

Influence d'une position de pré-manipulation cervicale C₄/C₅ sur la dimension des foramens intervertébraux cervicaux (étude *in-vivo*)

Relationship between right pre-manipulative position at C₄/C₅ and dimensional changes in the left and right intervertebral foramina on healthy subjects.

FRANÇOIS VACHER (DO, MSc)¹, WALID SALEM (DO, PhD)^{1, 4}, BENOIT BEYER (PT, MSc), PIERRE-MICHEL DUGAILLY (DO, PhD)^{1,3}, VÉRONIQUE FEIPEL, (PT, PhD)^{2,3}

- 1 Laboratoire d'Ostéopathie, Faculté des Sciences de la Motricité, Université libre de Bruxelles, Belgique.
- 2 Laboratoire d'Anatomie, de Biomécanique et d'Organogénèse (LABO), Faculté de Médecine, Université libre de Bruxelles, Belgique.
- 3 Laboratoire d'Anatomie Fonctionnelle, Faculté des Sciences de la Motricité, Université libre de Bruxelles, Belgique.
- 4 Haute école Paul-Henri Spaak (ISEK), Bruxelles, Belgique

Sources de Financement de l'étude: Aucune source de financement

Les auteurs attestent ne pas avoir de conflit d'intérêt dans la réalisation de ce travail

Keywords

Pre-manipulative positioning, cervical, intervertebral foramina, osteopathy, nerve roots

Mots clés

Pré-manipulation, cervical, foramens intervertébraux, ostéopathie, racines nerveuses

Abstract

Objective: to assess the relationship between right pre-manipulative position at C₄/C₅ and dimensional changes in the left and right intervertebral foramina on healthy subjects.

Methods: ten healthy volunteers participated in this study. Two CT scans were conducted: one in a neutral position and the other in the pre-manipulative positioning. The pre-manipulation positioning using multiple-component technique was carried out by a skilled practitioner at the C₄/C₅ level on the right side. During positioning, the head was rotated to the left, bent laterally to the right with light extension. Anatomical landmarks were used to assess the vertical and transverse diameters of the cervical intervertebral foramina between the neutral and the pre-manipulative positions.

Résumé

But de l'étude: étudier l'influence d'une position de pré-manipulation cervicale C₄/C₅ réalisée à droite, sur les dimensions des diamètres verticaux et transversaux des foramens intervertébraux gauche et droit.

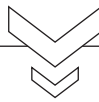
Méthodes: pour cette étude nous avons utilisé des reconstructions 3D de dix colonnes cervicales de sujets sains, obtenues à partir de CT-Scan. L'acquisition des images a été réalisée en position neutre et dans une position de pré-manipulation cervicale par la technique de composantes multiples ciblée sur le niveau C₄/C₅ à droite. Les composantes du mouvement utilisées lors du positionnement pré-manipulatif sont: la latéroflexion droite, rotation gauche et l'extension. Des marqueurs ont été placés afin d'apprécier les diamètres verticaux et transversaux des foramens intervertébraux cervicaux gauche et droit dans les deux positions.

Results: the variability of measurements between and within observers was less than 10 %. The pre-manipulative position, increases dimensions for all intervertebral foramina on the opposite side relative to the lateral flexion component or to the target level to be manipulated (vertical +8,5 % and transversal 4,9 %), and decreases dimensions on the same side (vertical diameters -4,4 % and transversal -0,6 %).

Conclusion: pre-manipulative positioning using multiple-component technique could be useful to increase intervertebral foramina dimensions in some pathological conditions.

Résultats: les résultats montrent une faible variation (inférieure à 10 %) des mesures en inter-examineur et en intra-examineur. Une ouverture des foramens intervertébraux cervicaux a été observée du côté controlatéral à la composante de latéroflexion, à hauteur de l'étage ciblé (C₄/C₅). Une autre ouverture a été observée aux étages sus-jacents et sous-jacents, pour les diamètres moyens verticaux (+8,5 %) et transversaux (+4,9 %). Une fermeture des mêmes étages a été observée pour le côté homolatéral pour les diamètres moyens verticaux (-4,4 %) et transversaux (-0,6 %).

Conclusion: la position de pré-manipulative cervicale à composantes multiples utilisée dans cette étude pourrait être utile pour augmenter les dimensions des foramens cervicaux dans certaines conditions pathologiques.



Introduction

Cinématique cervicale

Les mouvements du rachis cervical dépendent de l'étage considéré. Nous pouvons distinguer le rachis cervical supérieur (RCS) correspondant aux étages C₀/C₁ et C₁/C₂ et le rachis cervical inférieur (RCI) concernant les articulations de C₂/C₃ à C₆/C₇. En ce qui concerne le rachis cervical supérieur, nous pouvons remarquer que le mouvement principal, pour l'articulation C₁/C₂, est la rotation axiale ⁽¹⁾. Tandis que pour l'étage C₀/C₁, le mouvement principal est la flexion / extension. Quant au rachis cervical inférieur, la partie inférieure C₅/C₆, C₆/C₇, possède une plus grande quantité de mouvement en latéroflexion. La partie intermédiaire du RCI (C₃/C₄ à C₄/C₅) ne se distingue pas par un mouvement prépondérant ⁽²⁾ (Figure 1).

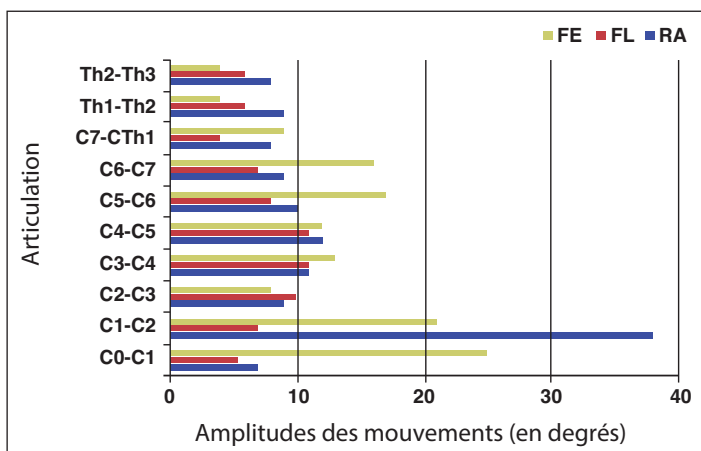
De plus, un mouvement pur dans un seul plan n'existe pas, puisqu'il va associer automatiquement des mouvements dans les deux autres plans. Néanmoins, nous pouvons constater que les mouvements associés ne sont pas les mêmes pour le RCS et le RCI. Pour le RCS, la rotation axiale, va s'accompagner simul-

tanément d'une latéroflexion du côté controlatéral à la rotation ^(4, 5). Cette association de mouvements est identique lorsque le sujet exécute une latéroflexion. Cette dernière induit automatiquement une rotation controlatérale à la latéroflexion ⁽⁶⁾. Ce schéma est différent pour le RCI qui associe une latéroflexion homolatérale à la rotation axiale. La partie supérieure du RCI (de C₂/C₃ à C₄/C₅) va coupler ces deux mouvements avec de l'extension, alors que la partie inférieure (C₅/C₆ et C₆/C₇) va les coupler avec de la flexion ⁽⁷⁾. On peut supposer que l'ensemble de ces mouvements va engendrer une modification de la dimension des foramens intervertébraux ⁽⁸⁾. La latéroflexion et la rotation devraient réduire la surface foraminale du côté homolatéral et l'augmenter du côté controlatéral, mais cela n'a jamais été décrit.

Influence des manipulations ostéopathiques

Si l'on considère que les mouvements tridimensionnels modifient l'ouverture des foramens, la mobilité des structures vasculo-nerveuses qui passent à cet endroit devraient être affectées. Plus la racine nerveuse considérée est située à proximité de l'articulation mobile, plus les contraintes qui y sont appliquées seront élevées ⁽⁹⁾. Des résultats similaires ont été observés pour l'étirement et le déplacement de la racine nerveuse en direction de l'articulation mobilisée ⁽³⁾. Au niveau des racines nerveuses cervicales situées entre C₅ et C₈, un déplacement distal est observé au cours d'un test d'étirement du nerf du membre supérieur ⁽¹⁰⁾.

Dans certains cas, le tableau clinique des pathologies compressives des racines nerveuses au niveau cervical est dû à un rétrécissement du foramen intervertébral. Les patients décrivent plus généralement des douleurs ou des paresthésies, plus ou moins systématisées dans le territoire de la racine nerveuse incriminée. Ils peuvent également décrire des sensations subjectives de « maladresse » ou d'impotences fonctionnelles, surtout dans la réalisation de gestes fins ⁽¹¹⁾. Lorsque les ostéopathes rencontrent ce genre de pathologie, une solution clinique mécaniste consiste à ouvrir l'espace foraminaux afin de donner plus de place à la racine nerveuse compressée. Lorsqu'une compression est située au niveau intervertébral, une traction dans l'axe crânio-sacré, dirigée vers le haut, peut être effectuée au niveau de la colonne cervicale ⁽¹²⁾.



> Figure 1: graphique représentant les degrés d'amplitude des mouvements de flexion/extension (FE), de flexion latérale (LF), et de rotation axiale (RA) de la colonne cervicale et de la charnière cervico-thoracique ⁽³⁾

En ostéopathie, les techniques de manipulation cervicale de haute vélocité basse amplitude à composantes multiples (TCM) ⁽¹³⁾ sont fréquemment utilisées dans le traitement des névralgies cervico-brachiales (NCB). Pour les TCM, le praticien doit arriver à une « barrière de focalisation » de l'articulation incriminée, et ceci grâce à une combinaison de plusieurs mouvements au niveau de la colonne cervicale du patient. Il effectue une séquence de flexion ou d'extension, de latéroflexion et de rotation, qui sont les mouvements majeurs de la colonne cervicale. Néanmoins, le praticien peut induire des mouvements dits mineurs, comme la traction, la compression dans l'axe ou la translation latérale afin d'arriver à la barrière de focalisation avec le minimum d'amplitude pour chaque composante de mouvement. Les TCM se terminent par un thrust, qui est exécuté grâce à une impulsion : soit en rotation, soit en latéroflexion ⁽¹⁴⁾.

L'implication clinique de cette technique de pré-manipulation à composantes multiples est de mettre en tension les structures environnantes de l'articulation considérée, en additionnant plusieurs mouvements. Grâce à cet empilement de composantes de mouvements, le praticien travaille dans des amplitudes qui sont inférieures aux amplitudes de mouvements maximales dans les différents plans. Dans cette position de pré-manipulation, le thrust qui termine la manipulation sera plus sûr et permettra de décoapter l'articulation afin de lui redonner un plus grand degré de liberté de mouvement.

Au vu de la littérature et en considérant qu'un mouvement implique des mouvements secondaires différents selon l'étage observé, quelle serait l'influence d'une position de pré-manipulation à composantes multiples sur la dimension des foramens intervertébraux ? La légitimité du thrust pourrait-elle être remise en cause lors du traitement des pathologies compressives des racines nerveuses ? Quelle serait l'implication clinique de cette position de pré-manipulation cervicale sur l'entière des foramens intervertébraux cervicaux ?

Méthodes

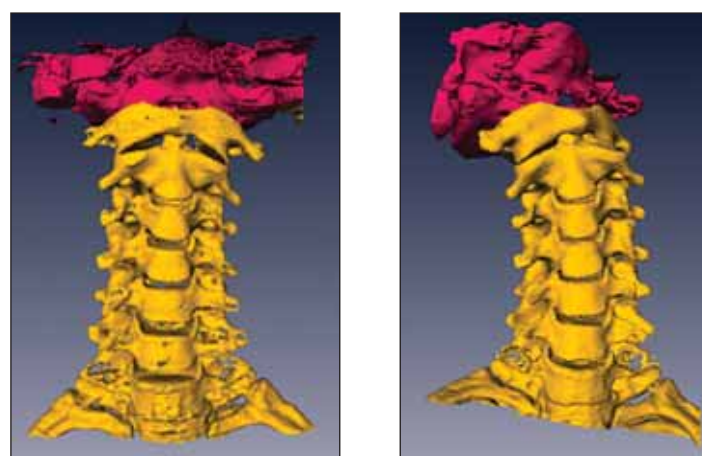
Reconstructions 3D

Pour réaliser nos expériences, nous avons utilisé les données de reconstruction tridimensionnelles des colonnes cervicales réalisées dans une étude précédente ⁽⁵⁾. Ces différentes reconstructions ont été réalisées grâce à la participation de dix sujets sains, dont l'âge moyen était de $23,6 \pm 2,1$ ans. Aucun des sujets ne présentait d'anomalie morphologique rachidienne. Ces reconstructions étaient réalisées en position neutre et en position de pré-manipulation cervicale grâce à la technique des composantes multiples au niveau C₄/C₅, réalisée à droite.

Pour reproduire les images 3D de la colonne cervicale, les sujets ont été placés en décubitus dorsal, en position la plus neutre possible sur une table de CT scan (Sensation 16 Siemens®, acquisition hélicoïdale, l'épaisseur de la coupe 0,75 mm avec pitch 0,6 utilisant le logiciel de Low-Dose Care par Siemens®) avec les épaules fixées par un ruban non élastique. La position neutre correspond à une position dans laquelle les rotations gauche-droite, les latéroflexions gauche/droite, ainsi que la flexion et l'extension du rachis cervical sont les plus limitées. La position neutre de la tête a été définie par la position verti-

cale perpendiculaire au plan de Francfort par rapport à la table de CT scan, puis un deuxième scan a été réalisé en position de pré-manipulation cervicale C₄/C₅ à droite, par une technique à composantes multiples en décubitus dorsal décrite ci-dessous.

Une segmentation a été réalisée pour extraire les segments osseux des autres tissus anatomiques afin de reconstruire le volume osseux. L'articulation métacarpo-phalangienne droite du praticien vient au contact du mur articulaire C₄/C₅ du côté droit, tandis que la main gauche réalise une prise mentonnaire. La technique de positionnement pré-manipulative est composée principalement d'une rotation axiale de la tête vers le côté gauche, combinée à une latéroflexion droite, et à une légère extension de la tête. Le praticien exerce une pression sur le processus articulaire jusqu'à ce qu'il atteigne la sensation de la « barrière de focalisation ». Cette position est maintenue pendant la prise du second CT-scan. Toutes les images de chaque sujet ont été segmentées semi-automatiquement avec le logiciel Amira 3,1® dans les deux positions (neutre et pré-manipulative) (Figure 2).



› Figure 2 : image des reconstructions 3D du rachis cervical en position neutre et en position de pré-manipulation, vue de face

Système de coordonnées

Dans chaque étude cinématique tridimensionnelle, il est important de définir un repère orthonormé fixe afin d'observer les positions de chaque vertèbre au cours du mouvement. Pour orienter le repère orthonormé, trois marqueurs anatomiques, virtuels, fixes, non colinéaires ont été placés sur les structures les plus proéminentes de chaque vertèbre. Ces marqueurs sont respectivement le tubercule postérieur du processus transverse droit et gauche ainsi que le processus épineux. L'axe Z passe par les tubercules transverses des processus transverses droit et gauche et il est orienté vers la droite. L'axe X passe par le repère placé au niveau du processus épineux, il est orthogonal à l'axe Z et il est orienté vers l'avant. L'axe Y est orthogonal aux deux autres axes et il est orienté vers le haut (Figure 3). Pour notre étude, le système de référence des coordonnées des différents marqueurs a été placé au niveau de C₇ pour toutes les positions étudiées.

Marqueurs foraminaux

Après avoir reconstruit les images 3D des colonnes cervicales, les fichiers ont été traités avec le logiciel Amira 3.1®. Nous avons placé deux types de marqueurs : des marqueurs verticaux et des marqueurs transversaux entre les vertèbres C₂ et C₇. L'expérience

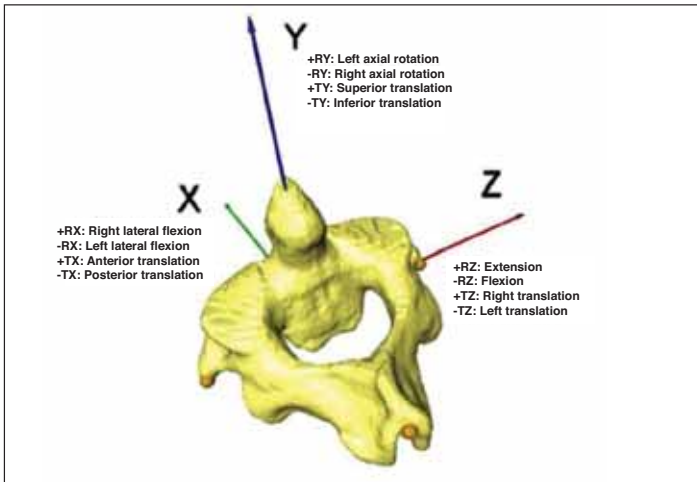


Figure 3: image représentant la localisation et orientation du système de référence (15)

qui consiste à placer les marqueurs a été réalisée par trois expérimentateurs différents, ayant tous des connaissances en anatomie et exerçant dans le milieu médical ou paramédical. Les marqueurs ont été placés systématiquement et de manière rigoureuse selon la même méthode pour la position neutre et la position de pré-manipulation cervicale C₄/C₅ utilisée; ils ont été placés dans un premier temps sur le côté gauche puis sur le côté droit. Un premier marqueur a été placé au niveau de la face inférieure du pédicule de la vertèbre supérieure. Tandis que le second a été placé au niveau de la face supérieure du pédicule de la vertèbre sous-jacente, ce qui correspond respectivement à la partie supérieure et inférieure du foramen intervertébral.

Le premier marqueur transversal, correspondant au marqueur antérieur, a été placé à la partie postérieure du corps vertébral de la vertèbre supérieure. Le second, correspondant au marqueur postérieur, a été placé au niveau de la partie postérieure du processus articulaire supérieur de la vertèbre sous-jacente (Figure 4). Ce positionnement nous a permis de mesurer le diamètre transversal du foramen intervertébral.

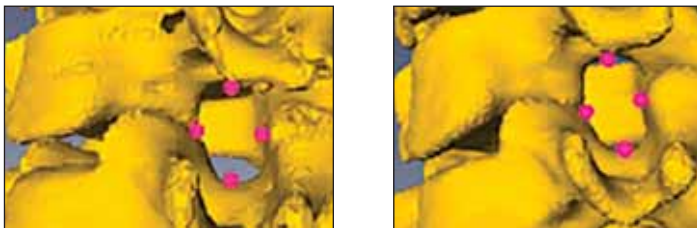


Figure 4: Image représentant les marqueurs verticaux et transversaux des foramens intervertébraux en position neutre (à droite) et en position de pré-manipulation (à gauche)

Calcul des distances entre les marqueurs

Les coordonnées tridimensionnelles de chaque marqueur, pour chaque position ont été importées sur le logiciel Excel 2010. Puis, au moyen de la formule mathématique permettant de calculer la distance entre deux points de l'espace,

$$D = \sqrt{((X1-X2)^2 + (Y1-Y2)^2 + (Z1-Z2)^2)}$$

(D = Distance entre 2 marqueurs; X1 = coordonnée sur l'axe X du point 1; X2 = coordonnée sur l'axe X du point 2; Y1 = coordonnée sur l'axe Y du point 1; Y2 = coordonnée sur l'axe Y du point 2; Z1 = coordonnée sur l'axe Z du point 1; Z2 = coordonnée sur l'axe Z du point 2), nous avons quantifié les distances entre les marqueurs verticaux d'une part et les marqueurs transversaux d'autre part.

donnée sur l'axe Y du point 1; Y2 = coordonnée sur l'axe Y du point 2; Z1 = coordonnée sur l'axe Z du point 1; Z2 = coordonnée sur l'axe Z du point 2), nous avons quantifié les distances entre les marqueurs verticaux d'une part et les marqueurs transversaux d'autre part.

Analyses statistiques

Pour observer les interactions entre les différents facteurs (position, étage, diamètre, côté), nous avons réalisé une analyse de variance (ANOVA) à quatre facteurs au moyen du logiciel SPSS 20. Les facteurs pris en compte sont: la position de la tête du sujet (neutre ou composantes multiples), le côté (gauche et droit), l'étage (foramens intervertébraux situés entre C₂ et Th₁) et le diamètre (vertical ou transversal). La p-valeur utilisée est de 0.05 et le test post-hoc de type *Bonferroni* a été utilisé pour comparer les groupes. En ce qui concerne l'analyse statistique de la reproductibilité de nos mesures, nous avons réalisé une ANOVA à mesures répétées. La p-valeur et le test post-hoc étaient les mêmes lors de l'analyse de l'interaction entre facteurs.

Résultats

Reproductibilité

Pour mesurer la reproductibilité, l'indice le plus couramment utilisé pour en apprécier la précision est le coefficient de variation. On calcule pour chaque sujet i , la valeur du rapport s_i/m_i pour laquelle s_i est l'écart type correspondant à la variabilité entre répétitions et m_i la moyenne des répétitions. Le coefficient de variation (CV) est la moyenne des s_i/m_i sur l'ensemble des sujets (16).

Pour étudier la reproductibilité intra-examineur, nous avons demandé à nos trois expérimentateurs de placer les marqueurs pour chaque étage d'un sujet choisi au hasard, en position neutre, quatre fois. Puis, nous avons calculé les distances entre les marqueurs, pour chaque étage, pour chaque diamètre (vertical ou transversal), à gauche et à droite et nous avons calculé les moyennes, les écarts-types et les CV. Les résultats ont montré que la moyenne des coefficients de variation des différents diamètres était de 5,6 %, 7,2 % et 6,3 % respectivement pour les trois expérimentateurs (Tableau 1).

En ce qui concerne la reproductibilité inter-examineur, nous avons réalisé les mêmes calculs que lorsque nous avons étudié la reproductibilité intra-examineur. Nous avons calculé les moyennes, les écarts-types et les coefficients de variations de chaque étage, pour chaque diamètre, à gauche et à droite pour tous les examinateurs confondus. La moyenne des différentes moyennes des CV est de 6,8 %. Nous en concluons que nos prises mesures ont une reproductibilité acceptable tant au niveau intra-examineur qu'au niveau inter-examineurs, puisque celles-ci se trouvent en-dessous du seuil de 10 % (16).

Dimensions foramens intervertébraux

Il existe une différence significative entre les différentes positions, tous diamètres confondus (μ neutre = 7,6 mm; μ TCM = 7,8 mm; SD = 0,55 mm; $p = 0,018$). Les diamètres verticaux sont plus importants que les diamètres transversaux (μ Vertical = 8,7mm; μ Transversal = 6,7 mm; SD = 0.06mm; $p < 0,001$). La compa-

EXAMINATEUR 1							
Gauche							
ETAGE	Vertical			Transversal			
	MOYENNE	ECART TYPE	CV	MOYENNE	ECART TYPE	CV	
C2-C3	10,3	0,8	0,08	9,9	1,2	0,12	CV moyen
C3-C4	9,7	0,5	0,05	7,2	0,1	0,02	
C4-C5	10,7	0,3	0,03	8,0	0,4	0,02	
C5-C6	9,3	0,2	0,03	8,0	0,5	0,06	
C6-C7	8,4	0,4	0,05	7,5	0,4	0,06	
C7-TH1	8,1	0,5	0,06	7,1	0,6	0,08	
Moyenne	9,4	0,5	0,05	7,9	0,5	0,07	
Droite							
ETAGE	Vertical			Transversal			
	MOYENNE	ECART TYPE	CV	MOYENNE	ECART TYPE	CV	
C2-C3	10,1	0,4	0,04	9,5	0,7	0,07	CV moyen
C3-C4	9,6	0,4	0,04	8,1	0,6	0,08	
C4-C5	11,6	0,2	0,02	5,0	0,3	0,06	
C5-C6	10,4	0,1	0,01	6,6	0,2	0,03	
C6-C7	9,4	0,2	0,02	5,7	0,4	0,07	
C7-TH1	8,1	0,4	0,05	5,9	1,1	0,19	
Moyenne	9,9	0,3	0,03	6,9	0,6	0,08	
							0,056

EXAMINATEUR 2							
Gauche							
ETAGE	Vertical			Transversal			
	MOYENNE	ECART TYPE	CV	MOYENNE	ECART TYPE	CV	
C2-C3	10,2	0,6	0,05	10,2	0,5	0,05	CV moyen
C3-C4	9,6	0,3	0,03	7,3	0,3	0,04	
C4-C5	10,8	0,4	0,04	8,0	0,2	0,03	
C5-C6	9,0	0,3	0,03	8,2	0,3	0,03	
C6-C7	8,2	0,4	0,05	6,6	0,2	0,03	
C7-TH1	7,2	1,2	0,17	6,2	0,8	0,12	
Moyenne	9,2	0,5	0,06	7,7	0,4	0,05	
Droite							
ETAGE	Vertical			Transversal			
	MOYENNE	ECART TYPE	CV	MOYENNE	ECART TYPE	CV	
C2-C3	9,5	0,3	0,03	9,0	1,0	0,11	CV moyen
C3-C4	9,3	0,3	0,03	8,7	0,5	0,06	
C4-C5	11,6	0,2	0,02	5,7	0,2	0,03	
C5-C6	10,6	0,5	0,04	7,0	1,1	0,16	
C6-C7	9,3	0,4	0,04	5,9	0,5	0,09	
C7-TH1	7,0	1,9	0,27	5,1	0,8	0,17	
Moyenne	9,6	0,6	0,07	6,9	0,7	0,10	
							0,072

EXAMINATEUR 3							
Gauche							
ETAGE	Vertical			Transversal			
	MOYENNE	ECART TYPE	CV	MOYENNE	ECART TYPE	CV	
C2-C3	10,4	0,5	0,05	10,5	0,7	0,06	CV moyen
C3-C4	9,6	0,3	0,03	7,6	0,4	0,05	
C4-C5	10,6	0,2	0,02	8,3	0,5	0,06	
C5-C6	9,2	0,1	0,01	8,2	0,6	0,07	
C6-C7	8,1	0,3	0,04	7,2	0,4	0,06	
C7-TH1	7,2	1,4	0,20	6,4	0,8	0,13	
Moyenne	9,2	0,5	0,06	8,1	0,6	0,07	
Droite							
ETAGE	Vertical			Transversal			
	MOYENNE	ECART TYPE	CV	MOYENNE	ECART TYPE	CV	
C2-C3	9,8	0,3	0,03	8,9	0,3	0,03	CV moyen
C3-C4	9,3	0,4	0,04	8,9	0,4	0,04	
C4-C5	11,5	0,1	0,01	5,6	0,2	0,03	
C5-C6	10,5	0,3	0,03	6,5	0,2	0,02	
C6-C7	9,2	0,1	0,01	6,1	0,3	0,05	
C7-TH1	7,2	1,7	0,24	4,9	1,0	0,21	
Moyenne	9,6	0,5	0,06	6,8	0,4	0,07	
							0,063

INTEREXAMINATEUR							
Gauche							
ETAGE	Vertical			Transversal			
	MOYENNE	ECART TYPE	CV	MOYENNE	ECART TYPE	CV	
C2-C3	10,3	0,6	0,06	10,2	0,8	0,08	CV moyen
C3-C4	9,7	0,3	0,03	7,4	0,3	0,04	
C4-C5	10,7	0,3	0,03	8,1	0,4	0,05	
C5-C6	9,2	0,2	0,03	8,2	0,4	0,05	
C6-C7	8,2	0,3	0,04	7,1	0,5	0,08	
C7-TH1	7,5	1,1	0,15	6,5	0,8	0,12	
Moyenne	9,3	0,5	0,06	7,9	0,5	0,07	
Droite							
ETAGE	Vertical			Transversal			
	MOYENNE	ECART TYPE	CV	MOYENNE	ECART TYPE	CV	
C2-C3	9,8	0,4	0,04	9,1	0,7	0,08	CV moyen
C3-C4	9,4	0,4	0,04	8,6	0,6	0,07	
C4-C5	11,5	0,2	0,01	5,7	0,2	0,04	
C5-C6	10,5	0,3	0,03	6,7	0,6	0,10	
C6-C7	9,3	0,2	0,02	5,9	0,4	0,07	
C7-TH1	7,4	1,4	0,19	5,3	1,0	0,19	
Moyenne	9,7	0,5	0,06	6,9	0,6	0,09	
							0,063

> Tableau 1 : moyennes, écarts types, coefficients de variation de chaque étage et coefficient de variation moyen tous étages confondus pour tous les trois examinateurs

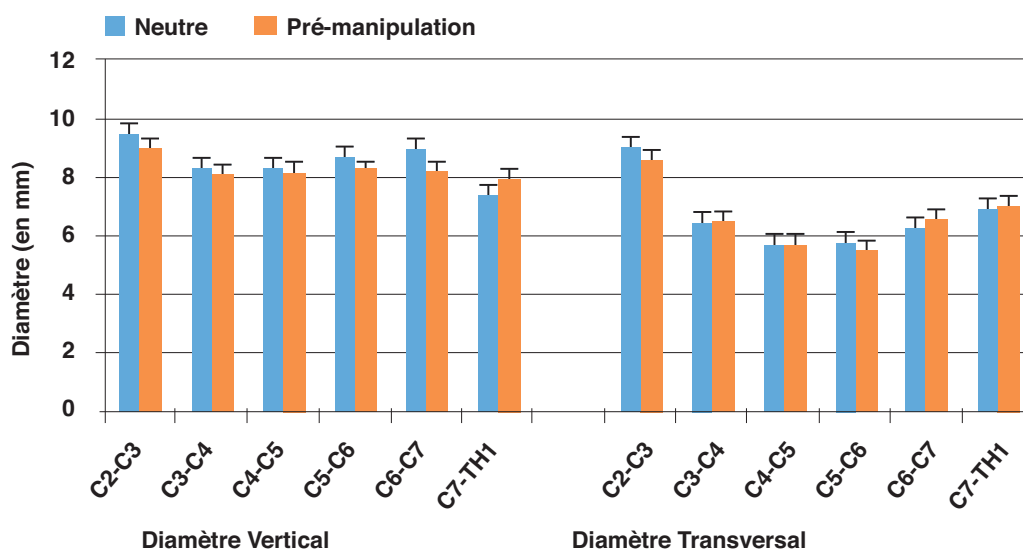
raison des différents diamètres tous étages confondus (vertical gauche, vertical droit, transversal gauche et transversal droit) présentent une différence hautement significative ($p < 0,001$) entre les deux différentes positions : neutre et TCM.

Du côté gauche, les foramens intervertébraux cervicaux ont un plus grand diamètre vertical et transversal comparé à la position neutre, excepté pour l'étage C7/Th1. Les pourcentages

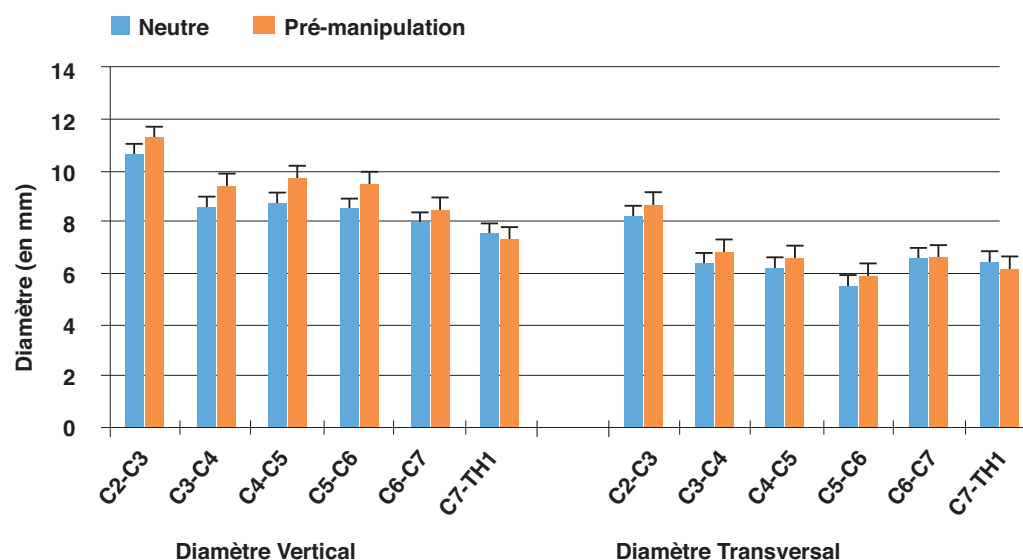
d'ouverture pour les diamètres moyens verticaux et transversaux, qui ont présenté une ouverture, sont respectivement de verticale = +8,5 % et transversale = +4,9 %. Du côté droit, les diamètres moyens verticaux et transversaux étaient dans l'ensemble plus petits pour la position de pré-manipulation comparée à la position neutre (verticale = -4,4 % et transversale = -0,6 %). L'étage C7/Th1 a présenté une diminution des diamètres vertical et transversal du côté gauche et une augmen-

COTE	ETAGE	Diamètre vertical			Diamètre transversal			Aire	ETAGE	COTE
		Neutre	TCM	Variation	Neutre	TCM	Variation	Variation		
		D (mm) (±SD)	D (mm) (±SD)	(en %)	D (mm) (±SD)	D (mm) (±SD)	(en %)	(en %)		
G	C2-C3	10,7 (±0,8)	11,2 (±1,1)	5,0	8,2 (±2,1)	8,7 (±1,9)	5,3	11	C2-C3	G
	C3-C4	8,5 (±1,2)	9,4 (±1,2)	9,8	6,4 (±1,2)	6,9 (±1,7)	7,0	18	C3-C4	
	C4-C5	8,7 (±1,2)	9,7 (±1,2)	11,1	6,2 (±1,7)	6,6 (±1,7)	5,7	18	C4-C5	
	C5-C6	8,6 (±1,0)	9,5 (±1,2)	11,1	5,6 (±1,9)	5,9 (±2,2)	6,0	18	C5-C6	
	C6-C7	8,0 (±0,9)	8,4 (±1,4)	5,6	6,6 (±0,9)	6,6 (±1,0)	0,5	6	C6-C7	
	C7-TH1	7,5 (±1,1)	7,2 (±2,3)	-3,8	6,5 (±0,8)	6,2 (±1,9)	-5,2	-9	C7-TH1	
D	C2-C3	9,5 (±1,0)	9,0 (±0,8)	-5,5	9,0 (±1,4)	8,7 (±1,5)	-4,2	-9	C2-C3	D
	C3-C4	8,3 (±1,0)	8,1 (±1,2)	-2,6	6,5 (±1,6)	6,5 (±1,7)	0,7	-2	C3-C4	
	C4-C5	8,3 (±1,3)	8,2 (±1,3)	-1,2	5,7 (±1,7)	5,7 (±1,5)	0,4	-1	C4-C5	
	C5-C6	8,7 (±1,1)	8,3 (±0,9)	-4,2	5,8 (±1,8)	5,7 (±1,7)	-4,2	-8	C5-C6	
	C6-C7	9,0 (±3,0)	8,2 (±1,0)	-8,5	6,3 (±1,2)	6,6 (±1,1)	4,2	-5	C6-C7	
	C7-TH1	7,4 (±1,2)	8,0 (±0,7)	7,7	6,9 (±1,2)	7,1 (±1,0)	2,4	10	C7-TH1	

› Tableau 2 : tableau représentant les moyennes des diamètres verticaux et transversaux pour le côté droit (D) et gauche (G), en position neutre et en position de pré-manipulation cervicale par technique à composantes multiples (TCM), le pourcentage d'ouverture et la variation de l'aire du foramen de chaque étage entre les deux positions étudiées



› Figure 5 : diamètres verticaux et transversaux du côté droit en position neutre (bleu) et en position de pré-manipulation (orange)



› Figure 6 : diamètres verticaux et transversaux du côté gauche en position neutre (bleu) et en position de pré-manipulation (orange)

tation des diamètres du côté droit (Figure 5 et 6), contrairement à tous les autres étages et à tous les différents diamètres mesurés. Les étages C₃/C₄, C₄/C₅ et C₅/C₆, ont un pourcentage d'ouverture plus important à gauche pour le diamètre vertical (respectivement moyenne C₃/C₄ = +9,8 %, moyenne C₄/C₅ = +11,1 %, moyenne C₅/C₆ = +11,1 %), ainsi que pour le diamètre transversal (respectivement moyenne C₃/C₄ = +7,03 %, moyenne C₄/C₅ = +5,8 %, moyenne C₅/C₆ = +6%). En ce qui concerne le côté droit, le pourcentage d'ouverture des étages C₃/C₄, C₄/C₅ et C₅/C₆ ne présentait pas de valeur extrême pour le diamètre vertical ou pour le diamètre transversal (Tableau 2).

Discussion

Les techniques de manipulation cervicale sont fréquemment utilisées en ostéopathie, dans la prise en charge thérapeutique des cervicalgies et des céphalées (14). Ces manipulations auraient pour objectif d'améliorer l'état clinique des patients par décompression de la racine nerveuse au niveau de son passage dans le foramen intervertébral. Néanmoins, il existe d'autres techniques de décompression de la racine nerveuse telles que, par exemple, les manœuvres d'étirements neuroméningés (10).

Cette compression de la racine nerveuse est la conséquence soit d'un œdème de la racine elle-même ou des structures péri-radicales, soit d'une diminution de la surface du foramen intervertébral (6).

Pour soulager les patients de ces douleurs caractéristiques, certains praticiens ont recours à des manœuvres ostéopathiques afin d'ouvrir l'espace intervertébral (13,14). En termes d'effets, nous avons relevé des contradictions dans la littérature lors de la comparaison de ces techniques ostéopathiques avec d'autres manipulations afin de connaître leurs réels effets sur le patient. Les impacts de ces traitements ont été évalués et comparés à ceux des techniques myotensives, grâce à une mesure de la diminution de la douleur (17). D'autres études ne révèlent aucune différence significative entre ces traitements et les mobilisations cervicales (18).

En 2013, Karl Vincent et ses collaborateurs ont élaboré une méta-analyse portant sur les cervicalgies sur la base de publications parues dans deux banques de données (Medline et Cochrane Library). Les études étaient soumises à des critères reconnus afin d'évaluer leur qualité. Parmi ces études, dix-huit bénéficiaient d'une qualité élevée. Les résultats ont montré que, bien qu'il existe un intérêt des thérapies manuelles dans le traitement des cervicalgies communes, les manipulations thoraciques supérieures ont un niveau de preuve acceptable dans le traitement à court-terme des cervicalgies aiguës. En ce qui concerne les manipulations cervicales, sur les cervicalgies aiguës et sur les cervicalgies chroniques, elles ne présentent pas de résultats significatifs sur le long terme (19).

Néanmoins, si elles sont indiquées, les manipulations cervicales ne doivent pas engager de risque pour le patient et doivent respecter les amplitudes physiologiques des mouvements cervicaux. En 2011, Salem et al., (20) ont étudié la cinématique 3D dans plusieurs positions : en rotation, droite et gauche, ainsi qu'en position de pré-manipulation cervicale à composantes multiples. Ils ont observé que dans cette position de pré-

manipulation, l'étirement de l'artère vertébrale était moindre que lors de la rotation maximale physiologique de la tête.

L'intérêt de notre étude, basée sur les reconstructions 3D du rachis cervical utilisées par Salem et al. en 2013, est de mettre en évidence l'impact d'une position de pré-manipulation à composantes multiples sur la dimension des foramens intervertébraux cervicaux. Elle constitue une étude pilote dans ce domaine.

Les symptômes rencontrés dans les cas de névralgies cervico-brachiales sont une diminution des amplitudes de rotation, de latéroflexion et/ou de flexion et d'extension, ainsi que des paresthésies et/ou des douleurs locales et/ou projetées. Bien que les signes observés auprès de patients souffrant de ces troubles soient similaires, les causes des NCB peuvent avoir plusieurs origines, et ne peuvent être identifiées qu'au moyen d'une IRM 3D (21). Néanmoins, il est possible de localiser partiellement la compression avec les tests de sensibilité des dermatomes. Selon les auteurs, la compression se localise dans un grand nombre de cas, à l'intérieur du canal vertébral. Des différences architecturales au niveau des tissus mous et des tissus osseux sont relevées lorsque l'on compare des sujets asymptomatiques et symptomatiques. Ces différences se retrouvent également au niveau des facettes articulaires intervertébrales puisque chez les patients souffrant de NCB, les espaces inter-facettaires sont diminués (22). De même, un ostéophyte peut constituer une cause de cette pathologie. Cependant, la compression se localise généralement en pré-ganglionnaire au niveau pré-foraminal ou foraminal, donnant à la racine nerveuse un aspect « tortueux » ou « torsadé ». Ces formes atypiques de la racine sont reconnues afin de localiser le site de compression, pour les neuro-chirurgiens (23). Toutefois, la littérature ne détermine pas si ces aspects sont observés chez les patients asymptomatiques. Dans le cadre de ce travail, nous n'avons pas mis en évidence les articles traitant des symptômes d'une NCB dont la cause est une hernie discale, puisque nous ne conseillons pas un traitement manipulatif pour ce genre de pathologie. Les manipulations ou les positions de pré-manipulation à composantes multiples pouvant, dans ce cas-là, être dommageables pour le patient et par conséquent contraindiquées.

Nucley et al., en 2002, ont observé que les mouvements de la colonne cervicale influencent la surface des foramens, concluant à un rôle protecteur des tissus environnants (8). Nous nous sommes demandé si la position de pré-manipulation à composantes multiples pourrait constituer une technique alternative dans les traitements des pathologies irritatives de la racine nerveuse. Les connaissances apportées par la littérature, sur les congestions nerveuses et les déplacements nerveux par étirement (10), nous ont permis d'élaborer cette hypothèse. Celle-ci a été renforcée par les résultats des études portant sur l'influence de la traction et du mouvement sur la dimension des foramens intervertébraux (8) et nos résultats par les techniques à composantes multiples utilisées en ostéopathie.

Lors de notre étude, nous avons utilisé des reconstructions 3D de rachis cervicaux à partir des images de CT-scan réalisées sur dix sujets asymptomatiques, en position neutre et en position de pré-manipulation à composantes multiples cervicale C₄/C₅ à droite. Ces reconstitutions ont été élaborées grâce

au logiciel Amira 3.1®. Afin d'obtenir des points de référence pour mesurer les diamètres verticaux et transversaux, trois expérimentateurs, ont placé des marqueurs. Au cours de cette démarche, nous avons été confrontés à certains problèmes lorsque nous devons placer ces marqueurs puisque les facettes articulaires supérieures et inférieures n'étaient pas toujours différenciables. Cependant, nous avons, dans la mesure du possible, essayé de placer un marqueur antérieur sur une vertèbre et un marqueur postérieur sur l'autre vertèbre, pour mesurer l'ouverture et /ou la fermeture des foramens intervertébraux de manière optimale.

De plus, la forme des foramens intervertébraux présente une variabilité importante entre les individus. Par conséquent, il nous a paru important de placer les marqueurs verticaux en suivant les mêmes repères. Nous avons choisi de placer les marqueurs au milieu des pédicules au niveau de la face inférieure et de la face supérieure, respectivement de la vertèbre supérieure et de la vertèbre inférieure. Quant aux marqueurs transversaux, nous avons choisi de placer le marqueur au niveau de la partie inféro-postérieure de la vertèbre supérieure, formant la partie antérieure du foramen. Le marqueur postérieur était placé au niveau de la partie antéro-supérieure du processus articulaire supérieur de la vertèbre inférieure. Néanmoins, cela ne correspondait pas toujours au diamètre le plus important des foramens intervertébraux à cause des variations morphologiques individuelle des sujets ou de la variabilité entre les étages. Ce qui implique que nous avons observé le pourcentage de variation des différents diamètres entre les positions afin de pouvoir mieux en apprécier l'ouverture ou la fermeture.

Enfin, cette étude évalue uniquement la position de pré-manipulation à composantes multiples. Il pourrait être intéressant pour une étude future de mesurer les effets du thrust sur les dimensions des foramens afin de confirmer ou d'infirmer l'utilité de cette technique dans le cas de pathologies de compressions.

Certaines études ont examiné l'influence de la flexion et de la traction sur les dimensions des foramens intervertébraux cervicaux sur des cadavres non embaumés. Les résultats montrent, qu'au niveau C₅/C₆, en préservant les ligaments, la flexion augmente les dimensions des foramens. La combinaison de la traction et de la flexion ne présente pas de différence significative par rapport à la flexion seule sur les modifications des surfaces des espaces intervertébraux⁽²⁴⁾. Ces résultats sont partiellement en accord avec l'étude de *Liu et al.*⁽¹²⁾ qui met en évidence une augmentation des diamètres verticaux des foramens intervertébraux lors d'une traction de 5 kg effectuée, au niveau de la tête, sur des sujets sains. Cette augmentation du diamètre vertical est de l'ordre de 3,7 %, 8,6 % et de 10,4 % pour les tractions de 5, 10 et 15 kg. Notre expérience a montré une ouverture du même diamètre de 10 % entre la position neutre et la position de pré-manipulation cervicale pour les diamètres verticaux localisés du côté gauche.

Cependant, en 2006, une étude de *Panjabi et al.*, a montré une fermeture des foramens intervertébraux lors d'un choc postéro-antérieur de haute vitesse, que l'on peut, par exemple, retrouver dans les accidents de circulation. Il remarque qu'un

choc, avec une accélération de 3,5g appliqué dans le même sens que décrit précédemment, entraîne une fermeture des foramens, et que les étages les plus fréquemment atteints par ces phénomènes sont les étages cervicaux inférieurs. Nos résultats sont en accord avec les observations retrouvées dans la littérature, tant au niveau de l'ouverture des foramens intervertébraux cervicaux du côté controlatéral qu'au niveau de la fermeture des foramens situés du côté homolatéral. Il nous paraît important de souligner que les résultats que nous avons obtenus montrent que l'étage C₇/Th₁ présente des modifications inverses à celles observées pour le rachis cervical dans son ensemble. Nous avons observé une augmentation des diamètres verticaux et transversaux du côté gauche entre la position neutre et la position de pré-manipulation à composantes multiples, ainsi qu'une diminution des diamètres entre les deux positions du côté droit. Les résultats ne nous paraissent pas incohérents puisque c'est à ce niveau que se situe l'inversion de courbure anatomique entre la lordose cervicale et la cyphose thoracique. En 2013, *Salem et al.*, ont réalisé une étude sur les mouvements couplés au niveau du rachis cervical. Ils ont souligné l'importance des surfaces articulaires et des contraintes mécaniques appliquées à chaque étage, lors du mouvement de la tête. L'inversion de courbure anatomique au niveau C₇ et Th₁ engendre des contraintes mécaniques différentes lors des mouvements de la tête, ce qui pourrait expliquer les valeurs de nos résultats.

Lorsque l'ostéopathe amène le patient en position de pré-manipulation cervicale à composantes multiples, le praticien effectue une translation de la tête du patient. Ceci peut engendrer une inclinaison controlatérale au niveau de l'étage C₇/Th₁ pouvant expliquer les résultats que nous avons obtenus au cours de nos prises de mesures. De plus, si cet étage possède les mêmes mouvements couplés que ceux décrits pour le rachis cervical inférieur⁽⁵⁾, nous nous attendons à observer une extension, ce qui soutient nos résultats, puisque l'extension entraîne une fermeture des foramens intervertébraux⁽²⁵⁾.

Nous avons mis en évidence que ces techniques ostéopathiques pourraient ouvrir les espaces inter-foraminaux et pourraient être utiles dans certaines pathologies radiculaires. Cependant, il est impossible pour l'ostéopathe d'agir exclusivement sur ce phénomène. En réalisant la position de pré-manipulation cervicale à composantes multiples, le praticien met également en tension les structures environnantes, ce qui pourrait favoriser leur relâchement et potentialiserait l'effet de la position sur l'ouverture des foramens. Néanmoins, si les douleurs sont bilatérales, la position de pré-manipulation risque d'augmenter les douleurs du côté homolatéral par l'augmentation de la fermeture des espaces intervertébraux.

Toutefois, cette étude comprend certaines limites et gagnerait à être améliorée à l'avenir. Premièrement, il serait intéressant de réaliser le même protocole avec un nombre de sujets asymptomatique plus important. Deuxièmement, il serait également intéressant d'étudier, avec le même protocole, un échantillon de personnes souffrant de symptômes radiculaires, afin d'observer l'ouverture des différents diamètres et son impact sur l'évolution de la douleur permettant de valider ou d'infirmer la technique. Au vu des résultats obtenus de notre étude, il serait peut-être pertinent d'émettre l'hypothèse de

recommander les positions de pré-manipulation, via la technique des composantes multiples, sans procéder à l'impulsion afin d'ouvrir le foramen cervical du côté opposé en cas de névralgie cervico-brachiale. Pour répondre à cette hypothèse, des études cliniques seront nécessaires.

Concernant l'étude de reproductibilité du placement des marqueurs anatomiques, nos expérimentateurs n'étaient pas des anatomistes de profession, mais possédaient des connaissances en anatomie. Les compétences et l'expérience d'un anatomiste seraient utiles afin de placer les marqueurs au niveau des foramens car les reconstructions 3D peuvent poser quelques difficultés en ce qui concerne les repérages de certaines structures anatomiques. En effet, chez certains sujets, la reconstitution au moyen de la coloration des images de CT scan ont été plus difficiles, ce qui a engendré la présence de « trous » au sein des structures osseuses 3D. Enfin, l'orientation des différents foramens a également été problématique. Pour atténuer cette difficulté, nous avons choisi de donner comme consigne à nos expérimentateurs de prendre le milieu des pédicules pour mesurer les diamètres verticaux et la partie postérieure des processus articulaires postérieurs et la base du corps vertébral de la vertèbre inférieure, pour les diamètres transversaux. Cependant, ces repères ne correspondaient pas aux diamètres les plus importants au sein des foramens.

Conclusion

Cette étude a analysé les variations morphométriques du foramen intervertébral en relation avec une technique manuelle articulaire appliquée sur le rachis cervical. La reproductibilité de nos mesures est de bonne qualité, tant au niveau inter-examineurs qu'intra-examineur, puisque celle-ci est en dessous du seuil de 10 %.

La position de pré-manipulation cervicale à composantes multiples effectuée au niveau C₄/C₅ à droite, entraîne, comparativement à la position neutre, une ouverture des foramens intervertébraux cervicaux du côté opposé par rapport à l'étage à manipuler, sur la base de la longueur de l'axe vertical et transversal. Inversement, une fermeture des mêmes structures a été observée du même côté. L'ouverture des foramens intervertébraux du côté opposé est plus importante au niveau de l'étage ciblé par la position de pré-manipulation cervicale, ainsi qu'au niveau des étages sus-jacents et sous-jacents, ce qui démontre un mécanisme de « focalisation ».

Implications pour la pratique

- Dans le cas de traitement de névralgie cervico-brachiale auprès de patients dont le thrust est contre-indiqué, la position de pré-manipulation à composantes multiples peut constituer une alternative thérapeutique.
- La position doit être maintenue afin d'obtenir le relâchement des tissus environnants à l'articulation ciblée.
- Le positionnement pré-manipulatif par techniques à composantes multiples aide le praticien d'une part à se focaliser sur le niveau cervical et d'autre part, à ouvrir le foramen du côté opposé.

Contact

Walid Salem
Unité de recherche en Ostéopathie
Faculté des Sciences de la Motricité
Université Libre de Bruxelles (ULB)
808 route de Lennik, CP 640
1070 Bruxelles, Belgique

E-mail : walid.salem@ulb.ac.be

RÉFÉRENCES

- 1 Rousseau M A, Pascal-Moussellard H, Catonné Y. Anatomie et biomécaniques du rachis cervical supérieur. *Revue de Rhumatisme*. 2008; 75(8): 707-711.
- 2 Klein P, Sommerfeld P. *Biomechanik der wirbelsäule*. München: Elsevier. 2007.
- 3 Boyd B S, Puttlitz C, Gan J, Topp K S. Strain and excursion in the rat sciatic nerve during a modified straight leg raise are altered after traumatic nerve injury. *J Orthop Res*. 2005; (23):764-770.
- 4 Ishii T, Mukai Y, Hosono, N, Sakaura, H, Fujii R, Nakajima, Yoshikawa H. Kinematics of the Subaxial Cervical Spine in Rotation In Vivo Three-Dimensional Analysis. *Spine*. 2004; 29(24): 2826-2831.
- 5 Salem W, Klein P. In vivo 3D kinematics of the cervical spine segments during premanipulative positioning at the C4-C5 level. *Man Ther*. 2013, 18(4): 321-326.
- 6 Coppieter, M. W., Schmid, A. B., & J., N. R. (2013). Reappraising entrapment Neuropathies-Mechanisms, diagnosis and management. *Man Ther*. 2013 Dec; 18(6):449-57.
- 7 Zhao X, Wu ZX, Han BJ, Yan YB, Zhang Y, Lei W. Three-dimensional analysis of cervical spine segmental motion in rotation. *Arch Med Sci*. 2013 Jun 20; 9(3): 515-20.
- 8 Nuckley D J, Konodi M A, Raynak G C, Ching R P, Mirza S K. Neural Space Integrity of the Lower Cervical Spine. Effect of Normal Range of Motion. *Spine*. 2002; 27(6): 587-595.
- 9 Coppieters M W, Alshami A M, Babri A S, Souvlis T, Kippers V, Hodges P W. Strain and excursion of the sciatic, tibial, and plantar nerves during a modified straight leg raising test. *J Orthop Res*. 2006 Sep; 24(9): 1883-9.
- 10 Lohman C, Gilbert K, Sobczak S, Brismée J, James C, Day M. Cervical Nerve Root Displacement and Strain During Upper Limb Neural Tension Testing: Part 1: A Minimally Invasive Assessment in Unembalmed Cadavers. *Spine*. 2015; 40(11): 793-800.
- 11 Brunon J, Nuti C, Duthel R, Fotso M-J, Dumas B. Myélopathies cervicales. *EMC Neurologie*. 2005 : 383-402.
- 12 Liu J, Ebraheim N A, Chris G, Sanford J, Patil V, Treuhaft H E. Quantitative changes in the cervical neural foramen resulting from axial traction: in vivo imaging study. *Spine J*. 2008; (8): 618-623.
- 13 Maitland G, Hengeveld E, Banks, K, English K. *Maitland Vertebral Manipulation 7th Edition*. Philadelphia: Elsevier; 2005.
- 14 Hartman L. *Handbook of Osteopathic technique 3th Edition*. London: Chapman & Hall; 1997
- 15 Salem W. Biomécanique 3D de la colonne cervicale: De la physiologie inter-segmentaire à la manipulation ostéopathique par haute vitesse basse amplitude «études in vivo». Editeur Omniscryptum, Presses académi. 2014.

- 16 Bouvenot G, & Vray M. Essais clinique, Pratique et critique. (4^e Edition), Médecines sciences publications; 2006.
- 17 Dunnin JR, Cleland JA, WalDrop MA, Arnot C, Young I, Turner M. Upper cervical and upper thoracic thrust manipulation versus nonthrust mobilization in patient with mechanical neck pain: a multicenter randomized clinical trial. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2012; 42(1): 5-21.
- 18 Leaver AM, Maher CG, Herbert RD, Latimer J, McAuley JH, Jull G, Refshauge KM. A randomized controlled trial comparing manipulation with mobilization for recent onset neck pain. *Arch Phys Med Rehabil.* 2010; 91: 1313-1318.
- 19 Vincent K, Maigne J-Y, Fischhoff C, Lanlo O, Dagenais S. Analyse systématique de l'efficacité des thérapeutiques manuelles dans la cervicalgie commune. *Revue du rhumatisme.* 2013 ; (80) : 503-511.
- 20 Salem W, Lenders C, Lepers Y, Mathieu J, Klein P. Variation de longueur de l'artère vertébrale in vivo. Etude comparative entre la rotation physiologique et la position pré-manipulative de la colonne cervicale. *La revue d'Ostéopathie.* 2011 ; 1(2) : 37-40.
- 21 Jaumard N, Udupa J, Siegler S, Schuster J, Hilibrand A, Hirsch B, Winkelstein B.. Three-dimensional kinematic stress magnetic resonance image analysis shows promise for detecting altered anatomical relationships of tissues in the cervical spine associated with painful radiculopathy. *Med Hypotheses.* 2013; (81): 738-744.
- 22 Jaumard NV, Udupa JK, Winkelstein WC.. Kinematic Magnetic Resonance Imaging to Define the Cervical Facet Joint Space for the Spine in Neutral and Torsion. *Spine D.* 2014: 15; 39(8): 664-672.
- 23 Kamogawa J, Kato O, Morizane T, Hato T. Virtual pathology of cervical radiculopathy based on 3D MR/CT fusion images: impingement, flattening or twisted condition of the compressed nerve root in three cases. *Springerplus.* 2015; (4): 123-129.
- 24 Humphreys SC, Chase J, Patwardhan A, Shuster J, Lomasney L, Hodges SD. Flexion and Traction Effect on C5-C6 Foraminal Space. *Arch Phys Med Rehabil.* 1998; 79(9): 1105-1109.
- 25 Panjabi MM, Maak TG, Ivancic PC, Shigeki I. Dynamic Intervertebral Foramen Narrowing During Simulated Rear Impact. *Spine.* 2006 ; 31(5): E128-E134.