



UNIVERSITÀ DI PISA

Facoltà di Medicina e Chirurgia

Dipartimento di Ricerca Traslazionale e delle Nuove Tecnologie in Medicina e Chirurgia

Tesi di Laurea Magistrale in Neurochirurgia

**Artrodesi Lombare:  
indicazioni chirurgiche nella Spondilosi Degenerativa.  
Risultati e riflessioni.**

Candidato

Edoardo Maria Pieracci

Relatori

Chiar.<sup>mo</sup> Prof. **Lodovico Lutzemberger**

Chiar.<sup>mo</sup> Dr. Paolo Lepori

*Dedico la Tesi  
al Mio Amore e ai Miei Genitori che,  
con la loro presenza e le loro attenzioni,  
mi hanno sempre sostenuto con dolcezza ed amorevole pazienza  
in ogni scelta e decisione.*

*Porgo sentiti e sinceri ringraziamenti  
al Prof. Lodovico Lutzemberger,  
al Dottor Paolo Lepori e alla Dott.<sup>ssa</sup> Carlotta Martini,  
per la loro gentilezza,  
per l'assoluta e totale disponibilità,  
per il modo in cui mi hanno accolto e dato fiducia dimostrandomi stima.*

## RIASSUNTO ANALITICO

Questo studio, effettuato su pazienti sottoposti ad artrodesi lombare multilivello per spondilosi degenerativa, vuole verificare la relazione tra i valori post-chirurgici dell'angolo di Lordosi Lombare e i risultati clinici.

La scelta dei soggetti selezionati per lo studio, al fine di omogeneizzare il campione, ha seguito i seguenti criteri: pazienti senza deformità maggiori, con età inferiore a 70 anni, operati da un solo chirurgo per patologia degenerativa, con un intervento di artrodesi lombare di 2 o 3 livelli vertebrali, in un periodo compreso tra il 2008 ed il 2012 con un follow-up minimo di 18 mesi. I pazienti sono stati valutati sia clinicamente sia attraverso un'anamnesi guidata da questionari sulla qualità di vita e scale valutative del dolore, come l'ODI, la PROLO e la VAS. Ogni paziente ha eseguito, in fase post operatoria, una radiografia lombosacrale in ortostatismo in proiezione antero-posteriore e latero-laterale su cui sono stati misurati, da un singolo operatore, i parametri angolari spino-pelvici.

La parte analitica dello studio ha valutato la correlazione del PI-LL mismatch e della differenza tra la Lordosi Lombare teorica (calcolata secondo

Roussouly<sup>(1)</sup>) e LL, con l'outcome clinico dei pazienti.

L'analisi dei risultati ottenuti sul pool di pazienti preso in esame ci consente di confermare l'attendibilità del valore predittivo positivo del PI-LL mismatch come fattore prognostico di disabilità funzionale; inoltre ci consente di poter sostenere che un elevato valore della differenza tra la Lordosi Lombare teorica e quella effettiva si correla ad un tasso maggiore di reintervento per fallimento biomeccanico.

*This study has been carried on surgical patients treated for degenerative spondylosis by a multilevel lumbar arthrodesis. The target of this work is to verify the correlation between the values of the post-surgery lumbar lordosis angles and the clinical results.*

*In order to make the study sample homogeneous, patients have been selected only if satisfying the following criteria: No major deformations, not older than 70 years old, treated by one single surgeon for the degenerative pathology, received a spinal lumbar arthrodesis at two or three levels; operated between 2008 and 2012, with a minimum follow-up period of 18 months.*

*The progress of patients have been evaluated clinically and using an anamnesis based on questionnaires relative to the quality of life and pain scales as ODI, PROLO and VAS. After the operation, every patient has been examined with a lumbosacral x-ray, in orthostatism in anteroposterior projection and laterolateral in which a single operator measured the spinopelvic angular parameters*

*The analytic part of the study evaluated the correlation of the PI-LL mismatch and the difference between the theoretical Lumbar Lordosis (calculated with Roussouly<sup>(1)</sup>) with the clinical outcome of the patients.*

*The analysis of the results obtained on the sample of patients considered in this work makes possible to confirm the reliability of the value of the PI-LL mismatch as prognostic predictive factor for the functional disability. Furthermore, the results suggest that a high value in the difference between theoretical and effective Lumbar Lordosis is positively correlated with the probability of a second surgery due to a biomechanical failure.*

## PREFAZIONE

In questo studio sono stati esaminati i parametri angolari post-chirurgici in un gruppo di pazienti sottoposti ad *Artrodesi Lombare* per quadri di spondilosi degenerativa, al fine di verificare se esiste una relazione tra la qualità del decorso post-operatorio e il ripristino della lordosi lombare, alteratasi in corso della progressione della patologia stessa, e quali siano, in caso, i parametri angolari spino-pelvici da rispettare durante la strumentazione chirurgica dei livelli vertebrali coinvolti.

Il lavoro si è basato sull'analisi del follow-up di un gruppo di pazienti operati per Spondilosi Lombare Degenerativa presso la U.O. Neurochirurgia di Pisa e selezionati omogeneamente in base alla patologia, all'età al momento dell'intervento, all'operatore, al numero e ai livelli vertebrali strumentati senza alcuna valutazione pre-operatoria di parametri angolari spino-pelvici, con un follow-up compreso tra 18 e 72 mesi.

Durante le visite i pazienti sono stati valutati da un singolo operatore sia clinicamente, mediante esame obiettivo, che con l'uso di scale di valutazione funzionale come l'ODI - Oswestry Disability Index, di valutazione socio-economica come la PROLO, e di valutazione del dolore in

fase post-operatoria come la VAS - Scala Analogica Visiva; a completamento, oltre alla visita, i pazienti hanno eseguito una radiografia del rachide lombosacrale in ortostasi, sia in proiezione antero-posteriore che latero-laterale, dalla quale sono stati rilevati i valori dei parametri angolari spino-pelvici utili al fine di valutare il Pelvic Index - PI, la Lordosi Lombare - LL, il Pelvic Tilt - PT e il Sacral Slope - SS. I dati ottenuti dalla valutazione clinica sono stati confrontati con la differenza tra la lordosi lombare attesa, calcolata facendo riferimento alla tabella di Roussouly, e quella effettiva e con il PI-LL mismatch.

La valutazione clinica effettuata durante lo studio ha messo in evidenza un outcome clinico peggiore laddove il ripristino della lordosi lombare sia stato inadeguato e quindi laddove i valori di PI-LL mismatch e quelli della differenza tra la Lordosi Lombare teorica e quella effettiva sono più elevati.

La Nostra conclusione è che questo studio permette di confermare l'ipotesi che, nel gruppo di pazienti da noi preso in esame, esista una stretta relazione tra la qualità del decorso post-operatorio, l'incidenza di reinterventi ed il rispetto dei parametri angolari spino-pelvici calcolati nella fase pre-operatoria, avvalorando così l'attendibilità del valore predittivo positivo, come fattore prognostico di disabilità, del PI-LL mismatch e della differenza tra la lordosi lombare teorica calcolata secondo Roussouly e LL.

## INDICE

## **INTRODUZIONE**

### 1. Cenni di anatomia e biomeccanica della colonna vertebrale

#### 1.1. Struttura

##### 1.1.1. Vertebre

##### 1.1.2. Articolazioni e ligamenti

##### 1.1.3. Disco intervertebrale

##### 1.1.4. Muscoli del dorso

##### 1.1.5. Curvature della colonna vertebrale

##### 1.1.6. Evoluzione della lordosi lombare

#### 1.2. Funzione

##### 1.2.1. Considerazioni generali

##### 1.2.2. Unità morfofunzionale del rachide

#### 1.3. Biomeccanica della colonna vertebrale

##### 1.3.1. Biomeccanica dell'unità morfofunzionale del rachide

##### 1.3.2. Analisi biomeccanica del segmento spinopelvico

### 2. Spondilosi lombare degenerativa

#### 2.1. Inquadramento della patologia

#### 2.2. Patogenesi

2.3. Presentazione clinica

2.4. Diagnosi

2.5. Terapia

## **MATERIALI E METODI**

1. Obiettivo dello studio
2. Criteri selettivi
3. Criteri d'indagine clinico-anamnestica e radiologica

## **RISULTATI**

1. Dati demografici
2. Correlazione tra i questionari ODI, Prolo, VAS ed i parametri angolari post-chirurgici
3. Confronto tra i parametri angolari post-chirurgici e le complicanze a breve e lungo termine

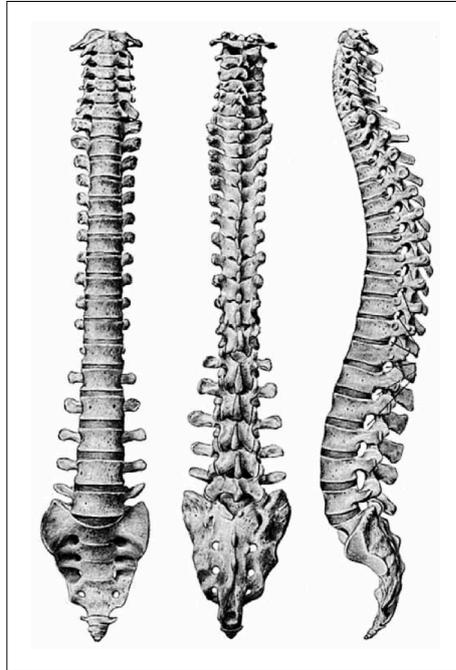
## **CONCLUSIONI**

1. Discussione dei risultati

## **BIBLIOGRAFIA**

## **INTRODUZIONE**

# CENNI DI ANATOMIA E BIOMECCANICA DELLA COLONNA VERTEBRALE



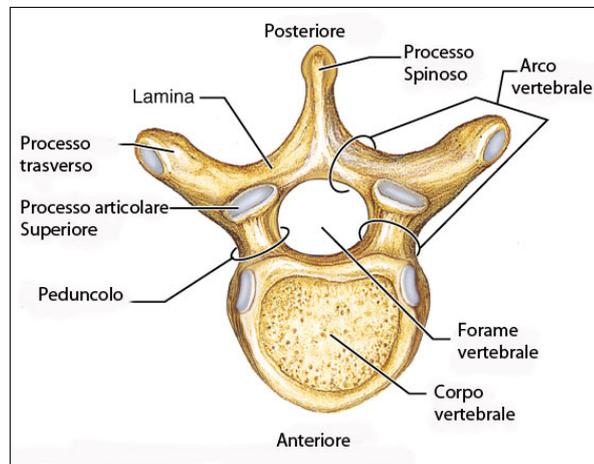
La colonna vertebrale è innanzitutto un contenitore in cui si trovano strutture vascolari, le meningi, il midollo spinale e le radici ventrali e dorsali dei nervi spinali e inoltre è la struttura che dà sostegno alla testa e al tronco.

Il rachide si configura come un complesso osteo-artro-ligamentoso che assolve un ruolo statico essenziale nell'atteggiamento corporeo; in virtù della successione in serie delle 33-34 vertebre che lo costituiscono, il rachide si rende deformabile, senza comunque perdere stabilità grazie all'azione dei muscoli che su di esso prendono inserzione.

In senso cranio-caudale si distinguono 5 segmenti rachidei, ciascuno con un numero di vertebre identificativo: cervicale ( 7 ), dorsale ( 12 ), lombare ( 5 ), sacrale ( 5 ), coccigeo ( 4 o 5 ).

## Struttura

### VERTEBRE



Le vertebre sono ossa brevi costituite da tessuto osseo spugnoso rivestito da uno strato di tessuto osseo compatto. Presentano caratteristiche comuni e aspetti differenti dipendenti sia dal segmento di appartenenza sia dalla peculiarità della singola vertebra all'interno dello stesso tratto vertebrale.

Tutte le vertebre sono costituite anteriormente dal corpo vertebrale e posteriormente da due lamine che, decorrendo in senso postero-mediale, si congiungono sulla linea mediana, formando così un arco. Dall'unione di corpo e arco si delimita il canale vertebrale, dentro il quale decorre il midollo spinale.

Il *corpo vertebrale* è la parte più voluminosa e ha una forma grossolanamente cilindrica, in cui s'individuano due facce intervertebrali, una superiore e una inferiore, che si articolano con le vertebre sopra e sottostanti mediante l'interposizione di un disco intervertebrale. La superficie delle *facce intervertebrali* si presenta leggermente concava al centro e rilevata alla periferia e

rivestita da uno strato cartilagineo.

L'*arco vertebrale* è costituito, in senso antero-posteriore, dai peduncoli e dalle lamine. I *peduncoli* uniscono il corpo alle lamine e presentano sui margini superiore e inferiore le rispettive incisure, che giustapponendosi alle incisure delle vertebre contigue formano i *forami intervertebrali*, attraversati dalla radice del nervo spinale corrispondente. Le *lamine* hanno una forma appiattita e si sovrappongono a quelle delle vertebre sottostanti come le tegole di un tetto e nel loro punto di unione sulla linea mediana, danno origine al *processo spinoso*, che si dirige posteriormente con un'angolazione diversa a seconda del segmento vertebrale considerato. Dall'unione tra i peduncoli e le lamine originano sia i *processi trasversi* che i *processi articolari*: i primi, si dirigono in direzione postero-laterale, i secondi, due superiori e due inferiori, dirigendosi rispettivamente in direzione craniale e caudale, si articolano con i processi articolari della vertebra sopra e sottostante in corrispondenza delle faccette articolari a loro volta rivestite da cartilagine ialina.

## ARTICOLAZIONI E LIGAMENTI

Le vertebre sono articolate mediante articolazioni intrinseche ed estrinseche: quelle definite intrinseche si trovano tra vertebra e vertebra, mentre quelle estrinseche permettono l'articolazione con i condili occipitali della base cranica, le coste e la faccia auricolare dell'ileo.

Le *articolazioni intrinseche* comprendono:

1. *Sinfisi* ~ stabilite tra le facce intervertebrali somatiche, tra le quali trova posto un disco fibrocartilagineo;
2. *Artrodie* ~ stabilite tra le faccette articolari dei processi articolari. Le superfici articolari sono prevalentemente piane tranne che nel tratto lombare dove, invece, sono lievemente incurvate permettendo quindi maggiori movimenti.

I mezzi di stabilizzazione dell'articolazione sono le capsule articolari che s'inseriscono in prossimità delle superfici articolari.

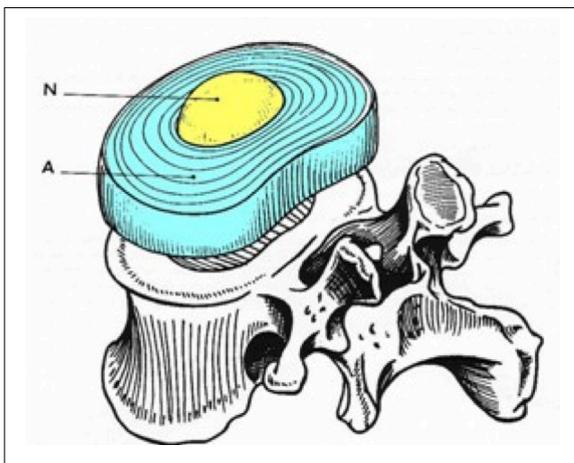
Le sinfisi intervertebrali sono stabilizzate e rinforzate da due legamenti molto importanti:

1. *ligamento longitudinale anteriore* ~ decorre anteriormente ai corpi vertebrali lungo tutta l'estensione del rachide, dall'occipite fino alla faccia pelvica del sacro;
2. *ligamento longitudinale posteriore* ~ decorre posteriormente ai corpi vertebrali, all'interno del canale midollare, estendendosi dall'occipite fino al canale sacrale.

Infine ulteriori elementi di stabilizzazione e rinforzo della colonna vertebrale sono i *ligamenti a distanza*. A questi appartengono:

1. *ligamenti gialli* ~ tesi tra il margine inferiore di una lamina ed il margine superiore della lamina sottostante. Hanno forma rettangolare e sono due per ogni coppia di vertebre. Contribuiscono nel delimitare posteriormente il canale midollare;
2. *ligamenti interspinosi* ~ si estendono dal margine inferiore di un processo spinoso al margine superiore del processo spinoso sottostante;
3. *ligamento sovraspinoso* ~ si estende dall'occipite fino alla faccia dorsale del sacro. Unisce gli apici dei processi spinosi.
4. *ligamenti intertrasversari* ~ che uniscono gli apici dei processi trasversi

## DISCO INTERVERTEBRALE



Il *disco intervertebrale* è un elemento strutturale delle sinfisi che si ritrovano tra i soma vertebrali. Ha una struttura fibrocartilaginea a forma di lente biconvessa, il cui spessore si dimostra crescente in

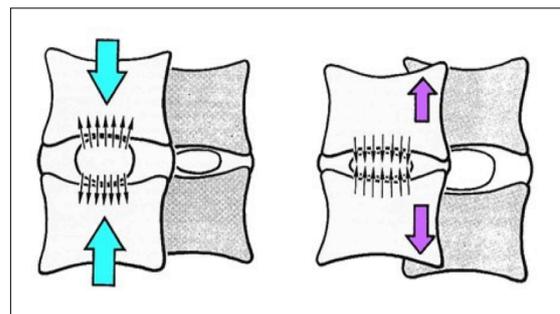
senso cranio-caudale, da 3-6 mm. nel tratto cervicale a 10-15 mm. nel tratto lombare.

Il disco presenta un'anatomia strettamente correlata con la sua funzione ammortizzatrice:

1. *Nucleo Polposso* ~ zona centrale gelatinosa, costituita per l'88% da H<sub>2</sub>O e per la parte restante da sostanza fondamentale contenente mucopolisaccaridi;
2. *Anulus Fibroso* ~ zona periferica costituita da fasci fibrosi concentrici a decorso obliquo che s'intersecano con quelli vicini. Al centro i fasci di collagene sono più obliqui mentre esternamente si verticalizzano. Questa struttura gli conferisce un'elevata resistenza.

Il disco intervertebrale durante la crescita, perde la propria vascolarizzazione e nell'adulto la nutrizione del disco è garantita da meccanismi osmotici. La superficie della faccia superiore e inferiore del soma

è perforata da numerosi pori che permettono il passaggio di H<sub>2</sub>O tra la zona centrale del disco ed il corpo vertebrale. Quando il disco è posto



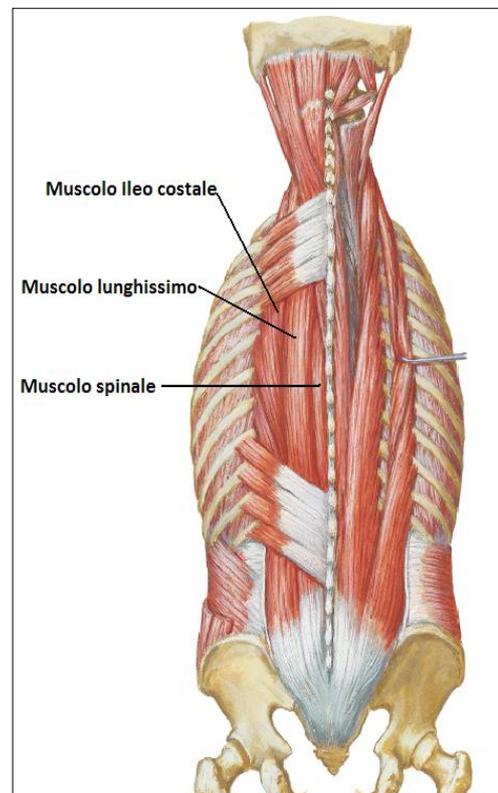
sotto, l'acqua dal nucleo polposso si sposta verso il soma, viceversa quando la colonna vertebrale, e quindi il singolo disco intervertebrale, è fuori carico, l'H<sub>2</sub>O dal corpo vertebrale torna nel disco, reidratandolo.

## MUSCOLI DEL DORSO

I muscoli del dorso si dispongono in 3 strati sovrapposti:

1. *Superficiale* ~ muscoli spino-appendicolari, a loro volta suddivisi in uno strato superficiale ed uno profondo, originano dalle vertebre e prendono inserzione all'arto superiore;
2. *Intermedio* ~ spino-costali originano dalle vertebre e prendono inserzione sulle coste;
3. *Profondo* ~ spino-dorsali o muscoli propri del dorso

I muscoli del piano profondo sono situati a ridosso della colonna vertebrale e precisamente trovano sede nelle docce paravertebrali, estendendosi dalla base cranica fino al sacro. Tra questi muscoli si ritrovano i muscoli spino-trasversari, il muscolo erettore della colonna vertebrale, i muscoli trasverso-spinali, i muscoli interspinosi e gli intertrasversari. Il più importante tra tutti è il muscolo erettore della colonna vertebrale in cui è possibile riconoscere una parte laterale detta muscolo ileo-costale, una intermedia detta muscolo lunghissimo ed una mediale detta muscolo spinale.

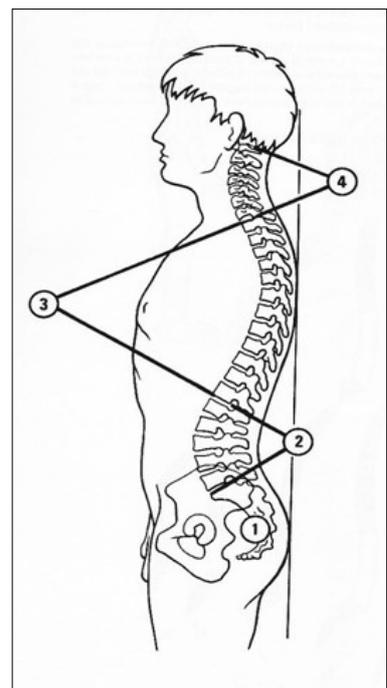


## CURVATURE DELLA COLONA VERTEBRALE

Quando un soggetto è in ortostatismo, la colonna vertebrale, vista sia in proiezione coronale che sagittale, non si presenta perfettamente allineata bensì presenta delle fisiologiche curve che alternando concavità e convessità definiscono curve cosiddette primarie e curve di compenso. Queste curvature decorrono al davanti e al di dietro di una linea che decorre dal dente dell'epistrofeo al promontorio sacrale, passando per il centro delle due prime vertebre toraciche, detta *linea baricentrica*; questa prosegue dal promontorio sacrale fino al piano di appoggio secondo una linea perpendicolare.

Sul piano coronale la curvatura primaria è data da una leggera concavità a sinistra a livello toracico, che si suppone essere legata alla presenza del cuore e dell'arco aortico nell'emitorace sinistra. Le curvature di compenso sono date da due leggere concavità rivolte a destra presenti a livello cervicale e a livello lombare. Queste curvature sul piano coronale sono definite come *scoliosi fisiologica*.

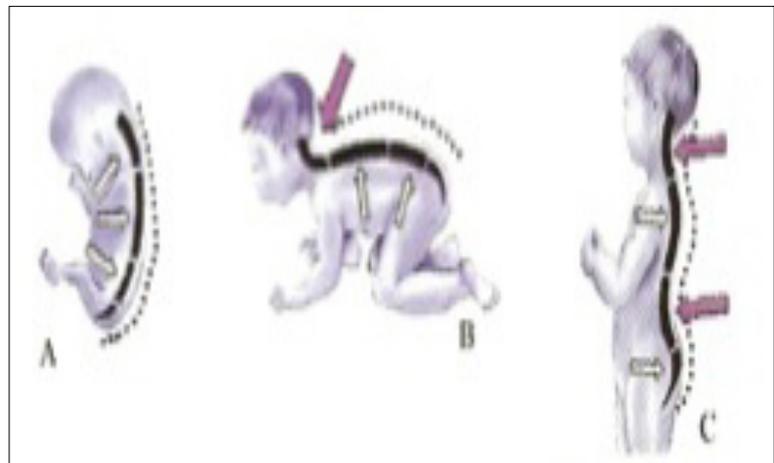
Sul piano sagittale, invece, si possono individuare curvature primarie con concavità anteriori, *cifosi*, e curve compensatorie con concavità posteriori, *lordosi*. Le cifosi si riscontrano nel segmento toracico e sacrale; le



lordosi si riscontrano a livello cervicale e lombare.

Il fatto che la curvatura primaria sia la cifosi è testimoniato dallo sviluppo del feto e dalla progressiva crescita del neonato, ossia dall'ontogenesi umana che, nel suo ricapitolare la filogenesi umana, ripercorre le varie tappe evolutive passando dalla notocorda a una struttura ossea a concavità anteriore, la quale durante i primi mesi di vita viene plasmata grazie all'acquisizione della

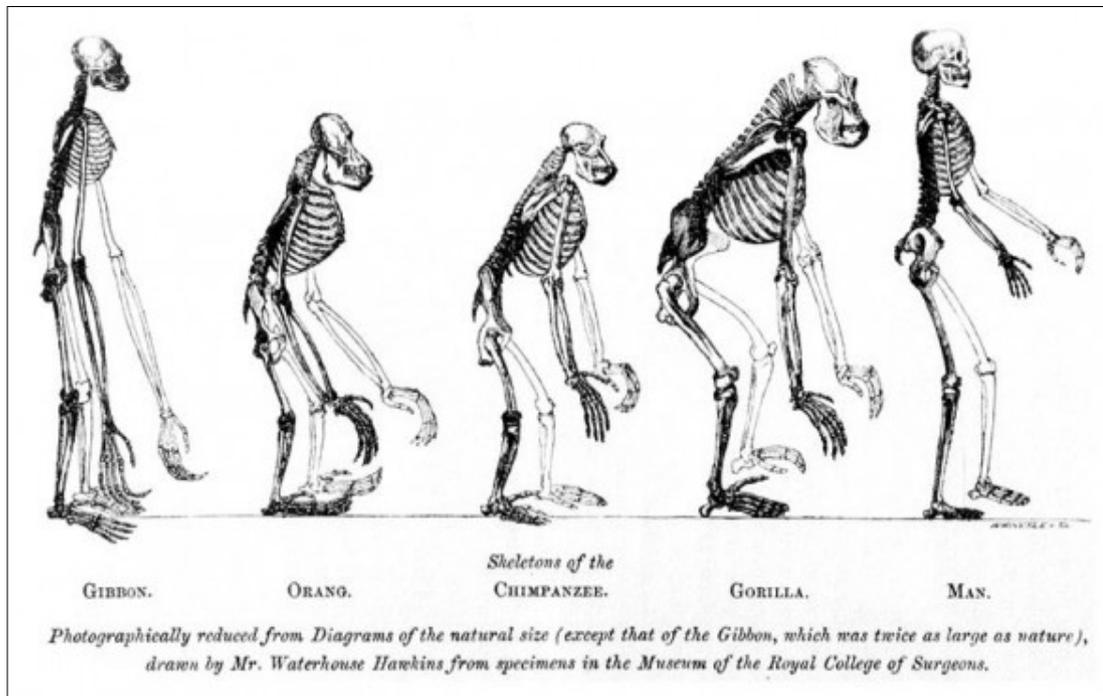
posizione eretta. Il neonato a circa 3 mesi acquisisce il controllo motorio della testa in seguito al quale insorge la prima curvatura



compensatoria, la lordosi cervicale. Successivamente, di solito nel corso del 1° anno, il bambino acquisisce la statura eretta con il conseguente sviluppo, a livello rachideo, della lordosi lombare.

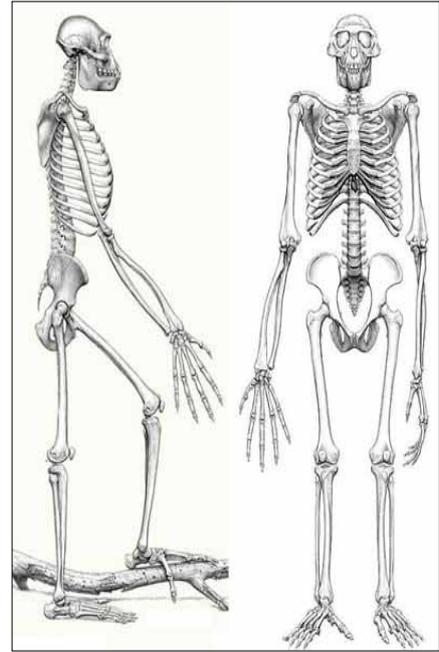
Quando lo sviluppo della colonna vertebrale si è ultimato, si può osservare sul piano sagittale che il passaggio da una curvatura all'altra, e quindi da un segmento all'altro, è graduale, tranne che per il passaggio dalla lordosi lombare alla cifosi sacrale: l'angolo che si forma tra l'ultima vertebra lombare (L5) e la prima vertebra sacrale (S1) è netto e dà origine al promontorio sacrale.

## EVOLUZIONE DELLA LORDOSI LOMBARE



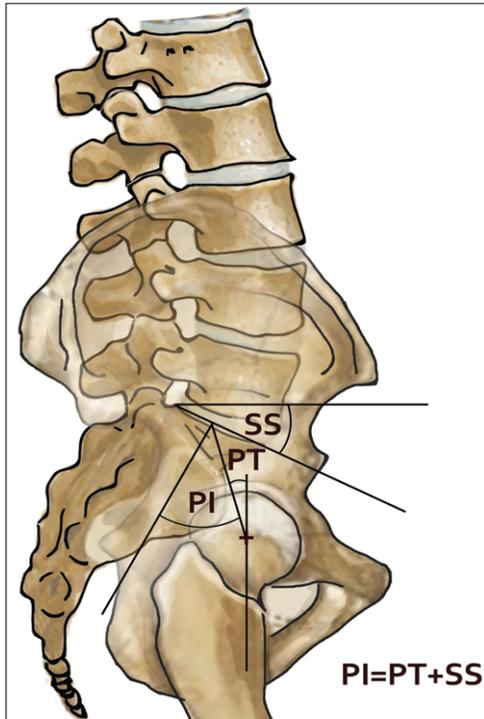
Ripercorrendo le ultime tappe della filogenesi, si può osservare come il tratto lombare della colonna vertebrale rappresenti il principale bersaglio della pressione evolutiva durante il passaggio dalla deambulazione a 4 arti alla postura eretta. Secondo alcuni studi su fossili di scheletri di scimmia e ominidi si stima che la divergenza tra i due gruppi (in particolare tra la specie *Homo* e la specie *Pan*) sia iniziata circa 5-11 milioni di anni fa.<sup>(2)</sup> I primi bipedi erano capaci di mantenere una postura eretta solo per limitati periodi di tempo, come dimostrato dall'analisi morfologica dei resti che evidenzia l'assenza di una curva lordotica ed una notevole rigidità, laddove invece la specie umana è caratterizzata, da una accentuata lordosi e da una notevole flessibilità. Il primo esemplare di ominide classificato come bipede abituale è l'*Ardipithecus ramidus*

(4,4 milioni di anni), seguito da *Australopithecus africanus* (2,5-3 milioni di anni), *Australopithecus sediba* (1,97 milioni di anni) e *Homo erectus* (1,5 milioni di anni).



Caratteristiche comuni del tratto lombare della colonna vertebrale dei bipedi sono, quindi, la presenza di una curva lordotica, il numero di vertebre e la morfologia delle vertebre stesse e dei punti d'inserzione muscolari. Data la presenza di materiale esclusivamente osseo i cambiamenti dei punti di inserzione muscolari sono stati dedotti dalla modifica della posizione dei processi ossei su cui si inseriscono. Ad esempio la dislocazione in senso posteriore dei processi trasversi, posizionati nelle scimmie quadrupedi sui corpi vertebrali e non sulla base del peduncolo<sup>(3)(4)</sup>, ha trasformato il *longissimus* in principale estensore della colonna e flessore laterale, consentendo la rotazione della pelvi e il mantenimento dell'equilibrio durante la deambulazione bipede.

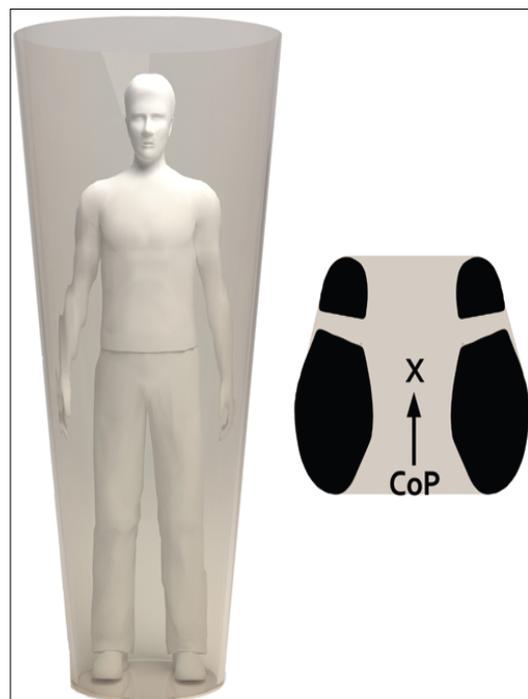
Oltre alle inserzioni muscolari, sono stati valutati e confrontati anche i parametri pelvici di riferimento per lo studio del tratto lombare del rachide ed è risultato che l'angolo denominato Incidenza Pelvica (PI) ha subito una variazione in senso positivo passando dai  $27^\circ \pm 5^\circ$  degli ominidi ai  $54^\circ \pm 10^\circ$  degli umani.<sup>(5)</sup>



*L'incidenza pelvica è una misura fissa, rilevata sul piano sagittale, che descrive l'orientamento dell'osso sacro nella pelvi, ed è l'angolo compreso tra la perpendicolare alla limitante somatica superiore dell'osso sacro nel suo punto medio e un segmento che unisca il medesimo punto al centroide della testa femorale.*

Esiste una forte correlazione statistica tra angolo d'incidenza pelvica e la lordosi lombare in ogni gruppo evolutivo studiato e su tale correlazione è basata l'abilità dei bipedi di mantenere una postura eretta in modo efficiente.

Sulla capacità di mantenimento “efficiente” della postura eretta esiste una teoria, denominata “*teoria del cono di economia*”<sup>(6)</sup>, secondo la quale la postura eretta risulta efficiente qualora il centro di pressione dovuto alla massa della persona sia contenuto all'interno dell'area della base. In termini clinici, la postura eretta



efficiente è quella che consente al soggetto di impiegare la minor quantità di energia metabolica possibile per mantenere tale posizione.

La “chiave di volta” della possibilità di mantenere un’efficiente e dinamica posizione eretta risiede principalmente, come già accennato, nella presenza di un tratto lombare che abbia una curva lordotica flessibile.

Nel valutare quali siano gli aspetti anatomici che determinino la lordosi lombare è stato stimato che circa il 90% della lordosi lombare sia il risultato della cuneizzazione dei dischi intervertebrali, mentre solo il 10% sembra essere dovuto alla cuneizzazione del corpo vertebrale. Tale rilievo evidenzia quale sia l'importanza del contributo del disco intervertebrale alla corretta curvatura lordotica del rachide e quindi, al mantenimento di un’efficiente postura eretta; inoltre spiega anche quanta sia la sollecitazione cui il disco intervertebrale viene sottoposto durante una vita condotta in posizione eretta o seduta.

## **Funzione**

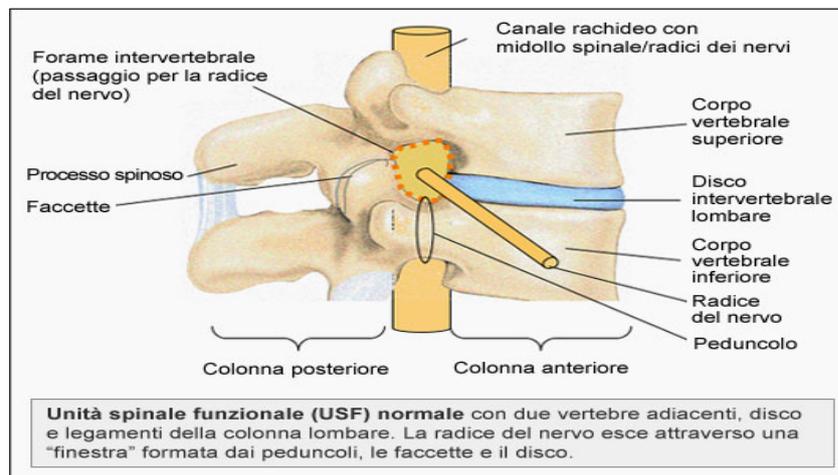
### CONSIDERAZIONI GENERALI

La colonna vertebrale ha un ruolo chiave nella vita di un individuo proteggendo il midollo spinale, contenuto all’interno dello speco vertebrale, e conferendo sostegno al tronco e alla testa; inoltre grazie alle connessioni anatomiche con gli arti superiori e inferiori consente libertà di movimento fra

le varie parti del corpo.

La funzione di sostegno, in virtù delle caratteristiche anatomiche e biomeccaniche, non è solo limitata al mero sostentamento di testa e tronco, ma si estende, grazie alla presenza del disco intervertebrale, al compito di ammortizzamento delle sollecitazioni cui il sistema è sottoposto.

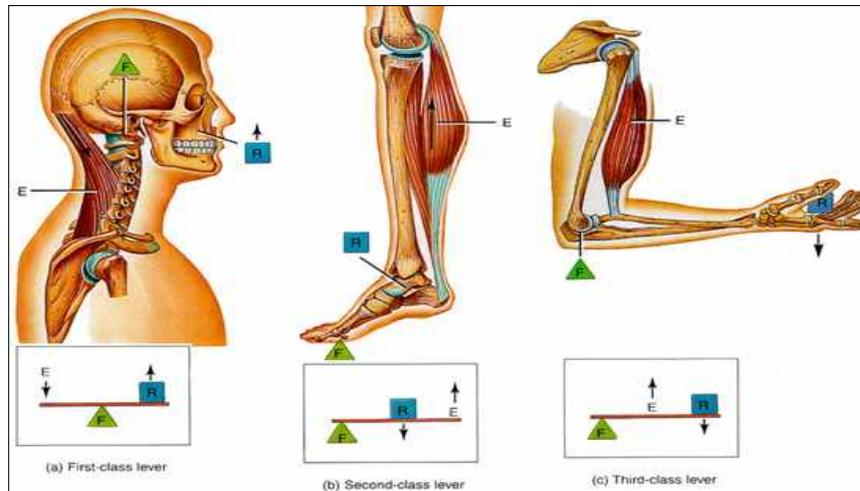
## UNITA' MORFOFUNZIONALE



L'*unità morfofunzionale* del rachide sta alla base dello studio della colonna vertebrale nel suo insieme ed è la chiave per comprenderne a pieno il significato funzionale. Essa è costituita da due vertebre adiacenti, il disco intervertebrale tra loro interposto e le strutture capsulo-ligamentose di articolazione e sostegno intervertebrale; attraverso i forami intervertebrali esce la radice del nervo spinale corrispondente al livello vertebrale.

Può essere considerata come il più piccolo segmento rachideo avente le caratteristiche del rachide nel suo insieme.

## Biomeccanica della colonna vertebrale



La biomeccanica è l'applicazione dei principi dell'ingegneria meccanica e della fisica agli organismi viventi; in particolare analizza il comportamento delle strutture fisiologiche quando sono sottoposte a sollecitazioni statiche o dinamiche.

I modelli biomeccanici sono molto spesso una semplificazione del movimento umano e quindi va sempre tenuto in considerazione la presenza, in vivo, di strutture sensitivo-sensoriali e neuromotorie capaci di interferire con i singoli movimenti. Gli strumenti di cui si avvale la biomeccanica sono *Leve e Vettori*.

Le leve presenti nel corpo umano sono frequentemente di 3° genere come ad esempio il gomito nel movimento di flessione dell'avambraccio sul braccio. Altri esempi di leve di 1° e 2° genere sono rispettivamente il movimento di flesso-estensione della testa sul collo e il piede nel movimento di spinta dell'avampiede.

## BIOMECCANICA DELL'UNITÀ MORFOFUNZIONALE DEL RACHIDE

Dal punto di vista biomeccanico, la colonna vertebrale rappresenta una struttura con due caratteristiche principali: *stabilità* e *flessibilità*.

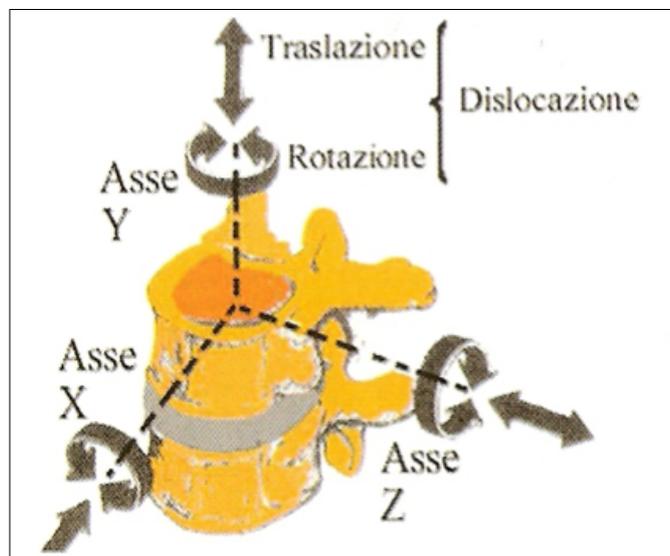
La *stabilità* è un concetto importante ed è data dalla resistenza offerta dall'unità morfofunzionale del rachide a forze che agiscono in senso ortogonale e parallelo alla superficie piatta dei corpi vertebrali.

La *flessibilità* è data dalla capacità di deformarsi della colonna vertebrale, in seguito a forze agenti su di essa.

Le forze che agiscono sul rachide imprimono movimenti di flessione, estensione, rotazione e

traslazione le quali modificano la posizione secondo un sistema di assi cartesiani (x,y,z) definendo un totale di 6 gradi di libertà di movimento.

Tali forze possono trovarsi



accoppiate creando così dei movimenti più complessi, definiti movimenti accoppiati, che si sviluppano su più assi contemporaneamente, come la dislocazione (rotazione + traslazione).

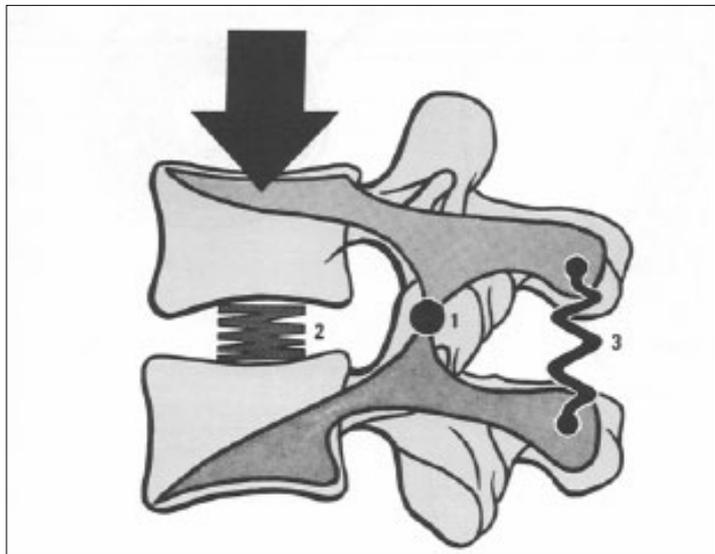
Le forze che agiscono sulla colonna vertebrale sono applicabili, ai fini

dello studio biomeccanico, all'unità morfofunzionale che per la propria anatomia si comporta come una *leva di 1° genere*.

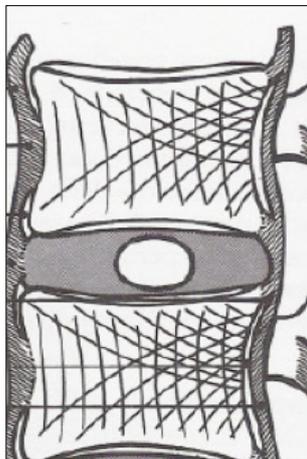
L'unità morfofunzionale è scomponibile in 2 colonne verticali:

1. *Pilaastro Anteriore*
2. *Pilaastro Posteriore*.

Il *pilaastro anteriore* è formato dalla successione dei corpi vertebrali, dai dischi intervertebrali e dai ligamenti longitudinali anteriore e posteriore; ha funzione di sostegno del



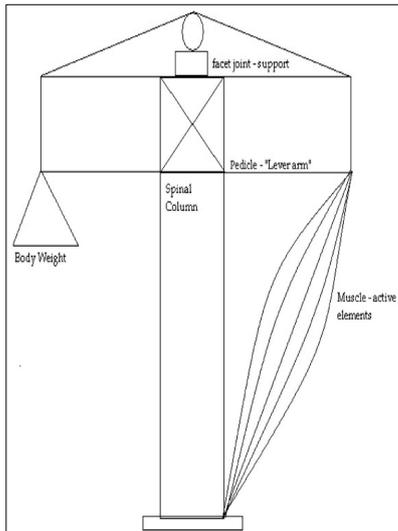
carico e ammortizzamento delle sollecitazioni. È la parte dell'unità funzionale maggiormente sottoposta a stress, ma le curvature rachidee e l'intrinseca



natura della vertebra consente il non cedimento strutturale: ogni singola vertebra ha un corpo costruito da trabecole ossee che ripartiscono il carico, cui la vertebra è sottoposta, secondo linee di forza individuabili sia sul piano sagittale, con disposizione a ventaglio, sia sul piano coronale, con trabecole di osso

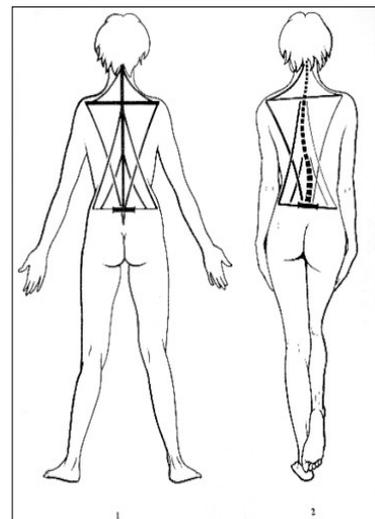
spongioso irradiate verticalmente, orizzontalmente ed obliquamente.

Il *pilastro posteriore* è costituito dai peduncoli, dalle lamine, dai processi trasversi e spinosi, dalle articolazioni interapofisarie, dal ligamento giallo, sovraspinoso, interspinoso, intertrasverso e dai muscoli delle docce paravertebrali. Questa parte dell'unità morfofunzionale ha funzione dinamica.



Una componente del pilastro posteriore che si dimostra estremamente importante è l'insieme dei muscoli paravertebrali; questi hanno un ruolo chiave sia nei movimenti del rachide che nella funzione statica di supporto dei carichi della colonna vertebrale, lavorando in tensione nelle docce paravertebrali e

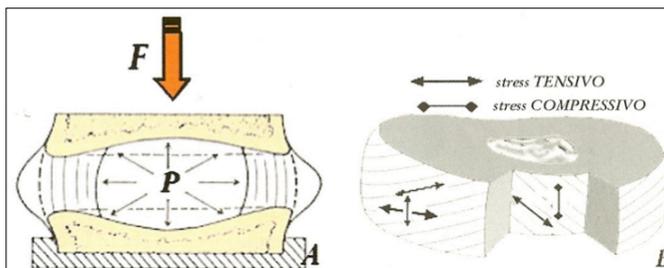
distribuendo le forze ad altri distretti corporei. L'insieme del rachide, del cingolo pelvico e scapolare, dei muscoli e dei ligamenti si presenta come un insieme di strutture in strettissima relazione e che per la sua distribuzione anatomica viene assimilato alla struttura di un albero di una barca a vela dove il rachide rappresenta l'albero, il cingolo pelvico la base d'impianto, il cingolo scapolare un trave trasversale e i muscoli e i ligamenti le sartie, ossia i tiranti che sostengono e coordinano il tutto.



I pilastri anteriore e posteriore prendono contatto tra loro mediante le

artrodie delle articolazioni zigoapofisarie, che forniscono un doppio punto di appoggio postero-laterale tra due vertebre adiacenti; queste consentono movimenti di scivolamento tra due superfici articolari, guidandoli secondo il grado di inclinazione delle faccette articolari. Inoltre hanno un ruolo chiave nell'impedire movimenti di rotazione assiale del rachide, conferendo una stabilità rotatoria. In base alla posizione in cui si trovano queste articolazioni, quando sottoposte a sollecitazione, inducono uno spostamento del centro di rotazione vertebrale. Se l'orientamento delle faccette articolari non è simmetrico si crea un'alterazione della meccanica stabilizzatrice della colonna vertebrale da cui deriva un'instabilità rotatoria con conseguente sovraccarico discale.

Nel modello discale isolato il *centro di rotazione articolare*, rappresentante il centro del segmento mobile ossia fulcro della leva, è un punto identificato con il centro del nucleo polposo del disco intervertebrale che ha le caratteristiche funzionali di una camera idraulica e si comporta idealmente come una biglia interposta tra due piani rigidi; nel segmento motorio il centro di rotazione articolare istantaneo è situato più

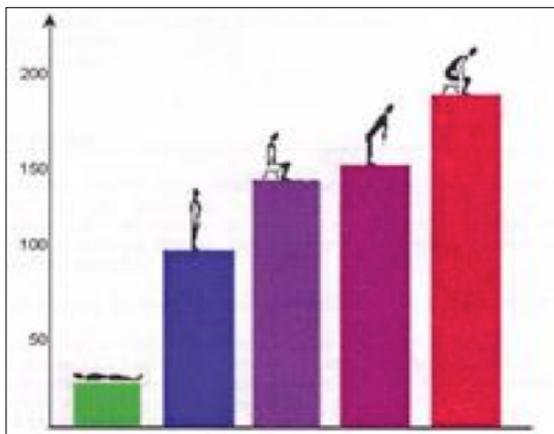


posteriormente a quello nel modello isolato. Tale struttura è capace di sostenere da sola il 75% dello stress compressivo

a cui è sottoposto il pilastro anteriore, distribuendo centrifugamente, in tutte

le direzioni, la pressione presente all'interno del nucleo polposi; tale forza deforma più facilmente il disco intervertebrale lungo le pareti laterali, rispetto alla superficie in contatto con piatti vertebrali, inducendo uno stress tensivo che si traduce in uno schiacciamento ed un allargamento del disco. Essendo sempre presente uno stato di leggera compressione del disco intervertebrale, la pressione all'interno del nucleo polposi non è mai nulla e pertanto il disco si trova sempre in una condizione di *pre-compressione*.

La posizione della vertebra influisce sulla pressione esercitata sul nucleo polposi determinando quindi un aumento di tale forza all'aumentare



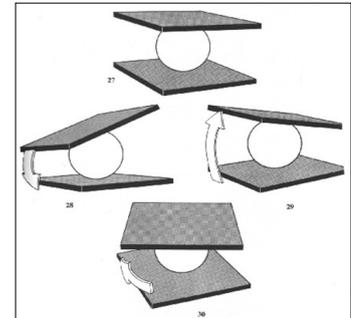
dell'angolo di flessione del busto rispetto alla linea baricentrica; inoltre nella flessione in avanti del tronco, oltre all'aumento della pressione sul nucleo polposi, aumenta notevolmente lo sforzo esercitato

dalla muscolatura paravertebrale, potendo indurre una sintomatologia algica alla schiena.

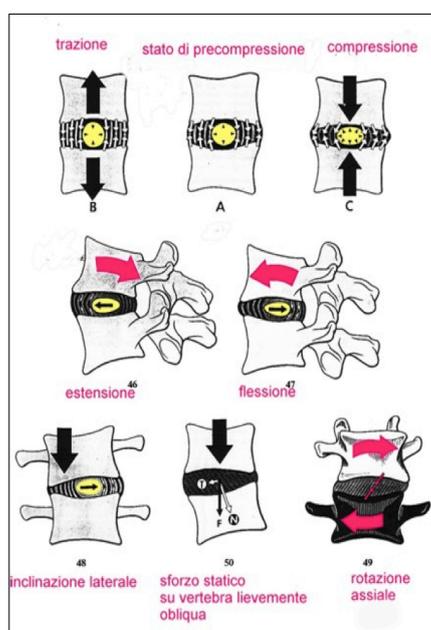
Come già accennato nella fase descrittiva del disco intervertebrale, queste fasi di aumento e diminuzione del carico favoriscono gli scambi osmotici di acqua tra disco e corpo vertebrale, come dimostrato dalla variazione, in minus, dell'altezza di un individuo alla sera rispetto al mattino,

dopo ore di assenza di forze compressive sulla colonna vertebrale, vista la posizione orizzontale assunta durante il riposo.

Visualizzando il centro di rotazione vertebrale come una biglia tra due piani rigidi si comprende bene quali siano i movimenti elementari che l'unità funzionale è capace di compiere: movimenti di flessione-estensione sul piano sagittale, movimenti di flessione sul piano coronale e movimenti di rotazione e scivolamento sul piano trasversale.



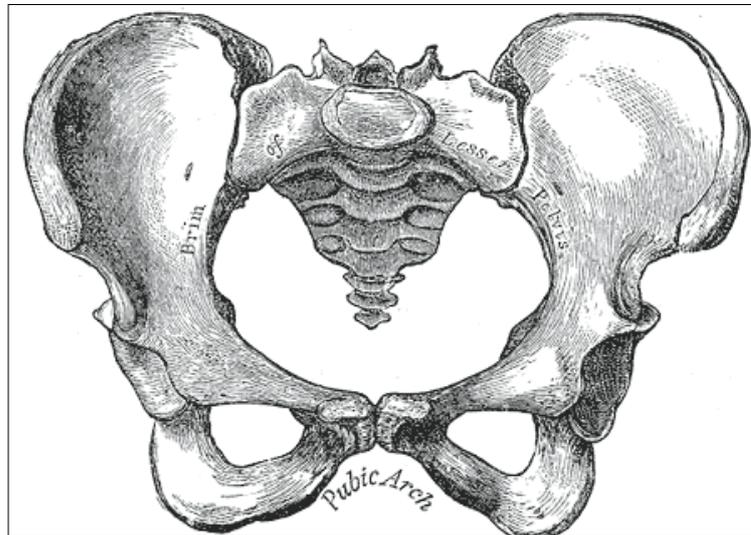
Durante l'esecuzione di movimenti di flessione-estensione, sia sul piano sagittale che su quello laterale, il nucleo polposo viene spinto controlateralmente rispetto al punto di avvicinamento delle strutture ossee delle vertebre adiacenti ed inoltre, sempre nella zona della convessità della



curva che si viene a creare in fase di flessione o di estensione, entrano in tensione l'anulus fibroso del disco intervertebrale ed i ligamenti coinvolti, limitando così il grado d'estensione del movimento. I movimenti di rotazione, come già detto, sono limitati e condizionati dalla posizione delle faccette articolari delle articolazioni zigoapofisarie ed inoltre la

stabilità sul piano trasversale è fornita dalle strutture ligamentose.

## BIOMECCANICA DEL SEGMENTO SPINOPELVICO



Il segmento spinopelvico della colonna vertebrale rappresenta il punto di connessione tra il tronco e gli arti inferiori ed è costituito dal segmento lombare e sacrale del rachide e dalle ossa del bacino, ileo, ischio e pube. Come già descritto, il promontorio sacrale rappresenta il brusco passaggio tra la lordosi lombare e la cifosi sacrale.

Il segmento spinopelvico è fondamentale alla deambulazione bipede in quanto, da un punto di vista biomeccanico l'insieme della flessibilità del tratto lombare della colonna vertebrale e dell'azione tirante dei muscoli propri del dorso, consente alla pelvi un movimento di rotazione sul piano sagittale. La rotazione media della pelvi in un soggetto sano è stata stimata di circa  $10^\circ$ , di cui circa  $8^\circ$  dati dalla rotazione assiale lombare.<sup>(7)</sup>

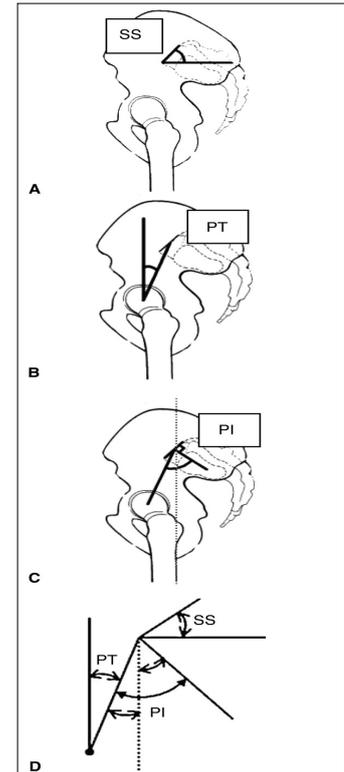
Rotazione e traslazione sono gli unici due movimenti che un osso può compiere.

La rotazione è determinata da due forze agenti in direzioni opposte su differenti parti dell'osso che determinano una coppia di forze la cui risultante viene definita *torchio*. In base alle circostanze tale risultante di forze può essere determinata da due contrazioni muscolari, una contrazione muscolare e una resistenza ligamentosa o dalla forza di gravità e una delle due componenti appena citate. Quando un osso in rotazione è studiato tridimensionalmente si possono identificare dei piani ossei paralleli alla direzione della rotazione dai quali è possibile, considerando il centro di ogni piano, definire l'*asse di rotazione* osseo; questo può variare al variare delle forze che compongono la coppia.

La traslazione è il movimento più semplice poiché tutti i punti dell'osso si muovono contemporaneamente nella stessa direzione sotto l'azione di forza denominata "shear".<sup>(8)</sup>

Il segmento spinopelvico è caratterizzato da parametri angolari specifici che lo descrivono morfologicamente e funzionalmente. Il parametro fondamentale nella descrizione del segmento spinopelvico è *l'incidenza pelvica – PI*, per la cui definizione si rimanda al paragrafo "Evoluzione della lordosi Lombare". Tale parametro indica l'inclinazione dell'osso sacro rispetto al bacino, descrivendo la relazione tra il piatto sacrale e la testa del femore ed è molto importante perché rimane costante per tutta l'esistenza dell'individuo.<sup>(9)(10)</sup> L'angolo di incidenza pelvica fornisce informazioni

sostanziali per quanto riguarda le possibilità di compensazione pelvica del balance sagittale attraverso movimenti di retroversione: valori bassi di PI indicano una scarsa possibilità di retroversione del bacino, viceversa valori elevati di PI indicano maggiori possibilità di retroversione. Nella popolazione sana il valore di PI è stato dimostrato essere compreso tra  $35^\circ$  e  $85^\circ$ , con una media di  $51,9^\circ$ .<sup>(11)</sup> Dal punto di vista anatomico il diametro antero-posteriore pelvico è correlato con una proporzionalità diretta con



l'ampiezza del PI e quindi pazienti con PI bassa hanno uno stretto diametro pelvico antero-posteriore, con la testa del femore che si trova spostata verso l'asse verticale passante per il piatto di S1, mentre pazienti con un PI maggiore hanno un diametro antero-posteriore ampio. Angoli di PI con ampiezza minore sono stati riscontrati in pazienti affetti dalla sindrome di Scheuermann, mentre angoli con ampiezza maggiore, in pazienti affetti da spondilolistesi istmica.<sup>(12)</sup>

Altri parametri angolari spino-pelvici da considerare nello studio di questo tratto del rachide sono la *Lordosi Lombare – LL*, il *Pelvic Tilt – PT*, e il *Sacral Slope – SS*.

La Lordosi Lombare è l'angolo modificabile che rappresenta l'ampiezza

della curva, concava posteriormente, del segmento lombare della colonna ed equivale all'angolo acuto dato dall'incidenza delle due linee perpendicolari a quelle tracciate parallelamente alla limitante somatica superiore del corpo di L1 e a quella inferiore del corpo di L5.

Il Pelvic Tilt è un angolo modificabile compreso tra una linea verticale che origina dal centro della testa del femore e un'altra che unisce quest'ultima al centro del piatto sacrale. Quando si ha un movimento di retroversione l'angolo cresce al contrario, in un movimento di anteroversione l'angolo si riduce.

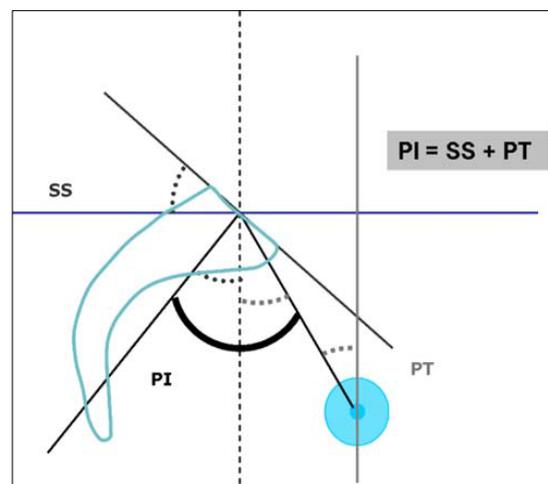
Il Sacral Slope è un angolo modificabile che esprime l'orientamento del piatto sacrale rispetto alla linea dell'orizzonte. Anche in condizioni patologiche il valore di SS non può mai essere  $<0^\circ$ , poiché  $0^\circ$  corrisponde a un piatto sacrale orizzontale, quindi un valore negativo di SS non è compatibile con la stazione eretta.<sup>(13)</sup>

Grazie alle relazioni geometriche tra PI, PT e SS è possibile instaurare tale equazione:

$$PI = PT + SS^{(14)}$$

da cui si deduce che:

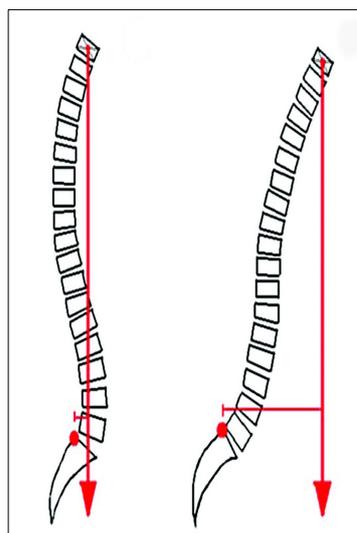
$$PT = PI - SS.$$



È stato visto che, in soggetti sani, il valore massimo ideale di PT sia <50% di PI, mentre al contrario SS dovrebbe superare il 50% di PI.

La rilevazione dei suddetti parametri, mediante misurazioni effettuate su esami radiografici che ne garantiscono la ripetibilità, ha reso possibile una loro indicizzazione da cui è stata possibile la definizione di un range di normalità, all'interno del quale esiste una variabilità individuale. Tale variabilità, applicata all'incidenza pelvica, ha permesso di identificare gruppi a elevata e bassa incidenza pelvica. Per ogni gruppo, a partire dall'incidenza pelvica, sono calcolabili i valori attesi degli altri parametri angolari spino-pelvici (LL, PT, SS). Questi valori contribuiscono alla definizione dell'allineamento del rachide e quindi risulta facile intuire come essi rappresentino un punto chiave nello studio dell'intera colonna vertebrale. Tale allineamento sagittale del rachide è denominato *Sagittal Balance* e s'identifica con la *Sagittal Vertical Axis* (SVA) ed è, ovviamente, strettamente

correlato con i valori della PI e della LL. La sagittal vertical axis, che in condizioni di normalità corrisponde alla linea baricentrica della colonna vertebrale, è una linea identificata sul piano sagittale che dal centroide di C7 è proiettata perpendicolarmente a terra. La distanza tra questa



linea e lo spigolo posterosuperiore della limitante somatica superiore dell'osso sacro, nei soggetti normali o bilanciati, deve

essere inferiore a 5 cm. Quando questa distanza aumenta a causa del venir meno della LL o per la perdita della flessibilità o, nei casi peggiori, di entrambe, si parla di *Sagittal Imbalance*, e si possono immediatamente apprezzare dei notevoli svantaggi biomeccanici con un reclutamento maggiore e costante dei muscoli paravertebrali, al fine di mantenere l'equilibrio, con la conseguente insorgenza di una sindrome clinica caratterizzata da *dolore postura-dipendente*, difficilmente trattabile, e da una *limitazione della deambulazione autonoma progressiva e disabilitante*.<sup>(15)(16)(17)</sup> L'entità di tali svantaggi è correlata in maniera direttamente proporzionale alla positività del balance sagittale, ossia a quanto maggiore è la distanza a cui si trova la sagittal vertical axis rispetto al massimo del range fisiologico. All'aumentare di tale positività subentrano dei meccanismi di compenso con cui l'organismo cerca di recuperare la lordosi lombare persa; i meccanismi di compenso in ordine di comparsa temporale in base al grado di positività del balance sono: l'iperlordosi lombare o cervicale, la riduzione della cifosi dorsale, la retroversione del bacino, l'insorgenza di una cifosi toracica, la flessione delle ginocchia. I meccanismi di compenso sono stati al centro di un recente studio di Lamartina e Berjano<sup>(18)</sup>, nel quale i due autori hanno fatto una revisione ed offerto una classificazione delle deformità sul piano sagittale in base alla presenza o meno di meccanismi di compenso. È stato definito uno stadio iniziale di "compensating imbalance", che gli autori scelgono di denominare più correttamente "imbalance nascosto", in cui non è presente sbilanciamento

sagittale obiettivabile clinicamente anche se, ad un esame più accurato, si possono identificare meccanismi di compenso muscolari o radiologici (*tabella a fianco*).

Compensatory mechanisms
None
Lumbar hyperlordosis or thoracic lordosis
Cervical hyperlordosis
Lumbar hyperlordosis
Lower lumbar hyperlordosis
Pelvic retroversion
Thoracic lordosis
Pelvic retroversion (flexed knees)
Upper lumbar hyperlordosis and/or pelvic retroversion
Increased pelvic tilt
Flexed knees
No compensatory mechanisms. Normal pelvic tilt

Tale situazione viene facilmente misconosciuta e la consapevolezza della sua

esistenza e la capacità di identificarla hanno ridotto la cattiva interpretazione di quadri clinici complessi, specialmente in pazienti con patologia degenerativa avanzata e in casi di ripetuti fallimenti chirurgici.

Per rendersi conto di quanto detto basta pensare che nella colonna vertebrale di un soggetto sano, in una posizione eretta efficiente, il centro di rotazione del singolo segmento spinale è localizzato appena posteriormente al nucleo polposo del disco intervertebrale, come abbiamo visto nello studio dell'unità morfofunzionale del rachide, e ciò significa che i muscoli intrinseci della colonna non hanno alcun compito se non quello di stabilizzare tale posizione. Il peso di capo, braccia e tronco è interamente supportato dalla colonna. Si stima che in tale condizione di *ortostatismo efficiente* il dispendio energetico sia superiore a quello della posizione supina solo del 7%.<sup>(19)</sup> Nel momento in cui il bilanciamento sagittale viene meno il dispendio energetico da parte della muscolatura paravertebrale aumenta in modo esponenziale con la conseguenza insorgenza di dolore.

# SPONDILOSI LOMBARE DEGENERATIVA

## INQUADRAMENTO DELLA PATOLOGIA

La Spondilosi Degenerativa Lombare è una definizione aspecifica con la quale s'indica un gruppo eterogeneo di patologie degenerative del tratto lombare della colonna vertebrale, tra cui ritroviamo:

1. *alterazioni degenerative a carico del disco intervertebrale*, come la riduzione dei proteoglicani con l'invecchiamento, processi di disidratazione, alterazioni a carico dell'anulus fibroso con possibile erniazione del nucleo polposo, fibrosi del disco intervertebrale, riduzione dell'altezza del disco con relativa riduzione degli spazi intervertebrali e maggiore suscettibilità al danno;
2. *alterazioni degenerative a carico delle articolazioni zigoapofisarie* come ad esempio lassità ligamentose o ipertrofia delle faccette articolari;
3. *ponti ossei tra i corpi vertebrali* con conseguente patologia degenerativa discale per perdita dei meccanismi necessari al trofismo del disco intervertebrale;
4. *spondilolistesi*;
5. *spondilolisi*, detta anche spondilolistesi istmica;
6. *ipertrofia del ligamento giallo*.

## PATOGENESI

I meccanismi patogenetici della patologia degenerativa lombare sono la degenerazione del disco intervertebrale e l'osteoartrite delle faccette articolari delle articolazioni zigoapofisarie; queste hanno una correlazione causale reciproca in quanto, la degenerazione discale può portare a un processo di osteoartrite delle faccette articolari e viceversa, la degenerazione di quest'ultime può alterare il disco intervertebrale fino alla sua completa degenerazione. La cascata degenerativa che lega questi due aspetti patogenetici, in cui l'età spesso, ma non necessariamente, rappresenta il *primum movens*, è la cosiddetta *cascata degenerativa di Kirkaldy-Willis*<sup>(20)</sup> la quale descrive la sequenza di eventi che conducono alla spondilosi degenerativa multisegmentale. Tale processo degenerativo si basa sul concetto del "three-joint complex", ossia sulla dipendenza reciproca dei 3 elementi coinvolti nella degenerazione dell'unità morfofunzionale del rachide: le 2 faccette articolari delle articolazioni zigoapofisarie ed il disco intervertebrale. La conseguenza di questi aspetti degenerativi è l'instabilità segmentale, ma è altrettanto vero che la stessa ipermobilità del segmento spinale può condurre a degenerazione discale e delle artrodie delle articolazioni zigoapofisarie.

Da quanto detto sopra si evince che nella progressione della patologia degenerativa si ha un coinvolgimento di tutte le strutture del distretto anatomico spinale e ciascuna può essere fonte di uno specifico aspetto clinico

di cui il dolore è la manifestazione principale.

La degenerazione discale porta all'insorgenza di *Dolore Discogenico*; alcune teorie, non confermate ancora da studi scientifici, ipotizzano processi di reinnervazione dell'anulus del disco intervertebrale durante il processo degenerativo, preceduta da processi di neoangiogenesi, con conseguente neovascolarizzazione del disco. Quel che è certo invece, è che la riduzione dell'apporto nutritivo del disco intervertebrale rappresenti un punto trigger nei cambiamenti che si sviluppano nella matrice extracellulare discale: la riduzione di nutrienti fa shiftare il metabolismo del disco da aerobio ad anaerobio, con conseguente aumento di Acido Lattico e riduzione del ph. Le conseguenze di questo processo patologico sono rappresentate dai processi degenerativi a livello del disco intervertebrale con cambiamenti degenerativi a livello cellulare e della matrice extracellulare. A loro volta questi cambiamenti sono l'innescò di una cascata pro-infiammatoria che diviene l'elemento decisivo nell'insorgenza del dolore in cui trovano un ruolo citochine pro-infiammatorie come il Tumor Necrosis Factor (TNF), l'Interleuchina-1 (IL)-1, l'Interleuchina-6 (IL-6) e la Prostaglandina E2 (PG-E2). Tali molecole, insieme all'Ossido Nitrico (NO), all'aumento dell'Acido Lattico e all'abbassamento del ph, possono diffondere tra le lamine più esterne del disco intervertebrale, dove sono presenti fibre nocicettive, causando l'insorgenza di dolore.

La degenerazione delle faccette articolari delle articolazioni zigoapofisarie dà luogo alla *Sindrome delle Faccette Articolari*. Questa sindrome è caratterizzata dallo sviluppo di alterazioni degenerative a carico delle faccette articolari con successivo sviluppo di osteoartrite. Fattori predisponenti sono un non corretto allineamento delle faccette articolari e un'alterazione del balance sagittale. Nello stadio avanzato dell'osteoartrite le faccette articolari perdono la cartilagine ialina articolare, si sviluppano cisti e pseudocisti midollari, può insorgere sclerosi ossea e possono formarsi osteofiti; la fusione delle faccette articolari è molto rara. Ai fini sintomatologici risulta molto importante la cascata di citochine pro-infiammatorie che viene innescata dal processo osteoartritico.

Vertebre, muscoli e ligamenti, se alterati, contribuiscono all'instabilità segmentale che porta alla *Sindrome d'Instabilità*. Questa è una condizione associata a una riduzione della rigidità del rachide, che si manifesta con dolore e che ha il potenziale di provocare una progressiva deformità della colonna vertebrale, aumentando così il rischio di danno alle strutture nervose. La diagnosi d'instabilità segmentale è prevalentemente una diagnosi clinica e la valutazione strumentale del massimo range di movimento rachideo, misurato con indagini dinamiche d'imaging che permettono la valutazione di cambiamenti nella cinematica segmentale causati dalla progressione della patologia degenerativa cronica, ha scarsa validità.

## PRESENTAZIONE CLINICA

L'elemento chiave della presentazione clinica nella spondilosi degenerativa lombare è il dolore alla schiena, *back pain*, in corrispondenza del tratto lombare del rachide.

Nelle fasi iniziali la spondilosi lombare degenerativa può presentarsi sia in maniera asintomatica, che con un dolore alla schiena, che va a sommarsi a quello indotto dall'aumentato impegno muscolare ai fini di mantenere la stabilità, dovuto al processo degenerativo che progressivamente coinvolge più strutture anatomiche.

Il dolore discogenico è caratterizzato da 3 sintomi cardine:

1. *low back pain*, che rappresenta il sintomo predominante;
2. peggioramento del *dolore alla flessione del busto*;
3. *assenza d'irradiazione radicolare del dolore* a livello della superficie anteriore della coscia.

Il dolore discogenico tende a peggiorare con il mantenimento, per lungo tempo, della posizione seduta o della flessione del busto e inoltre aumenta anche quando il paziente tenta di passare dal clinostatismo alla posizione ortostatica.

La sindrome delle faccette articolari si manifesta con la disfunzione delle faccette articolari delle articolazioni zigoapofisarie e con la

sintomatologia legata al processo di osteoartrite. Sulla base del quadro patogenetico l'aspetto clinico è caratterizzato da :

1. *low back pain*, sintomo predominante;
2. *dolore osteoartritico*;
3. peggioramento del *dolore all'estensione e alla rotazione del busto*;
4. *assenza d'irradiazione radicolare del dolore* alla superficie anteriore della coscia.

Il dolore in questa sindrome clinica si manifesta per movimenti di flessione e rotazione del busto in quanto questi movimenti generano forze compressive a livello delle faccette articolari. Il dolore è riferito alla regione glutea e all'inguine e solo raramente s'irradia all'arto inferiore pur rimanendo un dolore di tipo non radicolare. Il dolore di tipo osteoartritico risulta essere peggiore al risveglio e migliorare col movimento; in questi casi il sonno può essere disturbato con i pazienti che talvolta si svegliano con la necessità di dover compiere qualche passo per ridurre il dolore.

La sindrome d'instabilità è caratterizzata da *dolore provocato dal movimento* e che migliora, talvolta fino a scomparire, con il riposo; il dolore può essere tale da indurre il paziente a non poter svolgere le normali azioni quotidiane. In questi pazienti le vibrazioni possono peggiorare il dolore come ad esempio può accadere per lunghi spostamenti in auto o treno o durante

una corsa. Il dolore, generalmente, non s'irradia inferiormente oltre i glutei.

In conclusione i pazienti possono riferire dolore alla schiena che generalmente aumenta con i movimenti di flesso-estensione e rotazione del busto e dolore di tipo articolare, che tende invece a migliorare col movimento. Tipicamente il dolore non s'irradia agli arti inferiori in quanto non è di origine radicolare, ma se col tempo il paziente sviluppa compressione radicolare o stenosi midollare può riferire dolore di tipo crampiforme e/o urente agli arti inferiori, ossia un dolore tipicamente neuropatico, che porta clinicamente a claudicatio neurogena. In questi casi, in fase diagnostica, si può fare diagnosi differenziale con l'arteriopatia obliterante degli arti inferiori, ricorrendo all'uso dell'eco-doppler.

## DIAGNOSI

I reperti riscontrati all'esame clinico del paziente non sono facilmente attribuibili con certezza all'alterazione morfologica che li ha generati e quindi è necessario ricorrere all'uso dell'imaging per poter approfondire la diagnosi cercando di individuare la causa scatenante il dolore.

Per lo studio radiodiagnostico della patologia lombare degenerativa, si ricorre principalmente all'uso della radiografia e della risonanza magnetica (MRI), mentre oggi l'uso della TAC è passato in secondo piano, trovando campo d'impiego solo in un ristretto numero di situazioni.

Le radiografie standard del tratto lombosacrale del rachide, devono essere eseguite sia in proiezione antero-posteriore che latero-laterale. Questo esame fornisce informazioni poco efficaci nell'identificare la causa del dolore, ma comunque è valido per poter prendere visione dell'eventuale riduzione degli spazi intervertebrali, della possibile sclerosi delle limitanti somatiche dei corpi vertebrali e di eventuali fenomeni osteoartritici importanti a carico delle faccette articolari delle articolazioni zigoapofisarie. L'esame radiografico dinamico, in flessione-estensione, è utilizzato per indagare l'instabilità segmentale mediante l'osservazione di eccessivi movimenti del segmento spinale considerato o eventuali sublussazioni delle faccette articolari, condizioni che raramente si riscontrano in soggetti sani, come ad esempio nei contorsionisti.

La risonanza magnetica rappresenta il *gold standard* per lo studio della patologia degenerativa lombare. Questo esame ha surclassato la TAC per la sua migliore qualità nel creare contrasti d'immagine utili alla diagnosi. La risonanza magnetica è un esame estremamente sensibile, ma poco specifico come dimostra l'ampia osservazione di alterazioni morfologiche in soggetti asintomatici. In pazienti sintomatici la lettura della risonanza magnetica deve porre l'attenzione alla degenerazione discale, alle modifiche delle superfici piate dei corpi vertebrali e alle faccette articolari.

Oggi l'uso della TAC è riservato a pazienti che presentano fusione delle faccette articolari delle articolazioni zigoapofisarie e ai pazienti che mostrano

controindicazioni alla risonanza magnetica.

## TERAPIA

L'approccio terapeutico alla patologia degenerativa lombare può essere di tipo non chirurgico o chirurgico.

L'*approccio non chirurgico* si avvale dei seguenti criteri d'inclusione dei pazienti:

1. dolore alla schiena in corrispondenza del tratto lombare del rachide in assenza di sintomi neuropatici come radicolopatie;
2. alterazioni strutturali minime;
3. intensità e localizzazione del dolore variabili;
4. insorgenza dei sintomi da meno di 6 mesi;
5. sintomi intermittenti;
6. pazienti molto motivati.

Gli obiettivi dell'approccio terapeutico non chirurgico sono: ridurre il dolore, migliorare la qualità di vita e riconsentire al paziente di svolgere le proprie attività quotidiane lavorative, sociali e ricreative.

Il main-stay, ossia i pilastri su cui si basa l'approccio terapeutico non chirurgico sono:

1. controllo farmacologico del dolore mediante l'utilizzo di farmaci

anti-infiammatori e, se necessario, mediante infiltrazioni;

2. riabilitazione funzionale mediante blanda attività fisica quotidiana;
3. terapia cognitivo-comportamentale.

Un elemento predittivo molto importante ai fini della riuscita del trattamento non cruento è la tempestività di quest'ultimo, perché il buon esito di un recupero funzionale e socio-lavorativo della terapia è tanto meno probabile se il dolore e le limitazioni funzionali persistono per lungo tempo.

Il *trattamento chirurgico* della spondilosi lombare degenerativa è indicato quando un percorso terapeutico non cruento, programmato correttamente e seguito adeguatamente dal paziente, si è dimostrato inefficace nel migliorare il dolore o le limitazioni funzionali. Generalmente i pazienti vengono indirizzati all'intervento solo dopo un periodo di circa 2 anni di riabilitazione funzionale andato incontro a fallimento; questo atteggiamento di attesa deve tenere in considerazione il fatto che più a lungo il dolore persiste, più si riduce la possibilità di scomparsa del dolore a seguito del trattamento. In virtù di quest'ultima considerazione, sta avanzando l'idea della terapia chirurgica non più esclusivamente come seconda possibilità a seguito di un approccio non cruento mal riuscito, bensì come opportunità terapeutica precoce. La valutazione dei pazienti quindi assume un'importanza cruciale ai fini del buon esito terapeutico e i criteri d'inclusione che devono essere rispettati sono:

1. alterazioni morfologiche importanti;
2. estensione della patologia a 1 o 2 livelli vertebrali;
3. sintomi clinici correlabili alle strutture anatomiche coinvolte;
4. dolore evocabile con test di provocazione;
5. periodiche recidive di dolore nonostante un corretto percorso riabilitativo;
6. pazienti altamente motivati.

Anche in questo approccio più tempestivo della terapia chirurgica il paziente è indirizzato ad un percorso riabilitativo intensivo ed aggressivo di massimo 3 mesi al termine dei quali, se non si è ottenuto un miglioramento si procede con l'intervento.

L'intervento di artrodesi lombare, ossia un intervento di fusione di un segmento spinale lombare, può prevedere la fusione dei processi spinosi e delle lamine adiacenti, delle faccette articolari, dei processi trasversi o degli spazi intervertebrali. Tale fusione vertebrale si basa sull'utilizzo di un innesto osseo e sfrutta per raggiungere tale scopo le proprietà biologiche ossee di *osteogenicità* (capacità dell'innesto osseo d'indurre una neoformazione ossea; l'efficacia è strettamente dipendente dalla presenza di cellule osteogeniche), di *osteoconduzione* (capacità del tessuto innestato di crescere su una superficie non biologica, che si traduce in un'incorporazione della superficie stessa nell'osso) e di *osteoinduzione* (cellule primitive, indifferenziate, pluripotenti

che si differenziano in cellule osteogeniche). Il gold standard nella scelta del tipo di innesto da utilizzare è l'*innesto autologo*, che mostra tutte e 3 le qualità ossee precedentemente descritte; tale materiale osseo viene prelevato dalla cresta iliaca o da frammenti di osso corticale o spongioso. Lo svantaggio di tale materiale è la possibile insorgenza di dolore nella sede di prelievo osseo e la modesta quantità prelevabile; date queste possibili complicanze vengono spesso utilizzati gli *innesti allogenici*, che ovviano alle complicanze appena menzionate anche se possono essere veicolo di infezione. Recentemente vengono utilizzati frequentemente anche i sostituti ossei che offrono la possibilità di ridurre al minimo il rischio di trasmissione delle malattie infettive. Come per gli innesti allogenici, i sostituti ossei devono soddisfare i criteri di biocompatibilità con il ricevente.

L'artrodesi lombare, tecnica chirurgica nata col fine di stabilizzare il segmento vertebrale coinvolto, oggi ha ampliato il suo scopo, mirando non solo più unicamente alla stabilizzazione vertebrale, ma anche al ripristino delle curve fisiologiche del paziente col fine di ottenere un miglioramento della qualità di vita sia sotto l'aspetto del dolore percepito dal paziente che negli aspetti funzionali e socio-lavorativi.

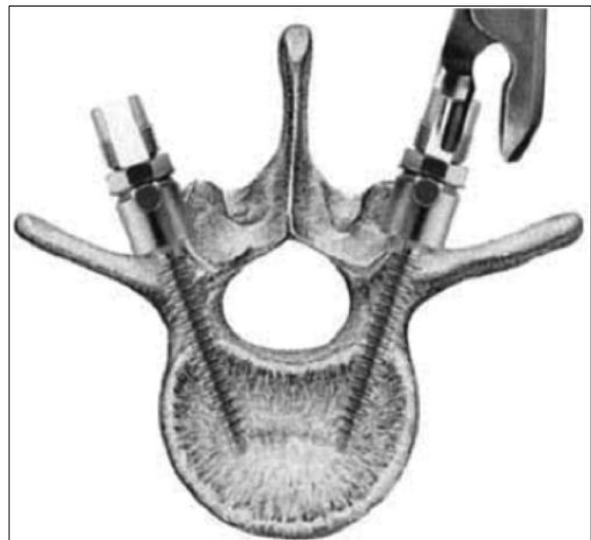
L'intervento di artrodesi può essere distinta in una forma non strumentata ed in una strumentata.

La *tecnica non-strumentata* può essere eseguita mediante tre vie di

approccio. La via più frequentemente utilizzata è la fusione posterolaterale (PLF – Posterior Lumbar Fusion), che comprende un innesto osseo che comporti una fusione degli elementi del pilastro posteriore della colonna vertebrale. In alternativa l'artrodesi può essere eseguita mediante un approccio posteriore (PLIF – Posterior Lumbar Fusion Intersomatic), in cui s'esegue l'asportazione del disco intervertebrale e la rimozione della cartilagine delle superfici piate dei corpi vertebrali e successivamente si procede con il riempimento dello spazio intervertebrale con l'innesto osseo, così da indurre una fusione intersomatica; il terzo approccio, infine, prevede una via anteriore (ALIF – Anterior Lumbar Intersomatic Fusion), con cui si esegue una fusione intersomatica.

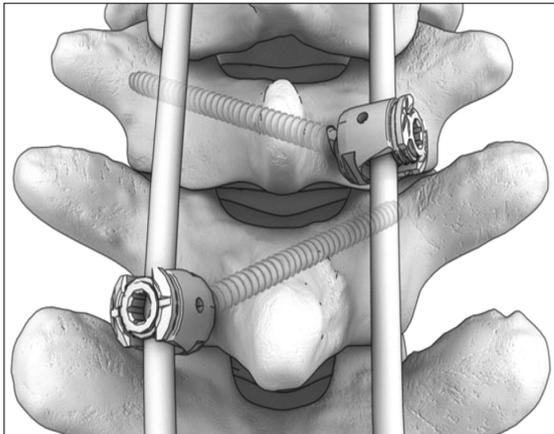
La *tecnica strumentata* di artrodesi si distingue a sua volta in sistemi di stabilizzazioni statici e sistemi di stabilizzazioni dinamiche.

L'artrodesi eseguita mediante sistemi di stabilizzazioni statici prevede il bloccaggio di 1 o più livelli vertebrali mediante l'utilizzo di barre stabilizzatrici fissate alle



vertebre mediante delle viti inserite nell'osso in corrispondenza dei peduncoli, considerati la parte più resistente della struttura vertebrale. Tale tecnica è la

più comunemente utilizzata e di solito si associa alla fusione postero-laterale.



In alternativa all'inserimento nei peduncoli, le viti possono essere avvitate in corrispondenza delle lamine fino ad arrivare ad attraversare le articolazioni zigoapofisarie. Spesso questa tecnica chirurgica è affiancata

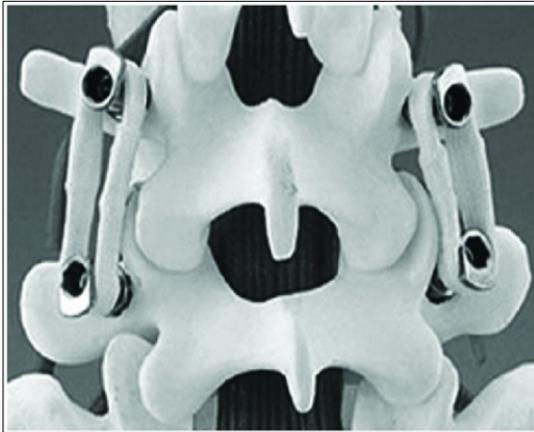
ad una fusione intersomatica anteriore. Il vantaggio di tale tecnica è la ridotta invasività del sistema di stabilizzazione.

Un importante elemento che viene inserito negli spazi intervertebrali, dopo rimozione del disco, a sostegno del pilastro anteriore della colonna vertebrale, è la *cage*. Questo strumento ha una sede di alloggiamento per l'innesto osseo e originariamente era stato creato come strumento per gli interventi di fusione anteriore e posteriore. Oggigiorno,



date le complicanze presentate nel suo utilizzo singolo, il suo impiego è esclusivamente associato all'utilizzo di mezzi di sintesi. Al fine di migliorare gli aspetti biomeccanici della colonna vertebrale, si usa solitamente mettere 2 cage simmetricamente rispetto alla linea mediana che attraversa lo spazio intervertebrale.

I sistemi di stabilizzazione dinamica sono nati col fine di limitare lo sviluppo di degenerazione discale senza però limitare eccessivamente i movimenti del rachide; la teoria che sta alla base della nascita di tali sistemi è che un'anomala trasmissione dei pesi, a carico della colonna vertebrale, si traduce in dolore alla schiena per insorgenza di osteoartrite delle faccette articolari dell'articolazioni zigoapofisarie.

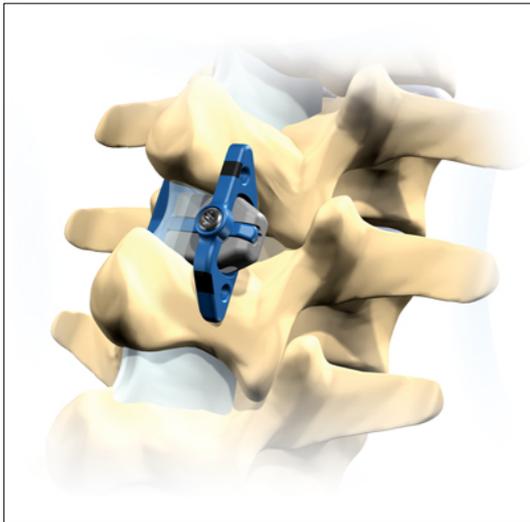


Il primo sistema dinamico è la Graf ligamentoplastica; tale sistema di basa sulla stabilizzazione del rachide in estensione bloccando il movimento delle articolazioni zigoapofisarie mediante una fascia non elastica fissata

con delle viti ai peduncoli vertebrali. Tale sistema ha avuto poco successo poiché determinava uno stress maggiore dell'anulus posteriore e stenosi foraminale.

Il sistema Dynesis è costituito da un sistema di viti peduncolari interconnesse con una corda di polietilene e un tubo di poliuretano che, di fatto, limitano i movimenti sia di flessione che di estensione della colonna vertebrale.





Altro sistema di stabilizzazione dinamico è l'impianto di stabilizzazione interspinoso, che agisce riducendo l'estensione del rachide, mantenendo distratti i processi spinosi. L'effetto che dovrebbe indurre è la riduzione del carico sulla parte posteriore del disco

intervertebrale e mantenere più larghi i forami intervertebrali. Questo sistema di stabilizzazione dinamico è impiegato prevalentemente nella patologia degenerativa discale e nelle stenosi midollari.

Le complicanze degli interventi eseguiti per spondilosi lombare sono strettamente dipendenti dall'estensione del tratto strumentato e dall'esperienza del chirurgo. Le complicanze si distinguono in hardware related e non-hardware related. Le più frequenti tra le hardware related troviamo la rottura di viti, mentre tra le non hardware related troviamo l'insorgenza di sindromi giunzionali, infezioni o l'insorgenza di nuovi sintomi neurologici.

## MATERIALI E METODI

## **OBIETTIVO DELLO STUDIO**

Questo studio si pone l'obiettivo di verificare l'eventuale relazione tra il valore della lordosi lombare post-chirurgica e il risultato clinico in pazienti operati per spondilosi lombare degenerativa.

## **CRITERI D'INCLUSIONE DEI PAZIENTI**

I pazienti selezionati per lo studio sono stati scelti secondo criteri che permettessero di omogeneizzare il campione preso in esame, al fine di ridurre il più possibile le variabilità individuali dei singoli soggetti.

I pazienti analizzati sono stati trattati chirurgicamente dal medesimo operatore per spondilosi degenerativa lombare, presso la U.O. Neurochirurgia di Pisa, mediante intervento di artrodesi con stabilizzazione di 2 o 3 livelli vertebrali. I livelli vertebrali strumentati si estendono da L1 a S1. In nessun caso è stata effettuata una valutazione pre-operatoria dei parametri angolari spino-pelvici, in quanto il campione di pazienti selezionati risulta trattato in un momento antecedente alla routinario calcolo della lordosi teorica da ripristinare.

L'età anagrafica dei pazienti, al momento dell'intervento, si estende da una minima di 37 anni a una massima di 70 anni, con un età media di 57,4 anni.

I pazienti sono stati richiamati e visitati così da avere un follow-up variabile da un minimo di 18 ad un massimo di 72 mesi dalla data dell'intervento, con un valore medio di 34,7 mesi. La scelta di tale intervallo temporale è motivata da ragioni di validità dei parametri considerati, poiché un intervallo minimo inferiore a 18 mesi sarebbe stato poco affidabile vista la troppa vicinanza all'intervento.

## **CRITERI D'INDAGINE CLINICO-ANAMNESTICA E RADIOLOGICA**

I pazienti, individuati nel database operatorio, che rispecchiassero i criteri d'inclusione scelti, sono stati un totale di 86, di cui solo 36 hanno partecipato allo studio.

Ogni paziente, in fase post-operatoria, è stato sottoposto ad una radiografia in ortostatismo, sia in proiezione antero-posteriore che latero-laterale, del rachide lombosacrale che comprendesse anche l'acetabolo e la testa del femore, al fine di poter calcolare i valori angolari spino-pelvici.

Ciascun soggetto è stato visitato da un singolo operatore che l'ha valutato sia per l'aspetto anamnestico che per l'aspetto clinico e radiologico.

L'aspetto anamnestico è stato indagato mediante l'uso di questionari specifici tesi a valutare la qualità di vita dei pazienti e le eventuali variazioni

delle abitudini quotidiane, come l'ODI 2.0 - Oswestry Disability Index (versione 2.0) e la PROLO; inoltre è stata proposta ai pazienti la scala VAS - Scala Analogica Visiva - come indice valutativo del dolore. Ciascuna delle scale di valutazione utilizzate è stata utilizzata in fase post-operatoria dopo un intervallo di tempo variabile da 18 a 72 mesi dall'intervento.

L'*Oswestry Disability Index* (ODI)<sup>(21)</sup> è una scala valutativa di funzionalità che oggi giorno è diventata una dei parametri principali nell'ambito della valutazione delle patologie spinali<sup>(22)(23)(24)</sup> e per la sua semplicità, riproducibilità e versatilità, nel valutare il grado di disabilità dei pazienti, è riconosciuta ed utilizzata a livello internazionale (*tabelle sottostanti*).<sup>(25)</sup>

ODI Version 1.0	ODI Version 2.0	AAOS/MODEMS	Chiropractic "Revised Oswestry pain questionnaire"
<p>This questionnaire has been designed to give the doctor information as to how your back pain has affected your ability to manage in every day life. Please answer every section, and mark in each section only the <i>one</i> box which applies to you. We realize you may consider that two of the statements in any one section relate to you, but please just <i>mark the box which most closely describes your problem.</i></p> <p><b>Section 1—Pain intensity</b> I can tolerate the pain I have without having to use painkillers. The pain is bad but I manage without taking painkillers. Painkillers give complete relief from pain. Painkillers give moderate relief from pain. Painkillers give very little relief from pain. Painkillers have no effect on the pain and I do not use them.</p> <p><b>Section 2—Personal care (washing, dressing, etc.)</b> I can look after myself normally without causing extra pain. I can look after myself normally but it causes extra pain. It is painful to look after myself and I am slow and careful. I need some help but manage most of my personal care. I need help every day in most aspects of self-care. I do not get dressed, wash with difficulty and stay in bed.</p> <p><b>Section 3—Lifting</b> I can lift heavy weights without extra pain. I can lift heavy weights but it gives extra pain. Pain prevents me from lifting heavy weights off the floor, but I can manage if they are conveniently positioned, e.g. on a table. Pain prevents me from lifting heavy weights but I can manage light to medium weights if they are conveniently positioned. I can lift only very light weights. I cannot lift or carry anything at all.</p>	<p>Could you please complete this questionnaire It is designed to give us information as to how your back (or leg) trouble has affected your ability to manage in everyday life. Please answer <b>every section</b>. Mark <b>one box only</b> in each section that most closely describes you <b>today</b>.</p> <p><b>Section 1—Pain intensity</b> I have no pain at the moment. The pain is very mild at the moment. The pain is moderate at the moment. The pain is fairly severe at the moment. The pain is very severe at the moment. The pain is the worst imaginable at the moment.</p> <p><b>Section 2—Personal care (washing, dressing, etc.)</b> I can look after myself normally without causing extra pain. I can look after myself normally but it is very painful. It is painful to look after myself and I am slow and careful. I need some help but manage most of my personal care. I need help every day in most aspects of self care. I do not get dressed, wash with difficulty and stay in bed.</p> <p><b>Section 3—Lifting</b> I can lift heavy weights without extra pain. I can lift heavy weights but it gives extra pain. Pain prevents me from lifting heavy weights off the floor but I can manage if they are conveniently positioned, e.g. on a table. Pain prevents me from lifting heavy weights but I can manage light to medium weights if they are conveniently positioned. I can lift only very light weights. I cannot lift or carry anything at all.</p>	<p>In the past week, please tell us how pain has affected your ability to perform the following activities. (Circle the one statement that best describes your average ability.)</p> <p>46. Getting dressed (in the <b>past week</b>). I can dress myself without pain. I can dress myself without increasing pain. I can dress myself but pain increases. I can dress myself but with significant pain. I can dress myself but with very severe pain. I cannot dress myself.</p> <p>47. Lifting (in the <b>past week</b>). I can lift heavy objects without pain. I can lift heavy objects but it is painful. Pain prevents me from lifting heavy objects off the floor, but I can lift heavy objects if they are on a table. Pain prevents me from lifting heavy objects, but I can lift light to medium objects if they are on a table. I can only lift light objects. I cannot lift anything.</p>	<p>Please read: This Questionnaire It is designed to enable us to understand how much your low back pain has affected your ability to manage your everyday activities.</p> <p><b>Section 1—Pain intensity</b> The pain comes and goes and is very mild. The pain is mild and does not vary much. The pain comes and goes and is moderate. The pain is moderate and does not vary much. The pain comes and goes and is severe. The pain is severe and does not vary much.</p> <p><b>Section 2—Personal care</b> I would not have to change my way of washing or dressing in order to avoid pain. I do not normally change my way of washing or dressing even though it causes some pain. Washing and dressing increase the pain but I manage not to change my way of doing it. Washing and dressing increase the pain and I find it necessary to change my way of doing it. Because of the pain I am unable to do some washing and dressing without help. Because of the pain I am unable to do any washing and dressing without help.</p> <p><b>Section 3—Lifting</b> I can lift heavy weights without extra pain. I can lift heavy weights but it gives extra pain. Pain prevents me from lifting heavy weights off the floor. Pain prevents me from lifting heavy weights off the floor but I can manage if they are conveniently positioned, e.g. on a table. Pain prevents me from lifting heavy weights but I can manage light to medium weights if they are conveniently positioned. I can only lift very light weights at the most.</p>

ODI Version 1.0	ODI Version 2.0	AAOS/MODEMS	Chiropractic "Revised Oswestry pain questionnaire"
<p><b>Section 4—Walking</b> Pain does not prevent my walking any distance. Pain prevents me walking more than 1 mile. Pain prevents me walking more than 1/2 mile. Pain prevents me walking more than 1/4 mile. I can only walk using a stick or crutches. I am in bed most of the time and have to crawl to the toilet.</p> <p><b>Section 5—Sitting</b> I can sit in any chair as long as I like. I can sit in my favourite chair as long as I like. Pain prevents me sitting more than 1 hour. Pain prevents me from sitting more than 1/2 an hour. Pain prevents me from sitting more than 10 minutes. Pain prevents me from sitting at all.</p> <p><b>Section 6—Standing</b> I can stand as long as I want without extra pain. I can stand as long as I want but it gives me extra pain. Pain prevents me from standing for more than 1 hour. Pain prevents me from standing for more than 30 minutes. Pain prevents me from standing at all.</p> <p><b>Section 7—Sleeping</b> Pain does not prevent me from sleeping well. I can sleep well only by using tablets. Even when I take tablets I have less than 6 hours sleep. Even when I take tablets I have less than 4 hours sleep. Even when I take tablets I have less than 2 hours sleep. Pain prevents me from sleeping at all.</p>	<p><b>Section 4—Walking</b> Pain does not prevent me walking any distance. Pain prevents me walking more than 1 mile. Pain prevents me walking more than 1/2 of a mile. Pain prevents me walking more than 100 yards. I can only walk using a stick or crutches. I am in bed most of the time and have to crawl to the toilet.</p> <p><b>Section 5—Sitting</b> I can sit in any chair as long as I like. I can sit in my favourite chair as long as I like. Pain prevents me from sitting for more than 1 hour. Pain prevents me from sitting for more than 1/2 an hour. Pain prevents me from sitting for more than 10 minutes. Pain prevents me from sitting at all.</p> <p><b>Section 6—Standing</b> I can stand as long as I want without extra pain. I can stand as long as I want but it gives me extra pain. Pain prevents me from standing for more than 1 hour. Pain prevents me from standing for more than 1/2 an hour. Pain prevents me from standing for more than 10 minutes. Pain prevents me from standing at all.</p> <p><b>Section 7—Sleeping</b> My sleep is never disturbed by pain. My sleep is occasionally disturbed by pain. Because of pain I have less than 6 hours sleep. Because of pain I have less than 4 hours sleep. Because of pain I have less than 2 hours sleep. Pain prevents me from sleeping at all.</p>	<p>48. Walking and Running (in the <b>past week</b>). I can run or walk without pain. I can walk comfortably, but running is painful. Pain prevents me from walking more than 1 hour. Pain prevents me from walking more than 30 minutes. Pain prevents me from walking more than 10 minutes. I am unable to walk or can walk only a few steps at a time. 49. Sitting (in the <b>past week</b>). I can sit in any chair as long as I like. I can only sit in a special chair as long as I like. Pain prevents me from sitting more than 1 hour. Pain prevents me from sitting more than 30 minutes. Pain prevents me from sitting more than 10 minutes. Pain prevents me from sitting at all.</p> <p>50. Standing (in the <b>past week</b>). I can stand as long as I want. I can stand as long as I want but it gives me pain. Pain prevents me from standing more than 1 hour. Pain prevents me from standing for more than 30 minutes. Pain prevents me from standing for more than 10 minutes. Pain prevents me from standing at all.</p> <p>51. Sleeping (in the <b>past week</b>). I sleep well. Pain occasionally interrupts my sleep. Pain interrupts my sleep half of the time. Pain often interrupts my sleep. Pain always interrupts my sleep. I never sleep well.</p>	<p><b>Section 4—Walking</b> I have no pain on walking. I have some pain with walking but it does not increase with distance. I cannot walk more than One Mile without increasing pain. I cannot walk more than 1/2 Mile without increasing pain. I cannot walk more than 1/4 Mile without increasing pain. I cannot walk at all without increasing pain.</p> <p><b>Section 5—Sitting</b> I can sit in any chair as long as I like. I can sit only in my favourite chair as long as I like. Pain prevents me from sitting for more than one hour. Pain prevents me from sitting for more than 1/2 hour. Pain prevents me from sitting for more than 10 minutes. I avoid sitting because it increases pain straight away.</p> <p><b>Section 6—Standing</b> I can stand as long as I want without pain. I have some pain on standing but it does not increase with time. I cannot stand for longer than one hour without increasing pain. I cannot stand for longer than 1/2 hour without increasing pain. I cannot stand for longer than 10 minutes without increasing pain. I avoid standing because it increases pain straight away.</p> <p><b>Section 7—Sleeping</b> I get no pain in bed. I get pain in bed but it does not prevent me from sleeping well. Because of pain my normal nights sleep is reduced by less than 1/4. Because of pain my normal nights sleep is reduced by less than 1/2. Because of pain my normal nights sleep is reduced by less than 3/4. Pain prevents (me) from sleeping at all.</p>

ODI Version 1.0	ODI Version 2.0	AAOS/MODEMS	Chiropractic "Revised Oswestry pain questionnaire"
<p><b>Section 8—Sex life</b> My sex life is normal and causes no extra pain. My sex life is normal but causes some extra pain. My sex life is nearly normal but is very painful. My sex life is severely restricted by pain. My sex life is nearly absent because of pain. Pain prevents any sex life at all.</p> <p><b>Section 9—Social life</b> My social life is normal and gives me no extra pain. My social life is normal but increases the degree of pain. Pain has no significant effect on my social life apart from limiting my more energetic interests, e.g. dancing, etc. Pain has restricted my social life and I do not go out as often. Pain has restricted social life to my home. I have no social life because of pain.</p> <p><b>Section 10—Travelling</b> I can travel anywhere without extra pain. I can travel anywhere but it gives me extra pain. Pain is bad but I manage journeys over two hours. Pain restricts me to journeys of less than one hour. Pain restricts me to short necessary journeys under 30 minutes. Pain prevents travel except to the doctor or hospital.</p>	<p><b>Section 8—Sex life (if applicable)</b> My sex life is normal and causes no extra pain. My sex life is normal but causes some extra pain. My sex life is nearly normal but is very painful. My sex life is severely restricted by pain. My sex life is nearly absent because of pain. Pain prevents any sex life at all.</p> <p><b>Section 9—Social life</b> My social life is normal and causes me no extra pain. My social life is normal but increases the degree of pain. Pain has no significant effect on my social life apart from limiting my more energetic interests, e.g. sport, etc. Pain has restricted my social life and I do not go out as often. Pain has restricted social life to my home. I have no social life because of pain.</p> <p><b>Section 10—Travelling</b> I can travel anywhere without pain. I can travel anywhere but it gives extra pain. Pain is bad but I manage journeys over two hours. Pain restricts me to journeys of less than one hour. Pain restricts me to short necessary journeys under 30 minutes. Pain prevents me from travelling except to receive treatment.</p>	<p>52. Travelling (in the <b>past week</b>): I can travel anywhere. I can travel anywhere but it gives me pain. Pain is bad but I can manage to travel over two hours. Pain restricts me to journeys of less than one hour. Pain restricts me to trips less than 30 minutes. Pain prevents me from travelling.</p>	<p><b>Section 8—Sex life</b> My social life is normal and gives me no pain. My social life is normal but increases the degree of my pain. Pain has no significant effect on my social life apart from limiting my more energetic interests, e.g. dancing, etc. Pain has restricted my social life and I do not go out very often. Pain has restricted social life to my home. I have hardly any social life because of the pain.</p> <p><b>Section 9—Social life</b> I get no pain whilst travelling. I get some pain whilst travelling but none of my usual sorts of travel make it any worse. I get extra pain whilst travelling but it does not compel me to seek alternative forms of travel. I get extra pain whilst travelling which compels me to seek alternative forms of travel. Pain restricts all forms of travel. Pain prevents all forms of travel except that done lying down.</p> <p><b>Section 10—Changing degree of pain</b> My pain is rapidly getting better. My pain fluctuates but overall is definitely getting better. My pain seems to be getting better but improvement is slow at present. My pain is neither getting better or worse. My pain is gradually worsening. My pain is rapidly worsening.</p>

Tale scala, esistente nelle versioni 1.0 e 2.0, valuta alcuni aspetti della vita quotidiana dei pazienti mediante domande riguardanti l'intensità del

dolore, la capacità nel prendersi cura della propria persona e di fare sollevamenti, l'autonomia nel camminare e nel mantenere la posizione eretta o seduta, la durata del sonno prima che questo sia disturbato dal dolore ed infine, la capacità di mantenere una vita di relazione o lavorativa. A ognuno dei suddetti aspetti è attribuito un punteggio da cui, attraverso la seguente formula, si ottiene un punteggio globale espresso %:

$$\left[ \left( \frac{\sum(\text{punteggio domande})}{50} \right) * 100 \right] = \text{punteggio } \%$$

Sulla base di tale risultato si suddividono classi di disabilità differenti:

- ❖ Disabilità Minima ~ 0 – 20%
- ❖ Disabilità Modesta ~ 21 – 40%
- ❖ Disabilità Severa ~ 41 – 60%
- ❖ Disabilità Grave ~ 61 – 80%
- ❖ Disabilità Completa ~ 81 – 100%

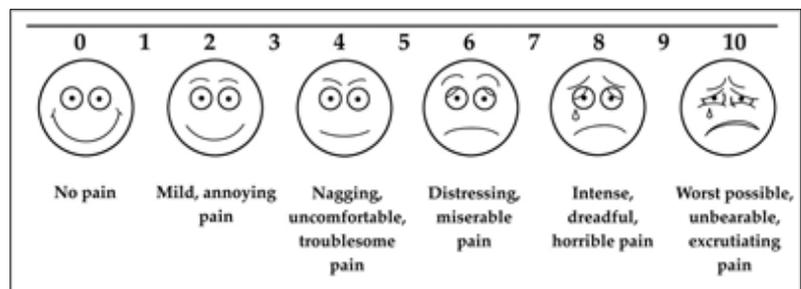
La scala Prolo è una scala valutativa largamente utilizzata nella valutazione dei risultati della chirurgia spinale e dunque dell'efficacia di quest'ultima. La versione originale, da noi utilizzata (*tabella pagina successiva*), è divisa in una parte valutante l'aspetto economico e in una che indaga quello funzionale così da mettere in evidenza il livello di lavoro sopportabile dal paziente ed il condizionamento che il sintomo dolore comporta nella sua vita quotidiana. Ciascuna delle domande ha cinque possibili risposte alle quali è

assegnato un punteggio in modo inversamente proporzionale alla gravità della condizione. Il punteggio, che può avere un minimo di 2 ed un massimo di 10, è dato dalla somma dei valori assegnati alle due domande poste. I pazienti sono suddivisi in 4 classi differenti sulla base del risultato ottenuto<sup>(26)</sup>:

- ❖ Ottimo ~ 10 – 9
- ❖ Buono ~ 8 – 7
- ❖ Modesto ~ 6 – 5
- ❖ Scadente ~  $\leq 4$

Economic status	
E <sub>1</sub>	Complete invalid
E <sub>2</sub>	No gainful occupation including ability to do housework or continue retirement activities
E <sub>3</sub>	Able to work but not at previous occupation
E <sub>4</sub>	Working at previous occupation part time or limited status
E <sub>5</sub>	Able to work at previous occupation with no restrictions of any kind
Functional status	
F <sub>1</sub>	Total incapacity (or worse than before operation)
F <sub>2</sub>	Mild-to-moderate level of low back pain and/or sciatica (or pain same as before operation but able to perform all daily tasks of living)
F <sub>3</sub>	Low level of pain and able to perform all activities except sports
F <sub>4</sub>	No pain but patient has had one or more recurrences of low back pain or sciatica
F <sub>5</sub>	Complete recovery, no recurrent episodes of low back pain, able to perform all previous sport activities

La *Visual Analogical Scale* (VAS) è una scala valutativa del dolore soggettivo provato dal paziente indicato su una scala visiva che vede un valore esteso da un minimo di 0 ad un massimo di 10, dove 0 esprime l'assenza di dolore e 10 indica la presenza di un dolore descritto come insopportabile ed il peggiore immaginabile.

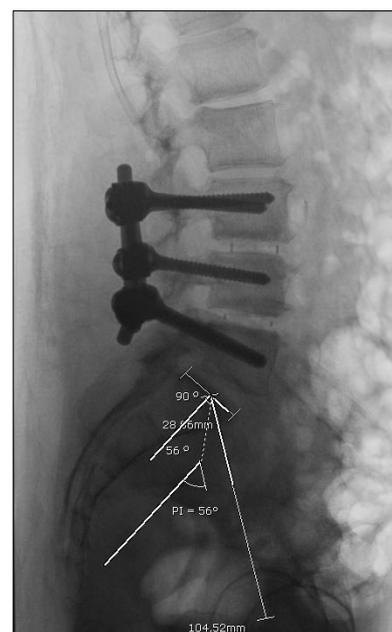


L'utilizzo di queste tra scale valutative, quindi, ha consentito di valutare per ogni paziente l'outcome post-operatorio sotto molteplici aspetti qualitativi quali quello funzionale, quello socio economico e quello soggettivo.

L'aspetto clinico è stato valutato mediante esame obiettivo neurologico, con particolare attenzione al dolore e alle sue caratteristiche di origine e d'irradiazione e alla capacità deambulatoria.

Ogni paziente prima della visita ha eseguito una radiografia del rachide lombosacrale sia in proiezione postero-anteriore che latero-laterale mantenendo per entrambe le proiezioni la posizione ortostatica con le braccia incrociate e le mani poste ognuna sulla spalla controlaterale. L'analisi delle radiografie fatte dai pazienti ha permesso all'operatore di ottenere, nella proiezione latero-laterale, le misure precise dei valori angolari spino-pelvici come il PI, la LL globale, il PT ed il SS e anche i valori della Lordosi del tratto strumentato.

Il valore della *Pelvic Incidence* è misurato, calcolando l'angolo formato tra la linea congiungente il centro della testa del femore con il punto medio del piatto di S1 e la perpendicolare alla superficie di S1. Il valore medio di PI nella popolazione in funzione dell'età è di<sup>(27)</sup>:



- ❖ 21 – 40 anni ~  $52^\circ \pm 10^\circ$
- ❖ 41 – 60 anni ~  $53^\circ \pm 8^\circ$
- ❖ > 60 anni ~  $51^\circ \pm 9^\circ$

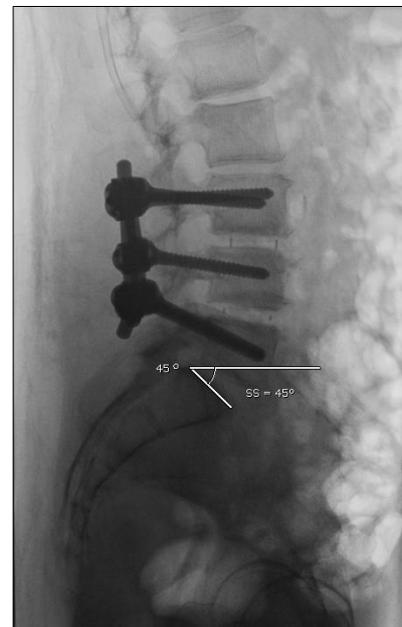
La PI è l'unico parametro spinopelvico costante e rappresenta una caratteristica propria del singolo individuo che non varia né in base all'età, né in base alla patologia, né in base alla postura (si mantiene costante sia in ortostatismo, che in clinostatismo).

Il valore del *Sacral Slope* è ottenuto misurando l'angolo tra la linea tracciata parallelamente alla superficie superiore di S1 e quella parallela alla superficie d'appoggio del soggetto. Tale valore indica l'inclinazione del piatto di S1 rispetto all'orizzonte e varia al variare dell'età, della condizione patologica o della postura. Il valore medio nella popolazione sana è di<sup>(27)</sup>:

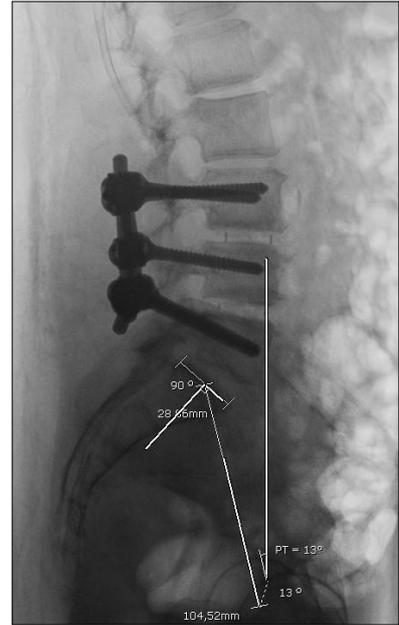
- ❖ 21 – 40 anni ~  $39^\circ \pm 9^\circ$
- ❖ 41 – 60 anni ~  $40^\circ \pm 7^\circ$
- ❖ > 60 anni ~  $36^\circ \pm 9^\circ$

SS non può essere  $<0^\circ$ , poiché  $0^\circ$

corrisponde a un piatto sacrale orizzontale e quindi un valore negativo di SS non è compatibile con la stazione eretta.<sup>(13)</sup>



Il *Pelvic Tilt* è un parametro angolare ottenuto dalla misurazione dell'angolo compreso tra la linea passante per il centro della testa del femore, perpendicolare al piano di appoggio del soggetto, e la linea che congiunge il punto medio del piatto di S1 con il centro della testa del femore; per le relazioni angolari presenti tra i parametri spino-pelvici, il PT è calcolabile anche mediante la seguente equazione:



$$PT = PI - SS$$

Anche questo parametro non resta costante e cambia, come SS, in funzione di variabili come l'età, lo stato patologico e la postura. Il valore medio di PT nella popolazione sana è di<sup>(27)</sup>:

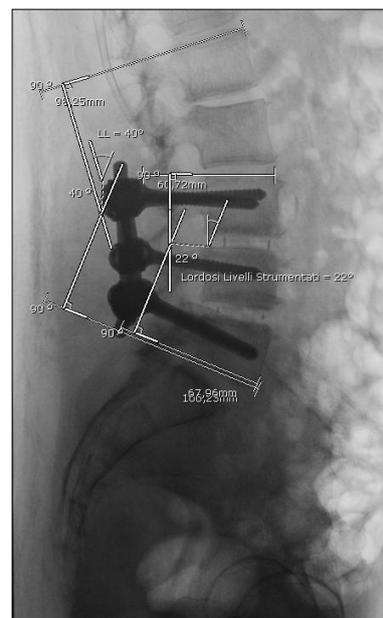
- ❖ 21 – 40 anni ~ 13° ± 7°
- ❖ 41 – 60 anni ~ 14° ± 6°
- ❖ > 60 anni ~ 16° ± 6°

La *Lordosi Lombare* è un parametro variabile in base all'età, allo stato patologico e alla postura assunta dal soggetto preso in esame e si ottiene misurando l'angolo acuto dato dall'incidenza delle due linee perpendicolari a quelle tracciate parallelamente alla limitante somatica superiore del corpo di L1 e a quella inferiore del corpo di L5. Il valore medio di LL nella

popolazione sana è di<sup>(27)</sup>:

- ❖ 21 – 40 anni ~  $60^\circ \pm 14^\circ$
- ❖ 41 – 60 anni ~  $60^\circ \pm 8^\circ$
- ❖ > 60 anni ~  $57^\circ \pm 11^\circ$

La misura della Lordosi del tratto vertebrale strumentato si esegue in maniera analoga a quella di LL; a differenza di quest'ultima, ovviamente, la lordosi del tratto strumentato non è soggetta a variazioni (salvo successivi reinterventi).



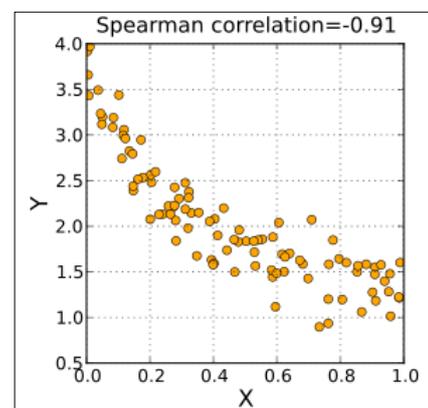
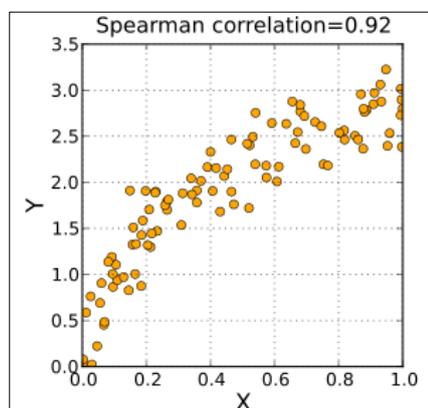
Per ogni paziente, sulla base del valore della Pelvic Incidence misurata dall'operatore, è stata ricavata la lordosi lombare teorica facendo riferimento alla tabella di Roussouly et al.<sup>(1)</sup> (tabella sottostante), che suddivide i pazienti in 6 gruppi sulla base del valore della PI rispetto alla quale assegna i valori medi, nella popolazione sana, degli altri valori angolari spino-pelvici.

	n	PI	PT	SS	LL	TK
I $28^\circ < PI < 37.9^\circ$	12	$35.4 \pm 1.3$ [33.7–37.9]	$3.9 \pm 4.5$ [-1.5 to 13.3]	$31.5 \pm 5.2$ [21.2–38.5]	$53.3 \pm 6.6$ [41.2–62]	$43.8 \pm 9.1$ [22.5–51.5]
II $38^\circ < PI < 47.9^\circ$	44	$42.7 \pm 2.8$ [37.9–47.6]	$8.9 \pm 4.8$ [-5.1 to 18.2]	$33.8 \pm 4.8$ [23.1–48.4]	$55.5 \pm 8$ [41.5–76.5]	$48 \pm 8.8$ [24–64.7]
III $48^\circ < PI < 57.9^\circ$	59	$52.6 \pm 2.8$ [48.2–57.4]	$12.5 \pm 5.6$ [-1.2 to 23.2]	$40.1 \pm 5.5$ [28.2–52.9]	$61.5 \pm 8.4$ [43.1–81.9]	$47.4 \pm 10.7$ [24–70.3]
IV $58^\circ < PI < 67.9^\circ$	26	$62.6 \pm 2.8$ [58.2–67.6]	$15.8 \pm 4.3$ [7.1–26.8]	$46.8 \pm 4.2$ [37.9–58.5]	$68.3 \pm 5.1$ [60.9–76.3]	$47.6 \pm 7.8$ [34.7–64.7]
V $68^\circ < PI < 77.9^\circ$	11	$72.6 \pm 2.8$ [69.6–77.4]	$19.7 \pm 5.5$ [12.6–27.9]	$52.9 \pm 5.2$ [46.2–59.6]	$74.9 \pm 6.8$ [62.2–81.6]	$46 \pm 10.2$ [29.7–62]
VI $78^\circ < PI < 87.9^\circ$	2	$81.4 \pm 3.3$ [79.1–81.4]	$21.9 \pm 12.3$ [13.2–30.6]	$59.5 \pm 9$ [53.1–65.9]	$76 \pm 8.3$ [70.1–81.9]	$44.6 \pm 12.2$ [36–53.3]

I valori ottenuti mediante le misurazioni radiologiche ed i valori teorici suddetti hanno permesso di calcolare la differenza tra lordosi lombare teorica

e lordosi lombare effettiva ( $LL_{th.} - LL_{eff.}$ ). Basandosi sul riconoscimento della validità del valore predittivo di disabilità del PI-LL mismatch inoltre, è stata calcolata la differenza tra incidenza pelvica e lordosi lombare effettiva; il valore di riferimento di tale differenza sono  $10^\circ$  e dunque un valore maggiore ha un significativo valore predittivo negativo sull'outcome dei pazienti trattati.<sup>(28)</sup>

In seguito alle misurazioni e ai risultati derivati da esse lo studio è proseguito con l'analisi statistica dei dati ottenuti: tale fase ha visto l'utilizzo del *test statistico di Spearman*<sup>(29)</sup> il quale permette di trovare un coefficiente di correlazione non parametrico definito  $\rho$  (*rho*), tra due serie di valori a distribuzione non necessariamente normale. È opportuno specificare che tale test non individua una relazione di causa tra due variabili, ma permette esclusivamente di verificare se tra esse esiste, o no, una correlazione e se questa sia diretta o inversa. Il valore di  $\rho$  può variare tra -1 e 1, identificando pertanto una correlazione negativa o positiva tra i parametri considerati.



A  $\rho$  si attribuisce una significatività statistica variabile in funzione della

numerosità del campione.

Questo studio affronta la ricerca di correlazione tra l'aspetto clinico e i risultati chirurgici di correzione della lordosi lombare e per fare questo pone la correlazione tra le seguenti coppie di parametri:

- ❖ [PI-LL mismatch] ~ [ODI]
- ❖ [PI-LL mismatch] ~ [Prolo]
- ❖ [PI-LL mismatch] ~ [VAS]
- ❖ [( $LL_{th.} - LL_{eff.}$ )] ~ [ODI]
- ❖ [( $LL_{th.} - LL_{eff.}$ )] ~ [Prolo]
- ❖ [( $LL_{th.} - LL_{eff.}$ )] ~ [VAS]

## **RISULTATI**

## **DATI DEMOGRAFICI**

I pazienti partecipanti sono stati 36, di cui 9 maschi e 27 femmine.

L'età media all'intervento è 57,4 anni, con un'estensione variabile tra un minimo di 37 ad un massimo di 70 anni.

Il numero di livelli strumentati è compreso tra un minimo di 2 ed un massimo di 4, con un valore medio per paziente di 2,3.

## **CORRELAZIONE TRA I QUESTIONARI ODI, PROLO, VAS ED I PARAMETRI ANGOLARI POST-CHIRURGICI**

I risultati ottenuti con i test valutativi ODI, Prolo e VAS, eseguiti durante la visita dei pazienti, insieme ai valori dei parametri angolari spino-pelvici ricavati dalle misurazioni radiografiche, sono inseriti nella tabella a pagina 77.

Dai valori della Pelvic Incidence, della Lordosi Lombare effettiva e di quella teorica, ricavata in riferimento alla tabella di Roussouly et al.<sup>(1)</sup>, sono stati calcolati i seguenti valori, anch'essi presentati analiticamente nella tabella di pagina :

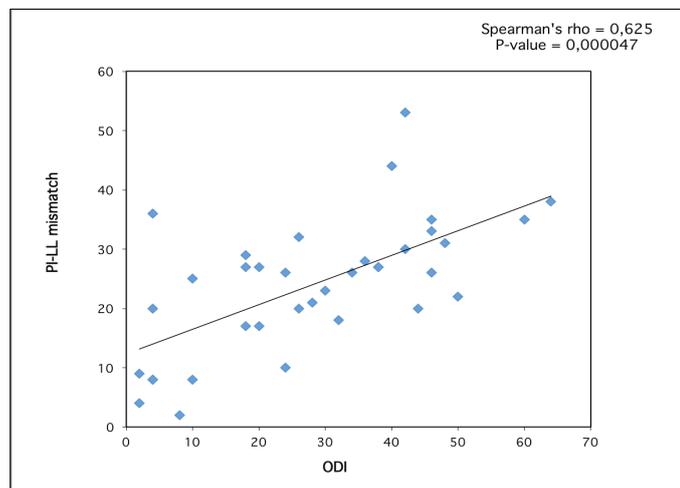
- ❖  $(LL_{th.} - LL_{eff.})$
- ❖ PI-LL mismatch

L'analisi statistica dei dati è stata effettuata con il test di Spearman, producendo per ogni coppia di parametri un grafico di correlazione e un coefficiente  $\rho$ , a cui si associa un valore di significatività statistica (caso-specifico) esplicitato nel grafico.

L'uso delle diverse scale valutative dell'outcome clinico post-chirurgico, ognuna focalizzata su diversi parametri di valutazione della qualità di vita, ha permesso di correlare il risultato chirurgico con le conseguenze sul piano funzionale, socio-economico e di benessere soggettivo dei pazienti.

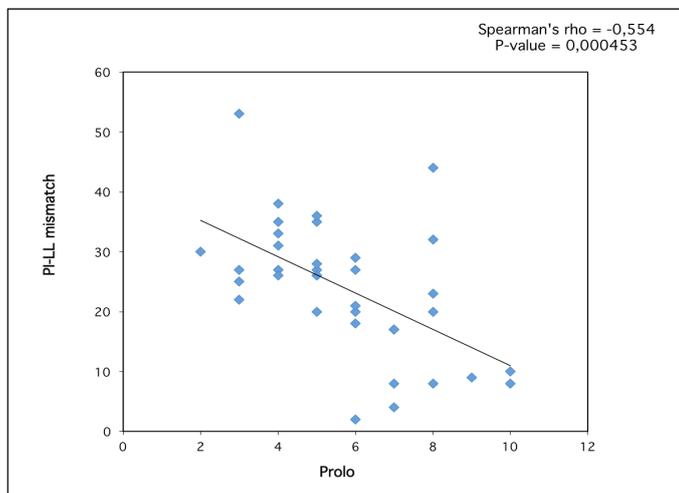
Il test di Spearman analizzando l'andamento clinico e il PI-LL mismatch ha fornito i seguenti risultati:

❖ PI-LL mismatch ~ ODI – Oswestry Disability Index



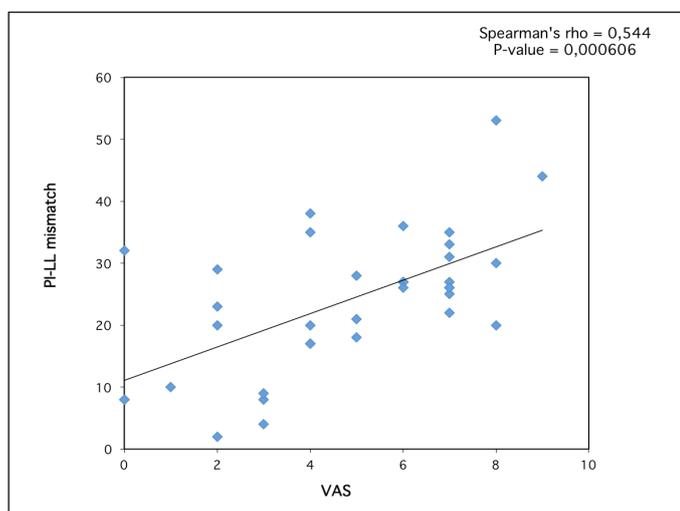
Tale grafico conferma, che nel gruppo di pazienti studiato, esiste una relazione diretta tra l'entità del valore di PI-LL mismatch e la riduzione della qualità di vita negli aspetti funzionali dei pazienti trattati nel decorso post-operatorio;

❖ PI-LL mismatch ~ Prolo



Il risultato di questa correlazione conferma, che nel gruppo di pazienti studiato, esiste una relazione inversa tra i punteggi, che conferma una relazione diretta tra l'entità del valore di PI-LL mismatch e la riduzione delle capacità lavorative dei pazienti trattati e delle relative implicazioni negative sul piano socio-economico;

❖ PI-LL mismatch ~ VAS – Visual Analogical Scale

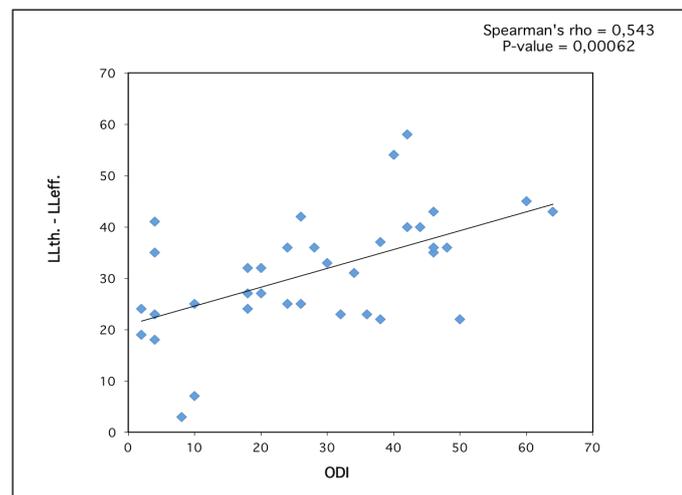


Anche questa correlazione conferma la presenza di maggiore dolore nel periodo post-operatorio nei pazienti con valore di PI-LL mismatch maggiore.

Le correlazioni ottenute dal test di Spearman hanno confermato la validità del valore predittivo negativo di PI-LL mismatch: per valori bassi del mismatch, l'outcome clinico post-operatorio a distanza di tempo è qualitativamente migliore, mentre all'aumentare del valore di PI-LL mismatch aumenta l'incidenza della presenza di dolore, di disabilità e di disagi sul piano socio-economico e lavorativo.

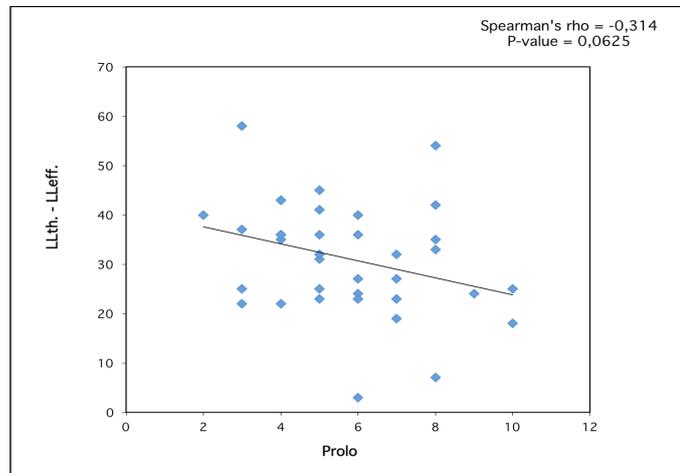
Analizzando la differenza tra la Lordosi Lombare effettiva e quella teorica e il decorso post-operatorio sono risultate le seguenti relazioni:

$$\diamond (LL_{th.} - LL_{eff.}) \sim ODI - \text{Oswestry Disability Index}$$



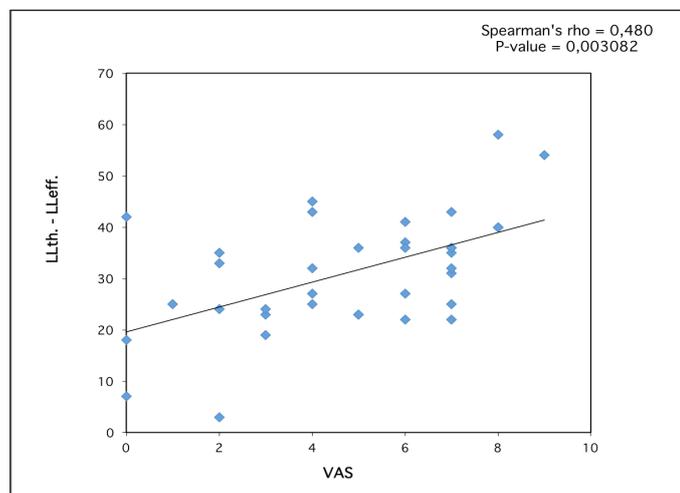
Nel gruppo di pazienti studiato, esiste una relazione diretta tra l'entità del valore della differenza tra la Lordosi Lombare teorica ed effettiva e la riduzione della qualità di vita dal punto di vista funzionale;

❖  $(LL_{th.} - LL_{eff.}) \sim \text{Prolo}$



L'analisi statistica della differenza tra la Lordosi Lombare teorica e quella effettiva, correlata con la riduzione delle capacità lavorative e dello status economico dei pazienti operati, evidenzia una dipendenza di quest'ultimi aspetti con il risultato chirurgico: tanto più è alta la differenza tra la lordosi attesa e quella effettiva, tanto più l'outcome clinico risulta peggiore per il paziente.

❖  $(LL_{th.} - LL_{eff.}) \sim \text{VAS} - \text{Visual Analogical Scale}$



Considerando la correlazione tra la VAS e la differenza tra la lordosi lombare teorica e quella effettiva, si evidenzia che l'entità di tale differenza è direttamente correlata con il peggiore andamento clinico post-operatorio.

Come per l'analisi del PI-LL mismatch, le relazioni ottenute dal test di Spearman confermano la stretta correlazione diretta esistente tra l'entità della differenza tra la Lordosi Lombare teorica e quella effettiva e l'aspetto qualitativo del decorso post-operatorio basato sulla valutazione del dolore, della disabilità e dei disagi sul piano socio economico e lavorativo.

## **CONFRONTO TRA I PARAMETRI ANGOLARI POST-CHIRURGICI E LE COMPLICANZE A BREVE E LUNGO TERMINE**

In totale i reinterventi sono stati 7, di cui 2 complicanze chirurgiche a breve termine (1 ematoma postchirurgico, 1 deiscenza di ferita) e 5 a lungo termine (2 rotture di mezzi di sintesi, 3 sindromi giunzionali). Le complicanze dovute al fallimento meccanico del costruito (rottura dei mezzi di sintesi e sindromi giunzionali) si sono concentrate nei pazienti con valori elevati della differenza tra la Lordosi Lombare teorica e quella effettiva, mentre non sono evidenti strette correlazioni con elevati valori di PI-LL mismatch.

VALUTAZIONE PAZIENTI													
ID	ETA' ALL'INTERVENTO	LIVELLI ARTRODESIS	PI	LL		PI-LL Mismatch	LLth. - LLeff.	VAS Visita	PROLO Visita	ODI Visita	REINTERVENTO Si / No	COMPLICANZE	
				Teorica	LI-L5 Effettiva							Non Hardware Related	Hardware Related
A. R.	62	1.3 - 1.4 - 1.5	49°	59°	26°	23°	33°	2	8	30%	No		
B. P.	63	1.4 - 1.5 - S1	64°	69°	11°	53°	88°	2	3	42%	Si		Rottura di vite
B. E.	54	1.4 - 1.5 - S1	75°	75°	53°	22°	22°	7	3	50%	Si		Imesso nuovo impianto
B. D.	67	1.2 - 1.3 - 1.4 - 1.5	60°	65°	34°	26°	31°	7	5	34%	No		
B. M.	68	1.3 - 1.4 - 1.5	45°	60°	37°	8°	23°	3	7	4%	No		
B. A.	70	1.2 - 1.3 - 1.4 - 1.5	48°	58°	13°	35°	45°	4	5	60%	Si		Sindrome Clunzionale
B. E.	65	1.3 - 1.4 - 1.5	80°	75°	51°	29°	24°	2	6	18%	No		
B. V.	53	1.4 - 1.5 - S1	39°	54°	19°	20°	35°	2	8	4%	No		
B. G.	69	1.4 - 1.5 - S1	79°	74°	52°	27°	22°	6	4	38%	No		
B. G.	68	1.3 - 1.4 - 1.5	34°	54°	14°	20°	40°	8	6	44%	No		
B. F.	60	1.4 - 1.5 - S1	72°	72°	37°	35°	35°	7	4	46%	No		
C. A.	60	1.3 - 1.4 - 1.5	52°	62°	19°	33°	43°	7	4	46%	Si		
C. D.	53	1.3 - 1.4 - 1.5 - S1	63°	68°	65°	-2°	3°	2	6	8%	No		Sindrome Clunzionale
C. A.	58	1.3 - 1.4 - 1.5 - S1	64°	69°	28°	36°	41°	6	5	4%	No		
C. M. P.	59	1.3 - 1.4 - 1.5	67°	72°	29°	38°	43°	4	4	64%	No		
C. L.	46	1.3 - 1.4 - 1.5 - S1	65°	70°	38°	27°	52°	7	5	20%	No		
C. A. M.	52	1.2 - 1.3 - 1.4 - 1.5 - S1	58°	63°	40°	18°	23°	5	6	32%	No		
C. L.	69	1.2 - 1.3 - 1.4 - 1.5	76°	76°	51°	25°	25°	7	3	10%	Si		
C. D.	55	1.4 - 1.5 - S1	48°	58°	18°	30°	40°	8	2	42%	No		
C. G.	37	1.4 - 1.5 - S1	59°	64°	39°	20°	25°	4	5	26%	No		
D. B.	69	1.4 - 1.5 - S1	56°	66°	29°	27°	37°	6	3	38%	No		
D. D.	56	1.3 - 1.4 - 1.5	46°	61°	37°	9°	24°	3	9	2%	No		
D. G.	54	1.2 - 1.3 - 1.4 - 1.5	74°	74°	47°	27°	27°	6	6	18%	No		
D. S.	48	1.3 - 1.4 - 1.5	46°	61°	42°	4°	19°	3	7	2%	No		
S. R.	66	1.3 - 1.4 - 1.5 - S1	57°	67°	40°	17°	27°	4	7	20%	No		
G. E. G.	61	1.4 - 1.5 - S1	42°	57°	59°	-8°	7°	0	8	10%	No		
G. T.	57	1.3 - 1.4 - 1.5	46°	61°	36°	10°	25°	1	10	24%	No		
G. R.	47	1.4 - 1.5 - S1	53°	63°	45°	8°	18°	0	10	4%	Si		Discesa Ferita
G. S.	44	1.3 - 1.4 - 1.5	49°	59°	23°	26°	36°	6	5	24%	No		
G. M.	65	1.3 - 1.4 - 1.5	55°	65°	29°	26°	36°	7	4	46%	No		
L. L. O.	43	1.4 - 1.5 - S1	45°	60°	28°	17°	32°	4	7	18%	No		
M. S.	61	1.4 - 1.5 - S1	46°	72°	25°	21°	36°	5	6	28%	No		
N. M.	45	1.4 - 1.5 - S1	62°	72°	18°	44°	54°	9	8	40%	Si		Rottura di vite
P. C.	46	1.4 - 1.5 - S1	60°	65°	29°	31°	36°	7	4	48%	No		
S. C.	50	1.3 - 1.4 - 1.5	81°	76°	53°	28°	23°	5	5	36%	No		
V. V.	65	1.3 - 1.4 - 1.5	55°	65°	23°	32°	42°	0	8	26%	No		

## CONCLUSIONI

## DISCUSSIONE DEI RISULTATI

La serie di pazienti esaminata appartiene a un periodo temporale antecedente l'applicazione routinaria della misurazione del Balance Sagittale nella valutazione pre-operatoria dei pazienti e non è presente, pertanto, alcun tipo di intervento correttivo finalizzato a ridurre il PI-LL mismatch o ad approssimare il più possibile la Lordosi Lombare effettiva a quella teorica.

I risultati presentati hanno mostrato in primo luogo l'importanza del ripristino della lordosi lombare nell'outcome clinico a lungo termine, dimostrata dalla correlazione statisticamente significativa, tra le scale di valutazione clinica ed i valori di PI-LL mismatch e  $LL_{th}-LL_{eff}$ .

In secondo luogo, apparentemente in contrasto con la prima affermazione, abbiamo potuto osservare, in modo assolutamente qualitativo data l'assenza di un gruppo di controllo, come l'outcome clinico globale all'interno del gruppo di pazienti preso in esame non fosse negativo, come invece ci saremmo aspettati sulla base degli attuali valori di PI-LL mismatch raccomandati dalla letteratura.

Osservando le correlazioni statistiche tra PI-LL mismatch e scale valutative cliniche, possiamo constatare che la correlazione più stretta e significativa esiste tra tale valore radiologico e l'Oswestry Disability Index; esiste anche una correlazione statistica tra  $LL_{th}-LL_{eff}$  e le scale di valutazione clinica, sebbene abbia una significatività statistica inferiore rispetto alle stesse

correlazioni riferite al PI-LL mismatch. Tale risultato conferma quanto appare ormai assodato in letteratura, e cioè che il PI-LL mismatch sia il valore di prognostico riferimento per la stima d'insorgenza, nel lungo termine, di dolore, di disabilità funzionali e di possibili variazioni in negativo dell'aspetto socio-economico. La letteratura descrive valori di PI-LL mismatch  $> 10^\circ$  come un indice predittivo negativo significativo e affidabile di disabilità.<sup>(27)(39)(44)(45)</sup>

Un'osservazione interessante è che l'incidenza maggiore delle complicanze tardive dovute al fallimento biomeccanico del sistema di stabilizzazione si sono concentrate nel gruppo di pazienti con il valore di LLth.-LLeff. più elevata. Possiamo quindi ipotizzare che LLth.-LLeff. assuma un valore prognostico statisticamente forte sull'efficacia biomeccanica del sistema di stabilizzazione.

Tale dato risulta concordante con i risultati di alcuni studi di analisi multifattoriale dei parametri che influenzano l'outcome della decompressione strumentata del rachide lombosacrale per patologia degenerativa.<sup>(45)</sup>

Dalle precedenti osservazioni si può ipotizzare che la valutazione del Balance Sagittale, nonostante negli ultimi anni stia diventando un parametro valutativo sempre più importante nel planning pre-chirurgico<sup>(30)(36)(38)(41)</sup>, nonostante la sua applicazione si sia estesa ad ambiti diversi dalla chirurgia delle deformità spinali e nonostante che la sua validità come fattore clinico

predittivo sia reale, non appare come una “conditio sine qua non” per ottenere un risultato clinicamente positivo, specialmente nei casi in cui il motivo dell'intervento sia una compressione radicolare.<sup>(31)(43)</sup>

La patologia degenerativa del rachide lombare è una delle condizioni cliniche più frequenti con cui il chirurgo spinale si confronta; in questi casi la terapia chirurgica, eseguita mediante strumentazione rigida con viti peduncolari, è una terapia costosa dal punto di vista dei materiali, rischiosa per il paziente, tant'è che rientra nella categoria “Chirurgia Maggiore”, ed è, di per sé, un “fallimento” dal punto di vista biomeccanico, in quanto rende immobile una o più articolazioni.

L'atteggiamento chirurgico correttivo delle deformità spinali presenti sul piano sagittale, nel quadro di patologia degenerativa lombare, deve, a Nostro parere, tenere conto delle alterazioni delle curve fisiologiche del rachide e di eventuali macroscopici sbilanciamenti presenti sul piano antero-posteriore e deve sempre cercare di rispettare il più possibile la morfologia spinale fisiologica propria di ogni singolo paziente, senza tuttavia forzare la correzione in modo estremo, dato che l'outcome clinico a distanza di anni per pazienti con correzioni subottimali risulta paragonabile a quello di pazienti con correzioni più rispettose dei parametri angolari spino-pelvici, nel caso in cui il motivo dell'intervento sia stato una compressione radicolare. Analogamente la correzione subottimale di deformità moderate sul piano

coronale ha portato in letteratura risultati clinici buoni, in popolazione anziana con diagnosi di patologia degenerativa del rachide lombare.<sup>(30)</sup>

Il riconoscimento e la classificazione di un quadro di sbilanciamento compensato<sup>(18)</sup>, nella gestione dei pazienti affetti da patologia degenerativa del rachide lombare, non è un' indicazione assoluta al trattamento della deformità stessa, quanto piuttosto un'ulteriore informazione utile a fini prognostici, consentendo una previsione dell'esito di un intervento di artrodesi.

Pertanto lo studio del Balance Sagittale del paziente risulta un elemento culturale indispensabile per il chirurgo spinale, che lo deve tenere in considerazione sia al fine di avere un quadro completo delle informazioni del paziente, che per dare una corretta indicazione chirurgica.

## Bibliografia

1. Cédric Barrey, Jérôme Jund, Olivier Nosedà, Pierre Roussouly Sagittal balance of the pelvis-spine complex and lumbar degenerative diseases. A comparative study about 85 cases. *Eur Spine J* (2007) 16:1459–1467
2. Sibley CG, Ahlquist JE: DNA hybridization evidence of hominoid phylogeny: results from an expanded data set. *J Mol Evol* 26:99–121, 1987
3. Rosenman B: Triangulating the Evolution of the Vertebral Column in the Last Common Ancestor: Thoracolumbar Transverse Process Homology in the Hominoidea [dissertation]. Kent, OH: Kent State University, 2008
4. Filler AG: Emergence and optimization of upright posture among hominiform hominoids and the evolutionary pathophysiology of back pain. *Neurosurg Focus* 23(1):E4, 2007
5. Been E, Pessah H, Peleg S, Kramer PA: Sacral orientation in hominin evolution. *Adv Anthropol* 3:133–141, 2013
6. Dubousset J: Three-dimensional analysis of the scoliotic deformity, in Weinstein SL (ed): *The Pediatric Spine: Principles and Practice*. New York: Raven Press, 1994, pp 479–496
7. Whittle MW, Levine D: Three-dimensional relationships between the movements of the pelvis and lumbar spine during normal gait. *Hum Mov Sci* 18:681–692, 1999
8. (N Bogduk, L.T. Twomey, *Clinical anatomy of the lumbar spine*. 2nd edition, 1991).
9. Duval-Beaupère G, Schmidt C, Cosson P (1992) A Barycentremetric study of the sagittal shape of spine and pelvis: the conditions required for an economic standing position. *Ann Biomed Eng* 20:451–462
10. Jackson RP, Kanemura T, Kawakami N, Hales C (2000) Lumbopelvic lordosis and pelvic balance on repeated standing lateral radiographs of adult volunteers and untreated patients with constant low back pain.

Spine 25(5):575–586

11. 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 (Phila Pa 1976)* 30(3):346–353
12. Labelle H, Roussouly P, Berthonnaud E, Transfeldt E, O'Brien M, Chopin D, Hresko T, Dimnet J (2004) Spondylolisthesis, pelvic incidence, and spinopelvic balance: a correlation study. *Spine (Phila Pa 1976)* 29(18):2049–2054
13. Mac-Thiong JM, Roussouly P, Berthonnaud E, Guigui P (2010) Sagittal parameters of global spinal balance: normative values from a prospective cohort of seven hundred nine Caucasian asymptomatic adults. *Spine (Phila Pa 1976)* 35(22):E1193–E1198
14. Roussouly P, Berthonnaud E, Dimnet J (2003) Geometrical and mechanical analysis of lumbar lordosis in an asymptomatic population: proposed classification. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 89(7):632–639 (in French)
15. Glassman SD, Bridwell K, Dimar JR, Horton W, Berven S, Schwab F: The impact of positive sagittal balance in adult spinal deformity. *Spine (Phila Pa 1976)* 30:2024–2029, 2005
16. Lafage V, Schwab F, Patel A, Hawkinson N, Farcy JP: Pelvic tilt and truncal inclination: two key radiographic parameters in the setting of adults with spinal deformity. *Spine (Phila Pa 1976)* 34:E599–E606, 2009
17. Schwab F, Farcy JP, Bridwell K, Berven S, Glassman S, Harrast J, et al: A clinical impact classification of scoliosis in the adult. *Spine (Phila Pa 1976)* 31:2109–2114, 2006
18. Claudio Lamartina, Pedro Berjano. Classification of sagittal imbalance based on spinal alignment and compensatory mechanisms. *European Spine Journal*; June 2014, Volume 23, Issue 6, pp 1177-1189
19. Masi AT, Hannon JC: Human resting muscle tone (HRMT): narrative introduction and modern concepts. *J Bodyw MovTher* 12:320–332,

2008

20. Kirkaldy-Willis WH, Wedge JH, Yong-Hing K, J. R. Pathology and pathogenesis of lumbar spondylosis and stenosis. *Spine* 1978;3:319-28
21. Fairbank J, Couper J, Davies J, et al. The Oswestry low back pain questionnaire. *Physiotherapy* 1980;66:271-3
22. Deyo RA, Battie M, Beurskens A, et al. Outcome measures for low back pain research: a proposal for standardized use. *Spine* 1998;23:2003-13
23. Doleys DM, Klapow JC, Hammer M. Psychological evaluation in spinal cord stimulation therapy. *Pain Rev* 1997;4:189-207.
24. Turk DC, Marcus DA. Assessment of chronic pain patients. *Semin Neurol* 1994;14:206-12
25. Jeremy C. T. Fairbank, MD, FRCS,\* and Paul B. Pynsent, PhD† The Oswestry Disability Index. *SPINE* Volume 25, Number 22, pp 2940-2953
26. Carla Vanti, Donatella Prosperi, Marco Boschi The Prolo Scale: history, evolution and psychometric properties. *J Orthopaed Traumatol* (2013) 14:235-245
27. Frank Schwab, MD,\*† Virginie Lafage, PhD,\*† Reid Boyce, MD,\* Wafa Skalli, PhD,‡ and Jean-Pierre Farcy, MD\*† Gravity Line Analysis in Adult Volunteers Age-Related Correlation With Spinal Parameters, Pelvic Parameters, and Foot Position. *SPINE* Volume 31, Number 25, pp E959-E967
28. Rothenfluh DA, Mueller DA, Rothenfluh E, Min K. Pelvic incidence-lumbar lordosis mismatch predisposes to adjacent segment disease after lumbar spinal fusion. *Eur Spine J*. 2014 Jul 14
29. Spearman C (1904). "The proof and measurement of association between two things". *Amer. J. Psychol.* 15: 72-101
30. Justin S. Smith, M.D., Ph.D., Manish Singh, M.D., Eric Klineberg, M.D., Christopher I. Shaffrey, M.D., Virginie Lafage, Ph.D., Frank J. Schwab, M.D., Themistocles Protopsaltis, M.D., David Ibrahimi, M.D., Justin

K. Scheer, B.S., Gregory Mundis Jr., M.D., Munish C. Gupta, M.D., Richard Hostin, M.D., Vedat Deviren, M.D., Khaled Kebaish, M.D., Robert Hart, M.D., Douglas C. Burton, M.D., Shay Bess, M.D., and Christopher P. Ames, M.D.

31. Surgical treatment of pathological loss of lumbar lordosis (flatback) in patients with normal sagittal vertical axis achieves similar clinical improvement as surgical treatment of elevated sagittal vertical axis: Clinical article; Journal of Neurosurgery: Spine Aug 2014 / Vol. 21 / No. 2, Pages 160-170
32. Soo Eon Lee, M.D., Tae-Ahn Jahng, M.D., Ph.D., and Hyun-Jib Kim, M.D., Ph.D. Decompression and nonfusion dynamic stabilization for spinal stenosis with degenerative lumbar scoliosis: Clinical article; Journal of Neurosurgery: Spine Oct 2014 / Vol. 21 / No. 4, Pages 585-594
33. Justin S. Smith, Christopher I. Shaffrey, Kai-Ming G. Fu, Justin K. Scheer, Shay Bess, Virginie Lafage, Frank Schwab, Christopher P. Ames. (2013) Clinical and Radiographic Evaluation of the Adult Spinal Deformity Patient. Neurosurgery Clinics of North America 24, 143-156. . Online publication date: 1-Apr-2013.
34. Justin S. Smith, Eric Klineberg, Frank Schwab, Christopher I. Shaffrey, Bertrand Moal, Christopher P. Ames, Richard Hostin, Kai-Ming G. Fu, Douglas Burton, Behrooz Akbarnia, Munish Gupta, Robert Hart, Shay Bess, Virginie Lafage. (2013) Change in Classification Grade by the SRS-Schwab Adult Spinal Deformity Classification Predicts Impact on Health-Related Quality of Life Measures. Spine 38, 1663-1671. . Online publication date: 1-Sep-2013.
35. Carolyn J. Sparrey, Ph.D., Jeannie F. Bailey, M.A., Michael Safaee, B.S., Aaron J. Clark, M.D., Ph.D., Virginie Lafage, Ph.D., Frank Schwab, M.D., Justin S. Smith, M.D., Ph.D., and Christopher P. Ames, M.D.. (2014) Etiology of lumbar lordosis and its pathophysiology: a review of the evolution of lumbar lordosis, and the mechanics and biology of lumbar degeneration. Neurosurgical Focus 36:5, E1. . Online publication date: 1-May-2014.
36. Jackson RP, Peterson MD, McManus AC, Hales C: Compensatory

- spinopelvic balance over the hip axis and better reliability in measuring lordosis to the pelvic radius on standing lateral radiographs of adult volunteers and patients. *Spine (Phila Pa 1976)* 23:1750–1767, 1998
37. Lafage V, Bharucha NJ, Schwab F, Hart RA, Burton D, Boachie-Adjei O, et al.: Multicenter validation of a formula predicting postoperative spinopelvic alignment. Clinical article. *J Neurosurg Spine* 16:15–21, 2012
  38. Lafage V, Schwab F, Skalli W, Hawkinson N, Gagey PM, Ondra S, et al.: Standing balance and sagittal plane spinal deformity: analysis of spinopelvic and gravity line parameters. *Spine (Phila Pa 1976)* 33:1572–1578, 2008
  39. Rajnics P, Templier A, Skalli W, Lavaste F, Illes T: The importance of spinopelvic parameters in patients with lumbar disc lesions. *Int Orthop* 26:104–108, 2002
  40. Marco Senteler, Bernhard Weisse, Jess G. Snedeker, and Dominique A. Rothenfluh Pelvic incidence–lumbar lordosis mismatch results in increased segmental joint loads in the unfused and fused lumbar spine. Original Article; *European Spine Journal*, July 2014, Volume 23, Issue 7, pp 1384-1393
  41. Pierre Roussouly, João Luiz Pinheiro-Franco. Sagittal parameters of the spine: biomechanical approach. *European Spine Journal*, September 2011, Volume 20, Issue 5 Supplement, pp 578-585
  42. Pierre Roussouly, João Luiz Pinheiro-Franco. Biomechanical analysis of the spino-pelvic organization and adaptation in pathology. *European Spine Journal*. September 2011, Volume 20, Issue 5 Supplement, pp 609-618
  43. Diego Garbossa, Matteo Pejrona, Marco Damilano, Valerio Sansone, Alessandro Ducati, Pedro Berjano. Pelvic parameters and global spine balance for spine degenerative disease: the importance of containing for the well being of content. *European Spine Journal* October 2014, Volume 23, Issue 6 Supplement, pp 616-627
  44. Lazennec JY, Ramaré S, Arafati N, Laudet CG, Gorin M, Roger B,

Hansen S, Saillant G, Maurs L, Trabelsi R (2000) Sagittal alignment in lumbosacral fusion: relations between radiological parameters and pain. *Eur Spine J* 9:47–55

45. *J Spinal Disord Tech.* 2014 Jul 29. [Epub ahead of print]Time to Development, Clinical and Radiographic Characteristics, and Management of Proximal Junctional Kyphosis Following Adult Thoracolumbar Instrumented Fusion for Spinal Deformity. Reames DL1, Kasliwal MK, Smith JS, Hamilton DK, Arlet V, Shaffrey CI.
46. *Spine (Phila Pa 1976).* 2010 Apr 15;35(8):898-905. Effect of sagittal spinal balance, levels of posterior instrumentation, and length of follow-up on low back pain in patients undergoing posterior decompression and instrumented fusion for degenerative lumbar spine disease: a multifactorial analysis. Korovessis P1, Repantis T, Papazisis Z, Iliopoulos P.