductives dans le but de promouvoir leur utilisation chez les patients porteurs de troubles acquis non spécifiques de l'appareil locomoteur.

Contributions des auteurs

Michaël Nisand, Christian Callens, Christiane Destieux : conception et réalisation de la recherche, écriture de l'article.

Joseph-Omer Dyer, Catherine Mutter : conception et supervision de la recherche.

Erik Sauleau : collecte et analyse des données.

Financement

Ce travail a été soutenu par (i) une subvention de l'Hôpital universitaire de Strasbourg couvrant le coût de l'assurance responsabilité civile de l'étude, (ii) une subvention du Service de formation continue de l'Université de Strasbourg couvrant les coûts associés aux consultations cliniques et au matériel.

Déclaration de liens d'intérêts

Les auteurs déclarent ne pas avoir de liens d'intérêts.

RÉFÉRENCES

- [1] Gouilly P, Kerkour K. Thérapie manuelle du poignet. *Kinesither Rev* 2007; 7: 53–7.
- [2] Sarraj AR. Programme de renforcement des stabilisateurs du rachis cervical. *Kinesither Rev* 2010; 10: 23–8.
- [3] Falla D, Jull G, Russel T, Vicenzino B, Hodges P. Effect of neck exercise on sitting posture in patients with chronic neck pain. *Phys Ther* 2007; 87: 408–17. <https://doi.org/10.2522/ptj.20060009>.
- [4] Callens C. Vade-Mecum. Facilitation neuromusculaire proprioceptive : concept, schémas globaux et brisés, schémas du tronc. Independently Published. 2018.
- [5] Boutan M, Baladron R, Casoli V. Justifications anatomiques des techniques de renforcement musculaire dans la rééducation du poignet. *Kinesither Rev* 2013; 13:36–42
- [6] Kofotolis N, Kellis E. Effects of two 4-week proprioceptive neuromuscular facilitation programs on muscle endurance, flexibility and functional performance in women with chronic low back pain. *Phys Ther* 2006; 86: 1001–12.
- [7] Lunn DJ, Thomas A, Best N, Spiegelhalter D. WinBUGS – a Bayesian modelling framework: concepts, structure, and extensibility. *Statist Comput* 2000; 10: 325–37.
- [8] Kennedy P.M, Inglis J.T. Interaction effects of galvanic vestibular stimulation and head position on the soleus H reflex in humans. *Clin Neurophysiol* 2002; 113: 1709–14.
- [9] Anson J.G, Kasai T. Evidence for soleus H-reflex depression induced by ballistic head rotation. *Neurosci Lett* 1995; 195: 17–20.
- [10] Nisand M, Callens C, Destieux C, Dyer J.O, Chanson J.B, Sauleau E, et al.. Baropodometric quantification and implications of muscle coactivation in the lower limbs caused by head movement: A prospective study. *J Bodyw Mov Ther* 2020; 24: 228–34.
- [11] Addamo PK, Farrow M, Bradshaw JL, Moss S, Georgiou-Karistianis N. The effect of attending to motor overflow on its voluntary inhibition in young and older adults. *Brain Cognit* 2010; 74: 358–64.
- [12] Addamo P.K, Farrow M, Hoy K.E, Bradshaw J.L, Georgiou-Karistianis N. The effects of age and attention on motor overflow production-A review. *Brain Res Rev* 2007; 54: 189–204.
- [13] Hoy KE, Fitzgerald PB, Bradshaw JL, Armatas CA, Georgiou-Karistianis N. Investigating the cortical origins of motor overflow. *Brain Res Rev* 2004; 46: 315–27.
- [14] Kuznetsov M, Gilmore LD, Roy SH. Inter-electrode spacing of surface (EMG) sensors: Reduction of crosstalk contamination during voluntary contractions. *J Biomech* 2012; 45: 555–61.
- [15] Nisand M, Callens C, Destieux C, Chanson JB, Dyer OM. Co-activations induites par irradiation motrice : une étude préliminaire sur 8 adultes sains par électromyographie de surface. *Kinésithér Scient* 2019; 608: 13–21.
- [16] Kofotolis N, Kellis E. Effects of two 4-week proprioceptive neuromuscular facilitation programs on muscle endurance, flexibility and functional performance in women with chronic low back pain. *Phys Ther* 2006; 86: 1001–12.
- [17] Nisand M. Plaidoyer pour une physiothérapie limbique. Partie I : Notions Conceptuelles. *Mains Libres* 2013; 8: 301–10.
- [18] Nisand M, Callens C. Inductive physiotherapy and chronic back pain: A pilot study of 5 patients. *Kinesither Rev* 2016; 16: 11–9.
- [19] Callens C, Nisand, Isner-Horobeti M.E. Lasting relief of chronic anterior knee pain in young adult after ten weekly inductive physiotherapy sessions: A case report. *J Back Musculoskelet Rehabil* 2017;6: 1333–8. <https://doi.org/10.3233/BMR-150336>.
- [20] Destieux C, Gaudreault N, Isner-Horobeti M, Vautravers P. Use of postural reconstruction physiotherapy to treat an adolescent with asymmetric bilateral genu varum and idiopathic scoliosis. *Ann Phys Rehabil Med* 2013; 56: 312–26.
- [21] Nisand M, Callens C, Noblet V, Gaudreault N, Vautravers P, Isner-Horobeti M.E, et al. Changes in brain activation patterns after physiotherapy program: a preliminary randomized controlled trial study after Postural Reconstruction and stretching programs. *Med Nuc* 2015; 39: 502–13.
- [22] De Matos Moraes L.V, Borges V.Q, Ferraz G.F, Stéfani K.C. Isolated gastrocnemius tightness: impact on foot diseases. *Sci J Foot Ankle* 2018; 12: 204–7. <https://doi.org/10.30795/scijfootankle.2018.v12.783>.
- [23] Waryasz G.R., McDermott A.Y. Patellofemoral pain syndrome (PFPS): a systematic review of anatomy and potential risk factors. *Dynamic Med* 2008; 7: 9 <https://doi.org/10.1186/1476-5918-7-9>.