

Les bases de l'analyse de l'équilibre sagittal

Laurence Mainard-Simard Radiopédiatre Service de radiologie pédiatrique Hôpital d'enfants CHU-NANCY

Didier Fort Médecin de Médecine Physique et de Réadaptation, spécialiste du Rachis - NANCY

Le corps humain est soumis à 2 types de forces antagonistes, la gravité et la force de réaction du sol qui s'annulent quand l'équilibre sagittal et coronal sont normaux. Tout déséquilibre engendre un moment de force qui doit être compensé pour permettre à l'individu de se maintenir en équilibre d'où l'apparition de contraintes biomécaniques préjudiciables aux disques intervertébraux ou aux articulations postérieures. L'enfant ou l'adolescent peut être asymptomatique ou développer des pathologies allant de la douleur posturale simple à la douleur organique liées aux microtraumatismes répétés.

Connaître les bases de l'organisation rachidienne sagittale normale est indispensable :

2. pour mettre en évidence les facteurs favorisant certaines pathologies rachidiennes de l'enfant et de l'adolescent comme la dystrophie rachidienne de croissance ou la lyse isthmique.
3. pour identifier les déséquilibres posturaux occasionnant des douleurs rachidiennes non organiques ce qui permet de les traiter et prévenir ainsi la survenue de lésions dégénératives précoces. Si ces défauts ne sont pas dépistés, analysés et traités, ils peuvent persister et s'accroître pendant toute la croissance. Ainsi un défaut initialement postural se structure, et devient permanent, irréductible. L'excès de contraintes mécaniques, générateur de douleurs rachidiennes favorise la survenue de lésions dégénératives précoces, accentuant le vieillissement rachidien normal.
4. pour tendre vers un équilibre sagittal optimal lors de la prise en charge de scoliose que ce soit par l'intermédiaire d'un traitement orthopédique ou d'un traitement chirurgical. Le but étant d'obtenir des courbures sagittales harmonieuses, garanties d'une répartition équitable des contraintes mécaniques.

Les connaissances relatives à l'équilibre sagittal et aux paramètres radiologiques de l'organisation rachidienne sagittale se sont développées au cours des quinze dernières années. A chaque extrémité de la colonne, la morphologie de la base du crâne représentée par l'angle d'incidence crânienne et la morphologie du bassin déterminée par l'angle d'incidence pelvienne constituent les 2 clés de l'organisation architecturale rachidienne. Ces paramètres morphologiques participent à la notion de complexe crânio-cervico-facial et fémoro-lombo-pelvien, les deux étant unis par le rachis thoracique.

Le rôle de la morphologie du bassin dans l'organisation sagittale individuelle a été le premier mis en évidence et sa connaissance est la plus aboutie actuellement. Dans les années 1990-1998, Duval-Beaupère et Legaye (1, 2, 3) développent la notion de variation individuelle des courbures rachidiennes sagittales, traduisant la diversité de la normalité. Il n'y a plus d'angles de cyphose ou de lordose normaux, chaque individu a des angles propres qui sont définis par la forme de son bassin. Ils

démontrent le rôle essentiel du bassin dans l'organisation des courbures sagittales grâce à la chaîne de corrélation significative entre l'incidence pelvienne, les paramètres pelviens positionnels que sont la version pelvienne et la pente sacrée et la lordose lombaire.

Ces paramètres radiologiques sont unis par une cascade de corrélations puissantes. Les lois mises en évidence sont identiques chez l'homme et la femme, et chez l'enfant et l'adulte (4). La normalité est définie par une adéquation entre la forme anatomique du bassin, le positionnement pelvien et l'agencement des courbures rachidiennes sus-jacentes.

L'analyse de l'équilibre sagittal de base se fait par la mesure des paramètres pelviens (incidence pelvienne, version pelvienne, pente sacrée), de la lordose lombaire et la cyphose thoracique. En pratique quotidienne l'incidence crânienne, les paramètres positionnels crâniens et la lordose cervicale sont principalement utilisés par les orthodontistes et les spécialistes des pathologies maxillo-faciales.

Les paramètres pelviens, la cyphose et la lordose sont variables d'un individu à un autre tout en étant très liés à l'intérieur d'un morphotype normal. La corrélation entre la lordose lombaire et la pente sacrée est très forte ainsi quand l'incidence pelvienne augmente, la pente sacrée augmente ce qui induit une augmentation de la lordose. La normalité est diverse. Trois principaux morphotypes traduisent l'organisation rachidienne sagittale physiologique : plat, galbé et hyper-galbé selon Roussouly (5). Ces morphotypes sont définis sur des critères radiologiques tels que l'importance de la pente sacrée ($<35^\circ$, $35^\circ < PS < 45^\circ$, $>45^\circ$) et la topographie du sommet de la lordose lombaire (en L5, L4). Il existe un lien entre ces différents morphotypes et l'importance de l'incidence pelvienne.

On y adjoint des paramètres traduisant le positionnement du tronc par rapport au bassin (gîte sagittale en T9, gîte sagittale en T1 et aplomb de C7) et un paramètre correspondant à l'axe des fémurs par rapport au sacrum (angle pelvi-fémoral). Ces paramètres mesurent l'alignement global du tronc.

Ces mesures sont réalisées à partir d'une radiographie de profil étendue des conduits auditifs jusqu'au 1/3 proximal des fémurs. Les paramètres d'acquisitions doivent être déterminés au plus juste, ce type de cliché couvre une large surface et expose en direct des organes sensibles, la thyroïde, les glandes mammaires, la moelle osseuse et les organes génitaux. Ces clichés ne doivent être réalisés qu'après un examen clinique soigneux et sur une présomption pathologique bien argumentée. Le système EOS microdose doit être privilégié si on en dispose.

LES PARAMETRES DE L'EQUILIBRE SAGITTAL :

- L'incidence pelvienne (Figure 1) : décrit par Duval-Beaupère et Legaye (2,3), est un paramètre anatomique, considéré comme constant pour un individu donné à partir de la fin de la croissance, Mac-Thiong considère que l'IP augmente au cours de la croissance (6,7). Si la valeur moyenne est d'environ 52° à l'âge adulte, la distribution est réalisée selon une loi normale de type gaussienne, avec des valeurs extrêmes comprises entre 15° et 100° .

Il traduit la morphologie pelvienne, et les rapports anatomiques entre le sacrum et les os iliaques par l'intermédiaire des articulations coxo-fémorales. Cet angle est mesuré à partir de la droite perpendiculaire au plateau sacré en son milieu et la droite qui unit le milieu du plateau sacré à la projection sagittale du centre de la ligne qui unit les 2 articulations coxo-fémorales c'est-à-dire le centre des têtes fémorales ou au centre de la droite qui unit le centre des 2 têtes fémorales si le bassin n'est pas strictement de profil.

- La version pelvienne (Figure 2) : ce paramètre positionnel traduit le positionnement relatif des articulations coxo-fémorales par rapport au sacrum. C'est l'angle formé par la droite verticale passant par le milieu des têtes fémorales et le milieu du plateau sacré. La mesure est positive lorsque le sacrum est situé en arrière des articulations coxo-fémorales, elle est négative lorsque le sacrum est situé en avant.

- La pente sacrée (Figure 3) : ce paramètre positionnel correspond à l'obliquité du plateau sacré par rapport à l'horizontale. En situation d'antéversion pelvienne, la pente sacrée est accentuée par rapport à la valeur théorique idéale imposée par la valeur d'incidence pelvienne, alors qu'en cas de rétroversion pelvienne, la pente du sacrum est diminuée par rapport à la valeur idéale, en adéquation avec la morphologie pelvienne.

- Ces 3 angles sont complémentaires : Incidence pelvienne = Pente Sacrée + Version Pelvienne

- La lordose lombaire (Figure 4) : est mesurée classiquement entre le plateau supérieur de L1 et le plateau du sacrum. La lordose dite maximum reflète mieux la réalité, c'est l'angle formé par le plateau du sacrum (S1) et le plateau supérieur de la vertèbre la plus inclinée par rapport à l'horizontale.

- La cyphose thoracique (Figure 5) : est mesurée classiquement entre le plateau supérieur de T1 ou de T4 et le plateau inférieur de T12. Mais la cyphose est au mieux mesurée en prenant comme repères les deux vertèbres les plus inclinées par rapport à l'horizontale et en indiquant la vertèbre limite supérieure et la vertèbre limite inférieure, la cyphose ainsi mesurée est dite cyphose maximum.

- La gîte sagittale en T9 - GST9 (Figure 6) : C'est l'angle formé par la droite verticale passant par le centre des articulations coxofémorales, et la droite unissant le milieu des articulations coxo-fémorales au milieu de la 9^{ème} vertèbre thoracique. La mesure est considérée comme positive lorsque T9 se situe en arrière des articulations coxo-fémorales, elle est négative lorsque T9 se situe en avant. La valeur normale de GST9 est relativement constante, et est aux environs de 10°. Elle est particulièrement sensible à l'accentuation de la cyphose thoracique, et traduit la bascule postérieure du tronc.

- La gîte sagittale en T1 - GST1 (Figure 7) : traduit le positionnement relatif de la 1^{ère} vertèbre thoracique par rapport aux articulations coxo-fémorales. C'est l'angle formé par la verticale passant par les coxo-fémorales, et la droite qui unit le milieu des coxo-fémorales au milieu de la vertèbre T1. La mesure est positive lorsque la vertèbre T1 est située en arrière des articulations coxo-fémorales, et est négative lorsque T1 est positionnée en avant. D'après Vialle (8), la valeur normale est de 1,35° +/- 2,7.

- L'aplomb de C7 ou C7 plumb line - C7 PL (Figure 8) : également nommé axe vertical sagittal (sagittal vertical axis – SVA), il traduit le positionnement relatif de la 7^{ème} vertèbre cervicale par rapport à l'angle postéro-supérieur du sacrum. Il s'agit d'une distance horizontale (exprimée en millimètre), mesurée à partir de la projection verticale de C7 (9,10,11). La mesure est positive lorsque C7 est située en arrière du sacrum, elle est négative lorsque C7 est en avant. La valeur normale de SVA est de 0 +/- 5,0 cm.

- L'angle pelvi-fémoral (Figure 9) : défini par Mangione (12), cet angle traduit le positionnement relatif dans le plan sagittal des membres inférieurs par rapport au sacrum. Il est mesuré à partir de la droite reliant le milieu du plateau sacré au milieu des articulations coxo-fémorales, et la droite partant du milieu des coxo-fémorales, parallèle à la diaphyse fémorale (l'axe fémoral est mesuré en joignant deux points centro-diaphysaires espacés de dix centimètres ; le point proximal étant situé en regard du petit trochanter). La diaphyse fémorale est habituellement verticale (180°), et il faut ajouter la valeur de la version pelvienne, et la valeur moyenne normale est de 191° +/- 7°.

Les paramètres pelviens, la cyphose et la lordose sont variables d'un individu à un autre tout en étant très liés à l'intérieur d'un morphotype normal. La corrélation entre la lordose lombaire et la pente sacrée est très forte ainsi la modification d'un paramètre de cause posturale ou organique (lésion traumatique, tumorale...) va par effet papillon modifier tout l'équilibre sagittal.

Les ostéopathes Janda et Key (13) ont défini principalement deux morphotypes sagittaux posturaux pathologiques, volontiers associés à des phénomènes douloureux rachidiens. Le morphotype PPXS (Posterior Pelvic Crossed Syndrome) avec antéversion pelvienne et hyperlordose lombaire, et le morphotype APXS (Anterior Pelvic Crossed Syndrome), avec bascule postérieure du tronc, abaissement du sommet de la cyphose et lordose courte. Les phénomènes douloureux sont liés à la répartition inéquitable des contraintes mécaniques, qui sont excessives au niveau des articulations zygapophysaires en situation d'hyperlordose avec antéversion pelvienne, et au niveau des charnières lombo-pelviennes, thoraco-lombaires en situation de bascule postérieure du tronc.

Un rachis normal est un rachis harmonieux, tant sur le plan clinique, morphologique que dans son fonctionnement mécanique. Lorsque le positionnement pelvien n'est pas celui attendu et imposé par la forme du bassin (bassin antéversé ou rétroversé), lorsque les courbures rachidiennes ne sont pas en adéquation avec l'incidence pelvienne (hyper ou hypolordose lombaire, hypercyphose, dos plat thoracique), les contraintes mécaniques sont mal réparties, excessives en avant ou en arrière selon le défaut observé. La connaissance des différents morphotypes normaux, des valeurs des courbures rachidiennes idéales permet de décrire, d'objectiver et de quantifier les situations pathologiques.

- 1- Duval-Beaupère G, Schmitt C, Cosson P (1992) A barycentrometric study of the sagittal shape of spine and pelvis : the conditions required for economic standing position. *Annals of Biomedical Engineering* 20: 451-462
- 2- Legaye J, Duval-Beaupère G, Hecquet J, Marty C (1998) Pelvic incidence: a fundamental pelvic parameter for three-dimensional regulation of spinal sagittal curves. *Eur Spine J.* 7 : 99-103
- 3- Legaye J, Hecquet J, Marty C, Duval-Beupère G (1993) Equilibre sagittal du rachis. Relations entre bassin et courbures rachidiennes sagittales en position debout. *Rachis* 5: 215-226
- 4- Mac-Thiong JM, Labelle H, Berthonnaud E, Betz RR, Roussouly P (2007) Sagittal spinopelvic balance in normal children and adolescents. *Eur Spine J.* 16: 227-23
- 5- Roussouly P, Gollogly S, Berthonnaud E, Dimnet J (2005) Classification of the normal variation in the sagittal alignment of the human lumbar spine and pelvis in the standing position. *Spine* 30/3: 346-353
- 6- Mac-Thiong JM, Berthonnaud E, Dimar J, Betz RR, Labelle H (2004) Sagittal alignment of the spine and pelvis during growth. *Spine* 29/15: 1642-1647
- 7- Mangione P, Gomez D, Senegas J (1997) Study of the course of the incidence angle during growth. *Eur Spine J.* 6: 163-167
- 8- Vialle R, Levassor N, Rillardon L, Templier A, Skalli W, Guigui P. (2005) Radiographic analysis of the sagittal alignment and balance of the spine in asymptomatic subjects. *J Bone Joint Surg*, 87A, 2, 260-267

- 9- Roussouly P, Gollogly S, Nosedo O, Berthonnaud E, Dimnet J (2006) The vertical projection of the sum of the ground reactive forces of a standing patient is not the same as the C7 plumb line. *Spine* 31/11, E320-E325
- 10- Schwab F, Lafage V, Boyce R, Skalli W, Farcy JP (2006) Gravity line analysis in adult volunteers. Age-related correlation with the spinal parameters, pelvic parameters, and foot position. *Spine* 31/25: E959-E967
- 11- Vedantam R, Lenke LG, Keeney JA, Bridwell KH (1998) Comparison of standing sagittal spinal alignment in asymptomatic adolescents and adults. *Spine* 23/2: 211-215
- 12- Mangione P, Sénégas J (1997) L'équilibre rachidien dans le plan sagittal. *Rev Chir Orthop* 83: 22-32
- 13- Key J, Clift A, Condie F, Harley C. (2008) A model of movement dysfunction provides a classification system guiding diagnosis and therapeutic care in spinal pain and related musculoskeletal syndromes: A paradigm shift—Part 2. *J Bodywork & Movement Therapies* 12, 105–120



