

# angewandte biomechanische Aspekte der Kyphose

**W. Lack, M. Nicolakis**  
**Evangelisches**  
**Krankenhaus, Wien**



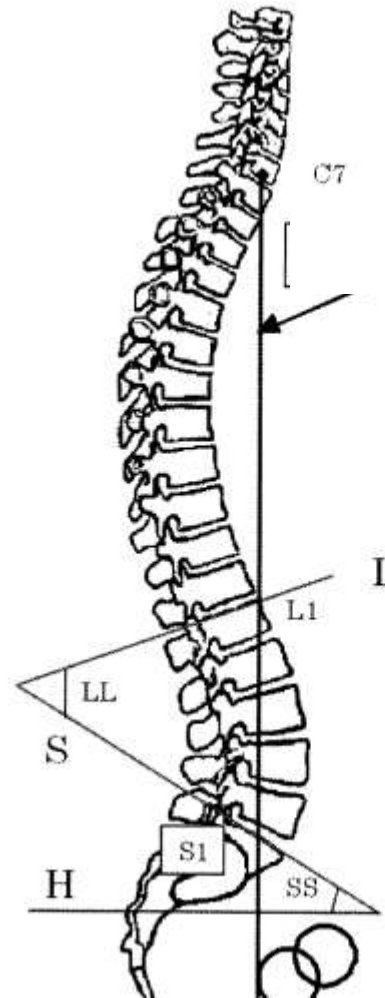
# physiologisches Sagittalprofil der Wirbelsäule

**thorakaler Apex Th 9**  
**Th9-Tilt**

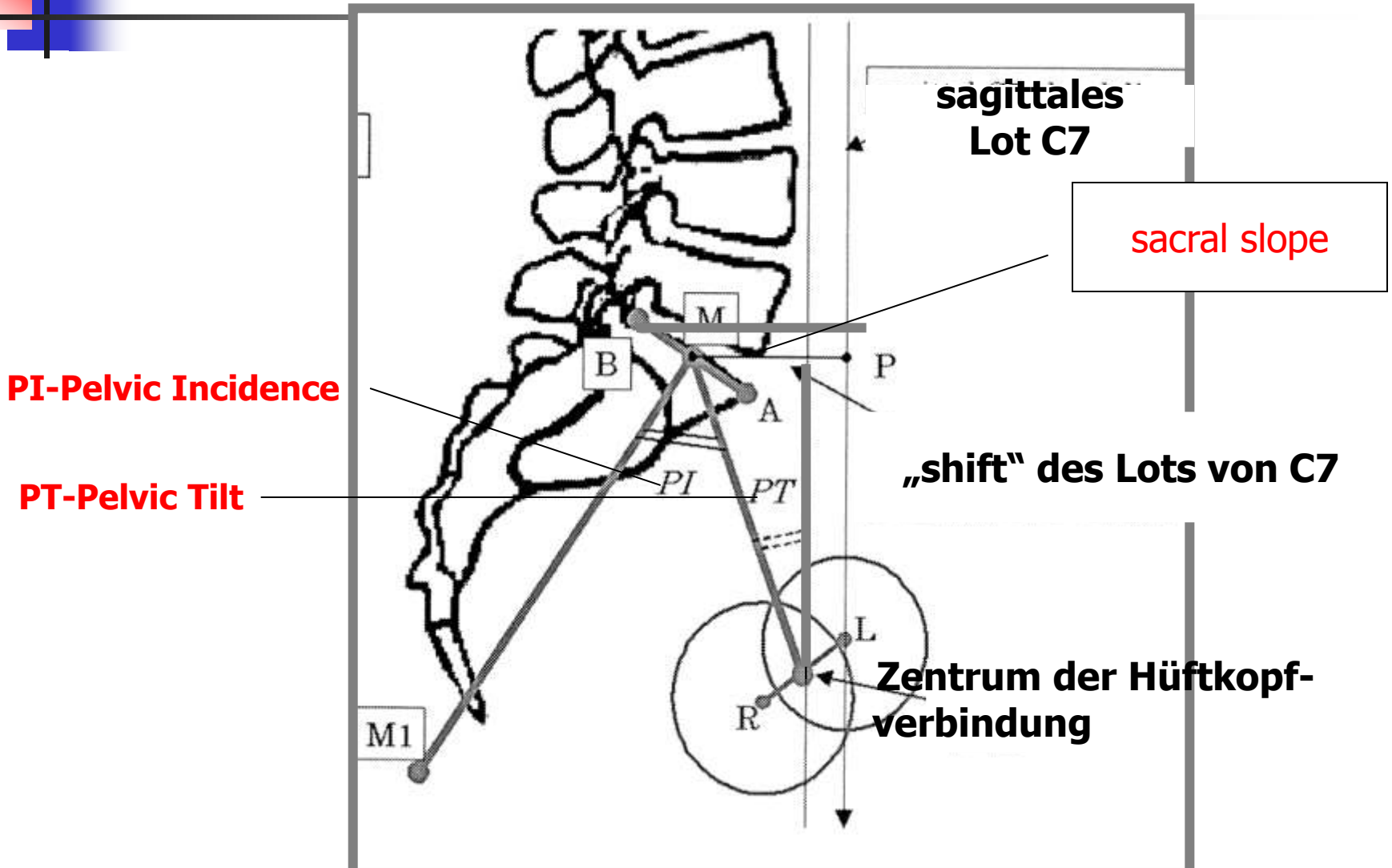
**lumbaler Apex L3**

**C7-Lotlinie durch L3**

**physiologische  
Lotlinie C7**



# relevante Strukturen und Messlinien der Lumbosakralregion



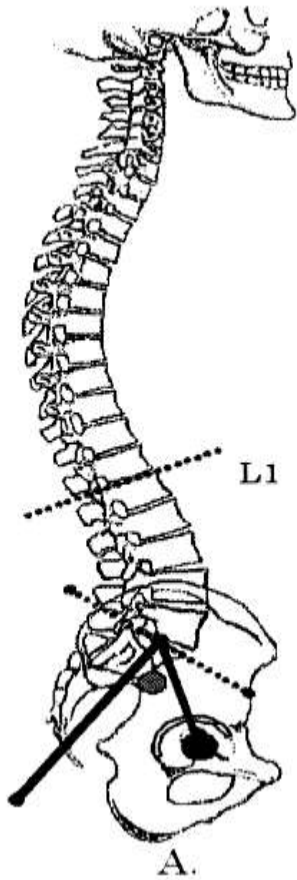


# physiologische Winkel bei 250 Gesunden (Guigui et al. 2003)

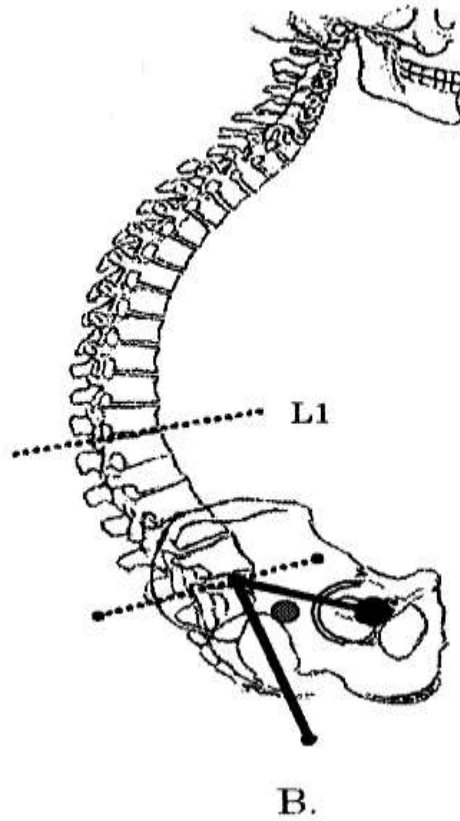
---

- Lendenlordose **60°** +/- 13°  
**75%** L4-S1 (Gardocki et al. 2002)  
**47%** L5-S1
- Thorakalkyphose **40°** +/- 10°
- Sacral Slope **40°** +/- 8°
- Pelvic Incidence **55°** +/- 10°
- Pelvic Tilt **13°** +/- 6°
- sagittale Balance: C7-Lot **<3cm** vor  
der S1-Deckplatte  
T9-Tilt **0°**

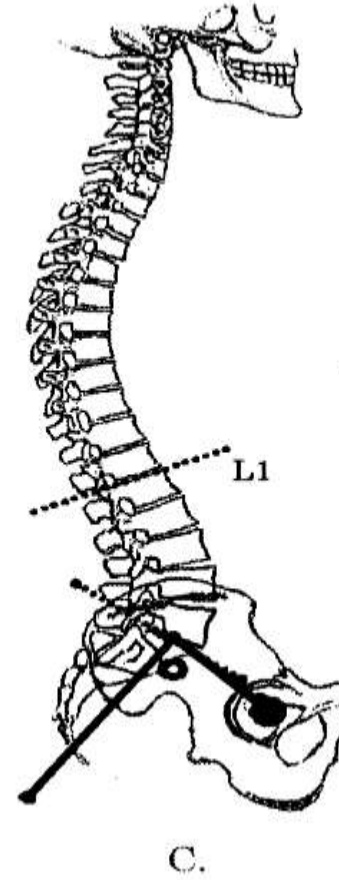
# pelvic incidence, WS und Hüfte



korrekte Situation

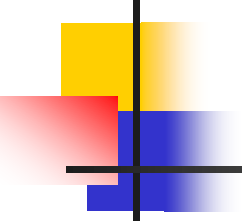


schwere Retroposition  
mit Totalkyphose



Retroposition mit erhaltener  
Lordose-kompensiert durch  
die unteren Extremitäten

höhere PI  
könnte die  
Gefahr einer  
Coxarthrose  
erhöhen,  
bedingt durch  
geringere  
vordere  
Überdachung  
(Yoshimoto  
et al. 2005)



**Auswirkungen der kyphotischen Haltung auf neuromechanische Kontrollmechanismen bei älteren Erwachsenen mit Hyperkyphose**  
**J.You et al., 2006**

---

**kyphotische Haltung führt offensichtlich zu ineffizienten neuromechanischen Kontrollmechanismen in der Bewegung; möglicherweise führt das **erhöhte Hüftextensionsmoment** bei älteren Erwachsenen mit kyphotischer Haltung zu **chronischem Kreuzschmerz!****



# **Einfluss der „Pelvic Incidence“ ( Legaye et al. 1998)**

---

- **„Pelvic Incidence“ ist der Schlüssel für die Lordose der Lendenwirbelsäule**
- **niedrige PI-geringer Sacral Slope  
SS-reduzierte Lendenlordose und  
vice versa**



# biomechanische Bedeutung der Bänder in Flexion und Extension (Gillespie und Dickey 2004, LWS von Schweinen)

---

## wirken gegen Hyperflexion

- Komplex der Ligg. supra/interspin. wichtigster Faktor 36% (interarcuäre Dekompression)
- Bandscheiben 25% (Sequestrotomie)
- Lig.flavum 25% (endoskop.transforamin. BS-OP)

## wirken gegen Hyperextension:

- Facetten
- Bandscheiben
- Dornfortsätze

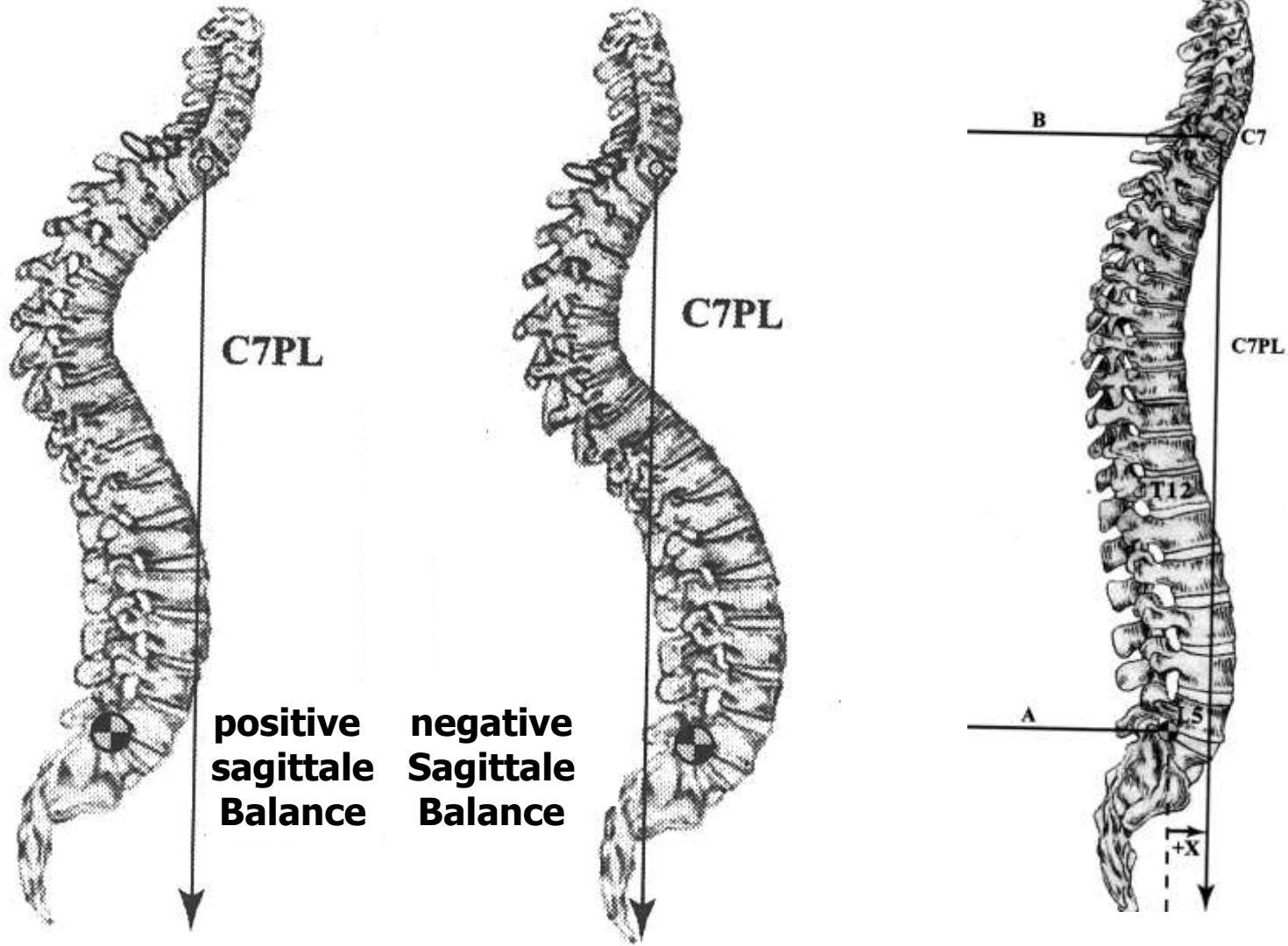
# Definitionen der sagittalen Balance (Scoliosis Research Society)



---

- **normale sagittale Balance**-kongruentes Alignment der WS mit der Lotlinie C7-L5/S1 innerhalb 2cm vom Promontorium und durch oder hinter die Verbindung der Hüftgelenke
- **kompensierte sagittale Balance**-die Lotlinie bleibt durch die Veränderung von Beckenposition und Knieflexion unverändert
- **dekompensierte sagittale Balance**-Dysbalance der Lotlinie  $>2\text{cm}$  vom Promontorium

# Hyperkyphose/Lordose und sagittale Balance (Glassmann et al. 2005)





# sagittale Balance bei Deformitäten (Glassmann et al.2005)

---

- **Symptome nehmen signifikant mit progredienter positiver sagittaler Balance zu**
- **eine Hyperkyphose wird relativ gut im Bereich der oberen BWS toleriert, aber eine relative Kyphose der LWS führt bald zu Problemen**



# sagittales Alignment bei Spondylolyse und geringgradiger Spondylolisthese L5 (Roussouly et al.2006)

---

- **erhöhte „pelvic incidence“**
  - **erhöhte Lendenlordose**
  - **reduzierte Lordose L5/S1**
- bei Spondylolysen und  
Spondylolisthesen Grad 1-2  
verglichen zur Normalbevölkerung**



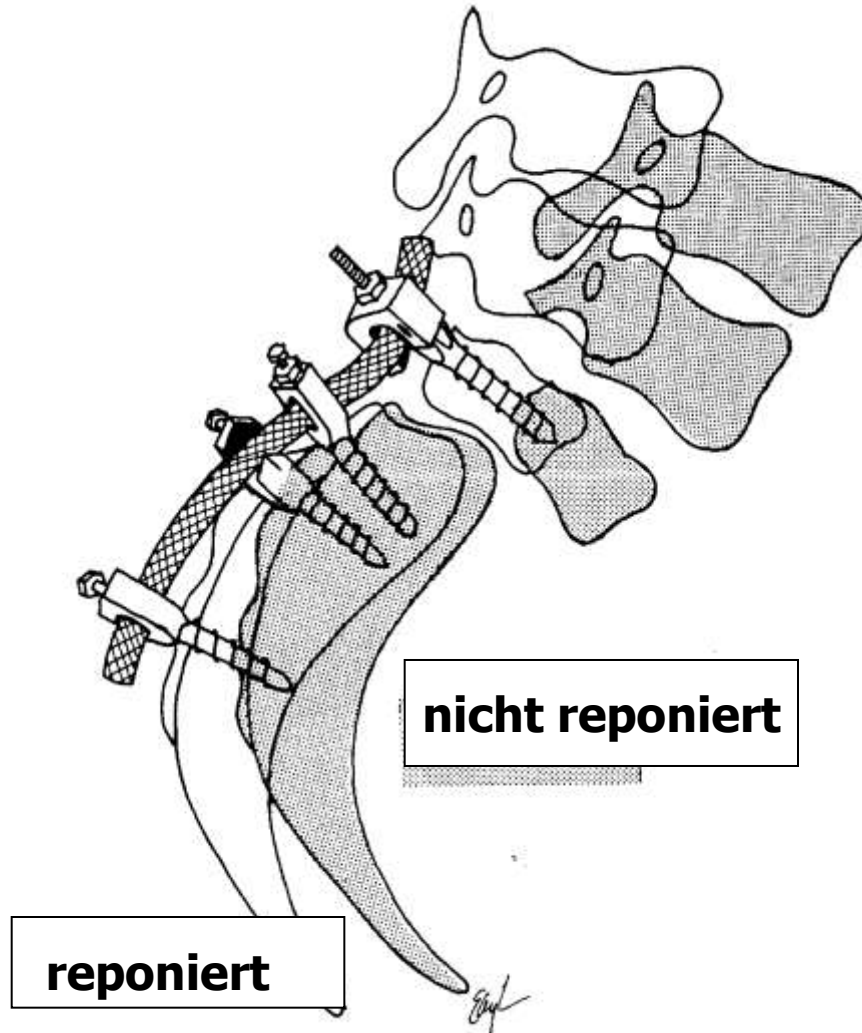
# sagittales Profil der hochgradigen Spondylolisthese

---

**Pelvic Incidence erhöht  
signifikante Korrelation der PI mit  
dem Grad nach Meyerding  
(Hanson et al.2002)**

**Retroversion des Beckens  
in manchen Fällen Lordosierung bis  
zur Mitte der BWS!**

# reponierte und nichtreponierte Spondylolisthesê





# Kyphose und Alter

---

**thorakale Hyperkyphose kommt bei älteren Patienten unabhängig von Kompressionsfrakturen bei einem grossen Anteil der Bevölkerung vor! (Bartynski et al. 2005), bedingt durch**

**asymmetrische Bandscheibendegeneration**

**reduzierten Tonus der thorakalen Extensoren**

**natürliche Hypomobilität**

**postmenopausale hormonelle Veränderungen mit**

**Schwächung der Kollagenfasern**

**diese Kyphose kann durch erhöhten Druck auf die ventralen Wirbelkörperanteile zu Kompressionsfrakturen**

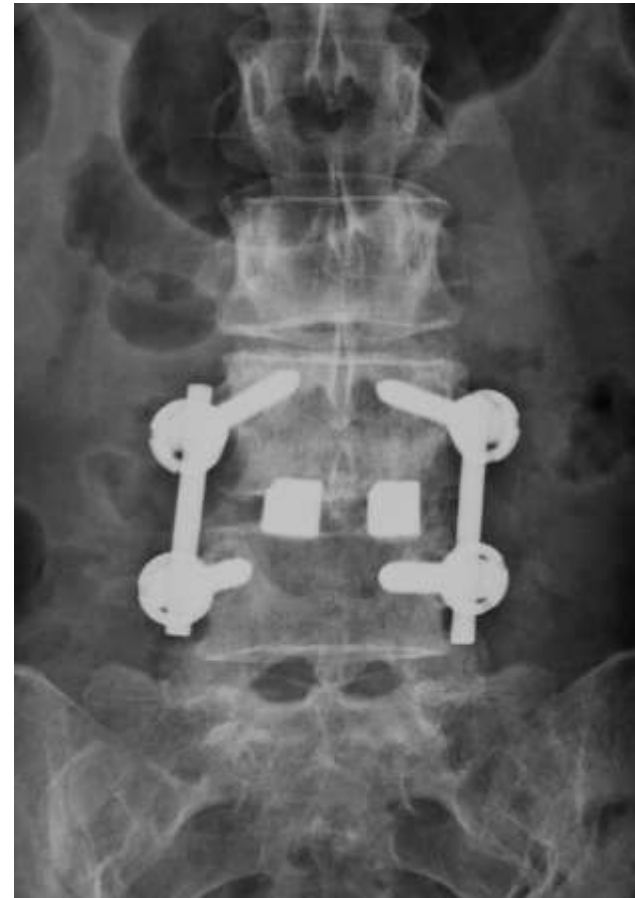
**führen!**

**mit fortschreitendem Alter verlieren wir den Kampf gegen die Hyperkyphose (R.Soerensen 2007)**

# iatrogene Ursachen der lumbalen Kyphose

- mehrsegmentale Laminektomie
- Spondylodiscitis nach Bandscheiben-OP
- lumbale Fusion ohne Lordose
- Pseudarthrose nach Fusion
- postoperativer Korrekturverlust
- Kyphoseentwicklung am TL Übergang
- Degeneration cranial oder caudal der Fusion
- dynamische Neutralisation mit Dynesys (Legaye 2005- $6^{\circ}+/-1,4^{\circ}$ )
- vordere Skoliosekorrektur mit flexiblen Stäben ohne strukturelle vordere grafts (ventrale Derotationsspondylodese)
- interspinöse Spacer

# 60jährige Patientin nach PLIF L4/5 bei degenerativer Spondylolisthese



# Implantatentfernung L4/5, Dekompression und dynamische Stabilisierung L3/4



**relativer flatback L3-L5, beginnende  
Instabilität L3/4, Hypermobilität  
L2/3 und L5/S1**



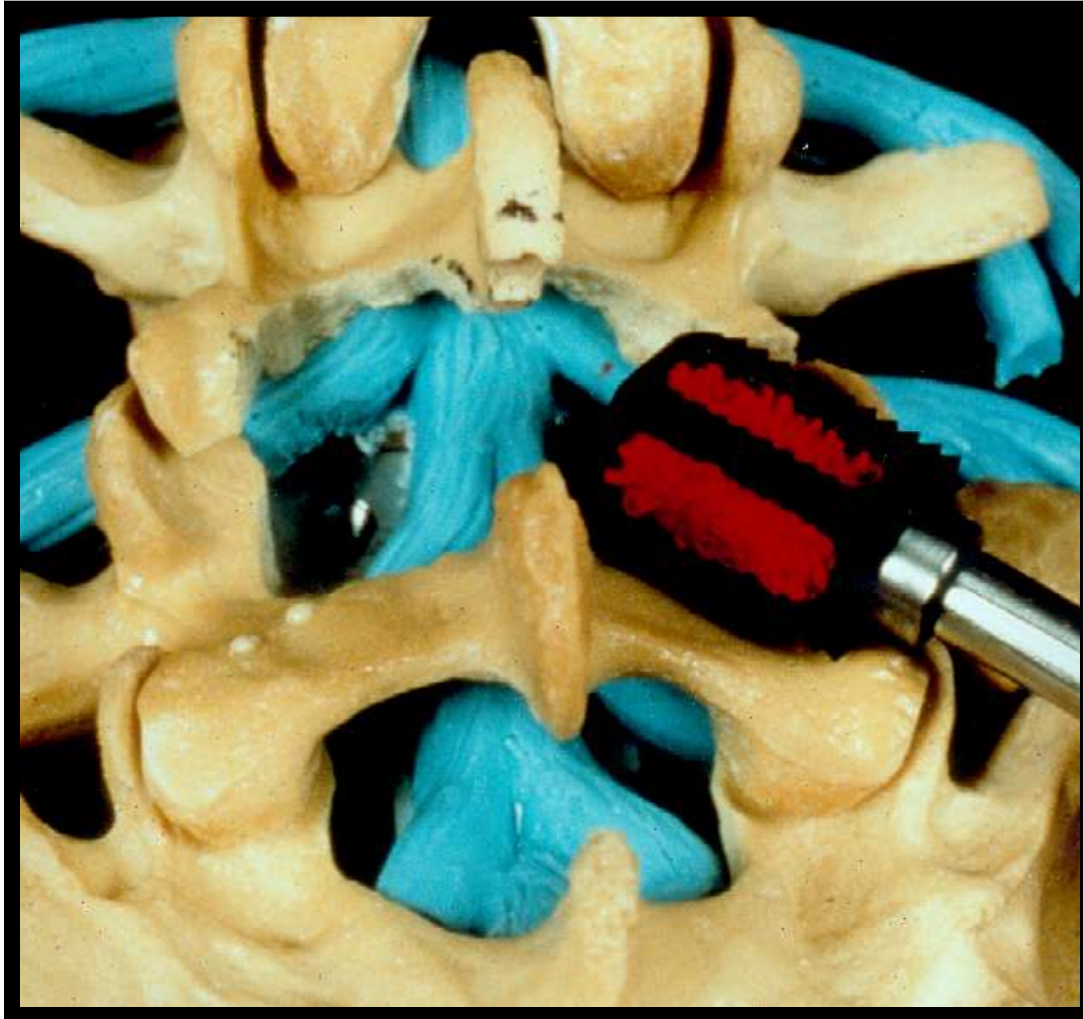


# **Einfluss der „cage-Geometrie“ auf das sagittale Alignment bei instrumentierter posteriorer lumbaler interkorporeller Fusion (Gödde et al. 2003)**

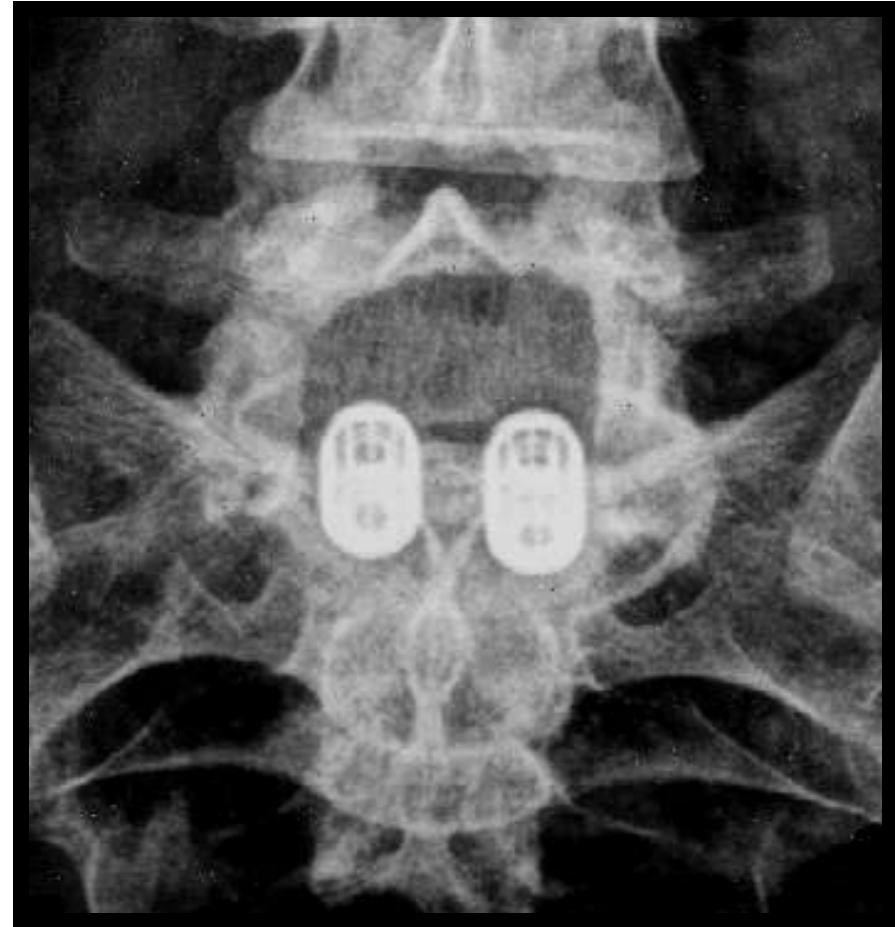
---

- **die „cage-Geometrie“ hat einen signifikanten Einfluss auf die Lendenlordose-keilförmige Käfige erhöhen die Segmentlordose signifikant und steigern die Gesamtlordose der LWS**

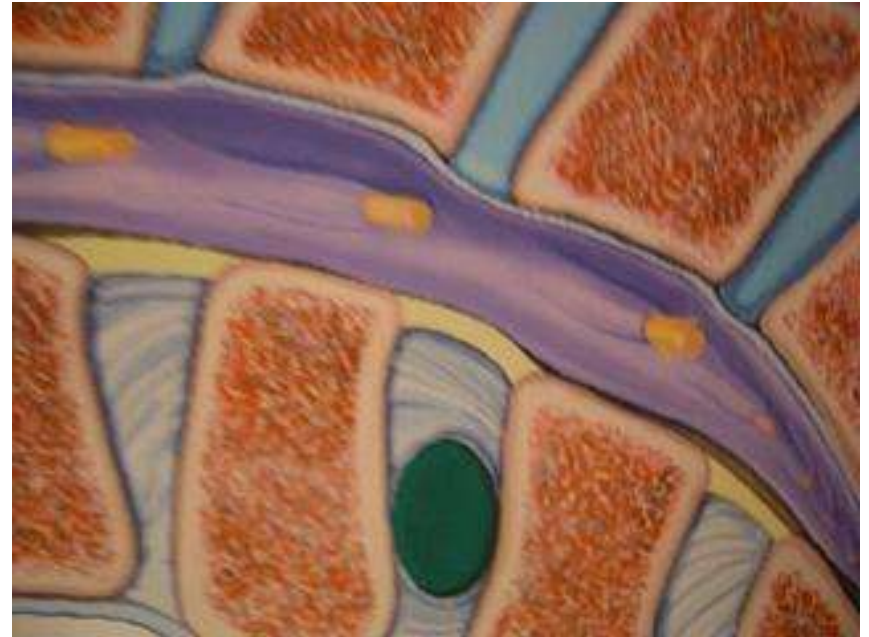
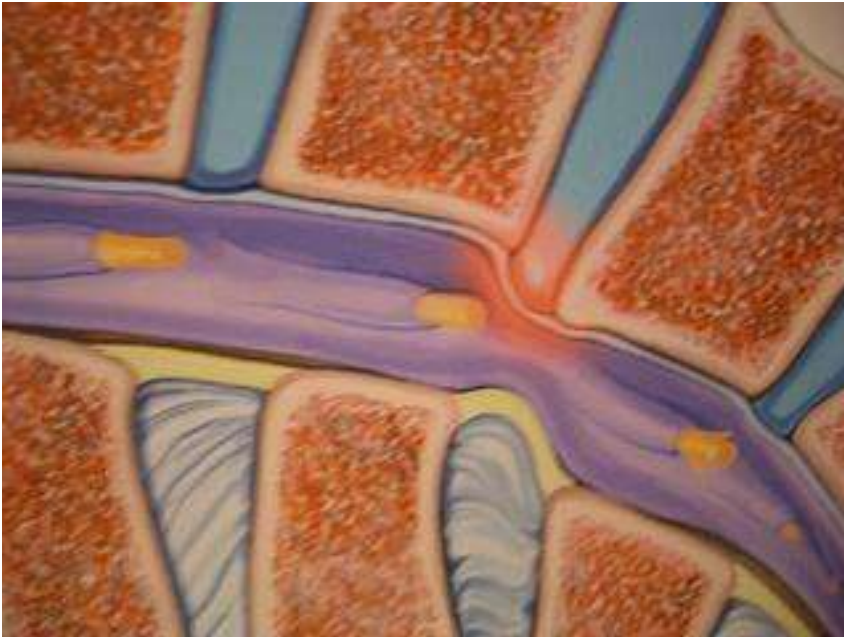
# PLIF-rechteckige Käfige



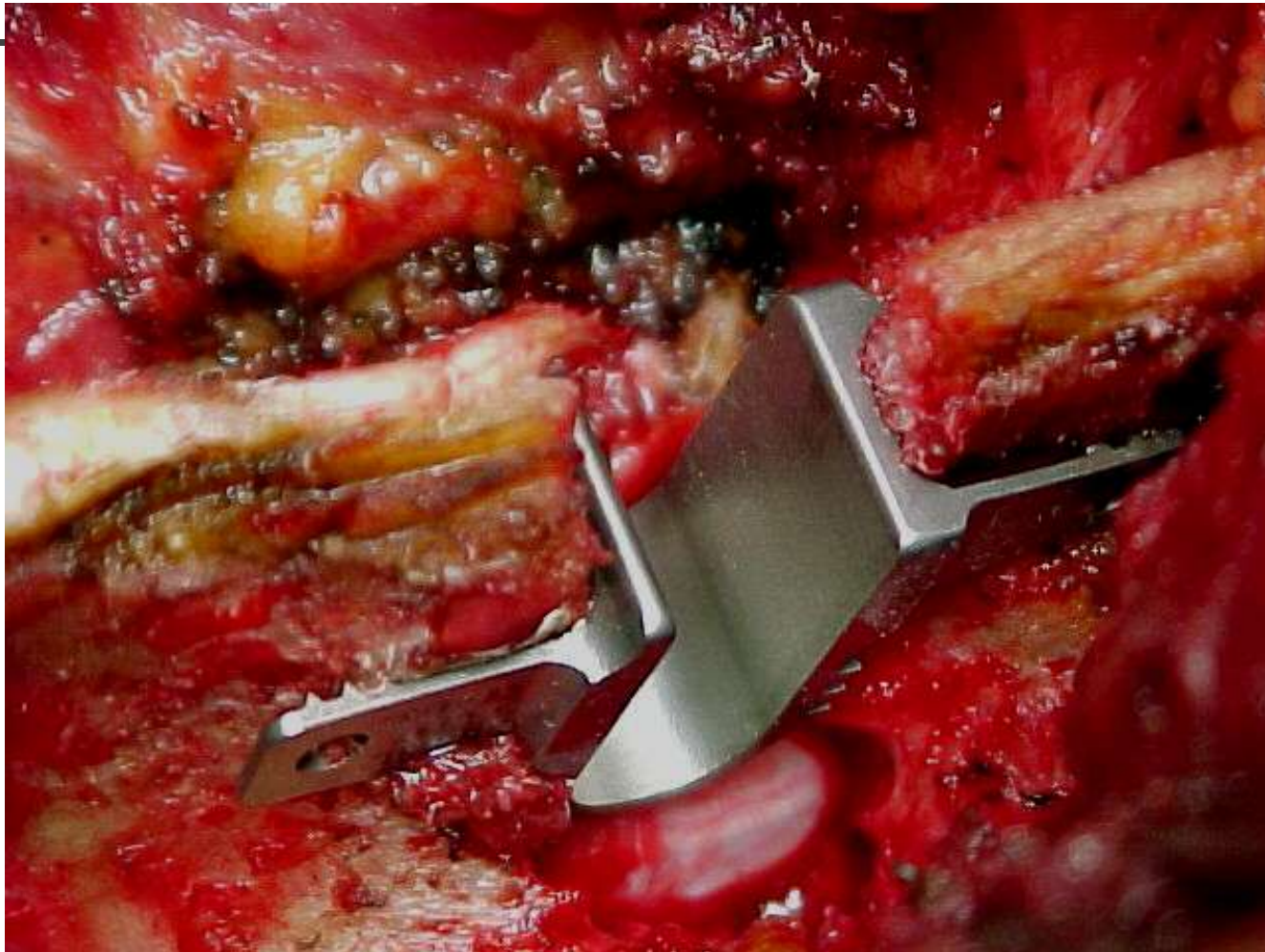
# „stand-alone“- cages von dorsal- reduzierte Lordose L5/S1



# Prinzip der interspinösen Spacer-Kyphosierung



# « U » in Position



# Positionierung eines 2.

»U»





---

# iatrogener „flatback“





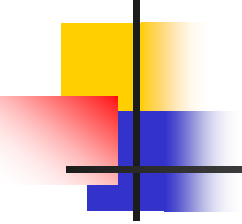
# Kyphose nach ventraler Skoliosekorrektur

---

- **bei thorakolumbaler und lumbaler anteriorer Skolioskorrektur (besonders VDS) Gefahr der Kyphosierung- strukturelle anteriore Grafts daher unbedingt thorakolumbal notwendig! (kortikale grafts, niedrige Harmskäfige, femorale Allografts...)**

# VDS bei reduzierter Lordose – Verlängerung zum Sacrum mit lordosierenden 3-Etagen-PLIFs





**changes in sagittal alignment after restoration  
of lower lumbar lordosis in patients with  
degenerative flat back syndrome (Jang et al.  
2007, Jansen et al. Spine 2006))**

---

- **die operative Wiederherstellung der Lendenlordose führt zur Spontankorrektur der thorakalen Kyphose und des sacral slope bei Patienten mit degenerativem flatback-Syndrom**
- **die operative Korrektur einer thorakalen Hyperkyphose führt zur Spontankorrektur einer lumbalen Hyperlordose v.a. in den oberen Lumbalsegmenten**



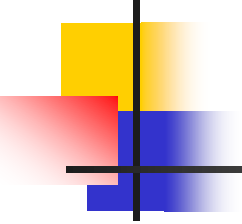
influence of kyphosis on the mechanic strength  
of a long-distance posterior fusion in a synthetic  
model (Orchowski et al. ,Spine 2000)

---

- **das Sagittalprofil einer fusionierten Wirbelsäule hat einen wichtigen Einfluss auf die Steifheit der Konstruktion; persistierende Kyphose erfordert eine höhere Biegung der Stäbe und eine stärkere segmentale Fixation oder eine vordere Abstützung!**

# Massnahmen zur Vermeidung eines flatbacks bei lumbaler Fusion

- Einsatz interkorporeller Implantate  
**(posterolaterale Fusionen wirken eher kyphosierend!)**
- lordosierende Käfige
- caudal/cranial konvergierende Schraubenplatzierung
- ausreichende Biegung von Stäben oder Platten
- ausreichende dorsale Kompression
- Reposition einer hochgradigen Spondylolisthese
- 360°- Fusion
- AxiaLIF L5/S1 oder L4/S1



Die Wirkung des sagittalen Alignements auf die Gelenkmobilität der angrenzenden Segmente nach lumbaler Instrumentierung –eine biomechanische Studie lumbaler Wirbel am Modell der Schweine-WS (Chen et al.2003)

---

**die durch posteriore Instrumentierung iatrogen bedingte kyphotische LWS dürfte höhere Gelenkmobilität der Anschlusssegmente als die lordotisch fusionierte LWS bewirken**



# J.Harms 2003

---

**ein ungünstiges Sagittalprofil mit  
Verlagerung der Schwerelinie nach  
vorne ergibt eine schlechte  
Kräfteverteilung am lumbosakralen  
Scharnier mit erhöhter Gefahr  
einer lumbosakralen  
Pseudarthrose**



**biomechanischer Effekt postoperativer  
Hypolordose instrumentierter Segmente  
(Umehara et al. 2005, Leichenexperiment)**

---

- **Hypolordose der instrumentierten Fusionsmasse erhöht die Belastung transpedikulärer Implantate und die dorsalen Scherkräfte**
- **Hypolordose der instrumentierten Fusionsmasse erhöht die Belastung der dorsalen Säule der „adjacent segments“**



## effects of surgical release on thoracic spinal motion (Feiertag et al. Spine 1995, Horton et al. Spine 2005))

---

- **optimaler thorakaler Release durch komplette Bandscheibenexcision und Resektion der Rippenköpfchen**
- **radikale Discectomie > Sternum-Osteotomie+costosternaler Release>totale Facettektomie**
- **möglicherweise wichtige Rolle der Sternumosteotomie und des costosternalen Release in der Kyphosebehandlung**



**Danke für  
Ihre  
Aufmerk-  
samkeit!**