

Résorption des hernies lombaires et mobilisation (1^{ère} partie)

Mots clés : ► Hernie ► Mobilisation ► Résorption ► Thérapie manuelle

Pascal POMMEROL

Cadre de santé en kinésithérapie ostéopathe
Directeur de PAPL Formation et chargé de cours à l'ISTR (Faculté Lyon I)
Lyon (69)

La thérapie manuelle avec ou sans *trust* est un outil pour soulager les lombalgies, même d'origine discale. Cependant, et à raison, beaucoup de sociétés savantes ont émis l'hypothèse que les manipulations pouvaient aggraver la symptomatologie mais ne peuvent-elles pas améliorer certaines hernies discales si elles sont pratiquées en connaissance de la biomécanique et de la clinique du patient ? On peut le croire car de nombreuses recommandations conseillent l'utilisation des manipulations en cas de lombalgies aiguës [1-6].

La problématique est la suivante : est-il possible de guérir, comme certains patients ou thérapeutes l'affirment, les hernies discales lombaires ? Nous avons tous vu en consultation au moins un patient avec une hernie qui revenait quelques mois ou quelques années plus tard avec une disparition partielle ou complète de celle-ci.

La hernie discale lombaire est un processus comportant des phases pseudo-inflammatoires, d'œdèmes, et pouvant disparaître ou diminuer de façon conséquente.

L'évolution de la hernie n'est pas inéluctable : Chiu *et al.* [7] (n = 361 cas rapportés pour 9 études) ont étudié l'évolution de la hernie discale lombaire. La régression spontanée était visible dans 206 cas (57,1 %, % CI95 51,8 à 62,2 %). Cette régression était plus répandue dans des cas sévères de hernie.

Le taux de régression spontanée était de :

- 96 % (52/54) pour les disques séquestrés ;
- 70 % pour les hernies exclues ;
- 41 % pour des protrusions discales ;
- et 13 % pour les disques avec bombement.

Le taux de disparition complète de la hernie discale était de :

- 43 % pour les disques séquestrés ;
- et 15 % pour les hernies exclues.

En outre, les disques avec hernie isolée avaient 3,2 fois [% CI95 1,8 à 5,5] plus de chance de se résoudre comparativement à d'autres étapes moins sévères de hernies.

Les auteurs concluent que la régression spontanée du tissu discale peut se produire et se résoudre complètement après un traitement conservateur. Les patients atteints d'une hernie de type « extrusion » (hernie solidaire mais dans le foramen) ou de type séquestration (hernie indépendante du disque et dans le foramen) avaient une possibilité significativement plus élevée d'avoir une régression spontanée, que ceux avec un disque avec bombement ou avec une hernie minime.

Kjaer *et al.* [8] ont suivi pendant 8 ans 106 personnes lombalgiques âgées d'au moins 41 ans. 65 % des hernies restent inchangées, 17,5 % ont diminué, 12,5 % ont augmenté et 5 % avaient des fluctuations. Ces auteurs ont fait à peu près le même constat : plus la hernie est grande, plus on peut prévoir une réduction statistiquement significative, à la fois dans la zone du sac dural (β -0,35 [-0,58; -0,13]) et au niveau de la hauteur du disque (β -0,50 [-0,81; -0,20]). Ces auteurs [8] concluent, qu'en moyenne, la plupart des hernies ne changent pas au cours d'une période de 4 à 8 ans. Cependant, plus la hernie est grosse, plus sa réduction est facile dans le temps.

Globalement, nous pouvons dire que la migration et la grosseur de la hernie améliorent son évolution, même si elle peut aggraver les compressions nerveuses 7, 9-11]. Pour Splendiani [10], les séquences d'IRM en T2 (parties molles visibles) permettraient de prévoir la régression spontanée pour plus de 80 % des cas.

Les pourcentages de régression de Kjaer *et al.* [8] ne reflètent pas exactement les résultats des autres études [7, 9, 12] : les populations sont très différentes car, dans l'étude de Chiu *et al.* [7], les sujets avaient une indication de chirurgie, ce qui n'était pas le cas dans la cohorte danoise [8].

D'autres recherches devraient être effectuées pour déterminer les corrélations entre la progression de la hernie et la résolution des symptômes du patient.

Des mécanismes liés à l'inflammation, comme l'augmentation de vascularisation, la phagocytose, la dégradation enzymatique et la déshydratation semblent être une explication à cette régression [11].

Cette régression spontanée n'est pas toujours systématiquement retrouvée [13, 14] mais de plus en plus d'articles citent ces mécanismes de résorption. Kim [12] montre 3 cas de résorption complète pour des patients de 53 et 2 de 58 ans, avec disparition des hernies exclues en 2 ans pour le premier, 9 mois pour le second et 2 mois pour le dernier. Ces résultats pourraient cependant être exagérés étant donné que les patients avec une hernie sévère ont plus de chances d'être opérés et il se pourrait qu'il existe des biais dans cette étude prospective [7].

Les erreurs de classement des critères morphologiques et de densité en IRM peuvent être une source d'erreur pendant le suivi d'une cohorte [15]. Cette régression spontanée de hernies sévères devrait être reconsidérée et mieux prise en compte dans la perspective d'une chirurgie [16].

L'étude de Meir *et al.* [17] *in vivo* considère les pressions discales en décharge : elle montre *in vivo* des asymétries de pressions intra-discales dans des scolioses opérées chez des patients jeunes. Un pic de stress apparaît dans l'espace annulaire concave y compris en décharge allongée : 13/25 des disques étudiés indiquent un chargement asymétrique chez des patients alités et anesthésiés. Cependant, il n'existe pas de pic de pression systématique. Ceci est dû au comportement hydrique différent des disques. On peut donc supposer que des manœuvres manuelles en position couchée, pourraient statistiquement changer les pressions discales. Plusieurs auteurs ont étudié ce fait.

La flexion, combinée avec la torsion, produisent des contraintes élevées dans les régions extérieures du disque au niveau postéro-latéral de l'annulus [18, 19]. Ces contraintes seraient éventuellement induites par la résistance des fibres de l'annulus du disque [20].

Une flexion latérale engendre la compression des fibres vers l'avant et une tension des fibres vers

l'arrière. La contrainte est plus élevée au site postérieur [21].

L'inclinaison et la rotation sont péjoratives sur le disque, pas seulement directement mais parfois indirectement par mise en tension du ligament vertébral postérieur. Ce dernier ayant des insertions sur le disque, sa traction peut expliquer les lésions fréquentes au niveau postéro-latéral des deux derniers disques lombaires [21].

Existe-t-il un lien entre thérapie manuelle et résorption de hernie ?

Il n'existe aucune preuve de lien entre la thérapie manuelle et la résorption clinique à part quelques articles qui montrent une résorption de la hernie ou des baisses de pression lors de la manipulation. Beattie *et al.* [22] indiquent qu'un traitement précoce de thérapie manuelle améliore la diffusion en eau du disque L5-S1. Chez les patients étant soulagés par notre traitement, il montre des preuves biologiques de notre intervention lors de mobilisations passives postéro-antérieures, push-up ou de lumbarol.

Orias [23] a mis en évidence, lors d'une manipulation type Chicago, que la rotation droite des épaules favorisait une diminution de pression discale à droite, mais établissaient en revanche une mise en tension et des étirements des fibres de l'annulus fibrosus du même côté. Il existe une ouverture facettaire du côté de la rotation et une modification des hauteurs discales pendant une mobilisation type Chicago avec bassin sanglé.

Qu'est-ce que la manœuvre de Chicago ?

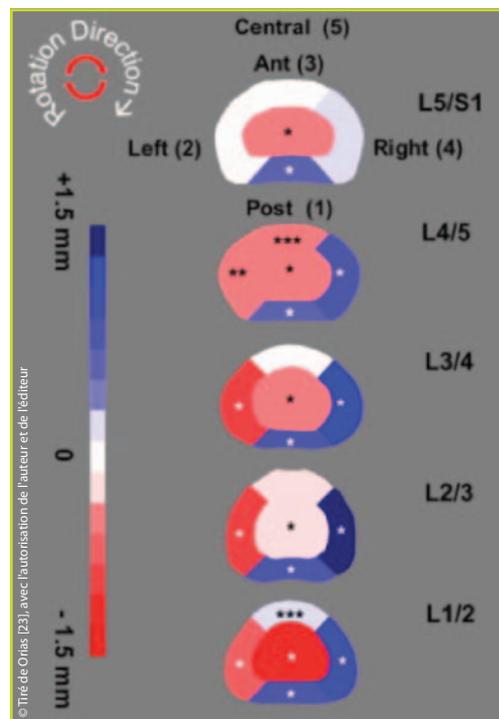
On va donc, comme dans l'étude d'Orias [23], réaliser une rotation droite (fig. 1).

■ Installation

La technique de Chicago est réalisée en rotation droite, comme la description précédente. Le patient est en décubitus, le praticien est debout à la hauteur de la hanche droite du patient. Le patient est installé par le praticien en arc de cercle,



► **Figure 1**
Technique de Chicago



► **Figure 2**
LÉGENDE

le bassin étant rapproché du praticien, la tête et les pieds en étant éloignés. Les jambes sont croisées, le pied gauche est dessous le pied droit pour faciliter le contre-appui.

Le patient croise ses doigts en arrière de la nuque. Le praticien, face au patient, installe la partie haute du corps en rotation droite, à l'aide d'une prise sur la scapula gauche. L'épaule droite repose ensuite sur la table (on peut placer ensuite la main crâniale du praticien dans les espaces entre les coudes et le thorax pour prendre appui sur la table pour augmenter la rotation). Elle induit et maintient la rotation thoraco-lombale droite sur une position d'inclinaison gauche.

Dans la démarche d'Orias [23], le bassin est sanglé. La contre-prise est donc réalisée par la main caudale. Cette main prend un appui large sur l'EIAS gauche et fixe le bassin. Il faut noter que beaucoup de manipulateur utilise la main distale comme main mobilisatrice ; c'est elle qui réalise le *trust*. Cette technique manipulatrice a été plusieurs fois étudiée ici ; il s'agit du procédé d'Occhia *et al.* [24] qui consiste à faire une rotation par les épaules. Les résultats de ce travail sont donc tout à fait cohérents (fig. 2).

La colonne a été tournée de 50 ° vers la droite. La hauteur du disque dans la zone latérale droite augmente car il y a ouverture facettaire à droite, tandis que la zone latérale gauche est diminuée et la hauteur du disque dans la zone postérieure a augmenté alors que la zone antérieure diminue, ce qui est normal car le mouvement associé crée une légère flexion, le rachis étant un peu en suspension. Cette distribution de la hauteur du disque correspond aux mouvements segmentaires couplés (flexion antérieure et flexion latérale controlatérale associées à la rotation). La hauteur du disque, dans la zone centrale et postérieure, qui correspond à la région du noyau pulpeux, a une diminution significative au cours de la torsion dans la présente étude.

Au niveau L5/S1, les changements ne sont pas aussi importants que dans les autres niveaux ce qui est normal du fait de la fixation du bassin lors du protocole expérimental.

C'est donc un travail cohérent qui va faire référence. Il faudra le reproduire dans une prochaine étude en décubitus latéral. Nous pensons que les résultats seront les mêmes sur les lombaires hautes, sauf en L5-S1. En effet, en décubitus latéral, il existe une

rotation qui est initiée par le bassin et non par les épaules comme dans les protocoles d'Orias [23] et d'Occhia *et al.* [24] (le bassin est libre).

C'est un grand changement d'émettre l'hypothèse que la thérapie manuelle et le traitement médical puissent améliorer l'évolution de la hernie discale.

Nous verrons dans la deuxième partie de l'article (KS n° 584, février 2017) quelles sont les meilleures mobilisations pour le disque vertébral.



BIBLIOGRAPHIE

- [1] Pour le clip : http://www.csst.qc.ca/nos_partenaires/medecins/Documents/CLIPLombalgiesGuide2006.pdf
- [2] Pour le NICE : *Low back pain: Early management of persistent non-specific low-back pain*. Full guideline, May 2009 (national collaborating Centre for primary care).
- [3] Pour l'American physical therapy association : Delitto A *et al.* Low-back pain clinical guidelines. *JOSPT* 2012;42(4):a1-a56.
- [4] Rubinstein SM *et al.* Spinal manipulative therapy for chronic low-back pain. *Cochrane Database of Systematic Reviews* 2011;2:Art. n° CD008112.
- [5] Rubinstein SM *et al.* Spinal manipulative therapy for acute low-back pain (Review). *The Cochrane Collaboration* 2012;9.
- [6] Pommerol P, Fouquet H. Recommandations professionnelles sur les manipulations dans la lombalgie. *Kinésithér Scient* 2013 Mai;543: 51-4.
- [7] Chiu CC *et al.* The probability of spontaneous regression of lumbar herniated disc: A systematic review. *Clin Rehabil* 2015;29:184-95.
- [8] Kjaer P *et al.* Progression of lumbar disc herniations over an eight-year period in a group of adult Danes from the general population: A longitudinal MRI study using quantitative measures. *BMC Musculoskelet Disord* 2016;15;17(1):26.
- [9] Autio RA *et al.* Determinants of spontaneous resorption of intervertebral disc herniations. *Spine* 2006;31:1247-52.
- [10] Splendiani A *et al.* Spontaneous resolution of lumbar disk herniation: Predictive signs for prognostic evaluation. *Neuroradiology* 2004;46: 916-22.
- [11] Henmi T *et al.* Natural history of extruded lumbar intervertebral disc herniation. *J Med Invest* 2002;49:40-3.
- [12] Kim ES *et al.* Spontaneous regression of herniated, lumbar discs. *J Clin Neurosci* 2014;21(6):909-13.
- [13] Bush K *et al.* The natural history of sciatica associated with disc pathology: A prospective study with clinical and independent radiologic follow-up. *Spine* 1992;17:1205-12.
- [14] Benson R *et al.* Conservatively treated massive prolapsed discs: A 7-year follow-up. *Ann R Coll Surg Engl* 2010;92:147-53.
- [15] Lurie JD *et al.* Reliability of magnetic resonance imaging readings for lumbar disc herniation in the Spine Patient Outcomes Research Trial (SPORT). *Spine* 2008;33:991-8.
- [16] Stigler SM. Regression towards the mean, historically considered. *Stat Methods Med Res* 1997;6:103-14.
- [17] Meir AR *et al.* High pressures and asymmetrical stresses in the scoliotic disc in the absence of muscle loading. *Scol Spin Dis* 2007; 2:4.
- [18] Edwards WT *et al.* Peak stresses observed in the posterior lateral annulus. *Spine* 2001;26:1753-9.
- [19] Steffen T *et al.* Lumbar intradiscal pressure measured in the anterior and posterolateral annular regions during asymmetrical loading. *Clin Biomech [Bristol, Avon]* 1998;13:495-505.
- [20] Krismer M *et al.* The contribution of annulus fibers to torque resistance. *Spine* 1996;21:2551-7.
- [21] Nadeau S *et coll.* Étude du mécanisme lésionnel de la hernie discale : modélisation du comportement élastique non linéaire. *Revue Internationale sur l'Ingénierie des Risques Industriels [Quebec]* 2008;1(1): 46-8.
- [22] Beattie PF *et al.* The within-session change in low back pain intensity following spinal manipulative therapy is related to differences in diffusion of water in the intervertebral discs of the upper lumbar spine and L5-S1. *J Orthop Sports Phys Ther* 2013 Nov 21.
- [23] Orias AA. Effects of axial torsion on disc height distribution: An *in vivo* study. *J Manip Phys Ther* 2016;39(4):294-303.
- [24] Occhia RS *et al.* Three-dimensional *in vivo* measurement of lumbar spine segmental motion. *Spine* 2006;31(18):2073-8.

Résorption des hernies lombaires et mobilisation (2^e partie)

Mots clés : ► Hernie ► Mobilisation ► Résorption ► Thérapie manuelle

Nous avons vu que la fatalité des hernies discales n'était pas systématique dans notre précédent article (cf. KS n° 582) et qu'il existait des preuves de l'efficacité de certaines manœuvres sur les pressions et les hauteurs du disque. Ainsi, il existait des modifications du comportement du disque dans des situations proches de la mobilisation ou de la manipulation.

Mais comment faire en pratique ?
Quelles manipulations doit-on conseiller ?
Quels est le paramètre cinématique à privilégier ?

La flexion-extension

La flexion est le plus souvent à déconseiller chez les patients ayant une radiculalgie d'origine discale car elle augmente la tension du ligament longitudinal postérieur qui peut créer une traction sur le disque par ses insertions, même si elle diminue la pression foraminale au niveau de la racine nerveuse [25].

Seules les hernies discales foraminales peuvent bénéficier de la flexion. L'extension, et surtout les mobilisations postéro-antérieures, semblent les plus pertinentes pour diminuer les pressions postérieures. La flexion met en tension les racines nerveuses dans le canal lombaire mais pas de façon très importante ; en revanche, elle les déplace vers l'avant, ce qui peut être problématique car elle augmente le contact entre le disque et le nerf.

Localisation

La flexion-extension existe surtout au niveau des étages lombaires inférieurs. C'est donc un paramètre majeur, surtout pour L5-S1.

Les inclinaisons

Les inclinaisons permettent d'ouvrir le foramen latéral controlatéral et de diminuer les compres-

sions foraminales. La hauteur et la tension des fibres de l'annulus fibrosus sont légèrement présentes du côté opposé à l'inclinaison. Les racines nerveuses du côté controlatéral sont mises en tension.

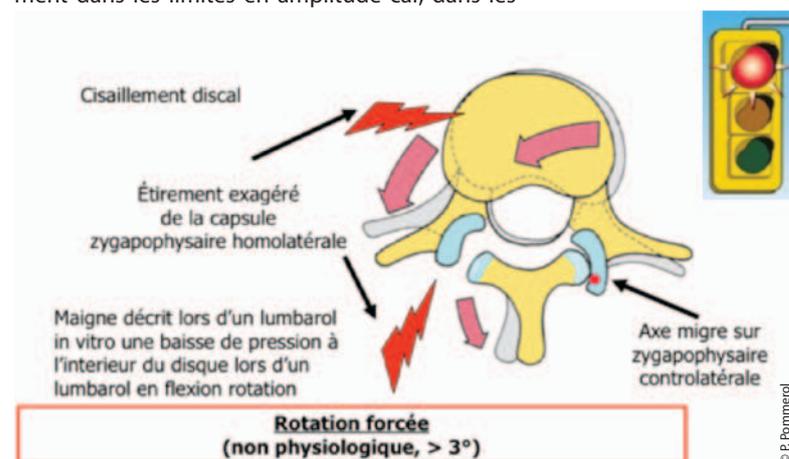
Localisation

Cette inclinaison existe surtout au niveau des étages lombaires moyens L2-L3 et L3-L4.

Les rotations (fig. 3)

C'est le paramètre mineur mais il est très utilisé en manipulation car il permet de décoapter les facettes articulaires.

Au niveau du disque, c'est l'élément qui crée des tensions des fibres dans l'annulus fibrosus, notamment dans les limites en amplitude car, dans les



► Figure 3

Effet de la rotation sur un étage lombaire

Lors de la fin de rotation, le point fixe (axe du mouvement) est sur l'interligne articulaire de l'articulaire postérieure controlatérale

Le corps vertébral de la vertèbre supérieure réalise un glissement postérieur du côté de la rotation

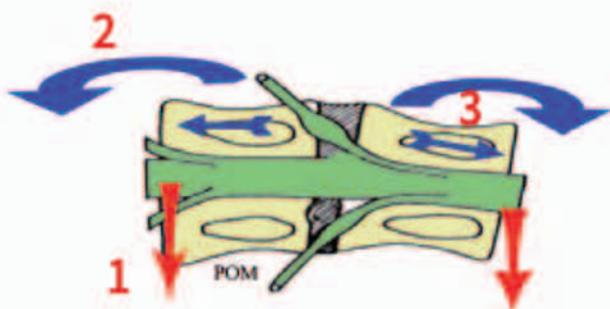
Il existe donc une mise en tension des fibres discales à la périphérie, notamment au niveau du foramen latéral du côté de la rotation



La mobilisation permet d'ouvrir le foramen intervertébral par la flexion et l'inclinaison droite et de mettre légèrement une tension sur les racines nerveuses



Lumbarol et ouverture du foramen intervertébral



- 1- Suite à la position, la moëlle se déplace contre le sol. La racine sus-jacente est alors légèrement mise en tension.
- 2- L'inclinaison, lors de la manœuvre, permet d'augmenter cette tension.
- 3- L'ouverture du foramen et du recessus est ainsi réalisée.

► Figure 4

Technique du lumbarol

petites rotations, les fibres du disque ne sont pas mises en tension car l'axe du mouvement se situe autour du ligament longitudinal postérieur, surtout s'il n'existe pas de composante de flexion associée.

Lors d'une torsion, une partie des fibres de l'anneau fibreux est inclinée et tendue dans la direction de la rotation, tandis que l'autre est inclinée et détendue dans le sens opposé à la rotation [21].

Localisation

La rotation est présente au niveau des cinq articulations des lombaires de façon assez équivalente mais en très faible amplitude.

Pour notre part, la manipulation, notamment en rotation patient couché sur le côté sain, peut faire déplacer l'épanchement discal en latéral du côté de l'articulation postérieure mise en ouverture et produire un étirement des fibres de l'annulus fibrosus au niveau foraminaux ou extra-foraminaux.

Si l'on a une faiblesse de ces fibres, il est vraisemblable qu'on puisse aggraver la hernie et surtout le conflit. Il faut donc éviter de manipuler en rotation avec une position de flexion lombaire dans un contexte de hernie foraminaux ou postéro-latérale, le patient étant couché sur son côté sain. En effet, la rotation met en tension les fibres de l'annulus fibrosus du côté de la rotation (fig. 4). Par exemple, si un patient a une hernie foraminaux droite avec une sciatique droite, une manipulation en rotation droite avec le patient en décubitus latéral gauche est à proscrire.

Ce n'est donc pas la rotation qu'il faut chercher comme paramètre de mise en tension ou de *trust* mais bien le paramètre d'inclinaison contralatérale qui permet de diminuer les pressions foraminaux, et d'ouvrir la facette droite lors d'un décubitus gauche. Ce paramètre d'inclinaison est ainsi sans risque. La manipulation en inclinaison doit être préférée mais ce paramètre devient impossible à utiliser au niveau de L5-S1, car il n'existe pas d'inclinaison à cet étage. On peut alors sur cet étage rechercher de la flexion ou de l'extension ou, au pire, réaliser une mobilisation en rotation « avec la sciatique étant sur la table ». Cette position permet de mettre une très légère tension et un glissement du nerf rachidien par le positionnement en flexion-adduction de la hanche sus-jacente.

Il ne faut pas oublier que nous recherchons dans les mobilisations non pas une disparition de la hernie mais une diminution des douleurs. Il ne faut donc pas raisonner que sur le contenant (disque, articulaire postérieure, ligament longitudinal postérieur et ligament jaune) mais aussi sur le contenu (nerfs vaisseaux), et c'est leur rapport qui doit déterminer le choix des techniques. Pour notre part, le positionnement et la mise en tension doivent créer une centralisation des douleurs au niveau radiculaire.

Ainsi, lors du positionnement, on va mettre en tension et demander si la douleur remonte vers la colonne vertébrale et, au contraire, ne se déplace pas en distal dans la fesse, la cuisse, puis dans la jambe ou dans le pied (ce déplacement de la douleur est appelé « périphérisation des douleurs »). Cette périphérisation étant le témoin de l'aggravation du conflit et du syndrome canalaire. Il faut donc que la mise en tension précédant la manipulation soit indolore, mais surtout qu'elle centralise ces douleurs au niveau du rachis et non pas dans le trajet du nerf de la jambe.

Le soulagement de la douleur est un critère plus important et les traitements conservateurs ont montré leur efficacité. En outre, la manipulation pourrait diminuer la compression sans empêcher l'inflammation locale favorisant ainsi la régression.

Conclusion

À la lumière de cette preuve d'accumulation des études cliniques, il faudra modifier les recommandations dans le cas des hernies lombaires et conseiller les manipulations ; mais il faut qu'elles soient pratiquées avec une justesse technique et dans le respect de la biomécanique comme nous le montrent les travaux d'Orias et d'Ochia *et al.* [24].

Actuellement, les manipulations sont recommandées, surtout dans un cadre de lombalgies aiguës ou subaiguës. Cette recommandation repose plus sur un rapport coût/bénéfice (*cost/effectiveness*) intéressant que son efficacité thérapeutique par rapport aux autres techniques. C'est donc l'aspect financier qui est mis en avant au niveau du Canada, des États-Unis et du Royaume Uni pour conseiller au patient une manipulation [1-5].

Remarques : ces recommandations ne sont pas valables dans les lombalgies chroniques car les manipulations seules ne sont pas un traitement et n'ont pas de supériorité par rapport aux autres traitements [4]. Pour plus de détails, nous avons réalisé une revue de littérature dans le KS de mai 2013 [6]. ✘



BIBLIOGRAPHIE

- [1] Pour le clip : http://www.csst.qc.ca/nos_partenaires/medecins/Documents/CLIPLombalgiesGuide2006.pdf
- [2] Pour le NICE : *Low back pain: Early management of persistent non-specific low-back pain*. Full guideline, May 2009 (national collaborating Centre for primary care).
- [3] Pour l'American physical therapy association : Delitto A *et al.* Low-back pain clinical guidelines. *JOSPT* 2012;42(4):a1-a56.
- [4] Rubinstein SM *et al.* Spinal manipulative therapy for chronic low-back pain. *Cochrane Database of Systematic Reviews* 2011;2:Art. n° CD008112.
- [5] Rubinstein SM *et al.* Spinal manipulative therapy for acute low-back pain (Review). *The Cochrane Collaboration* 2012;9.
- [6] Pommerol P, Fouquet H. Recommandations professionnelles sur les manipulations dans la lombalgie. *Kinésithér Scient* 2013 Mai;54:3:51-4.
- [7] Chiu CC *et al.* The probability of spontaneous regression of lumbar herniated disc: A systematic review. *Clin Rehabil* 2015;29:184-95.
- [8] Kjaer P *et al.* Progression of lumbar disc herniations over an eight-year period in a group of adult Danes from the general population: A longitudinal MRI study using quantitative measures. *BMC Musculoskelet Disord* 2016;15;17(1):26.
- [9] Auto RA *et al.* Determinants of spontaneous resorption of intervertebral disc herniations. *Spine* 2006;31:1247-52.
- [10] Splendiani A *et al.* Spontaneous resolution of lumbar disk herniation: Predictive signs for prognostic evaluation. *Neuroradiology* 2004;46:916-22.
- [11] Henmi T *et al.* Natural history of extruded lumbar intervertebral disc herniation. *J Med Invest* 2002;49:40-3.
- [12] Kim ES *et al.* Spontaneous regression of herniated, lumbar discs. *J Clin Neurosci* 2014;21(6): 909-13.
- [13] Bush K *et al.* The natural history of sciatica associated with disc pathology: A prospective study with clinical and independent radiologic follow-up. *Spine* 1992;17:1205-12.
- [14] Benson R *et al.* Conservatively treated massive prolapsed discs: A 7-year follow-up. *Ann R Coll Surg Engl* 2010;92:147-53.
- [15] Lurie JD *et al.* Reliability of magnetic resonance imaging readings for lumbar disc herniation in the Spine Patient Outcomes Research Trial (SPORT). *Spine* 2008;33:991-8.
- [16] Stigler SM. Regression towards the mean, historically considered. *Stat Methods Med Res* 1997;6:103-14.
- [17] Meir AR *et al.* High pressures and asymmetrical stresses in the scoliotic disc in the absence of muscle loading. *Scol Spin Dis* 2007;2:4.
- [18] Edwards WT *et al.* Peak stresses observed in the posterior lateral anulus. *Spine* 2001;26: 1753-9.
- [19] Steffen T *et al.* Lumbar intradiscal pressure measured in the anterior and posterolateral annular regions during asymmetrical loading. *Clin Biomech [Bristol, Avon]* 1998;13: 495-505.
- [20] Krismar M *et al.* The contribution of anulus fibers to torque resistance. *Spine* 1996;21: 2551-7.
- [21] Nadeau S *et coll.* Étude du mécanisme lésionnel de la hernie discale : modélisation du comportement élastique non linéaire. *Revue Internationale sur l'Ingénierie des Risques Industriels [Quebec]* 2008;1(1):46-8.
- [22] Beattie PF *et al.* The within-session change in low back pain intensity following spinal manipulative therapy is related to differences in diffusion of water in the intervertebral discs of the upper lumbar spine and L5-S1. *J Orthop Sports Phys Ther* 2013 Nov 21.
- [23] Orias AA. Effects of axial torsion on disc height distribution: An *in vivo* study. *J Manip Phys Ther* 2016;39(4):294-303.
- [24] Ochia RS *et al.* Three-dimensional *in vivo* measurement of lumbar spine segmental motion. *Spine* 2006;31(18):2073-8.
- [25] Yuichiro Morishita *et al.* Measurement of the local pressure of the intervertebral foramen and the electrophysiologic values of the spinal nerve roots in the vertebral foramen. *Spine* 2006;31(26):3076-80.