

BIOMÉCANIQUE DU RACHIS LOMBAIRE ET RECHERCHE CLINIQUE

JEAN CLAUDE DE MAUROY, ALEXANDRE TEMPLIER

Nous avons débuté la recherche clinique en bio-mécanique il y a plus de trente ans et développé notre recherche selon quatre axes : morphotypologie, représentation tridimensionnelle, cinématique et représentation de la forme externe du tronc.

Nous exposerons les deux aspects qui nous paraissent les plus utiles en clinique : morphotypologie sagittale et représentation de la forme externe du tronc.

PARAMÈTRES MORPHOTYPOLOGIQUES SAGITTAUX INTERNES DU RACHIS LOMBAIRE.

Ils conditionnent l'équilibre du rachis bipède. Ils peuvent être anatomiques ou positionnels et nous citerons quelques applications pratiques en ce qui concerne le traitement du spondylolisthésis et la position assise.

La description de ces paramètres suppose une position radiologique de référence que nous avons déterminée comme la plus proche de celle de l'examen clinique, c'est-à-dire, membres inférieurs tendus, pieds nus réunis de la malléole au premier orteil en rotation zéro, ceinture scapulaire et tronc relâchés, regard horizontal. Les membres supérieurs sont décalés en avant, pour éviter une superposition radiologique, les avant-bras sont horizontaux et les mains reposent sur un support à la hauteur des crêtes iliaques. (figure 1)



Paramètre anatomique :

- **l'incidence ilio-lombaire** c'est l'angle formé par la perpendiculaire au plateau sacré en son centre et la droite unissant le centre du plateau sacré et le centre de l'axe bi-coxo-fémoral. Il est de 53° , $\pm 10^\circ$. C'est un facteur anatomique constitutionnel dépendant de la forme du sacrum et de l'aile iliaque. L'incidence varie avec la croissance, elle augmente au cours des premiers mois de vie, se stabilise à dix ans.

(figure 2 : incidence ilio-lombaire)

Incidence et sacrum sont très liés et gèrent l'équilibre sagittal du rachis.

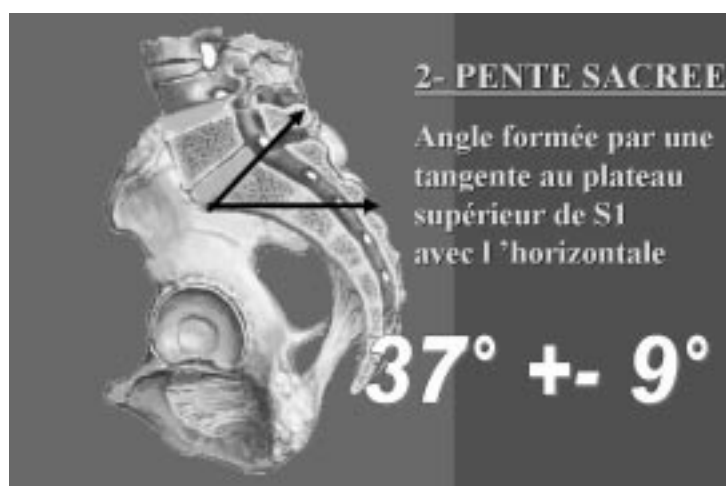


Paramètres positionnels :

- La **version pelvienne** est l'angle formé par la verticale coupant le centre de la tête fémorale et la droite joignant le centre de la tête fémorale au milieu du plateau sacré. Elle est en moyenne de 12° .
- La **pente sacrée** est l'angle formé par une tangente au plateau supérieur de S1 avec l'horizontale. Elle est en moyenne de 37° , $\pm 9^\circ$.

(figure 3 : pente sacrée)

- La **lordose lombaire** est l'angle formé par la tangente au plateau supérieur de la vertèbre transitionnelle thoracolumbaire la plus inclinée sur l'horizontale (habituellement L1) et la tangente au plateau inférieur de L5 : elle est de 45° , $\pm 9^\circ$.



- La **gîte sagittale en T9**, c'est l'angle formé par la verticale passant par le centre de la tête fémorale et la droite joignant le centre de la tête fémorale au centre du corps vertébral de T9. Elle est en moyenne de 10°.

Il existe une relation entre paramètres positionnels et paramètre anatomique : **version pelvienne + pente sacrée = incidence**.

Il existe également une excellente corrélation entre pente sacrée et lordose et moindre entre lordose et cyphose.

Application pratique concernant la position assise.

Une incidence faible détermine une horizontalisation de la pente sacrée et une tendance à la cyphose thoraco-lombaire qui s'accroît sur une assise horizontale. C'est pour ce morphotype que l'on aura recours à un siège ergonomique " assis à genoux ". L'inclinaison en avant de l'assise compensant le défaut d'inclinaison de la pente sacrée.

Application pratique concernant le spondylolisthésis.

Une augmentation de l'inclinaison de la pente sacrée favorise le spondylolisthésis.

Lorsque l'incidence est normale, la kinésithérapie peut rectifier la version pelvienne et restituer une morphostatique physiologique.

Lorsque l'incidence est augmentée de façon constitutionnelle, la compensation par la version pelvienne est limitée et il faudra souvent recourir au traitement orthopédique conservateur par orthèse polyéthylène monocoque pour diminuer les contraintes au niveau de la charnière lombosacrée notamment durant la croissance pubertaire.

REPRÉSENTATION TRIDIMENSIONNELLE DE LA FORME EXTERNE DU TRONC

L'objectif principal est la réalisation d'un moulage électronique permettant la fabrication d'un positif grâce à une fraiseuse numérique (Vorum).

Il s'agit d'une Conception et Fabrication Assistée par Ordinateur des orthèses du tronc (C.F.A.O.)

Initié en 1988, le premier logiciel utilisait les b-spline avec représentation filaire de la forme externe du tronc par extrusion. Le premier capteur comportait un rayon laser fixé sur une plate forme tournant autour du patient immobile en 18 secondes.

En 1994, est créée la Société ORTEN qui utilise une analyse par triangulation d'une lumière structurée.

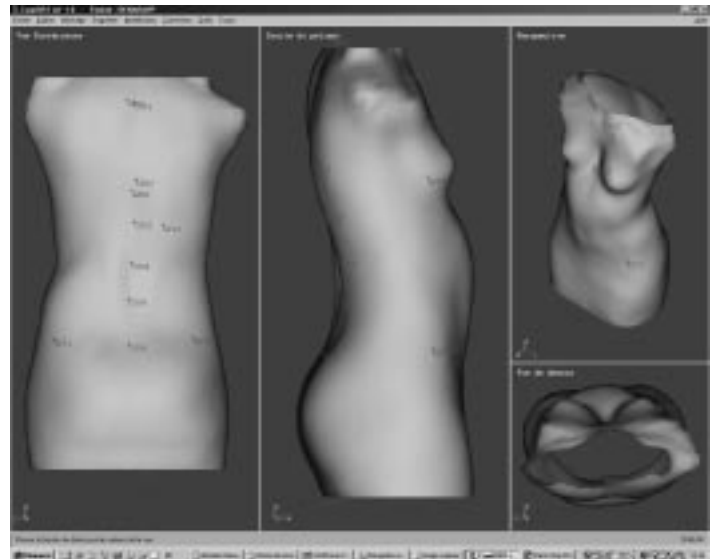
Le premier prototype est composé de quatre potences portant chacune deux systèmes de projection de franges et une caméra se trouvant à mi-distance entre les projecteurs (diapositive placée devant une source de lumière blanche).

Les huit prises de vue sont réalisées en 1,6 secondes, ce qui ne pose plus de problème d'immobilité pour l'enfant, la précision du système est inférieure au millimètre. Le logiciel COMFORTAC pilote le capteur optique.

La modélisation du tronc du patient s'effectue sous forme d'un nuage de points reliés par des splines pour lesquels on effectue un lissage permettant les retouches.

L'enregistrement s'effectue en format AOP, le tronc est coupé par 100 plans horizontaux et sur chaque plan 90 points sont référencés suivant leur distance à un axe de référence tous les 4°. Le fichier comporte donc un répertoire de 9000 points.

(figure 4 : moulage électronique)



Applications pratiques

La Conception et Fabrication Assistée par Ordinateur est actuellement opérationnelle. En 10 ans, le système a été optimisé. L'immobilisation du patient lors de la prise d'empreinte électronique s'effectue sous la responsabilité du rééducateur. La rectification de l'empreinte est effectuée conjointement par le rééducateur et l'orthoprothésiste.

Il est possible de modifier ce fichier de points grâce à un système graphique de retouches (logiciel COMFORTAD).

Le gain de temps est notable au niveau de la fabrication.

Les résultats ont été étudiés par Biot sur plus de 50 patients lombalgiques. Il n'existe pas de modification de la stratégie des soins et des résultats et nous souscrivons à sa conclusion : " La CFAO doit permettre une simplification des circuits et donc une amélioration de la qualité des soins. N'oublions pas cependant que le corset n'est qu'un outil au service du reconditionnement, il n'est pas une fin en soi et encore moins un refuge antalgique. "

En effectuant des moyennes sur les 9000 points d'acquisition, il est également possible de réaliser des cas moyens, pour étudier la modification de la forme externe du tronc en fonction de différentes orthèses de correction des scolioses lombaires.

Nous cherchons également à définir des paramètres morphologiques pouvant compléter les paramètres radiologiques et aider notamment à préciser l'évolutivité des scolioses.

Par exemple au niveau du plan passant par la vertèbre sommet où la rotation est maximale, rapport des diamètres sagittaux et frontaux.

BIOMECCANICA DEL RACHIDE LOMBARE E RICERCA CLINICA

JEAN CLAUDE DE MAUROY, ALEXANDRE TEMPLIER

Abbiamo iniziato la ricerca clinica in biomeccanica trent'anni fa e sviluppato la nostra ricerca secondo quattro assi : morfotipologia, rappresentazione tridimensionale, cinematica e rappresentazione della forma esterna del tronco.

Presenteremo i due aspetti che ci sembrano più utili in clinica : morfotipologia sagittale e rappresentazione della forma esterna del tronco.

PARAMETRI MORFOTIPOLOGICI SAGITTALI INTERNI DEL RACHIDE LOMBARE

Condizionano l'equilibrio del rachide bipede. Possono essere anatomici o posizionali(posturali) e citeremo alcune applicazioni pratiche per quanto riguarda il trattamento della spondilolistesi e la posizione seduta.

La descrizione di questi parametri suppone una posizione radiologica di riferimento che abbiamo determinato, come quella più avvicinante(simile) all'esame clinico, cioè arti inferiori tesi, piedi nudi uniti dal malleolo al primo raggio in rotazione zero, cintura scapolare e tronco rilassati, sguardo orizzontale. Gli arti superiori sono scalati in avanti, per evitare una sovrapposizione radiologica, gli avambracci orizzontali e le mani riposano su un piano all'altezza delle creste iliache.

Parametro anatomico :

- **l'incidenza ileo-lombare** è l'angolo formato dalla perpendicolare al piatto sacrale nel suo centro e la dritta (linea) che unisce il centro del piattosacrale e il centro dell'asse bi-coxofemorale. E' 53° , $\pm 10^\circ$. E' un fattore anatomico costituzionale che dipende della forma del sacro e dell'ala iliaca. L'incidenza varia con la crescita, aumenta durante i primi mesi della vita, si stabilizza all'età di dieci anni.

Incidenza e sacro sono particolarmente legati e gestiscono l'equilibrio sagittale del rachide.

Parametri posizionali :

- La **versione pelvica** è l'angolo formato dalla verticale che taglia il centro della testa femorale e la dritta(linea) che giunge dal centro della testa femorale al centro del piatto sacrale. E' in media di 12° .
- La **base sacrale** è l'angolo formato da una tangente al piatto superiore di S1 con l'orizzontale. E' in media di 37° , $\pm 9^\circ$.
- La **lordosi lombare** è l'angolo formato dalla tangente al piatto superiore della vertebra transizionale toraco-lombare più inclinata sull'orizzontale (di solito L1) e la tangente al piatto inferiore di L5 : è di 45° , $\pm 9^\circ$.
- Il "**sbandamento sagittale in T9**", è l'angolo formato dalla verticale che passa per il centro della testa femorale e la dritta(linea) che giunge dal centro della testa femorale al centro del corpo vertebrale di T9. E' in media di 10° .

Esiste una relazione tra parametri posizionali e parametro anatomico : **versione pelvica + base sacrale = incidenza.**

Esiste ugualmente un'ottima correlazione tra penta sacrale e lordosi, e minore tra lordosi e cifosi.

Applicazione pratica relativa alla posizione seduta.

Un'incidenza debole determina un'orizzontalizzazione della penta sacrale e una tendenza alla cifosi toraco-lombare che sarà accentuata su una seduta orizzontale. E' per questo morfotipo che si ricorrerà al sedile ergonomico "seduto ingocchiato". L'inclinazione in avanti della seduta compensa il difetto d'inclinazione della penta sacrale.

Applicazione pratica relativa allo spondilolistesi.

Un'aumento dell'inclinazione della penta sacrale favorisce lo spondilolistesi.

Quando l'incidenza è normale, la fisioterapia può rettificare la versione pelvica e restituire una morfostatica fisiologica.

Quando l'incidenza è costituzionalmente aumentata, il compenso con la versione pelvica è limitato e si dovrà ricorrere al trattamento ortopedico conservativo con ortesi polietilene monoguscio per diminuire le costrizioni al livello della cerniera lombosacrale e specialmente durante la crescita pubertaria.

RAPPRESENTAZIONE TRIDIMENSIONALE DELLA FORMA ESTERNA DEL TRONCO

Il primo obiettivo è la realizzazione di un calco elettromico il quale permetterà di fabbricare un positivo con una fresatrice numerica.

Si tratta di un concepimento e fabbricazione assistita dal computer, delle ortesi del tronco. Iniziato nel 1988, il primo software utilizzava i b-spline con rappresentazione filare della forma esterna del tronco da estrusione. Il primo captore comportava (consisteva in) un raggio laser fissato su una piattaforma girando (ruotante) attorno al paziente immobile, in 18 secondi.

Nel 1994, è creata un'analisi con triangolazione di una luce strutturata.

Il primo prototipo è composto da 4 bracci (supporti) a squadra, i quali portano ognuno due sistemi di proiezione di frangie e una videocamera trovandosi (che si trova) a metà distanza tra i proiettori (diapositiva posta davanti ad una fonte di luce bianca).

Le otto prese di vista (immagini) sono realizzate in 1,6 secondi, cioè che non pone più problema di immobilità per il bambino, la precisione del sistema è inferiore al millimetro. I computer di oggi permettono una particolare velocità di calcolo.

La modellazione del tronco del paziente si fa sotto forma di una nuvola di punti collegati con spline per i quali si effettua un'allicciatura (?) che permette i ritocchi.

Due software sono stati sviluppati: COMFORTAC che pilota il captore ottico e COMFORTAD, che permette le rettifiche.

La registrazione si fa sotto formato AOP, il tronco è tagliato da 100 piani orizzontali e su ogni piano, 90 punti sono referenziati secondo la distanza ad un'asse di riferimento ogni 4°. Lo schedario comporta quindi un repertorio di 9000 punti.

Applicazioni pratiche

La Concezione e Fabbricazione Assistita da Computer è ora operativa. In 10 anni il sistema è stato ottimizzato. L'immobilizzazione del paziente al momento della presa di impronta elettronica si fa sotto la responsabilità di un rieducatore. La rettifica dell'impronta

è effettuata assieme dal rieducatore e l'ortoprotesista.

E' possibile modificare questo schedario di punti grazie ad un sistema grafico di ritocchi (software COMFORTAD).

Il guadagno di tempo è notevole al livello di fabbricazione.

I risultati sono stati studiati da Biot su più di 50 pazienti che soffrono di lombalgia. Non esiste modifica della strategia di cura e dei risultati, e sottoscriviamo alla sua conclusione.

“ La CFAC ” deve permettere una semplificazione dei circuiti e quindi un miglioramento della qualità delle cure. Tuttavia, non dimentichiamo che il corsetto è soltanto un'attrezzo al servizio del ricondizionamento, non è una fine in se e meno ancora un rifugio antalgico ”.

Effettuando medie sui 9000 punti d'acquisto, è ugualmente possibile realizzare delle medie, per studiare la modifica della forma esterna del tronco secondo diverse ortesi di correzione delle scoliosi lombari.

Cerchiamo anche di definire dei parametri morfologici che possano completare i parametri radiologici e aiutare in particolare per precisare l'evolutivezza delle scoliosi.

Ad esempio il livello del piano che passa dalla vertebra apice ove la rotazione è massima, rapporto dei diametri sagittali e frontali. (?)