

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES

LES EFFETS CLINIQUES ET NEUROMÉCANIQUES DE LA MANIPULATION
VERTÉBRALE CERVICALE EN COMPARAISON À LA MOBILISATION
VERTÉBRALE CERVICALE CHEZ DES INDIVIDUS AYANT DES
CERVICALGIES PRIMAIRES CHRONIQUES : UN ESSAI CONTROLÉ
RANDOMISÉ CROISÉ

MÉMOIRE DE RECHERCHE
COMME EXIGENCE PARTIELLE DE LA
MAÎTRISE EN SCIENCES DE L'ACTIVITÉ PHYSIQUE

PAR
SALMA BOUQARTACHA

AOÛT 2025

Université du Québec à Trois-Rivières

Service de la bibliothèque

Avertissement

L'auteur de ce mémoire, de cette thèse ou de cet essai a autorisé l'Université du Québec à Trois-Rivières à diffuser, à des fins non lucratives, une copie de son mémoire, de sa thèse ou de son essai.

Cette diffusion n'entraîne pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits de propriété intellectuelle, incluant le droit d'auteur, sur ce mémoire, cette thèse ou cet essai. Notamment, la reproduction ou la publication de la totalité ou d'une partie importante de ce mémoire, de cette thèse et de son essai requiert son autorisation.

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES

MAITRISE EN SCIENCES DE L'ACTIVITE PHYSIQUE

Direction de recherche :

Martin Descarreaux, DC, PhD

Prénom et nom

Université du Québec à Trois-Rivières

directeur de recherche

Lindsay-Mary Gorrell, DC, PhD

Prénom et nom

Hôpital universitaire de Balgrist, Zurich

codirectrice de recherche

Jury d'évaluation

Martin Descarreaux, DC, PhD

Prénom et nom

Directeur de recherche, UQTR

Fonction du membre de jury

Laurie-Ann Corbin-Berrigan, PhD

Prénom et nom

Évaluatrice interne, UQTR

Fonction du membre de jury

Andrée-Anne Marchand, DC, PhD

Prénom et nom

Évaluatrice externe, UQTR

Fonction du membre de jury

RÉSUMÉ

Introduction et objectif : La cervicalgie chronique est l'un des troubles musculosquelettiques qui contribue considérablement à l'augmentation des années vécues avec une incapacité. La manipulation (SM) et la mobilisation (Smob) vertébrales sont deux traitements de thérapie manuelle recommandés par les guides de bonnes pratiques cliniques dans la prise en charge de la cervicalgie primaire chronique (CPC). Malgré ~~la présence de ces~~ recommandations, il existe une diversité des traitements de thérapie manuelle et un manque d'études investiguant leurs effets spécifiques. Le but de ce projet de recherche est donc de comparer les effets cliniques et neuromécaniques de la SM et la Smob chez des individus ayant une CPC.

Méthode : Dans cet essai contrôlé randomisé croisé, quatre-vingt-neuf individus ont été recrutés selon des critères d'inclusion (ex: adultes avec CPC) et d'exclusion (ex: toute contre-indication à la SM ou la Smob, historique d'une chirurgie récente ou d'un trauma cervical) spécifiques et ont participé à deux séances de collecte de données séparées de 72h. Ces participants ont reçu de façon aléatoire d'abord une SM lors de la première séance puis une Smob lors de la seconde séance, ou l'ordre inverse. Les amplitudes de mouvement cervicales (ADM), l'intensité de la douleur (NPRS à 11 points), la force de préhension et le seuil de tolérance à la douleur (PPT) ont été mesurés avant et après chaque traitement alors le niveau d'activité musculaire a été enregistré pendant chaque traitement à l'aide d'électrodes de surface bipolaires (EMG). Le PPT et l'activité EMG ont été mesurés au niveau de trois muscles bilatéralement : sternocléidomastoïdien (SCM), trapèze supérieur (UT) et tibial antérieur (TA). Le test des rangs signés de Wilcoxon, le test de McNemar et le modèle

linéaire généralisé à mesures répétées (ANOVA) ont été utilisés pour comparer les effets des deux traitements.

Résultats : Toutes les ADM et les PPT du SCM et du UT bilatéraux ont augmenté de façon similaire après les deux traitements ($p<0.05$). Cependant, une diminution de l'intensité de la douleur après la SM plus importante qu'après la Smob ($MD = 0.747$, IC [0.563;0.932]) et une activité EMG supérieure des SCM et du UT bilatéralement pendant la SM en comparaison à la Smob ($p<0.001$) ont été observées. Les changements observés dans la force de préhension étaient hétérogènes et la différence clinique significative a uniquement été atteinte pour les arcs « flexion-extension » et « flexion latérale ».

Conclusion : Bien que la SM et la Smob ont toutes deux abouti à une augmentation des ADM et PPT de façon similaire, la SM a permis une diminution immédiate plus importante de l'intensité de la douleur et a entraîné une réponse musculaire supérieure à celle de la Smob. Ces résultats pourraient orienter les cliniciens dans leur prise de décision thérapeutique chez les patients ayant des CPC.

Mots clés : manipulation vertébrale, mobilisation vertébrale, cervicalgies primaires chroniques, effets cliniques, effets neuromécaniques, douleur, amplitudes de mouvement, électromyographie, seuil de douleur à la pression, force de préhension.

ABSTRACT

Introduction & Aim: Chronic neck pain is one of the most common musculoskeletal conditions contributing to increased years lived with disability. Spinal manipulation (SM) and spinal mobilization (Smob) are two conservative manual therapy treatments recommended by several clinical guidelines in the treatment of chronic primary neck pain (CPNP). However, few studies have investigated their specific effects. Thus, the purpose of this study was to investigate differences and similarities in clinical and neuromechanical effects of SM and Smob, among patients with CPNP.

Methods: This study was a randomized cross-over trial. Eighty-nine individuals with specific inclusion (eg: adults with mechanical neck pain) and exclusion (eg: contraindications to SM and Smob, history of recent surgery or neck trauma) criteria participated in two sessions, 72h apart, where they randomly received either SM or Smob during the first session then the other treatment for the second session. Cervical ranges of motion (ROM), pain intensity measured with the 11 points Numerical Pain Rating Scale (NPRS), grip-strength and pressure pain threshold (PPT) outcomes were assessed before and after each treatment, while muscular activity was recorded during the treatment using surface electromyographic electrodes (EMG). PPT and EMG activity were assessed on three muscles bilaterally: sternocleidomastoid (SCM), upper trapezius (UT) and tibialis anterior (TA). Outcomes following SM and Smob were compared using Wilcoxon signed-rank test, McNemar test and generalized model for repeated measures (ANOVA).

Results: All ROM were significantly higher after both interventions but no difference was found between SM and Smob ($p>0.05$). Differences between SM and Smob were

found for pain intensity and EMG. Indeed, pain intensity was significantly lower after SM (MD = 0.747, IC [0.563;0.932]) compared to Smob and normalized EMG root-mean-squares were higher during SM than Smob for SCM and UT bilaterally ($p<0.001$). A higher PPT was observed for SCM and UT bilaterally after both interventions ($p<0.05$). No consistent change was observed for grip-strength and clinical significance was reached only for “flexion-extension” and “lateral-flexion” arcs.

Conclusion: Although SM and Smob both resulted in higher ROM and PPT, SM led to immediate lower subjective pain intensity and yielded higher muscular responses for participants with CPNP. These results could help clinicians in their choice of treatment modalities of CPNP for short-term effects.

Keywords: spinal manipulation, spinal mobilization, chronic neck pain, clinical effects, pain, range of motion, electromyography, pressure pain threshold, grip-strength.

TABLE DES MATIERES

RÉSUMÉ.....	ii
ABSTRACT.....	iv
TABLE DES MATIÈRES.....	vi
LISTE DES TABLEAUX.....	viii
LISTE DES FIGURES.....	ix
LISTE DES ABRÉVIATIONS.....	x
REMERCIEMENTS.....	xii
INTRODUCTION.....	1
REVUE DE LA LITTÉRATURE	
1. Définitions, statistiques et impact de la cervicalgie chronique.....	3
2. Recommandations de prise en charge des cervicalgies primaires	
chroniques.....	7
3. Paramètres biomécaniques de la manipulation et de la mobilisation.....	13
4. Effets cliniques de la manipulation et de la mobilisation cervicales.....	18
5. Effets neuromécaniques de la manipulation et de la mobilisation cervicales	
.....	19
PROBLÉMATIQUE	22
OBJECTIF ET HYPOTHÈSES.....	23
ARTICLE SCIENTIFIQUE 24	
Background.....	25
Method.....	27
Results.....	39
Discussion.....	52

Strengths, limitations and clinical perspectives.....	57
Conclusion.....	58
References	59
DISCUSSION	
1. Retour sur l'objectif de l'étude.....	64
2. Synthèse des résultats de l'étude.....	64
3. Interprétation des résultats de l'étude	
a. <i>Intensité de la douleur</i>	<i>65</i>
b. <i>Amplitudes de mouvements.....</i>	<i>66</i>
c. <i>Réponse musculaire.....</i>	<i>68</i>
d. <i>Seuil de douleur à la pression.....</i>	<i>70</i>
e. <i>Force de préhension.....</i>	<i>72</i>
LIMITES ET FORCES	74
PERSPECTIVES SCIENTIFIQUES ET CLINIQUES.....	75
CONCLUSION.....	76
RÉFÉRENCES.....	77
ANNEXES.....	xiv-xix

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Les grades de cervicalgie.....	8
Tableau 2. Résumé des recommandations de prise en charge des cervicalgies primaire chroniques, issues du guide de bonnes pratiques cliniques de Buissières et al. (2016).....	10
Tableau 3. Interventions thérapeutiques à ne pas proposer pour les cervicalgies et troubles associés (NAD) (4–6 mois)	11
Tableau 4. Définitions des paramètres biomécaniques d'une manipulation vertébrale.....	14
Tableau 5. Définitions des paramètres biomécaniques d'une mobilisation vertébrale.....	15
Tableau 6. Intervalles des valeurs des paramètres biomécaniques d'une manipulation cervicale.....	17
Tableau 7. Intervalles des valeurs des paramètres biomécaniques d'une mobilisation cervicale.....	17
 <i>TABLEAUX SPECIFIQUES À L'ARTICLE SCIENTIFIQUE :</i>	
Table 1. Inclusion and exclusion criteria.....	28
Table 2. Pressure pain threshold measurements.....	34
Table 3. Socio-demographic characteristics and NDI score at baseline.....	41
Table 4. Mean values of the three arcs of range of motion pre- and post-intervention for SM and Smob.....	44
Table 5. nRMS values of muscular response (SCM, UT and TA) during SM and Smob.....	51

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Les régions anatomiques définissant une cervicalgie, vues de dos (A) et de profil (B)	4
Figure 2. Prévalence mondiale de la cervicalgie (A) et taux d'AVI (B) pour 100 000 habitants par âge et par sexe en 2020.....	5
Figure 3. Prévalence mondiale de la cervicalgie en fonction du sexe et estimation du nombre de cas de cervicalgies d'ici 2050, avec des intervalles de confiance à 95%.....	6
Figure 4. Profil force-temps d'une manipulation vertébrale.....	15
Figure 5. Profile force-temps d'une mobilisation vertébrale.....	16

FIGURES SPÉCIFIQUES À L'ARTICLE SCIENTIFIQUE :

Figure 1. Data collection flow chart.....	32
Figure 2. Participants' position for grip-strength measurements.....	35
Figure 3. Normalization procedure on the right tibialis anterior.....	37
Figure 4. Participants' flow chart.....	40
Figure 5. Pain intensity pre- and post-intervention (SM vs Smob)	42
Figure 6. SCM pressure pain threshold pre- and post-intervention (SM vs Smob)....	47
Figure 7. UT pressure pain threshold pre- and post-intervention (SM vs Smob).....	48
Figure 8. TA pressure pain threshold pre- and post-intervention (SM vs Smob).....	49
Figure 9. Left grip-strength pre- and post-intervention (SM vs Smob).....	50
Figure 10. Right grip-strength pre- and post-intervention (SM vs Smob).....	50

LISTE DES ABBRÉVIATIONS EN FRANÇAIS ET EN ANGLAIS

- ADM : Amplitude(s) De Mouvement
- AINS : Anti-Inflammatoires Non Stéroïdiens
- ANOVA. : Generalized model for repeated measures (modèle linéaire généralisé à mesures répétées)
- AVI : Années Vécues avec une Incapacité
- CIM : Classification Internationale des Maladies
- CPC : Cervicalgie(s) Primaire(s) Chronique(s)
- CPNP : Chronic Primary Neck Pain
- EMG : Electromyography.ic (électromyographie.ique)
- ETS : Expectation of treatment Scale (échelle des attentes thérapeutiques)
- GBD : Global Burden of Disease
- GRADE : Grading of Recommendations Assessment,
Development and Evaluation
- h : hour.s (heure.s)
- IASP : International Association for the Study of Pain
- Kg : Kilogram (kilogramme)
- MVC : Maximum Voluntary Contraction (contraction maximale volontaire)
- NDI : Neck Disability Index (échelle d'incapacité cervicale)
- NPRS : Numerical Pain Rating Scale (échelle numérique de la douleur)
- η^2p : Partial eta squared (eta-carré partiel)
- OMS : Organisation Mondiale de la Santé
- OPTIMa : Ontario Protocol for Traffic Injury Management

- PGIC : Patient Global Impression of Change (impression globale de changement)
- PPT : Pressure Pain Threshold (seuil de douleur à la pression)
- QoL : Quality of Life
- ROM : Range Of Motion
- SM : Spinal Manipulation (manipulation vertébrale)
- Smob : Spinal Mobilisation (mobilisation vertébrale)
- SCM : SternoCleidoMastoid (SternoCleïdoMastoïdien)
- TA : Tibialis Anterior (Tibial Antérieur)
- YLD : Years Lived with Disability

REMERCIEMENTS

Je souhaite tout d'abord remercier mon directeur de recherche, professeur Martin Descarreaux. Je te remercie tout particulièrement pour ton accueil chaleureux au Canada, tu as su faciliter ma transition depuis le Maroc et la France et me faire sentir la bienvenue dans ce pays qui est devenu le berceau de mon parcours en recherche scientifique. Je te remercie pour le temps que tu as su allouer à chaque étape de la réalisation de ce travail, pour tes encouragements, pour ta confiance et pour les opportunités que tu m'as offertes et continues à m'offrir. Le parcours de la recherche scientifique peut ébranler les repères mais ton soutien, ton ambition et ton travail acharné m'ont confortée dans mon choix de persévérance dans ce domaine.

Ce mémoire fut en partie le fruit d'une collaboration internationale avec l'hôpital universitaire de Balgrist à Zurich. Pour cela, je souhaite également remercier deux personnes : ma co-directrice de recherche, professeure Lindsay-Mary Gorrell et ma collègue devenue une amie, Danja Conconi.

Lindsay je te remercie pour ton temps, ta bienveillance et ton aide tout au long de la réalisation de ce projet de recherche. Ton parcours international est une inspiration à laquelle j'aspire.

Danja je te remercie pour tous les moments précieux passés ensemble en Suisse et au Canada. Ta rencontre m'a rappelé mon attachement aux collaborations internationales et la richesse personnelle et professionnelle qu'elles apportent.

Merci à mes collègues de laboratoire pour les moments de convivialité, les déjeuners devenus dîners à midi et les combats amicaux entre les expressions françaises et québécoises. Il faut bien dire qu'au local 3604 : « ben voyons don, il fait toujours frette icitte ».

Un spécial merci à toi Catherine pour ta disponibilité et ton aide dans les démarches les plus capricieuses.

Mes derniers remerciements, et non des moindres, vont à ma maman, mon papa et ma sœur. La décision de vous quitter à la quête de la connaissance fut difficile à prendre. Durant toutes ces années d'étude loin de vous, en France puis au Canada, votre soutien était et est encore inconditionnel et intemporel. Vos parcours personnels et professionnels respectifs ont illuminé mon sentier de cadette de la famille. Vous êtes mon inspiration et ma fierté. Vos encouragements, votre patience et votre amour ont été le moteur de mes réussites. Maman, papa, merci d'avoir su rompre le silence par la sagesse des mots, d'avoir su raviver ma détermination face à l'hésitation et d'avoir cru et parcouru avec dévouement mes péripéties. « Personne ne fera l'effort de croire en toi si tu ne commences pas par le faire toi-même ». Votre phrase a construit l'ambition et la persévérance qui animent la personne que je suis.

Si je devais être éternellement reconnaissante d'une unique chose, ce serait de vous avoir vous trois à mes côtés. Merci dans toutes les langues du monde et à toutes les époques de l'histoire.

INTRODUCTION

La cervicalgie chronique fait partie des conditions musculosquelettiques qui contribuent considérablement à l'augmentation des années vécues avec une incapacité (AVI) ainsi qu'à l'augmentation de la douleur rapportée par les patients et du fardeau qui pèse sur le système de santé mondial (GBD2021NeckPainCollaborators, 2024). Elle est d'ailleurs classée au 11^{ème} rang, parmi les maladies non transmissibles, en terme d'AVI (GBD2021NeckPainCollaborators, 2024). Les causes de la cervicalgie sont multifactorielles et l'évolution vers la chronicité est d'autant plus renforcée par le mode de vie sédentaire croissant dans la population générale et l'utilisation accrue des outils de technologie et des nouvelles modalités de télétravail (Sauter et al., 2025). En outre, d'autres symptômes tels que des maux de tête ou des irradiations aux membres supérieurs peuvent accompagner la cervicalgie et compliquer le diagnostic.

Dans le but de pallier les diverses contraintes liées à cette condition musculosquelettique (notamment l'augmentation des AVI), on observe un recours aux traitements conservateurs de type « thérapie manuelle » (Beliveau et al., 2017). Ces traitements, et notamment la manipulation (SM) et la mobilisation (Smob) cervicales ont montré leur efficacité dans le cadre d'approches multimodales telles que présentées dans plusieurs guides de bonnes pratiques cliniques (Blanpied et al., 2017; Bussières et al., 2016; Côté et al., 2016). Leur efficacité se traduit par une amélioration des critères non seulement cliniques (intensité de la douleur et amplitudes de mouvement), mais également neuromécaniques (seront traités dans la section « revue de la littérature »). Plusieurs études ont investigué ces effets lors d'une ou plusieurs

séances de SM ou de Smob combinées à d'autres approches telles que la prescription d'exercices de renforcement, l'aiguilletage à sec (dry-needling) ou encore le laser (Blanpied et al., 2017; Bussières et al., 2016; Côté et al., 2016). Cependant, peu d'études se sont intéressées aux effets cliniques et neuromécaniques isolés de la SM et de la Smob dans le contexte des cervicalgies chroniques. Une meilleure connaissance des effets distincts de chaque traitement permettrait d'orienter la prise en charge des patients en l'adaptant à leurs conditions et préférences thérapeutiques.

REVUE DE LA LITTÉRATURE :

1. Définitions, statistiques et impact de la cervicalgie chronique

La cervicalgie est définie comme une douleur siégeant entre la ligne nuchale supérieure et l'épine de la scapula postérieurement, et le bord supérieur de la clavicule antérieurement (Guzman et al., 2008) (*figure 1*). Elle peut être un symptôme évocateur d'une condition plus ou moins grave (ex : infection, maladies auto-immunes, fractures), comme elle peut représenter la manifestation d'une atteinte musculosquelettique (Perrot et al., 2019). Dans le but de faciliter l'approche diagnostique et thérapeutique des douleurs chroniques, une équipe du « International Association for the Study of Pain » (IASP) a établi, en coopération avec l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), une classification combinant l'aspect biologique et psychosocial notamment des conditions musculosquelettiques chroniques (Nicholas et al., 2019). Cette 11^{ème} classification internationale des maladies (CIM-11) introduit le terme de cervicalgie primaire chronique (CPC) (précédemment cervicalgie mécanique chronique) dont le diagnostic se base sur trois critères : la persistance ou la récurrence de la douleur pendant trois mois ou plus, la concomitance avec une détresse émotionnelle importante (ex : dépression, anxiété) ou avec une incapacité fonctionnelle importante impliquant une interférence dans les activités quotidiennes, et enfin, l'incapacité d'expliquer les symptômes par un autre diagnostic (Nicholas et al., 2019).

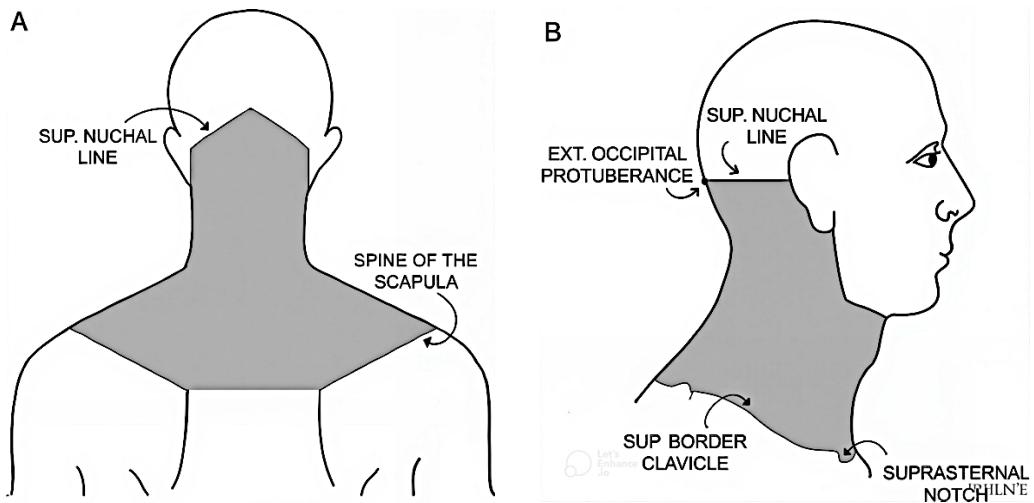


Figure 1. Les régions anatomiques définissant une cervicalgie, vues de dos (A) et de profil (B) (Guzman et al., 2008)

Selon l'étude “Global Burden of Disease” (GBD), le nombre d’AVI associé à une cervicalgie chronique a augmenté de 76,2%, passant de 11,5 millions en 1990 à 20,2 millions en 2020 (GBD2021NeckPainCollaborators, 2024). Cette même étude rapporte une augmentation de la prévalence mondiale de la cervicalgie chronique de 77,3%, passant de 115 millions de personnes atteintes en 1990 à 203 millions en 2020 et une augmentation de 32,5% mondialement est estimée d’ici 2050 (GBD2021NeckPainCollaborators, 2024) (*figure 2*).

Le GBD rapporte également un taux de prévalence et un taux d’AVI plus élevés chez la population féminine avec un pic observé entre l’âge de 50 et 74 ans pour les deux sexes (GBD2021NeckPainCollaborators, 2024) (*figure 3*).

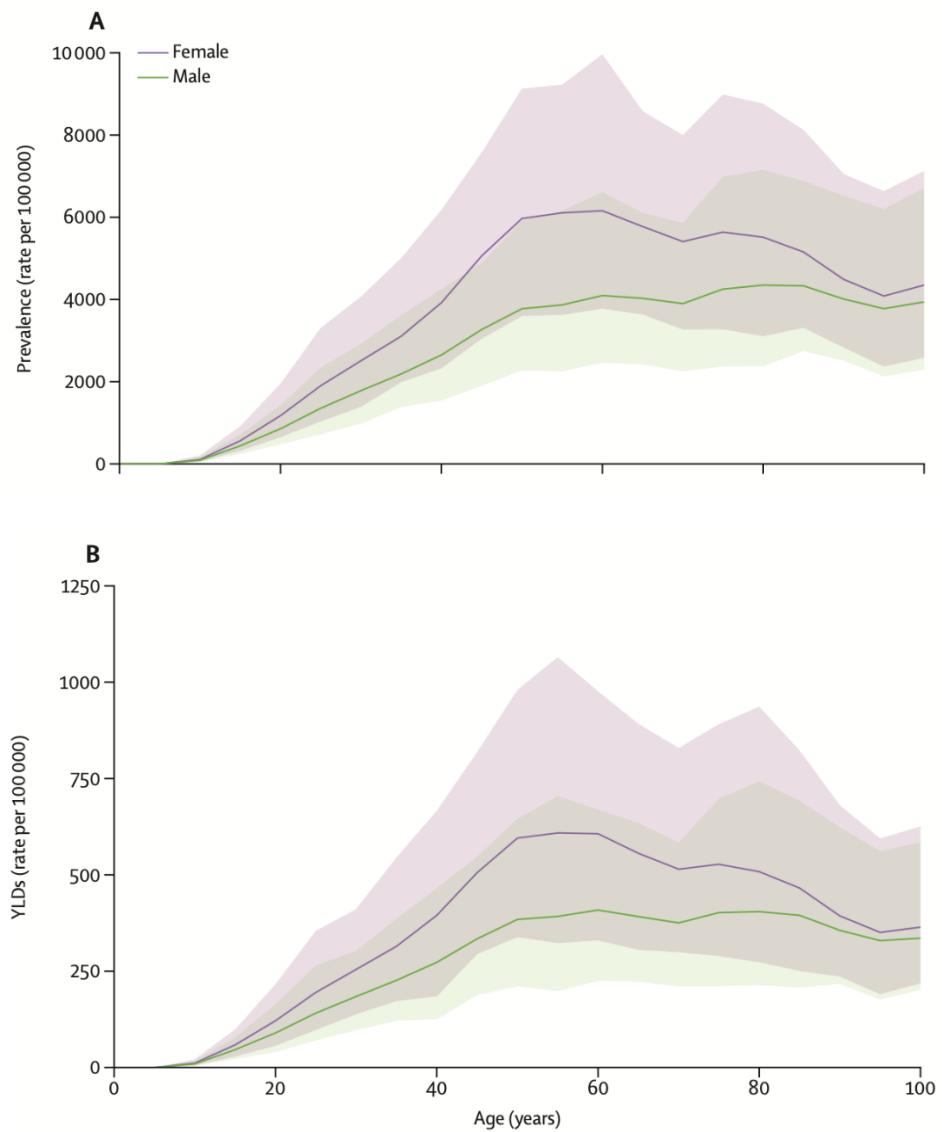


Figure 2. Prévalence mondiale de la cervicalgie (A) et taux d'AVI (B) pour 100 000 habitants par âge et par sexe en 2020. La zone ombrée représente les intervalles de confiance à 95 %, y compris le chevauchement entre les hommes et les femmes. AVI = années vécues avec une incapacité.
 (GBD2021NeckPainCollaborators, 2024).

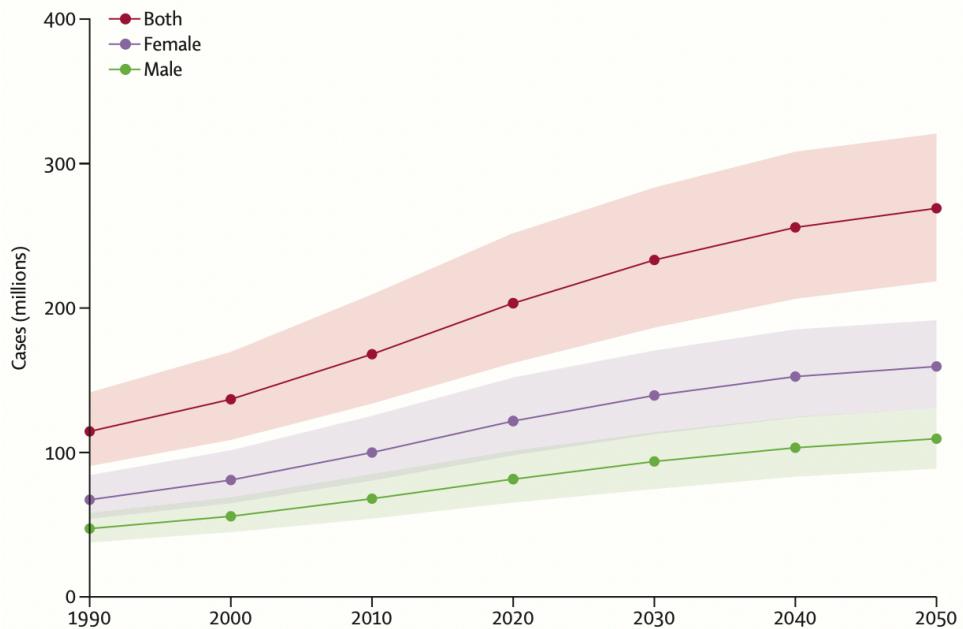


Figure 3. Prévalence mondiale de la cervicalgie en fonction du sexe et estimation du nombre de cas de cervicalgies d'ici 2050, avec des intervalles de confiance à 95%. (GBD2021NeckPainCollaborators, 2024).

Concernant l'évolution clinique de la cervicalgie, 23% des patients qui connaissent une évolution favorable de leur condition à court terme connaîtront un nouvel épisode et ainsi une récurrence pouvant contribuer au cycle de chronicité (Côté et al., 2016). Plusieurs incapacités, engendrées par la chronicisation de la cervicalgie, peuvent accompagner les symptômes de la cervicalgie telles qu'une détérioration de la qualité de vie mesurée par le questionnaire « Quality of Life » (QoL), une détérioration des fonctions motrices (telle qu'une diminution des amplitudes de mouvements (ADM) et de la contraction maximale volontaire (MVC) des muscles de la région cervicale), la qualité du sommeil et la gestion du stress (Nugraha et al., 2019; Qu et al., 2022). La prise en charge de la cervicalgie chronique est donc considérée comme un défi et on remarque un manque d'uniformité dans les recommandations fondées sur les données probantes (Côté et al., 2016; Qu et al., 2022).

Avant de se pencher sur les différentes stratégies de prise en charge clinique, il est important de mentionner que le projet de recherche présenté dans ce mémoire se focalise sur la CPC. La cervicalgie secondaire chronique incluant notamment les cervicalgies qui découlent d'infections, de fractures, les neuropathies cervicales et les pathologies inflammatoires, ne sera donc pas abordée.

2. Recommandations de prise en charge des cervicalgies primaires chroniques

L'un des plus récents guide de bonnes pratiques cliniques concernant la prise en charge clinique des cervicalgies a été émis par Côté et al. (2016) dans le cadre de la collaboration « Ontario Protocol for Traffic Injury Management » (OPTIMa). Côté et al. ont repris la classification des cervicalgies établie par le « 2000-2010 Bone and Joint Decade Task force on Neck Pain and its Associated Disorders » qui a divisé les cervicalgies en 4 grades selon la sévérité des symptômes, les signes cliniques et l'impact sur les activités quotidiennes (*voir tableau 1*).

Dans le cadre de ce mémoire, nous nous intéresserons aux grades I et II qui correspondent à la cervicalgie primaire, auxquels nous allons associer la notion de chronicité c.-à-d. une cervicalgie dont la durée est supérieure à trois mois. La présentation des guides de bonnes pratiques cliniques qui suit s'attardera donc à la CPC.

Tableau 1. *Les grades de cervicalgie (Bone and Joint Decade 2000-2010 Task Force on Neck Pain and its associated disorders, 2008)*

Grade I	Aucun signe ou symptôme suggérant une pathologie structurelle majeure et aucune, ou une très faible interférence avec les activités de la vie quotidienne.
Grade II	Aucun signe ou symptôme suggérant une pathologie structurelle majeure mais une interférence majeure avec les activités de la vie quotidienne.
Grade III	Aucun signe ou symptôme suggérant une pathologie structurelle majeure mais la présence de signes neurologiques tels que : une diminution des réflexes tendineux profonds, un déficit sensitif ou moteur.
Grade IV	Signes ou symptômes de pathologie structurelle majeure : fracture, dislocation vertébrale, blessure à la moelle épinière, infection, maladie systémique incluant les arthropathies inflammatoires, tumeur.

Tout d'abord, le guide de bonnes pratiques cliniques de la collaboration OPTIMa a été réalisé par une équipe d'experts multidisciplinaires et comprend des recommandations issues d'études s'intéressant à l'efficacité, au coût, à l'innocuité, aux implications éthiques et sociétales ainsi qu'à l'implication du patient dans son propre traitement. Concernant la prise en charge des patients atteints de CPC, l'équipe OPTIMa préconise une combinaison de plusieurs traitements. Les auteurs mentionnent d'ailleurs qu'il n'y a, à ce jour, aucune preuve scientifique de l'efficacité d'un seul traitement isolé (Côté et al., 2016). Ainsi, les professionnels de la santé devraient offrir aux patients des traitements de mobilisations ou de manipulations cervicales accompagnés d'exercices qui ciblent les ADM ainsi que des exercices de renforcement cervical (Côté et al., 2016).

L'équipe OPTIMa recommande également d'évaluer l'évolution clinique du patient lors de chaque visite afin d'adapter la prise en charge, voire d'y mettre un terme en cas d'amélioration significative de la condition du patient (Côté et al., 2016).

Quelques temps après le guide de bonnes pratiques cliniques de la collaboration OPTIMa, Bussières et al. (2016) ont publié une mise à jour des recommandations de deux guides de bonnes pratiques chiropratiques réalisés en collaboration avec l'Association Chiropratique Canadienne et la Fédération Chiropratique Canadienne. Les recommandations comprises dans cette mise à jour sont similaires à celles émises par l'équipe OPTIMa et mettent également l'accent sur l'importance d'une prise en charge multimodale dans le cadre des CPC. D'ailleurs les auteurs suggèrent aux thérapeutes d'évaluer plusieurs combinaisons de traitement multimodal afin d'en déduire la plus optimale (Bussières et al., 2016).

Les recommandations du guide de bonnes pratiques cliniques de Bussières et al. (2016) seront développées dans le paragraphe qui suit puisqu'il s'agit du guide le plus récemment publié et qu'il reprend la majorité des recommandations du guide établi par l'équipe OPTIMa.

D'une part, dans la catégorie des exercices, les exercices en groupe supervisés, les exercices de renforcement et de flexibilité supervisés et à la maison (tels que des étirements) ainsi que des conseils d'éducation thérapeutique émis par les professionnels de la santé, sont recommandés afin de réduire l'intensité de la douleur

et l'incapacité fonctionnelle sur une période de neuf semaines (une séance par semaine) à 12 semaines (plusieurs séances par semaine) (Bussières et al., 2016).

D'autre part, dans la catégorie de la thérapie manuelle, la manipulation, la mobilisation et les techniques de tractions accompagnées de traitement des tissus mous (notamment massage, acupuncture, thérapie par la chaleur, ondes ultrasons) sont recommandées pour une période de 20 semaines comprenant plusieurs séances (Bussières et al., 2016). Le tableau 2 présente un résumé de ces recommandations.

Tableau 2. Résumé des recommandations de prise en charge des cervicalgies primaire chroniques, issues du guide de bonnes pratiques cliniques de Bussières et al. (2016)

Type de traitement	Recommandations	Fréquence/durée
Exercices + éducation thérapeutique	<ul style="list-style-type: none"> - Exercices en groupe supervisés. - Exercices de renforcement supervisés et à la maison. - Exercices de flexibilité supervisés et à la maison. - Conseils d'éducation thérapeutique par des professionnels de la santé. 	<ul style="list-style-type: none"> - Plusieurs séances par semaine. - Neuf à 12 semaines.
Techniques manuelles	<ul style="list-style-type: none"> - Manipulation vertébrale. - Mobilisation vertébrale. - Techniques de traction. 	<ul style="list-style-type: none"> - Plusieurs séances par semaine. - Vingt semaines.
Traitement des tissus mous	<ul style="list-style-type: none"> - Massage. - Thérapie par la chaleur. - Ondes ultrasons. 	<ul style="list-style-type: none"> - Plusieurs séances par semaine. - Vingt semaines.

On retrouve également un ensemble d'approches thérapeutiques, cette fois-ci non recommandées, dans le guide de bonnes pratiques OPTIMa et celui de Bussières

et al. (2016). Le tableau 3 présente un résumé des approches thérapeutiques non-recommandées dans la prise en charge des CPC.

Tableau 3. *Interventions thérapeutiques à ne pas proposer pour les cervicalgies et troubles associés (NAD) (4–6 mois), tableau traduit et adapté (Côté et al., 2016)*

Ne pas proposer	Recommandation NAD grades I-II (4–6 mois)
Éducation structurée du patient seule, sous format verbal ou écrit	○
Thérapie strain-counterstrain	●
Massage de relaxation	●
Collier cervical	○
Application de chaleur humide en clinique	●
Stimulation musculaire électrique	●
Électroacupuncture	●
Programmes constitués uniquement d'exercices de renforcement supervisés en clinique à forte dose	●
Stimulation électrique nerveuse transcutanée (TENS)	●
Diathermie pulsée à ondes courtes	●
Séance autonome de relaxation pour la douleur ou le handicap	●
Injections de toxine botulinique	●
Thérapie laser de faible intensité (LLLT)	○
Traction	○

NAD : Cervicalgies et troubles associés

- : Interventions qui ne doivent pas être proposées pour la durée/grade de NAD spécifiés
- : Pas de recommandation "ne pas proposer" pour cette intervention pour la durée/grade spécifiés

Enfin, le département orthopédique de l'Association Américaine de Physiothérapie a également élaboré un guide de bonnes pratiques cliniques pour les cervicalgies. Ce guide divise les recommandations en 4 catégories établies en fonction des signes et symptômes cliniques : (1) cervicalgies avec des déficits de mobilité, (2)

cervicalgies avec une altération de la coordination des mouvements, (3) cervicalgies accompagnées de maux de tête (céphalées cervicogènes) et (4) cervicalgies avec irradiation (radiculopathie) (Blanpied et al., 2017).

Pour des raisons de pertinence relative au sujet de ce mémoire, nous nous concentrerons sur les recommandations des trois premières catégories.

Dans le cas d'une CPC avec des déficits de mobilité (1), Blanpied et al. (2017) recommandent une approche multimodale comprenant, les manipulations thoraciques et manipulations ou mobilisations cervicales, les exercices, notamment de coordination et de renforcement pour les régions cervicale et scapulo-thoracique, ainsi que l'aiguilletage à sec, le laser et les tractions intermittentes. Des exercices d'endurance de la région cervicale, de la ceinture scapulaire et du tronc ainsi qu'une éducation thérapeutique du patient sont aussi recommandés pour cette catégorie mais sont basées sur un niveau de preuve moindre que les premières recommandations (Blanpied et al., 2017).

Dans le cas d'une CPC avec altération de la coordination des mouvements (2), les recommandations sont de faible niveau de preuve et proposent des mobilisations accompagnées d'un programme individualisé combinant des exercices de renforcement et d'endurance cervico-thoracique en se basant sur les principes de la thérapie cognitivo-comportementale (Blanpied et al., 2017).

Finalement, dans le cas d'une CPC accompagnée de maux de tête (3), les auteurs recommandent des manipulations ou mobilisations cervicales ou cervico-thoraciques accompagnées d'exercices d'étirement, de renforcement et d'endurance des muscles de la région cervicale et de la ceinture scapulaire (Blanpied et al., 2017).

Bien que la prescription médicamenteuse dans le traitement des CPC ne fasse pas l'objet de ce mémoire, il est intéressant de mentionner que malgré l'utilisation répandue des analgésiques et d'autres anti-inflammatoires non stéroïdiens (AINS), tous types confondus, les données scientifiques actuelles ne montrent pas d'efficacité avérée de ces traitements pour la cervicalgie persistante (Côté et al., 2016). Il est cependant important de considérer la prise médicamenteuse des patients lors de leur prise en charge afin d'orienter le processus de décision thérapeutique (*voir la section méthodologie de l'article scientifique, critères d'inclusion et d'exclusion*).

Avant de présenter les effets cliniques et neuromécaniques de la manipulation et la mobilisation abordés dans la littérature scientifique, la section qui suit portera sur la définition de ces deux traitements et leurs paramètres biomécaniques.

3. Paramètres biomécaniques de la manipulation et de la mobilisation

La SM et la Smob sont les deux approches thérapeutiques manuelles investiguées dans le cadre de ce mémoire. La SM est définie comme une impulsion à haute vitesse et faible amplitude au niveau d'une articulation (Herzog, 2010) alors que la Smob est une force oscillatoire plus lente que la précédente à amplitude variable (Snodgrass et al., 2006). Ces deux thérapies manuelles sont caractérisées par des paramètres biomécaniques inhérents à leur application et dont la variation participe à la modulation des effets, notamment neuromécaniques (Gyer et al., 2022; Nougrou et al., 2016; Pagé et Descarreaux, 2019; Pagé et al., 2014). Ces effets seront discutés dans une section ultérieure de l'introduction. La présentation de ces paramètres biomécaniques est complexe car leurs définitions varient selon les diverses études

portant sur le sujet (L. M. Gorrell et al., 2023). Dans le cadre de deux revues de la portée, Gorrell et al. évoquent justement cette contrainte et présentent une synthèse des études portant sur les caractéristiques du profil force-temps de la manipulation et de la mobilisation (L. M. Gorrell et al., 2023; M. L. M. Gorrell et al., 2023). La revue critique de littérature de Gyer et al. (2022) a été choisie pour présenter les définitions des paramètres biomécaniques de la manipulation vertébrale et ce, du fait de sa publication récente et de l'aspect détaillé apporté à la définition de chaque paramètre abordé. Le tableau 4 présente les définitions des paramètres biomécaniques d'une manipulation vertébrale. La figure 4 présente l'aspect typique du profil force-temps d'une manipulation vertébrale.

Tableau 4. *Définitions des paramètres biomécaniques d'une manipulation vertébrale. Version traduite et adaptée (Gyer et al., 2022)*

Paramètres biomécaniques	Définition
Force de mise en tension (N)	La force constante appliquée pendant la phase de mise en tension (phase avant l'impulsion).
Durée de mise en tension (s)	Temps écoulé entre le début et la fin de la phase de mise en tension.
Force de l'impulsion (N)	La force contrôlée, appliquée perpendiculairement à la surface de la peau pendant la phase d'impulsion.
Pic de l'impulsion (N)	La force la plus élevée exercée pendant la phase d'impulsion.
Durée de l'impulsion (s)	Temps écoulé entre le début de la phase d'impulsion et le moment où le pic de l'impulsion est atteint.
Taux d'application de la force (N/s)	Calculé à l'aide de la formule : (pic de l'impulsion - force de mise en tension) / (durée de mise en tension).

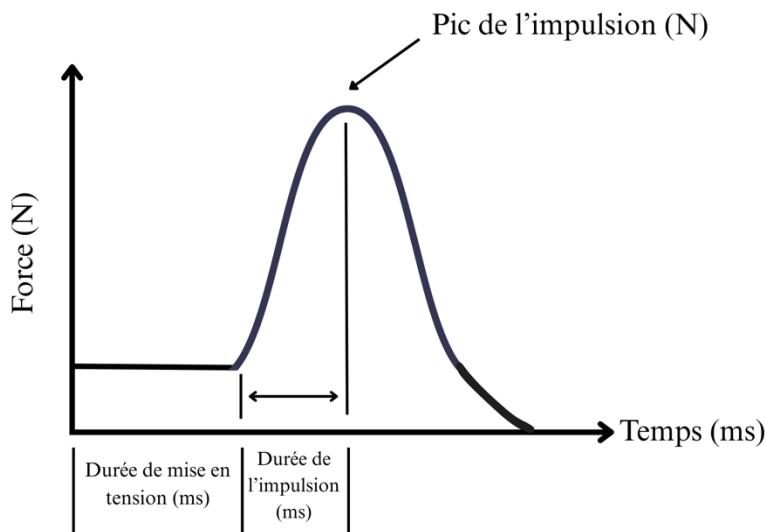


Figure 4. Profil force-temps d'une manipulation vertébrale, figure inspirée de Gorrell et al. (2022) et Gyer et al. (2022)

Le tableau 5 présente les définitions des paramètres biomécaniques d'une mobilisation vertébrale et la figure 5 présente l'aspect typique du profil force-temps d'une mobilisation vertébrale.

Tableau 5. Définitions des paramètres biomécaniques d'une mobilisation vertébrale. Version traduite et adaptée (M. L. M. Gorrell et al., 2023)

Paramètres biomécaniques	Définition
Pic de la force appliquée (N)	La force maximale appliquée lors d'une seule mobilisation, rapportée comme la moyenne des pics de force observés pendant une période déterminée de la mobilisation.
Durée (s)	La durée de la mobilisation.
Fréquence (Hz)	Le taux d'oscillation de la force répétée.
Amplitude de la force (N)	La différence entre les forces minimale et maximale de la mobilisation, rapportée comme la moyenne des amplitudes de force pendant une période déterminée de la mobilisation.

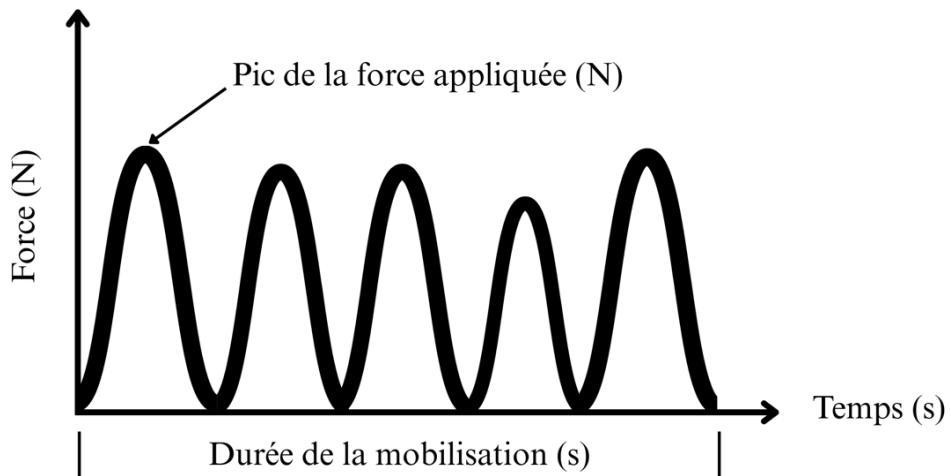


Figure 5. Profile force-temps d'une mobilisation vertébrale

Dans le cadre de ce mémoire, nous nous intéresserons à la présentation de valeurs moyennes des paramètres biomécaniques de la manipulation et de la mobilisation cervicales. Certaines de ces informations ont été utilisées pour orienter une partie du traitement des données (voir section méthodologie de l'article scientifique).

Parmi les 25 études incluses dans les deux revues de littérature de Gorrell et al. (2023), 20 études ont été réalisées auprès de participants humains et cinq à l'aide d'objets inanimés. Selon les études recensées, les paramètres biomécaniques ont été mesurés par le biais de différents outils (notamment des capteurs de pression et des plaques de force) et à des interfaces différentes (notamment thérapeute-patient, patient-table), ce

qui peut expliquer le large intervalle des valeurs présentées dans les tableaux 6 et 7 qui suivent (L. M. Gorrell et al., 2023; M. L. M. Gorrell et al., 2023).

Tableau 6. Intervalles des valeurs des paramètres biomécaniques d'une manipulation cervicale. (L. M. Gorrell et al., 2023)

Paramètres biomécaniques	Force de mise en tension (N)	Pic de l'impulsion (N)	Taux d'application de la force (N/s)	Durée de mise en tension (ms)	Durée de l'impulsion (ms)
Intervalle des valeurs rapportées	0-162	18-407	440-1787	20-195	90-130

Tableau 7. Intervalles des valeurs des paramètres biomécaniques d'une mobilisation cervicale. (L. M. Gorrell et al., 2023)

Paramètres biomécaniques	Pic de la force appliquée (N)	Durée (s)	Fréquence (Hz)	Amplitude de la force (N)
Intervalle des valeurs rapportées	0-128	60	0,3-2,4	14,4-52,5

Les sections qui suivent aborderont les effets cliniques (ADM et intensité de la douleur) et neuromécaniques (activité électromyographique, seuil de douleur à la pression et force de préhension) propres à la manipulation et à la mobilisation cervicales.

4. Effets cliniques de la manipulation et de la mobilisation cervicales

La SM et la Smob sont des traitements largement répandus dans le domaine de la thérapie manuelle pour traiter les douleurs aigues ou chroniques siégeant au niveau de la colonne vertébrale (Wirth Brigitte, 2019). Ces deux traitements ont montré des effets cliniques bénéfiques se manifestant notamment par une augmentation des ADM et une diminution de l'intensité de la douleur (Coulter et al., 2019; Giacalone et al., 2020; Gorrell et al., 2022; Gross et al., 2015; Wilhelm et al., 2023; Young et al., 2024). En effet, en termes d'intensité de la douleur, Wilhelm et al. (2023) et Giacalone et al. (2020) rapportent une diminution de la douleur suite à une seule ou plusieurs séances de SM. De plus, lorsque la SM a été comparée à une intervention contrôle de type « étirements », elle a induit une diminution de l'intensité de la douleur mesurée à 7 jours de suivi (Gorrell et al., 2016). Cette diminution n'était cependant pas cliniquement significative (Gorrell et al., 2016).

En ce qui concerne les ADM, une augmentation variée est observée. Une étude comparant la Smob cervicale à un placebo rapporte qu'une séance de Smob cervicale permet une augmentation des ADM en flexion latérale et en rotation chez des personnes ayant des cervicalgies primaires associée à une restriction des ADM (Lascurain-Aguirrebeña et al., 2018). Suite à une seule ou plusieurs séances de SM cervicale, Giacalone et al. (2020) rapportent une augmentation en extension et en rotation, tandis que Gorrell et al. (2016) rapportent une augmentation en flexion latérale et en rotation.

La méta-analyse de Anita Gross et al. de 2015 mise à jour, initialement publiée en 2003 puis mise à jour en 2010, ajoute que plusieurs séances de SM cervicale apportent des résultats légèrement supérieurs à certains médicaments (analgésiques, AINS,

relaxants musculaires) quant à la diminution de la douleur et l'augmentation des ADM (Gross et al., 2015). Cette méta-analyse a compilé plusieurs études de qualité « modérée » à « élevée » concluant à un effet similaire de la SM et la Smob cervicales, les comparant en cas de multiples séances. Il en a résulté que la manipulation et la mobilisation cervicales impliquent des effets cliniques bénéfiques similaires immédiatement, à court et à moyen termes (Gross et al., 2015).

5. Effets neuromécaniques de la manipulation et de la mobilisation cervicales

Concernant les effets neuromécaniques de la SM et de la Smob cervicales, l'activité (EMG), le seuil de douleur à la pression (PPT) et la force de préhension seront abordés.

Plusieurs études se sont intéressées à la réponse musculaire induite par les traitements de thérapie manuelle et plus particulièrement au lien entre les paramètres biomécaniques d'une SM (notamment le pic de l'impulsion d'une manipulation, la durée de l'impulsion) et la réponse musculaire, dans différentes régions de la colonne vertébrale (notamment thoracique et lombaire). Ces études ont rapporté, entre autres, une augmentation de l'activité musculaire de différents muscles de la colonne vertébrale durant et après la phase d'impulsion (SM) ou des oscillations (Smob) (Currie et al., 2023; Nougarou et al., 2013; Nougarou et al., 2016; Pagé et al., 2014; Pasquier et al., 2019). L'étude de Pagé et al. (2018) rapporte chez des adultes sans douleur, une réponse des muscles de la colonne vertébrale thoracique à la SM thoracique deux à trois fois supérieure à celle de la Smob de la même région, et un délai de réponse musculaire qui augmente avec l'augmentation de la durée de la force

appliquée. L'étude de Lardon et al. (2022) confirme ces résultats cette fois-ci chez des adultes avec une douleur primaire chronique au niveau de la région thoracique, avec une réponse des muscles paraspinaux supérieure pendant une SM en comparaison avec une Smob.

Dans le cas des cervicalgies primaires traitées par SM, Gorrell et al. (2022) rapportent des réponses musculaires plus élevées au niveau des muscles de la colonne cervicale (SCM et splenius cervicis) qu'au niveau des muscles plus distaux (latissimus dorsi, longissimus thoracis).

En ce qui concerne le PPT, les données probantes disponibles suggèrent une augmentation du PPT suite à une SM ou Smob qui serait notamment expliquée par un effet hypoalgesique segmentaire de la SM et la Smob (Giacalone et al., 2020; Lardon et al., 2022). En effet, dans une revue systématique, 19 des 27 études recensées rapportent une augmentation du PPT localement après une SM ou une Smob cervicale, thoracique et lombaire (notamment au niveau de l'articulation zygapophysaire de C5-C6 et du muscle trapèze supérieur (UT)) (Millan et al., 2012).

Les auteurs d'une revue systématique rapportent une augmentation immédiate du PPT et ce localement au site de la Smob (notamment au niveau de l'articulation zygapophysaire de C5-C6 et du muscle masseter) (Lascurain-Aguirrebeña et al., 2016). En outre, Giacalone et al. (2020) rapportent dans leur revue de littérature une augmentation du PPT dans la région cervicale suite à une seule ou plusieurs SM. Encore plus récemment, Lardon et al. (2022) ont mis en évidence une diminution immédiate de l'intensité de la douleur provoquée par la pression après une SM

thoracique chez des adultes ayant des douleurs primaires chroniques au niveau de la région thoracique, alors qu'une mobilisation de la même région n'a entraîné aucun effet immédiat sur cette variable.

Enfin, on retrouve des résultats inconsistants concernant l'effet des traitements de thérapie manuelle, et plus particulièrement la SM, sur la force de préhension. En effet, une étude impliquant des athlètes de judo rapporte une augmentation de la force de préhension suite à une seule et plusieurs SM cervicales (Botelho et Andrade, 2012). Cependant, l'étude pilote de Humphries et al. (2013) s'intéressant aux performances des joueurs de basketball récréatif, ne rapporte pas d'augmentation significative de la force de préhension après une seule SM cervicale. D'autres études plus récentes ont investigué l'effet de la SM cervicale sur la force de préhension chez des adultes ayant des CPC et rapportent une augmentation significative de la force de préhension du côté controlatéral à celui de la SM effectuée (Gorrell et al., 2016), et des deux côtés après plusieurs séances de SM cervicale (Bautista-Aguirre et al., 2017). On ne retrouve cependant pas de données probantes qui abordent les effets spécifiques de la Smob cervicale sur la force de préhension, ce qui rend impossible toute comparaison avec la SM cervicale à ce sujet.

PROBLEMATIQUE

Bien qu'il y ait des guides de bonnes pratiques cliniques pour accompagner la prise en charge notamment conservatrice des cervicalgies, la diversité des traitements de thérapie manuelle constitue un réel défi de prise de décision pour les thérapeutes. Les données probantes disponibles suggèrent que la SM et la Smob permettent, de façon similaire, une diminution de l'intensité de la douleur et une augmentation du PPT, alors que la SM induit une réponse musculaire supérieure à la Smob et des effets inconsistants quant à la force de préhension. Cependant, la majorité des études abordent la SM et la Smob combinées entre elles ou à d'autres traitements, ce qui rend difficile la distinction des effets spécifiques à chacune. De plus, on observe souvent l'utilisation d'un terme générique « thérapie manipulative vertébrale » ce qui accentue davantage la confusion autour des définitions et du contexte optimal d'application de la SM ou de la Smob. D'ailleurs, les similarités dans les effets cliniques et neuromécaniques de ces deux thérapies peuvent en partie être expliquées par l'utilisation de ce terme général (Lardon et al., 2022). Devant la diversité des choix de traitements, le manque d'études scientifiques s'intéressant aux effets spécifiques de chaque traitement et l'importance de considérer les préférences des patients, une comparaison des effets cliniques et neuromécaniques de la SM et la Smob cervicales, pourrait, en plus d'autres études à plus long terme, contribuer à apporter plus de lucidité lors de la prise de décision thérapeutique.

OBJECTIF ET HYPOTHESES

L'objectif de ce travail de recherche est de comparer les effets cliniques et neuromécaniques immédiats entre la SM et la Smob cervicales chez des individus ayant des CPC.

Nous avons émis l'hypothèse suivante : la SM et la Smob cervicales entraîneront des changements différents de l'intensité de la douleur, des ADM cervicales du PPT, de la force de préhension et de la réponse musculaire. L'ampleur de ces différences et leur pertinence clinique restera à déterminer.

Titre : Clinical and neuromechanical effects of cervical spine manipulation compared to those of cervical spine mobilization among individuals with chronic primary neck pain: a randomized cross-over trial

Publication prévue dans le journal : *BMC Complementary Medicine and Therapies.*

Salma Bouqartacha¹, Danja Conconi², Yves Schwendenmann¹, Mathieu Piche³, Petra Schweinhardt², Lindsay Gorrell², Martin Descarreaux¹

¹Department of human kinetics, University of Quebec in Trois-Rivières, Trois-Rivières, Canada.

²Department of Chiropractic Medicine, Integrative Spinal Research Group Balgrist University Hospital, University of Zurich, Zurich, Switzerland.

³Department of anatomy, University of Quebec in Trois-Rivières, Trois-Rivières, Canada.

BACKGROUND

Neck pain is a common musculoskeletal condition contributing to worldwide high levels of pain, disability, and economic costs [1]. Indeed, chronic neck pain prevalence has increased by 77.3% between 1990 and 2020 and is expected to increase by 32.5% by 2050 [1], mainly due to the world's aging population [2]. Neck pain has been one of the leading causes of years lived with disability (YLDs) since 1990 [1]. In fact, the 2019 global burden of disease study reported neck pain to be ranked 11th out of 369 conditions in terms of YLDs [1]. Moreover, the YLDs associated with chronic neck pain substantially increased by 76.2% between 1990 and 2020 [1].

Spinal manipulation (SM) and spinal mobilization (Smob) are two conservative manual therapy techniques recommended by several clinical guidelines as part of multimodal approaches in the treatment of chronic primary neck pain (CPNP) [3-6]. While SM is defined as a procedure using high-velocity low-amplitude force characterized by a thrust delivered to an articulation [7], Smob is characterized by a slower oscillatory force with a variable amplitude applied to an articulation [8]. A Cochrane review showed that several studies report similar clinical and neuromechanical effects of SM and Smob when used to treat patients with CPNP [9]. Regarding clinical effects, both SM and Smob have been shown to decrease pain intensity and increase ranges of motion (ROM) of the cervical spine in short- and intermediate-term follow-ups [9-14].

Evidence, however, is sparse regarding the comparison of neuromechanical effects between cervical SM and Smob in patients with chronic neck pain [12]. It is suggested that SM and Smob result in an increase in muscular response, measured by electromyography (EMG), during and after the SM thrust or Smob oscillations [12],

15-21]. When delivered to the thoracic spine, the muscular response during and after Smob was shown to be two to three times lower compared to SM [20, 21]. In addition to muscular activity, the effect of SM and Smob on pressure pain thresholds (PPT) were investigated and results suggest that both interventions can lead to increases in PPT, immediately and locally at the site of the intervention [13, 20, 22, 23]. Two systematic reviews reported a higher PPT, after either cervical SM [22] or cervical Smob [22, 23]. Finally, among neuromechanical effects, grip-strength was shown to offer essential insight into both muscular function and overall physical condition [24]. Indeed, not only did a low grip-strength score show a correlation with several diseases (eg: cardiovascular disease, sarcopenia, fragility fractures), but it also showed great potential as a future prevention tool and a new cost effective, non-invasive vital sign [24]. However, few studies have explored the relationship between grip-strength and cervical SM or cervical Smob, and while the results are conflicting, a lack of significant change in grip-strength after SM has been reported among adults with CPNP [25, 26].

The similarities in clinical and sometimes physiological effects of SM and Smob observed in the scientific literature may partly be explained by the use of a general term in clinical research for both interventions: spinal manipulative therapy [20]. This lack of precision has led to broad interpretations and insufficient evidence for clinicians to make treatment decisions about the specific use of SM or Smob [20]. Therefore, more research comparing the effects of cervical SM and cervical Smob is needed in order to deliver each intervention timely to the right patient and according to the clinical situation and patient preferences.

This study seeks to explore the differences and compare immediate clinical and neuromechanical effects of cervical SM and cervical Smob among patients with CPNP.

We hypothesize that cervical SM and cervical Smob will lead to different immediate results in all clinical and neuromechanical outcomes. However, the extent of those differences in terms of statistical and clinical relevance remain to be determined.

METHOD

Design

This study was a randomized cross-over trial conducted at two biomechanics research laboratories: one at Université du Québec à Trois-Rivières (UQTR) (Canada) and the other at Balgrist University Hospital (BUH) (Switzerland). Approval for the project was first obtained from the Cantonal Ethics Committee of Zurich (BASEC no. 2023-00997) and then from the Research Ethics Board for human research at UQTR (CER-23-302-10.01). All participants provided written informed consent at both sites.

Participants

Eighty-nine participants with CPNP were recruited from the local populations of Trois-Rivières (Canada) and Zurich (Switzerland). The recruitment took place first in Zurich : from August 2023 to January 2024, then in Trois-Rivières : from March 2024 to June 2024. Recruitment strategies included the use of flyers and posters that were distributed among local population for both sites and displayed in the university and university clinics in Trois-Rivières. Moreover, social media platforms were used to target eligible individuals. An initial screening was conducted through a phone call

with individuals who showed interest by either calling or emailing the research team. Inclusion and exclusion criteria were discussed and assessed with the potential participants and those who met all inclusion criteria were enrolled in the study. All inclusion and exclusion criteria can be found in *table 1*.

Table 1. Inclusion and exclusion criteria

Inclusion criteria	Exclusion criteria
<ul style="list-style-type: none"> • Age 18-65 years, • Ability to understand and communicate in French, English or German, • Mechanical neck pain located below the superior nuchal line and inferior border of the mandible and above the superior border of the clavicle, suprasternal notch and scapular spines bilaterally, with a duration of ≥ 12 weeks [27] 	<ul style="list-style-type: none"> • Neck pain not originating from the cervical spine, • Conditions or medications that could affect heart rate variability signals (e.g., hypertension, diabetes, cardiovascular disease, obesity (BMI > 30), pregnancy, current use of pain medications, steroids, antidepressants or β-blockers) and contraindications to the application of SM and Smob (e.g., possibility of cerebrovascular compromise, osteoporosis, personal or family history of connective tissue disorders, current use of anticoagulant therapy, history of recent surgery or neck trauma, facial or intra-oral anesthesia or paresthesia, visual disturbances, dizziness or vertigo) • Participants who received any manual treatments (e.g., SM, Smob, therapeutic massage) two weeks prior to data collection • Participants who took any type of pain medication 24 hours prior to each data collection session

Legend :

BMI: Body Mass Index; **SM:** Spinal Manipulation ; **Smob:** Spinal Mobilization.

Experimental protocol

Timeline and clinical assessment

The experiment consisted of two sessions, conducted 72 hours apart and each lasting about two to three hours. Participants were randomly assigned to receive either a cervical SM or cervical Smob during the first session. At the beginning of each session, a short, targeted medical history and physical examination were carried out by a clinician to rule out any red flags or contraindication to SM or Smob. In Zurich, the clinician was either a registered and practicing chiropractor with 10 years of experience, or a registered chiropractor and master student at UQTR. Whereas in Trois-Rivières, the clinician was the same registered chiropractor and master student at UQTR. During the physical examination, the chiropractor localized and marked the most painful cervical vertebra level and side, which would later serve as a landmark for clinicians delivering the interventions (the same vertebral level was targeted to deliver the intervention on both visits).

Interventions

SM was delivered by registered practicing chiropractors at both sites while Smob was delivered by chiropractors and physiotherapists at BUH and chiropractors, one kinesiologist and one osteopath at UQTR. All clinicians from BUH have more than five years of clinical experience and clinicians from UQTR have two or more years of clinical experience.

SM consisted of a single high-velocity, low-amplitude thrust delivered to the targeted cervical zygapophyseal joint. Smob consisted of repeated mobilizations applied to the spinous process of the targeted cervical vertebra in a posterior-anterior

motion [28]. The second session was conducted in the exact same way, except for the intervention being either SM or Smob (*see Figure 1 for the detailed flow chart*).

As this mobilization procedure was never performed by chiropractors at BUH and none of the clinicians at UQTR, they were trained by a physiotherapist and a chiropractor from BUH (on site at BUH and by a videocall meeting at UQTR) who regularly deliver this type of prone mobilizations in their practice.

During the intervention, in order to minimize bias as expectation bias, clinicians had no interaction with participants other than introducing themselves and delivering the allocated intervention. For cervical SM, the participant was supine on a height-adjustable treatment table. The clinician was handed a flexible pressure mat to put between their index finger and the participant's neck. The clinician was then asked to perform one single SM to the identified cervical spine level. The position of the participant's neck during the intervention was left for the clinician to decide. For cervical Smob, the participant was prone on the treatment table. The clinician was handed the flexible pressure mat to put between their thumbs and the participant's neck. The clinician was then asked to perform repeated mobilizations, for 30 seconds, to the cervical spine level identified with the landmark.

Force-time characteristics of SM and Smob

A pliance-Novel measuring system (Novel, pliance-xf-16 Medical and accessories, Germany) was used, with a customized high-resolution pressure mat (Novel, Pliance S2132 sensor, Germany), allowing for the measurement of the forces applied by the clinician at the clinician-participant interface (cervical spine) with a recording frequency of 200Hz. The sensor is capable of measuring pressures ranging

from 5-600kPa, has an area of 160x160mm² and a resolution of 4 sensors (5mmx5mm) per cm².

The recorded forces allowed, during data collection, for a first visual assessment of the time-force profiles of SM and Smob and to determine the peak force and the peak time of force which were further used during EMG data analysis (*see statistical analysis section*). A low-pass filter with a cutoff frequency of 5Hz was applied to the mobilization force signal to identify mobilization cycle peak forces. The peak force was defined as the highest force value reached during SM thrust or Smob oscillations, whereas the time to peak force was defined as the time between the instant pressure was applied by the clinician at the beginning of the procedure and the peak force [29-31]. Furthermore, a SM peak force threshold of 40.5N was identified as the lowest value of peak force for a cervical spine SM [31]. Therefore, all participants with SM peak force data less than 40.5 N, were excluded from EMG analysis.

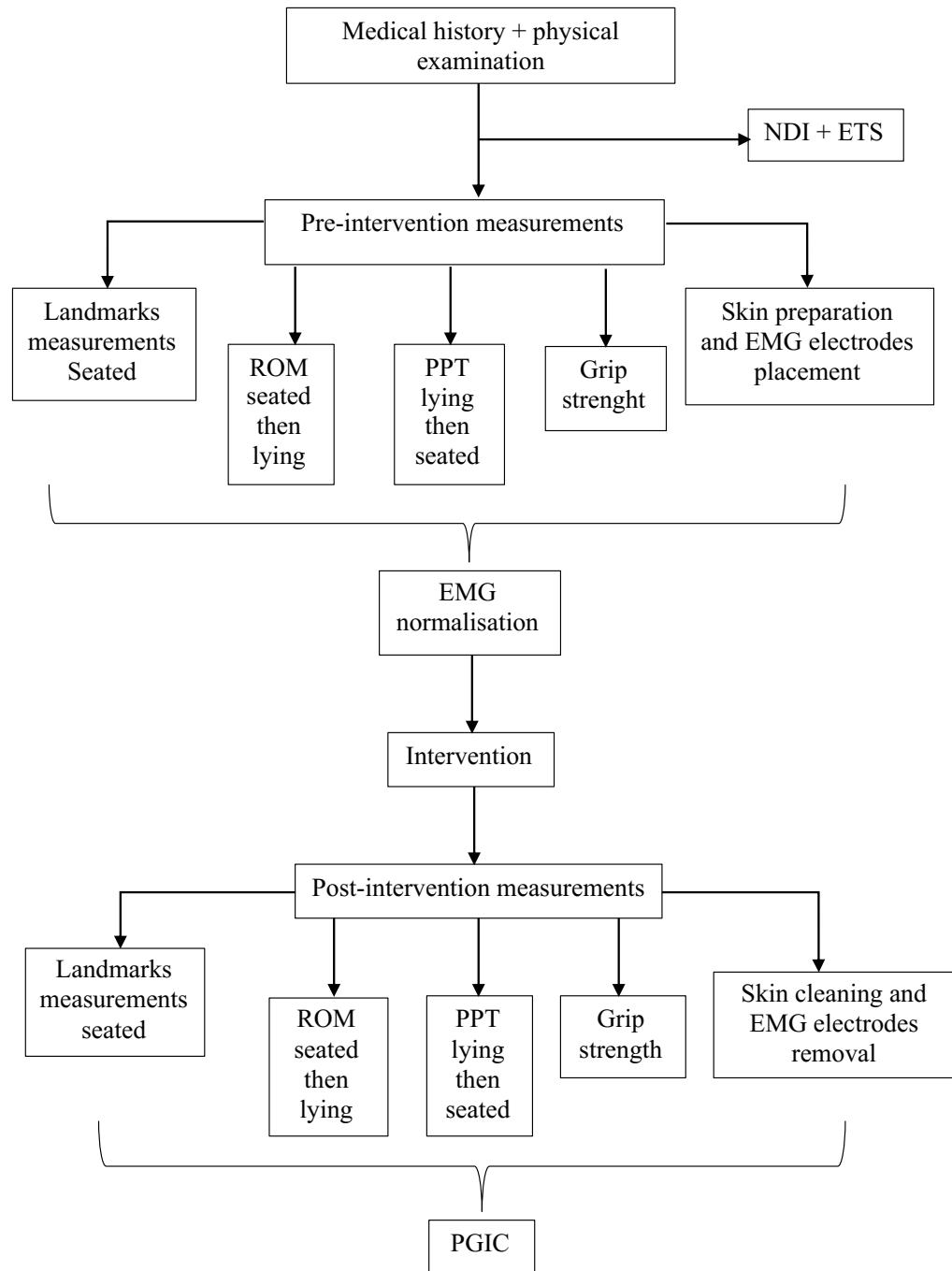


Figure 1. Data collection flow chart

Legend :

ROM: Range Of Motion, **PPT:** Pressure Pain Threshold, **EMG:** electromyography, **NDI:** Neck Disability Index, **ETS:** Expectation of Treatment Scale, **PGIC:** Patient Global Impression of change.

Clinical and neuromechanical outcomes

ROM, PPT and grip-strength were assessed by a JTech Medical system (JTtech Medical and accessories, USA) at two times: during pre- and post-intervention measurements. PPT and EMG responses were assessed on three muscles bilaterally: sternocleidomastoid (SCM), upper trapezius (UT) and tibialis anterior (TA). At both sites (Zurich and Trois-Rivières), data were collected by a blinded data collection assistant.

Pain intensity

Pain intensity was assessed before and after each intervention with a numerical pain rating scale (NPRS): the first time during medical history and the second time after post-intervention measurements. Participants were asked to rate their current pain intensity on a scale from 0 = no pain to 10 = worst pain imaginable [32].

Ranges of motion

Participants were asked to perform active cervical ROMs : flexion, extension, bilateral lateral-flexion and bilateral rotation, each three times, by “going to the maximum of their range of motion until they reach their pain sensation or discomfort”. An inclinometer (JTtech Medical Duler IQ Pro digital inclinometer, USA) was put on top of the participants head (for flexion, extension and bilateral lateral-flexion) and forehead (for bilateral rotation) at an equal distance from both ears. Flexion, extension and bilateral lateral-flexion were assessed with the participants in a seated position on a chair with their back and head straight, while bilateral rotation was assessed in a supine position. The average of repetitions was used for data analysis.

Pressure pain threshold

Pressure pain threshold was measured using an algometer with a 1cm² tip (JTech Medical Commander Echo Wireless pain testing algometer starter kit, USA). The location of the PPT measurements depended on the muscle and are listed in *Table 2*. A perpendicular pressure was applied to the muscle with a constant speed of 0.5 kg/sec. A metronome set to 60 beats per minute was used to guide the application of the pressure. Participants were asked to say “STOP” once they “first perceive a change in the quality of the pressure such as burning, stinging, drilling or aching” [33]. In order to familiarize participants with the change in sensation, three repetitions were conducted on the thenar of the dominant hand. PPT were then assessed for each muscle three times with a ten second rest between tests and alternating between the right and the left side. The three trials were averaged and the mean was used for data analysis.

Table 2. Pressure pain threshold measurements

Muscle	PPT
Tibialis anterior	Five centimeters distal to anterior tibial tuberosity (ATT) then 3cm between ATT and electrode placement [34].
Sternocleidomastoid	Proximal insertion right below the mastoid process [35].
Upper trapezius	Mid-point between the spinous process of the 7 th cervical vertebra and the acromion [35].

Grip strength

Grip strength was measured using a hand-grip dynamometer (JTech Medical Commander Echo grip dynamometer starter kit, USA). Participants were seated on a chair with their arm and wrist at a 90° angle. They were then handed the device and asked to squeeze it to the maximum of their ability, three times for each hand while alternating sides, as the researcher encouraged them by yelling “GO, GO, GO” (*see Figure 2 for participants position*). The mean score obtained from the three trials was used for data analysis.

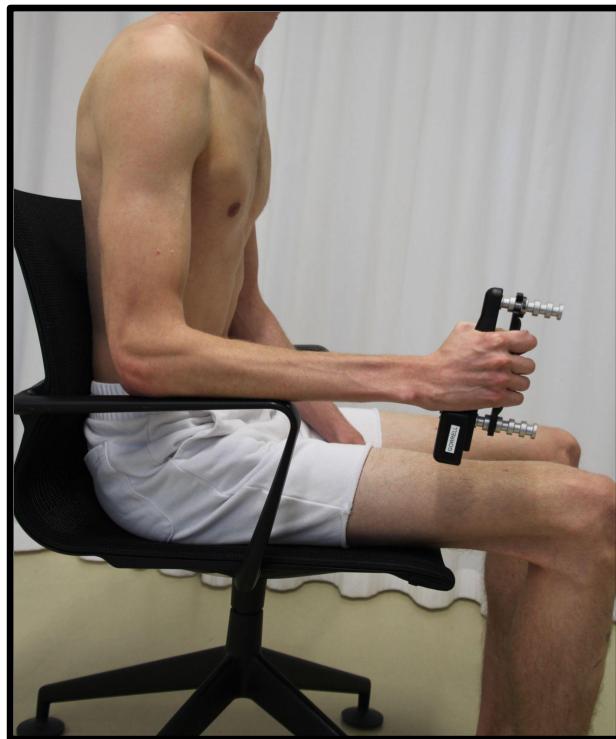


Figure 2. Participants' position for grip-strength measurements

Muscular activity and normalization

Muscular activity was recorded using wireless bipolar surface EMG electrodes (circular shape, 41x15.5x11.3mm, Pico EMG, Cometa Systems, Italy). Landmark measurements for electrodes placements were defined according to the SENIAM recommendations for sensor locations on individual muscles for UT and TA, and according to the recommendations by Falla *et al.* (2002) for SCM, and were written down and saved for each participant to minimize variability between both sessions. All electrodes were placed with an orientation parallel to the muscle fibers and interelectrode distance was greater than 20mm following the SENIAM recommendations. To reduce impedance, skin was shaved and cleaned with fine sandpaper (Red DotTrace Prep; 3M, St. Paul, MN) or with a scrubbing paste (NuPrep skin preparation gel, Weaver & Co., Aurora, CO, USA) and then with alcohol (70% ethyl alcohol).

To reduce inter- and intra-individual variability, normalization was performed and the maximum voluntary contraction (MVC) was chosen considering the Consensus for Experimental Design in Electromyography project [36]. Participants were asked to actively resist to the maximum of their ability against the researcher's force for five seconds. The position of the participant depended on the tested muscle (*see Figure 3 for an example of normalization position*). Normalized EMG data were used for all data analyses.



Figure 3. Normalization procedure on the right tibialis anterior

Questionnaires

During each session, participants were asked to fill out two questionnaires before pre-intervention measurements: Neck Disability Index (NDI) [32] and Expectation of Treatment Scale (ETS) [37], and one after post-intervention measurements: Patient's Global Impression of Change (PGIC) questionnaire [38] (*see full questionnaires in appendix*). These questionnaires were included to assess participants' baseline and post-intervention conditions and assure their stability between the two sessions.

Data analysis

Customized MATLAB (R2023b Update 6 (23.2.0.2485118)) scripts were created for each intervention (SM and Smob). EMG data were filtered using a band-pass filter (30-450hz). SM and Smob force-time profiles were used to identify the peak

forces and time to peak which were subsequently used to calculate EMG activity in response to either SM or Smob. For SM, a time window was generated 250ms before and after the peak-time of the thrust and the normalized Root Mean Square (nRMS) was then calculated for the three muscles bilaterally. For Smob, a time window was generated 250ms before and after each mobilization cycle's peak force. The nRMS was then calculated for the three muscles bilaterally and for each cycle and the average of all nRMS cycle values for each muscle and side was calculated.

Statistical analysis

The level of statistical significance was set at $p<0.05$ for all analyses and both “IBM SPSS Statistics, version 29.0.2.0 (20)” and Statistica version 13.5.0.17 (Tibco Statistica 13.5) software were used for statistical analysis. Data were checked for normality before any statistical analysis.

A generalized model for repeated measures (ANOVA) was used for the following outcomes: pain intensity, ROM, PPT and grip strength. The ANOVA was chosen to assess the main effect of treatment (SM vs Smob), the main effect of time (pre-intervention vs post-intervention) as well as the interaction effect (treatment x time). A Tukey correction was applied to adjust for post-hoc tests. In order to facilitate results' interpretations, ROM data were categorized into three 180° arcs: flexion-extension, right and left lateral-flexions, right and left rotations.

Wilcoxon signed-rank and McNemar tests were used for the questionnaires: NDI, ETS and PGIC and the Wilcoxon signed-rank test was used to compare muscle responses between SM and Smob.

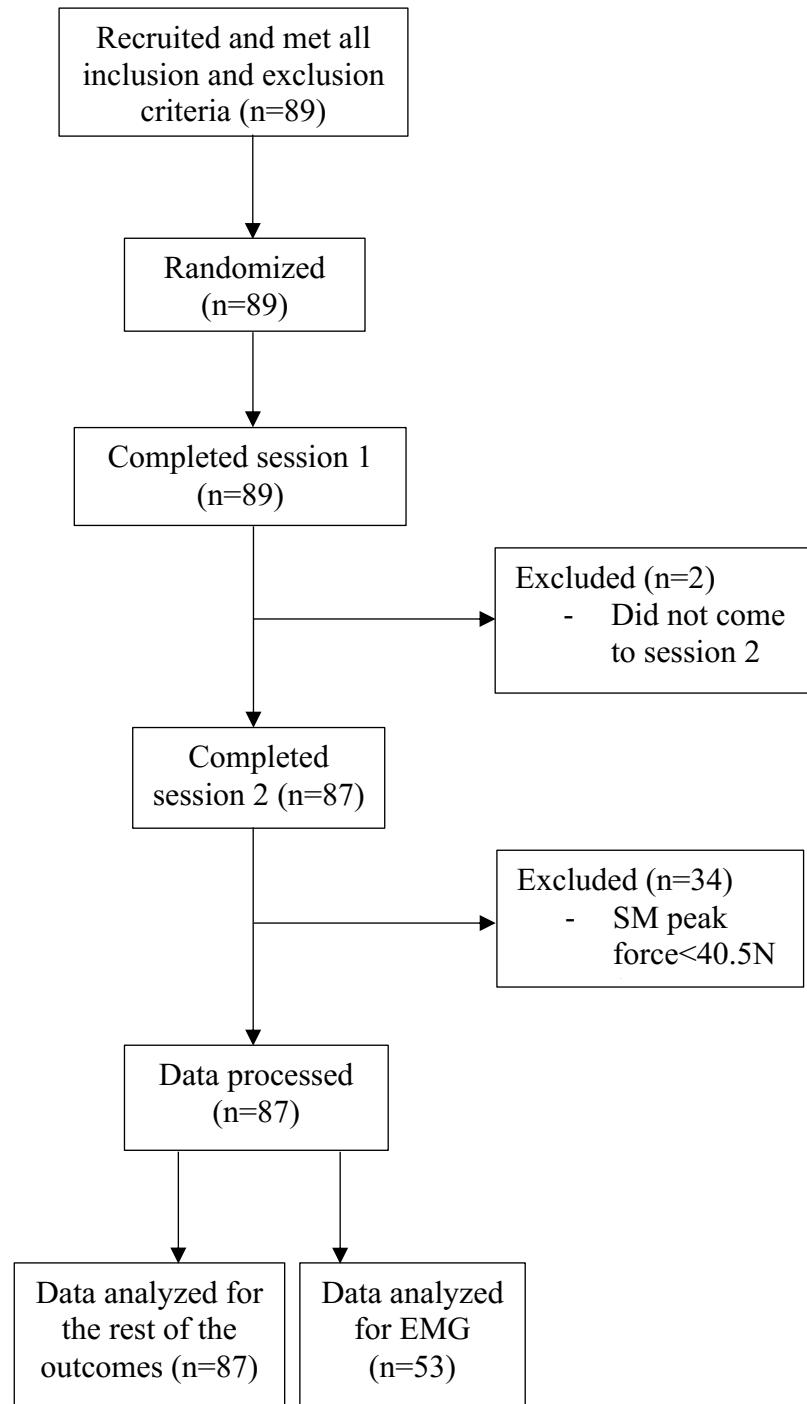
RESULTS

Baseline characteristics

Eighty-nine participants were recruited and randomized. Two participants did not attend the second session and were therefore excluded from all analysis. Overall, data from 87 participants were included in the data analysis except EMG data for which only data from 53 participants were included as SM peak forces were higher than 40.5N (*see Figure 4 for the participants' flow chart*). Socio-demographic characteristics, NDI and expectations scores at baseline as well as their interpretation can be found in *Table 3*.

Questionnaires

There was no difference in NDI at the beginning of each session ($Z= 0.605$, $p = 0.545$). Conversely, there was a higher positive perception of change following SM, compared to Smob, measured by the PGIC $Z= 3.308$, $p < 0.001$ ($\text{mean_score}_{\text{SM}} = 2.87$, $\text{mean_score}_{\text{Smob}} = 3.23$). However, this difference did not reach the minimal clinically important difference (MCID) threshold (score ≤ 2) [39]. Expectations, measured by the ETS, were similar before receiving each intervention ($p > 0.05$).



* Defined as the lowest value of force for a SM on the cervical spine [31].

Figure 4. Participants' flow chart

Legend :

EMG: electromyography, **SM:** spinal manipulation.

Table 3. Socio-demographic characteristics, ETS and NDI scores at baseline

Variable	Value/interpretation			
Age (years) (mean +/- SD)	35 (12)			
Height (cm) (mean +/- SD)	170 (8)			
Weight (kg) (mean +/- SD)	72 (13)			
Sex (%)	65% W			
NDI Score /50 (%)	<ul style="list-style-type: none"> • < 5 (1.1%) → no disability • 5-24 (78.7%) → mild to moderate disability • >/=25 (20.2%) → severe to complete disability 			
ETS questions :	Partially disagree (%)	Partially agree (%)	Agree (%)	Defenitely agree (%)
1. I expect that the treatment will help me deal with my symptoms better.	SM: 10.1 Smob: 6.7	SM: 28.1 Smob: 33.7	SM: 37.1 Smob: 34.8	SM: 24.7 Smob: 22.5
2. I expect that the treatment will make my symptoms go away.	SM: 32.6 Smob: 34.8	SM: 41.6 Smob: 33.7	SM: 18 Smob: 20.2	SM: 7.9 Smob: 9.0
3. I expect my energy to improve with the treatment.	SM: 24.7 Smob: 22.5	SM: 32.6 Smob: 34.8	SM: 29.2 Smob: 27.0	SM: 13.5 Smob: 13.5
4. I expect improved physical performance for the treatment.	SM: 28.1 Smob: 28.1	SM: 36 Smob: 34.8	SM: 23.6 Smob: 21.3	SM: 12.4 Smob: 13.5
5. I expect that my symptoms will improve significantly after the treatment.	SM: 22.5 Smob: 23.6	SM: 36 Smob: 25.8	SM: 28.1 Smob: 30.3	SM: 13.5 Smob: 18.0

Legend :

NDI: Neck Disability Index, **SD:** Standard Deviation, **SM:** Spinal Manipulation, **Smob:** Spinal Mobilization, **ETS:** Expectation of Treatment Scale, **kg:** kilograms, **cm:** centimeters.

Pain intensity

Statistical analysis yielded a significant main effect of time ($F(1.86) = 46.464$, $p < 0.001$, $\eta^2 p = 0.351$), a significant interaction effect “treatment x time” ($F(1.86) = 10.511$, $p = 0.002$, $\eta^2 p = 0.109$) and no main effect of treatment ($F(1.86) = 0.061$ $p = 0.805$, $\eta^2 p = 0.001$). Post-hoc tests showed a significant decrease in pain intensity that was greater after SM: SM ($MD_{T1-T2*} = 0.747$, $p < 0.001$, 95% CI [0.563 ; 0.932]). However, this difference in pain score did not reach the MCID of 1.3 points on the NPRS [32] (see Figure 5).

* $T1-T2 = \text{pre-intervention time} - \text{post-intervention time}$. $MD = \text{mean difference}$.

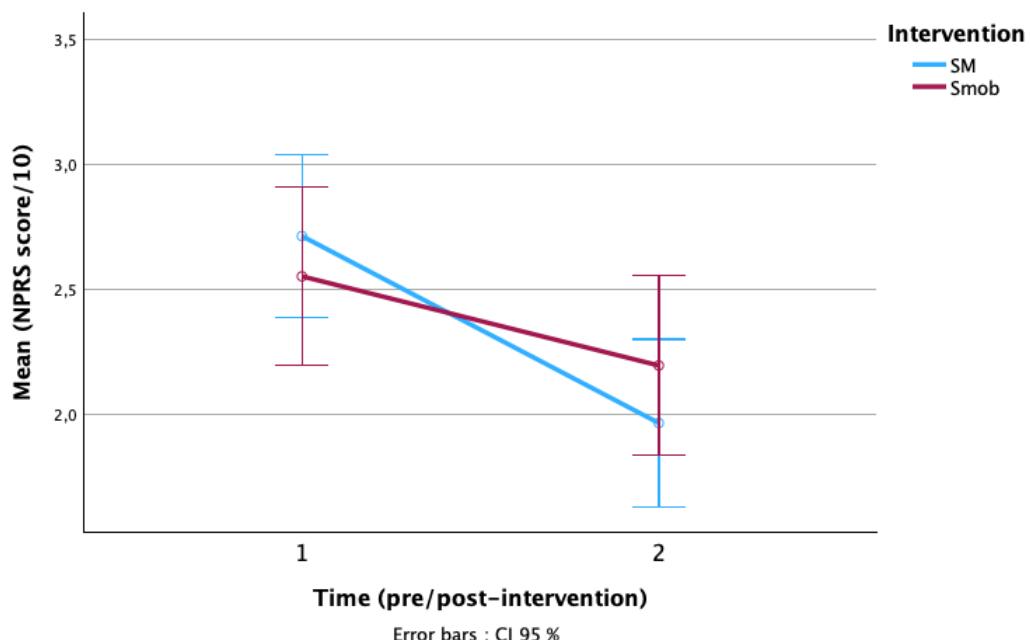


Figure 5. Pain intensity pre- and post-intervention (SM vs Smob)

Ranges of motion

A significant main effect of time was found for the flexion-extension arc: ($F(1, 86) = 20.501, p < 0.001, \eta^2p = 0.192$) with an increase of 4.9° ($SE = 1.287$) for SM and 3.8° ($SE = 1.176$) for Smob (both reached the MCID [25]). However, no significant main effect of treatment ($F(1, 86) = 0.120, p = 0.730, \eta^2p = 0.001$) nor any interaction effect ($F(1, 86) = 0.504, p = 0.480, \eta^2p = 0.006$) was found.

The lateral-flexion arc showed a significant main effect of time: ($F(1, 86) = 29.271, p < 0.001, \eta^2p = 0.254$) with an increase of 4.1° ($SE = 0.801$) for SM (reached the MCID [25]) and 2.8° ($SE = 0.889$) for Smob. No significant main effect of treatment ($F(1, 86) = 2.416, p = 0.124, \eta^2p = 0.027$) nor any interaction effect ($F(1, 86) = 1.374, p = 0.244, \eta^2p = 0.016$) was found.

Finally for the rotation arc, a significant main effect of time was found ($F(1, 86) = 5.297, p = 0.024, \eta^2p = 0.058$) with an increase of 1.9° ($SE = 1.086$) for SM and 1.5° ($SE = 0.919$) for Smob. No significant main effect of treatment ($F(1, 86) = 1.881, p = 0.174, \eta^2p = 0.021$) nor any interaction effect ($F(1, 86) = 0.102, p = 0.751, \eta^2p = 0.001$) was found (*see Table 4 for detailed results*).

Table 4. Mean values of the three arcs of range of motion pre- and post-intervention for SM and Smob

	SM		Smob	
	Pre-intervention	Post-intervention	Pre-intervention	Post-intervention
Arc flexion-extension Mean° (SD)	115.5 (22.0)	120.4 (21.2)	115.7 (22.1)	119.5 (20.4)
Arc lateral-flexion Mean° (SD)	77.4 (22.2)	81.5 (22.9)	79.3 (21.5)	82.1 (22.2)
Arc rotation Mean° (SD)	148.3 (23.2)	150.3 (23.8)	147.1 (23.3)	148.7 (24.5)

Legend :

SM: spinal manipulation, **Smob:** spinal mobilization, **SD:** Standard Deviation, °: degree of ranges of motion.

Pressure pain threshold

Statistical analysis resulted in inconsistent changes depending on the muscle and the side :

SCM muscle

No significant main effect of time ($F(1, 86) = 2.641, p = 0.108, \eta^2p = 0.03$) or treatment ($F(1, 86) = 0.927, p = 0.338, \eta^2p = 0.011$) was found for the right SCM muscle. However, there was an interaction effect ($F(1, 86) = 8.258, p = 0.005, \eta^2p = 0.088$) and post-hoc testing showed a significant increase in PPT that was higher after SM ($MD_{T1-T2} = -0.182, p = 0.003, 95\% CI [-0.301 ; -0.062]$). The smallest detectable difference (SDD) threshold for cervical spine was not reached [40]. Statistical analysis yielded no significant main effect ($p > 0.06$) or interaction effect ($F(1, 86) = 0.130, p = 0.720$) for the left SCM muscle (see Figure 6 for illustration).

UT muscle

The right UT muscle showed a significant main effect of time ($F(1, 86) = 4.304$, $p = 0.041$, $\eta^2p = 0.048$) and main effect of intervention ($F(1, 86) = 5.799$, $p = 0.018$, $\eta^2p = 0.063$), with an increase in PPT for both interventions ($MD_{SM(T1-T2)} = -0.176$, $SE = 0.102$; $MD_{Smob(T1-T2)} = -0.113$, $SE = 0.096$). However, no interaction effect ($F(1, 86) = 0.205$, $p = 0.652$, $\eta^2p = 0.002$) was found. Statistical analysis yielded no significant main effect ($p > 0.061$) nor interaction effect ($F(1, 86) = 1.385$, $p = 0.243$, $\eta^2p = 0.016$) for the left UT muscle (*see Figure 7 for illustration*).

TA muscle

Only the main effect of time was found to be significant ($F(1, 86) = 6.586$, $p = 0.012$, $\eta^2p = 0.071$) for the right TA muscle, showing a decrease in PPT ($MD_{SM(T1-T2)} = 0.090$, $SE = 0.140$; $MD_{Smob(T1-T2)} = 0.438$, $SE = 0.143$) for both interventions. No significant main effect of treatment ($F(1, 86) = 0.088$, $p = 0.767$, $\eta^2p = 0.001$) nor an interaction effect ($F(1, 86) = 3.222$, $p = 0.076$, $\eta^2p = 0.036$) was found. No significant main effects were found for the left TA muscle, but there was a significant interaction effect: ($F(1, 86) = 5.644$, $p = 0.02$, $\eta^2p = 0.062$). However, post-hoc test did not show a significant difference in PPT after SM compared to Smob ($p > 0.1$) (*see Figure 8 for illustration*).

Grip strength

Repeated measures ANOVA yielded a significant main effect of time on the right side: ($F(1, 86) = 21.096$, $p < 0.001$, $\eta^2p = 0.197$) indicating a decrease after both interventions ($MD_{SM(T1-T2)} = 1.150 \text{ kg}$, $SE=0.264$; $MD_{Smob(T1-T2)} = 0.600 \text{ kg}$, $SE =$

0.257). This change did not reach the minimal detectable change (MDC) of 6 kg [41]. Moreover, no significant main effect of treatment ($F(1, 86) = 0.132$, $p = 0.717$, $\eta^2p = 0.002$) nor an interaction effect ($F(1, 86) = 2.378$, $p = 0.127$, $\eta^2p = 0.027$) was found. Statistical analysis yielded no significant main effect ($p > 0.097$) nor interaction effect ($F(1, 86) = 2.481$, $p = 0.119$, $\eta^2p = 0.028$) on the left side (*see Figures 9 and 10 for illustration*).

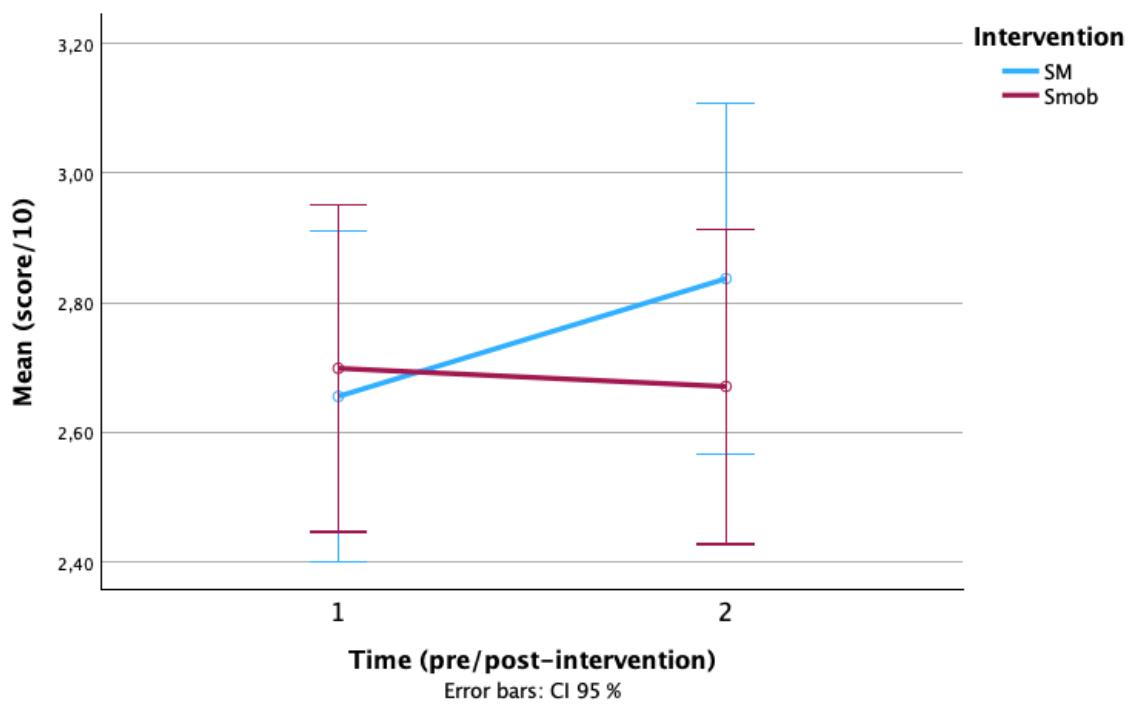
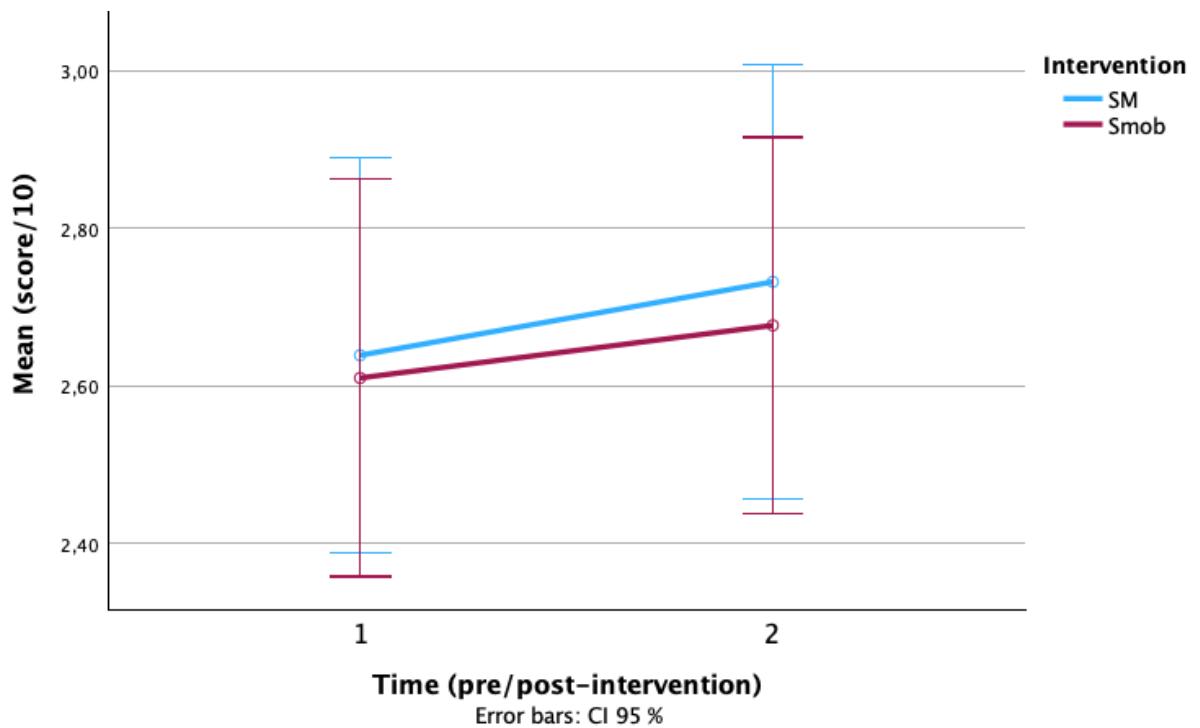


Figure 6. SCM (left side on top, right side at the bottom) pressure pain threshold pre- and post-intervention (SM vs Smob)

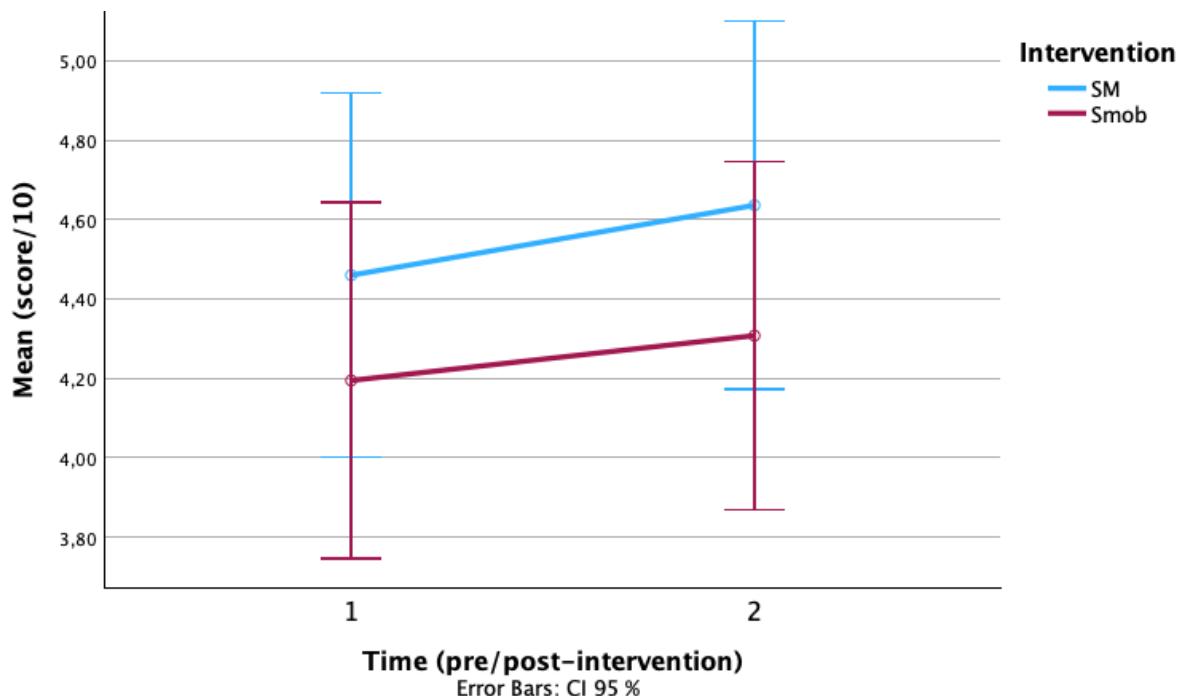
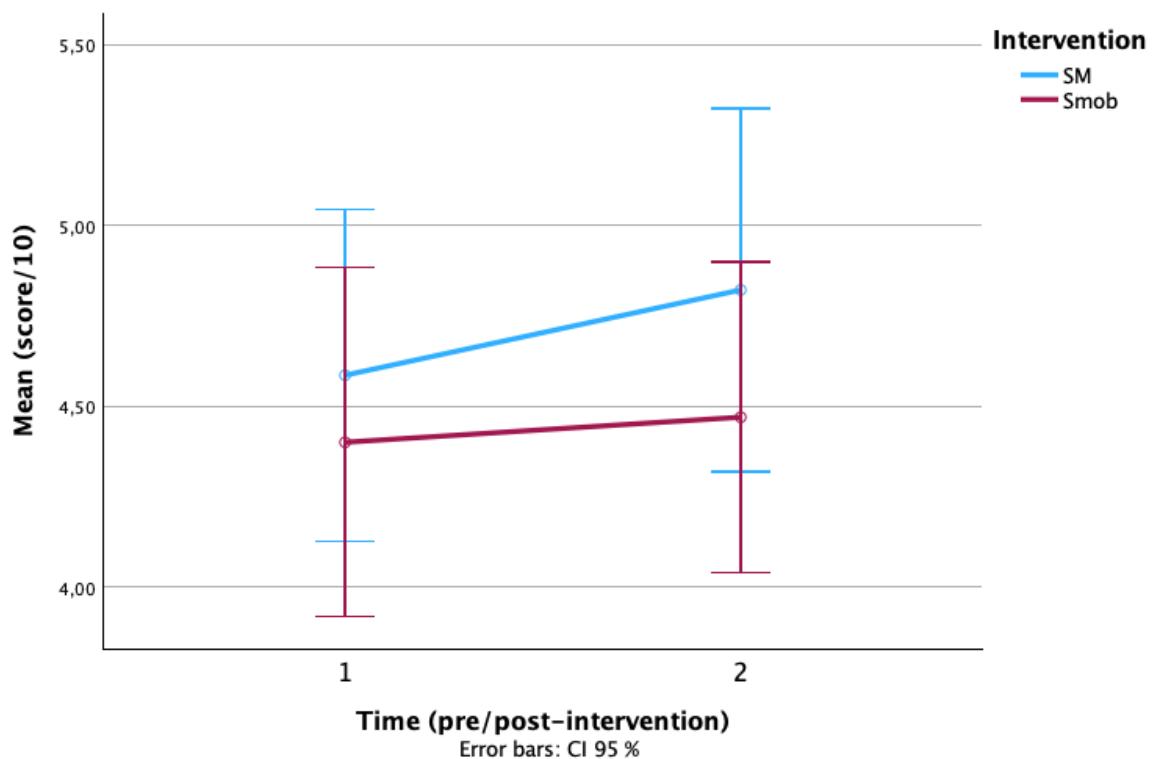


Figure 7. UT (left side on top, right side at the bottom) pressure pain threshold pre- and post-intervention (SM vs Smob)

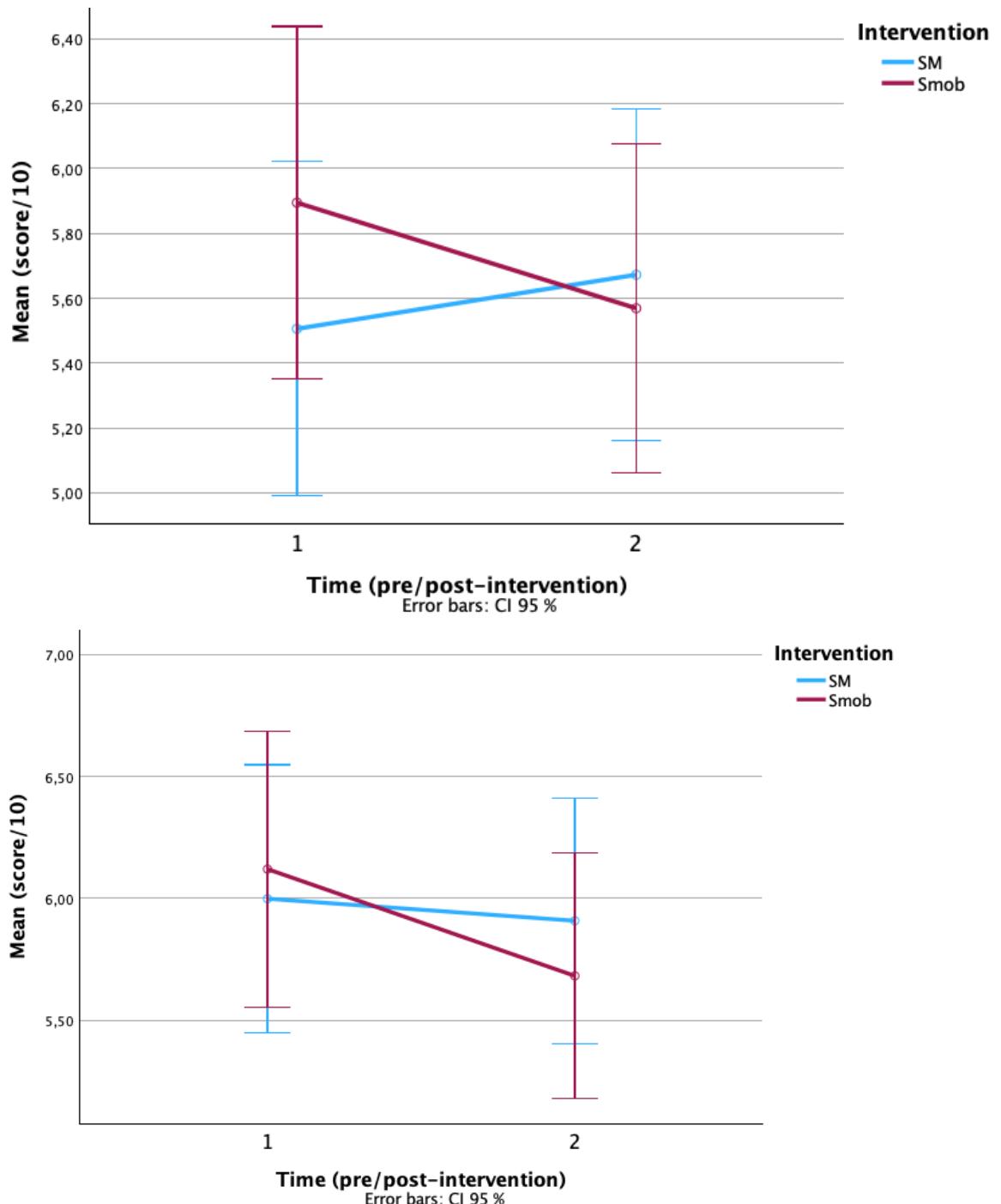


Figure 8. TA (left side on top, right side at the bottom) pressure pain threshold pre- and post-intervention (SM vs Smob)

Legend :

SM: Spinal Manipulation, **Smob:** Spinal mobilization, **CI:** confidence interval, **SCM:** sternocleidomastoid, **UT:** upper trapezius, **TA:** tibialis anterior.

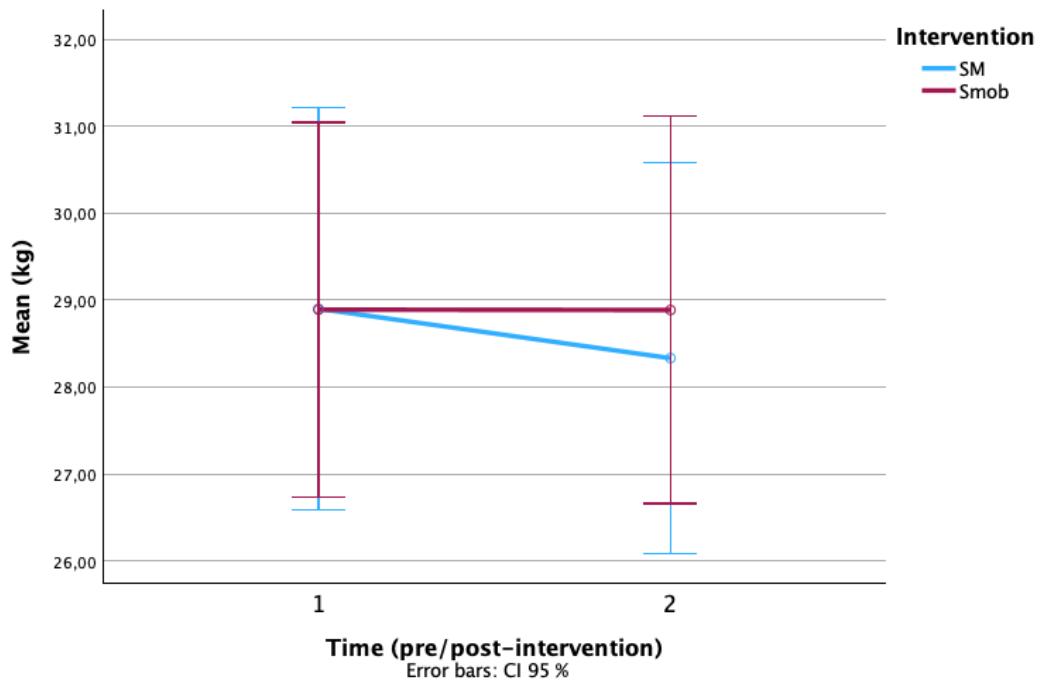


Figure 9. Left grip-strength pre- and post-intervention (SM vs Smob)

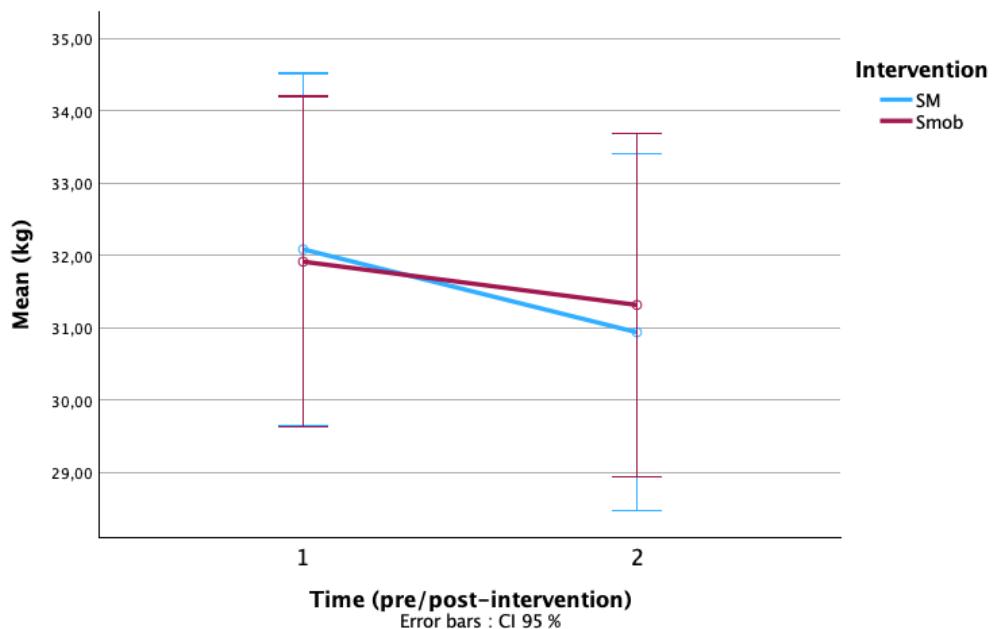


Figure 10. Right grip-strength pre- and post-intervention (SM vs Smob)

Legend :

SM: Spinal Manipulation, **Smob:** Spinal mobilization, **CI:** confidence interval, **kg:** kilograms.

Muscular response:

The Wilcoxon signed-rank test yielded a significantly different muscular response between SM and Smob ($p<0.001$). In fact, muscular response (measured by nRMS) after SM was higher than the one after Smob for SCM and UT, and on both sides : SCM (0.144 ± 0.121 vs 0.023 ± 0.013) and UT (0.083 ± 0.100 vs 0.024 ± 0.025). A higher muscular response in favor of Smob was found for TA on both sides (0.017 ± 0.013 vs 0.029 ± 0.023) (*see Table 5 for results*).

Table 5. nRMS values of muscular response (SCM, UT and TA) during SM and Smob

Intervention Muscle	SM	SMob
SCM, mean (SD)	0.144 (0.121)	0.023 (0.013)
UT, mean (SD)	0.083 (0.100)	0.024 (0.025)
TA, mean (SD)	0.029 (0.023)	0.017 (0.013)

Legend :

SM: spinal manipulation, **Smob:** spinal mobilization, **SCM:** sternocleidomastoid, **UT:** upper trapezius, **TA:** tibialis anterior, **SD:** Standard Deviation, **nRMS:** normalized root mean square.

DISCUSSION

This study sought to identify the differences and similarities in clinical and neuromechanical effects between two manual therapy techniques used on individuals with CPNP.

The results of this study show differences as well as similarities between SM and Smob clinical and neuromechanical effects. On one hand, SM led to a greater reduction in pain intensity and higher muscular response than Smob while on the other hand, SM and Smob led to similar statistically and clinically significant increases in ROMs.

Pain intensity and ROM

In terms of pain intensity, our results show an immediate decrease in pain intensity greater after SM, although MCID was not reached [39] which is consistent with current evidence [9-14]. In fact, Wilhelm *et al.* in their systematic review with meta-analysis [11] as well as Giacalone *et al.* in their literature review, showed an improvement in pain intensity after a single or multiple SM sessions [13]. However, MCID was not reached for all studies included in these reviews [11, 13]. Moreover, Gorrell *et al.* reported a greater decrease in pain intensity after one SM at 7-day follow-up when compared to stretching as a control intervention [25].

However, in their meta-analysis, Gross and al. reported that SM was no more effective than Smob, either after one or multiple sessions, in improving pain intensity at short- and intermediate-term follow-ups [9].

The hypoalgesic effect of SM, discussed in several studies, is attributed to different peripheral and central mechanisms, but its clinical significance is yet to be determined [42-44]. This lack of information regarding clinical significance could be

explained by the need of a combined approach of treatment and in a long-term perspective. It is possible that SM or Smob alone or a single session of each intervention may not be sufficient to achieve clinically relevant results for patients with CPNP. For instance, in their randomized controlled trial, Farooq *et al.* found a clinically relevant improvement in pain intensity among individuals with chronic neck pain after 10 treatment sessions of mobilization combined with “routine physiotherapy” at four-week follow-up [45]. Additionally, Garcia-Gonzalez *et al.* results revealed a decrease in pain intensity exceeding MCID one week after one session of cervical or thoracic SM [46]. Therefore, clinical significance could have been reached in our study with more than one session treatment or with a multimodal approach as is recommended in clinical practice [4-6, 13, 47].

Our study shows an increase in all ROM either after SM or Smob, which is consistent with current evidence [9-14]. Gross and al. reported in their meta-analysis that SM was no more effective than Smob in improving ROM at short- and intermediate-term follow-ups [9]. Other studies reported various ROM outcomes. Specifically, Giacalone *et al.* reported an increase in extension and rotation [13] while Lascurain-Aguirrebeña *et al.* and Gorrell *et al.* reported an increase in lateral-flexion and rotation after one session of Smob [48] and one session of SM [25], respectively.

Muscular response

This study is the first to compare individual effects on neck muscles of SM to those of Smob in the context of CPNP. Our results show a higher muscular response

during SM compared to Smob in SCM and UT on both sides, with the exception of TA for which Smob led to a higher muscular response.

Previous studies have reported increases in EMG activity of several muscles in the thoracic and lumbar regions following either SM or Smob among symptomatic and asymptomatic individuals [12, 15-21]. For instance, Pagé *et al.* reported a muscular response of thoracic muscles two to three times higher during SM compared to Smob in healthy participants [21]. Lardon *et al.* confirmed these results as they found a higher muscular response of paraspinal muscles during SM compared to Smob among participants with chronic middle back pain [20]. Our results are also consistent with Gorrell *et al.* who found a higher EMG activity of cervical spine muscles (SCM and splenius cervicis) after a cervical SM among patients with mild neck disability [12].

The greater effect of SM on muscular response could be explained by the differences in force-time characteristics of the two interventions such as SM peak force and thus the rate of force application, which increase was found to be closely related to the increase of muscular response [18, 20, 21, 29]. However, there is no clear physiological explanation behind the clinical effect of Smob on TA. Moreover, the mean percentage of electromyographic activity in TA was very low (~3%) compared to the one recorded on SCM (~15%) and UT (~8%) during SM.

Pressure pain threshold

Our results show an increase of PPT for SCM and UT after both interventions and specifically higher after SM for the right SCM, but SDD was not achieved. Millan

et al. reported in their systematic review, 19 of 27 studies showing an increase in PPT locally to the site of intervention after cervical, thoracic and lumbar SM or Smob [22]. Moreover, Giacalone *et al.* and Lascurain-Aguirrebeña *et al.* reported in their reviews an increase in PPT in the cervical region either after cervical SM [13] or cervical Smob [23].

These changes could be explained by multiple neurophysiological mechanisms of SM and Smob [42-44]. In their narrative review, Gevers-Montoro *et al.* discussed several mechanisms by which SM and Smob can be involved in pain pathways such as spinal segmental inhibition, decreasing peripheral pro-inflammatory responses and potentially supraspinal mechanisms that remain to be clarified [42].

Interestingly, Lardon *et al.* reported an immediate decrease in pressure-provoked pain (which could be considered as an equivalent to an increase in PPT) after a thoracic SM, while Smob had no effect [20]. Also, in their study investigating PPT changes in “a real-world chiropractic setting”, Nim *et al.* reported no significant change in PPT after a chiropractic consultation [49]. This study included all types of chronic pain and different types of treatments including SM which makes it difficult to isolate SM or Smob effect on PPT. Overall, changes in PPT seem to be conflicting and clinical relevance is yet to be determined.

Grip-strength

This study is, to our knowledge, the first to measure the effect of Smob on grip-strength and compare it to the one of SM in the context of CPNP. Our results are conflicting with previous studies as they show a decrease in grip-strength of the right hand after both interventions but should be interpreted with caution as the decrease in

grip-strength was minimal (0.9 kg on average) compared to the MDC threshold (6 kg). Moreover, some participants mentioned feeling discomfort while squeezing the hand-grip, which could have led to a lower score as the procedure was repeated.

In their pilot study with basketball players, Humphries *et al.* found no significant change in grip-strength after one single SM [50]. However, Botelho *et al.* reported an increase in grip-strength of both hands among judo athletes after a single and multiple SM sessions [51]. This finding was confirmed by Gorrell *et al.* in individuals with chronic neck pain but only on the contralateral side following a single instrumented manipulation [25], and by Bautista-Aguirre *et al.* in both hands after multiple SM sessions [26]. This increase did not reach MCID [25, 26] and in Botelho *et al.*'s study clinical significance was not mentioned [51], which raises the question of clinical relevance.

The increase in grip strength reported by some authors may be attributed to neurophysiological mechanisms. Several studies suggest that SM and Smob may engage corticospinal pathways, leading to modulation in motor unit recruitment and, consequently, in the voluntary activation of muscle fibers [52-55]. However, these neurophysiological responses remain insufficiently explored especially in the context of specific musculoskeletal conditions. Furthermore, the lack of studies investigating the effect of Smob on grip-strength restricts direct comparisons with SM.

STRENGTHS, LIMITATIONS AND CLINICAL PERSPECTIVES

Few limitations need to be taken into consideration while interpreting the results of this study. First, the aim of our study was to compare SM to Smob in terms of clinical and neuromechanical effects and was therefore not designed to simulate usual clinical care. Nonetheless, this limits the generalizability of our findings to real-world clinical settings. Second, only immediate effects were assessed, which limits the ability to detect outcomes that may emerge over a longer follow-up period, as previously discussed regarding pain intensity. Third, despite the randomization of treatment allocation and the implementation of a 72-hour washout period between both sessions, it is possible that an interaction or a cumulative effect might have led to amplified or concealed effects. Finally, the inability to blind participants to the treatment received may have added a placebo effect, especially among those familiar with manual therapy. However, ETS questionnaire results indicate similar expectations prior to each treatment.

An important strength of this study is the investigation of specific clinical and neuromechanical effects of SM and Smob. Although MCID was only reached for flexion-extension and lateral-flexion arcs, our results give an insight on how each manual therapy technique can yield specific effects when studied separately. Another point is the wide age-range of participants allowing for the generalizability of our results across different age groups. Finally, as a multicenter study, therapists of diverse expertise and backgrounds were involved, which enhances and accurately reflects the collaborative nature of musculoskeletal conditions care.

In the context of clinical practice, SM and Smob treatments effect specificities are important to consider as both treatments can be used and adapted to individual needs and clinical contexts when treating patients with CPNP. The similarities between both manual therapy approaches suggest that manual therapy can be used and adapted to a wide range of patients according to their beliefs and preferences. The differences however, emphasize the importance of investigating the clinical and neuromechanical effects of each treatment in a single-treatment approach .

It is clear that the results of our study alone are not sufficient to assert on the clinical efficacy of either treatment, but it opens the door to the investigation of specific and long-term SM and Smob clinical and neuromechanical effects in the context of CPNP. Future studies should address this topic while considering multiple sessions of each treatment. This would allow future clinical guidelines to include more targeted recommendations, thereby helping clinicians make an informed decision in the management of musculoskeletal conditions such as CPNP.

CONCLUSION

One treatment of cervical SM resulted in less pain and higher muscular response than cervical Smob. However, both interventions resulted in greater cervical ROM. These results partly confirm previous findings published in the literature and highlight the importance of investigating manual therapy treatments separately in order to unravel their individual effects. This distinction could help clinicians decide on the most suitable treatment depending on the outcome to improve and on patients' preferences, thereby facilitating an effective management of musculoskeletal conditions.

REFERENCES

1. **Global, regional, and national burden of neck pain, 1990-2020, and projections to 2050: a systematic analysis of the Global Burden of Disease Study 2021.** *Lancet Rheumatol* 2024, **6**(3):e142-e155.
2. Cieza A, Causey K, Kamenov K, Hanson SW, Chatterji S, Vos T: **Global estimates of the need for rehabilitation based on the Global Burden of Disease study 2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019.** *Lancet* 2021, **396**(10267):2006-2017.
3. Nicholas M, Vlaeyen JWS, Rief W, Barke A, Aziz Q, Benoliel R, Cohen M, Evers S, Giamberardino MA, Goebel A *et al*: **The IASP classification of chronic pain for ICD-11: chronic primary pain.** *Pain* 2019, **160**(1):28-37.
4. Côté P, Wong JJ, Sutton D, Shearer HM, Mior S, Randhawa K, Ameis A, Carroll LJ, Nordin M, Yu H *et al*: **Management of neck pain and associated disorders: A clinical practice guideline from the Ontario Protocol for Traffic Injury Management (OPTIMa) Collaboration.** *Eur Spine J* 2016, **25**(7):2000-2022.
5. Bussières AE, Stewart G, Al-Zoubi F, Decina P, Descarreaux M, Hayden J, Hendrickson B, Hincapié C, Pagé I, Passmore S *et al*: **The Treatment of Neck Pain-Associated Disorders and Whiplash-Associated Disorders: A Clinical Practice Guideline.** *J Manipulative Physiol Ther* 2016, **39**(8):523-564.e527.
6. Blanpied PR, Gross AR, Elliott JM, Devaney LL, Clewley D, Walton DM, Sparks C, Robertson EK: **Neck Pain: Revision 2017.** *J Orthop Sports Phys Ther* 2017, **47**(7):A1-a83.
7. Herzog W: **The biomechanics of spinal manipulation.** *J Bodyw Mov Ther* 2010, **14**(3):280-286.
8. Snodgrass SJ, Rivett DA, Robertson VJ: **Manual forces applied during posterior-to-anterior spinal mobilization: a review of the evidence.** *J Manipulative Physiol Ther* 2006, **29**(4):316-329.
9. Gross A, Langevin P, Burnie SJ, Bédard-Brochu MS, Empey B, Dugas E, Faber-Dobrescu M, Andres C, Graham N, Goldsmith CH *et al*: **Manipulation and mobilisation for neck pain contrasted against an inactive control or another active treatment.** *Cochrane Database Syst Rev* 2015(9):Cd004249.
10. Young KJ, Leboeuf-Yde C, Gorrell L, Bergström C, Evans DW, Axén I, Chance-Larsen K, Gagey O, Georgopoulos V, Goncalves G *et al*: **Mechanisms of manipulation: a systematic review of the literature on immediate anatomical structural or positional changes in response to manually delivered high-velocity, low-amplitude spinal manipulation.** *Chiropr Man Therap* 2024, **32**(1):28.
11. Wilhelm M, Cleland J, Carroll A, Marinch M, Imhoff M, Severini N, Donaldson M: **The combined effects of manual therapy and exercise on pain and related disability for individuals with nonspecific neck pain: A systematic review with meta-analysis.** *J Man Manip Ther* 2023, **31**(6):393-407.

12. Gorrell LM, Conway PJ, Onasch F, Herzog W: **Electromyographic Responses of Neck, Back, and Limb Outlet Muscles Associated With High-Velocity, Low-Amplitude Manual Cervical and Upper Thoracic Spinal Manipulation of Individuals With Mild Neck Disability: A Descriptive Observational Investigation.** *J Manipulative Physiol Ther* 2022, **45**(1):33-44.
13. Giacalone A, Febbi M, Magnifica F, Ruberti E: **The Effect of High Velocity Low Amplitude Cervical Manipulations on the Musculoskeletal System: Literature Review.** *Cureus* 2020, **12**(4):e7682.
14. Coulter ID, Crawford C, Vernon H, Hurwitz EL, Khorsan R, Booth MS, Herman PM: **Manipulation and Mobilization for Treating Chronic Nonspecific Neck Pain: A Systematic Review and Meta-Analysis for an Appropriateness Panel.** *Pain Physician* 2019, **22**(2):E55-e70.
15. Pasquier M, Daneau C, Marchand A-A, Lardon A, Descarreaux M: **Spinal manipulation frequency and dosage effects on clinical and physiological outcomes: a scoping review.** *Chiropractic & Manual Therapies* 2019, **27**(1):23.
16. Pagé I, Nougarou F, Dugas C, Descarreaux M: **The effect of spinal manipulation impulse duration on spine neuromechanical responses.** *J Can Chiropr Assoc* 2014, **58**(2):141-148.
17. Nougarou F, Pagé I, Loranger M, Dugas C, Descarreaux M: **Neuromechanical response to spinal manipulation therapy: effects of a constant rate of force application.** *BMC Complement Altern Med* 2016, **16**:161.
18. Nougarou F, Dugas C, Deslauriers C, Pagé I, Descarreaux M: **Physiological responses to spinal manipulation therapy: investigation of the relationship between electromyographic responses and peak force.** *J Manipulative Physiol Ther* 2013, **36**(9):557-563.
19. Currie SJ, Myers CA, Enebo BA, Davidson BS: **Treatment and Response Factors in Muscle Activation during Spinal Manipulation.** *J Clin Med* 2023, **12**(19).
20. Lardon A, Pagé I, Nougarou F, Descarreaux M: **Neuromechanical Responses to Spinal Manipulation and Mobilization: A Crossover Randomized Clinical Trial.** *J Manipulative Physiol Ther* 2022, **45**(1):1-8.
21. Pagé I, Biner É, Descarreaux M: **Vertebral Displacements and Muscle Activity During Manual Therapy: Distinct Behaviors Between Spinal Manipulation and Mobilization.** *J Manipulative Physiol Ther* 2018, **41**(9):753-761.
22. Millan M, Leboeuf-Yde C, Budgell B, Amorim MA: **The effect of spinal manipulative therapy on experimentally induced pain: a systematic literature review.** *Chiropr Man Therap* 2012, **20**(1):26.
23. Lascurain-Aguirrebeña I, Newham D, Critchley DJ: **Mechanism of Action of Spinal Mobilizations: A Systematic Review.** *Spine (Phila Pa 1976)* 2016, **41**(2):159-172.
24. Vaishya R, Misra A, Vaish A, Ursino N, D'Ambrosi R: **Hand grip strength as a proposed new vital sign of health: a narrative review of evidences.** *J Health Popul Nutr* 2024, **43**(1):7.

25. Gorrell LM, Beath K, Engel RM: **Manual and Instrument Applied Cervical Manipulation for Mechanical Neck Pain: A Randomized Controlled Trial.** *J Manipulative Physiol Ther* 2016, **39**(5):319-329.
26. Bautista-Aguirre F, Oliva-Pascual-Vaca Á, Heredia-Rizo AM, Boscá-Gandía JJ, Ricard F, Rodriguez-Blanco C: **Effect of cervical vs. thoracic spinal manipulation on peripheral neural features and grip strength in subjects with chronic mechanical neck pain: a randomized controlled trial.** *Eur J Phys Rehabil Med* 2017, **53**(3):333-341.
27. Hurwitz EL, Carragee EJ, van der Velde G, Carroll LJ, Nordin M, Guzman J, Peloso PM, Holm LW, Côté P, Hogg-Johnson S *et al*: **Treatment of neck pain: noninvasive interventions: results of the Bone and Joint Decade 2000-2010 Task Force on Neck Pain and Its Associated Disorders.** *Spine (Phila Pa 1976)* 2008, **33**(4 Suppl):S123-152.
28. Snodgrass SJ, Rivett DA, Sterling M, Vicenzino B: **Dose optimization for spinal treatment effectiveness: a randomized controlled trial investigating the effects of high and low mobilization forces in patients with neck pain.** *J Orthop Sports Phys Ther* 2014, **44**(3):141-152.
29. Gyer G, Michael J, Inklebarger J, Ibne Alam I: **Effects of biomechanical parameters of spinal manipulation: A critical literature review.** *J Integr Med* 2022, **20**(1):4-12.
30. Gorrell MLM, Nyirö L, Pasquier M, Pagé I, Heneghan NR, Schweinhardt P, Descarreaux M: **Spinal mobilization force-time characteristics: A scoping literature review.** *PLoS One* 2023, **18**(11):e0289462.
31. Gorrell LM, Nyirö L, Pasquier M, Pagé I, Heneghan NR, Schweinhardt P, Descarreaux M: **Spinal manipulation characteristics: a scoping literature review of force-time characteristics.** *Chiropr Man Therap* 2023, **31**(1):36.
32. Cleland JA, Childs JD, Whitman JM: **Psychometric properties of the Neck Disability Index and Numeric Pain Rating Scale in patients with mechanical neck pain.** *Arch Phys Med Rehabil* 2008, **89**(1):69-74.
33. Livingston T, Bernardi D, Carroll M: **Commander Algometer [user manual].** *Midvale, Utah: J TECH Medical* 2015.
34. Izumi M, Hayashi Y, Saito R, Oda S, Petersen KK, Arendt-Nielsen L, Ikeuchi M: **Detection of altered pain facilitatory and inhibitory mechanisms in patients with knee osteoarthritis by using a simple bedside tool kit (QuantiPain).** *Pain Rep* 2022, **7**(3):e998.
35. Gonçalves MC, Chaves TC, Florencio LL, Carvalho GF, Dach F, Fernández-De-Las-Penás C, Beviláqua-Grossi D: **Is pressure pain sensitivity over the cervical musculature associated with neck disability in individuals with migraine?** *J Bodyw Mov Ther* 2015, **19**(1):67-71.
36. Falla D, Dall'Alba P, Rainoldi A, Merletti R, Jull G: **Location of innervation zones of sternocleidomastoid and scalene muscles--a basis for clinical and research electromyography applications.** *Clin Neurophysiol* 2002, **113**(1):57-63.
37. Besomi M, Hodges PW, Van Dieën J, Carson RG, Clancy EA, Disselhorst-Klug C, Holobar A, Hug F, Kiernan MC, Lowery M *et al*: **Consensus for experimental design in electromyography (CEDE) project: Electrode selection matrix.** *J Electromyogr Kinesiol* 2019, **48**:128-144.

38. Barth J, Kern A, Lüthi S, Witt CM: **Assessment of patients' expectations: development and validation of the Expectation for Treatment Scale (ETS).** *BMJ Open* 2019, **9**(6):e026712.
39. Hurst H, Bolton J: **Assessing the clinical significance of change scores recorded on subjective outcome measures.** *J Manipulative Physiol Ther* 2004, **27**(1):26-35.
40. Bolton JE: **Sensitivity and specificity of outcome measures in patients with neck pain: detecting clinically significant improvement.** *Spine (Phila Pa 1976)* 2004, **29**(21):2410-2417; discussion 2418.
41. Sterling M: **Testing for sensory hypersensitivity or central hyperexcitability associated with cervical spine pain.** *J Manipulative Physiol Ther* 2008, **31**(7):534-539.
42. Nitschke JE, McMeeken JM, Burry HC, Matyas TA: **When is a change a genuine change? A clinically meaningful interpretation of grip strength measurements in healthy and disabled women.** *J Hand Ther* 1999, **12**(1):25-30.
43. Gevers-Montoro C, Provencher B, Descarreaux M, Ortega de Mues A, Piché M: **Neurophysiological mechanisms of chiropractic spinal manipulation for spine pain.** *Eur J Pain* 2021, **25**(7):1429-1448.
44. Gyer G, Michael J, Inklebarger J, Tedla JS: **Spinal manipulation therapy: Is it all about the brain? A current review of the neurophysiological effects of manipulation.** *J Integr Med* 2019, **17**(5):328-337.
45. Bialosky JE, Bishop MD, Price DD, Robinson ME, George SZ: **The mechanisms of manual therapy in the treatment of musculoskeletal pain: a comprehensive model.** *Man Ther* 2009, **14**(5):531-538.
46. Farooq MN, Mohseni-Bandpei MA, Gilani SA, Ashfaq M, Mahmood Q: **The effects of neck mobilization in patients with chronic neck pain: A randomized controlled trial.** *J Bodyw Mov Ther* 2018, **22**(1):24-31.
47. García-González J, Romero-Del Rey R, Martínez-Martín V, Requena-Mullor M, Alarcón-Rodríguez R: **Comparison of Short-Term Effects of Different Spinal Manipulations in Patients with Chronic Non-Specific Neck Pain: A Randomized Controlled Trial.** *Healthcare (Basel)* 2024, **12**(13).
48. Oostendorp RAB, Elvers JWH, van Trijffel E, Rutten GM, Scholten-Peeters GGM, Heijmans M, Hendriks E, Mikolajewska E, De Kooning M, Laekeman M *et al*: **Clinical Characteristics and Patient-Reported Outcomes of Primary Care Physiotherapy in Patients with Whiplash-Associated Disorders: A Longitudinal Observational Study.** *Patient Prefer Adherence* 2020, **14**:1733-1750.
49. Lascurain-Aguirrebeña I, Newham DJ, Casado-Zumeta X, Lertxundi A, Critchley DJ: **Immediate effects of cervical mobilisations on global perceived effect, movement associated pain and neck kinematics in patients with non-specific neck pain. A double blind placebo randomised controlled trial.** *Musculoskelet Sci Pract* 2018, **38**:83-90.
50. Nim CG, Aspinall SL, Weibel R, Steenfelt MG, O'Neill S: **Pressure pain thresholds in a real-world chiropractic setting: topography, changes after treatment, and clinical relevance?** *Chiropr Man Therap* 2022, **30**(1):25.

51. Humphries KM, Ward J, Coats J, Nobert J, Amonette W, Dyess S: **Immediate effects of lower cervical spine manipulation on handgrip strength and free-throw accuracy of asymptomatic basketball players: a pilot study.** *J Chiropr Med* 2013, **12**(3):153-159.
52. Botelho MB, Andrade BB: **Effect of cervical spine manipulative therapy on judo athletes' grip strength.** *J Manipulative Physiol Ther* 2012, **35**(1):38-44.
53. Robinault L, Holobar A, Crémoux S, Rashid U, Niazi IK, Holt K, Lauber J, Haavik H: **The Effects of Spinal Manipulation on Motor Unit Behavior.** *Brain Sci* 2021, **11**(1).
54. Kingett M, Holt K, Niazi IK, Nedergaard RW, Lee M, Haavik H: **Increased Voluntary Activation of the Elbow Flexors Following a Single Session of Spinal Manipulation in a Subclinical Neck Pain Population.** *Brain Sci* 2019, **9**(6).
55. Haavik H, Niazi IK, Jochumsen M, Sherwin D, Flavel S, Türker KS: **Impact of Spinal Manipulation on Cortical Drive to Upper and Lower Limb Muscles.** *Brain Sci* 2016, **7**(1).
56. Bostan A, Kaya P: **Effect of instrument-assisted soft tissue mobilization combined with exercise therapy on pain and muscle endurance in patients with chronic neck pain: a randomized controlled study.** *J Man Manip Ther* 2024, **32**(2):131-140.

DISCUSSION

1. Retour sur l'objectif de l'étude

Comme discuté dans la section « revue de la littérature », les guides de bonnes pratiques cliniques préconisent une approche multimodale lors de la prise en charge de la CPC incluant la thérapie manuelle dont la SM et la Smob font partie. De ce fait, ces deux traitements de thérapie manuelle sont souvent combinés entre eux ou avec d'autres traitements dans les études scientifiques et le manque de données probantes sur leurs effets spécifiques rend difficile une prise de décision éclairée et adaptée à la présentation clinique et aux préférences de chaque patient. Ce projet de recherche avait donc pour objectif d'investiguer les effets cliniques et neuromécaniques spécifiques à la SM et les comparer à ceux de la Smob, chez des individus ayant une CPC. Cette distinction pourrait, à l'aide d'autres études à ce sujet, contribuer à l'apport de plus de lucidité lors du processus de prise de décision thérapeutique.

2. Synthèse des résultats de l'étude

Les résultats de cette étude montrent aussi bien des similarités que des différences entre la SM et la Smob cervicales quant à leurs effets cliniques et neuromécaniques. D'une part, la SM a entraîné une diminution plus importante de l'intensité de la douleur et une réponse musculaire supérieure à celles de la Smob. D'autre part, la SM et la Smob ont permis une augmentation similaire des ADM. La différence clinique significative n'a toutefois pas été atteinte pour l'intensité de la douleur et l'arc de mouvement en rotation.

3. Interprétation des résultats de l'étude

a. *Intensité de la douleur*

Notre étude montre une diminution de l'intensité subjective de la douleur après les deux types de traitements, ce qui est cohérent avec les études précédentes portant sur les effets de ces deux types de traitement sur la douleur (Coulter et al., 2019; Giacalone et al., 2020; Gorrell et al., 2022; Gross et al., 2015; Wilhelm et al., 2023; Young et al., 2024). Cette diminution de 0,7 points sur l'échelle de la douleur NPRS à 11 points était cependant plus importante après la SM en comparaison à la Smob (0,3 points), sans atteindre la différence clinique minimalement significative établie à 1,3 points (Cleland et al., 2008). Nos résultats confirment donc ceux de la méta-analyse de Wilhelm et al. (2023) et de la revue de littérature de Giacalone et al. (2020) qui rapportent une diminution de l'intensité de la douleur après une seule ou plusieurs séances de SM. De plus, lorsqu'elle a été comparée à une intervention contrôle de type « étirement », la SM entraîne une diminution plus importante de l'intensité de la douleur immédiatement et sept jours après l'intervention, sans atteindre la différence clinique minimalement significative (Gorrell et al., 2016). Toutefois, la méta-analyse de Gross et al. (2015) a conclu que la SM et la Smob permettent une diminution similaire de l'intensité de la douleur, à court et moyen termes, que ce soit après une seule ou de multiples séances. De plus, la revue narrative de Gevers-Montoro et al. (2021) rapporte que les effets à court terme de la SM et la Smob ainsi que les mécanismes par lesquels ces deux traitements agissent sur la douleur seraient similaires.

L'effet hypoalgésique de la SM et de la Smob a été exploré dans plusieurs études et s'expliquerait notamment par des mécanismes d'inhibition segmentaire et

d'inhibition de la sommation temporelle dans le cadre de douleurs chroniques (Bialosky et al., 2009; Gevers-Montoro et al., 2021; Gyer et al., 2019). Ces deux traitements semblent également avoir un impact sur la sensibilisation centrale et être impliqués dans certains mécanismes supra-spinaux, mais cette implication reste encore à approfondir (Gevers-Montoro et al., 2021). Les mécanismes neurophysiologiques distincts qui pourraient expliquer l'effet plus important de la SM sur l'intensité de la douleur observé notamment dans notre étude, restent encore à élucider.

Concernant la différence clinique significative il est possible qu'une seule séance de SM ou de Smob ne permette pas d'atteindre des résultats cliniquement significatifs immédiats chez des patients ayant une CPC. Farooq et al. (2018) rapportent d'ailleurs une diminution cliniquement significative de l'intensité de la douleur chez des patients ayant des cervicalgies chroniques et ce, après 10 séances de mobilisations associées à un traitement de routine en physiothérapie (Farooq et al., 2018). Une autre étude de Garcia-Gonzalez et al. (2024) montre qu'une seule séance de SM permet une diminution, cliniquement significative, de l'intensité de la douleur mesurée une semaine après l'intervention.

b. *Amplitudes de mouvements*

Nos résultats montrent une augmentation de toutes les ADM cervicales après la SM et la Smob de façon similaire, ce qui confirme les résultats des données probantes actuelles (Coulter et al., 2019; Giacalone et al., 2020; Gorrell et al., 2022; Gross et al., 2015; Wilhelm et al., 2023; Young et al., 2024). Cependant, la différence clinique minimalement significative de 3,5 degrés n'a été atteinte que pour les arcs

« flexion-extension » et « flexion latérale » après la SM, avec une augmentation de 4,9 degrés et de 4,1 degrés respectivement. En cohérence avec nos résultats, la méta-analyse de Gross et al. (2015) rapporte que la SM n'entraîne pas de changement supérieur à la Smob dans l'amélioration des ADM à court et moyen termes. D'autres études ont mis en évidence une amélioration hétérogène des ADM. D'une part, Giacalone et al. (2020) rapportent, dans leur revue de littérature, une augmentation de l'extension et de la rotation cervicales après une ou plusieurs SM ou Smob. D'autre part, Lascurain-Aguirrebeña et al. (2018) et Gorrell et al. (2016) ont observé une augmentation de la flexion latérale et de la rotation après une seule séance de Smob et après une seule séance de SM, respectivement.

Les effets similaires observés suite à la SM et la Smob sur les ADM cervicales peuvent paraître surprenants considérant les paramètres biomécaniques relativement différents de ces deux interventions. Du côté de la Smob, Snodgrass et al. (2014) ont comparé l'évolution des ADM cervicales chez des individus ayant des cervicalgies chroniques et ayant reçu une mobilisation à un pic de force, soit de 30N, soit de 90N. Aucune différence significative n'a pu être observée entre le groupe ayant reçu une mobilisation à 30N de force et celui ayant reçu une mobilisation à 90N de force, suggérant ainsi une absence d'impact de la force appliquée sur les ADM cervicales. Du côté de la SM, on ne trouve pas d'étude établissant un lien direct entre les différents paramètres biomécaniques de la SM et les ADM cervicales. Des études se sont cependant intéressées au lien entre les paramètres biomécaniques de la SM et des variables liées à la notion de mouvement articulaire telles que l'incapacité et la raideur vertébrale. Dans ce sens, Pagé et al. (2019) ne rapportent pas de différence significative en termes d'incapacité (mesurée par le « Quebec Back Pain Disability

Questionnaire ») et de raideur vertébrale entre trois groupes d’individus ayant une douleur chronique à la région thoracique et ayant reçu une SM avec un pic d’impulsion, une durée d’impulsion et un taux d’application de force différents pour chaque groupe. Les résultats de l’étude de Lardon et al. (2022) montrent également une absence de différence significative entre la SM et la Smob en termes de raideur vertébrale chez des individus ayant des douleurs chroniques à la région thoracique moyenne. Les résultats de ces deux études rejoignent ceux de Snodgrass et al. (2014) et suggèrent l’absence d’un effet de dose de certains paramètres biomécaniques sur l’incapacité et la raideur vertébrale. On ne trouve cependant pas d’étude établissant un lien direct entre les différents paramètres biomécaniques de la SM et les ADM cervicales.

c. Réponse musculaire

Notre étude est la première à comparer les effets spécifiques de la SM et de la Smob sur l’activité musculaire des muscles de la colonne cervicale chez des individus ayant des CPC. Les résultats montrent que la réponse musculaire pendant la SM est supérieure à celle obtenue pendant la Smob pour les muscles SCM et UT bilatéraux alors que la Smob entraîne une réponse musculaire supérieure à la SM au niveau du TA bilatéralement.

Plusieurs études rapportent une augmentation de l’activité EMG de divers muscles de la colonne vertébrale cervicale, thoracique et lombaire après soit une SM soit une Smob chez des individus symptomatiques et asymptomatiques (Currie et al., 2023; Gorrell et al., 2022; Lardon et al., 2022; Nougarou et al., 2013; Nougarou et al., 2016; Pagé et al., 2018; Pagé et al., 2014; Pasquier et al., 2019).

Chez des individus asymptomatiques et dans la région thoracique, Pagé et al. (2018) ont pu observer une réponse musculaire deux à trois fois supérieure pendant la SM en comparaison à la Smob. Lardon et al. (2022) confirment ces résultats en rapportant une réponse des muscles paraspinaux à la SM supérieure à la Smob chez des individus ayant des douleurs chroniques à la région thoracique moyenne.

Bien qu'on ne trouve pas d'étude comparant les réponses musculaires à ces deux interventions dans le cadre des CPC, Gorrell et al. (2022) rapportent une augmentation de l'activité EMG des muscles de la colonne cervicale (SCM et splénius du cou) après une SM cervicale chez des individus ayant une légère incapacité cervicale.

La réponse musculaire plus élevée suite à la SM pourrait être attribuée notamment aux différences biomécaniques de la SM et la Smob telles que le pic d'impulsion de la SM dont l'augmentation, et par conséquent celle du taux d'application de la force, semble étroitement liée à celle de la réponse musculaire (Nougarou et al., 2013). Plusieurs études dont celle de Lardon et al. (2022) sur les douleurs chroniques à la région thoracique moyenne, suggèrent justement qu'un taux d'application de la force élevé entraîne une réponse musculaire supérieure à celle d'un taux plus faible (Gyer et al., 2022; Lardon et al., 2022; Nougarou et al., 2013; Pagé et al., 2018). De plus, Pagé et al. (2018) ont conclu à une augmentation du délai de réponse musculaire avec l'augmentation de la durée d'impulsion suggérant ainsi des voies nerveuses distinctes impliquées dans la contraction volontaire et réflexe lors d'une SM et d'une Smob. Bien que les termes « pic d'impulsion » et « durée de mise en tension » correspondent plus au profil force-temps de la SM, le « pic d'impulsion peut être associé au « pic de la force appliquée » pour la Smob , une courte durée

d'impulsion à la SM et une plus longue durée d'impulsion à la Smob (Pagé et al., 2018), permettant ainsi la comparaison de ces deux interventions.

Quant à la réponse musculaire plus élevée durant la Smob au niveau du TA, aucune explication physiologique claire ne peut être avancée d'autant plus que le pourcentage d'activité EMG enregistrée lors de la Smob était très bas (~3%) en comparaison avec celui des muscles SCM (~15%) et UT (~8%) lors de la SM.

d. *Seuil de douleur à la pression*

Les résultats de notre étude montrent une augmentation du PPT des muscles SCM et UT bilatéralement et ce, de façon similaire après la SM et la Smob sans atteindre le seuil du plus petit changement détectable (Sterling, 2008). Cette augmentation est toutefois supérieure après la SM en comparaison avec la Smob, spécifiquement pour le SCM droit.

Nos résultats ne diffèrent pas de ceux décrit dans les études portant sur les PPT car en effet, la revue systématique de Millan et al. (2012) rapporte que 19 des 27 études incluses ont observé une augmentation du PPT localement au site de la SM ou de la Smob réalisées au niveau de la colonne vertébrale cervicale, thoracique ou lombaire. En accord avec cela, Giacalone et al. (2020) et Lascurain-Aguirrebeña et al. (2016) ont également constaté dans leurs études une augmentation du PPT au niveau de la colonne vertébrale cervicale que ce soit après la SM ou la Smob, respectivement. Cependant, Lardon et al. (2022) mettent en évidence une diminution immédiate de la douleur provoquée par la pression (ce qui peut être considéré comme similaire à une augmentation du PPT) suite à une SM de la région thoracique chez des individus ayant

des douleurs chroniques à la région thoracique moyenne, alors que la Smob n'entraîne aucun effet sur cette même variable.

Cette augmentation du PPT peut être expliquée par plusieurs mécanismes neurophysiologiques de la SM et la Smob étudiés dans diverses études (Bialosky et al., 2009; Gevers-Montoro et al., 2021; Gyer et al., 2019). Dans leur revue narrative, Gevers-Montoro et al. (2021) présentent les différents mécanismes par le biais desquels la SM et la Smob pourraient impliquer les voies de la douleur, en évoquant notamment le processus d'inhibition segmentaire, la diminution des réponses pro-inflammatoires périphériques et potentiellement des mécanismes supra-spinaux dont le lien reste encore à étudier en profondeur. Bien que la SM et la Smob semblent impliquer les mêmes voies de la douleur, les résultats de notre étude concernant le muscle SCM droit et ceux de l'étude de Lardon et al. (2022) suggèrent que ces deux interventions pourraient fonctionner différemment.

D'autre part, dans un contexte de « consultation chiropratique réelle », une récente étude s'est intéressée à l'évolution du PPT et conclut à l'absence de changement du PPT au niveau de la colonne vertébrale cervicale, thoracique et lombaire suite à une consultation chiropratique (Nim et al., 2022). Toutefois, cette étude a inclus une grande variabilité de plusieurs facteurs : toutes les régions de la colonne vertébrale, tout type de consultation (première consultation, suivi etc.) et plusieurs types de traitements réalisés lors de la consultation, rendant ainsi difficile l'isolement des effets spécifiques de la SM et la Smob sur le PPT. Cette approche de contexte réel reste néanmoins intéressante à investiguer, cette fois-ci de façon spécifique à chaque intervention, afin d'avoir plus de réponses quant à la pertinence clinique du PPT.

e. Force de préhension

Les études portant sur l'effet de la SM ou de la Smob sur la force de préhension sont peu nombreuses et présentent des inconsistances. D'ailleurs, notre étude est la première à mesurer les effets spécifiques de la Smob sur la force de préhension et à les comparer à ceux de la SM dans le contexte des CPC.

Nos résultats mettent en évidence une diminution de la force de préhension de la main droite après les deux types de traitements sans atteindre le seuil minimal de changement détectable (MDC) (Nitschke et al., 1999) et contredisent donc ce qui est rapporté par d'autres études. En effet, alors que Gorrell et al. (2016) ont constaté une augmentation de la force de préhension uniquement du côté controlatéral à l'intervention chez des individus ayant des cervicalgies chroniques après une seule SM instrumentalisée, Bautista-Aguirre et al. (2017) ont observé cette augmentation des deux côtés après plusieurs séances de SM. Toutefois, les auteurs de ces deux études rapportent ne pas avoir pas atteint le MDC quant à leurs résultats. Cette fois-ci chez des athlètes de judo, Botelho et al. (2012) rapportent également une augmentation bilatérale de la force de préhension après une seule et plusieurs séances de SM. Néanmoins, dans leur étude pilote avec des joueurs de basketball, Humphries et al. (2013) n'ont observé aucun changement dans la force de préhension après une seule SM.

L'augmentation de la force de préhension rapportée par certains auteurs pourrait être expliquée notamment par des mécanismes neurophysiologiques. Plusieurs études suggèrent une implication des voies corticospinales en réponse à la SM ou la Smob, induisant une modulation dans le recrutement d'unités motrices et ainsi dans l'activation volontaire des fibres musculaires (Bostan et Kaya, 2024; Haavik

et al., 2016; Kingett et al., 2019; Robinault et al., 2021). Ces résultats restent encore à investiguer en profondeur et dans le cadre de conditions musculosquelettiques plus spécifiques. On note également un manque d'étude portant sur l'effet de la Smob sur la force de préhension, ce qui limite la possibilité de comparaison avec la SM.

La diminution de la force de préhension rapportée par notre étude doit être considérée avec précaution étant donné sa très faible valeur ($0,9\text{ kg}$ en moyenne) par rapport au seuil MDC (6 kg) (Nitschke et al., 1999). De plus, certains participants ont mentionné avoir ressenti un inconfort en serrant la poignée du dynamomètre, ce qui aurait pu mener à des valeurs de force de préhension plus basses considérant l'aspect itératif de la procédure de mesure.

LIMITES ET FORCES

Certaines limites doivent être considérées lors de l'interprétation de nos résultats. Ce travail de recherche a étudié les effets cliniques et neuromécaniques immédiats d'une seule séance de SM et de Smob. Bien que l'objectif ne fût pas de simuler une prise en charge en contexte clinique, cela limite la possibilité de généraliser nos résultats. De plus, la mesure des effets cliniques et neuromécaniques uniquement immédiats limite la mise en évidence d'effets qui peuvent être observés à plus long terme comme ce qui est constaté notamment pour l'intensité de la douleur. Les futures études devraient envisager d'explorer les effets cliniques et neuromécaniques de plusieurs séances de SM et de Smob séparément et de mesurer ces effets autant sur le court que sur le long terme. Une autre limite potentielle réside dans la possibilité d'un effet cumulatif ou d'interaction qui aurait pu amplifier ou dissimuler certains effets, et ce malgré la randomisation de l'attribution des traitements et le respect d'une période de latence (wash out) de 72 heures entre les deux séances. Enfin, l'impossibilité de mettre en aveugle des participants quant au traitement reçu pourrait avoir induit un effet placebo notamment chez ceux familiers avec les traitements de thérapie manuelle. Toutefois, les réponses au questionnaire ETS ont montré des attentes similaires avant chaque traitement.

Bien que le seuil de différence clinique significative n'ait été atteint que pour certaines ADM, nos résultats donnent un aperçu sur la manière dont la SM et la Smob peuvent produire des effets cliniques et neuromécaniques spécifiques lorsqu'étudiées séparément. Nous avons pu constater dans plusieurs sections de ce mémoire le manque d'études s'intéressant aux effets spécifiques des divers traitements de thérapie

manuelle. D'ailleurs, la comparaison d'effets spécifiques de la SM à ceux de la Smob représente la plus grande force de notre projet de recherche. En effet, les différences misent en évidence dans notre étude mettent l'accent sur l'importance d'étudier les spécificités de chacun de ces traitements afin d'adapter leur utilisation aux besoins des patients en fonction de leurs contextes cliniques et de leurs préférences. Une autre force de ce projet de recherche est le large spectre d'âge des participants recrutés permettant ainsi de considérer nos résultats, sur les effets de la SM et la Smob, chez différentes tranches d'âges. Finalement, l'aspect multicentrique de notre étude a permis d'impliquer plusieurs thérapeutes d'expertise et de domaine différents apportant ainsi une richesse quant à l'aspect collaboratif préconisé lors de la prise en charge des patients, et représentant de manière plus réaliste le contexte de prise en charge des conditions musculosquelettiques par la thérapie manuelle sur le terrain.

PERSPECTIVES SCIENTIFIQUES ET CLINIQUES

La revue de littérature présentée dans ce mémoire permet de constater un manque d'études scientifiques sur le lien entre les paramètres biomécaniques de la SM et la Smob, et les variables cliniques. Or ces deux traitements se différencient fondamentalement par ces paramètres. Il serait donc pertinent d'étudier ce lien afin de déterminer si une relation dose-effet pourrait, en partie, expliquer les différences et similarités entre la SM et la Smob sur l'intensité de la douleur et les ADM. Ceci permettrait d'évaluer la pertinence clinique des paramètres biomécaniques de ces deux traitements et envisager ainsi d'allier l'aspect neuromécanique et physiologique à l'aspect clinique.

D'un point de vue clinique, les similarités observées dans les effets cliniques et neuromécaniques de la SM et la Smob suggèrent que ces deux traitements peuvent être utilisés et adaptés à un large spectre de patients selon leurs préférences. Les différences misent en évidence quant à elles, mettent l'emphase sur le besoin d'étudier chaque traitement de façon isolée. Il est évident que seuls les résultats de notre étude ne permettent pas de conclure à l'efficacité clinique de l'un ou l'autre des deux traitements, mais ils ouvrent la porte à l'investigation des effets spécifiques et à long terme de la SM et la Smob dans le cadre des CPC. Avec un ensemble de données probantes futures, l'élaboration de guides de bonnes pratiques cliniques pourraient inclure des recommandations plus ciblées permettant ainsi aux thérapeutes de prendre une décision plus éclairée lors de la prise en charge de patients ayant des CPC.

CONCLUSION

Au terme de ce projet de recherche, nous pouvons conclure qu'une seule séance de SM cervicale entraîne une diminution de l'intensité subjective de la douleur et une réponse musculaire plus importantes que celles d'une Smob. Néanmoins, la SM et la Smob permettent, toutes deux, une augmentation des ADM cervicales. Ces résultats confirment partiellement ce qui est rapporté par la littérature scientifique soulignant l'intérêt d'étudier ces deux traitements séparément. La réalisation de plusieurs études futures, comme la nôtre, permettrait de démêler leurs effets distincts, orienter le choix du traitement approprié en fonction du critère clinique à améliorer et des préférences des patients, facilitant ainsi la gestion optimale des CPC.

RÉFÉRENCES

- Bautista-Aguirre, F., Oliva-Pascual-Vaca, Á., Heredia-Rizo, A. M., Boscá-Gandía, J. J., Ricard, F. et Rodriguez-Blanco, C. (2017, Jun). Effect of cervical vs. thoracic spinal manipulation on peripheral neural features and grip strength in subjects with chronic mechanical neck pain: a randomized controlled trial. *Eur J Phys Rehabil Med*, 53(3), 333-341. <https://doi.org/10.23736/s1973-9087.17.04431-8>
- Beliveau, P. J. H., Wong, J. J., Sutton, D. A., Simon, N. B., Bussières, A. E., Mior, S. A. et French, S. D. (2017). The chiropractic profession: a scoping review of utilization rates, reasons for seeking care, patient profiles, and care provided. *Chiropr Man Therap*, 25, 35. <https://doi.org/10.1186/s12998-017-0165-8>
- Bialosky, J. E., Bishop, M. D., Price, D. D., Robinson, M. E. et George, S. Z. (2009, Oct). The mechanisms of manual therapy in the treatment of musculoskeletal pain: a comprehensive model. *Man Ther*, 14(5), 531-538. <https://doi.org/10.1016/j.math.2008.09.001>
- Blanpied, P. R., Gross, A. R., Elliott, J. M., Devaney, L. L., Clewley, D., Walton, D. M., Sparks, C. et Robertson, E. K. (2017, Jul). Neck Pain: Revision 2017. *J Orthop Sports Phys Ther*, 47(7), A1-a83. <https://doi.org/10.2519/jospt.2017.0302>
- Bostan, A. et Kaya, P. (2024, Apr). Effect of instrument-assisted soft tissue mobilization combined with exercise therapy on pain and muscle endurance in patients with chronic neck pain: a randomized controlled study. *J Man Manip Ther*, 32(2), 131-140. <https://doi.org/10.1080/10669817.2023.2213989>
- Botelho, M. B. et Andrade, B. B. (2012, Jan). Effect of cervical spine manipulative therapy on judo athletes' grip strength. *J Manipulative Physiol Ther*, 35(1), 38-44. <https://doi.org/10.1016/j.jmpt.2011.09.005>
- Bussières, A. E., Stewart, G., Al-Zoubi, F., Decina, P., Descarreaux, M., Hayden, J., Hendrickson, B., Hincapié, C., Pagé, I., Passmore, S., Srbely, J., Stupar, M., Weisberg, J. et Ornelas, J. (2016, Oct). The Treatment of Neck Pain-Associated Disorders and Whiplash-Associated Disorders: A Clinical Practice Guideline. *J Manipulative Physiol Ther*, 39(8), 523-564.e527. <https://doi.org/10.1016/j.jmpt.2016.08.007>
- Cleland, J. A., Childs, J. D. et Whitman, J. M. (2008, Jan). Psychometric properties of the Neck Disability Index and Numeric Pain Rating Scale in patients with mechanical neck pain. *Arch Phys Med Rehabil*, 89(1), 69-74. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2007.08.126>
- Côté, P., Wong, J. J., Sutton, D., Shearer, H. M., Mior, S., Randhawa, K., Ameis, A., Carroll, L. J., Nordin, M., Yu, H., Lindsay, G. M., Southerst, D., Varatharajan, S., Jacobs, C., Stupar, M., Taylor-Vaisey, A., van der Velde, G., Gross, D. P., Brison, R. J., Paulden, M., Ammendolia, C., David

- Cassidy, J., Loisel, P., Marshall, S., Bohay, R. N., Stapleton, J., Lacerte, M., Krahn, M. et Salhany, R. (2016, Jul). Management of neck pain and associated disorders: A clinical practice guideline from the Ontario Protocol for Traffic Injury Management (OPTIMa) Collaboration. *Eur Spine J*, 25(7), 2000-2022. <https://doi.org/10.1007/s00586-016-4467-7>
- Coulter, I. D., Crawford, C., Vernon, H., Hurwitz, E. L., Khorsan, R., Booth, M. S. et Herman, P. M. (2019, Mar). Manipulation and Mobilization for Treating Chronic Nonspecific Neck Pain: A Systematic Review and Meta-Analysis for an Appropriateness Panel. *Pain Physician*, 22(2), E55-e70.
- Currie, S. J., Myers, C. A., Enebo, B. A. et Davidson, B. S. (2023, Oct 6). Treatment and Response Factors in Muscle Activation during Spinal Manipulation. *J Clin Med*, 12(19). <https://doi.org/10.3390/jcm12196377>
- Farooq, M. N., Mohseni-Bandpei, M. A., Gilani, S. A., Ashfaq, M. et Mahmood, Q. (2018, Jan). The effects of neck mobilization in patients with chronic neck pain: A randomized controlled trial. *J Bodyw Mov Ther*, 22(1), 24-31. <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2017.03.007>
- GBD2021NeckPainCollaborators. (2024, Mar). Global, regional, and national burden of neck pain, 1990-2020, and projections to 2050: a systematic analysis of the Global Burden of Disease Study 2021. *Lancet Rheumatol*, 6(3), e142-e155. [https://doi.org/10.1016/s2665-9913\(23\)00321-1](https://doi.org/10.1016/s2665-9913(23)00321-1)
- Gevers-Montoro, C., Provencher, B., Descarreaux, M., Ortega de Mues, A. et Piché, M. (2021, Aug). Neurophysiological mechanisms of chiropractic spinal manipulation for spine pain. *Eur J Pain*, 25(7), 1429-1448. <https://doi.org/10.1002/ejp.1773>
- Giacalone, A., Febbi, M., Magnifica, F. et Ruberti, E. (2020, Apr 15). The Effect of High Velocity Low Amplitude Cervical Manipulations on the Musculoskeletal System: Literature Review. *Cureus*, 12(4), e7682. <https://doi.org/10.7759/cureus.7682>
- Gorrell, L. M., Beath, K. et Engel, R. M. (2016, Jun). Manual and Instrument Applied Cervical Manipulation for Mechanical Neck Pain: A Randomized Controlled Trial. *J Manipulative Physiol Ther*, 39(5), 319-329. <https://doi.org/10.1016/j.jmpt.2016.03.003>
- Gorrell, L. M., Conway, P. J., Onasch, F. et Herzog, W. (2022, Jan). Electromyographic Responses of Neck, Back, and Limb Outlet Muscles Associated With High-Velocity, Low-Amplitude Manual Cervical and Upper Thoracic Spinal Manipulation of Individuals With Mild Neck Disability: A Descriptive Observational Investigation. *J Manipulative Physiol Ther*, 45(1), 33-44. <https://doi.org/10.1016/j.jmpt.2022.03.018>
- Gorrell, L. M., Nyirö, L., Pasquier, M., Pagé, I., Heneghan, N. R., Schweinhardt, P. et Descarreaux, M. (2023, Sep 13). Spinal manipulation characteristics: a scoping literature review of force-time characteristics. *Chiropr Man Therap*, 31(1), 36. <https://doi.org/10.1186/s12998-023-00512-1>
- Gorrell, M. L. M., Nyirö, L., Pasquier, M., Pagé, I., Heneghan, N. R., Schweinhardt, P. et Descarreaux, M. (2023). Spinal mobilization force-

- time characteristics: A scoping literature review. *PLoS One*, 18(11), e0289462. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0289462>
- Gross, A., Langevin, P., Burnie, S. J., Bédard-Brochu, M. S., Empey, B., Dugas, E., Faber-Dobrescu, M., Andres, C., Graham, N., Goldsmith, C. H., Brønfort, G., Hoving, J. L. et LeBlanc, F. (2015, Sep 23). Manipulation and mobilisation for neck pain contrasted against an inactive control or another active treatment. *Cochrane Database Syst Rev*, (9), Cd004249. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD004249.pub4>
- Guzman, J., Hurwitz, E. L., Carroll, L. J., Haldeman, S., Côté, P., Carragee, E. J., Peloso, P. M., van der Velde, G., Holm, L. W., Hogg-Johnson, S., Nordin, M. et Cassidy, J. D. (2008, Feb 15). A new conceptual model of neck pain: linking onset, course, and care: the Bone and Joint Decade 2000-2010 Task Force on Neck Pain and Its Associated Disorders. *Spine (Phila Pa 1976)*, 33(4 Suppl), S14-23. <https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e3181643efb>
- Gyer, G., Michael, J., Inklebarger, J. et Ibne Alam, I. (2022, Jan). Effects of biomechanical parameters of spinal manipulation: A critical literature review. *J Integr Med*, 20(1), 4-12. <https://doi.org/10.1016/j.joim.2021.10.002>
- Gyer, G., Michael, J., Inklebarger, J. et Tedla, J. S. (2019, Sep). Spinal manipulation therapy: Is it all about the brain? A current review of the neurophysiological effects of manipulation. *J Integr Med*, 17(5), 328-337. <https://doi.org/10.1016/j.joim.2019.05.004>
- Haavik, H., Niazi, I. K., Jochumsen, M., Sherwin, D., Flavel, S. et Türker, K. S. (2016, Dec 23). Impact of Spinal Manipulation on Cortical Drive to Upper and Lower Limb Muscles. *Brain Sci*, 7(1). <https://doi.org/10.3390/brainsci7010002>
- Herzog, W. (2010, Jul). The biomechanics of spinal manipulation. *J Bodyw Mov Ther*, 14(3), 280-286. <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2010.03.004>
- Kingett, M., Holt, K., Niazi, I. K., Nedergaard, R. W., Lee, M. et Haavik, H. (2019, Jun 12). Increased Voluntary Activation of the Elbow Flexors Following a Single Session of Spinal Manipulation in a Subclinical Neck Pain Population. *Brain Sci*, 9(6). <https://doi.org/10.3390/brainsci9060136>
- Lardon, A., Pagé, I., Nougarou, F. et Descarreaux, M. (2022, Jan). Neuromechanical Responses to Spinal Manipulation and Mobilization: A Crossover Randomized Clinical Trial. *J Manipulative Physiol Ther*, 45(1), 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.jmpt.2022.03.016>
- Lascurain-Aguirrebeña, I., Newham, D. et Critchley, D. J. (2016, Jan). Mechanism of Action of Spinal Mobilizations: A Systematic Review. *Spine (Phila Pa 1976)*, 41(2), 159-172. <https://doi.org/10.1097/brs.0000000000001151>
- Lascurain-Aguirrebeña, I., Newham, D. J., Casado-Zumeta, X., Lertxundi, A. et Critchley, D. J. (2018, Dec). Immediate effects of cervical mobilisations on global perceived effect, movement associated pain and neck

- kinematics in patients with non-specific neck pain. A double blind placebo randomised controlled trial. *Musculoskelet Sci Pract*, 38, 83-90. <https://doi.org/10.1016/j.msksp.2018.10.003>
- Millan, M., Leboeuf-Yde, C., Budgell, B. et Amorim, M. A. (2012, Aug 10). The effect of spinal manipulative therapy on experimentally induced pain: a systematic literature review. *Chiropr Man Therap*, 20(1), 26. <https://doi.org/10.1186/2045-709x-20-26>
- Nicholas, M., Vlaeyen, J. W. S., Rief, W., Barke, A., Aziz, Q., Benoliel, R., Cohen, M., Evers, S., Giamberardino, M. A., Goebel, A., Korwisi, B., Perrot, S., Svensson, P., Wang, S. J. et Treede, R. D. (2019, Jan). The IASP classification of chronic pain for ICD-11: chronic primary pain. *Pain*, 160(1), 28-37. <https://doi.org/10.1097/j.pain.0000000000001390>
- Nim, C. G., Aspinall, S. L., Weibel, R., Steenfelt, M. G. et O'Neill, S. (2022, May 12). Pressure pain thresholds in a real-world chiropractic setting: topography, changes after treatment, and clinical relevance? *Chiropr Man Therap*, 30(1), 25. <https://doi.org/10.1186/s12998-022-00436-2>
- Nitschke, J. E., McMeeken, J. M., Burry, H. C. et Matyas, T. A. (1999, Jan-Mar). When is a change a genuine change? A clinically meaningful interpretation of grip strength measurements in healthy and disabled women. *J Hand Ther*, 12(1), 25-30.
- Nougarou, F., Dugas, C., Deslauriers, C., Pagé, I. et Descarreaux, M. (2013, Nov-Dec). Physiological responses to spinal manipulation therapy: investigation of the relationship between electromyographic responses and peak force. *J Manipulative Physiol Ther*, 36(9), 557-563. <https://doi.org/10.1016/j.jmpt.2013.08.006>
- Nougarou, F., Pagé, I., Loranger, M., Dugas, C. et Descarreaux, M. (2016, Jun 2). Neuromechanical response to spinal manipulation therapy: effects of a constant rate of force application. *BMC Complement Altern Med*, 16, 161. <https://doi.org/10.1186/s12906-016-1153-6>
- Nugraha, B., Gutenbrunner, C., Barke, A., Karst, M., Schiller, J., Schäfer, P., Falter, S., Korwisi, B., Rief, W. et Treede, R. D. (2019, Jan). The IASP classification of chronic pain for ICD-11: functioning properties of chronic pain. *Pain*, 160(1), 88-94. <https://doi.org/10.1097/j.pain.0000000000001433>
- Pagé, I., Biner, É. et Descarreaux, M. (2018, Nov-Dec). Vertebral Displacements and Muscle Activity During Manual Therapy: Distinct Behaviors Between Spinal Manipulation and Mobilization. *J Manipulative Physiol Ther*, 41(9), 753-761. <https://doi.org/10.1016/j.jmpt.2018.07.004>
- Pagé, I. et Descarreaux, M. (2019, Jan 18). Effects of spinal manipulative therapy biomechanical parameters on clinical and biomechanical outcomes of participants with chronic thoracic pain: a randomized controlled experimental trial. *BMC Musculoskelet Disord*, 20(1), 29. <https://doi.org/10.1186/s12891-019-2408-4>

- Pagé, I., Nougarou, F., Dugas, C. et Descarreaux, M. (2014, Jun). The effect of spinal manipulation impulse duration on spine neuromechanical responses. *J Can Chiropr Assoc*, 58(2), 141-148.
- Pasquier, M., Daneau, C., Marchand, A.-A., Lardon, A. et Descarreaux, M. (2019, 2019/05/22). Spinal manipulation frequency and dosage effects on clinical and physiological outcomes: a scoping review. *Chiropractic & Manual Therapies*, 27(1), 23. <https://doi.org/10.1186/s12998-019-0244-0>
- Perrot, S., Cohen, M., Barke, A., Korwisi, B., Rief, W. et Treede, R. D. (2019, Jan). The IASP classification of chronic pain for ICD-11: chronic secondary musculoskeletal pain. *Pain*, 160(1), 77-82. <https://doi.org/10.1097/j.pain.0000000000001389>
- Qu, N., Tian, H., De Martino, E. et Zhang, B. (2022). Neck Pain: Do We Know Enough About the Sensorimotor Control System? *Front Comput Neurosci*, 16, 946514. <https://doi.org/10.3389/fncom.2022.946514>
- Robinault, L., Holobar, A., Crémoux, S., Rashid, U., Niazi, I. K., Holt, K., Lauber, J. et Haavik, H. (2021, Jan 14). The Effects of Spinal Manipulation on Motor Unit Behavior. *Brain Sci*, 11(1). <https://doi.org/10.3390/brainsci11010105>
- Sauter, M., Backé, E., Pfab, C., Prigge, M., Brendler, C., Liebers, F., von Löwis, P., Pfeiffer, A., Papenfuss, F. et Hegewald, J. (2025, Apr 24). Comparison of sedentary time, number of steps and sit-to-stand-transitions of desk-based workers in different office environments including working from home: analysis of quantitative accelerometer data from the cross-sectional part of the SITFLEX Study. *Scand J Work Environ Health*. <https://doi.org/10.5271/sjweh.4228>
- Snodgrass, S. J., Rivett, D. A. et Robertson, V. J. (2006, May). Manual forces applied during posterior-to-anterior spinal mobilization: a review of the evidence. *J Manipulative Physiol Ther*, 29(4), 316-329. <https://doi.org/10.1016/j.jmpt.2006.03.006>
- Sterling, M. (2008, Sep). Testing for sensory hypersensitivity or central hyperexcitability associated with cervical spine pain. *J Manipulative Physiol Ther*, 31(7), 534-539. <https://doi.org/10.1016/j.jmpt.2008.08.002>
- Wilhelm, M., Cleland, J., Carroll, A., Marinch, M., Imhoff, M., Severini, N. et Donaldson, M. (2023, Dec). The combined effects of manual therapy and exercise on pain and related disability for individuals with nonspecific neck pain: A systematic review with meta-analysis. *J Man Manip Ther*, 31(6), 393-407. <https://doi.org/10.1080/10669817.2023.2202895>
- Wirth Brigitte, B. (2019). Neurophysiological Effects of High Velocity and Low Amplitude Spinal Manipulation in Symptomatic and Asymptomatic Humans: A Systematic Literature Review. *Spine*, 44(15), 914.
- Young, K. J., Leboeuf-Yde, C., Gorrell, L., Bergström, C., Evans, D. W., Axén, I., Chance-Larsen, K., Gagey, O., Georgopoulos, V., Goncalves, G., Harris, C., Harsted, S., Kerry, R., Lee, E., McCarthy, C., Nim, C., Nyirö, L., Schweinhardt, P. et Vogel, S. (2024, Sep 11). Mechanisms of

manipulation: a systematic review of the literature on immediate anatomical structural or positional changes in response to manually delivered high-velocity, low-amplitude spinal manipulation. *Chiropr Man Therap*, 32(1), 28. <https://doi.org/10.1186/s12998-024-00549-w>

ANNEXE A

Expectation of Treatment Scale (ETS) - Version en Français

Questions

1. Je m'attends à ce que le traitement m'aide à mieux gérer mes symptômes.
2. Je m'attends à ce que le traitement fasse disparaître mes symptômes.
3. Je m'attends à ce que le traitement améliore mon énergie.
4. Je m'attends à ce que le traitement améliore mes performances physiques.
5. Je m'attends à ce que mes symptômes s'améliorent de manière significative après le traitement.

Plusieurs affirmations ci-dessous reflètent vos attentes concernant le traitement. Veuillez indiquer dans quelle mesure ces affirmations s'appliquent à vous personnellement. Il n'y a pas de bonne ou de mauvaise réponse. Nous nous intéressons uniquement à vos réflexions personnelles actuelles. Veuillez sélectionner une réponse pour chaque affirmation.

	Partiellement en désaccord	Partiellement d'accord	D'accord	Tout à fait d'accord
Je m'attends à ce que le traitement m'aide à mieux gérer mes symptômes.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Je m'attends à ce que le traitement m'aide à mieux gérer mes symptômes.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Je m'attends à ce que le traitement améliore mon énergie	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Je m'attends à ce que le traitement améliore mes performances physiques	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Je m'attends à ce que mes symptômes s'améliorent de manière significative après le traitement	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

ANNEXE B

Échelle d'incapacité Cervicale (NDI)

Veuillez, s'il vous plaît, répondre à ce questionnaire. Il est conçu pour nous informer de l'effet de vos douleurs cervicales dans votre vie de tous les jours. S'il vous plaît, répondez à chacune des sections. Cochez une seule case pour chaque section qui vous décrit le mieux à ce moment-même.

Section 1 - Intensité des douleurs cervicales	
0	Je n'ai pas de douleur en ce moment.
1	La douleur est très légère en ce moment.
2	La douleur est modérée en ce moment.
3	La douleur est assez forte en ce moment.
4	La douleur est très forte en ce moment.
5	La douleur est la pire qu'on puisse imaginer en ce moment.
Section 2 - Soins personnels (ex. se laver, s'habiller)	
0	Je peux faire mes soins personnels sans augmenter la douleur.
1	Je peux faire mes soins personnels, mais cela augmente la douleur.
2	C'est douloureux de faire mes soins personnels et je les fais lentement et avec précaution.
3	J'ai besoin d'un peu d'aide, mais je peux faire la plupart de mes soins personnels.
4	J'ai besoin d'aide tous les jours pour la plupart de mes soins personnels.
5	Je ne m'habille pas, je me lave avec difficulté et je reste au lit.
Section 3 - Soulever des charges	
0	Je peux soulever des objets lourds sans augmenter la douleur.
1	Je peux soulever des objets lourds mais cela augmente la douleur.
2	La douleur m'empêche de soulever des objets lourds à partir du sol, mais je peux les soulever s'ils sont bien placés (ex. sur une table).
3	La douleur m'empêche de soulever des objets lourds, mais je peux soulever des objets légers ou moyens s'ils sont bien placés (ex. sur une table).
4	Je peux seulement soulever des objets très légers.
5	Je ne peux rien soulever, ni transporter.
Section 4 - Lecture	
0	Je peux lire autant que je le veux, sans douleurs cervicales.
1	Je peux lire autant que je le veux, avec de légères douleurs cervicales.
2	Je peux lire autant que je le veux, avec des douleurs cervicales modérées.
3	Je ne peux pas lire autant que je le veux, à cause de douleurs cervicales modérées.
4	Je peux à peine lire, à cause de mes douleurs cervicales intenses.

5	Je ne peux aucunement lire, à cause de mes douleurs cervicales.
Section 5 - Maux de tête	
0	Je n'ai aucun mal de tête.
1	J'ai des maux de tête légers et peu fréquents.
2	J'ai des maux de tête modérés et peu fréquents.
3	J'ai des maux de tête modérés et fréquents.
4	J'ai des maux de tête intenses et fréquents.
5	J'ai presque tout le temps des maux de tête.
Section 6 - Concentration	
0	Je peux me concentrer complètement sans difficulté, quand je le veux.
1	Je peux me concentrer complètement avec de légères difficultés, quand je le veux.
2	Il m'est relativement difficile de me concentrer, quand je le veux.
3	J'ai beaucoup de difficultés à me concentrer, quand je le veux.
4	J'ai d'énormes difficultés à me concentrer, quand je le veux.
5	Je n'arrive aucunement à me concentrer.
Section 7 - Travail (professionnel ou personnel)	
0	Je peux travailler autant que je le veux.
1	Je ne peux faire que mon travail courant, mais rien de plus.
2	Je peux faire la plus grande partie de mon travail courant, mais rien de plus.
3	Je ne peux pas faire mon travail courant.
4	Je peux à peine travailler.
5	Je ne peux aucunement travailler.
Section 8 - Conduite	
0	Je peux conduire ma voiture sans aucune douleur.
1	Je peux conduire ma voiture autant que je le veux, avec de légères douleurs.
2	Je peux conduire ma voiture autant que je le veux, avec des douleurs modérées.
3	Je ne peux pas conduire ma voiture autant que je le veux, en raison des douleurs modérées.
4	Je ne peux à peine conduire en raison des douleurs intenses.
5	Je ne conduis aucunement, à cause des douleurs.
Section 9 - Sommeil (avec ou sans prise médicamenteuse)	
0	Mon sommeil n'est pas perturbé.
1	Mon sommeil est à peine perturbé, moins de 1 heure sans dormir.
2	Mon sommeil est un peu perturbé, 1-2 heures sans dormir.
3	Mon sommeil est modérément perturbé, 2-3 heures sans dormir.
4	Mon sommeil est très perturbé, 3-5 heures sans dormir.
5	Mon sommeil est complètement perturbé, 5-7 heures sans dormir.
Section 10 - Loisirs (cuisine, sport, activités manuelles)	
0	Je peux participer à toutes mes activités de loisirs sans aucune douleur.
1	Je peux participer à toutes mes activités de loisirs, avec quelques douleurs.

2	Je peux participer à la plupart de mes activités habituelles de loisirs, mais pas à toutes, à cause de la douleur.
3	Je participe qu'à quelques-unes de mes activités de loisirs habituelles, à cause de mes douleurs.
4	Je peux à peine participer à des activités de loisirs, à cause de mes douleurs.
5	Je ne peux pas participer à aucune activité de loisir, à cause de mes douleurs.

ANNEXE C

Impression Globale de Changement

Comment percevez-vous la récupération de vos troubles ?

- Complètement amélioré
- Amélioré
- Légèrement amélioré
- Sans changement
- Légèrement moins bien
- Pire
- Pire que jamais

ANNEXE D



Université du Québec
à Trois-Rivières

Décanat de la recherche et de la création

Le 28 août 2023

Monsieur Martin Descarreaux
Professeur
Département des sciences de l'activité physique

Monsieur,

Le secrétariat de l'éthique a reçu votre demande de certificat d'éthique pour le projet **Linking physiological responses to clinical outcomes following cervical spine manipulation: a randomized mechanistic cross-over trial** en date du 25 août 2023.

Lors d'un processus d'évaluation déléguée, le Comité d'éthique de la recherche avec des êtres humains a émis un avis favorable à l'attribution du certificat demandé pour votre projet mentionné ci-dessus.

Vous trouverez ci-joint votre certificat portant le numéro CER-23-302-10.01. Sa période de validité s'étend du 28 août 2023 au 28 août 2024.

Nous vous invitons à prendre connaissance de votre certificat qui présente vos obligations à titre de responsable d'un projet de recherche.

Nous vous souhaitons la meilleure des chances dans vos travaux et vous prions d'agréer, Monsieur, nos salutations distinguées.

LA SECRÉTAIRE DU COMITÉ

FANNY LONGPRÉ
Adjointe au doyen
Décanat de la recherche et de la création

FL/na

p. j. Certificat d'éthique