

LA "TENSÉGRITÉ" : UNE NOUVELLE COMPREHENSION DU MODE D'ACTION DES MANIPULATIONS VERTEBRALES

jusqu'à conclure à une non recommandation de ces méthodes (7).

Jean-François SALMOCHI¹

RESUME

L'action segmentaire généralement admise des manipulations vertébrales apparaît insuffisante pour expliquer certaines régulations à distance du geste effectué; la notion architecturale de "tenségrité" rapportée au rachis replace celui-ci dans sa dimension longitudinale et souligne le rôle des muscles spinaux dans l'équilibre des forces de tension et de compression assurant la stabilité du système; la responsabilité des muscles courts (multifidus et rotateurs) dans le maintien d'une dysfonction bénigne réversible (serrage réflexe) est soulignée; les tests d'attraction décrits ainsi que la catégorisation des manipulations vertébrales en manœuvres axiales ou segmentaires permettent une nouvelle approche en médecine manuelle.

SUMMARY

The segmentary mechanism action of vertebral manipulation appears insufficient to explain certain remote regulations of the gesture carried out; the architectural concept of "tensegrity" reported to the spine replaces this one in its longitudinal dimension and underlines the role of the spinal muscles in the balance between compressive and tensile forces ensuring stability of the system; the responsibility for the short muscles (multifidus) in the maintenance of a reversible benign dysfunction is underlined; the tests of attraction are described and the vertebral manipulations are separate in axial or segmentary manœuvres; that allow a new approach in manual medicine.

INTRODUCTION

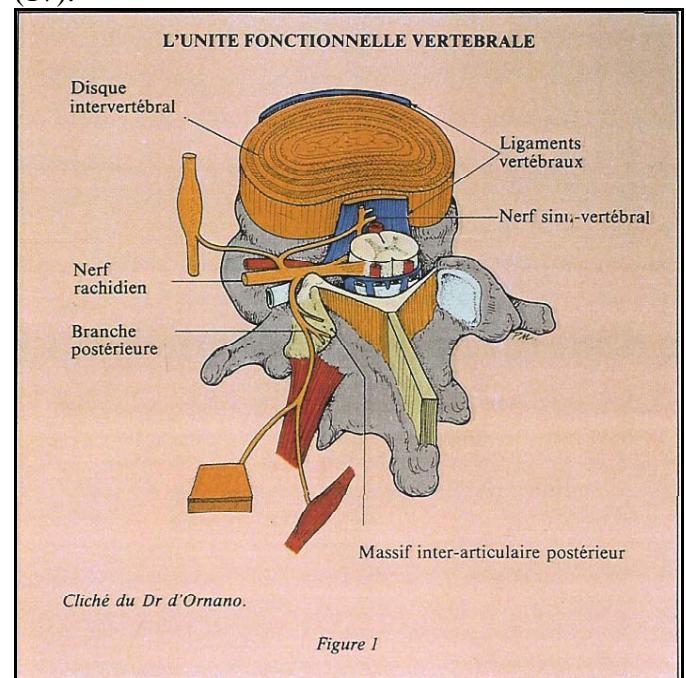
Malgré son extrême fréquence (incidence 60 à 90 % (8)), La pathologie vertébrale commune est porteuse de plusieurs paradoxes :

- Les mécanismes qui président à la survenue des douleurs rachidiennes ne sont retrouvés que dans 10% des cas (4) et le mode d'action du traitement le plus employé –les manipulations vertébrales– ne relève que d'hypothèses (31).
- Le législateur (loi Kouchner 2002) ayant autorisé les non-médecins aux pratiques ostéopathiques et chiropractiques, l'aberration d'une telle loi apparaît 4 ans après lors de l'ébauche des premiers décrets d'application puisque les restrictions imposées concernant certains actes dénaturent les fondements mêmes de ces pratiques non scientifiques.
- Enfin la légitimité même de l'utilisation des manipulations vertébrales n'est toujours pas établie, et une méta-analyse récente va même

Ceci n'est bien sûr pas l'impression des médecins spécialisés en orthopédie, qui ne peuvent se résoudre à abandonner un traitement aux effets positifs parfois immédiats; mais une application rigoureuse et en toute sécurité conditionne la reconnaissance d'un "service médical rendu" de haut niveau.

CONCEPTIONS PHYSIOPATHOLOGIQUES

Les multiplicités des théories vertébrales n'a pas d'équivalent en médecine, ce qui ne surprend pas vu l'émergence au XIXe siècle d'écoles non médicales professant leur propre concept : "lésion ostéopathique" des ostéopathes, qui porte en elle-même toute la subjectivité de sa qualification, "subluxation" des chiropracteurs, notion positionnelle n'ayant jamais été validé; mais les appellations et théories médicales ont été aussi diverses, avec par exemple pour ne citer que la France : "cinorthèse" de De Winter (2), "grippage" de Pecunia (22), "dérangement intervertébral mineur (DIM)" de Robert Maigne (19), atteinte de l'"unité fonctionnelle vertébrale" de Jérôme d'Ornano (6); un consensus européen s'orienterait vers une "dysfonction segmentaire mécanique réversible" (17).



L'unité fonctionnelle vertébrale

Toutes ces conceptions ont donc deux points communs : l'aspect **segmentaire** et **mécanique** de la dysfonction, la manipulation vertébrale ayant pour

¹ CLINIQUE ORTHOPEDIQUE DU PARC, 86 boulevard des belges 69006 Lyon

but sa correction à un niveau donné, par une impulsion la plus ciblée possible.

LIMITES DE LA CONCEPTION SEGMENTAIRE

Le retentissement à distance d'une manipulation à un niveau donné est constaté régulièrement en médecine manuelle, par exemple la disparition d'un signe de "Lasègue" par une manœuvre thoraco-lombaire en déroulé n'a d'explication ni segmentaire ni métamérique; cela va dans le sens de l'étude de Herzog qui constate une réponse EMG de tout les muscles spinaux et lombo-pelviens du côté de la manipulation (11).

La faible spécificité des tests de mobilité en médecine manuelle est reconnue, qu'il s'agisse de tests axiaux comme le signe de Piédallu qui apparaît bien peu spécifique de la sacro-iliaque (31), ou de tests plus segmentaires : l'article de Haas (2003) a de ce point de vue beaucoup troublé le monde de la médecine manuelle, l'amélioration identique sur la douleur et la raideur de manipulations cervicales pratiquées à un niveau et à un côté aléatoires remettant en cause la nécessité d'une évaluation fine de la mobilité segmentaire (10).

Ainsi apparaît à côté d'un schéma segmentaire horizontal la nécessité d'une modélisation axiale verticale; la notion architecturale de "tensegrité" peut aider à cette modélisation.

LA TENSEGRITE : DEFINITIONS

Il s'agit d'un terme inventé par l'architecte américain, Buckminster FULLER, en 1955 (9), et qui résulte de la contraction de "tensile" et d'"integrity"; il s'agit de la faculté d'un système à se stabiliser mécaniquement par le jeu de forces de **tension** (continues) et de **compression** (discontinues) qui s'y répartissent et s'y équilibrent.

Les structures de tensegrité se répartissent en deux catégories :

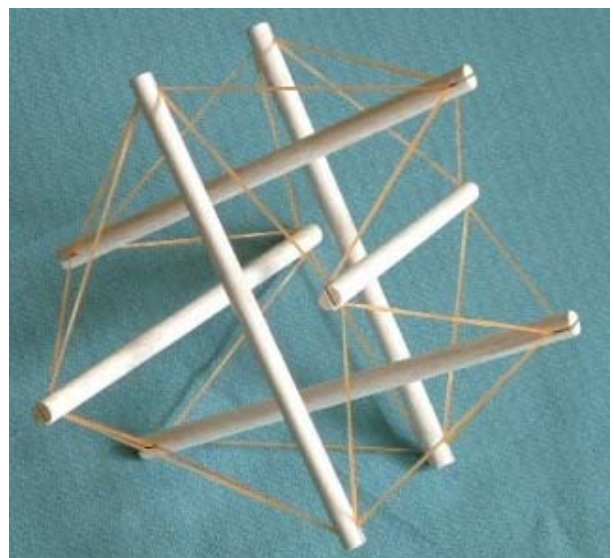
- la première est constitué de tiges rigides dont chacune peut travailler en traction et en compression, et qui sont assemblées en triangles, en pentagones ou en hexagone; la supériorité de ces polyèdres par rapport aux structures carrées apparaît évidente en terme de stabilité; l'orientation des tiges détermine

la position de chaque articulation et garantit la stabilité de la structure; les dômes géodésiques de B.Fuller sont ainsi constitués; l'icosahédre apparaît comme la structure la plus économique (plus grand volume par rapport à la superficie).



Stabilité des structures triangulées (icosahédre à droite)

- la deuxième est constitué par deux éléments de base : des barres et des câbles, articulés dans un état d'autocontrainte; les barres rigides sont comme flottantes dans une matrice élastique (câbles); les câbles forment une configuration continue, alors que les barres restent entre elles discontinues; au sein de la structure, les tiges rigides en compression exercent une force de traction sur les éléments élastiques en traction qui, eux-mêmes, compriment les tiges rigides;



Modèle de tensegrité

compressions et tractions s'équilibrent dans un cycle vectoriel fermé tout en écartant et solidarissant les éléments les uns aux autres; l'artiste K.Snelson a appliqué parfaitement ce concept à la réalisation de structures diverses (Needle Tower, Washington) (21).

AVANTAGES DES SYSTEMES DE TENSEGRITE

- **La résistance** de l'ensemble, qui dépasse de loin la somme de celle de ses composants; le "raidissement linéaire" (à une force externe croissante s'oppose une résistance également croissante) s'explique par la sommation du recrutement des éléments de la structure.
- **La légèreté** en regard de leurs performances mécaniques : permet de réduire le poids de moitié par rapport à des systèmes équivalents en terme de résistance mécanique.
- **La flexibilité** du système s'apparente à celle d'un système pneumatique, ce qui lui confère une grande capacité de changement de forme; la déformation locale sous une action extérieure va s'épuiser dans l'ensemble du système et donc minimiser les contraintes, permettant la réversibilité.

LA TENSEGRITE : PRINCIPE UNIVERSEL

Les caractéristiques ci-dessus correspondent justement au "cahier des charges" d'un organisme vivant, et on peut remarquer l'omniprésence de la tenségrité dans la nature :

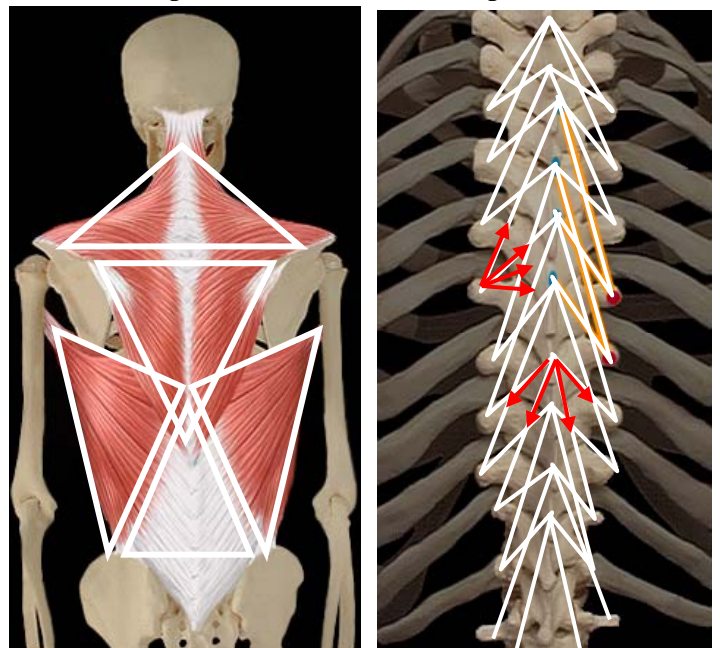
- au niveau atomique et moléculaire : si la vie a choisi l'atome de carbone 12 comme unité de base, c'est parce que ses quatre électrons périphériques permettent des liaisons covalentes fortes rendant possible l'existence de macromolécules complexes; on retrouve l'icosahédre dans la disposition des 6 neutrons et des 6 protons du noyau; les deux formes de carbone pures connues, la graphite et le diamant, ont été complétées en 1985 par la découverte du carbone 60 (Smalley (29)) qui est un icosahédre tronqué, équivalent du ballon de football; Smalley l'a nommé "Fullerène" en hommage à Buckminster Fuller.
- au niveau macroscopique, Ingber (14) remarque l'omniprésence de la tenségrité

dans la nature, et a parlé d'"architecture de la vie" : les 206 os qui composent notre squelette sont comprimé par la force de gravité et stabilisé dans la position verticale grâce à la traction exercée par les muscles, les tendons et les ligaments (qui jouent un rôle similaire à celui des câbles dans les sculptures de Snelson); dans l'organisme, les os sont les structures en compression, tandis que les muscles, les tendons et les ligaments travaillent en traction.

LE RACHIS : STRUCTURE DE TENSEGRITE

Le rachis doit concilier deux impératifs contradictoires (15) : **la solidité** nécessaire d'une part pour assurer son rôle d'axe de soutien du corps et d'autre part de protection de la moelle épinière, et **la souplesse**, permettant l'harmonie du mouvement (propulsion des quadrupèdes); seule solution possible, la structure de tenségrité est bien celle du rachis, qui n'apparaît plus comme une colonne régie par une mécanique newtonienne (avec moments, leviers...) mais comme un système équilibré de tension musculo-ligamentaire continue et de compression osseuse discontinue (3); cette organisation permet la plus basse consommation énergétique.

On retrouve l'aspect triangulaire de la tenségrité dans l'organisation musculaire du rachis (28) : du haubanage des muscles superficiels, triangles avec un point axial rachidien et deux points sur les ceintures pelviennes ou scapulaires, au dispositions des muscles profonds (transversaire épineux).



Triangulation des muscles larges et du multifidus

NEURO-ANATOMIE MUSCULAIRE

La commande neurologique est de plus en plus volontaire de la profondeur à la superficie (34):

-*Les muscles segmentaires* : assurent la rigidité vertébrale dans la posture et le mouvement; ce sont les muscles du **tonus** (boucle gamma) et de l'**équilibre** (système archéo-moteur du cervelet)

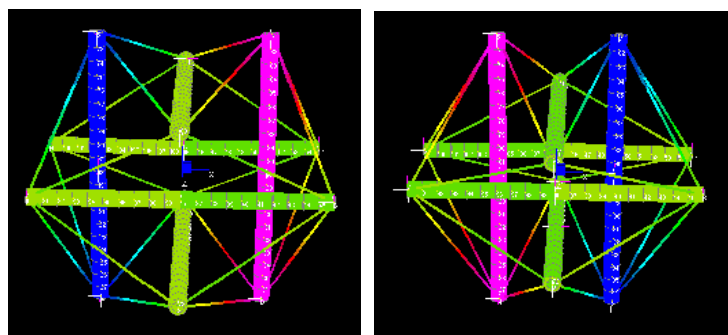
-*Le spinal du cou et du thorax* : le chevauchement des clés de voûte C5 et T8 permet le contrôle automatique des courbures et donc de la **posture** (système paléo-moteur, en lien avec les noyaux gris centraux)).

-*Le long dorsal et l'ilio-costal* : assurent le redressement volontaire et sont donc les muscles du **mouvement** (système néo-moteur avec intervention du cortex).

On voit donc la nécessité d'une harmonisation des différents niveaux d'intervention neuro-musculaire afin d'assurer le mouvement sans perdre la stabilité : les muscles courts segmentaires doivent d'abord exercer un serrage axial avant l'action cinétique volontaire des muscles longs.

LA DYSFONCTION SEGMENTAIRE

On peut considérer la dysfonction segmentaire comme la réponse de l'unité fonctionnelle vertébrale à toute agression mécanique (contraintes anormales aiguës ou posturales) ou inflammatoire; toute stimulation de n'importe quel élément de l'unité fonctionnelle vertébrale entraîne **une réponse musculaire réflexe** : par exemple l'étirement des capsules articulaires postérieures donne une réponse de l'unité motrice des paravertébraux (35), l'étirement du ligament interépineux donne une réponse électromyographique du multifidus sur quatre niveaux (reflexe ligamento-musculaire (30)).



Modélisation d'un serrage réflexe

Les muscles transversaires épineux (multifidus et rotateurs) forment un système de câbles en tensions continues reliant l'épineuse d'une vertèbre aux quatre transverses des vertèbres sous-jacentes, ou la tranverse d'une vertèbres aux quatre épineuses sus-jacentes; il s'agit donc d'un véritable quadriceps formant une unité morphologique et fonctionnelle (23).

Le disque intervertébral contient en lui-même les principes de tenségrité : si le nucléus pulposus est soumis à des contraintes en compression, l'annulus fibrosus subit lui des contraintes en tension (26); les lamelles concentriques de ce dernier sont disposées de façon oblique d'une couche à l'autre : 30° par rapport au plan du disque, 120° entre elles (25).

LES MUSCLES DU RACHIS : ANATOMIE

Leur connaissance anatomique éclaire l'origine de beaucoup de douleurs rachidiennes et les liens reliant différents niveaux; on peut décrire, de la profondeur à la superficie :

1) les muscles segmentaires :

-**interépineux** et **intertransversaires** : muscles des lordoses cervicales et lombaires, ils sont remplacés au niveau thoracique par des ligaments.

-**transversaire épineux** : 23 faisceaux formés de 4 chevrons, de C2 au sacrum; il comprend le multifidus à faisceaux longs, le rotateur à faisceaux courts, le semi-spinal (de la tête ou grand complexus, du cou et du thorax).

2) les érecteurs du rachis

-**spinal** (ou épi-épineux) : de la tête, du cou, et du thorax; les deux derniers chevauchent les clés de voûte cervicale (C5) et thoracique (T8).

-**long dorsal** (ou longissimus) : de la tête (petit complexus), du cou (transversaire du cou), du thorax (long dorsal proprement dit); les liens sacrum-deuxième côte de ce dernier sont à remarquer.

-**ilio-costal** : du cou, du thorax et des lombes; les attaches sacrées, iliaques et costales sont à remarquer.

3) **les splenius de la tête et du cou**; l'insertion basse sur T4 explique de nombreuses algies interscapulaires (18).

4) **les dentelés postérieurs** sont disposés de part et d'autre des zones transitionnelles : le supérieur recouvre C7, l'inférieur recouvre T12

5) **les muscles du plan superficiel** : trapèze, grand dorsal, rhomboïde, angulaire de l'omoplate.

La question est donc de savoir dans quelle mesure une manipulation vertébrale agit sur la lésion initiale (discale, zygapophysaire, ligamentaire ou musculaire), ou sur le serrage (verrouillage) réflexe.

S'il paraît probable que toute manipulation associe une action mécanique à une action réflexe, l'expérience semblerait montrer une action préférentielle selon le type de manœuvre effectuée (28):

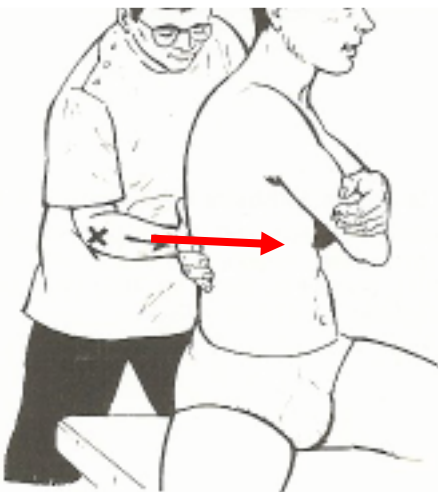
- **les manipulations en rotation** : la pulsion manipulative est perpendiculaire au rachis, l'action semblerait plus segmentaire (ce qu'indique le bruit sourd unique), sur les éléments en compression (discovertébral) ou en tension (muscles courts, ligaments); on aurait donc une action plus "étiologique" sur la lésion initiale; la manœuvre thoracolumbaire "assis à cheval en bout de table" en est l'exemple typique, l'ouverture de l'articulation zygapophysaire du côté de la rotation levant l'irritation de la branche postérieure descendante (19).



Manipulation axiale (d'après MAIGNE19)

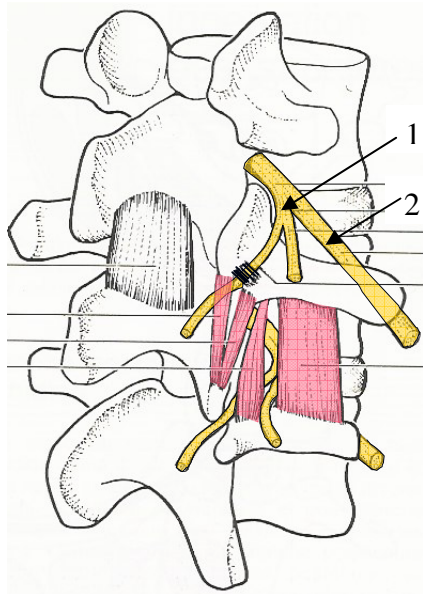
On peut se demander en réalité si le **serrage réflexe unilatéral des muscles courts** (27) n'explique à lui seul la dysfonction bénigne réversible de l'unité fonctionnelle vertébrale ("lésion manipulable"(32)); en effet, cette explication est cohérente avec :

- la règle de la non-douleur et du mouvement contraire (19): car la contracture unilatérale du multifidus entraîne une extension, une latéoflexion homolatérale, et une rotation controlatérale (16); on comprend alors (surtout au niveau cervical) pourquoi la direction douloureuse est celle qui étire le muscle (la rotation homolatérale et la latéoflexion controlatérales sont surtout limitées et douloureuses); on comprend aussi la justification de la mise en position qui raccourci le muscle, avant la manipulation qui apparaît comme un étirement sec (32) dans les trois directions (extension, latéoflexion homolatérale, rotation controlatérale) provoquant un réflexe d'inhibition.
- la syndrome "cellulo-teno-myalgique" (19): il peut être considéré comme un véritable syndrome canalaire par contracture musculaire sur la branche postérieure, celle-ci passant au travers des faisceaux des muscles intertransversaires et multifidus (24).



Manipulation T12/L1 (d'après MAIGNE19)

- **Les manipulation longitudinales** : il y a une direction axiale (de sens caudo-crâniale) dans l'impulsion manipulative; l'action apparaît plus globale sur les structures de tension musculo-ligamentaire, et donc "complémentaire" sur les serrages réflexes; les multiples craquements lors de la manœuvre en décoaptation avec appui sternal sont l'illustration de son caractère étagé.



Branche postérieure du nerf rachidien (1) avec rameaux ext et int, branche antérieure (2)

- La palpation dite "articulaire postérieure", qui semble être plus une palpation des muscles courts : la disparition immédiate d'une rénitence douloureuse après manipulation indiquerait bien l'origine musculaire et non articulaire de la zone d'irritation (13).

Il est à remarquer que Robert MAIGNE lui-même en arrive à privilégier la piste musculaire (Journée de l'Hôtel-Dieu juin 2003 (20)) :

"Hypothèse sur le mécanisme du DIM : notre hypothèse actuelle est qu'il est la conséquence de la contracture maintenue de certains faisceaux des muscles mono ou paucisegmentaires (rotateurs notamment)"

APPLICATION AUX MANIPULATIONS

La question s'est toujours posée de savoir quels étaient les facteurs prédictifs du succès d'une manipulation (en dehors de la compétence du manipulateur); ainsi une étude récente (2) a identifié cinq critères pour lombalgie (épisode de moins de 16 jours, pas d'irradiation sous le genou, score d'évaluation FABQ work < 19, au moins un segment moins mobile dans le rachis lombaire, au moins une hanche >35° de rotation interne) donnant un effet très supérieur aux manipulations versus exercices

physiques si au moins 4 des critères étaient présents.

Il a été montré qu'une réponse des motoneurones à une stimulation pouvait persister plusieurs mois alors même que le stimulus de départ avait disparu (33); cela conduit à considérer une manipulation réussie comme la rupture d'un cercle vicieux "douleur-spasme-douleur" persistant à distance d'une lésion mineure ayant commencé à cicatrifier (32).

Dans cette optique, l'urgence manipulative n'existe évidemment pas, pour des raisons médicales et techniques (phase hyperalgique inflammatoire sans sens libre) mais aussi médico-légales (cervicalgie aiguë annonciatrice d'une dissection vertébrale ou carotidienne, lombalgie aiguë par hernie discale se transformant rapidement en sciatique); le médecin risque donc de se trouver là au "mauvais moment" et sera accusé d'une évolution qui se serait produite inmanquablement.

LA CONDUITE DU TRAITEMENT MANIPULATIF

Il est utile pour la conduite du traitement manipulatif d'avoir une vision à la fois segmentaire (lésion) et axiale (verrouillage réflexe), ce qui permettra d'associer :

- **des manœuvres axiales**, en priorité car peu dangereuses; leur caractère étagé présuppose une action musculaire prépondérante, surtout des spinaux longs.
- **Des manœuvres segmentaires**, donc l'action sera triple : relâchement des muscles courts (rotateurs et multifidus), écartement articulaire postérieur (responsable du bruit de craquement) et baisse de pression intradiscale (32).

Les principes de tensegrité peuvent donc justifier et redéfinir l'action des manipulations vertébrales : il s'agit du **rétablissement de l'équilibre tension-compression général du rachis** (28); dans cette optique, la recherche et le traitement des zones de serrages réflexes sera une nécessité.

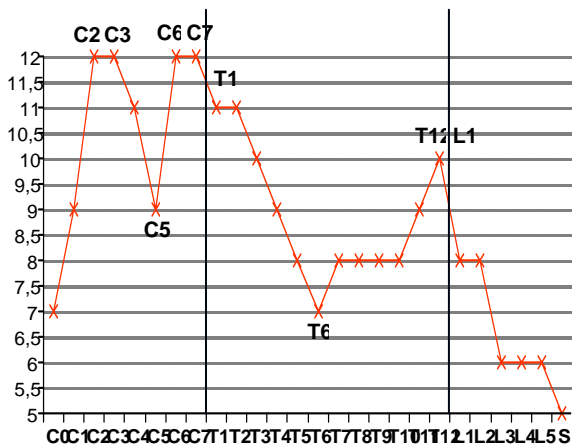
UN TEST DYNAMIQUE DE TENSEGRITE : LE TEST D'ATTRACTION DES POUCES (27)

Il s'agit de la recherche du ou des niveaux de serrage réflexe par mise en évidence d'une attraction unilatérale majorée lors de l'enroulement crânio-caudal du rachis; le test est effectué en position assise (qui en éliminant les informations

proprioceptives des membres inférieurs permet d'éviter les compensations).

Les pouces sont posés horizontalement à un niveau donné, sur la masse des spinaux, de part et d'autre de la ligne des épineuses; on demande au patient de baisser la tête puis d'arrondir son dos; **du côté du ou des serrages réflexes sus-jacents, le pouce homolatéral monte plus haut (signe d'attraction).**

Un signe d'attraction est donc la somme des serrages homolatéraux sus-jacents; la courbe du nombre d'insertions musculaires en fonction du niveau vertébral (27) montrant l'augmentation de fréquence avec le niveau, on comprend comment les serrages réflexes de niveau haut recruteront beaucoup d'unités motrices, ce qui permettra de ne pas épuiser les signes d'attraction présents aux niveaux bas.



Fréquence des insertions musculaires selon l'étage vertébral

Les manipulations effectuées, en décoaptation axiale en priorité, devront normaliser les signes d'attraction recherchés à différents niveaux clés.

Les difficultés et biais concernant la reproductibilité inter et intra-examineur, la présence d'asymétries structurales (scoliose, anomalies transitionnelles), les problèmes de spécificité diagnostique et de sensibilité, seront pris en compte; la confrontation avec les autres méthodes de recherche des dysfonctions (dérangement vertébral mineur...) sera systématique.

EN CONCLUSION

La mise en évidence de la responsabilité des muscles multifidus et rotateurs dans la pathologie douloureuse du rachis doit faire reconsidérer les traitements appliqués : à côté des manipulations, on pensera aux techniques myotensives, aux massages

transverses profonds perpendiculaires à la direction des fibres (27) (manœuvres de reboutement), à l'électrothérapie paraspinale (1), aux infiltrations dites "articulaires postérieures", enfin à la rééducation spécifique (cocontraction transverse-multifidus (12)).

La notion de tensegrité éclaire d'un jour nouveau la biomécanique et la physiopathologie du rachis; on a vu comment les traitements manuels pouvaient en être influencés; il en sera sans doute de même à l'avenir pour les traitements orthopédiques (études des forces de tension et de compression des ceintures et corsets) et chirurgicaux (respect du multifidus, arthrodèses souples).

REFERENCES

- [1] BISSCHOP G et coll *L'hypotonie paraspinale segmentaire*. Congrès du Gieda-inter-Rachis Marseille décembre 2000
- [2] CHILDS JD, Fritz JM, Flynn TW, Irrgang JJ, Johnson KK, Majkowski GR, Delitto A. *A clinical prediction rule to identify patients with low back pain who will benefit from spinal manipulation: A validation study*. Ann Int Med. 2004;141: 920-928
- [3] DE MAUROY et coll *Nouvelle biomécanique non linéaire du rachis : "tensegrity"* Res europ Rachis volume 13; novembre 2005 N°41 p. 1665-66
- [4] DE MAUROY JC *Grand appareillage des lombalgiques*. Res Europ Rachis 2005;40:14-15
- [5] DE WINTER *massages et approches des cinorthèses* Chiron 1975
- [6] D'ORNANO *Les manipulations vertébrales en rhumatologie*. Thèse méd Lyon 1966
- [7] ERNST E, Canter PH *A systematic review of spinal manipulation*. JR Soc Med.2006 Apr;99(4):192-6
- [8] FRYMOYER JW et coll *An overview of the incidences and cost of low-back pain*. Orthop clin North Am 1991;22:263-271
- [9] FULLER B *Synergetics*. Macmillan, New York, 1975
- [10] HAAS M et coll *efficacy of cervical endplay assessment as an indicator for spinal manipulation*. Spine 2003 28(11) : 1091-96
- [11] HERZOG W et coll *Electromyographic responses of back and limb muscles associated with spinal manipulative therapy*. Spine 1999, 24 : 146-53
- [12] HIDES RICHARDSON *Thérapeutique exercice for spinal segmental stabilisation in low back pain*. Scientific basis clinical approach. Churchill Livingstone, Edimbourg 1999

[13] **HUGENIN F** *médecine orthopédique médecine manuelle diagnostic* Masson 1991 p.57

[14] **INGBER DE** *The architecture of life.* Scient Am Mag 1998

[15] **KAPANDJI IA** *Physiologie articulaire* Tome 3 p.10

[16] **KAPANDJI IA** *Physiologie articulaire* Tome 3 p.238

[17] **LA CONTROVERSE DE BAZAS** Rev méd vertébrale 13 avril 2004

[18] **MAIGNE JY** *examen clinique du rachis cervical.* Lettre med phys réadapt 54 février 2000

[19] **MAIGNE R** *Diagnostic et traitement des douleurs communes d'origine rachidienne.* Expansion Scientifique Française 1989

[20] **MAIGNE R** *Mon fil d'ariane pour comprendre diagnostiquer et traiter les douleurs communes d'origine vertébrale.* Rev Méd vertébrale n°11 octobre 2003

[21] **MARK DANIEL COHEN KENNETH :** *Snelson sculptures and drawings 1968-1998;* Review; February 15, 1999

[22] **PECUNIA AL** *médecine mécanique.* Maloine 1980

[23] **PIGANIOL G** et coll *Les manipulations vertébrales bases théoriques cliniques et biomécaniques* 1987 p.131

[24] **PIGANIOL G** et coll *Les manipulations vertébrales bases théoriques cliniques et biomécaniques* 1987 p.128-131

[25] **RANNOU F** *Physiopathologie de la douleur lombaire* in *La douleur lombaire;* Institut UPSA de la douleur 2001 p.18

[26] **RANNOU F** *Physiopathologie de la douleur lombaire* in *La douleur lombaire;* Institut UPSA de la douleur 2001 p.20

[27] **SALMOCHI JF** *une nouvelle approche des manipulations vertébrales : la "tenségrité"* 25^{ème} colloque de vertébrothérapie et de médecine manuelle-ostéopathie de Lyon 20 mai 2006

[28] **SALMOCHI JF** *une nouvelle approche des manipulations vertébrales par la "Tenségrité"* Res europ Rachis volume 13; novembre 2005 N°41 p. 1725-26

[29] **SMALLEY RE,** Kroto HW, Heath JR *C60 Buckminsterfullerène.* Nature 1985, 318, 162-163

[30] **SOLOMONOW M** et coll *the ligamentomuscular stabilizing system of the spine.* Spine 1998 23(23) 2552-62

[31] **VAN DER WURFF** *Clinical tests of the sacro-iliaque joint.* Manuel thérapie volume 5 number 1 p. 30-36

[32] **VAUTRAVERS P, MAIGNE JY** *mode d'action des manipulations vertébrales.* Rev Rhum 70(2003) 713-719

[33] **WOLPAW JR** et coll *Memory traces in spinal cord.* Trends Neurosci 1990; 13; 134-7

[34] www.anatomie-humaine.com

[35] **ZHU Y** et coll *paraspinal muscle evoked cerebral potentiels in patients with unilateral low back pain.* Spine 1993;18 : 1096-102