

L'EQUILIBRE SAGITTAL DU RACHIS : DES CONCEPTS A LA PRATIQUE CLINIQUE EN ORTHOPEDIE PEDIATRIQUE.

R.VIALLE, C. THEVENIN-LEMOINE, P. MARY

Université Pierre et Marie Curie-Paris6, Groupe Hospitalier Armand Trousseau – La Roche Guyon, 26 avenue du Docteur Arnold Netter, F-75571 Paris Cedex 12 France

1. Introduction

Contrairement à d'autres vertébrés, le rachis humain comprend des courbures successives qui s'opposent dans le plan sagittal permettant au tronc de maintenir une position érigée stable mais surtout « économique » en terme énergétique (20). Ceci est assez remarquable puisque l'être humain peut maintenir cette position debout sans fléchir les genoux contrairement au chimpanzé par exemple. La lordose de la région lombaire chez l'homme n'est retrouvée dans aucune autre espèce. Par opposition à l'homme, la colonne vertébrale des primates est globalement cyphotique (Figure 1) ce qui est incompatible avec une déambulation prolongée en position érigée.

Figure 1 : Notez la cyphose rachidienne globale sur cette représentation schématique du squelette d'un Gorille



Ceci

explique pourquoi la bipédie et la marche chez les primates sont très limitées nécessitant le plus souvent l'utilisation des longs bras antérieurs comme balanciers (Figure 2).

Figure 2 : A la marche, le Gorille (*Gorilla Gorilla*) s'aide de ses deux membres supérieurs pour compenser le déséquilibre antérieur du tronc.

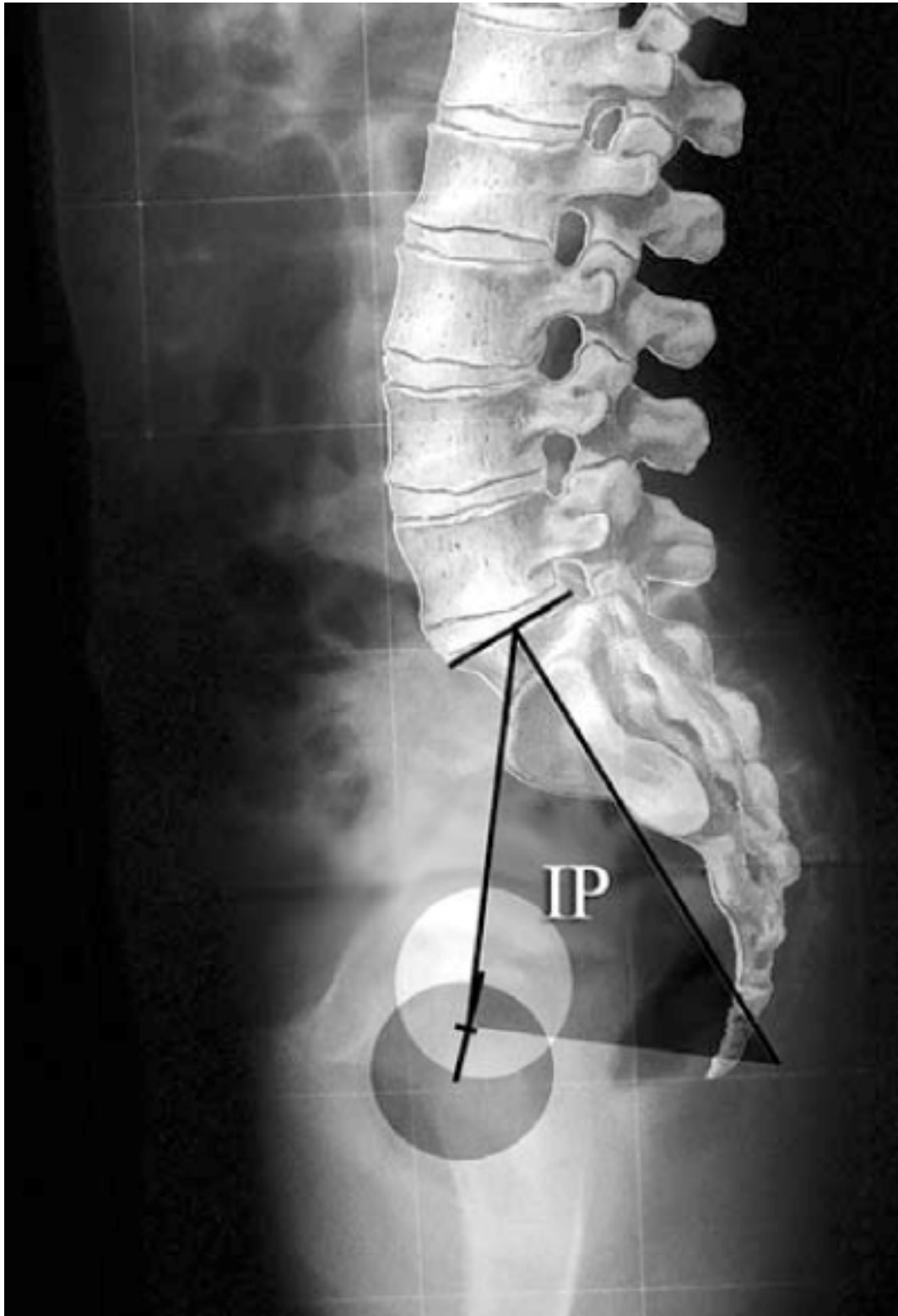


2. Les paramètres pelviens (20)

L'analyse spécifique de l'équilibre sagittal du tronc chez l'homme nécessite l'utilisation de paramètres radiologiques morphologiques qui vont déterminer les facteurs importants pour le maintien de cet équilibre. Les « paramètres pelviens » correspondent à un ensemble de critères géométriques qui permettent de définir la géométrie pelvienne et sa relation avec la position du rachis. Pour avoir une meilleure compréhension de la balance rachidienne et de la forme du pelvis, il est essentiel de définir de manière très précise ces paramètres.

L'incidence pelvienne (IP) est l'angle créé par l'intersection d'une ligne tracée du centre des têtes fémorales jusqu'au milieu du plateau sacré et une autre ligne perpendiculaire au milieu du plateau sacré. (Figure 3)

Figure 3 : Représentation schématique de l'incidence pelvienne



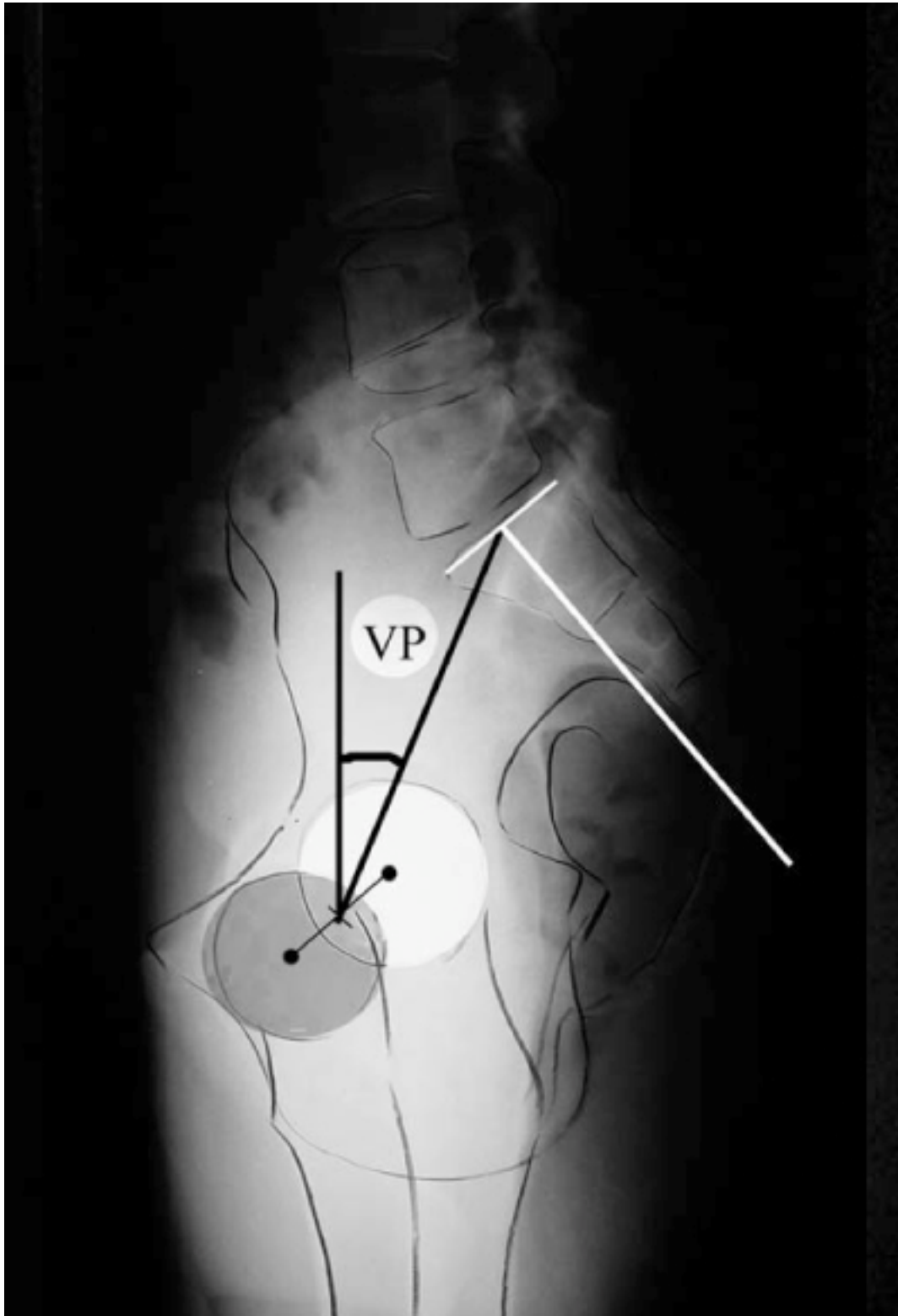
L'angle pelvien de lordose défini par Jackson est assez analogue à l'angle d'incidence. La seule différence réside dans le fait que les deux lignes convergent à la partie postérieure du plateau sacré. Si l'on considère le pelvis d'une personne comme un anneau rigide, l'angle d'incidence décrit la relation entre le sacrum et les têtes fémorales. C'est un paramètre de

forme, constant pour une personne. L'orientation globale du pelvis est toutefois variable car le pelvis peut tourner autour des têtes fémorales suivant l'axe bicoxo-fémoral.

Deux autres paramètres sont intrinsèquement corrélés à l'incidence pelvienne : La version pelvienne et la pente sacrée.

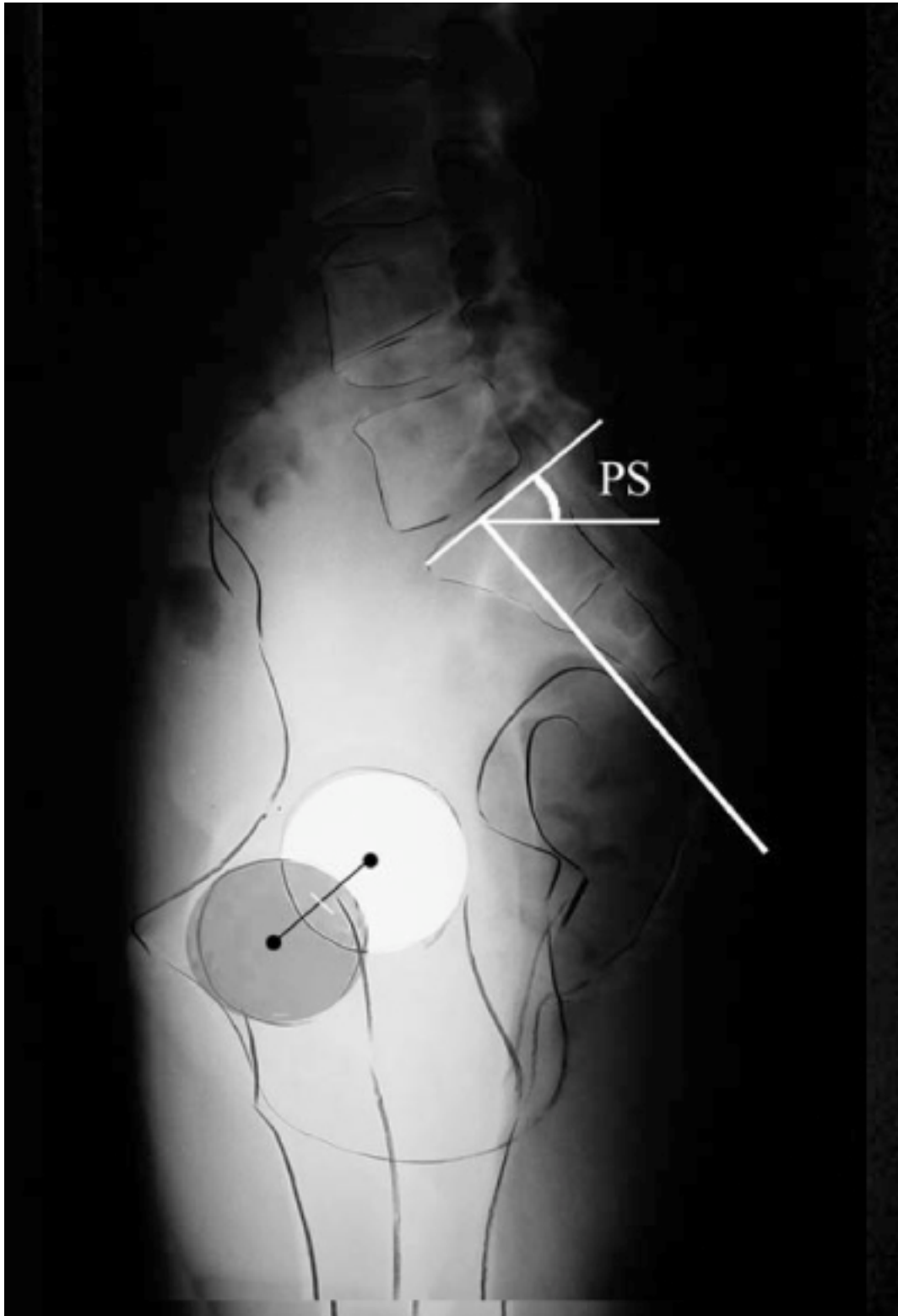
La version pelvienne (VP) ou « Pelvic Tilt » est l'angle entre la verticale et une ligne rejoignant le centre des têtes fémorales au centre du plateau sacré (Figure 4). Quand le pelvis tourne en arrière (rétroversion pelvienne), la version pelvienne augmente. Quand le pelvis tourne en avant (antéversion pelvienne), la version pelvienne diminue.

Figure 4 : Représentation schématique de la version pelvienne



La pente sacrée (PS) ou « sacral slope » est définie par l'orientation du plateau sacré par rapport à l'horizontale.

Figure 5 : Représentation schématique de la pente sacrée



Version pelvienne et pente sacrée sont des paramètres positionnels. Il existe une relation trigonométrique entre l'angle d'incidence et ces deux paramètres. $IP = VP + PS$

La conséquence est que pour une même personne, si l'angle d'incidence est invariable, lorsque la version pelvienne augmente, la pente sacrée diminue et inversement. Pour une

personne avec une faible valeur d'angle d'incidence, la possibilité de rétroversion pelvienne est donc plus faible. Au contraire, une personne ayant constitutionnellement une valeur d'incidence élevée aura une plus grande capacité à rétroverser son bassin.

Les valeurs physiologiques des différents paramètres de l'équilibre sagittal du tronc ont été fixées chez l'adulte par l'étude de grandes cohortes de patients asymptomatiques. Les intercorrélations réciproques entre les paramètres pelviens et les courbures rachidiennes sus-jacentes sont également bien caractérisées.

3. L'équilibre rachidien de profil en période de croissance

Chez l'enfant, des séries ont été publiées et tendent à démontrer que l'harmonisation des courbures rachidiennes à partir de l'orientation et de la configuration du pelvis est un phénomène progressif et adaptatif qui se déroule tout au long de la croissance (10, 12). Si l'incidence pelvienne est une variable anatomique qui se modifie peu au cours de la vie, l'orientation globale du pelvis dans l'espace et la constitution des courbures rachidiennes dans le plan sagittal (lordose lombaire, cyphose thoracique et lordose cervicale) se fait de manière progressive dans les premières années de la vie avec l'acquisition de la marche. L'extension progressive des hanches entraîne une antéversion pelvienne elle-même compensée par la lordose lombaire sus-jacente (4).

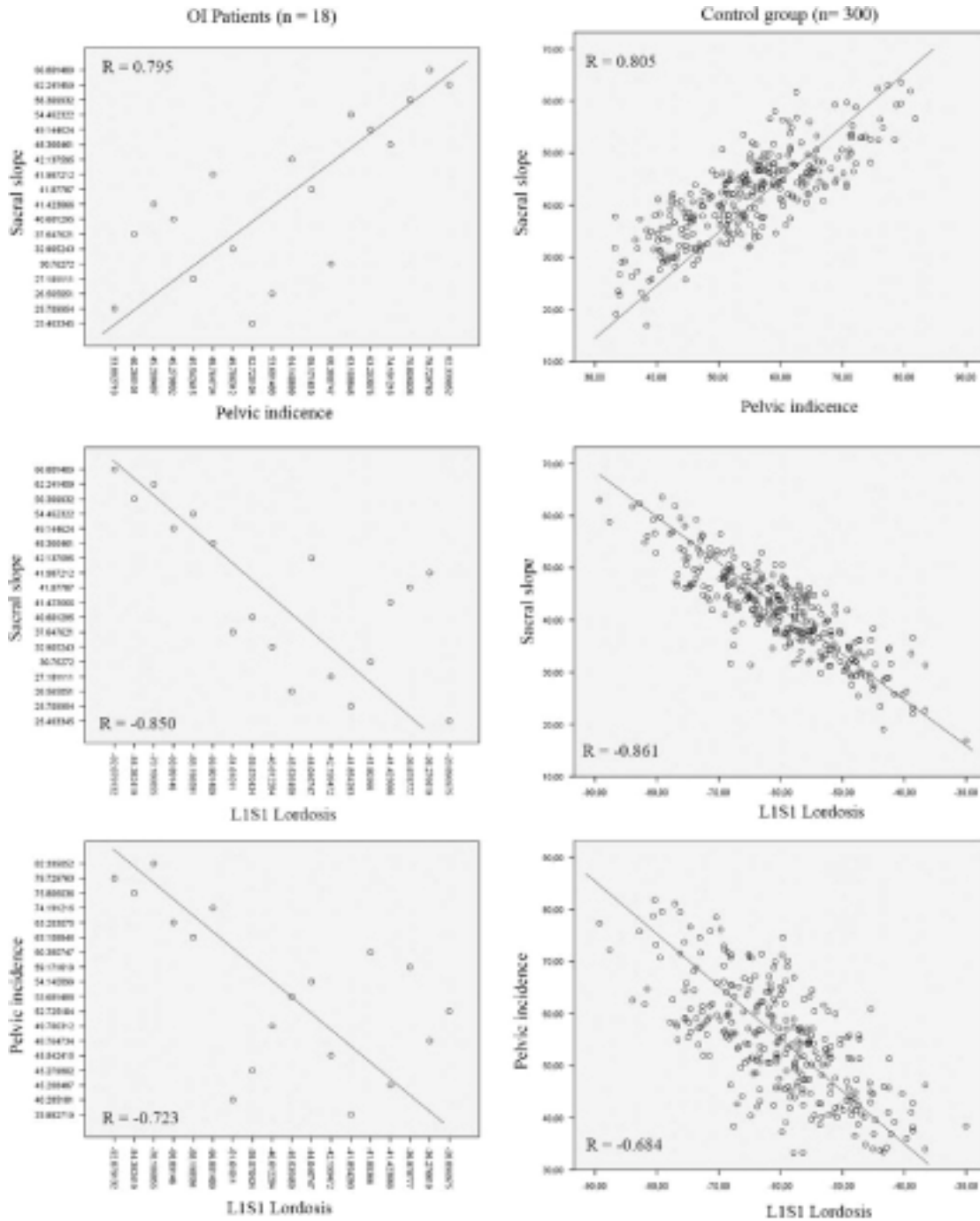
La compréhension de ces phénomènes d'équilibration spino-pelviens est à la base de l'analyse physiopathologique des troubles de l'équilibre du tronc de profil que l'on peut rencontrer chez l'enfant et chez l'adolescent. Nous détaillerons ici les plus typiques qui sont les hypercyphoses thoraciques, les hyperlordoses lombaires et les cyphoses lombosacrées des spondylolisthésis de haut-grade.

3.1 Les hypercyphoses thoraciques

Les hypercyphoses thoraciques peuvent survenir chez l'enfant dans des circonstances pathologiques clairement identifiées. C'est notamment le cas des diverses affections

entraînant des fragilités osseuses, comme l'ostéogénèse imparfaite (1). Les tassements vertébraux étagés sont responsables de déformations en hypercyphose thoracique, notamment dans la portion proximale de la zone de cyphose physiologique. Une diminution de la lordose lombaire est également notée en cas de tassements vertébraux étagés dans la région lombaire. Lorsque ces déformations surviennent chez l'enfant et l'adolescent, les possibilités de compensation au niveau pelvien sont importantes. Il est alors logique de constater une rétroversion pelvienne avec augmentation de la version pelvienne et diminution de la pente sacrée qui permet de compenser le déséquilibre antérieur du tronc et ré-équilibrer le centre de gravité du tronc au dessus de l'aplomb des têtes fémorales. Des possibilités de compensation existent au niveau rachidien mais elles sont peu importantes si le rachis lombaire est déjà le siège de tassements vertébraux. Dans les cas les plus sévères, une compensation est même possible à l'étage sous-pelvien, au prix d'une flexion des hanches et des genoux, permettant de garder un tronc érigé en réduisant son déséquilibre antérieur. Les hypercyphoses thoraciques des ostéogénèses imparfaites constituent un groupe de patients très homogènes avec un trouble souvent isolé de la morphologie rachidienne de profil. A ce titre, les phénomènes mécaniques de compensations ont été très clairement étudiés dans cette population et sont en tout points voisins de ceux qui sont observés dans une population normale, indemne de pathologie rachidienne (1) (Figure 6).

Figure 6 : Etude des corrélations entre paramètres pelviens et rachidiens d'une cohorte de patients porteurs d'une ostéogénèse imparfaite et d'un groupe témoin de 300 patients asymptomatiques.



Comme dans tout processus de déformation progressive en période de croissance, des compensations des secteurs adjacents à la déformation principale permettent de maintenir un « équilibre » même si celui-ci devient moins confortable et moins « économique » sur le plan de la dépense musculaire et énergétique.

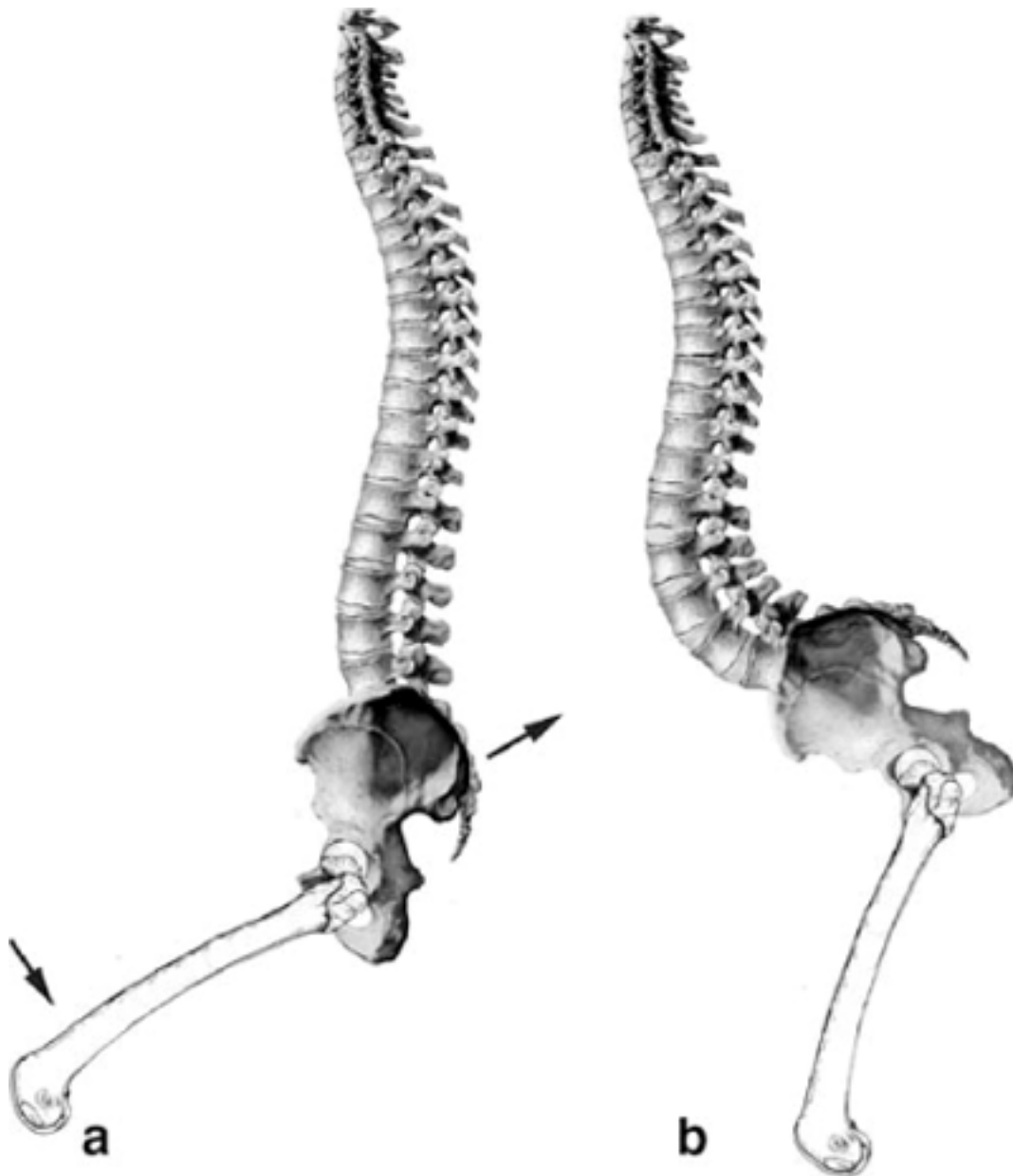
Dans le cas des hypercyphoses thoraciques observées en période de croissance et rentrant dans le cadre des épiphysites vertébrales de croissance (maladie de Scheuermann), l'atteinte

osseuse est généralement limitée au seul secteur thoracique et plus rarement à la région thoraco-lombaire. La compensation du déséquilibre antérieur du tronc se fait par une hyperlordose lombaire compensatrice, parfois mal tolérée et à l'origine de douleurs (13, 22). Il est exceptionnel, dans la mesure où la souplesse du rachis reste bonne en dehors d'épisodes douloureux transitoires, d'observer une compensation pelvienne ou sous-pelvienne du déséquilibre sagittal du tronc. Dans les formes sévères de maladie de Scheuermann avec atteinte de la charnière thoraco-lombaire ou atteinte des vertèbres lombaires, une compensation dans le secteur pelvien au prix d'une rétroversion pelvienne peut être observée (9).

3.2 Les hyperlordoses lombaires

Les hyperlordoses lombaires ne surviennent pas de façon isolée en période de croissance. Elles accompagnent généralement un tableau neurologique évolutif comme dans certaines affections neuromusculaires (paralysies cérébrales, dystrophies musculaires évolutives). Elles sont la conséquence « rachidienne » d'un enraidissement en flexum des articulations coxo-fémorales, toujours dans un contexte plus généralement neuro-orthopédique (19) (Figure 7).

Figure 7 : Constitution d'une hyperlordose lombaire secondaire à un flexum des hanches

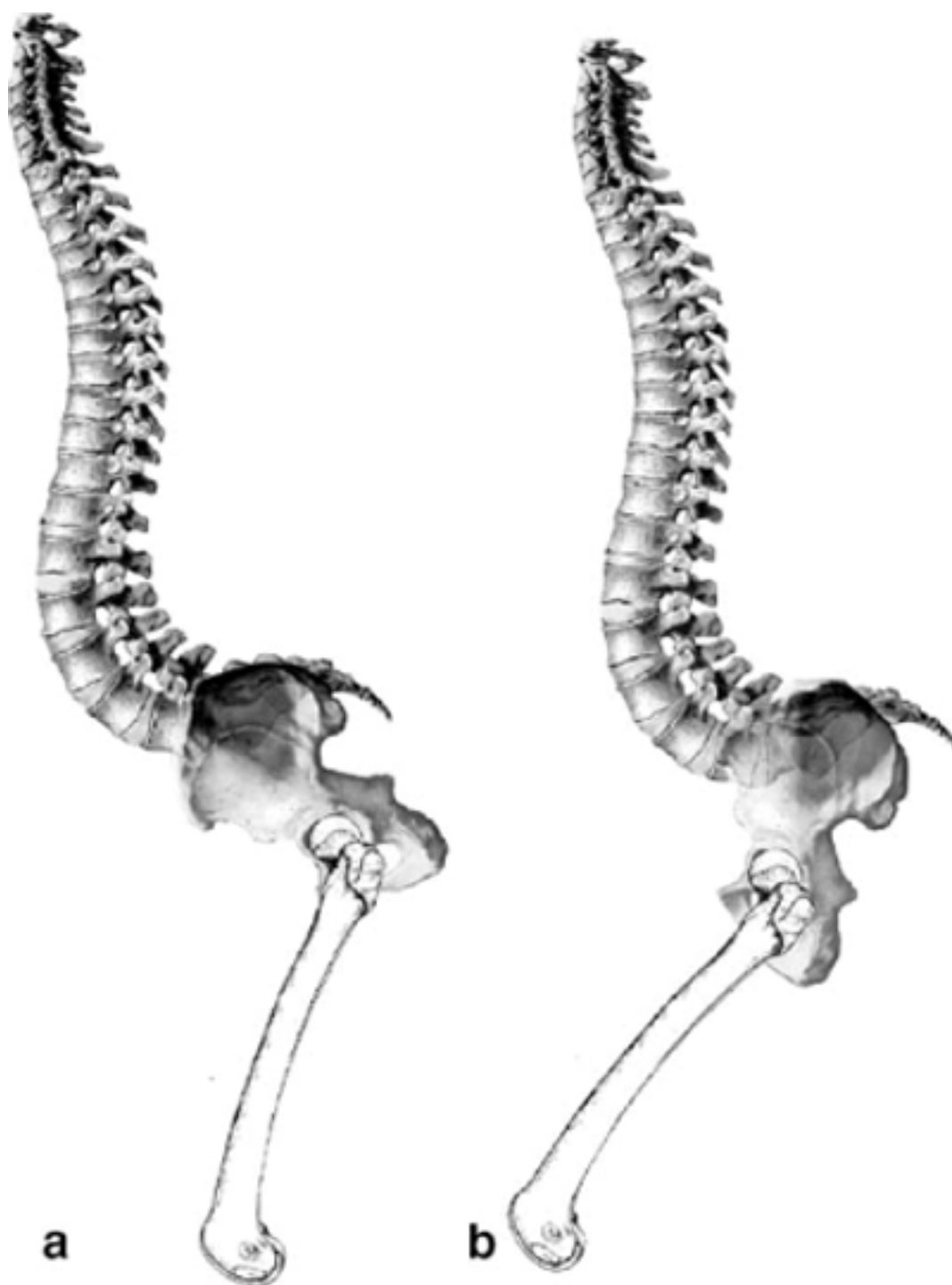


Ces hyperlordoses sont mal tolérées sur le plan fonctionnel car elles sont habituellement douloureuses, soit en raison de phénomènes de contraintes sur les éléments postérieurs des vertèbres lombaires, soit en raison de contractures musculaires para-vertébrales.

A la différence des hypercyphoses thoraciques qui sont des déformations « initialement » rachidiennes, les hyperlordoses lombaires sont le plus souvent des déformations « secondaires » à la survenue d'un enraidissement de la ceinture pelvienne. Elles correspondent donc à un phénomène de compensation rachidien d'une antéversion pelvienne excessive avec une version pelvienne diminuée et une pente sacrée le plus souvent presque

verticale. Quelques rares cas d'hyperlordoses lombaires avec une orientation spatiale conservée du bassin sont documentés. Dans ce cas, on assiste à un mouvement de nutation au sein même des articulations sacro-iliaques permettant l'horizontalisation du sacrum avec le maintien d'une position normale de l'ilium, du pubis et de l'ischion (19) (Figure 8).

Figure 8 : Dans certains cas rares, il est possible d'observer une ré-orientation partielle du pelvis au prix d'un mouvement de nutation des articulations sacro-iliaques



La nécessité de recourir à une correction chirurgicale des hyperlordoses lombaires est fréquente. Cette déformation entraîne en effet à terme des difficultés fonctionnelles majeures tant pour la position assise que pour la déambulation lorsqu'elle est conservée. La discussion chirurgicale doit tenir compte des secteurs de mobilités conservés, ou non, au niveau des hanches. En effet, la correction trop importante de l'hyperlordose lombaire peut entraîner,

dans les cas de flexion de hanches importants, une rétraction problématique des hanches et des difficultés pour maintenir la position assise.

3.3 Les cyphoses lombosacrées des spondylolisthésis de haut-grade.

Si une spondylolyse, le plus souvent asymptomatique, est observée chez 6% des individus, il est exceptionnel que cette anomalie de la charnière lombosacrée débouche sur un glissement antérieur évolutif de L5 avec apparition d'un spondylolisthésis lombo-sacré de haut grade (12).

Sur le plan étiopathogénique, plusieurs auteurs ont incriminé une incidence pelvienne excessive à l'origine de contraintes en cisaillement de la région isthmique de L5 (5, 6, 7, 8, 11, 12, 14, 18). Il est en effet tout à fait clair que l'incidence pelvienne, paramètre pelvien théoriquement fixé pour chaque individu, est très nettement augmenté chez les patients porteurs de spondylolyses et de spondylolisthésis (7, 16). Le lien de causalité directe reste encore du domaine de l'hypothèse d'autant que des facteurs anatomiques locaux (agénésies ou hypoplasies des éléments osseux ou musculaires postérieurs) ainsi que des facteurs micro-traumatiques locaux sont également fréquemment retrouvés (14).

Les spondylolisthésis lombo-sacrés de haut grade sont des lésions exceptionnelles. Ils s'accompagnent d'une cyphose lombo-sacrée strictement développée entre L5 et S1 et qui est responsable de perturbations locales et régionales de l'équilibre sagittal du tronc. L'utilisation des repères radiologiques est difficile dans ces lésions évolutives qui s'accompagnent de remodelages osseux et de troubles de croissance de la cinquième vertèbre lombaire et de la première vertèbre sacrée (17). La seule mesure radiologique fiable est habituellement la mesure de l'angle lombo-sacré (ALS) proposée par Boxall (2) (Figure 9).

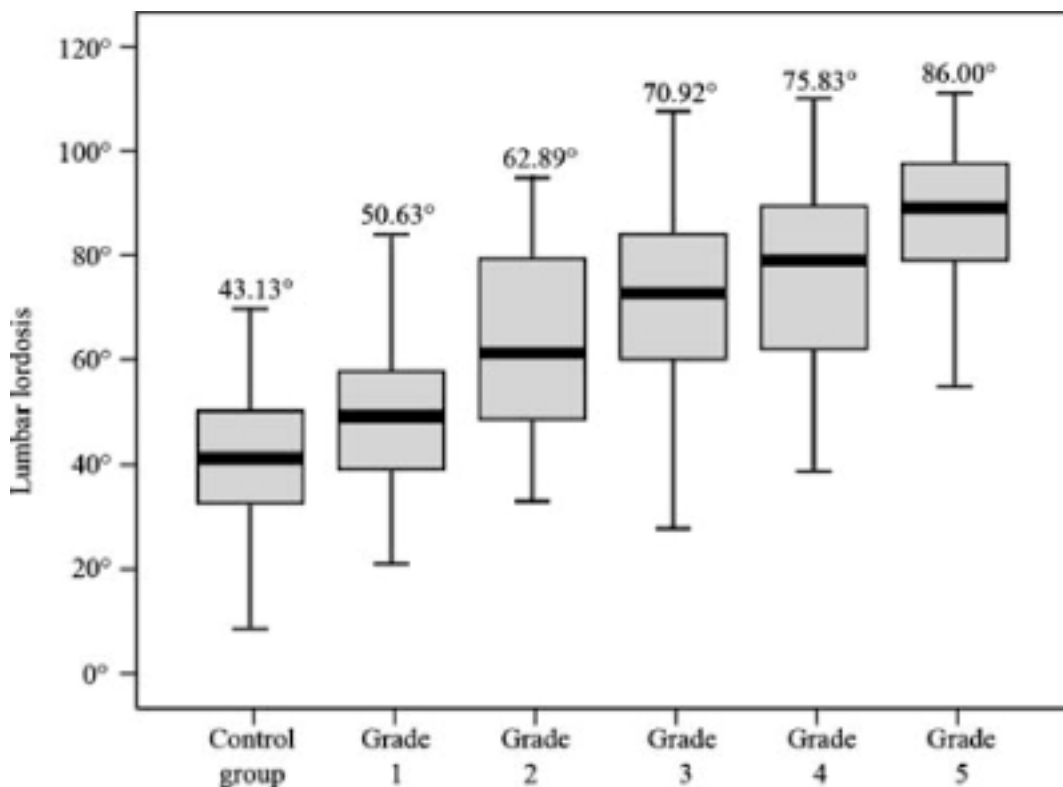
Figure 9 : L'angle lombo-sacré de Boxall permet d'apprécier la cyphose lombo-sacrée (2)



Les cyphoses lombosacrées importantes s'accompagnent de phénomènes d'adaptation de l'orientation pelvienne et des courbures rachidiennes sus-jacentes (18). Une fois le glissement antérieur de L5 amorcé et la cyphose lombosacrée constituée, une rétroversion progressive du bassin se structuralise afin de lutter contre le déséquilibre antérieur du rachis induit par la déformation sus-jacente. Dans un même but, la lordose lombaire augmente, non pas tant par

une accentuation de l'angulation lordotique entre L1 et L5 mais surtout par une extension progressive de la lordose, vers le haut, dans le secteur thoracique inférieur (Figure 10).

Figure 10 : Représentation graphique de la lordose lombaire de 244 patients porteurs de spondylolisthésis en fonction de l'importance du glissement antérieur de L5 comparé à un groupe contrôle de 300 individus sains (18).



Dans les déformations sévères, une attitude en flexion modérée des hanches et des genoux est également possible, permettant en association avec les phénomènes compensatoires au niveau pelvien et rachidien, de maintenir un équilibre global du tronc relativement correct. Sur le plan purement sémantique et géométrique, on ne peut donc pas parler de « déséquilibre » du tronc, y compris pour ces formes sévères de spondylolisthésis (18). En effet, les différents moyens de compensation musculo-squelettiques mis en œuvre permettent de garder une cohérence à la position érigée. Toutefois, l'ampleur des modifications structurales nécessaires

est rarement bien tolérée et ces déformations rachidiennes sont pratiquement toujours symptomatiques.

Le traitement chirurgical de ces déformations rachidiennes reste très controversé dans la littérature. Les partisans de la « réduction de la déformation » s'opposent aux défenseurs d'une fixation « en place » de la cyphose lombosacrée et du glissement antérieur de L5. Dans la mesure où la cyphose lombosacrée est responsable de la quasi-totalité des modifications structurales adjacentes, il semble raisonnable de proposer un traitement chirurgical permettant de corriger au mieux l'angle lombo-sacré (3, 15, 21). Les techniques chirurgicales toujours plus performantes et ambitieuses demeurent risquées avec un taux de près de 30% de complications radiculaires, fort heureusement régressives (15, 21). Les patients doivent être avertis des objectifs mais également des risques de cette chirurgie.

4. Conclusion

La connaissance du profil rachidien physiologique est une avancée majeure de ces dix dernières années en matière de prise en charge des affections de la colonne vertébrale. Elle ne se limite pas qu'aux seules courbures lombaires, thoraciques et cervicales mais nécessite d'appréhender le tronc dans son ensemble avec une vision plus globale incluant le pelvis et les membres inférieurs.

Chez l'enfant et l'adolescent, la grande flexibilité du tronc et des articulations au sens large permettent de développer des stratégies de compensation à bien des déséquilibres rachidiens pathologiques. Les déformations sévères nécessitent des traitements conservateurs par corset chez l'enfant jeune et parfois des traitements chirurgicaux à l'adolescence. Préalablement à toute ambition thérapeutique, une analyse globale de l'équilibre du tronc, incluant l'examen des membres inférieurs, doit être réalisée. Cette analyse est avant tout radiologique mais

également clinique afin de bien définir l'ampleur du problème et proposer le traitement le plus adapté à chaque cas.

Références

1. Abelin K, Vialle R, Lenoir T, et al. The sagittal balance of the spine in children and adolescents with osteogenesis imperfecta. *Eur Spine J* 2008;17:1697-704.
2. Boxall D, Bradford DS, Winter RB, et al. Management of severe spondylolisthesis in children and adolescents. *J Bone Joint Surg Am* 1979;61:479-95.
3. Bridwell KH. Surgical treatment of high-grade spondylolisthesis. *Neurosurg Clin N Am* 2006;17:331-8, vii.
4. Dickson RA. The aetiology of spinal deformities. *Lancet* 1988;1:1151-5.
5. Hanson DS, Bridwell KH, Rhee JM, et al. Correlation of pelvic incidence with low- and high-grade isthmic spondylolisthesis. *Spine (Phila Pa 1976)* 2002;27:2026-9.
6. Labelle H, Roussouly P, Berthonnaud E, et al. The importance of spino-pelvic balance in L5-s1 developmental spondylolisthesis: a review of pertinent radiologic measurements. *Spine (Phila Pa 1976)* 2005;30:S27-34.
7. Labelle H, Roussouly P, Berthonnaud E, et al. Spondylolisthesis, pelvic incidence, and spinopelvic balance: a correlation study. *Spine (Phila Pa 1976)* 2004;29:2049-54.

8. Labelle H, Roussouly P, Chopin D, et al. Spino-pelvic alignment after surgical correction for developmental spondylolisthesis. *Eur Spine J* 2008;17:1170-6.
9. Loder RT. The sagittal profile of the cervical and lumbosacral spine in Scheuermann thoracic kyphosis. *J Spinal Disord* 2001;14:226-31.
10. Mac-Thiong JM, Berthonnaud E, Dimar JR, 2nd, et al. Sagittal alignment of the spine and pelvis during growth. *Spine (Phila Pa 1976)* 2004;29:1642-7.
11. Mac-Thiong JM, Wang Z, de Guise JA, et al. Postural model of sagittal spino-pelvic alignment and its relevance for lumbosacral developmental spondylolisthesis. *Spine (Phila Pa 1976)* 2008;33:2316-25.
12. Marty C, Boisaubert B, Descamps H, et al. The sagittal anatomy of the sacrum among young adults, infants, and spondylolisthesis patients. *Eur Spine J* 2002;11:119-25.
13. Milet A, Pannier S, Vialle R, et al. [Kyphosis and kyphotic posture in children and adolescents]. *Rev Prat* 2006;56:157-64.
14. Vialle R, Benoist M. High-grade lumbosacral spondylolisthesis in children and adolescents: pathogenesis, morphological analysis, and therapeutic strategy. *Joint Bone Spine* 2007;74:414-7.

15. Vialle R, Charosky S, Padovani JP, et al. Surgical treatment of high-grade lumbosacral spondylolisthesis in childhood, adolescent and young adult by the "double-plate" technique: a past experience. *Eur Spine J* 2006;15:1210-8.
16. Vialle R, Dauzac C, Khouri N, et al. Sacral and lumbar-pelvic morphology in high-grade spondylolisthesis. *Orthopedics* 2007;30:642-9.
17. Vialle R, Ilharreborde B, Dauzac C, et al. Intra and inter-observer reliability of determining degree of pelvic incidence in high-grade spondylolisthesis using a computer assisted method. *Eur Spine J* 2006;15:1449-53.
18. Vialle R, Ilharreborde B, Dauzac C, et al. Is there a sagittal imbalance of the spine in isthmic spondylolisthesis? A correlation study. *Eur Spine J* 2007;16:1641-9.
19. Vialle R, Khouri N, Glorion C, et al. Lumbar hyperlordosis of neuromuscular origin: pathophysiology and surgical strategy for correction. *Int Orthop* 2007;31:513-23.
20. Vialle R, Levassor N, Rillardon L, et al. Radiographic analysis of the sagittal alignment and balance of the spine in asymptomatic subjects. *J Bone Joint Surg Am* 2005;87:260-7.
21. Vialle R, Miladi L, Wicart P, et al. [Surgical treatment of lumbosacral spondylolisthesis with major displacement in children and adolescents: a continuous series of 20 patients with mean 5-year follow-up]. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 2005;91:5-14.

22. Zaina F, Atanasio S, Ferraro C, et al. Review of rehabilitation and orthopedic conservative approach to sagittal plane diseases during growth: hyperkyphosis, junctional kyphosis, and Scheuermann disease. *Eur J Phys Rehabil Med* 2009;45:595-603.