

L'équilibre sagittal du rachis cervical sur une population asymptomatique : Nouveaux paramètres et valeurs standards

Sagittal parameters of cervical global balance. Normative values from a prospective cohort of asymptomatic volunteers

JC Le Huec, H Demezou, S Aunoble

Unité d'orthopédie traumatologie Rachis II, Pôle chirurgie, CHU Pellegrin, Place Amélie Raba-Léon, 33000 Bordeaux
Université de Bordeaux, 33076 Bordeaux

Mots clés

- ◆ Rachis cervical
- ◆ Lordose cervicale
- ◆ Asymptomatique
- ◆ Cyphose cervicale
- ◆ Angle spino cranial
- ◆ Pente de C7

Résumé

Objectif. Définir des paramètres de référence d'analyse de l'équilibre sagittal du rachis cervical dans une population asymptomatique.

Méthode. Etude prospective, transversale, monocentrique avec accord du comité de bioéthique et utilisation du système radiographique basse dose EOS (EOS Imaging, Paris, France) Le caractère asymptomatique était jugé par le score d'Oswestry et une échelle visuelle analogique. 106 sujets inclus dont 55,66 % masculin. Les paramètres mesurés sont : incidence pelvienne (PI), version pelvienne (PV), pente sacrée (SP) et les paramètres rachidiens de courbure thoracique et lombaire de lordose L1S1, L1L5, et cyphose T1T12 et T4T12. La position de la verticale abaissée de C7 et l'angle spino-sacré. La pente et le tilt de C7 et C2 ainsi que des nouveaux paramètres ont été mesurés : l'incidence crânienne par rapport à la ligne de Mc Gregor et la selle turcique permettant de définir version et pente crânienne. Enfin un angle de mesure intrinsèque du rachis cervical a été décrit : l'angle spino cranial (SCA).

Résultats. Cette étude a permis de mettre en évidence une forte corrélation entre la pente de C7 et le système crânio-cervical. L'équilibre sagittal économique dans une population de sujets asymptomatiques est défini par un angle SCA constant de $83\pm 9^\circ$. Pour maintenir cet équilibre, un rachis avec une forte pente de C7 sera lordosé et inversement. L'incidence crânienne était un paramètre anatomique caractéristique du complexe crânio-cervical et permettait d'analyser le positionnement spatial de la tête et de prédire la valeur souhaitable de la lordose cervicale.

Conclusion. La notion de lordose cervicale physiologique a été totalement modifiée par ce travail car un tiers de la population asymptomatique a un rachis cervical en cyphose. Les résultats de cette étude pourraient servir de base de travail à l'étude de l'équilibre sagittal avant et après un geste d'arthrodèse ou de prothèse cervicale car la position de référence du rachis cervical devrait s'intégrer dans l'ensemble de l'analyse du rachis.

Keywords

- ◆ Cervical spine
- ◆ Sagittal balance
- ◆ Asymptomatic
- ◆ Cranial incidence
- ◆ Spino-cranial angle
- ◆ C7 slope

Abstract

Objective. Our objective was to define reference parameters to analyse sagittal balance of the cervical spine in a population of asymptomatic volunteers.

Material and methods. After having obtained approval from the bioethics committee, we conducted a prospective, transversal, single center study using a low-dose radiographic system (EOS Imaging, Paris, France). Absence of pain was assessed using the Oswestry Disability Questionnaire and a visual analogue scale. A total of 106 subjects were included (55.66% men). The parameters measured were: pelvic incidence (PI), pelvic version (PV), sacral slope (SS), thoracic and lumbar curves, the position of the C7 plumb line and the spino-sacral angle (SSA). The C7 slope, together with new parameters, was measured: cranial incidence, defined in relation to the McGregor line and the sella turcica, made it possible to define cranial slope and version. Finally, an intrinsic angle of measurement of the cervical spine was described: the spino-cranial angle (SCA).

Results. The study evidenced a strong correlation between the C7 slope and the craniocervical system. Economic sagittal balance in a population of asymptomatic subjects was defined by a constant SCA angle of $83\pm 9^\circ$. To maintain this balance, a spine with a marked C7 slope will present lordosis and vice versa. Cranial incidence is an anatomical parameter characteristic of the craniocervical complex which makes it possible to analyse the spatial positioning of the head and to predict the desired value of cervical lordosis which is strongly correlated to cranial slope.

Conclusion. The C7 slope has a predictive value of the shape of the cervical spine in the sagittal plane. Our research has completely modified the notion of physiological cervical lordosis, since one third of the asymptomatic population had kyphosis of the cervical spine. The results of our study could be used to study sagittal balance before and after arthrodesis or cervical disc prosthesis because the reference position of the cervical spine should be integrated into a complete analysis of the spine.

Correspondance :

Pr Jean-Charles Le Huec

Unité d'orthopédie traumatologie Rachis II, Pôle chirurgie, CHU Pellegrin, Place Amélie Raba-Léon, 33000 Bordeaux

E-mail : j-c.lehuec@u-bordeaux2.fr

Disponible en ligne sur www.acad-chirurgie.fr

1634-0647 - © 2013 Académie nationale de chirurgie. Tous droits réservés.

L'être humain a été le seul vertébré à maintenir une position debout, totalement verticale en position bipodale (1). Le complexe spino-pelvien a joué un rôle important dans l'acquisition du bipédisme. Contrairement aux autres vertébrés, le rachis humain comportait plusieurs courbes successives et opposées qui permettaient au tronc de réaliser la position érigée. Les relations entre l'orientation du *foramen magnum* et le rachis cervical étaient importantes à analyser (2) dans l'évolution des transformations morphologiques. Akçam et Köklü (3) avaient montré, sur un échantillon de 99 adultes (âgés de 21,8 ans en moyenne) que la posture naturelle de la tête était la même quelle que soit la forme du crâne (hyperbrachycéphale, brachycéphale, mésocéphale ou dolychocéphale, déterminés par l'index céphalique). Berthonnaud et al. (4) avaient montré que la cyphose thoracique était associée à une inclinaison antérieure (en haut et en avant) de la colonne thoracique et de la colonne cervicale. Helsing et al. (5) en avait déduit que la colonne thoracique se prolongeait jusque dans la colonne cervicale basse (C4 à C6). Par ailleurs Zepa et al. (6) avait montré une liaison entre l'extension de l'atlas et l'inclinaison antérieure de la colonne cervicale. L'amplitude de la lordose cervicale serait liée à la posture thoracique pour la majorité des auteurs mais pour Berthonnaud et al. (4), ces deux variables évoluaient dans le même sens, alors que pour Helsing et al. (7) il n'y avait pas de relation. Ces conclusions divergentes nous ont amené à effectuer une étude princeps sur une série de sujet asymptomatique pour pouvoir établir des standards.

L'objectif de ce travail a été d'analyser les paramètres d'équilibre du complexe crânio-rachidien et de rappeler les paramètres lombo-pelviens dans une population asymptomatique ayant accepté de participer à une étude prospective clinique et radiologique ayant reçu l'approbation du comité d'éthique de notre institution. Roussouly (8-10) a montré qu'un équilibre économique thoraco-lombaire nécessitait des paramètres positionnels de la chaîne verticale normalement corrélés à l'incidence pelvienne du sujet, faute de quoi des efforts musculaires d'équilibration deviennent nécessaires. L'ensemble des études mené montrait que l'incidence pelvienne était la clé de l'équilibre du complexe lombo-pelvien (11). Par construction analogue nous avons défini un autre paramètre morphologique fondamental de l'équilibre sagittal, pour analyser le rachis cervical qui était le dernier élément d'adaptation pour maintenir l'équilibre de la boîte crânienne.

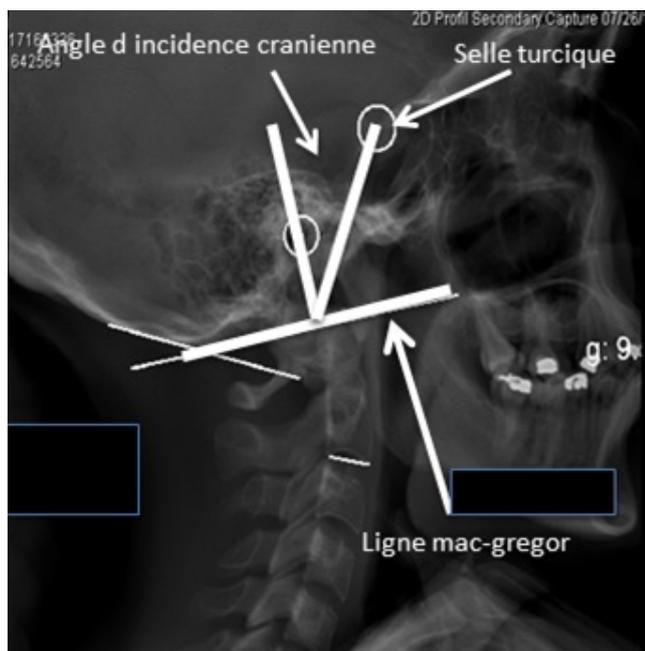


Figure 1 : Construction de l'incidence crânienne.

Matériels et méthode

Population

Cette étude prospective, transversale, monocentrique a été réalisée à l'université Bordeaux Segalen, pendant 12 mois. Un accord du comité de bioéthique a été obtenu dans le cadre d'un programme hospitalier public de recherche clinique nommé (EOSDATABASE). L'utilisation du système radiographique basse dose EOS (EOS Imaging, Paris, France) a permis d'obtenir l'approbation du fait de la basse dose d'irradiation. Les consentements éclairés ont été obtenus pour 106 sujets sains. Le caractère asymptomatique de la population était jugé par l'analyse de deux paramètres : un score d'Oswestry (12) qui devait être inférieur à 20 et une échelle visuelle analogique de la douleur rachidienne qui devait être inférieure à 2/10. Ces volontaires furent répartis en trois tranches d'âge : de 18 à 30 ans (48,11 %), de 30 à 50 ans (25,47 %) et au-delà de 50 ans (26,42 %). L'âge moyen était de 38,03 ans (extrêmes : 18-76). On retrouvait une légère prédominance de sujets masculins avec 55,66 % de l'effectif. Les critères d'inclusion et d'exclusion ont été notés dans le tableau I.

Analyse radiologique

Tous les patients ont subi un examen radiologique EOS dans une position debout standardisée décrite par Morvan (13). Le regard était maintenu horizontal grâce à l'utilisation d'un miroir pour stabiliser la vision. Tous les sujets avaient le bout des doigts posés sur les clavicules car cette position permettait de ne pas modifier les paramètres d'équilibre du complexe lombo-pelvien (13) tout en éliminant la superposition des *humérus* sur le rachis de profil. Le système EOS permettait l'acquisition de deux clichés orthogonaux simultanée incluant le crâne, les têtes fémorales et les genoux. Les radiographies étaient ensuite modélisées grâce au logiciel sterEOS (EOS imaging, Paris France, version 1.4.5). Cette modélisation permettait une analyse tridimensionnelle du rachis en éliminant les erreurs de mesure liées à une éventuelle rotation du bassin. En effet les mesures des paramètres d'équilibre au niveau du bassin devaient se faire avec deux têtes fémorales superposées pour éviter toute erreur de mesure. Les mesures

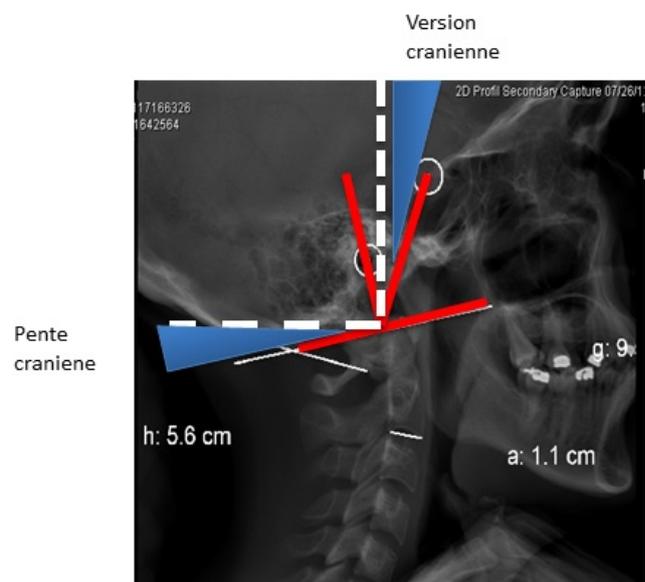


Figure 2 : Pente crânienne, version crânienne et incidence.

Critères d'inclusion	Critères d'exclusion
- Hommes ou femmes sous contraceptif efficace (si non ménopausées)	- Sujet ayant un suivi de dos ou un mal de dos régulier
- Sujets âgés de plus de 18 ans et de moins de 80 ans	- Sujet présentant une pathologie des membres inférieurs pouvant avoir un retentissement sur le rachis telle qu'une inégalité de longueur des membres ou un cas de <i>flessum</i>
- EVA < 2 pour le rachis (lombaire et radiculaire)	- Femme enceinte ou allaitante
- Score de l'échelle OSWESTRY ≤ 20 %	- Sujet avec des antécédents de chirurgie rachidienne et/ou du bassin
- Consentement libre, éclairé et signé	- Personne placée sous sauvegarde de justice
- Sujets affiliés ou bénéficiaires d'un régime de sécurité sociale	

Tableau I : Critères d'inclusion et d'exclusion de l'étude.

ont été effectuées par deux évaluateurs indépendants sur des images 3D ayant une qualité équivalente à une imagerie scanner (14). La reproductibilité inter et intra observateur des mesures avec le système EOS a déjà été démontrée comme excellente (15). Les paramètres pelviens : incidence pelvienne (PI), version pelvienne (PV), pente sacrée (SP) et les paramètres rachidiens de courbure thoracique et lombaire de lordose L1S1, L1L5, et cyphose T1T12 et T4T12 ont été mesurés. La position de la verticale abaissée de C7 et l'angle spino-sacré (16) ont été calculés à partir des reconstructions 3D. Les courbures du rachis thoraco-lombaire ont été mesurées selon la méthode conventionnelle et selon la conception biomécanique basée sur la théorie des arcs de cercles tangentiels décrite par Roussouly (2,8,9). Au niveau du rachis cervical les mesures étaient effectuées selon les paramètres définis dans le paragraphe suivant.

Définitions des Paramètres crâniens

La ligne de Mc Gregor (fig.01) était utilisée comme repère de la base du crâne. La selle turcique située à quelques millimètres du centre de gravité de la tête selon Vital (17) était choisie comme second repère car elle était toujours visible sur toutes les images de profil et son centre facile à retrouver. Nous avons défini par analogie avec le pelvis un angle d'incidence crânienne (IC). C'était un angle anatomique fixe qui

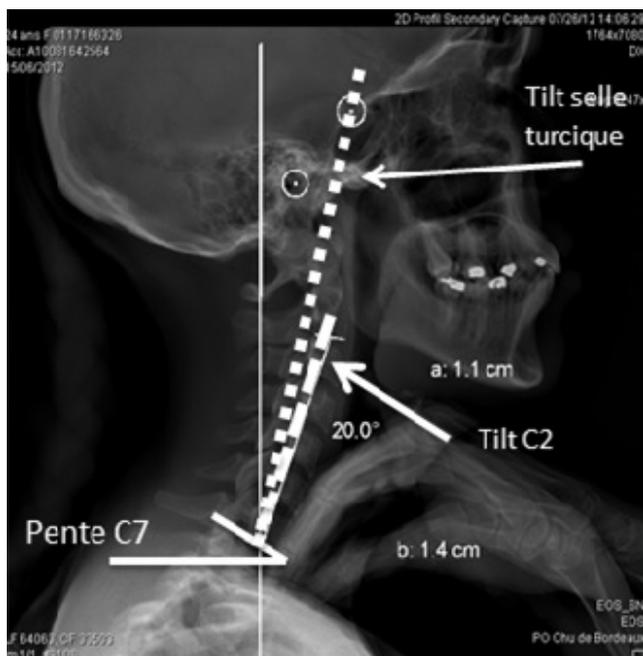


Figure 3 : Tilt C2, Tilt selle turcique, pente de C7.

permettait de caractériser la boîte crânienne. Cet angle était défini entre la perpendiculaire à la ligne de Mc Gregor et la ligne qui unissait le milieu de la ligne de Mc Gregor à la selle turcique. Cette incidence crânienne était un paramètre morphologique propre à chaque individu qui ne variait pas en fonction des postures de la tête (fig.01).

La pente crânienne (PC) était l'angle entre l'horizontale et la ligne de Mc Gregor. Il s'agissait d'une variable posturale qui renseignait sur la position de la base du crâne par rapport à l'horizontale. Cet angle était positif quand la ligne de Mc Gregor était orientée en haut et en avant, nul quand cette ligne était horizontale et négatif quand elle était orientée en bas et en avant (fig.02).

La version crânienne (VC) était l'angle entre la verticale et la ligne qui unissait le centre de la ligne de Mc Gregor et la selle turcique. Il s'agissait aussi d'une variable posturale complémentaire de la pente crânienne qui renseignait sur la position plus ou moins rétroversée de la tête (fig.02). Version crânienne et pente crânienne étaient deux angles complémentaires liés par la formule : $IC = VC + PC$ Figure 4 bis : schéma montrant que $IC = VC + PC$.

Définitions des Paramètres du rachis cervical

La courbure cervicale globale C1C7 était divisée en courbure cervicale supérieure C1C2 et inférieure C2C7. L'étude de la jonction occipito cervicale était analysée par l'angle Occiput C2 (OC2) situé entre la ligne de Mc Gregor et le plateau inférieur de C2 (18,19). Les différentes mesures étaient effectuées par la méthode de Cobb (20). Les mesures classiques à partir des conduits auditifs externes n'étaient pas reproductibles chez tous les sujets de façon fiable et ce repère n'a pas été utilisé dans notre étude.

Définitions des Paramètres thoraco-cervico-crâniens

Comme le proposait Berthonnaud (4) nous avons choisi de prendre C7 comme socle pour le rachis cervical. Ainsi il était logique de prendre C7 comme repère de mesure. La pente de C7 (PC7) était l'angle entre le plateau inférieur de C7 et l'horizontale (fig.03). Le tilt de C2 était l'angle entre la verticale passant par le centre de C7 et une ligne passant par le centre du plateau inférieur de C2 et le centre de C7. Cet angle était

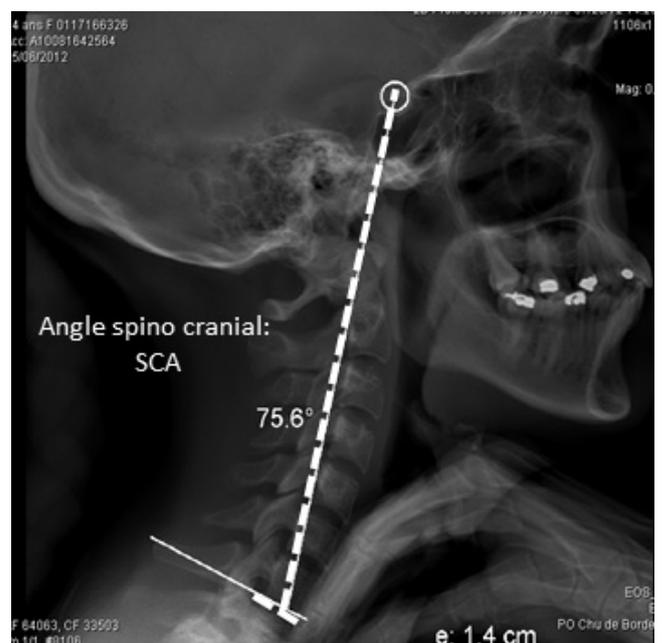


Figure 4 : Angle spino cranial.

positif lorsque le milieu de C2 était en avant de la ligne de C7, et négatif dans le cas inverse (fig.03).

Le tilt de la selle turcique (tilt ST) était l'angle entre la verticale passant par le milieu de C7 et une ligne qui rejoignait le centre de la selle turcique et le centre de C7. Le centre de la selle turcique était déterminé grâce à la méthode du cercle définit par trois points grâce au logiciel STEREOS (biospace imaging, Paris France), qui permettait une localisation optimale du centre. Cette technique était hautement reproductible entre les deux observateurs dans cette étude ($r = 0,93$). Cet angle était positif quand la selle turcique se situait en avant de la ligne de C7, et négatif dans le cas inverse (fig.03).

Définition d'un Paramètre de l'équilibre sagittal cervical intrinsèque

Pour permettre d'avoir une mesure intrinsèque des courbures cervicales indépendamment de la ligne de gravité il était nécessaire de décrire un paramètre similaire à l'angle spino-sacré du rachis thoraco-lombaire (16). Nous avons décrit : l'angle spino-cranial (ASC) : Angle qui était défini entre la pente de C7 et la droite reliant le milieu du plateau de C7 et le milieu de la selle turcique. Il était défini par la formule : $ASC = 90^\circ - \text{Pente } C7 + \text{tilt ST}$ (fig.04).

Analyse statistique

L'ensemble des variables recueillies était inclus dans une analyse descriptive. Les variables qualitatives étaient analysées en termes de fréquences et pourcentages dans chacune des modalités. Les variables quantitatives, les moyennes, écart-types et étendues étaient présentées. Concernant les analyses comparatives, des corrélations étaient réalisées lorsqu'une association symétrique entre deux variables était recherchée. Lorsqu'un lien de causalité était recherché, une régression linéaire était réalisée. Une des variables était appelée variable à expliquer, l'autre variable explicative. Un seuil de significativité à 5 % permettait de déterminer les associations significatives, les coefficients de régression donnaient le sens de l'association. Les logiciels utilisés pour cette analyse statistique étaient : SAS version 9.3 et XL-STAT 2012.

Résultats

Les résultats cliniques ont montré que la population était réellement asymptomatique, avec un EVA moyen à 0,09 (0 à 2, écart type : 0,34). La moyenne du score d'Oswestry était de 1 % (0 à 16 %, écart type : 3,06).

Les résultats radiologiques comportaient plusieurs paramètres :

- Une analyse descriptive était réalisée sur l'ensemble des paramètres étudiés :

Les valeurs moyennes des paramètres pelviens et du rachis thoraco-lombaire étaient notées dans le tableau II. Les valeurs moyennes des paramètres crâniens étaient rapportées dans le tableau III. Les valeurs moyennes des angles sagittaux du rachis cervical étaient rapportées dans le tableau IV en fonction des valeurs de l'incidence crânienne et en moyenne dans le tableau V. Nous avons défini la lordose comme valeur positive et la cyphose comme valeur négative. Les valeurs moyennes des paramètres liés à C7 étaient rapportées dans le tableau VI. La valeur moyenne de l'angle spino-crânien, paramètre intrinsèque de l'équilibre du rachis cervical était donnée dans le tableau VI.

- Une analyse des corrélations était réalisée entre les différents paramètres mesurés :

L'étude statistique permettait de montrer que la pente de C7 était un élément central pour l'analyse du rachis cervical. Nous avons pu retrouver des corrélations entre ce critère et

	Unité	n	Valeurs moyennes	Ecart type	Etendue
Incidence Pelvienne	degré	106	51,31	10,42	[32,20 ; 76,60]
Version pelvienne	degré	106	12,59	6,91	[-1,50 ; 34,50]
Pente sacrée	degré	106	38,71	7,3	[24,00 ; 58,90]
Lordose L1/L5	degré	106	46,37	9,23	[27,50 ; 70,70]
Lordose L1/S1	degré	106	56,84	8,9	[35,00 ; 88,10]
Cyphose T1/T12	degré	106	41,83	10,44	[-2,30 ; 62,20]

Tableau II : Paramètres pelviens et rachidiens.

Paramètres crâniens	Unité	n	Valeurs moyennes	Ecart type	Etendue
Incidence crânienne	degré	106	27,32	4,24	[14,00 ; 36,00]
Pente crânienne	degré	106	1,59	6,81	[-18,00 ; 16,00]
Version crânienne	degré	106	25,04	8,54	[0,00 ; 47,00]

Tableau III : Paramètres crâniens.

Groupe de sujets	entre	entre	entre	entre
Incidence crânienne	14 - 19	20 - 25	26 - 31	32 - 37
Pente crânienne	-0,6	0,5	2,3	3,6
Version crânienne	17,6	22,3	25,6	29,4
Lordose C2C7	15,5	0,9	5,8	5,2
C1C2	30,6	30,5	29,8	24,7
C1C7	46,1	31,4	35,6	29,9
N=	5	29	54	15

Tableau IV : paramètres crâniens par valeur croissante de l'incidence crânienne et valeur correspondante de la lordose cervicale C2C7.

Angles du rachis cervical	Unité	n	Valeurs moyennes	Ecart type	Etendue
OC2	degré	106	15,81	7,15	[0,00 ; 35,00]
C1-C7	degré	106	34,03	12,18	[6,00 ; 60,00]
C1-C2	degré	106	29,16	7,24	[9,00 ; 45,00]
C2-C7	degré	106	4,89	12,84	[-25,00 ; 44,00]

Tableau V : Valeurs moyennes des Angles de lordose du rachis cervical.

Paramètres cervico-crâniens	Unité	n	Valeurs moyennes	Ecart type	Etendue
Pente de C7	degré	106	19,64	8,76	[0,00 ; 42,00]
Tilt C2	degré	106	10,48	6,93	[-10,00 ; 31,20]
Tilt selle turcique	degré	106	12,84	5,66	[-3,00 ; 31,40]
Angle spino crânien	degré	106	83,04	9,05	[61,00 ; 105,00]

Tableau VI : Paramètres cervico-crâniens. Et angle spino crânien.

Variable à expliquer : pente de C7			
Paramètres	Coefficient	p-value	Significativité
OC2	-0,175	0,145	NS
Lordose C2-C7	0,516	<0,001	S
Lordose C1-C7	0,537	<0,001	S
Tilt C2	0,710	<0,001	S
Tilt selle turcique	0,403	0,007	S
Cyphose Thoracique	0,638	<0,001	S
Pente sacrée	-0,298	0,010	S
Incidence crânienne	-0,490	0,015	S
Pente crânienne	0,009	0,942	NS
Version crânienne	-0,060	0,541	NS

Tableau VII : Corrélation entre la Pente de C7 et les autres paramètres

Lordose C2C7					
Groupes pente C7	n	valeur moyenne	écart-type	min	max
<20	50	-2,49	8,82	-25	21
>=20	56	11,48	12,30	-13	44
Total	106	4,89	12,84	-25	44

Tableau VIII : Lordose C2C7 en fonction de la pente de C7.

OC2					
Groupes pente C7	n	valeur moyenne	écart-type	min	max
<20	50	15,83	6,38	0	30
>=20	56	15,80	7,82	0	35
Total	106	15,81	7,15	0	35

Tableau IX : Lordose occipito C7 en fonction de la pente de C7.

Angle spino-crânien					
Groupes pente C7	n	valeur moyenne	écart-type	min	max
<20	50	89,01	5,71	80	105
>=20	56	77,71	8,12	61	98
Total	106	83,04	9,05	61	105

Tableau X : Angle spino-crânien.

Variable à expliquer : Angle spino-crânien			
Paramètres	Coefficient	p-value	Significativité
OC2	0,247	0,045	S
Lordose C2-C7	-0,607	<0,001	S
Lordose C1-C7	-0,644	<0,001	S
Lordose C1-C2	0,085	0,487	NS
Pente de C7	-0,818	<0,001	S
Tilt C2	-0,064	0,615	NS
Tilt selle turcique	0,590	<0,001	S
SSA	0,320	0,005	S
Incidence crânienne	-0,454	0,029	S
Version crânienne	0,380	<0,001	S
Pente crânienne	-0,501	<0,001	S

Tableau XI : Angle ASC.

les mesures des paramètres du rachis cervical, du crâne, de la cyphose thoracique et de la pente sacrée. Le tableau VII rappelait cette analyse basée sur la technique de régression linéaire mieux adaptée que le test de Pearson dans ce cas.

La médiane de la pente de C7 (PC7) étant à 20°, nous avons réalisé deux groupes : le groupe 1 (PC7<20°) avec 50 sujets et le groupe 2 (PC7≥20°) avec 56 sujets (fig.07a et b). Nous avons étudié la répartition des différents paramètres entre les deux groupes. Il existait une différence significative pour les mesures de lordose cervicale, pour les paramètres mesurés à partir du centre du plateau de C7 également, tel le tilt de la selle turcique et également l'angle spino-crânien. On ne retrouve pas cette différence pour l'angle entre occiput et la vertèbre axis C2 (OC2). Les tableaux VIII, IX, X rappellent la répartition de ces critères dans les deux groupes.

La répartition de la valeur de l'angle spino-crânien était représentée dans le tableau X et les figures 7 a et b en fonction de la pente de C7. On constatait que dans chaque sous-groupe la répartition est homogène.

On a montré qu'il existait un lien très étroit entre l'angle spino-cranien et la pente de C7 (coefficient de régression= -0,818). Cela signifiait que pour une augmentation de 1° de

l'angle spino-crânien, la pente de C7 diminuait de 0,818. Cette différence était significative (p-value<0,001). Il existait également un lien étroit avec la lordose cervicale C2C7 (coefficient de régression= -0,607). Le tableau XI rapportait toutes les valeurs et corrélation entre ces différents paramètres.

Discussion

Cette étude rapportait les résultats des mesures radiologiques dans une population asymptomatique en utilisant deux critères jamais rapportés dans la littérature pour des études comparables : EVA inférieur à 2 et Oswestry inférieur à 20. Nos résultats étaient très encourageants puisque notre population avait une EVA à 0,09 et un oswestry à 1 %, ce qui témoignait bien du caractère asymptomatique des sujets participants.

L'analyse de la littérature sur l'équilibre sagittal du rachis cervical chez les sujets asymptomatiques a permis de retrouver une grande hétérogénéité dans la méthode de mesure des angles, dans la définition des vertèbres limites et dans les paramètres étudiés (4,5,19,21).

La jonction occipito-cervicale était classiquement définie par l'angle OC2 (18,19). La mesure de cet angle entre la ligne de Mc Gregor et le plateau inférieur de C2 semblait être la plus reproductible. Sa valeur moyenne était de 14° (+/-7°) chez les sujets de plus de 18 ans et de 12° (+/-6°) chez les sujets de plus de 60 ans (19). Nous avons retrouvé dans notre étude des résultats similaires avec une moyenne de 15,81° (+/-7,15°). Cet angle avait une valeur constante lorsque la pente de C7 variait. Moussellard (18) préconisait de restituer cet angle lors des arthrodèses occipito-cervicales pour garder le regard horizontal. Les résultats de la littérature (19) et de notre série étaient tout à fait comparables pour l'angle C1C2 avec une valeur moyenne de 29° (tableau V). Les résultats de la lordose cervicale définie entre C2 et C7 étaient très variés dans la littérature. Dans notre série la lordose cervicale inférieure moyenne (C2C7) était de 4,89° (+/-12) (tableau V). Ces résultats étaient strictement comparables à ceux de Lee (21)

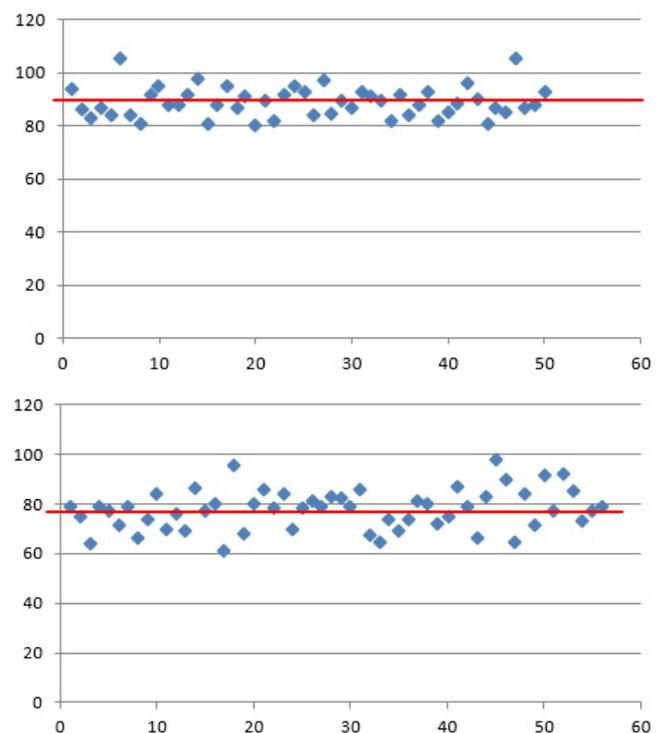


Figure 7 a et b : Répartition des valeurs de l'angle SCA dans le groupe PC7<20° et PC7≥20°.

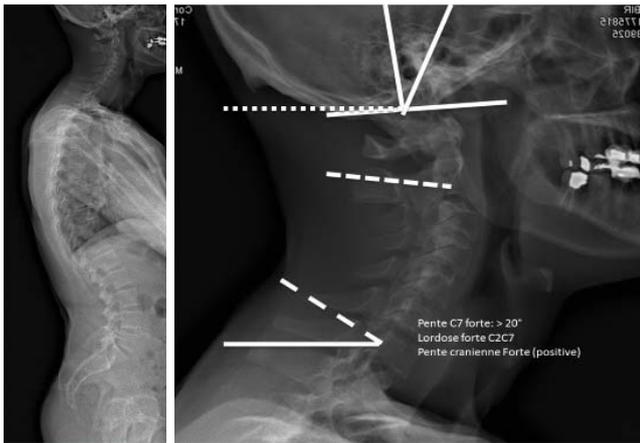


Figure 5 : Rachis lordosé, pente de C7 forte, pente crânienne positive.



Figure 6 : Rachis cyphosé, pente de C7 faible, pente crânienne négative.

mesurés par la méthode des tangentes postérieures. En revanche, Kuntz (19) dans sa revue de la littérature retrouvait une moyenne de 17° mais cette revue incluait des groupes très hétérogènes avec des groupes pédiatriques et adultes. Berthonnaud (4) proposait une analyse de la lordose cervicale globale par la méthode de l'apex et du point d'inflexion, et retrouvait une valeur moyenne de la lordose globale de $23,9^\circ$. Dans notre série nous avons retrouvé une valeur moyenne de 34° entre C1 et C7. Le fait que 33,96 % des patients présentaient une cyphose C2C7 était certainement responsable de cette variation qui n'est pas prise en compte par la méthode de l'apex de la lordose. Ainsi l'angle C1C2 (moy : $29,16^\circ$ (9 à 45°), écart type : 7,24), était le dernier facteur adaptatif d'orientation du crâne et prenait une grande importance pour les variations potentielles en clinique. Notre série serait la première à rapporter un angle de cyphose C2C7 chez plus d'un tiers d'une population asymptomatique. Cette notion pourrait devenir essentielle pour l'analyse de la pathologie cervicale puisque la perte de lordose cervicale était jusqu'à présent considérée comme pathologique. Seul un article de Fineman S (23) faisait état de la possibilité de l'absence de spasme musculaire post traumatique sur des rachis sains radiographiés en cyphose.

Les résultats indiquaient d'autre part qu'il existait une chaîne linéaire de corrélation reliant le socle du rachis cervical représenté par la vertèbre C7 et le crâne. On retrouvait également une relation statistique entre ce paramètre et la cyphose thoracique ainsi qu'avec la pente sacrée. (tableau VII). Roussouly P (2), montraient que la verticale de C7 était une des clés de l'analyse de l'équilibre sagittal au niveau thoracolumbaire. En effet, il existait une relation géométrique constante entre la vertèbre C7 et le plateau sacré (16). Nous avons prolongé la ligne verticale passant par le milieu de C7 vers la base du crâne et analysé le lien qui existait avec un point proche du centre de gravité de la tête qui était la selle turcique (17). Le paramètre postural du tilt de la selle turcique analysait donc la position de la tête par rapport à la ligne de C7 qui est fortement corrélé à la ligne de gravité (16).

A l'image de l'angle SSA (spino sacral angle) décrit par Roussouly (16), nous avons défini l'angle ASC (angle spino-crânien) qui avait une valeur constante de $83 \pm 9^\circ$. Dans cette position, on pouvait considérer dans cette population asymptomatique qu'il existait un équilibre économique d'un point de vue énergétique permettant de maintenir une posture de la tête et le regard horizontal. Cet angle permettait une analyse de la position de la selle turcique qui présentait l'intérêt d'être proche du centre de gravité de la tête et du socle du rachis cervical défini par la pente de C7. Pour maintenir un équilibre sagittal économique une forte pente de C7 était compensée par une lordose forte, une pente crânienne positive, et inversement (fig.05 et 06) alors que l'angle OC2 ou C1C2 restait constant quel que soit la valeur de la pente de C7 Ceci était

donc un élément important pour l'analyse de la pathologie dégénérative éventuelle car la pente de C7 pourrait varier en fonction de la pathologie dégénérative thoraco-lombaire. En fonction de la lordose cervicale C2C7 (corrélée à la pente de C7) les patients pourraient avoir des capacités de compensation différentes. Une hypo-cyphose thoracique réactionnelle à une perte de lordose lombaire serait facilement compenser par une diminution de lordose cervicale chez les patients à forte pente de C7. Une hypercyphose thoracique dégénérative serait difficilement compensable chez les patients à pente initiale de C7 forte alors qu'elle le serait plus facilement chez les patients à pente initiale faible. Notre étude montrait également que la pente sacrée et la pente de C7 étaient liées de façon statistique. Lorsque la pente sacrée diminuait, la pente de C7 augmentait (coefficient de régression=0,3). Ainsi un problème dégénératif lombaire qui ferait varier la pente sacrée, le plus souvent en la diminuant par rétroversion du bassin, aurait un retentissement sur la pente de C7 et en fonction de la valeur initiale de la pente de C7 engendrerait des troubles cervicaux en particuliers lorsqu'il n'y a pas de possibilité d'augmenter la lordose C2C7.

Berthonnaud et al. (4) avait montré qu'il existait une corrélation entre la cyphose thoracique et la lordose cervicale. Dans un travail récent, Lee (22) a défini un système crânio-cervical basé sur la vertèbre T1. Il décrit l'incidence en T1 qui est l'angle entre la perpendiculaire à T1 et la ligne qui unissait le milieu du plateau supérieur de T1 et le manubrium sternal. Il définissait la pente et la version en T1. Les paramètres cervicaux et crâniens utilisés ne nous paraissaient pas aussi reproductible que ceux de la selle turcique et la ligne de Mc Gregor car les repères étaient dépendant de la cage thoracique et pouvait être perturbés par des paramètres pulmonaires. D'autre part le repère du sommet du manubrium sternal était souvent manquant en fonction de la morphologie du patient et de la position des bras. La définition d'un paramètre morphologique au niveau du rachis cervical comme l'incidence crânienne semblait plus fiable pour analyser l'équilibre sagittal cervical par analogie au système lombo-pelvien. Ainsi lorsque l'incidence crânienne augmentait, on assistait à une amplitude de la lordose cervicale de C1 à C7 plus faible et inversement (tableau IV). Cette variation inverse est à rapprocher de celui de la lordose lombaire dans ses rapports avec l'incidence pelvienne et la pente sacrée.

Dans cette étude les groupes d'âge n'étaient pas tout à fait homogènes, le groupe des sujets de moins de trente ans représentant la moitié de l'effectif. La reproductibilité étudiée par des études inter, intra observateurs était bonne (15) avec l'utilisation du logiciel sterEOS. L'EOS présentait une grande qualité d'images et surtout la possibilité d'effectuer des agrandissements très importants permettant un repérage très précis des plateaux des vertèbres limites de la lordose.

Des études récentes (24), ont rappelé que l'équilibre sagittal du rachis cervical pouvait influencer sur les résultats cliniques après un geste chirurgical sur le rachis cervical. Les résultats de notre série montraient qu'il existait une relation directe entre le paramètre de la pente de C7 et les paramètres de l'équilibre sagittal du rachis cervical et thoraco-lombaire. Ils pourraient servir de base pour l'étude de ces paramètres dans les pathologies dégénératives du rachis cervical mais également dans les cas de pathologies déformatives comme la scoliose ou le spondylolisthésis. L'analyse de ces paramètres sur les radiologies pré et post-opératoires des patients opérés d'arthrodèses ou de prothèses cervicales pourrait permettre de mieux comprendre certains échecs induits par un trouble de l'équilibre.

Conclusion

Cette étude a permis de mettre en évidence une forte corrélation entre la pente de C7 et le système crânio-cervical. L'équilibre sagittal économique dans une population de sujets asymptomatiques est défini par un angle SCA constant de $83 \pm 9^\circ$. Pour maintenir cet équilibre, un rachis avec une forte pente de C7 sera lordosé et inversement. La notion de lordose cervicale physiologique a été totalement modifiée par ce travail car un tiers de la population asymptomatique a un rachis cervical en cyphose. L'incidence crânienne était un paramètre anatomique caractéristique du complexe crânio-cervical et permettait d'analyser le positionnement spatial de la tête par la pente crânienne. La valeur de la pente de C7 est fortement corrélée à la valeur de la lordose C2C7 et avec la pente crânienne qui caractérise le positionnement spatial du crâne. Les paramètres pelviens et rachidiens lombaires sont corrélés avec la pente de C7 et les paramètres cervicaux. Les résultats de cette étude pourraient servir de base de travail à l'étude de l'équilibre sagittal avant et après un geste d'arthrodèse ou de prothèse cervicale car la position de référence du rachis cervical devrait s'intégrer dans l'ensemble de l'analyse du rachis. Ainsi l'utilisation d'un système radiologique basse dose comme l'EOS permettrait ainsi de faire cette analyse en diminuant au minimum l'exposition du patient aux rayons X.

Discussion en séance

Questions de P Roussouly

1- Où en est le rapport entre l'orientation cervicale et la ceinture scapulaire ?

Réponse

Ce paramètre n'a pas été étudié mais sera analysé ultérieurement car le système EOS nous fournit les images 3D.

2- La limite fonctionnelle cervicale se finit-elle en C7 ou en dessous au niveau thoracique ? Rapport avec la cyphose thoracique ?

Réponse

Cette question est pertinente car il y a dans la littérature un gros débat sur le sujet, cependant la valeur primordiale de la pente de C7 et la corrélation très forte avec la lordose cervicale est en faveur d'une limite fonctionnelle en C7

3- Applications pratiques sur les cyphoses cervicales.

Pourrait-on éviter les évolutions dégénératives majeures ?

Réponse

Les éviter est toujours difficile à prédire mais la connaissance des corrélations entre rachis cervical et paramètres thoro-lombo-pelviens conduit à pouvoir comprendre certaines douleurs cervicales induites par des problèmes lombaires et à pousser à leur traitement.

Références

1. Le Huec JC, Roussouly P. Sagittal spino-pelvic balance is a crucial analysis for normal and degenerative spine. *European Spine Journal* 2011 ; 20 : 556-7.
2. Roussouly P, Pinheiro-Franco JL. Biomechanical analysis of the spino-pelvic organization and adaptation in pathology. *European Spine Journal* 2011 ; 20 : 609-18.
3. Akcam MO, Koklu A. Investigation of natural head posture in different head types. *J Oral Sci* 2004 ; 46 : 15-8.
4. Berthonnaud E, Dimnet J, Roussouly P, Labelle H. Analysis of the sagittal balance of the spine and pelvis using shape and orientation parameters. *J Spinal Disord Tech* 2005 ; 18 : 40-7.
5. Hellsing E, Reigo T, McWilliam J, Spangfort E. Cervical and lumbar lordosis and thoracic kyphosis in 8, 11 and 15-year-old children. *Eur J Orthod* 1987 ; 9 : 129-38.
6. Zepa I, Hurmerinta K, Kovero O, Nissinen M, Kononen M, Huggare J. Associations between thoracic kyphosis, head posture, and craniofacial morphology in young adults. *Acta Odontol Scand* 2000 ; 58 : 237-42.
7. Hellsing E, McWilliam J, Reigo T, Spangfort E. The relationship between craniofacial morphology, head posture and spinal curvature in 8, 11 and 15-year-old children. *Eur J Orthod* 1987 ; 9 : 254-64.
8. Roussouly P, Pinheiro-Franco JL. Sagittal parameters of the spine: biomechanical approach. *Eur Spine J* 2011 ; 20 : 578-85.
9. Roussouly P, Berthonnaud E, Dimnet J. Geometrical and mechanical analysis of lumbar lordosis in an asymptomatic population: proposed classification. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 2003 ; 89 : 632-9.
10. Roussouly P, Gollogly S, Berthonnaud E et al. Classification of the normal variation in the sagittal alignment of the human lumbar spine and pelvis in the standing position. *Spine* 2005 ; 30 : 346-53.
11. Legaye J, Duval-Beaupère G, Hecquet J et al. Pelvic incidence: a fundamental pelvic parameter for three-dimensional regulation of spinal sagittal curves. *Eur Spine J* 1998 ; 7 : 9-103.
12. Glassman S, Gornet MF, Branch C, Polly D Jr, Schwender JD, Carreon L. MOS short form 36 and Oswestry Disability Index outcomes in lumbar fusion: a multicenter experience. *Spine J* 2006 ; 6 : 21-6.
13. Morvan G, Mathieu P, Vuillemin V, Guerini H, Bossard P, Zeitoun F, Wybier M. Standardized way for imaging of the sagittal spinal balance. *Eur Spine J* 2011 ; 20 : 602-8.
14. Gheno R, Nectoux E, Herbaux B, Baldisserotto M, Glock L, Cotten A, Boutry N. Three-dimensional measurements of the lower extremity in children and adolescents using a low-dose biplanar X-ray device. *Eur Radiol* 2012 ; 22 : 765-71.
15. Gille O, Champain N, Benchikh-El-Fegoun A, Vital JM, Skalli W. Reliability of 3D reconstruction of the spine of mild scoliotic patients. *Spine* 2007 ; 32 : 568-73.
16. Roussouly P, Gollogly S, Nosedà O, Berthonnaud E, Dimnet J. The vertical projection of the sum of the ground reactive forces of a standing patient is not the same as the C7 plumb line: a radiographic study of the sagittal alignment of 153 asymptomatic volunteers. *Spine* 2006 ; 31 : 320-5.
17. Vital JM, Senegas J. Anatomical bases of the study of the constraints to which the cervical spine is subject in the sagittal plane. A study of the center of gravity of the head. *Surgical Radiology Anatomy* 1986 ; 8 : 169-73.
18. Moussellard H. Ostéosynthèse du rachis cervical supérieur. Conférence d'enseignement. Ed Masson 2009 ; 98 : 364-83.
19. Kuntz C, Shaffrey CI, Ondra SL, Durrani AA, Mummaneni PV, Levin LS, Pettigrew DB. Spinal deformity: a new classification derived from neutral upright spinal alignment measurements in asymptomatic juvenile, adolescent, adult, and geriatric individuals. *Neurosurgery* 2008 ; 63 : 25-39.
20. Cobb JR In: Edwards JW, ed. *Outlines for the Study of Scoliosis: Instructional Course Lecture*. Vol5. Ann Arbor, MI: American Academy of Orthopedic Surgeons 1948 : 261-75.
21. Sung Lee C, Noh H, Ho Lee D, Ju Hwang C, Min Kim H, Cho SK. Analysis of Sagittal Spinal Alignment in 181 Asymptomatic Children. *J Spinal Disord Tech* 2012 ; 25 : 259-63.
22. Lee SH, Kim KT, Seo EM, Suk KS, Kwack YH, Son ES. The influence of thoracic inlet alignment on the craniocervical sagittal balance in asymptomatic adults. *J Spinal Disord Tech* 2012 ; 25 : 41-7.
23. Fineman S, Borrelli FJ, Itubinstein BM et al. The Cervical Spine: Transformation of the Normal Lordotic Pattern into a Linear Pattern in the Neutral Posture. A Roentgenographic Demonstration. *J. Bone and Joint Surg* 1963 ; 45 : 1179-83.
24. Gum JL, Glassman SD, Douglas LR, Carreon LY. Correlation between cervical spine sagittal alignment and clinical outcome after anterior cervical discectomy and fusion. *Am J Orthop (Belle Mead NJ)* 2012 ; 41 : 81-4.