

Mise au point

Mode d'action des manipulations vertébrales Mechanism of action of spinal manipulative therapy [◇]

Jean-Yves Maigne ^{a,*}, Philippe Vautravers ^b

^a Service de médecine physique, Hôtel-Dieu, place du Parvis de Notre-Dame, 75004 Paris, France

^b Service de médecine physique, hôpital Hautepierre, Strasbourg, France

Reçu le 9 avril 2002 ; accepté le 15 novembre 2002

Résumé

Les manipulations vertébrales agissent sur les différents composants de l'unité fonctionnelle vertébrale. Elles séparent les surfaces articulaires des articulations zygapophysaires, ce mouvement étant accéléré lors de la survenue du bruit de craquement. Elles semblent diminuer brièvement la pression intradiscale. Elles étirent en force les muscles paravertébraux, ce qui favorise leur relaxation par des mécanismes encore mal explorés. Enfin, elles ont probablement un effet antalgique propre indépendant de la lésion en cause. Ces actions sont bénéfiques dans le cadre du traitement des douleurs vertébrales, mais elles sont toutes de courte durée. Un effet thérapeutique prolongé ne peut être expliqué que par une action réflexe telle que la rupture d'un cercle vicieux de type douleur spasme douleur ou par l'existence d'une lésion spécifique, dite lésion manipulable, non prouvée.

© 2003 Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS. Tous droits réservés.

Abstract

Spinal manipulative therapy (SMT) acts on the various components of the vertebral motion segment. SMT distracts the facet joints, with faster separation when a cracking sound is heard. Intradiscal pressure may decrease briefly. Forceful stretching of the paraspinal muscles occurs, inducing relaxation via mechanisms that remain to be fully elucidated. Finally, SMT probably has an inherent analgesic effect independent from effects on the spinal lesion. These changes induced by SMT are beneficial in the treatment of spinal pain but short-lived. To explain a long-term therapeutic effect, one must postulate a reflex mechanism, for instance disruption of a pain-spasm-pain cycle or improvement of a specific manipulation-sensitive lesion, whose existence has not been established to date.

© 2003 Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS. Tous droits réservés.

Mots clés : Manipulation vertébrale ; Lombalgie ; Médecine manuelle ; Chiropractie ; Ostéopathie

Keywords : Spinal manipulative therapy; Low back pain; Manual medicine; Chiropractics; Osteopathy

1. Introduction

Les manipulations vertébrales constituent un des traitements des douleurs de dos. Leur efficacité est reconnue pour les douleurs lombaires aiguës et possible pour certaines cer-

vicalgies, sciaticques et lombalgies chroniques [1,2]. Leur définition varie selon les écoles (ostéopathiques, chiropractiques, médicales). Pour les uns, ce terme englobe l'ensemble des traitements manuels (techniques de tissus mous, mobilisations, dites techniques lentes de grande amplitude et manipulations avec impulsion, dites encore techniques rapides à faible amplitude). D'autres réservent ce terme à la manipulation avec impulsion, définie comme un « mouvement passif qui tend à porter les éléments d'une articulation ou d'un groupe d'articulations au delà de leur jeu physiologique habituel » [3]. Il existe deux sortes de techniques avec impul-

[◇] Pour citer cet article, utiliser ce titre en anglais, référence parue dans *Joint Bone Spine* 2003, vol. 70.

* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : jy.maigne@htd.ap-hop-paris.fr (J.-Y. Maigne).

sion, les unes avec bras de levier court (techniques directes), l'impulsion étant délivrée directement sur la vertèbre, les autres avec bras de levier long, l'impulsion étant délivrée sur la ceinture scapulaire ou pelvienne par exemple (techniques indirectes). Historiquement, les premières sont d'origine chiropractique, les secondes ostéopathique. Leur mécanisme d'action n'est encore connu que de façon partielle. Il est à l'évidence bien plus complexe qu'une simple « remise en place des vertèbres », mécanisme illusoire parfois encore invoqué dans le grand public. Nous avons mené une revue de la littérature en envisageant l'action des manipulations sur chacun des constituants de l'unité fonctionnelle vertébrale. Les conclusions obligent à remettre en question certaines idées reçues sur les indications des traitements par manipulation.

2. Actions sur l'unité fonctionnelle vertébrale

2.1. Action sur les corps vertébraux

L'impulsion manipulative est appliquée sur une partie du corps du patient, qui agit comme un levier ou directement sur un processus transverse ou épineux. Seule une fraction modérée de cette force est amortie dans les tissus mous périvertébraux. Le reste est transmis au rachis [4]. La manipulation mobilise les vertèbres les unes par rapport aux autres comme l'ont montré des études cadavériques, soit à l'aide d'aiguilles plantées dans des vertèbres thoraciques [5], soit à l'aide d'accéléromètres solidaires des vertèbres lombaires [6]. Il s'écoule un à cinq dixièmes de seconde entre l'impulsion et l'amplitude maximale du mouvement [4]. Les traités considèrent que la manipulation est un geste spécifique, qui concerne un seul étage vertébral. Cependant, les études disponibles montrent que plusieurs segments mobiles sont mobilisés simultanément : soit les segments adjacents au segment manipulé en cas de manipulation directe [7], soit l'ensemble du rachis lombaire en cas de manœuvre lombaire à long bras de levier [6]. Le mouvement obtenu est complexe, car les mouvements vertébraux sont combinés et la manipulation est un mouvement forcé, non naturel, qui peut imposer au segment mobile des mouvements inhabituels [6]. Les muscles ne semblent pas lui opposer de limitation s'ils sont bien relâchés, car le mouvement se déroule trop brusquement pour qu'une contraction musculaire de protection ait le temps de se manifester [4,7,8]. En revanche, une contracture paravertébrale peut empêcher toute manipulation.

2.2. Action sur les articulations zygapophysiales

2.2.1. Constatations expérimentales

Le bruit de craquement caractéristique de la manipulation ne peut provenir que d'un phénomène de cavitation au niveau des articulations zygapophysiales. Ce phénomène a été étudié aux articulations métacarpo-phalangiennes [9]. Si une

traction est appliquée à une articulation qui ne craque pas, la séparation des surfaces est régulière et progressive. S'il s'agit d'un joint qui craque, des forces de cohésion empêchent d'abord toute séparation articulaire. Quand la force de traction augmente, une séparation brusque des surfaces survient lors de l'apparition, dans le liquide synovial, de bulles de gaz et de vapeur sous l'effet de la dépression intra-articulaire. La grande rapidité de séparation articulaire entraîne un déplacement de fluide synovial vers les régions à basse pression. Ceci a pour résultat une réduction de la phase gazeuse au sein des cavités d'où le bruit de craquement. Ceci peut être appliqué au rachis. En début d'impulsion, les surfaces articulaires zygapophysiales adhèrent l'une à l'autre et les vertèbres restent solidaires. En effet, la rotation physiologique ne s'accompagne d'aucun écartement de ces articulations [10]. Lorsque la force manipulative dépasse un certain seuil, la séparation se fait de façon brusque, en raison du phénomène de cavitation et s'accompagne d'un bruit de craquement. Cette séparation est visible sur le cadavre (Fig. 1). Il y a donc dans un premier temps accumulation d'énergie puis, lors du décrochage articulaire, restitution sous forme d'un mouvement à haute vélocité d'écartement des surfaces articulaires. La vitesse de séparation est plus rapide que la vitesse de l'impulsion. Ce phénomène de cavitation peut être comparé à un ressort que l'on tend et qui cède brutalement. Il caractérise la manipulation.

2.2.2. Applications cliniques

L'opinion selon laquelle les manipulations vertébrales agiraient préférentiellement sur la douleur articulaire postérieure est souvent émise [11], mais ne repose sur aucune preuve. Pour certains, l'écartement des surfaces articulaires pourrait dégager une frange synoviale bloquée [12,13] ou rompre des adhérences intra-articulaires restreignant le mouvement [14]. Ces mécanismes sont théoriques et rien ne prouve que des adhérences soient source de douleur. En revanche, il a été montré que l'étirement des capsules articulaires (obtenu par injection de sérum physiologique intra-articulaire) pouvait inhiber la contracture paravertébrale (voir ci-dessous) [15].

2.3. Action sur le disque intervertébral

2.3.1. Constatations expérimentales

Une variation de la pression intradiscale a été observée au cours manipulation lombaire. En début d'impulsion, elle s'élève en raison du rapprochement des corps vertébraux adjacents. Ce rapprochement est attribué à la disposition oblique des fibres annulaires mises en tension par la composante rotatoire de la manipulation. En fin d'impulsion, elle chute et devient inférieure à la valeur de départ, en raison de la prédominance de la composante en traction et de l'écartement des plateaux vertébraux [6]. Le retour à la normale se fait en moins d'une minute. Cette expérience, menée sur deux cadavres, demande à être confirmée sur le vivant.

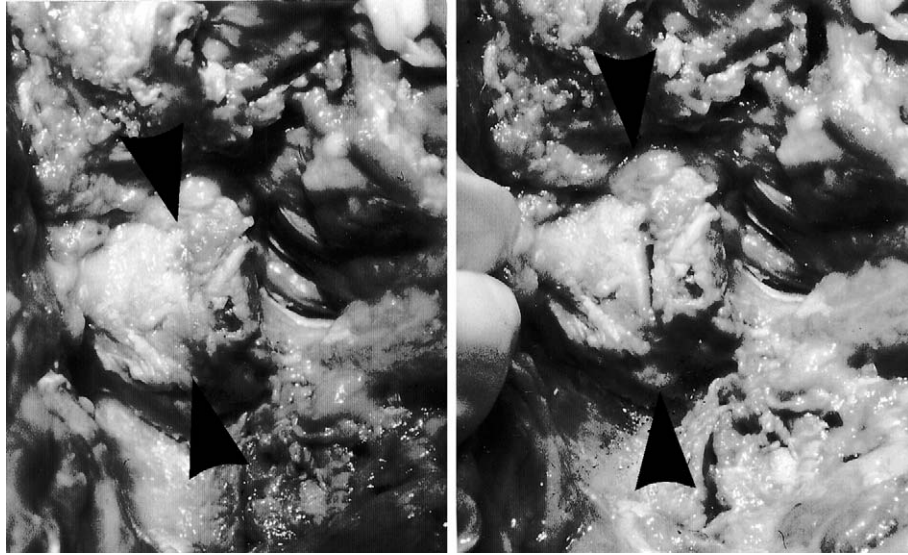


Fig. 1. Mise en évidence de l'écartement des surfaces articulaires de l'articulation zygapophysaire L4–5 en fin de manipulation, après incision de la capsule. Un tel écartement n'est pas obtenu lors de la rotation physiologique.

2.3.2. Applications cliniques

Ces constatations permettent d'envisager une action thérapeutique de la manipulation sur certaines douleurs discales. L'hypothèse selon laquelle un fragment de nucleus pourrait migrer dans une fissure radiale de l'anulus et se trouver bloqué a été avancée pour expliquer certains lumbagos ou douleurs discales aiguës [16,17]. La manipulation, en écartant les plateaux vertébraux, en tendant le ligament longitudinal postérieur et en créant une dépression intradiscale, permettrait au fragment de nucleus de regagner sa position centrale [12,13,18]. Ce mécanisme reste hypothétique. Le même mécanisme a été invoqué pour les protrusions discales qui pourraient réintégrer le disque ou au moins, s'éloigner de la racine [3]. Malheureusement, ceci n'a jamais pu être observé à la suite de manipulations [18,19]. La mise en évidence par Adams et al. de pics de concentration de stress dans les disques lombaires donne peut-être des bases plus convaincantes à l'action des manipulations sur le disque [20]. Lorsqu'un disque est soumis à une mise en charge compressive prolongée, des pics de pression apparaissent, en particulier dans l'anulus postérieur, correspondant à des zones de hautes concentrations de contraintes compressives. Ces pics pourraient être une cause de douleur en agressant les terminaisons nerveuses de l'anulus et des plateaux vertébraux. Dans ce contexte, on peut faire l'hypothèse que la brève chute de pression induite par la manipulation jouerait un rôle favorable d'atténuation de ces pics [6]. Des études *in vivo* sont sûrement nécessaires.

2.4. Action sur les muscles paravertébraux

2.4.1. Constatations expérimentales

L'action des manipulations sur les muscles paravertébraux a été évoquée de longue date [3]. D'une façon

générale, les manipulations à long bras de levier étirent ces muscles de façon plus marquée que les techniques à bras de levier court [3]. Par exemple, la mise en tension au cours d'une manipulation lombaire à long bras de levier étire les muscles paravertébraux et psoas du côté reposant sur la table et les relâche de l'autre (fig. 2) [21]. L'impulsion est

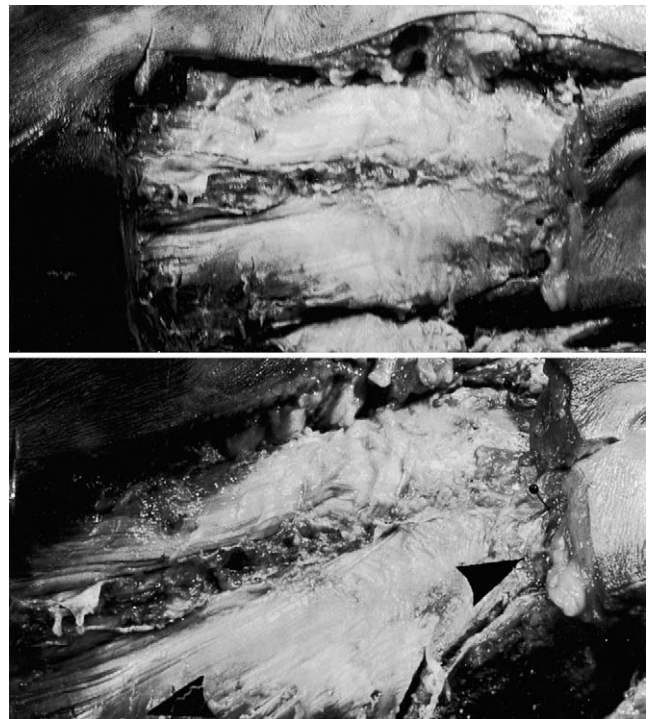


Fig. 2. Manipulation lombaire en décubitus latéral, sujet allongé sur le côté gauche. Haut, position de départ : la tension est symétrique dans les deux muscles érecteurs spinaux. Bas, en fin de manipulation, le muscle érecteur spinal gauche est étiré, le droit est relâché.

suivie de l'écartement des facettes d'une part et des vertèbres d'autre part, ce qui majore cet étirement de façon sèche. Ceci pourrait mener à la décontraction des muscles paravertébraux, selon trois mécanismes actuellement prouvés.

Le premier mécanisme, au niveau lombaire, semble lié à l'étirement du muscle psoas. C'est une notion classique que l'étirement d'un muscle fléchisseur (ici, le muscle psoas), en particulier de façon lente et progressive, inhibe les motoneurons des antagonistes (ici, les muscles paravertébraux), selon un mécanisme d'inhibition réciproque [a 22].

D'autre part, quand l'étirement est fait en force, l'activation des fibres Ib de ce muscle fléchisseur induit une inhibition présynaptique des fibres afférentes Ia des agonistes [23] et contribue ainsi à une réduction de l'activité des motoneurons alpha des muscles extenseurs. Nous pensons que ceci pourrait expliquer l'atténuation à court terme de l'activité des motoneurons alpha mise en évidence par la diminution d'amplitude du réflexe H du nerf tibial après manipulation sacro-iliaque ou lombaire [24,25].

Elle apparaît environ 1,5 à 2 s après l'impulsion et dure moins d'une minute. On ignore si cette inhibition touche aussi les motoneurons destinés aux muscles paravertébraux, mais le niveau d'origine de l'innervation est similaire.

Un deuxième mécanisme, l'étirement des muscles paravertébraux eux-mêmes, pourrait avoir deux conséquences. Certaines manipulations directes appliquées à haute vitesse (en moins de 200 msec) sont suivies, de façon précoce (50 à 200 msec après l'impulsion), d'une contraction musculaire réflexe touchant différents muscles du dos, souvent à distance de la zone manipulée [26]. La précocité de survenue élimine une réponse volontaire du sujet. Cette contraction réflexe brève (moins de 400 msec) succédant à l'étirement du muscle pourrait être l'un des facteurs qui diminue la contracture musculaire [26]. D'autre part, le phénomène de dépression postactivation pourrait être impliqué. Il a d'abord été décrit après étirement passif du muscle triceps sural. Cet étirement stimule les fibres Ia et II musculaires, ce qui active les motoneurons par l'intermédiaire d'un neurotransmetteur chimique. La consommation du neurotransmetteur entraînant sa déplétion transitoire, les motoneurons seront moins excitable dans les 12 à 15 s qui suivent l'étirement [27–29].

Ce phénomène, qui existe aussi aux membres supérieurs, concerne vraisemblablement les muscles paravertébraux, du fait de leur richesse en fuseaux neuromusculaires. Leur étirement lors de la manipulation, lié au positionnement du patient et à l'impulsion, pourrait alors être suivi de leur décontraction secondaire.

Un troisième mécanisme, à côté de l'étirement des agonistes et des antagonistes pourrait être lié à l'étirement des capsules articulaires postérieures, dont on a montré qu'il réduisait l'amplitude du potentiel d'action de l'unité motrice des muscles paravertébraux [15].

2.4.2. Applications cliniques

Les muscles paravertébraux sont souvent sensibles et tendus en cas de douleur vertébrale, avec pour conséquence une diminution d'amplitude de la flexion lombaire. Chez des patients lombalgiques, une diminution durable de cette tension douloureuse paravertébrale a pu être mise en évidence par diverses méthodes après un traitement manipulatif [30–32]. Il faut donc supposer que les effets temporaires qu'exerce la manipulation sur le tonus musculaire ont des conséquences prolongées. Ce point est discuté plus bas.

2.5. Action sur la douleur

2.5.1. Constations expérimentales

En étirant brusquement des structures telles que ligaments, disques, capsules articulaires ou muscles, la manipulation activerait le système de contrôle inhibiteur nociceptif diffus dont l'origine se situe dans la substance grise périaqueducule [33,34]. Ce mécanisme central, non spécifique, rend compte qu'une douleur puisse être soulagée par une stimulation douloureuse dans un territoire différent [35]. L'étirement en force des muscles exerce en plus une inhibition présynaptique sur les afférences cutanées [28]. Ceci pourrait expliquer que des sujets soumis à une stimulation douloureuse cutanée paraspinale voient leur seuil de sensibilité à la douleur s'élever immédiatement après manipulation et non après placebo [36]. Enfin, une élévation faible mais significative des bêta endorphines plasmatiques a pu être mise en évidence 5 min après une manipulation cervicale [37].

2.5.2. Applications cliniques

Une action antalgique non spécifique est bénéfique, mais elle peut mener à deux erreurs. Des observations ont été rapportées de patients porteurs de métastases osseuses vertébrales et soulagés temporairement par des manipulations (évidemment pratiquées de façon fautive, après erreur diagnostique) [38]. Ceci peut entraîner de graves complications. D'autre part, le soulagement par une manipulation d'une douleur de l'épaule, du coude ou du genou (ou de toute autre articulation) ne signifie pas obligatoirement que cette douleur est d'origine vertébrale.

2.6. Action sur la circulation sanguine

C'est une des bases de l'ostéopathie traditionnelle que de chercher, par des manipulations, à augmenter le flux sanguin vers les organes [39]. Cette augmentation faciliterait l'élimination des substances toxiques, d'où une action bénéfique dans de nombreuses maladies. Dans le domaine de la pathologie vertébrale, il a été montré que les sciatiques par hernie discale [40] et la douleur chronique cervico-scapulaire [41] s'accompagnaient d'une diminution du débit sanguin dans la zone atteinte et que les artères lombaires étaient

souvent athéromateuses lorsque les disques étaient dégénérés [42]. Il n'existe cependant aucune preuve que les manipulations augmentent le flux sanguin, ni même que cette augmentation soit bénéfique une étude du flux sanguin de l'artère vertébrale a montré qu'il ne variait pas après manipulation cervicale [43].

2.6.1. Effet placebo et psychologique

Comme tout traitement, les manipulations ont un effet placebo. Y concourent le sentiment que la vertèbre est remise en place, la bonne acceptation du bruit de craquement, ainsi que le contact manuel qui précède l'acte manipulatif. À cette action purement psychologique s'ajoute l'évolution propre, spontanément favorable, de beaucoup de syndromes douloureux vertébraux. Enfin, les explications parfois fournies par certains manipulateurs semblent satisfaire davantage les patients [44].

3. Réflexions sur le mode d'action

3.1. La lésion manipulable existe-t-elle ?

Si les manipulations sont efficaces, comme le suggère la littérature, la question qui se pose est : que traitent-elles ? Historiquement, la pratique des manipulations fut conditionnée à la présence d'une « lésion manipulable », spécifique, dont le concept a varié selon les écoles et les époques. Subluxation, fixation, lésion ostéopathique, dysfonction somatique, dérangement intervertébral sont les dénominations les plus fréquentes. Aucune n'a été mise en évidence de façon convaincante. Un concept plus précis, le déverrouillage de segment mobile qui ont subi un déplacement trop important, a été proposé [14], sur des bases expérimentales [45]. Cette hypothèse ne s'est pas vérifiée pour les articulations sacroiliaques, qui, dans une étude récente, conservaient les mêmes rapports anatomiques après manipulation (i.e. n'étaient pas en malposition) [46]. Un second concept est fondé sur la constatation occasionnelle d'une discrète asymétrie des articulations zygapophysaires de la jonction thoraco-lombaire, qui entraînerait une rotation non régulière. Ceci pourrait en théorie rendre compte de « blocages » en malposition à ce niveau [47,48]. Si ces lésions spécifiques existent, elles sont rares. Cette rareté ne peut rendre compte des cas plus nombreux où la manipulation apporte un soulagement. D'autres explications qu'une « lésion manipulable » doivent être proposées [49].

Une explication à l'effet des manipulations pourrait être leur effet sur certaines douleurs discales. La pathologie discale s'accompagne souvent de tension douloureuse des muscles paravertébraux. Cependant, comme les effets musculaires des manipulations sont très brefs (quelques secondes à moins d'une minute), on doit évoquer la possible rupture d'un cercle vicieux de type « douleur spasme douleur », en

particulier dans des cas où une lésion discale mineure (par exemple une lésion annulaire marginale) aurait commencé à cicatriser, mais où la tension douloureuse musculaire persisterait. Cette situation est possible. Il a été montré chez l'animal que la sollicitation importante d'une voie réflexe médullaire simple (aussi simple que douleur-contraction) pouvait entraîner un conditionnement de la synapse de la fibre afférente sur le motoneurone. Ce conditionnement explique la persistance d'une réponse anormalement importante des motoneurons, qui peut se prolonger pendant plusieurs mois, alors que le stimulus de départ a disparu ou est d'intensité faible [50]. Selon ces constatations, les manipulations seraient d'autant plus efficaces que la lésion originelle est modeste ou a cicatrisé, empêchant la récurrence du symptôme traité (la tension douloureuse musculaire paravertébrale). C'est précisément ce qui a été noté dans une étude où les manipulations du coccyx étaient plus efficaces dans le groupe de patients sans lésion radiologique que dans ceux avec lésion [51].

3.2. L'impulsion

Il n'existe à ce jour aucun argument expérimental qui prouve l'intérêt de la manipulation avec impulsion par rapport à une simple mobilisation. Les muscles psoas et paravertébraux peuvent aussi être fortement étirés par des techniques de *stretching*, d'application lente et progressive. Pourtant, la plupart des études cliniques ont été conduites avec des manipulations avec impulsion. C'est un sentiment partagé des manipulateurs qu'elle semble ajouter plus d'efficacité à la manoeuvre. Des études comparatives sont donc indispensables.

3.3. Règles d'application

Les règles d'application (quelle manipulation faire dans tel cas ?) varient selon les écoles. En fonction de la lésion invoquée, la manipulation doit faire parcourir à la vertèbre déplacée le chemin inverse ou redonner la mobilité perdue. L'école française a proposé une règle empirique ne faisant pas référence à une lésion précise mais aux directions où le mouvement est douloureux : la règle de la non douleur et du mouvement contraire [52]. La manipulation doit être faite dans une direction opposée à celle(s) qui déclenche(nt) la douleur. À la lumière d'une meilleure connaissance du mode d'action des manipulations, au moins trois actions anatomiques doivent être recherchées : du côté de la douleur (déterminé par l'examen clinique), les articulations zygapophysaires doivent être écartées et les muscles paravertébraux (et le psoas au niveau lombaire) étirés ; la pression intradiscale doit être abaissée. C'est en fonction de ces données que devrait être établi le type de manipulation à pratiquer dans chaque situation clinique. Il est probable que certaines techniques étirent davantage les muscles paravertébraux, que d'autres font plus baisser la pression intradiscale (en accentuant la lordose) et que d'autres enfin entraînent une décoaptation

plus marquée des facettes, sans parler de possibles différences de fond entre les techniques ostéopathiques et chiropraxiques [53–54].

Dans cette optique, les chercheurs impliqués dans les traitements manuels se doivent de mieux connaître les conséquences biomécaniques de chaque technique manipulative sur le segment mobile.

Références

- [1] Hurwitz E, Aker P, Adams A, Meeker W, Shekelle P. Manipulation and mobilization of the cervical spine. *Spine* 1996;21:1746–60.
- [2] Koes B, Assendelft W, van der Heijden, Bouter L. Spinal manipulation for low back pain, An updated systematic review of randomized clinical trials. *Spine* 1996;21:2860–73.
- [3] Maigne R. *Diagnosis and treatment of pain of vertebral origin*. Baltimore: Williams & Wilkins; 1995.
- [4] Triano J. Studies on the biomechanical effect of a spinal adjustment. *J Manipulative Physiol Ther* 1992;15:71–5.
- [5] Gál J, Herzog W, Kawchuk G, Conway P, Zhang Y. Movements of vertebral during manipulative thrust to unembalmed human cadavers. *J Manipulative Physiol Ther* 1997;20:30–40.
- [6] Maigne JY, Guillon JF. Highlighting of intervertebral movements and variations of intradiscal pressure during lumbar spinal manipulation, A feasibility study. *J Manipulative Physiol Ther* 2000;23:531–5.
- [7] Lee M, Kelly KW, Steven GP. A model of spine, ribcage and pelvic responses to a specific lumbar manipulative force in relaxed subjects. *J Biomechanics* 1995;28:1403–8.
- [8] Triano J, Schultz AB. Loads transmitted during lumbosacral spinal manipulative therapy. *Spine* 1997;22:1955–64.
- [9] Unsworth A, Dowson D, Wright V. Cracking joints, A bioengineering study of cavitation in the metacarpophalangeal joint. *Ann Rheum Dis* 1971;30:348–58.
- [10] McFadden KD, Taylor JR. Axial rotation in the lumbar spine and gapping of the zygapophyseal joints. *Spine* 1990;15:295–9.
- [11] Kirkaldy-Willis WH, Bernard TN. *Managing low back pain*. 4th Ed. Churchill Livingstone; 1999 p. 269.
- [12] Jull G. The theoretical pathology of acute locked back: a basis for manipulative therapy. *Manual Med* 1985;1:78–82.
- [13] Kos J, Wolf J. Les ménisques intervertébraux et leur rôle possible dans les blocages vertébraux. *Ann Med Phys* 1972;15:203–18.
- [14] Indahl A, Kaigle AM, Reikeras O, Holm SH. Interaction between the porcine lumbar intervertebral disc, zygapophysial joints and paraspinous muscles. *Spine* 1997;22:2834–40.
- [15] Bogduk N, Jull G. The theoretical pathology of acute locked back: a basis for manipulative therapy. *Manual Med* 1985;1:78–82.
- [16] Cyriax J. *Textbook of orthopaedic medicine, diagnosis of soft tissue lesions*. London: Baillière Tindall; 1971.
- [17] Cassidy JD, Thiel HW, Kirkaldy-Willis WH. Side posture manipulation for lumbar intervertebral disk herniation. *J Manipulative Physiol Ther* 1993;16:96–103.
- [18] D'Ornano J, Conrozier T, Bossard D, Bochu M, Vignon E. Effets des manipulations vertébrales sur la hernie discale lombaire, À propos de 12 cas. *Rev Med Orthop* 1990;19:21–5.
- [19] Adams MA, McMillan DW, Green TP, Dolan P. Sustained loading generates stress concentration in lumbar intervertebral discs. *Spine* 1996;21:434–8.
- [20] Maigne JY, Guillon F. Effet des manipulations sur le segment mobile lombaire, Réflexions sur leur mode d'action. *Rev Med Orthop* 1993; 34:7–9.
- [21] Eccles JC, Fatt P, Landgren S. Central pathway for direct inhibitory action of impulses in largest afferent nerve fibres to muscle. *J Neurophysiol* 1956;19:75–98.
- [22] Schmidt RF. Presynaptic inhibition in the vertebrate central nervous system. *Ergeb Physiol Biol Exp Pharmacol* 1971;63:20–101.
- [23] Dishman JD, Bulbulian R. Spinal reflex attenuation associated with spinal manipulation. *Spine* 2000;25:2519–25.
- [24] Murphy BA, Dawson NJ, Slack JR. Sacroiliac joint manipulation decreases the H-reflex. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 1995;35:87–94.
- [25] Herzog W, Scheele D, Conway PJ. Electromyographic responses of back and limb muscles associated with spinal manipulative therapy. *Spine* 1999;24:146–53.
- [26] Avela J, Kyrolainen H, Komi PV. Altered reflex sensitivity after repeated and prolonged passive muscle stretching. *J Appl Physiol* 1999;86:1283–91.
- [27] Baldissera F, Hultborn H, Illert M. Integration in spinal neuronal systems. In: Brookhart JM, Vernon B, Montcastle VB, editors. *Handbook of physiology, The nervous system*. Bethesda: American Physiological Society; 1981. p. 509–96.
- [28] Hultborn H, Illert M, Nielsen J, Paul A, Ballegaard M, Wiese H. On the mechanism of the postactivation depression of the H-reflex in human subjects. *Exp Brain Res* 1996;108(3):450–62 Mar.
- [29] Grice AA. Muscle tonus changes following manipulation. *Journal of the Canadian Chiropractic Association* 1974;19:29–31.
- [30] Shambaugh P. Changes in electrical activity in muscles resulting from chiropractic adjustment: a pilot study. *J Manipulative Physiol Ther* 1987;10:300–3.
- [31] Zhu Y, Haldeman S, Starr A, Seffinger M, Su SH. Paraspinal muscle evoked cerebral potentials in patients with unilateral low back pain. *Spine* 1993;18:1096–102.
- [32] Vicenzino B, Collins D, Wright A. The initial effects of a cervical spine manipulative physiotherapy treatment on the pain and dysfunction of lateral epicondylalgia. *Pain* 1996;68:69–74.
- [33] Vicenzino B, Collins D, Benson H, Wright A. An investigation of the interrelationship between manipulative therapy-induced hypoalgesia and sympathoexcitation. *J Manipulative Physiol Ther* 1998;21:448–53.
- [34] Willer JC, Roby A, Le Bars D. Psychological and electrophysiological approaches to the pain relieving effects of heterotopic nociceptive stimuli. *Brain* 1984;107:1095–112.
- [35] Terrett AC, Vernon H. Manipulation and pain tolerance. *Am J of Phys Med* 1984;63:217–25.
- [36] Vernon HT, Dhami MSJ, Howley TP, Annett R. Spinal manipulation and beta-endorphin: a controlled study of the effect of a spinal manipulation on plasma beta-endorphin levels in normal males. *J Manipulative Physiol Ther* 1986;9:523.
- [37] Vautravers P, Lecoq J. Pièges redoutables en rapport avec les manipulations vertébrales. In: Hérisson C, Vautravers P, editors. *Les manipulations vertébrales*. Paris: Masson; 1994. p. 296–304.
- [38] Eshleman J, Myers S, Pantle P. Measurement of changes in blood volume as a result of osteopathic manipulation. *J Am Osteopath Assoc* 1971;70:1073–9.
- [39] Maigne JY, Treuil C, Chatellier G. Altered lower limb vascular perfusion in patients with sciatica secondary to disc herniation. *Spine* 1996;21:1657–60.
- [40] Larsson R, Cai H, Zhang C, Oberg PA, Larsson SE. Visualization of chronic neck-shoulder pain: impaired microcirculation in the upper trapezius muscle in chronic cervico-brachial pain. *Occup Med* 1998; 48:189–94.
- [41] Kurunlahti M, Tervonen O, Vanharanta H, Ilkko E, Suramo I. Association of atherosclerosis with low back pain and the degree of disc degeneration. *Spine* 1999;24:2080–4.
- [42] Licht PB, Christensen HW, Hojgaard P, Marving J. Vertebral artery flow and spinal manipulation: a randomized, controlled and observed-blinded study. *J Manipulative Physiol Ther* 1998;21:141–4.
- [43] Kane RL, Olsen D, Leymaster C, Woolley FR, Fisher FD. Manipulating the patient, A comparison of the effectiveness of physician and chiropractor care. *Lancet* 1974;1:1333–6.
- [44] Wilder D, Pope M, Frymoyer J. The biomechanics of lumbar disc herniation and the effect of overload and instability. *J Spinal Disord* 1988;1:16.

- [46] Tullberg T, Blomberg S, Branth B, Johnsson R. Manipulation does not alter the position of the sacroiliac joint. *Spine* 1998;23:1124–9.
- [47] Maigne JY, Buy JN, Thomas M, Maigne R. Rotation de la charnière thoracolombaire, Étude scanographique chez 20 sujets normaux. *Ann Réadapt Med Phys* 1988;31:239–43.
- [48] Singer KP, Breidahl PD, Day RE. Variation in zygapophyseal joint orientation and level of transition at the thoracolumbar junction. *Surg Radiol Anat* 1988;10:291–5.
- [49] Triano J, Skogsbergh D, McGregor M. Validity and basis of manipulation. In: White AH, Schofferman JA, editors. *Spine Care, Diagnosis and conservative treatment*. St Louis: Mosby; 1995. p. 437–50.
- [50] Wolpaw JR, Carp JS. Memory traces in spinal cord. *Trends Neurosci* 1990;13:134–7.
- [51] Maigne JY, Chatellier G. Comparison of three manual coccydynia treatments, A pilot study. *Spine* 2001;26:E479–84.
- [52] Maigne R. Une doctrine pour les traitements par manipulation : la règle de la non-douleur et du mouvement contraire. *Ann Med Phys* 1965;8:37–47.
- [53] Plaugher G. Osteopathy, chiropractic and spinal manipulation. *Annals of Internal Medicine* 1993;8:652.
- [54] Schekelle PG. Spine update: spinal manipulation. *Spine* 1994;19: 858–61.