

**Newsletter AJCR mars 2018, Pierre COUDERT,
CHU Bordeaux**

**LES ANOMALIES TRANSITIONNELLES DE LA
JONCTION LOMBOSACREE, COMPREHENSION
ANATOMIQUE ET BIOMECANIQUE**

- 1) Introduction
- 2) Présentation de la pathologie
- 3) Epidémiologie
- 4) Considérations anatomiques et biomécaniques ostéoarticulaires
- 5) Concernant le disque intervertébral
- 6) Et les muscles dans tout ça ?
- 7) Quelques lignes sur l'équilibre sagittal
- 8) Conclusion
- 9) Bibliographie

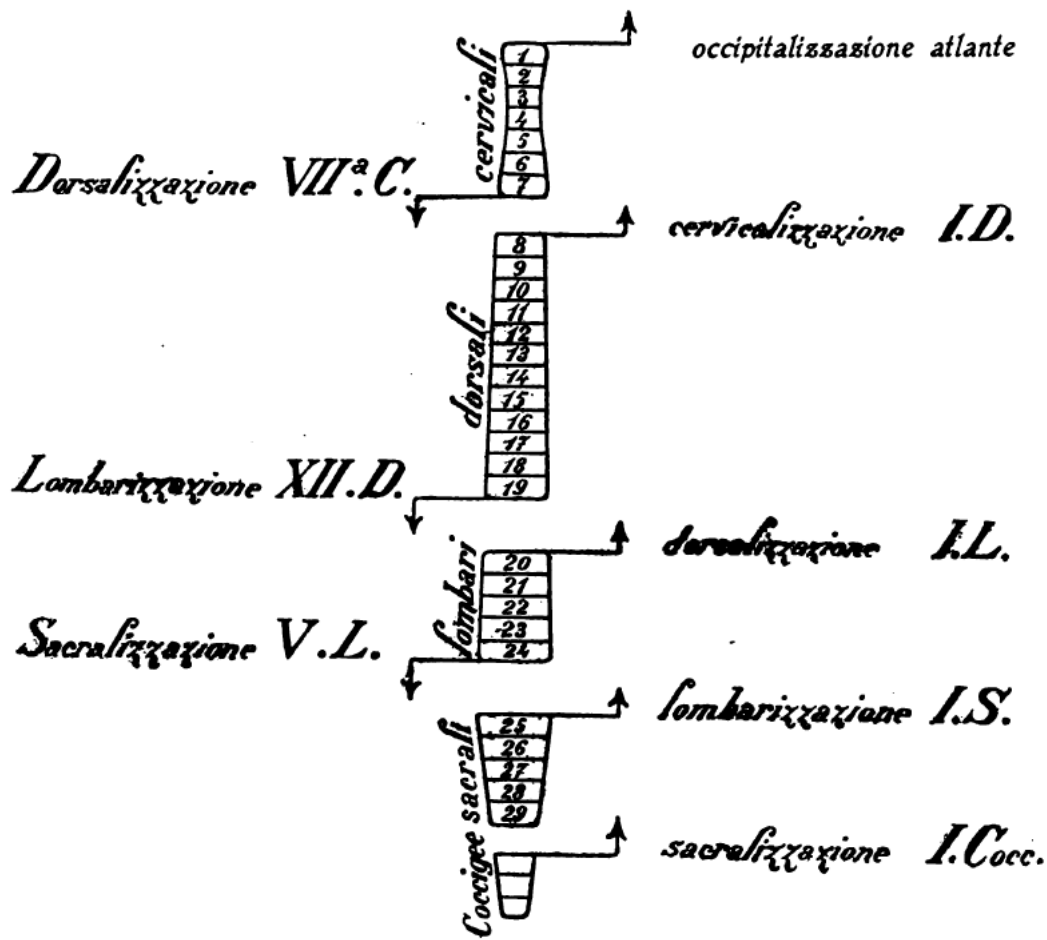
Remerciements à mon maître le Pr Jean-Marc Vital pour son aide bibliographique et théorique.

1)Introduction :

C'est en 1917 que le Pr Mario Bertolotti décrit les anomalies transitionnelles rachidiennes dans la revue mensuelle de « La Radiologia Medica » (1) en insistant principalement sur l'anomalie transitionnelle siégeant dans la région lombo-sacrée.

Le « syndrome de Bertolotti », d'usage courant dans le jargon médical et parfois extrapolé, définit l'association d'une anomalie transitionnelle lombo-sacrée à une lombalgie chronique.

Le but de cette newsletter était, par une revue de la littérature actuelle, de rappeler la définition des anomalies transitionnelles lombo-sacrées et leur prévalence, d'appréhender d'un point de vue anatomique et biomécanique cette particularité morphologique, de comprendre les pathologies qui en découlent et de connaître les éléments permettant de raisonner sur la prise en charge diagnostique et thérapeutique.



(1)

2)Présentation de la pathologie :

L'anomalie transitionnelle lombo-sacrée est une malformation congénitale caractérisée par la présence de méga-apophyses transverses sur la dernière vertèbre lombaire mobile, ces méga-apophyses venant au contact du sacrum et/ou de l'aile iliaque en y formant parfois un équivalent d'interligne articulaire (1).

Cette anomalie transitionnelle correspond à une variation morphologique allant d'une sacralisation partielle ou complète à une lombalisation partielle ou complète de la vertèbre concernée (2). Quand L5 fusionne avec le sacrum il existe 4 vertèbres lombaires alors que quand S1 est séparée du sacrum 6 vertèbres lombaires existent (3).

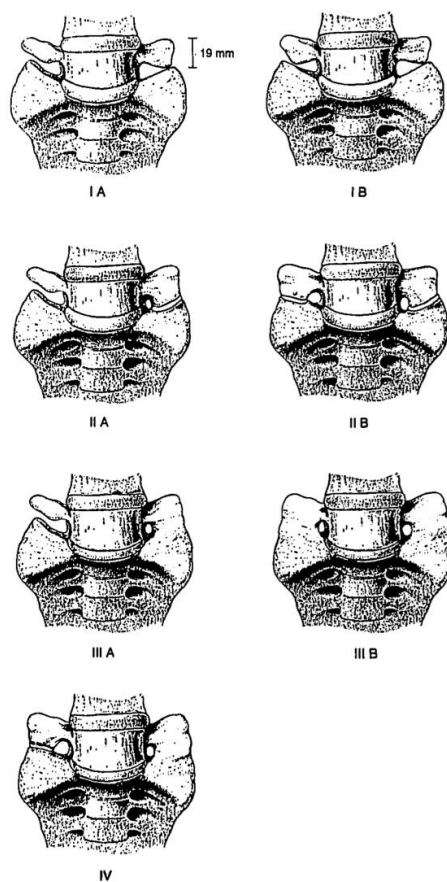
Castellvi a décrit une classification des anomalies transitionnelles déterminant 4 types (4) :

Type 1 : dysplasie du processus transverse de plus de 19mm dans le sens céphalo-caudal (unilatérale pour le type 1a, bilatérale pour le type 1b).

Type 2 : diarthrodie unilatérale (2a) ou bilatérale (2b) entre la méga-apophyse et le sacrum entraînant une lombalisation ou une sacralisation incomplète.

Type 3 : fusion unilatérale (3a) ou bilatérale (3b) entre la méga-apophyse et le sacrum entraînant une lombalisation ou une sacralisation complète.

Type 4 : est l'association d'un type 2 d'un côté et d'un type 3 du côté controlatéral.



3)Épidémiologie :

La prévalence des anomalies transitionnelles de la charnière lombo-sacrée varie dans la littérature selon les études et les problématiques ciblées.

Nous détaillerons ci-dessous certains chiffres qui nous ont semblé pertinents.

-Dans une série rétrospective de 211 sujets, Apazidis et al. (5) ont déterminé une prévalence de 35,6% des anomalies transitionnelles lombo-sacrées et que l'anomalie type 1A était significativement la plus fréquente dans la population étudiée (14,7%).

-Chez 5860 volontaires de 18 à 60 ans (6) ayant subi une radiographie, les auteurs retrouvaient une prévalence de 15,8% des anomalies transitionnelles lombo-sacrées (LSTV). La classification de Castellvi était utilisée pour classer ces variations morphologiques (type 1 : 44,8% / type 2 : 43,2% / type 3 : 7,2% / type 4 : 4,8%). Des questionnaires étaient utilisés pour retrouver pour chaque patient la présence ou non de lombalgies et de douleurs de la région glutéale. Ainsi les types 2 et 4 étaient significativement associés à ces phénomènes douloureux.

-Sur une cohorte de 4636 patients âgés de 45 à 80 ans, Nardo et al. (7) retrouvaient une prévalence de 18,1% des LSTV avec un taux significativement plus important chez les hommes que chez les femmes (28,1% vs 11,1%). Les auteurs retrouvaient une proportion de 41,72% pour les types 1, 41,4% pour les types 2, 11,5% pour les types 3 et 5,2% pour les types 4 de Castellvi. Un résultat important était

également l'association corrélée significative des types 2 et 4 à des syndromes douloureux (lombalgies et fessalgies) importants en intensité et en retentissement fonctionnel.

-Sur une cohorte de 769 patients ayant eu une IRM rachidienne pour exploration de lombalgies, Quinlan J.F et al. (8) retrouvaient 35 patients présentant une LSTV, donc un syndrome de Bertolotti par définition. Les auteurs concluaient à une prévalence de 4,6% dans leur étude et à une prévalence de 11,4% chez les sujets de moins de 30 ans.

-Une autre étude (9) s'intéressait à la prévalence des anomalies morphologiques et du nombre de vertèbres. Ainsi, sur une cohorte de 8280 patients ayant eu des IRM du rachis lombaire, avec des reconstructions sagittales du rachis entier, pour exploration d'une lombalgie, les auteurs comptaient le nombre de vertèbres présacrées selon une méthode décrite et validée puis analysaient la jonction lombosacrée selon la méthode de Castellvi. 89,2% des patients avaient 5 vertèbres lombaires, 2,6% en avaient 4 et 8,2% 6. Les anomalies stade 2,3 et 4 de la classification de Castellvi étaient retrouvées chez 10,6% des patients (5,3% avec sacralisation de L5 et 5,3% avec lombalisation de S1). Au total 83,9% des patients présentaient une morphologie classique et un nombre « normal » de vertèbres lombaires : 5 vertèbres lombaires sans vertèbre transitionnelle morphologiquement. 2,6 et 2,9% des patients présentait une « dernière vertèbre lombaire de morphologie type L5 » sans anomalie transitionnelle respectivement en L4 et en L6. Les auteurs concluaient à l'importance de l'analyse conjointe numérique et morphologique du rachis lombosacré, notamment lors d'une planification préopératoire.

En conclusion, il n'est pas réellement important de connaître un chiffre précis de la prévalence des LSTV dans la population générale car elle varie selon les études (de 4 à plus de 30%). Il est néanmoins justifié de penser que l'existence d'une LSTV n'est pas un phénomène rare et doit faire partie des diagnostics à évoquer devant une lombalgie chronique, surtout si le patient est jeune. Il est également important de souligner que les types 2 et 4 de Castellvi sont les formes les plus pourvoyeuses de lombalgies et de fessalgies (Syndrome de Bertolotti). Cet élément est cohérent d'un point de vue physiopathologique car dans ces 2 formes il existe une mobilité de la « néo-articulation » anormale pouvant expliquer logiquement les symptômes (lombalgie = plurifactoriel+++). Enfin, il paraît important d'analyser sérieusement la morphologie mais également le nombre de « vertèbres lombaires » afin de ne pas conclure de façon anticipée à un diagnostic et à une planification préopératoire hâtive.

4) Considérations anatomiques et biomécaniques ostéoarticulaires :

Le sacrum, considéré comme la « vertèbre pelvienne », est une structure ostéoarticulaire ayant un rôle biomécanique majeur. En effet, c'est par sa surface articulaire avec l'aile iliaque (articulation sacro-iliaque) que sont transmises les forces mécaniques supportées par la colonne vertébrale vers les membres inférieurs.

Des études anatomiques cadavériques, dont les travaux de Mahato (10,11), ont montré que lors d'une sacralisation de L5 la hauteur du sacrum en excluant L5 fusionnée était inférieure à la hauteur du sacrum chez les sujets sains. Ainsi les phénomènes de sacralisation (addition d'un segment au sacrum) et de lombalisation (soustraction d'un segment au sacrum) dépendent de la capacité du sacrum à supporter et transmettre les contraintes mécaniques à un stade du développement. La constitution

d'une anomalie transitionnelle lombosacrée serait influencée par les capacités anatomiques de l'articulation sacro-iliaque de l'individu à transmettre les contraintes mécaniques aux membres inférieurs.

Cette « association physiopathologique considérée » entre la constitution d'une anomalie transitionnelle lombosacrée et l'articulation sacro-iliaque est également étudiée d'un point de vue clinique cette fois ci dans une étude récente (12). Les auteurs ont recherché parmi une population de 700 patients (500 présentant des lombalgies chroniques et 200 sujets sains volontaires) ceux présentant une LSTV (selon la classification de Castellvi) et ceux présentant au moins 3 tests cliniques (sur 5 effectués, validés) montrant une atteinte de l'articulation sacro-iliaque. L'étude retrouvait une association significativement supérieure de l'atteinte sacro-iliaque chez les sujets présentant une LSTV que chez les autres (28,5% vs 10,8%).

Il est donc licite de penser que la biomécanique détermine l'anatomie ostéoarticulaire de la région lombo-sacrée.

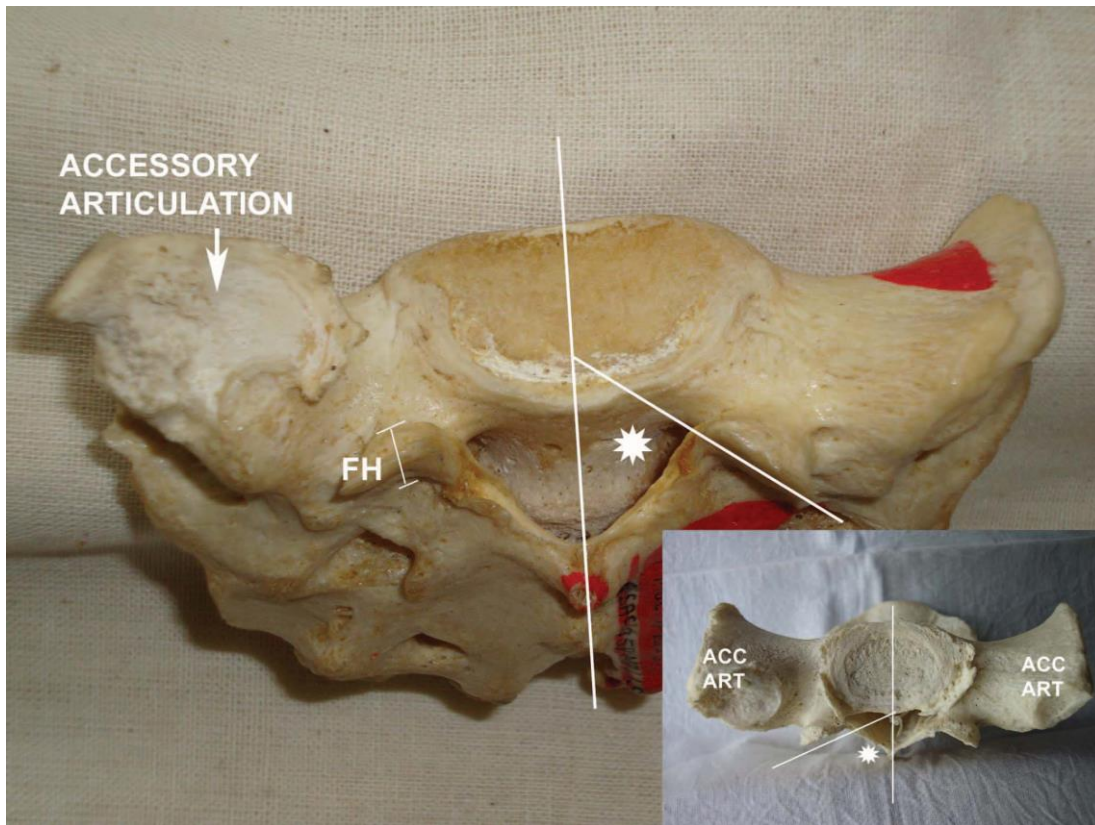
Mahato a décrit une multitude de spécificités anatomiques dans la pathologie transitionnelle lombo-sacrée.

Il a notamment montré (13) une modification de la structure osseuse corporéale des vertèbres transitionnelles : une diminution de la densité par un nombre réduit de travées d'os spongieux. Cet élément est à prendre en considération d'un point de vue chirurgical (pour le positionnement des vis pédiculaires notamment).

Il s'est également intéressé à l'anatomie du pédicule de la vertèbre transitionnelle (14) et a montré une différence anatomique selon que la vertèbre soit lombalisée ou sacralisée par rapport à une charnière lombosacrée normale. Ainsi dans le cadre d'une sacralisation, il montrait un pédicule réduit de façon globale dans toutes ses dimensions (hauteur, largeur, longueur), une convergence diminuée et une inclinaison vers le bas (pente) augmentée. En revanche dans une vertèbre lombalisée le pédicule était plus convergent et moins descendant.

Concernant l'arc postérieur, Mahato a montré (15) que la hauteur de l'isthme et que l'épaisseur des lames étaient réduits significativement dans le dernier segment lombaire d'une sacralisation de la charnière. Ainsi cela prédispose ces patients au listhésis, élément important à prendre en compte lors d'une chirurgie pour éviter une iatrogénie.

L'anatomie des zygapophyses articulaires postérieures est également modifiée dans les anomalies de la charnière lombosacrée (16) : dans les lombalisations Mahato retrouvait des facettes articulaires présentant une surface articulaire moins importante ainsi qu'une longueur longitudinale réduite et une orientation prononcée dans le plan coronal ; dans les sacralisations complètes il n'existait pas de modification significative ; il faut noter qu'un tropisme articulaire était significativement prédominant dans les formes transitionnelles présentant des articulations accessoires (types 2 et 4 de Castellvi). Le tropisme articulaire est une cause certaine de lombalgie.



L'aboutissement du travail de Mahato sur les anomalies transitionnelles est la proposition d'une révision de la classification de Castellvi (17) basée sur le principe que les modifications morphologiques sont le résultat d'une adaptation biomécanique de la « zone charnière » permettant d'assurer la stabilité du rachis lombaire et la distribution des contraintes mécaniques aux membres inférieurs via l'articulation sacro-iliaque. Cette classification intègre les différents types de facettes auriculaires (surfaces articulaires sacrées s'articulant avec l'os iliaque) définis selon les types d'anomalie transitionnelle. Ainsi cette classification (complexe), permet de définir et visualiser l'anatomie exacte et précise de chaque anomalie morphologique de la charnière lombosacrée.

Table 1. Redefining lumbosacral transitional vertebrae (LSTV) classification through integrating the full spectrum of morphological alterations in a biomechanical continuum.²

Dysplastic L5 Transverse Process (TP)*	Type I A	Type I B	Type I A F (i/c) or Type I B F(i/c)		Type I A F2 or Type I B F2	-
	Unilateral TP ≤ 19 mm in width*	Bilateral TPs ≤ 19 mm in width*	<i>With presence of ipsi/contralateral rudimentary facet to the side of the L5 enlargement</i>		<i>With presence of bilateral rudimentary facets</i>	
Accessory articulations	Type II A	Type II B	Type II A F(i/c) or Type I B F(i/c)		Type II A 2F or Type II B 2F	-
	Unilateral L5-S1 accessory articulation	<i>Bilateral L5-S1 accessory articulations</i>	<i>With presence of ipsi/contralateral rudimentary facet to the side of the diarthrosis</i>		<i>With presence of bilateral rudimentary facets</i>	
Sacralisation**	Type II A	Type III B	Type III C		Type III A F (i/c) or Type III B F(i/c) or Type III C F	Type III A 2F or Type III B 2F or Type III C 2F
	Unilateral L5-S1 sacralisation	<i>Unilateral complete sacralisation with contralateral L5-S1 pseudoarthrosis</i>	<i>Bilateral complete L5-S1 sacralisation</i>		<i>With presence of ipsi/contralateral rudimentary facet to the side of the sacralisation</i>	<i>With presence of bilateral rudimentary facets</i>
Lumbarisation**	Type IV A	Type IV B	Type IV C	Type IV D	Type IV A F(i/c) or Type IV B F(i/c) or Type IV C F or Type IV D F	Type IV A 2F or Type IV B 2F or Type IV C 2F or Type IV D 2F
	<i>Incomplete/partial lumbarisation of S1 as an accessory S1-2 articulation</i>	<i>Unilateral complete separation of S1 from sacral mass</i>	<i>Bilateral S1-2 accessory articulation</i>	<i>Complete sacralisation with residual four segment sacrum</i>	<i>With presence of ipsi/contralateral rudimentary facet to the side of the diarthrosis</i>	<i>With presence of bilateral rudimentary facets</i>

*Southworth and Bersack.²⁹ Modifications on the Castellvi's classifications are given in bold and italics. **Situations with asymmetric augmentation of the auricular surface may be represented by adding the alphabets SR+ or SL+ for the corresponding right or the left sides.

5) Concernant le disque intervertébral (18,19) :

L'ensemble des études retrouvées montrait que la hauteur du disque sous-jacent à l'anomalie morphologique était significativement diminuée comparée aux sujets sains, et cela principalement dans les types 2, 3 et 4 de Castellvi. Ce phénomène est compréhensible par le fait qu'une anomalie transitionnelle entraîne la formation d'une néo-articulation ou d'une fusion entre le sacrum et la vertèbre. Ainsi, avec une importance plus ou moins marquée selon le type d'anomalie (cf classification de Castellvi et de Mahato), se développe une diminution de la mobilité voire une immobilité totale du segment concerné. Logiquement le disque intervertébral perd son utilité fonctionnelle et est donc moins développé. Le « pincement » du disque au niveau sous-jacent ne doit donc pas être considéré comme une dégénérescence discale pathologique mais comme une adaptation naturelle de l'anatomie à la biomécanique, ainsi la lombalgie chez un sujet présentant une anomalie transitionnelle lombosacrée n'est pas due à une discopathie du niveau sous-jacent.

Qu'en est-il du disque sus-jacent ?

La synthèse de la littérature contemporaine est assez précise et univoque, l'étage sus-jacent à l'anomalie transitionnelle est le siège des pathologies discales.

En 1996, S. Vergauwen et al. (20) étudient la distribution et l'incidence de l'évolution dégénérative dans les anomalies transitionnelles. L'étude tomodynamométrique de 350 patients lombalgiques ne retrouve pas plus de phénomènes dégénératifs chez les sujets LSTV que chez les sujets sains. En

revanche le résultat pertinent de cette étude est qu'il ait montré de façon significative que les phénomènes dégénératifs (discaux, zygapophysaires) surviennent préférentiellement au niveau du disque sus-jacent à l'anomalie morphologique.

Plus récemment, K. Luoma et al. (18) ont montré, par l'analyse de l'IRM de 138 sujets d'âge moyen et 25 sujets jeunes réalisées pour l'exploration d'une lombalgie, que les anomalies transitionnelles lombosacrées étaient significativement associées à une dégénérescence précoce du disque sus-jacent chez les sujets jeunes et à une protection du disque sous-jacent chez les sujets d'âge moyen.

De même, N.A Farshad-Amacker et al. (21) ont comparé par une étude basée sur l'IRM les niveaux transitionnels et adjacents chez les sujets présentant une LSTV. Les auteurs montraient significativement que la LSTV protégeait de la dégénérescence discale le niveau transitionnel et qu'elle aggravait la dégénérescence discale au niveau adjacent proximal (surtout dans les types 3 et 4 de Castellvi), cette dégénérescence était comparable à celle d'un disque L5S1 chez un sujet sain.

Aihara et al. (22), dans un travail associant une analyse IRM de 52 patients et une étude anatomique de 70 cadavres, ont montré également que les disques sus-jacents à une LSTV étaient significativement plus pathologiques et les disques aux niveaux transitionnels protégés. L'intérêt majeur de l'étude était l'explication anatomique proposée. En effet, l'analyse des ligaments iliolombaires a prouvé que ce dernier au niveau adjacent proximal à l'anomalie transitionnelle était plus fin et moins résistant que chez les sujets dépourvus d'anomalie de charnière. La conclusion des auteurs était que cette faiblesse mécanique avait pour conséquence une instabilité et donc constituait un facteur de risque certain d'une dégénérescence discale précoce. Dans cette hypothèse, la formation d'une anomalie morphologique au niveau transitionnel (néo-articulation ou fusion) entre la vertèbre lombaire et le sacrum serait un mécanisme d'adaptation pour compenser cette faille mécanique (faiblesse ligamentaire) et assurer la stabilité de la jonction lombosacrée.

6) Et les muscles dans tout ça ?

Les métamères vertébraux sont musculosquelettiques, c'est à dire qu'à chaque vertèbre correspond un groupe musculaire. Il est donc logique de penser qu'on peut évaluer les anomalies transitionnelles lombosacrées grâce à l'analyse des muscles paravertébraux.

Cette partie fait référence à une étude réalisée par T. Somon, D. Recoules, D. Weinstein et al. et présentée au congrès des « journées francophones de radiologie ».

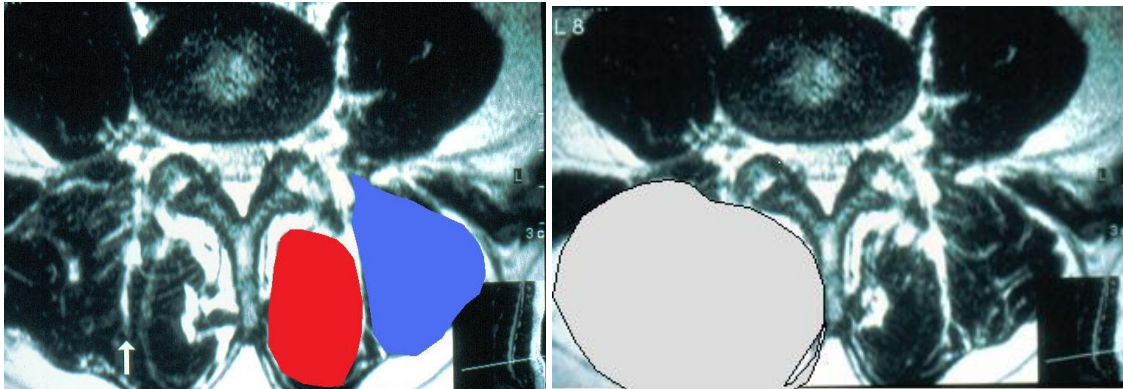
Les auteurs se sont intéressés à l'étude des muscles spinaux et du psoas appliquée aux anomalies transitionnelles lombosacrées.

Pour rappel, le psoas s'insère normalement sur le disque T12-L1. Les muscles paravertébraux postérieurs sont au nombre de 3 : le multifidus (muscle médial) et un groupe latéral composé du longissimus et de l'iliocostalis.

Le Longissimus et l'Iliocostalis sont chacun composés de 5 faisceaux provenant du processus transverse de chaque vertèbre lombaire et se terminant à la partie interne de l'épine iliaque postéro-supérieure (EIPS). Le corps musculaire est au maximum dans la région lombaire moyenne et décroît pour s'insérer sur la crête iliaque et l'EIPS.

Chaque vertèbre donne insertion à 5 fascicules du Multifidus. Chaque fascicule s'épanouit en éventail pour s'insérer sur les vertèbres sous-jacentes. En coupe coronale : il s'épanouit de haut en bas tel un « sapin de Noël ». En coupe axiale, le Multifidus occupe la gouttière spino laminaire jusqu'au tubercule mamillaire augmentant de taille de L1 à S1.

Il existe, en fonction du niveau vertébral, une inversion de volume entre le multifidus et le groupe latéral (plus on descend vers la charnière lombosacrée plus la proportion du multifidus par rapport au groupe latéral est importante et plus on remonte vers la charnière thoracolombaire plus cette proportion est faible).



Les auteurs ont décrit dans ce travail des normes, selon les étages lombaires, du rapport « surface multifidus/surface groupe latéral » calculé en pourcentage selon une méthodologie précise et reproductible. Ainsi au niveau L3-L4 ce rapport doit être compris dans l'intervalle 27-39%, toute valeur en dehors de cet intervalle signait une anomalie transitionnelle (sacralisation si inférieur, lombalisation si supérieur).

L'analyse de ce rapport, de l'insertion du psoas, puis le compte des vertèbres et l'analyse morphologique ostéoarticulaire leur a permis de définir 2 groupes chez 52 patients présentant des anomalies morphologiques et/ou de distribution malformation de la charnière lombo-sacrée :

- un groupe de patients présentant une anomalie morphologique avec un nombre de vertèbres normal, un psoas normalement inséré et les rapports musculaires postérieurs dans la norme.
- un groupe présentant une anomalie de distribution où il existe une vertèbre transitionnelle, une anomalie d'attache du Psoas et un rapport des muscles postérieurs anormal.

Ainsi l'étude du psoas et des muscles spinaux permet de différencier les anomalies transitionnelles lombo-sacrées dites de distribution des anomalies morphologiques simples.

7) Quelques lignes sur l'équilibre sagittal (23, 24) :

2 articles nous ont particulièrement intéressés en pratique pour l'évaluation de l'équilibre sagittal, des paramètres pelviens et la planification préopératoire lors des chirurgies chez les patients présentant une anomalie transitionnelle de la jonction lombosacrée.

Nous savons que l'anomalie transitionnelle de cette charnière est une réponse anatomique à une adaptation biomécanique de la colonne vertébrale, et particulièrement du sacrum, permettant une distribution adaptée des contraintes mécaniques aux membres inférieurs par le biais des articulations sacro-iliaques et le maintien de la stabilité lombosacrée.

Les 2 études dont nous tirons les conclusions ont été réalisées à partir de bases de données de radiographie EOS du rachis entier.

R. Price, M. Okamoto, JC Le Huec et K. Hasegawa (23) ont montré de façon significative, que chez les patients ayant une lombalisation de S1, les paramètres pelviens et la lordose lombaire étaient

augmentés par rapport aux sujets sans LSTV. Les auteurs ont également défini une formule permettant d'évaluer la lordose lombaire idéale chez ces patients : $LL=1,16PI - 19,39$.

Dans le 2^e article (24), les auteurs voulaient définir sur une base EOS de sujets sains une nouvelle incidence : l'incidence de L5 (L5I) et pouvoir utiliser cette référence pour raisonner sur la lordose lombaire chez des sujets où L5-S1 est fusionné (sacralisation de L5 par exemple). Les résultats significatifs de cette étude et la validation de ce nouveau paramètre (incidence de L5 : L5I) ont permis l'élaboration de la formule suivante : $LL (L1L5) = 0,67L5I + 30,7$. Ainsi ce nouveau paramètre permet l'évaluation de la lordose lombaire idéale chez les patients où le disque L5S1 est fusionné comme c'est le cas dans la sacralisation de L5.

8)conclusion :

Finalement, l'anomalie transitionnelle de la jonction lombosacrée correspond à l'adaptation de l'anatomie permettant un équilibre biomécanique et une stabilité rachidienne. Nous pensons qu'il faut plutôt appréhender cette « anomalie » comme un morphotype rachidien particulier que comme une anomalie à proprement parler.

Ainsi la compréhension des mécanismes et des conséquences physiopathologiques de cette jonction lombosacrée atypique permet un raisonnement thérapeutique cohérent et évite la iatrogénie chirurgicale.

9)bibliographie:

- (1) Bertolotti M. Contributo alla conoscenza dei vizi di differenziazione regionale del rachide con speciale riguardo all assimilazione sacrale della v. lombare. Radiol Med 1917;4:113-144.
- (2) Mahato NK. Redefining lumbosacral transitional vertebrae (LSTV) classification: integrating the full spectrum of morphological alterations in a biomechanical continuum. Medical hypotheses. 2013;81(1):76-81.
- (3) Mahato NK. Complexity of neutral zones, lumbar stability and subsystem adaptations: probable alterations in lumbosacral transitional vertebrae (LSTV) subtypes. Medical hypotheses. 2013;80(1):61-4.
- (4) Castellvi AE, Goldstein LA, Chan DP. Lumbosacral transitional vertebrae and their relationship with lumbar extradural defects. Spine. 1984;9(5):493-5.
- (5) Apazidis A, Ricart PA, Diefenbach CM, Spivak JM. The prevalence of transitional vertebrae in the lumbar spine. The spine journal : official journal of the North American Spine Society. 2011;11(9):858-62.
- (6) Tang M, Yang XF, Yang SW, Han P, Ma YM, Yu H, et al. Lumbosacral transitional vertebra in a population-based study of 5860 individuals: Prevalence and relationship to low back pain. European of radiology. 2014;83(9):1679-82.

- (7) Nardo L, Alizai H, Virayavanich W, Liu F, Hernandez A, Lynch JA, et al. Lumbosacral transitional vertebrae: association with low back pain. *Radiology*. 2012;265(2):497-503.
- (8) Quinlan J.F, Duke D, Eustace S. Bertolotti's syndrome a cause of back pain in young people. *J Bone Joint Surg [Br]* 2006;88-B:1183-6.
- (9) Paik NC, Lim CS, Jang HS. Numeric and morphological verification of lumbosacral segments in 8280 consecutive patients. *Spine*. 2013;38(10):E573-8
- (10) Mahato NK. Relationship of sacral articular surfaces and gender with occurrence of lumbosacral transitional vertebrae. *The spine journal : official journal of the North American Spine Society*. 2011;11(10):961-5
- (11) Mahato NK. Morphological traits in sacra associated with complete and partial lumbarization of first sacral segment. *The spine journal : official journal of the North American Spine Society*. 2010;10(10):910-5
- (12) Ozge Gulsum Illeez, Arzu Atıcı, Esra Bahadır Ulger, Duygu Geler Kulcu, Feyza Unlu Ozkan, Ilknur Aktas. The transitional vertebra and sacroiliac joint dysfunction Association. *Eur Spine J* (2018) 27:187–193
- (13) Mahato NK. Trabecular bone structure in lumbosacral transitional vertebrae: distribution and densities across sagittal vertebral body segments. *The spine journal : official journal of the North American Spine Society*. 2013;13(8):932-7.
- (14) Mahato NK. Pedicular anatomy of the first sacral segment in transitional variations of the lumbo-sacral junction. *Spine*. 2011;36(18):E1187-92
- (15) Mahato NK. Pars inter-articularis and laminar morphology of the terminal lumbar vertebra in lumbosacral transitional variations. *North American journal of medical sciences*. 2013;5(6):357-61.
- (16) Mahato NK. Facet dimensions, orientation, and symmetry at L5-S1 junction in lumbosacral transitional States. *Spine*. 2011;36(9):E569-73.
- (17) Mahato NK. Redefining lumbosacral transitional vertebrae (LSTV) classification: integrating the full spectrum of morphological alterations in a biomechanical continuum. *Medical hypotheses*. 2013;81(1):76-81
- (18) Luoma K, Vehmas T, Raininko R, Luukkonen R, Riihimaki H. Lumbosacral transitional vertebra: relation to disc degeneration and low back pain. *Spine*. 2004;29(2):200-5
- (19) Hsieh CY, Vanderford JD, Moreau SR, Prong T. Lumbosacral transitional segments: classification, prevalence, and effect on disk height. *Journal of manipulative and physiological therapeutics*. 2000;23(7):483-9.
- (20) Vergauwen S, Parizel PM, van Breusegem L, Van Goethem JW, Nackaerts Y, Van den Hauwe L, et al. Distribution and incidence of degenerative spinechanges in patients with a lumbo-

sacral transitional vertebra. European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society. 1997;6(3):168-72

- (21) *Nadja A. Farshad-Amacker, MDa,* , Richard J. Herzog, MDb, Alexander P. Hughes, MDC, Alexander Aichmair, MDc, Mazda Farshad, MD, MPHc Associations between lumbosacral transitional anatomy types and degeneration at the transitional and adjacent segments The Spine Journal 15 (2015) 1210–1216*
- (22) *Aihara T, Takahashi K, Ogasawara A, Itadera E, Ono Y, Moriya H. Intervertebral disc degeneration associated with lumbosacral transitional vertebrae: a clinical and anatomical study. The Journal of bone and joint surgery British volume. 2005;87(5):687-91.*
- (23) *R. Price M. Okamoto JC. Le Huec K. Hasegawa Normative spino-pelvic parameters in patients with the lumbarization of S1 compared to a normal asymptomatic population Eur Spine J (2016) 25:3694–3698*
- (24) *D. Dominguez A. Faundez H. Demezón A. Cogniet J. C. Le Huec Normative values for the L5 incidence in a subgroup of transitional anomalies extracted from 147 asymptomatic subjects Eur Spine J (2016) 25:3602–3607*