

D. Félix Gutiérrez Rodero, Catedrático de Universidad y Coordinador del Programa de Doctorado en Salud Pública, Ciencias Médicas y Quirúrgicas de la Universidad Miguel Hernández de Elche,

AUTORIZA:

La presentación y defensa como tesis doctoral del trabajo **“Efectividad de la fijación con tornillos transdiscales para la espondilolisteis ístmica de alto grado”** realizado por Dña. Isabel Collados Maestre bajo la dirección del Dr. D. Vicente Francisco Gil Guillén y la codirección del Dr. D. Alejandro de Lizaur de Utrilla. De acuerdo a la información recibida sobre las evaluaciones previas realizadas en cumplimiento de la normativa general vigente y la propia de la Universidad Miguel Hernández y según lo certificado por las personas que han realizado la tutoría y dirección, la tesis cumple los requisitos para proceder a su defensa pública.

En Sant Joan d’Alacant, a siete de mayo de 2018

Firmado: Prof. Félix Gutiérrez Rodero
Coordinador del Programa de Doctorado en Salud Pública, Ciencias Médicas y Quirúrgicas



D. Vicente Francisco Gil Guillén, director de la tesis doctoral y D. Alejandro de Lizaur de Utrilla, codirector de la tesis doctoral

CERTIFICAN:

Que Dña. Isabel Collados Maestre ha realizado bajo nuestra supervisión su memoria de tesis doctoral titulada **“Efectividad de la fijación con tornillos transdiscales para la espondilolisteis ístmica de alto grado”** cumpliendo los objetivos previstos de forma satisfactoria para su defensa pública como tesis doctoral por compendio de publicaciones en la Universidad Miguel Hernández.

Lo que firmo en Sant Joan d’Alacant, a siete de mayo de dos mil dieciocho

Fdo. Dr. D. Vicente Francisco Gil Guillén
Director de tesis

Fdo. Dr. D. Alejandro de Lizaur de Utrilla
Codirector de tesis





Programa de Doctorado en Salud Pública, Ciencias Médicas y Quirúrgicas

TESIS DOCTORAL

**EFFECTIVIDAD DE LA FIJACIÓN CON TORNILLOS TRANSDISCALES
PARA LA ESPONDILOLISTESIS ÍSTMICA DE ALTO GRADO**

Realizada por

Dña. Isabel Collados Maestre

Tesis presentada por compendio de publicaciones

Director de la Tesis

Dr. D. Vicente Francisco Gil Guillén

Profesor Titular del Departamento de Medicina Clínica
Jefe de la Unidad de Investigación Clínica del Departamento de Salud de Elda

Codirector de la Tesis

Dr. D. Alejandro Lizaur Utrilla

Profesor Asociado del Departamento de Patología y Cirugía
Jefe del Servicio de Cirugía Ortopédica del Hospital General Universitario de Elda

Elche, 2018

TESIS POR COMPENDIO DE PUBLICACIONES

Los resultados de esta Tesis Doctoral fueron publicados, previa autorización de los directores, bajo el título de:

Transdiscal screw versus pedicle screw fixation for high-grade L5-S1 isthmic spondylolisthesis in patients younger than 60 years: a case-control study

cuyos autores fueron:

Isabel Collados-Maestre¹, Alejandro Lizaur-Utrilla², Teresa Bas-Hermida³, Esther Pastor-Fernandez³ y Vicente Gil-Guillen⁴

¹Elda University Hospital, Elda, Spain [doctoranda]

²Orthopaedic Surgery, Elda University Hospital, Faculty of Medicine, Miguel Hernandez University, Elche, Spain [director]

³Spine Surgery Unit, La Fe University Hospital, Valencia, Spain

⁴Elda Health Department, Clinical Research Unit, Elda, Spain [director]

en la revista:

European Spine Journal

siendo su referencia:

Eur Spine J. 2016 Jun; 25 (6): 1806-1812.

doi: 10.1007/s00586-016-4550-0

La revista **European Spine Journal** es la de mayor impacto en la subespecialidad de cirugía de raquis. Revista oficial de Spine Society of Europe, editada por Springer, en Berlín (Alemania).

Indexada en Journal Citation Reports (JCR), rango en año 2016 (Orthopedics) 18/76, cuartil Q1, con factor de impacto en 2016 de 2.563, y factor de impacto a 5 años de 2.937.

Indexada también en: PubMedCentral, SCOPUS, EMBASE, Google Scholar, EBSCO Academic Search, ProQuest Central, SCImago.

A mi padre



AGRADECIMIENTOS

Esta tesis comenzó siendo una ilusión mientras trabajaba junto con la Dra. Teresa Bas en la Unidad de Raquis de La Fe de Valencia, y ha sido el resultado del trabajo de muchos años junto con el esfuerzo de todos mis compañeros que me ayudaron, en especial al Dr. Alejandro Lizaur.
Gracias a todos ellos.



LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS

ALIF: *anterior lumbar interbody fusion*, fusión intersomática lumbar anterior
AP: anteroposterior
C7: vértebra cervical 7
COMI: *Core Outcomes Measures Index*
D12: vértebra dorsal 12
EMG: electromiografía
EVA: escala visual analógica
IMC: índice de masa corporal
IBV: Instituto de Biomecánica de Valencia
L3: vértebra lumbar 3
L5: vértebra lumbar 5
Lig: ligamento
ODI: *Oswestry Disability Index*
PI: *pelvic incidence*, ángulo de incidencia pélvica
PLF: *posterolateral fusion*, artrodesis posterolateral
PLIF: *posterior lumbar interbody fusion*, artrodesis intersomática lumbar posterior,
PT: *pelvic tilt*, ángulo de inclinación pélvica
RNM: resonancia nuclear magnética
S1: vértebra sacra 1
SA: *slip angle*, ángulo de desplazamiento lumbosacro
SECOT: Sociedad Española de Cirugía Ortopédica y Traumatología
SF-12: *short-form 12*, cuestionario corto 12
SOTOCAV: Sociedad de Traumatología y Cirugía Ortopédica de la Comunidad Valenciana,
SS: *sacral slope*, ángulo de inclinación sacra
SSEP: *somato-sensory evoked potentials*, neuromonitorización multinodal de potenciales evocados sensitivos
T12: vértebra torácica 12
TAC: tomografía axial computerizada,
TcMEP: *transcranial electrical motor evoked potentials*, potenciales evocados motores
TLIF: *transforaminal lumbar interbody fusion*, artrodesis intersomática lumbar transforaminal
XLIF: *lateral lumbar interbody fusion*, artrodesis intersomática lumbar lateral

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla 1. Clasificación de Labelle y el SDSG de la espondilolistesis.

Tabla 2. Parámetros radiométricos en la espondilolistesis

Tabla 3. Datos preoperatorios de ambos grupos

Tabla 4. Datos perioperatorios de ambos grupos

Tabla 5. Resultados clínicos postoperatorios

Tabla 6. Datos radiográficos pre y postoperatorios en ambos grupos

Tabla 7. Complicaciones

Tabla 8. Características basales de los grupos

Tabla 9. Resultados funcionales biomecánicos de levantarse de una silla

Tabla 10. Resultados funcionales biomecánicos de levantar peso

Fig. 1. Esquema de los dos tipos de fijación sacrolumbar

Fig. 2. Desarrollo de los somitas

Fig. 3. Desarrollo del cuerpo vertebral

Fig. 4. Proceso de osificación vertebral

Fig. 5. A) Fusiones óseas. B) Defecto de fusión en el istmo. C) Espondilolistesis

Fig. 6. Columna vertebral

Fig. 7. Vértebra lumbar

Fig. 8. Articulaciones interapofisarias

Fig. 9. Articulaciones sacras

Fig. 10. Disco intervertebral

Fig. 11. Ligamentos vertebrales

Fig. 12. Músculos erectores

Fig. 13. Plexo lumbosacro

Fig. 14. Movimientos de la columna

Fig. 15. Disposición inclinada de la vértebras lumbares

Fig. 16. Unidad funcional de la columna lumbar, como palanca de primer género

Fig. 17. Expansión del disco intervertebral ante la carga

Fig. 18. Columnas de Denis.

Fig. 19. A) Defecto de la pars interarticularis. B) Deslizamiento. C)

Espondilolistesis

Fig. 20. Actitud en hiperlordosis

Fig. 21. Radiografías anteroposterior y lateral en espondilolistesis

Fig. 22. Proyección oblicua. Imagen del "collar de perro"

Fig. 23. TAC lumbar

Fig. 24. RNM lumbar

Fig. 25. Graduación de Meyerding

Fig. 26. Parámetros espinopélvicos radiológicos

Fig. 27. A) Pelvis balanceada. B) Pelvis desbalanceada

Fig. 28. Fusión posterolateral intrumentalizada

Fig. 29. Fusiones circunferenciales

Fig. 30. Acceso quirúrgico posterior

Fig. 31. Acceso posterior. Disección profunda

Fig. 32. Acceso posterior. Monitorización nerviosa

- Fig. 33.** Instrumentación con tornillos pediculares
Fig. 34. Fusión posterolateral
Fig. 35. Resultado radiológico de fusión posterolateral
Fig. 36. Instrumentación posterior transdiscal
Fig. 37. Resultado radiológico con técnica de Abdu
Fig. 38. A) Espondilolistesis L5-S1 grado-III. B) Tornillos transdiscales. C) Tornillos pediculares
Fig. 39. Posición de los tornillos. A) Transdiscal. B) Pedicular
Fig. 40. Grados de Meyerding. En la radiografía, una espondilolistesis grado I
Fig. 41. Ángulo lumbosacro (SA)
Fig. 42. Parámetros espinopélvicos radiológicos.
Fig. 43. Inclinación pélvica (PT)
Fig. 44. Inclinación sacra (SS)
Fig. 45. Incidencia pélvica (PI)
Fig. 46. Gesto de la silla.
Fig. 47. Gesto de levantar peso
Fig. 48. Modelo biomecánico de raquis utilizado
Fig. 49. Colocación de los marcadores reflectantes
Fig. 50. Cámaras de video
Fig. 51. Kinescan, Ejemplo de paciente con los marcadores reflectantes
Fig. 52. Kinescan. Digitalización de movimientos en tiempo real
Fig. 53. Kinescan. Gráfica de resultados del movimiento
Fig. 54. Plataformas dinamométricas
Fig. 55. Resultados cinéticos con el sistema Dinascan
Fig. 56. Ejemplo de resultados de levantarse de una silla.
Fig. 57. Ejemplo de resultados de levantar peso.
Fig. 58. Datos ODI pre y postoperatorios
Fig. 59. Datos laborales pre y postoperatorios
Fig. 60. Datos deportivos pre y postoperatorios
Fig. 61. Datos COMI, salud lumbar, pre y postoperatorios
Fig. 62. Datos SF12, salud general componentes físico y mental, pre y postoperatorios
Fig. 63. Datos EVA-dolor, lumbar y en miembro inferior, pre y postoperatorios

ÍNDICE

RESUMEN	1
I. INTRODUCCIÓN	6
II. BASE DOCTRINAL	10
2.1. ANATOMÍA DEL SEGMENTO LUMBOSACRO	10
2.1.1. DESARROLLO EMBRIOLÓGICO.....	10
2.1.2. MORFOLOGÍA.....	14
2.1.3. BIOMECÁNICA.....	21
2.2. ESPONDILOLISTESIS	28
2.2.1. CONCEPTO Y DEFINICIÓN.....	28
2.2.2. TEORÍAS FISIOPATOGÉNICAS.....	29
2.2.3. EPIDEMIOLOGÍA.....	31
2.2.4. CLASIFICACIONES.....	31
2.2.5. CLÍNICA.....	34
2.2.6. MÉTODOS DE DIAGNÓSTICO.....	37
2.2.7. MÉTODOS DE TRATAMIENTO.....	42
2.2.8. TÉCNICAS QUIRÚRGICAS DE ESTUDIO.....	48
III. JUSTIFICACIÓN, HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	54
3.1. JUSTIFICACIÓN	54
3.2. HIPÓTESIS	56
3.2.1. EN EL ESCENARIO CLÍNICO.....	56
3.2.2. EN EL ESCENARIO BIOMECÁNICO.....	56
3.3. OBJETIVOS DE ESTUDIO	57
3.3.1. OBJETIVO PRINCIPAL.....	57
3.3.2. OBJETIVOS SECUNDARIOS BIOMECÁNICO.....	57
IV. MATERIAL Y MÉTODOS	58
4.1. ESTUDIO CLÍNICO	58
4.1.1. DISEÑO DEL ESTUDIO.....	58
4.1.2. SELECCIÓN DE PACIENTES.....	58
4.1.3. PROCEDIMIENTOS QUIRÚRGICOS.....	59
4.1.4. SEGUIMIENTO.....	61
4.1.5. VARIABLES DE ESTUDIO.....	61
4.1.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	66
4.1.7. TAMAÑO MUESTRAL.....	67
4.2. ESTUDIO BIOMECÁNICO	67
4.2.1. DISEÑO DEL ESTUDIO.....	67
4.2.2. SELECCIÓN DE PACIENTES.....	67
4.2.3. MATERIAL Y MÉTODOS.....	68

V. RESULTADOS	76
5.1. RESULTADOS CLÍNICOS	76
5.1.1. ANÁLISIS DESCRIPTIVO	76
5.1.2. RESULTADOS CLÍNICOS	77
5.1.3. RESULTADOS RADIOGRÁFICOS	82
5.1.4. COMPLICACIONES Y REINTERVENCIONES	83
5.2. RESULTADOS BIOMECÁNICOS	85
5.2.1. CARACTERÍSTICAS BASALES	85
5.2.2. RESULTADOS DE LEVANTARSE DE UNA SILLA.....	85
5.2.3. RESULTADOS DE LEVANTAR PESO	86
VI. DISCUSIÓN	90
VII. CONCLUSIONES	98
VIII. REFERENCIAS	100
IX. ANEXO. ARTÍCULO	114



RESUMEN

Antecedentes: la espondilolistesis de alto grado es una enfermedad que puede ser altamente invalidante, aunque de una prevalencia relativamente baja. Se han descrito diversas técnicas quirúrgicas para estabilizar e impedir la progresión del deslizamiento L5-S1, pero ninguna ha demostrado su superioridad por lo que el tema sigue en controversia. La fusión pedicular posterolateral ha ganado popularidad en las últimas dos décadas, pero su construcción mecánica parece ser insatisfactoria dada la relativa alta tasa de complicaciones y progresiones secundarias del deslizamiento. La técnica de fijación transdiscal L5-S1 teóricamente aporta una construcción mecánica más eficiente, pero aunque sus resultados clínicos son prometedores las evidencias disponibles hasta la fecha son escasas, con pequeñas series no comparativas.

Objetivo: el objetivo principal de este estudio fue comparar los resultados clínicos y radiográficos entre la fijación transdiscal y la fijación convencional pedicular.

Diseño y población: estudio retrospectivo de casos y controles. No se realizó un estudio prospectivo comparativo debido a la relativa baja prevalencia. La población de estudio consistió en pacientes operados en la Unidad de Raquis del Hospital La Fe (Valencia, España) entre 2007 y 2012. Aunque retrospectivo, los pacientes habían sido evaluados prospectivamente, pre y postoperatoriamente.

Material y métodos: Se compararon 25 pacientes tratados con fijación transdiscal y 31 pacientes con fijación pedicular. Los datos demográficos y preoperatorios de ambos grupos no eran significativamente diferentes. El seguimiento fue similar en ambos grupos, con un tiempo medio de 2,7 años (rango, 2 a 5,3 años). La variable principal de resultado fue la valoración clínico-funcional postoperatoria mediante la escala para discapacidad lumbar *Oswestry Disability Index* (ODI). Los pacientes fueron también evaluados mediante los cuestionarios de calidad de vida referida a la columna lumbar *Core Outcomes Measures Index*

(COMI), de calidad de vida general *Short-Form 12* (SF-12), y una escala visual analógica (EVA) para dolor. Mediante radiología simple y tomografía axial computerizada (TAC), los pacientes fueron evaluados respecto a los parámetros espinopélvicos, grado de deslizamiento y estado de la fusión intervertebral.

Además se realizó un estudio piloto de valoración funcional biomecánica mediante el dispositivo informatizado NedLumbar que sincronizaba un análisis de movimientos (estudio cinemático) y otro de esfuerzos y cargas (estudio cinético). Para ello, de entre los pacientes antes descritos se seleccionaron aleatoriamente 10 (5 de cada sexo) de cada uno de los dos grupos de tratamiento. Las variables cinemáticas analizadas fueron la velocidad y aceleración angular de los segmentos lumbares implicados al realizar movimientos. Las variables cinéticas fueron la fuerza ejercida por los miembros inferiores al realizar movimientos con o sin levantamiento de peso.

Resultados: el tiempo de cirugía, pérdida sanguínea perioperatoria y estancia hospitalaria fueron similares en ambos grupos. Respecto al postoperatorio, en la última visita había un incremento significativo de las variables clínicas y funcionales en ambos grupos. Comparando los resultados finales de ambos grupos, el dolor lumbar y el irradiado a miembro inferior, medido con EVA, eran similares. Sin embargo, el resto de parámetros clínicos fueron significativamente mejores en el grupo transdiscal que en el grupo pedicular: ODI (20,2 vs. 31,6; $p=0,010$), COMI (1,6 vs. 2,8; $p=0,012$), y SF-12 físico (84,3 vs. 61,5; $p=0,004$) y mental (81,5 vs. 69,4; $p=0,021$). La tasa de complicaciones fue similar en ambos grupos, sin embargo en el grupo transdiscal no hubo casos de pseudoartrosis y un paciente fue reintervenido a causa de mala orientación de un tornillo. Por el contrario, en el grupo pedicular hubo 4 casos de pseudoartrosis que fueron reintervenidos mediante técnica de fijación transdiscal.

Los resultados biomecánicos, cinéticos y cinemáticos, fueron significativamente mejores en el grupo transpedicular.

Potencia estadística: a posteriori, se realizó un análisis del poder estadístico en el estudio clínico por el método de Cohen, en relación a la diferencia de puntuación media postoperatoria en la escala ODI. Considerando una diferencia clínicamente relevante de 10 puntos, una desviación estándar de 14 tomada de la literatura, y un tamaño de 25 por ser el menor de nuestros grupos, para un error

alfa de 0,05 la potencia del estudio era del 81%, lo que se consideraba válido para los estudios biomédicos.

Conclusión: La fijación L5-S1 transdiscal, comparada a la pedicular, proporcionaba mejor resultado clínico y radiológico a medio plazo, aunque la correcta colocación de los tornillos transdiscales era dificultosa. Los resultados biomecánicos evidenciaban mayor fortaleza y movilidad lumbar mediante la fijación pedicular. No obstante, se precisan más estudios para refrendar estos resultados.



ABSTRACT

Background: High-grade spondylolisthesis is a disease that can be highly disabling, although its prevalence is relatively low. Several surgical techniques have been described to stabilize and prevent the progression of the L5-S1 sliding, but none has demonstrated superiority so this topic remains controversial. Posterolateral pedicle fusion has gained popularity in the last two decades, but its mechanical construction seems to be unsatisfactory because of a relatively high rate of complications and secondary sliding progression. Transdiscal L5-S1 fixation theoretically provides a more efficient mechanical construction, but although clinical results have been promising the evidences available to date are scarce including small non-comparative series.

Purpose: To compare outcomes between transdiscal and conventional pedicle fixation for high-grade L5-S1 spondylolisthesis.

Design: This was a retrospective case-control study with patients prospectively followed. A prospective comparative study was not performed due to the relative low prevalence. The study population consisted on patients surgically treated at the Spine Unit of La Fe Hospital (Valencia, Spain) between 2007 and 2012. Although retrospective, patients had been prospectively evaluated pre- and postoperatively.

Methods: Twenty-five consecutive patients with mean age of 36.7 years underwent transdiscal fixation and 31 other with mean age of 42.0 years to pedicle fixation were clinically and radiographically compared. Baseline data were not significantly different between groups. Postoperative follow-up was similar in both groups, with a mean time of 2.7 years (range, 2 to 5.3). The main outcome was clinical assessment using Oswestry Disability Index (ODI). The patients were also assessment by the Core Outcomes Measures Index (COMI), Short-Form 12 (SF-12), and pain visual analog scale (VAS). Radiographic spinopelvic parameters were also evaluated.

In addition, a pilot biomechanical functional assessment study was conducted using the software NedLumbar which synchronized an analysis of movements (kinematic study) and another of efforts and charges (kinetic study). Among the previously described patients, 10 were randomly selected (5 of each sex) from each of the two treatment groups. The kinematic variables were the speed and angular acceleration of the lumbar segments involved when performing movements. The kinetic variables were the force exerted by the lower limbs when performing movements with or without weight lifting.

Results: Surgery time, blood loss, and hospital stay were similar between groups. At last follow-up, clinical and radiographic outcomes were significantly improved in both groups. Comparing the groups, both lumbar and leg pain VAS were similar between groups, but ODI (20.2 vs. 31.6, $p = 0.010$), COMI (1.6 vs. 2.8, $p = 0.012$), and SF-12 physical (84.3 vs. 61.5, $p = 0.004$) and mental (81.5 vs. 69.4, $p = 0.021$) scores were significantly better in the transdiscal group. The neurologic complication rate was similar in both groups. There were 4 pseudoarthroses in the pedicle group, and none in the transdiscal group. Both kinetic and kinematic biomechanical outcomes were significantly better in the transpedicular group.

Statistical power: A posteriori Cohen's statistical power analysis was performed in relation to the main outcome (postoperative ODI score). Considering a clinically relevant difference between groups of 10, with standard deviation of 14, and a minimum sample size of 25 in each group, for an alpha error of 0.05 the study power was 81 %, which is considered valid for biomedical studies.

Conclusion: L5-S1 transdiscal screw fixation provided better functional and radiographic outcomes at medium-term than conventional pedicle fixation for high-grade spondylolisthesis, although transdiscal sacral screws are difficult to place in correct position.

Keywords: Spondylolisthesis; Sacrolumbar; Transdiscal screw; Transvertebral screw; Transacral screw; Pedicle screw; Functional outcome; Biomechanical outcome.

I. INTRODUCCIÓN

Se define la espondilolistesis como el deslizamiento anterior de una vértebra sobre la subyacente debido a un defecto en la *pars interarticularis*, por causas aún no determinadas. La localización más frecuente es en el segmento de la quinta vértebra lumbar deslizada sobre la primera sacra, espondilolistesis lumbosacra (Saraste 1993). Esta afección es una causa común de dolor de espalda y compresión radicular afectando al 5% de la población adulta (Floman 2000), debutando la idiopática en la adolescencia, mientras que en la degenerativa suele comenzar la sintomatología después de los 50 años de edad (Vaccaro 1997).

La fisiopatogenia de la espondilolistesis ha tenido múltiples enfoques. La lordosis lumbar unida a la posición erecta del ser humano ejercería una presión sobre la *pars interarticularis* que llevaría al progresivo desplazamiento vertebral. Macnab (1950) consideraba que debían existir unos factores básicos para producir este deslizamiento. Los cuerpos vertebrales y discos son los responsables principales de absorber las fuerzas de compresión. Complementariamente, los ligamentos vertebrales comunes anterior y posterior tienen un efecto de tirante sobre los arcos neurales, las articulaciones facetarias tienen un efecto de neutralización, y los ligamentos amarillo e interespinoso tienen un efecto tirante y de absorción de la tracción posterior.

Wiltse et al (1976) las clasificaron etiopatogénicamente en congénita, ístmica, traumática, degenerativa y patológica. Meyerding (1932) propuso una clasificación sobre la intensidad del deslizamiento, considerando como alto grado aquellas con un desplazamiento mayor o igual al 50% (grados III-V de Meyerding), clasificación que actualmente sigue vigente.

Hay cierto consenso actual en que los desplazamientos de bajo grado (I-II) pueden ser tratados satisfactoriamente por métodos conservadores. Muchos pacientes permanecen asintomáticos durante toda su vida y nunca presentan síntomas clínicos, y de presentarse algún síntoma éste está relacionado con dolor lumbar y menos común con radiculopatía (Kalichman 2009). Por otro lado,

después de la adolescencia es infrecuente una progresión del deslizamiento mayor del 30%, y la mayoría de las espondilolisis y las espondilolistesis de grados I y II responden bien al tratamiento conservador incluso en la edad adulta (Nazarian 1992). Las indicaciones generales para la intervención quirúrgica son las de alto grado (III-V) en la adolescencia para evitar su progresión, y en aquellos pacientes que presentan dolor lumbar y/o radicular incapacitante que no haya respondido al tratamiento médico y a la rehabilitación, la presencia de un déficit neurológico progresivo o la progresión radiográfica en el caso de la listesis (DeWald 2005).

El tratamiento quirúrgico básicamente consiste en la fijación del segmento involucrado a fin de obtener una artrodesis estable y permanente que evite la progresión del deslizamiento. Las técnicas han evolucionado desde la artrodesis posterior con injerto de Hibbs en 1911, la posterolateral de Watkins en 1953, y la fijación interna pedicular descrita por Roy Camile en 1970. Con los estudios de Denis (1984), y su teoría de estabilización vertebral en tres columnas, se consiguió involucrar un menor número de vértebras, preservando la movilidad articular en mayor grado. Actualmente, la técnica de fusión posterolateral siendo la forma más común de artrodesis lumbar, complementándose con la utilización de implantes, principalmente tornillos transpediculares, a fin de reducir la movilidad del foco de artrodesis y mejorar la tasa de fusión (Nazarian 1992).

Con la instrumentación transpedicular se han reportado resultados favorables (Kakiuchi 1997; Bjarke 2002), pero éstos son generalmente variables y con una relevante tasa de fallos o complicaciones, con un 4-5% de riesgo de infección profunda, 4% de lesión de duramadre, 2% de neuropraxia transitoria, 2% de lesión permanente de raíz nerviosa, y 3-12% de pseudoartrosis o fallo de material de osteosíntesis, lo que conlleva a progresión de la deformidad a pesar de una aparente consolidación, persistencia del dolor y/o ciatalgia o de alteración de la marcha, así como déficit neurológicos permanentes (Boxall 1979; Boss 1993; Thomsen 1997; Ogilvie 2005).

Ante la controversia existente, se han ideado diversas variantes y técnicas de fijación y estabilización vertebral, dentro de las que se incluyen las diferentes formas de artrodesis intercorporal como el ALIF (*Anterior lumbar interbody fusion*), PLIF (*Posterior lumbar interbody fusion*), TLIF (*Transforaminal lumbar interbody fusion*), XLIF (*Lateral lumbar interbody fusion*), o las diferentes técnicas

de artrodesis circunferencial (Wang 2005). No obstante, ninguna técnica ha demostrado su superioridad sobre las otras y la técnica de referencia sigue siendo la fijación posterolateral con tornillos pediculares (Antonaides 2000; Lee 2014).

Una técnica alternativa a la convencional transpedicular ha sido la fijación mediante tornillos transdiscales (o transacros) por vía posterior (Fig. 1), para el tratamiento de la espondilolistesis L5-S1, en base a conceptos mecánicos teóricos y de mayor seguridad potencial (Abdu 1994).

Desde un punto de vista biomecánico, la técnica convencional de atornillado pedicular requiere la colocación de 2 tornillos pediculares en cada vértebra y paralelos a los platillos vertebrales lo cual, para un nivel simple de fijación, se traduce en 4 tornillos y dos barras (o placas) de interconexión. Dada la disposición anatómica inclinada de las vértebras, más pronunciada en la espondilolistesis, esta construcción no proporciona suficiente resistencia a la carga axial en la columna anterior y es incapaz de oponerse eficazmente a las fuerzas de cizallamiento a través del espacio discal (Boxall 1979). Además, la flexibilidad de las barras/placas y tornillos conduce a micromovimientos que aumentan la probabilidad de fallo de los implantes y puede retrasar o impedir la fusión.



Fig. 1. Esquema de los dos tipos de fijación sacrolumbar

Por otro lado, la alternativa transdiscal propuesta por Abdu et al (1994), está basada teóricamente en el concepto biomecánico de estabilización en tres columnas de Denis (1984). En la vértebra lumbar proximal se utiliza una estabilización convencional con tornillos pediculares, pero en la vértebra sacra se utiliza a cada lado un tornillo transdiscal: desde el pedículo de S1 se dirige oblicuamente en dirección supero-medial, atravesando la fuerte cortical del platillo de S1, atravesando el espacio discal, y penetrando en el cuerpo de L5. Esta construcción tridimensional potencialmente proporciona gran estabilidad a la

columna anterior, debido a la dirección de los tornillos y a su agarre en hueso cortical.

Un estudio sobre cadáver mostraba que la fuerza de fijación lumbosacra utilizando un tornillo transdiscal era superior a la tradicional fijación pedicular (Minamide 2003), mientras otro similar no encontraba diferencias mecánicas (Aghayev 2014). Estudios clínicos ulteriores, utilizando tornillos transdiscales L5-S1, han reportado una alta tasa de mejoría clínica y escasa tasa de pseudoartrosis y de complicaciones neurológicas, además de referir que la técnica era relativamente sencilla y segura (Grob 1996; Chell 2001; Boachie-Adjei 2002). Estos autores sugerían que los buenos resultados obtenidos podrían deberse a un comportamiento de la síntesis biomecánicamente más efectivo, aunque sin aportar datos objetivos al respecto. Otros estudios más recientes (François 2005; Lakshmanan 2009; Logroscino 2012; Landi 2013) han mostrado también buenos resultados clínicos y radiológicos con esta técnica. Pero la literatura sobre el atornillado transdiscal es escasa y las evidencias disponibles son de moderada calidad, al ser generalmente estudios retrospectivos y de pequeño tamaño y corto seguimiento, además de no haber estudios comparativos con otras técnicas. Tan solo un estudio refiere una serie de más de 20 pacientes (Zagra 2009), y otro (Rodríguez 2008) compara los resultados clínicos y radiográficos de la fijación transvertebral con la fijación intersomática transforaminal unilateral posterior combinada con caja vertebral anterior.

Cada técnica tiene ventajas e inconvenientes, por lo que actualmente el tratamiento más apropiado para la espondilolistesis de alto grado permanece controvertido (Hu 2008).

II. BASE DOCTRINAL

2.1. ANATOMÍA DEL SEGMENTO LUMBOSACRO

La columna vertebral, raquis o espina dorsal es una compleja estructura osteofibrocartilaginosa y articulada, en la parte dorsal del torso, que funciona principalmente como elemento de sostén transmitiendo el peso del cuerpo hacia los miembros inferiores, recubrimiento y protección de la médula espinal, y es uno de los factores que ayudan a mantener el centro de gravedad en los vertebrados.

2.1.1. DESARROLLO EMBRIOLÓGICO

Hacia el día 17 de la gestación se forma la fosita o nodo primitivo que dará lugar a la notocorda (o tubo notocordal). La presencia de la notocorda induce la formación de la placa neural, la cual hacia el día 18 comienza a plegarse hasta formar el tubo neural, destinado a convertirse en la médula espinal. El líquido amniótico atrapado en el interior será el precursor de líquido cefalorraquídeo. De las columnas paraxiales mediales del tejido mesodérmico que rodea a la notocorda se originan los somitas, que en número de 42 a 44 se disponen consecutivamente a lo largo de la cara dorsal del embrión (Gilbert 2006). Dentro de cada somita hay diferentes zonas especializadas que darán lugar a los dermomiomas (origen de los elementos cutáneos y músculos) y a los escleromas, precursores de las vértebras espinales.

En la 4ª semana de vida embrionaria los escleromas se modifican (Larsen 1993), cambian sus posiciones y migran en varias direcciones. Cada escleroma está dividido en dos porciones, una cefálica (laxa) y otra caudal (condensada) y entre ellas una porción que llena el espacio futuro entre dos cuerpos vertebrales cartilaginosos y que dará lugar al anillo fibroso de los discos intervertebrales (Fig. 2). Para la formación del cuerpo vertebral, la porción condensada de cada escleroma se une con la porción laxa del escleroma vecino. Esta fusión crea el

centrum, el precursor del cuerpo vertebral. Aunque la notocorda desaparece por completo, quedarán restos en la región central de los cuerpos vertebrales y en los núcleos pulposos de los discos intervertebrales.

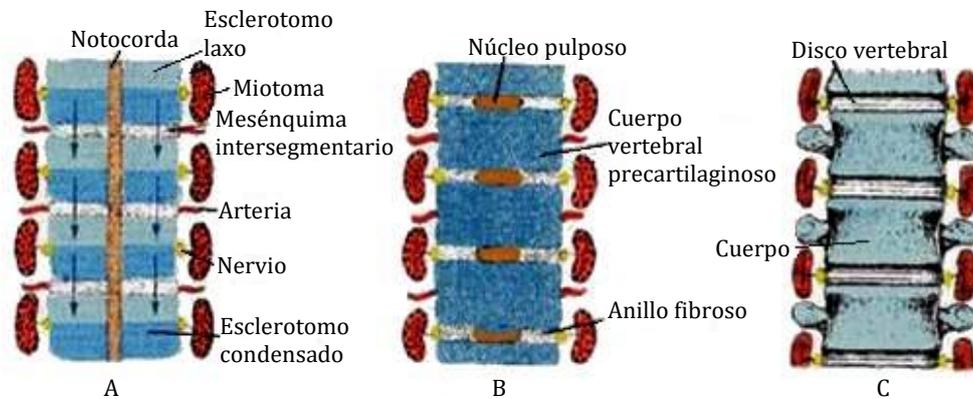


Fig. 2. Desarrollo de los somitas

En las porciones menos condensadas (caudales) de los cuerpos vertebrales precartilaginosos aparecen, a cada lado y en sentido dorsal, una prolongación laminar que crece y rodea lateralmente la médula espinal en desarrollo, luego se fusionarán en la línea media dorsal y crearán los arcos neurales (migración dorsal), que forman una cavidad, en cuyo interior se localiza la médula espinal (Fig. 3).

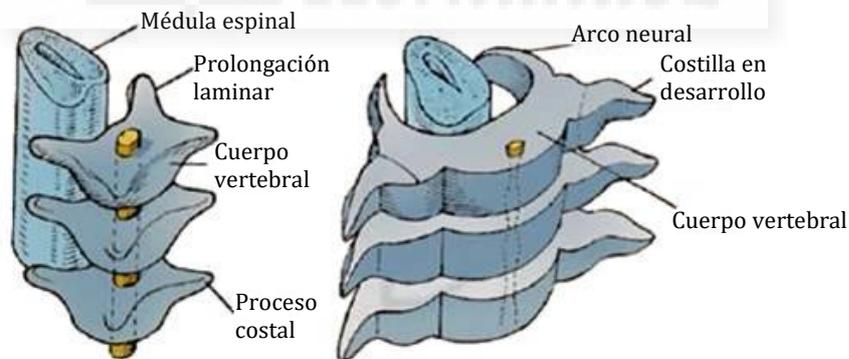


Fig. 3. Desarrollo del cuerpo vertebral

Osificación

A partir de la sexta semana (Larsen 1993), dentro de cada vértebra se forman unos centros de condricación en la mitad del centrum (futuro cuerpo vertebral) y en los arcos vertebrales que hacia la 10ª semana terminarán de formar un modelo cartilaginoso de la futura vértebra (Fig. 4 a-c). A su vez, en la 8ª semana

comienza el proceso de osificación a partir de tres núcleos primarios: uno para el cuerpo y uno en la mitad de cada arco vertebral (Fig. 2.3d).

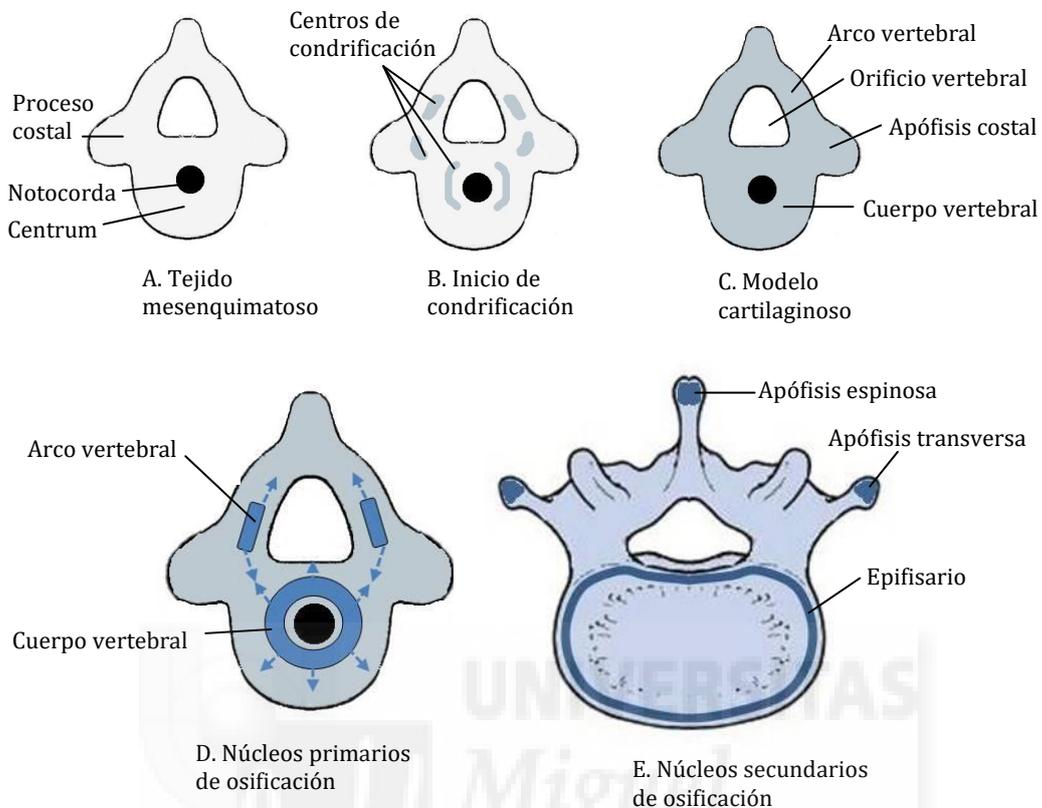


Fig. 4. Proceso de osificación vertebral

Los centros de osificación secundarios (Fig. 4 e) aparecerán en la pubertad, los cuales son cinco: uno en la punta de la apófisis espinosa, uno en cada proceso transversal y uno en la epífisis anular en los platillos vertebrales superior e inferior de los cuerpos vertebrales. El proceso de osificación termina hacia los 15 años de edad, aunque puede extenderse hasta la mitad de la tercera década de la vida.

Al nacimiento, el diámetro del canal espinal entre L1 y L4 es de aproximadamente 70% del tamaño adulto, mientras que en L5 es sólo el 50%. Esto indica un crecimiento diferencial dentro de las regiones de la columna vertebral durante el desarrollo fetal. Las dimensiones finales del adulto se alcanzan al cumplir 1 año de vida en los niveles L3 y L4. Las articulaciones neurocentrales (Fig. 5 a), situadas entre el centrum y los arcos vertebrales, persisten hasta los 3 a 6 años de edad. La fusión de los arcos vertebrales con el centrum tiene lugar bastante antes que los pedículos. Por lo tanto, el cuerpo vertebral definitivo no sólo

consta de hueso derivado del centro de osificación del centrum, de modo que los términos cuerpo y centrum no son estrictamente intercambiables.

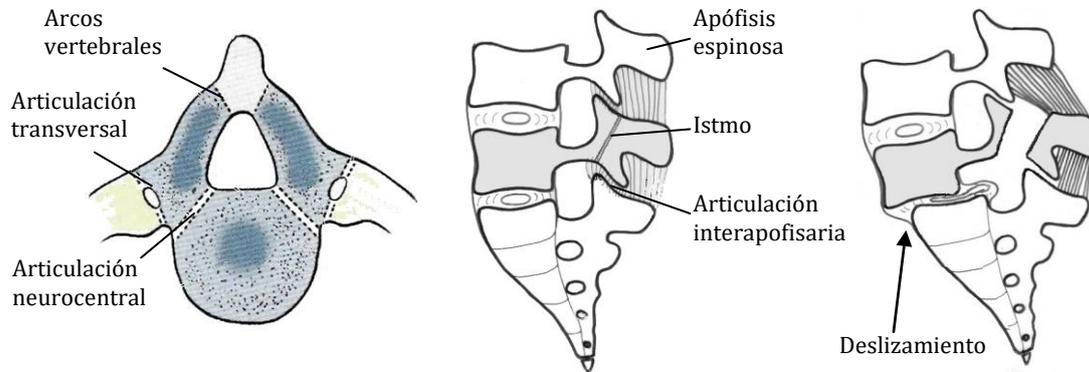


Fig. 5. A) Fusiones óseas. B) Defecto de fusión en el istmo. C) Espondilolistesis

Comúnmente se piensa que ocurre espondilolisis ístmica a causa de una fractura por sobrecarga de la porción interarticular de las vértebras lumbares inferiores, más comúnmente L5 (Fig. 5 b-c). Se han descrito las características anatómicas específicas de la columna vertebral lumbar de adultos, tales como las variaciones registradas de las dimensiones del "refuerzo lateral" en esta región. Tras indagar diversos factores prenatales, el éxito ha sido escaso. Sagi et al (1998) analizaron la columna lumbar desde el punto de vista histomorfológico en fetos de 8 a 20 semanas para determinar la secuencia y la localización de la osificación en las porciones interarticulares de distintos niveles. Ellos aportaron varias conclusiones: En primer lugar, la pars comienza a osificarse durante las semanas 12 a 13 de la gestación. En los niveles lumbares superiores, la osificación comienza en la parte posterior del pedículo y continúa en dirección caudal, creando osificación y una trabeculación uniforme de la porción interarticular. En contraste, la pars de los niveles lumbares inferiores comienza en el centro de la propia pars, que se extiende desde este punto para conectar las estructuras vecinas. Así, observaron que dicho fenómeno causaba una osificación irregular. Este hallazgo podría ayudar a explicar las áreas de debilidad dentro de la pars interarticular de los niveles lumbares inferiores e incluso sugerir que existe una predilección prenatal hacia las fracturas por sobrecarga en la mayoría de las personas.

2.1.2. MORFOLOGÍA

La columna vertebral (Rouviere 1996) es un órgano estructural situado (en su mayor extensión) en la parte media y posterior del tronco, y va desde la cabeza (a la cual sostiene), pasando por el cuello, espalda y hasta la pelvis sobre la cual se soporta. Las vértebras están conformadas de tal manera que la columna goza de flexibilidad, estabilidad y amortiguación de impactos durante la estática de la bipedestación y la dinámica de la locomoción.

Las funciones principales de la columna vertebral son: (1) dar soporte a la cabeza y tronco; (2) transmitir y amortiguar las cargas, sobre todo de compresión; (3) facilitar la movilidad de cabeza y tronco; y (4) proteger las estructuras neurales contenidas en el canal medular. Consta de 33 vértebras, distribuidas en cinco regiones anatómicas, en cada una de las cuales las vértebras tienen una morfología y función diferentes (Fig. 6):

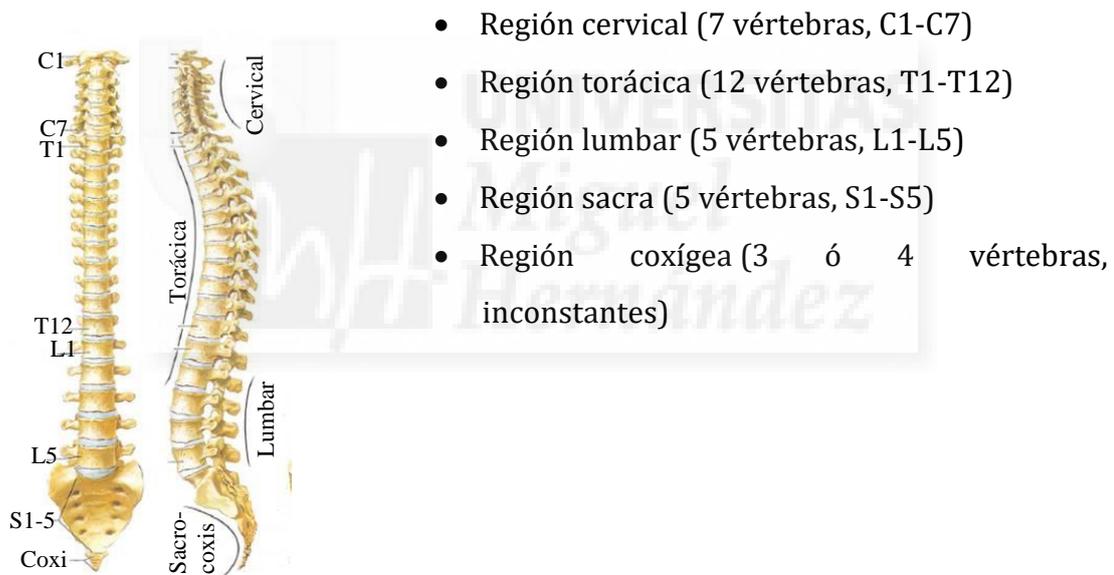


Fig. 2.6. Columna vertebral

Región lumbar

Las cinco vértebras lumbares tienen una estructura muy robusta, debido al gran peso que tienen que soportar por parte del resto de vértebras proximales (Scolesl 1988). Permiten un grado significativo de flexión y extensión, además de discreta flexión lateral y un pequeño rango de rotación. Tras la región cervical, es el segmento de mayor movilidad a nivel de la columna. Los discos entre las vértebras construyen la lordosis lumbar, tercera curva fisiológica de la columna en

el plano sagital, con concavidad posterior.

Como todas las vértebras (Latarjet 2004), las lumbares (Fig. 7) consisten de un cuerpo vertebral o porción de soporte (de hueso esponjoso recubierto por hueso cortical) y un arco vertebral posterior (de hueso cortical) que conforma el agujero vertebral por donde discurre la médula espinal. Este arco vertebral está integrado por las láminas de cada lado, unidas al cuerpo mediante los pedículos, y que se unen posteriormente en la apófisis espinosa. En cada lámina se sitúan las apófisis articulares superior e inferior (para unirse a las vértebras adyacentes) y la apófisis transversa (para inserciones musculares).

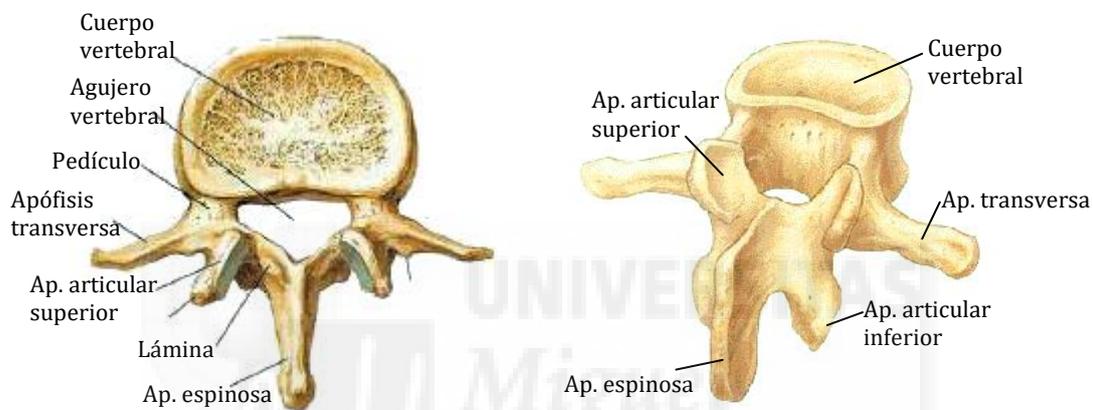


Fig. 7. Vértebra lumbar

La quinta vértebra lumbar presenta su particularidad en la articulación con el sacro. Dicha articulación (diartroanfiartrosis) es llamada promontorio, presenta un ángulo más abierto. Este punto es muy importante para medir el ángulo de inclinación correspondiente. Se puede reconocer, viéndola desde un plano sagital, del resto porque su altura anterior es mayor a la altura posterior, vale decir la longitud anterior del arco del cuerpo es mayor que la longitud del arco posterior del cuerpo de la misma, así es que se ve "acuñada". Vista en un plano frontal posterior el diámetro transversal de las apófisis articulares superiores se presenta mayor que el diámetro transversal o distancia entre las apófisis articulares inferiores. Este es un dato importante a la hora de describir las características de una vértebra lumbar, ya que éstas son las encargadas de recibir la mayor carga de peso, de ahí su grosor y tamaño.

Articulaciones intervertebrales

Las vértebras lumbares se articulan entre sí por medio de las apófisis articulares superiores e inferiores de cada lado. La carilla articular es del tipo trocoide, superficies talladas en segmentos de cilindro, convexo para la vértebra superior y cóncavo para la inferior. Están cubiertas por una cápsula articular de poca resistencia (Fig. 8).

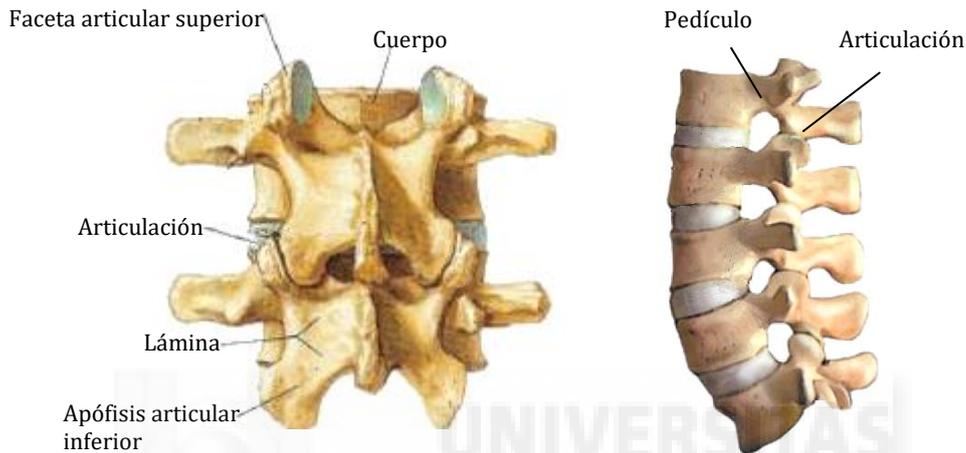


Fig. 8. Articulaciones interapofisarias

Hueso sacro

Contribuye a formar la columna vertebral y la pelvis (Fig. 2.9). Su función principal es transmitir el peso del cuerpo a la cintura pélvica. Está compuesto de cinco vértebras que en la edad madura se encuentran fusionadas, sin disco intervertebral entre cada uno de ellas. En las zonas laterales, las alas sacras se unen con las palas ilíacas de la pelvis. Contiene las raíces nerviosas de la cola de caballo (raíces de nervios espinales situados debajo de L1). A cada lado presenta 4 orificios a través de los cuales emergen ramos dorsales y ventrales de los nervios espinales. La primera vértebra sacra es la más gruesa y con una morfología casi similar a las lumbares, cuyo cuerpo junto a las alas sacras forman un promontorio debido a la inclinación del sacro. Presenta una pequeñas apófisis articulares superiores para unirse a la quinta vértebra lumbar.

La articulación lumbosacra es una anfiartrosis, constituida por los cuerpos de la quinta vértebra lumbar y de la primera sacra. El disco intervertebral es muy grueso, cuneiforme, más ancho en su parte anterior que en la posterior.

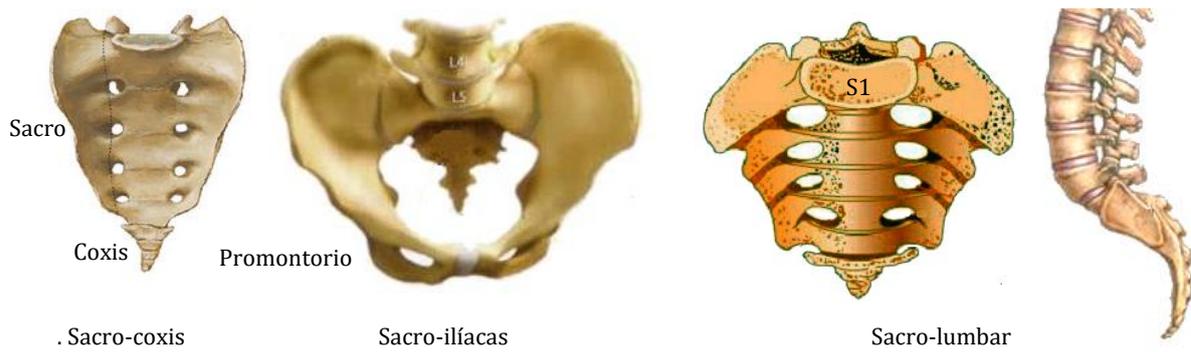


Fig. 2.9. Articulaciones sacras

Discos vertebrales

La conexión funcional entre los cuerpos vertebrales se establece mediante los discos intervertebrales (Fig. 10). Estos presentan tres porciones diferentes: una zona central denominada núcleo pulposo, otra periférica o anillo fibroso que contiene al núcleo, y unas placas cartilaginosas situadas en las caras inferior y superior del disco (Colombier 2014). El 70-90 % del núcleo es agua, y el resto fibras colágenas. No tiene vasos ni nervios, de ahí su incapacidad de regeneración. El anillo fibroso consiste de láminas concéntricas sucesivas de fibras colágenas, ordenadas oblicuamente a 30° de inclinación a derecha e izquierda de forma alternante entre cada capa, lo que hace que sean prácticamente perpendiculares entre sí. Esta arquitectura le hace capaz de soportar compresiones, pero está mal preparado para los cizallamientos.

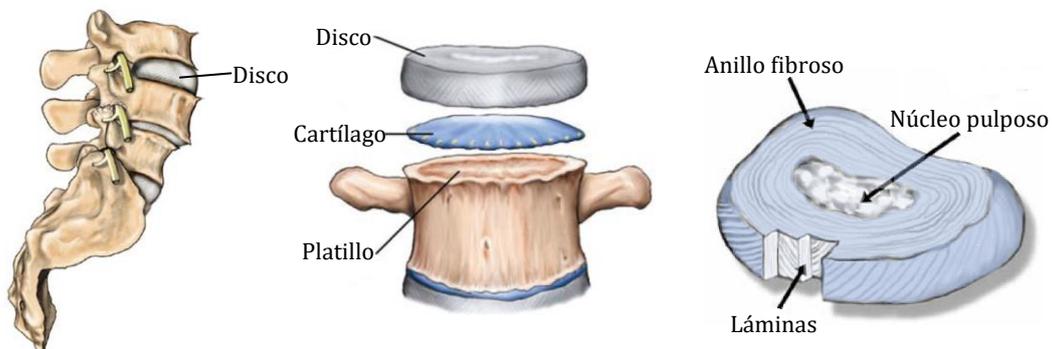


Fig. 10. Disco intervertebral

Estabilizadores estáticos

La estabilidad intervertebral se debe a la acción del peso del cuerpo y a los ligamentos extrínsecos, no articulares (Fig. 11). Los cuerpos vertebrales están cohesionados mediante los ligamentos longitudinales anterior y posterior, respectivamente. Las láminas están unidas por los ligamentos amarillos de cada lado. Estos ligamentos son muy resistentes y muy elásticos. Su cara anterior corresponde al conducto vertebral o espacio epidural, y su cara posterior está oculta por la lamina supra yacente y por los músculos erectores de la columna. La unión entre las apófisis espinosas se realiza por dos sistemas ligamentosos. Uno, el ligamento supraespinoso, longitudinal que recorre la punta de todas las apófisis. Otro, los ligamentos interespinosos, situados entre cada dos apófisis adyacentes. Las apófisis transversas se conectan mediante los ligamentos intertransversos, que en la región lumbar son más robustos.

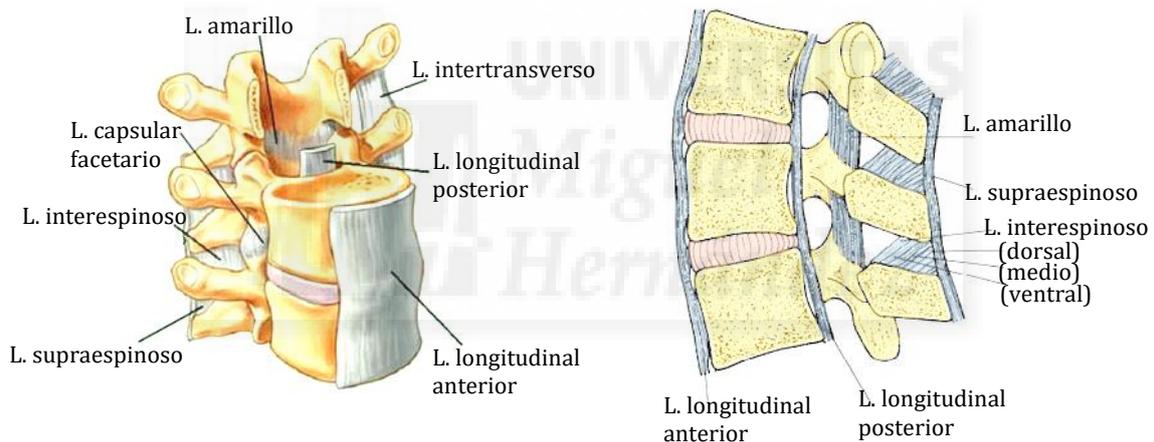


Fig. 11. Ligamentos vertebrales

Musculatura vertebral lumbar

La erección de la columna se debe a la acción de unos pocos grandes músculos y numerosos pequeños (Fig. 12). El principal y más grande es el músculo erector de la columna (sacroespinal, *erector spinae*), que se extiende en cada lado de la columna vertebral desde la región pélvica hasta el cráneo. Se divide en tres porciones musculares: el iliocostal (*iliocostalis*), el dorsal largo (*longissimus*) y el espinoso (*spinalis*). El músculo iliocostal tiene porciones según sus zonas de ubicación (cervical, torácica y lumbar), originándose la lumbar (*iliocostalis lumborum*) en la cresta ilíaca, sacro y fascia toracolumbar, e insertándose en las

costillas torácicas más caudales y en apófisis transversas de las primeras tres vértebras lumbares. El músculo dorsal largo consta de dos porciones (cervical y torácica) originándose la torácica en el sacro, las apófisis espinosa de las vértebras lumbares y las apófisis transversas de la última vértebra torácica, y se inserta en la apófisis transversa de la vértebra lumbar, la aponeurosis del erector de la columna, las costillas y la apófisis costal de las vértebras lumbares. El músculo espinoso consta así mismo de dos porciones, originándose la torácica en la apófisis espinosas de L3-T10 e insertándose en la apófisis espinosas de T8-T2.

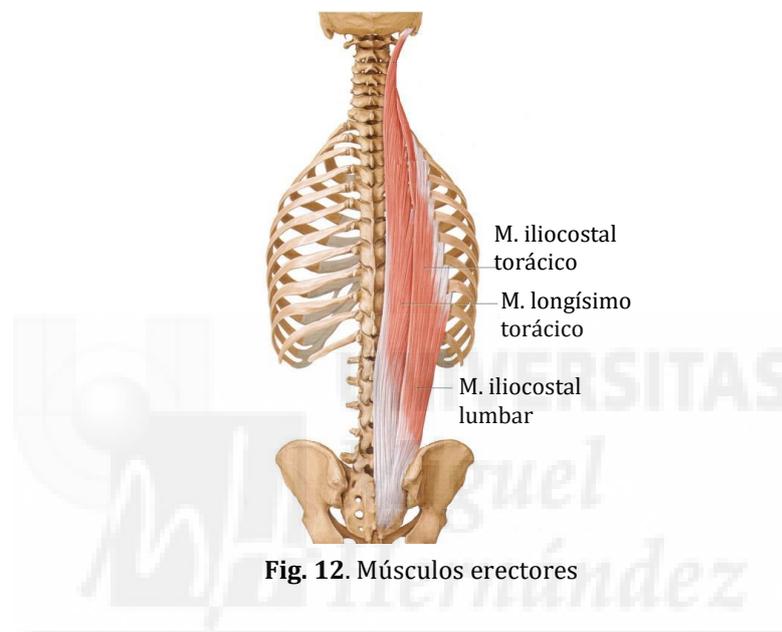


Fig. 12. Músculos erectores

Otros pequeños músculos contribuyen a la erección, la mayoría de los cuales tienen su origen en una vértebra e inserción en la siguiente. Aunque importantes en el funcionamiento de la columna vertebral, su descripción tiene un valor limitado para el objetivo del estudio.

Los músculos paravertebrales también se coordinan con los abdominales y el músculo psoas ilíaco para mantener la columna recta, de tal forma que se forma un conjunto de fuerzas opuestas, llegando a mantener en una posición adecuada el raquis con respecto a la espalda. Por otro lado, los músculos paravertebrales se extienden por toda la parte posterior del tronco, desde la nuca hasta la pelvis, uniendo por detrás la parte inferior de las costillas con la pelvis y las vértebras con los omóplatos, y entre sí hasta la nuca.

Además, hay que tener en cuenta otros músculos, como son el psoas, los

glúteos y el piramidal. Así el psoas se extiende desde la última vértebra dorsal y las cinco lumbares hasta el muslo, atravesando la pelvis. Al contraerse, aproxima el muslo y las vértebras por delante, hasta hacer que se toquen el pecho y la rodilla. Los glúteos fijan la columna a la pelvis y dan estabilidad al sistema.

Inervación

El plexo lumbosacro está formado por las ramas anteriores de los nervios raquídeos lumbares y sacros (Fig. 13). Sus ramas proporcionan inervación motora y sensitiva-sensorial para la extremidad inferior. El plexo lumbar está formado por las raíces de L1, L2, L3 y parte de L4, que se encuentran delante del músculo psoas mayor. De ellas se originan los nervios obturador y femoral, además de varias ramas musculares cortas. El plexo sacro está formado por las raíces de S1-S3 (que salen por los agujeros sacros anteriores) y parte de L4 y L5, originando los nervios ciático mayor (con ramas peroneo común y tibial), glúteos superior e inferior, pudendo y perineales.

La cauda equina, o cola de caballo, está formada por el cono medular distal y las raíces espinales por debajo del nivel de la primera vértebra lumbar (los nervios sacrales y coccígeos), inervando la vejiga, el recto y los genitales externos.

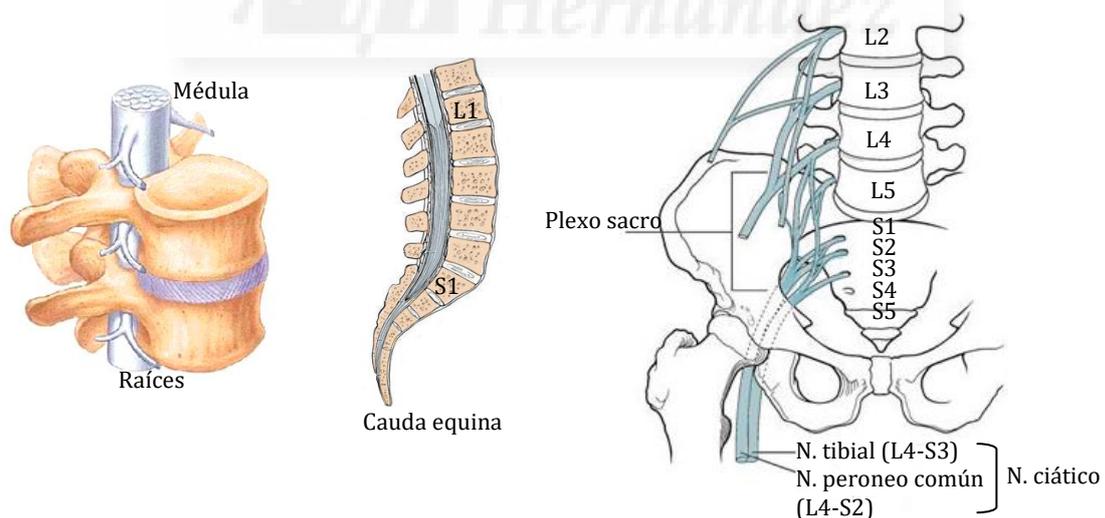


Fig. 13. Plexo lumbosacro

Irrigación

Las vértebras suelen recibir la irrigación de ramas de los vasos segmentarios, las arterias lumbares, con las que están íntimamente relacionadas. Las arterias espinales, que nutren las vertebras, son ramas de: las arterias vertebrales y cervicales ascendentes en el cuello; las arterias intercostales posteriores en la región torácica; las arterias subcostales y lumbares en el abdomen; las arterias iliolumbares y sacras laterales y mediales en la pelvis.

Las arterias espinales penetran en los orificios intervertebrales y se dividen, de ordinario, en arterias radicales terminales que se distribuyen a las raíces dorsales y ventrales de los nervios espinales y a sus cubiertas. Algunas arterias radicales se prolongan como arterias segmentarias medulares, espaciadas de forma irregular y se anastomosan con las arterias de la medula espinal.

2.1.3. BIOMECÁNICA

Cinemática

En la postura bípeda normal, la columna vertebral y la cabeza se encuentran en equilibrio débil. Sólo basta el tono muscular para mantener dichos órganos en esta posición. En un plano sagital se puede considerar que estos músculos son: dorsalmente, la musculatura de los canales vertebrales que se extienden desde el sacro e ilíaco hasta la base del cráneo; ventralmente, el recto mayor del abdomen y los músculos escalenos. Éstos actúan sobre la estructura ósea vertebral por medio del esqueleto torácico.

A la hora de valorar la movilidad del raquis en su conjunto hay que tener en cuenta que no existen movimientos puros (ni de flexión, extensión, inclinaciones laterales ni rotaciones), éstos van a combinarse en los diferentes segmentos (Panjabi 1980). El macromovimiento resultante se debe a la suma de los pequeños movimientos intervertebrales. También hay que tener en cuenta que la movilidad de la columna dependerá del sujeto concreto. Los movimientos básicos (Fig. 2.14) son la flexo-extensión, inclinaciones laterales y rotaciones del tronco.

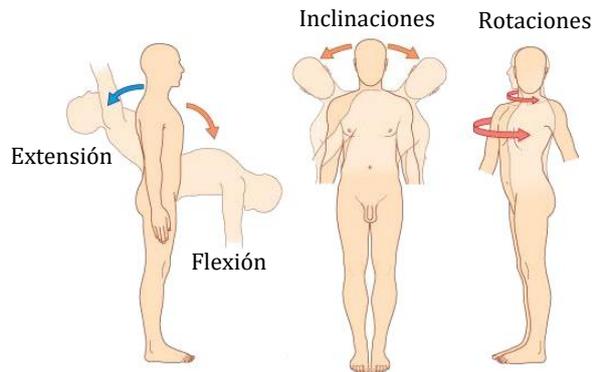


Fig. 2.14. Movimientos de la columna

- **Movimiento de flexión.** El movimiento de flexión de la columna vertebral se realiza en un eje trasverso dentro del plano de movimiento sagital o anteroposterior. En el raquis lumbar: la flexión es de 60°. El movimiento se realiza a expensas de los discos vertebrales (Kapandji 2007; Miralles 1998). Durante la flexión la vértebra superior se desliza hacia delante y el espacio intervertebral disminuye en el borde anterior; el núcleo pulposo se desplaza hacia atrás de modo que se sitúa sobre las fibras posteriores del anillo fibroso aumentando la tensión del mismo. Este comportamiento refleja el comportamiento del anillo fibroso forma parte del sistema de autoestabilización del disco, y también ocurre en el resto de movimientos de las vértebras aunque en diferentes direcciones. La musculatura y ligamentos extensores de la espalda se elongan (ligamentos amarillos, ligamento longitudinal posterior, interespinoso, supraespinoso e intertransverso, que impiden el exceso de movimiento de las vértebras en la flexión.) y los flexores se acortan (ligamento longitudinal anterior)

- **Movimiento de extensión.** Este movimiento se realiza en un eje trasverso y en un plano sagital. La extensión es de 20° en el raquis lumbar. En el movimiento de extensión la vértebra proximal se inclina y se desliza hacia atrás sobre la distal, provocando que el espacio intervertebral se cierre a nivel posterior y se abra a nivel anterior. Así, el disco intervertebral se hace más delgado en su parte posterior y se ensancha en su parte anterior. Consecuentemente se produce un desplazamiento hacia delante del núcleo pulposo, lo que provoca un aumento de la tensión de las fibras anteriores del anillo fibroso. Esto da lugar a la aparición

del mecanismo de autoestabilización haciendo que las fibras anteriores del anillo tiren de la vértebra suprayacente hacia su posición inicial. Los procesos articulares posteriores se juntan.

- Movimiento de inclinación o flexión lateral. El movimiento de lateroflexión, inclinación lateral o flexión lateral es un movimiento en el que la columna vertebral se inclina hacia un lado. Este movimiento se realiza en un eje antero-posterior y en un plano frontal. La amplitud de la columna con respecto a este movimiento es, en el raquis lumbar de 20°. Debido a la separación lateral de los cuerpos vertebrales, los arcos también se separan y las apófisis articulares también se someten a esta tensión por lo que la cápsula articular de las articulaciones cigapofisiarias se estira y limita el movimiento. El movimiento de inclinación de dos vértebras se acompaña de un deslizamiento diferenciado de las articulaciones cigapofisiarias: en el lado de la convexidad, las carillas se deslizan como en la flexión, es decir, hacia arriba; en el lado de la concavidad, las carillas se deslizan como en la extensión, es decir, hacia abajo. La limitación del movimiento viene determinada por: el tope óseo de las apófisis articulares del lado de la concavidad, y por la tensión de los ligamentos amarillo e intertransverso del lado de la convexidad. Además cuando el raquis se flexiona lateralmente, se puede constatar que los cuerpos vertebrales giran sobre si mismo lo que hace que su línea media anterior se vea desplazada hacia la convexidad de la curva.

- Movimiento de rotación. El movimiento de rotación se realiza en un eje vertical, por detrás del arco vertebral aproximadamente, en la base de la apófisis transversa. Esta disposición mecánica facilita la probabilidad de este difícil movimiento. En el raquis lumbar: la rotación es de 5°. Durante la rotación de una vértebra lumbar sobre otra, el deslizamiento de las superficies en las apófisis articulares se acompaña de una rotación de un cuerpo vertebral sobre otro (sobre su eje común), con un movimiento combinado de rotación-cizallamiento.

- Movimiento en el disco vertebral. El núcleo pulposo se encuentra encerrado en un compartimento inextensible entre las mesetas vertebrales por arriba, por abajo y el anillo fibroso. Por lo tanto, en una primera aproximación se puede considerar que el núcleo pulposo se comporta como una canica intercalada en dos planos. Este tipo de articulación denominada «de rótula» permite tres clases de movimiento: Movimiento de inclinación tanto en el plano sagital (en este

caso se observará una flexión o una extensión) como en el frontal (inflexión lateral). Movimiento de rotación de una de las mesetas en relación a la otra. Movimiento de deslizamiento o cizallamiento de una meseta sobre otra a través de la esfera.

Cinética

Biomecánicamente, la columna vertebral tiene dos grandes funciones. En primer lugar, es un pilar que sostiene el tronco, y mientras más inferior (lumbar), más centralizado está con respecto de los demás componentes, para soportar mejor la carga del hemicuerpo que queda sobre esta zona. En segundo lugar, la columna protege a dos de los principales elementos del sistema nervioso central, que son la médula espinal, alojada en su canal raquídeo y, puesto que éste comienza en el agujero magno occipital, también al bulbo raquídeo. Además, no podemos olvidar la importancia de una columna articulada que permite el movimiento del tronco y la diferencia que aporta esta capacidad con otras especies que es la bipedestación.

Desde el punto de vista de la ingeniería, la disposición multicurvada de la columna en el plano sagital es importante porque aumenta resistencia a la compresión. La transmisión de carga a lo largo del raquis en las curvas lordóticas, se produce principalmente a través del pilar posterior y, en las cifóticas, a través del pilar anterior. Los pedículos de las zonas de transición (cervicodorsal y dorso-lumbar) resisten importantes fuerzas de tracción. Así, en las lordosis cervical y lumbar se producen principalmente a través de los arcos vertebrales o pilar posterior; en las cifosis dorsal y sacra a través de los cuerpos vertebrales o pilar anterior; en las zonas de transición las estructuras sometidas a importantes fuerzas de tracción son los pedículos vertebrales.

Como respuesta a las cargas que debe soportar, el tejido esponjoso de las vértebras en la transición lumbosacra muestra una mayor densidad de trabéculas que en las otras vértebras (Mahato 2013). La vértebra L3 es un elemento de palanca muy potente en la estabilidad lumbar, que presenta en su parte anterior inserciones de los músculos psoas y diafragma. Desde un punto de vista biomecánico, el centro de gravedad del cuerpo se ubica alrededor de esta vértebra y es el centro de la lordosis lumbar. Las vértebras lumbares inferiores, en especial

L4 y L5 están dispuestas en ángulo inclinado, igual que L5-S1, creándose un componente de fuerza de deslizamiento en estas unidades funcionales. Los discos L4 y principalmente L5 son los que más carga soportan de todo el raquis, sufriendo repercusiones con gran frecuencia. Además, el centro de gravedad del cuerpo se localiza en estos segmentos, dotándole de mayor fuerza cinética.

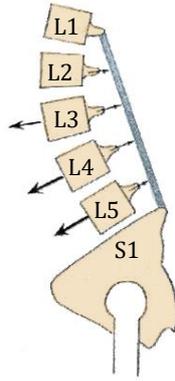


Fig. 15. Disposición inclinada de la vértebras lumbares

Especial importancia se atribuye a la articulación lumbo-sacra, que se sitúa en un plano oblicuo de unos 45° hacia abajo y delante (Fig. 15), generando un considerable estrés de cizalla entre L5 y S1, que aumenta conforme más inclinada se encuentre la meseta sacra respecto a la horizontal. Debido a su disposición anatómica, esta articulación es un punto inestable en la estabilización del raquis lumbar.

Unidad funcional vertebral

La unidad funcional vertebral está constituida por dos vértebras adyacentes y el disco intervertebral. En esta unidad vertebral se puede distinguir (1) un pilar anterior (representado por el cuerpo vertebral), cuya principal función es el soporte de la compresión axial, desempeñando una función estática; y (2) un pilar posterior (formado por los arcos vertebrales) cuya función es dinámica, soportando fuerzas de tracción o tensión. Ambas están conectadas por los pedículos vertebrales formando una palanca de primer género, donde las articulaciones interapofisarias son el punto de apoyo (Pope 1989). Este sistema de palanca (Fig. 16) permite amortiguar las fuerzas de compresión axial sobre el disco de manera pasiva, y amortiguación activa en los músculos posteriores. Es

necesario saber que el 80 % del peso corporal es soportado por el pilar anterior y el 20 % restante por el pilar posterior.

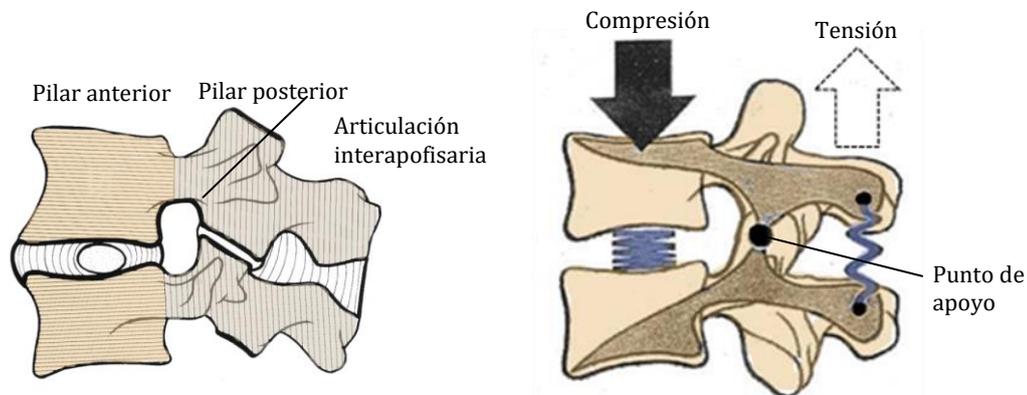


Fig. 16. Unidad funcional de la columna lumbar, como palanca de primer género

- **Pilar anterior.** Su morfología es determinada por las grandes exigencias mecánicas en cuanto a la transmisión de fuerzas a la que se ve sometido todo el raquis vertebral (Whyne 1988). Los cuerpos vertebrales superior e inferior adyacentes al disco intervertebral forman una articulación de tipo anfiartrosis, cuya función principal es dar estabilidad soportando principalmente esfuerzos compresivos. Por el contrario, sus respectivos arcos vertebrales poseen una función dinámica proporcionando dinamismo a toda la estructura funcional formada por los 3 elementos anteriores. La alteración de la distribución de cargas entre el cuerpo y el arco vertebral determinará la aparición de síndromes facetarios, degenerando los macizos interapofisarios posteriores por el aumento del porcentaje de carga soportado.

- **Pilar posterior.** Situado por detrás de la vértebra se localiza el arco posterior. Sujeta las apófisis articulares, cuyo apilamiento conforma las columnas de las apófisis articulares. El pilar posterior desempeña una función dinámica. La relación funcional entre pilar anterior y pilar posterior queda garantizada por los pedículos vertebrales. Si se considera la estructura trabecular de los discos vertebrales y de los arcos posteriores, se puede comparar cada vértebra a una palanca de primer grado, denominada "interapoyo", donde la articulación cigoapofisaria desempeña la función de punto de apoyo. Este sistema de palanca permite amortiguar las fuerzas de compresión axial sobre la columna: amortiguación indirecta y pasiva en el disco intervertebral, amortiguación

indirecta y activa en los músculos de las correderas vertebrales, todo esto mediante las palancas que forma cada arco posterior. Por lo tanto, la amortiguación de las fuerzas de compresión es a la vez pasiva y activa.

- Disco vertebral. El disco intervertebral es un sistema amortiguador que une dos cuerpos vertebrales adyacentes formando una articulación de

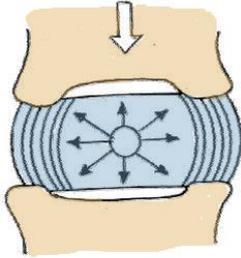


Fig. 17. Expansión del disco intervertebral ante la carga

tipo anfiartrosis (Fig. 17). Está constituido de una parte central llamada núcleo pulposo, y una periférica llamada anillo fibroso. La función fundamental es mantener separadas las dos vértebras y permitir movimientos de balanceo entre ellas. El núcleo pulposo soporta el 75 % de la carga y el anillo fibroso el 25 %. El núcleo

pulposo actúa como distribuidor de la presión en sentido horizontal sobre el anillo fibroso (Yantzer 2007).

Estabilidad funcional

La estabilidad o inestabilidad de las lesiones de la columna dependen tanto de sus estructuras óseas como de las ligamentosas. Denis, en 1984, concibió el concepto de tres columnas funcionales para definir la estabilidad vertebral en caso de fractura (Fig. 2.18). La afectación de una, dos o las tres columnas define la intensidad de la inestabilidad producida.

1. Columna anterior: está constituida por, la mitad anterior del disco y del cuerpo, el ligamento longitudinal anterior, y la porción anterior del anillo fibroso del disco intervertebral.

2. Columna media: comprende la pared posterior del cuerpo vertebral, el ligamento longitudinal posterior (lig. común vertebral posterior), y la porción posterior del anillo fibroso del disco intervertebral.

3. Columna posterior: está formada por el arco óseo posterior y el complejo ligamentoso posterior (ligamentos amarillo, interespinoso y supraespinoso).

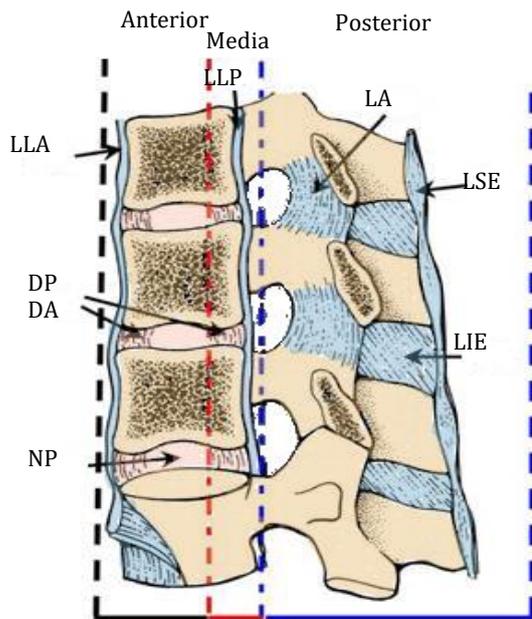


Fig. 18. Columnas de Denis. Lig. longitudinal anterior (LLA). Lig. longitudinal posterior (LLP). Lig. amarillo (LA). Lig. supraespinal (LSE). Lig. interespinal (LIE). Anillo fibroso anterior (DA). Anillo fibroso posterior (DP). Núcleo pulposo (NP).

2.2. ESPONDILOLISTESIS

2.2.1. CONCEPTO Y DEFINICIÓN

El término espondilolistesis define el deslizamiento de una vértebra respecto a su inmediata subyacente (Hu 2008) (Fig. 19). Etimológicamente procede del griego componiendo deslizamiento (*olistesis*) y vértebra (*spondylos*). El término espondilolisis se refiere a la rotura de la *pars interarticularis* de una vértebra (*lysis*= disolución, rotura). El término espondiloptosis se aplica para indicar que una vértebra se ha desplazado completamente por delante de la subyacente (*ptosis*= caída).

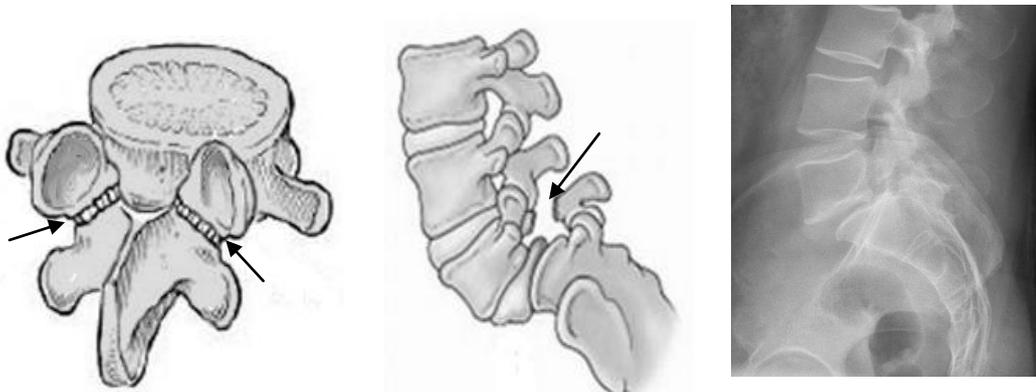


Fig. 19. A) Defecto de la pars interarticularis. B) Deslizamiento. C) Espondilolistesis

Esta patología fue primero reconocida por el obstetra belga Herbinaux en 1782 al reportar problemas obstétricos debido a una prominencia ósea sacra que dificultaba el parto. En 1854, otro obstetra alemán, Kilian, tras estudios en autopsias acuñó el término "espondilolistesis" (del griego, *spondylo*: vértebra, *olysthesis*: deslizada) para especificar que se trataba de un movimiento anterior de una vértebra lumbar sobre la inmediatamente inferior, más frecuentemente en L4-L5 y L5-S1. Poco después, en 1885, el alemán Koblenz describió que la causa se debía a daño en la porción interarticular y en 1888, otro obstetra polaco, Neugebauer, publicó la primera monografía sobre la espondilolistesis describiendo su sintomatología y los hallazgos clínicos.

Junghanns fue el primero en describir la forma degenerativa en 1930 denominándola pseudoespondilolistesis al no apreciar separación del arco neural y debida a artrosis de las facetas articulares. Algunos años más tarde Macnab (1965) en un artículo ya clásico mostró su desacuerdo con dicha denominación, pues según él se trataba de una auténtica listesis o desplazamiento hacia adelante, sugiriendo la denominación de "espondilolistesis con arco neural intacto". Posteriormente Newman y Stone (1963) aplicaron el término más descriptivo de "espondilolistesis degenerativa". Finalmente Epstein et al (1976) propusieron el término actualmente utilizado de "espondilolistesis degenerativa con arco neural intacto".

2.2.2. TEORÍAS FISIOPATOGÉNICAS

La articulación lumbosacra cumple un papel fundamental sobre el esqueleto axial aportando soporte mecánico al raquis y protegiendo las estructuras neurológicas. De las partes de la vértebra, el cuerpo es el que soporta la mayor parte de la carga.

La lordosis lumbar fisiológica, unida a la posición erecta del ser humano, ejercería una presión sobre la *pars interarticularis* que llevaría al progresivo desplazamiento vertebral. Macnab (1950) consideraba que debían existir unos factores básicos para producir este deslizamiento. Los cuerpos vertebrales y discos son los responsables principales de absorber las fuerzas de compresión. Complementariamente, los ligamentos vertebrales comunes anterior y posterior

tienen un efecto de tirante sobre los arcos neurales, las articulaciones facetarias tienen un efecto de neutralización, y los ligamentos amarillo e interespinoso tienen un efecto tirante y de absorción de la tracción posterior.

La forma del sacro es muy variable en los pacientes con espondilolistesis (Antonaides 2000). El mecanismo de fallo de los elementos posteriores suele ser a través de una fractura por estrés por mecanismos de hiperextensión sobre un terreno con una debilidad previa. Cuando la columna lumbar se hiperextiende, la apófisis articular inferior de la vértebra superior impacta con la porción interarticular de la vértebra inferior. Impactos repetidos pueden producir un estrés o la fractura por fatiga de la porción interarticular. Dicho déficit provoca un desplazamiento anterior de la quinta vértebra lumbar sobre el sacro el cual, a su vez, genera mayor insuficiencia sobre el platillo vertebral de S1 en etapa de desarrollo y osificación. La consecuencia de dicha deformidad determina un sacro vertical y una mayor incidencia pelviana, con su consecuente predisposición para un mayor traslado anterior. Todo lo anterior daría lugar a una tendencia natural hacia el deslizamiento anterior de la vértebra, que intenta ser evitada por la forma del disco intervertebral L5-S1, los ligamentos sacroespinales y los elementos del arco posterior (Latarjet 2007).

En el adulto, la hiperextensión crónica de la espalda puede verse favorecida por crecimiento acelerado en la adolescencia o por ciertas actividades deportivas tales como gimnasia, levantamiento de pesas, o buceo. En el adulto, la espondilolistesis se produce sobre todo según dos patrones: la variante ístmica que implica alteraciones de la porción vertebral interarticular y la degenerativa con degeneración del disco e inestabilidad que produce un cambio fisiológico de la posición de la carilla articular en el plano sagital. Es probable que el desarrollo de la espondilolistesis degenerativa dependa de factores anatómicos y del grado de lordosis lumbar así como factores hormonales y gestaciones previas, pero también intervienen otros factores como una orientación más sagital de la carilla articular L4-L5 o ángulos sagitales de la articulación superior a 45° dando lugar a un riesgo 25 veces mayor de desarrollar un espondilolistesis degenerativa, que los que tenían ángulos menores (Boden 1996). Desde el punto de vista clínico lo antedicho se traduce en un tronco corto con una caja costal sobresaliente y nalgas aplanadas para compensar la cifosis lumbosacra. Existe, además, extensión en lordosis de la

columna lumbar alta y columna dorsal con isquiotibiales e iliopsoas rotando la pelvis a una situación más vertical, con cadera y rodillas en flexión (Phalen 1961).

2.2.3. EPIDEMIOLOGÍA

Las espondilolistesis displásicas e ístmicas son los dos subtipos que se encuentran en niños, ésta última representando aproximadamente el 85% de los casos. La incidencia de espondilolistesis ístmica o por defectos en la pars interarticular es del 4% a 6% en la población general. Es más común en los hombres y más común en el nivel L5-S1. El cincuenta por ciento presenta sólo espondilolisis sin deslizamiento. A pesar de que la tasa es menor en mujeres, cuando se produce en éstas, hay mayor tendencia de progresión de deslizamiento. En niños, es relativamente frecuente encontrar espina bífida de L5 y más de S1 asociada a la espondilolistesis, siendo trece veces más frecuente que en la población general. La presencia tan alta de espina bífida más los antecedentes hereditarios de la espondilolistesis, son elementos muy importantes para considerar esta enfermedad como de origen congénito. La espina bífida es más frecuente en la espondilolistesis de tipo displásica y su incidencia, según diversos autores, va de 18% a 100% de los casos estudiados.

La espondilolistesis degenerativa lumbar con arco neural intacto se diferencia claramente de la más comúnmente conocida espondilolistesis ístmica por el defecto de la *pars interarticularis*. Es la más comúnmente diagnosticada en la edad adulta. Muy rara vez se encuentran pacientes con espondilolistesis degenerativa por debajo de los 50 años de edad. Afecta con una frecuencia 4-5 veces mayor a las mujeres que a los varones y es más frecuente en mujeres de raza negra que blanca (Bradford 1985).

2.2.4. CLASIFICACIONES

Se han descrito numerosas clasificaciones, desde distintos puntos de vista y con diferentes objetivos, la mayoría de las cuales no son de uso en la práctica actual. A continuación se describen aquellas en las que hay consenso respecto a su utilización.

Clasificación de severidad y pronóstico

Meyerding (1932) ideó una clasificación, actualmente vigente, que define el porcentaje de deslizamiento en relación con la vértebra caudal en cinco grados: I) cuando el deslizamiento es de hasta el 25%; II) entre 25% y 50%; III) entre 50% y 75%; IV) entre 75% y 100%; y V) mayor del 100% (también llamada espondiloptosis). Orienta sobre la severidad o gravedad del deslizamiento (Taillard 1955), considerándose espondilolistesis de bajo grado de deslizamiento cuando este es menor del 50% (grados I-II), y de alto grado cuando es superior al 50% (grados III-IV-V). La mayoría (75%) de los casos de espondilolistesis son de grado I, y el 20% son grado II.

Clasificación etiopatogénica

En base a los hallazgos anatomopatológicos encontrados, actualmente se consideran diversos tipos de espondilolistesis (Wiltse 1976).

1) Displásica o congénita: por defectos congénitos donde no llega a osificarse la lámina en el proceso de maduración ósea. Suele existir deformidad de la cara superior del cuerpo del sacro y displasia de las apófisis articulares. No se observa lisis del istmo, sino adelgazamiento y alargamiento del mismo. Las carillas articulares permiten el desplazamiento anterior de una vértebra sobre otra, y debido a que el arco neural de la vértebra está intacto se puede comprimir la cola de caballo. Este tipo es el único encontrado en recién nacidos. Son las más frecuentes en los niños y adolescentes. Predomina en el sexo femenino y puede producir compresión radicular cuando el deslizamiento sobrepasa el 25%. En la radiografía se observa además espina bífida de S1 y, ocasionalmente, de L5.

2) Ístmica: implica una lesión a nivel de la *pars articularis*, donde se observa una zona radiolúcida que va desde una pequeña línea hasta un gran espacio no osificado. Pero también existen listesis en las que hay una elongación del istmo sin lisis ni otra alteración de tipo displásico. La causa íntima de la espondilolistesis ístmica es desconocida. Pueden distinguirse tres tipos: A) fractura por fatiga de la *pars articularis*, habiendo sólo espondilolisis; B) elongación de la *pars articularis* sin lisis; C) fractura aguda de la *pars articularis*. El tipo ístmico es el más común entre los 5 y 50 años. La incidencia en la raza blanca fluctúa alrededor del 5%. Los

esquimales presentan frecuencia de 50%. En los gimnastas la frecuencia llega a 20 ó 25%.

3) Degenerativa: es secundaria a fenómenos degenerativos artríticos y/o artrósicos de larga evolución, lo que conduce a incompetencia de la faceta y la degeneración del disco. Ésto crea una inestabilidad articular que permite el deslizamiento de una vértebra sobre otra. Naturalmente, este tipo de espondilolistesis se observa en adultos, habitualmente sobre 50 años. Es más frecuente en mujeres. Se observa de preferencia a nivel L4-L5, y con mucha menor frecuencia en L5-S1.

4) Traumática: se debe a traumatismos graves (caída de altura, por ejemplo) donde la porción interarticular falla a través de un mecanismo de tracción (Labelle 2005). Afecta principalmente el arco neural de L4-L5, y se produce frecuentemente en adultos jóvenes (accidentes deportivos y laborales).

5) Patológica: en procesos osteolíticos que afectan de manera generalizada al esqueleto, como la enfermedad de Paget, el mal de Pott, metástasis ósea, sífilis, artrogriposis, etc.

Los patrones displásicos e istmicos pueden clasificarse como congénitos, mientras que los degenerativos, traumáticos y patológicos son adquiridos.

Clasificación anatomopatológica

En la década de los 90, Marchetti y Bartolozzi (1997) publicaron una clasificación diferenciando entre espondilolistesis del desarrollo o adquiridas. Su principal aporte fue identificar las espondilolistesis de alto grado con ciertas características puntuales, como la insuficiencia del platillo vertebral de S1, el índice trapezoidal de L5, la verticalidad del sacro y la cifosis lumbosacra (Marchetti 1997). Además, se ha observado (Lonstein 1999) que existen otros factores clínicos que influyen sobre la progresión, como el sexo femenino o la inmadurez esquelética.

Las debidas a defecto en el desarrollo, denominadas por los autores "displásicas" se subdividen en 1) con lisis, y 2) con elongación de la *pars articularis*.

Las adquiridas se subdividen en: 1) traumáticas, que pueden ser debidas a fracturas agudas, o a fracturas de estrés; 2) postquirúrgicas; 3) patológicas, que pueden ser por enfermedad local o sistémica; y 4) degenerativas.

Clasificación biomecánica y estratégica

Recientemente, un grupo de estudio norteamericano (*Spinal Deformity Study Group*), comandados por Labelle (2011), describió una clasificación basada en el grado de desplazamiento, la incidencia pélvica y la alineación espinopélvica. El principal objetivo de esta clasificación era resaltar la importancia del balance sagital y coronal del esqueleto axial en el momento de definir la estrategia quirúrgica. Diferencian seis tipos (Tabla 1). Los parámetros radiográficos para definir el balance espinopélvico son descritos en el apartado de evaluación diagnóstica radiológica. Se ha comprobado una alta fiabilidad intra e interobservador en la medición angular asistida por ordenador de la morfología del sacro en las personas con espondilolistesis y displasia lumbosacra (Wang 2010).

Tabla 1. Clasificación de Labelle y el SDSG de la espondilolistesis.

Espondilolistesis L5-S1	Bajo grado	Tipo 1: incidencia pélvica <45°	
		Tipo 2: incidencia pélvica 45°-60°	
		Tipo 3: incidencia pélvica >60°	
	Alto grado	Tipo 4: pelvis balanceada	
		Pelvis retroversa	Tipo 5: raquis balanceado
			Tipo 6: raquis desbalanceado

2.2.5. CLÍNICA

En la mayoría de los niños (75%) con dolor de espalda la causa es idiopática y banal. Dentro de la infrecuencia, cuando existe causa lo más común es la espondilolisis. El niño describe típicamente una historia de dolor relacionado con la actividad, y el 40% recuerda un traumatismo previo que aunque no etiológico si puede ser el desencadenante de la sintomatología. La contractura de los isquiotibiales es común, aunque el mecanismo de esto es desconocido, presentando un trastorno de la marcha. En el niño y adolescente, la ciatalgia y la lumbociatalgia son infrecuentes. Cuando un niño tiene listesis de alto grado, se debe realizar un examen rectal, pues la pérdida de reflejo sugiere compromiso de

las raíces sacras (Mauruce 1989). El niño puede presentar hiperlordosis lumbar, que podría ser la causa de la espondilolisis (Fig. 20).



Fig. 20. Actitud en hiperlordosis

En caso de dolor severo o un alto grado de espondilolistesis, puede encontrarse aplanamiento lumbar. Un alto grado de espondilolisis en un niño se caracteriza por una articulación lumbosacra palpable, cifosis lumbosacra con un sacro en retroversión que da lugar a unas nalgas en forma de corazón. La escoliosis puede estar asociada con espondilólisis (Seitsalo et al 1988). En niños, es relativamente frecuente encontrar espina bífida

de L5 asociada.

En el estudio clínico y radiográfico especialmente en pacientes jóvenes, se ha determinado una serie de factores de riesgo que determinarían el aumento de la listesis. Estos factores son:

- Edad: menores de 15 años.
- Sexo: femenino
- Asociación con espina bífida.
- Deformidad trapezoidal de L5.
- Deformidad importante del borde superior de S1 o contorno sacro.
- Etiología displásica.

En los adultos el dolor es el síntoma principal, por lo general con irradiación a los miembros inferiores. Es importante correlacionar los hallazgos de las pruebas de imagen, ya que los adultos pueden tener otras causas que estén provocando el dolor. Los síntomas y signos más importantes en la espondilolistesis son:

- Dolor. Es el más importante y casi siempre presente en los pacientes que consultan.
- Alteraciones sensitivas y motoras de irradiación ciática.
- Alteraciones del reflejo aquiliano.
- Claudicación intermitente de origen neurológico.
- Marcha *sui generis*.

- Contractura de músculos isquiotibiales.
- Cifosis sacra.
- Prolongación de la lordosis lumbar hacia la región torácica.

El dolor es el síntoma más frecuente y relevante como motivo de consulta, no obstante ésto, el 50% de las espondilolistesis del adulto cursan en forma asintomática, incluso habiendo un deslizamiento hasta la ptosis. Por ello, cuando existe este tipo de dolor, es obligatorio tomar una radiografía lumbosacra anteroposterior y lateral de pie, que descarte o confirme la presencia de espondilolistesis.

En el adulto, la lumbalgia es un síntoma muy frecuente, que se produce seguramente por inestabilidad de la columna. Esta inestabilidad irrita elementos sensibles o sobrecarga otros, como las articulaciones interapofisiarias, provocando el tan frecuente dolor lumbar.

La ciatalgia se produce por compresión y tracción de las raíces L5 a nivel foraminal y sacra en el borde posterior de S1, especialmente en las espondilolistesis de tipo displásico, en que el arco de la vértebra desliza hacia adelante junto con el cuerpo vertebral. En estos casos, con un 25% de deslizamiento, se puede producir compresión radicular. La ciatalgia en la espondilolistesis de tipo ístmica (lisis) se explica por la compresión que sufre la raíz por la reacción fibrosa, en la zona de la lisis de la pars articularis.

La lumbociatalgia se produce por un mecanismo combinado de inestabilidad de columna y compresión o inflamación radicular. En relación a las alteraciones sensitivas y motoras, se observa mucho más en el adulto que en el niño y adolescente. Principalmente se observa hipoestesia en territorio L5 y S1 uni o bilateral. Las alteraciones motoras aisladas son menos frecuentes, pero también se observan correspondiendo a las raíces L5 y S1.

La alteración del reflejo aquiliano es frecuente de observar, pudiendo estar disminuido o ausente. Puede estar comprometido uni o bilateralmente.

La claudicación intermitente se observa más frecuentemente en las espondilolistesis de tipo degenerativo, pero también en las ístmicas o displásicas, cuando éstas se asocian a hernia del núcleo pulposo.

La marcha *sui generis* se debe a la contractura de los músculos isquiotibiales, que hace que el paciente camine con las caderas y las rodillas

flexionadas y con el tronco hacia adelante. Se observa que la lordosis lumbar se prolonga hacia la región torácica a medida que aumenta la listesis. Se puede, incluso, palpar un escalón a nivel L5 en las espondilolistesis de tipo ístmica.

2.2.6. MÉTODOS DE DIAGNÓSTICO

Además de la exploración física, la radiología simple es el método convencional más utilizado, pues aporta suficiente información diagnóstica. No obstante, también se ha utilizado otras modernas técnicas de imagen pero su utilidad está indicada sólo en casos específicos.

Radiología simple

El estudio radiográfico convencional (Fig. 21) de espondilolistesis consta de unas proyecciones estándar anteroposterior (AP) y laterales en bipedestación de la región lumbosacra. Las radiografías en bipedestación son necesarias debido a que en algunos pacientes el deslizamiento se reduce espontáneamente en el decúbito supino. La proyección lateral evidencia el deslizamiento. La deformidad sagital puede ser sospechada por la presencia de “el sombrero de Napoleón invertido” a nivel de L5 y el sacro. El signo es visible cuando en una visión axial vemos superpuesto el cuerpo vertebral L5 sobre sacro. La proyección AP puede demostrar oblicuidad pélvica y desequilibrio coronal.



Fig. 21. A) Radiografías anteroposterior y lateral en espondilolistesis. B) Detalle del defecto en la pars articularis

Otras proyecciones útiles son las oblicuas que pueden mostrar el llamado "perro Scotty con collar" (Fig. 22). La proyección de Ferguson se obtiene con el paciente en posición supina y el haz de rayos X en ángulo de 30° a 35° hacia cefálico paralelo así a L5-S1. Esta proyección puede ayudar a la planificación

preoperatoria porque permite la evaluación de los procesos transversales de L5, elementos posteriores de L5 y S1, y la degeneración del disco L5-S1.

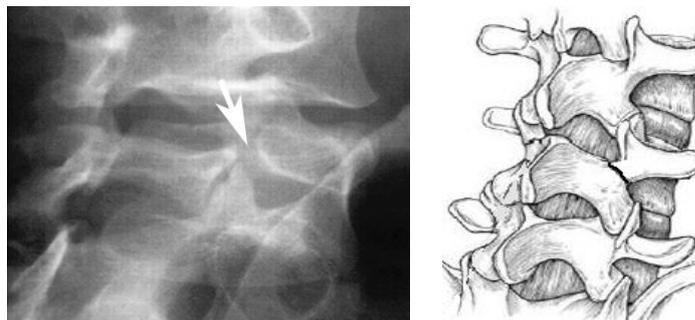


Fig. 22. Proyección oblicua. Imagen del "collar de perro"

Tomografía axial computerizada

La tomografía (TAC) tiene utilidad para valorar el estado de las porciones óseas (Fig. 23). Permite evidenciar las deformidades y lesiones aparentemente ocultas en la radiografía simple. Además, permite descartar otras lesiones que causen dolor y es útil para la planificación quirúrgica en casos de vértebras displásicas o asociada a otras anomalías.

Una variante es la TAC con emisión de positrones (Gregory 2004). Cuando la porción interarticular parece normal en la TAC, pero hay aumento de actividad positrónica hay que sospecharla. Cuando en la TAC se evidencia un defecto en la porción interarticular, pero no hay aumento de la actividad positrónica, hará sospechar que el paciente probablemente tenga una falta fusión congénita.

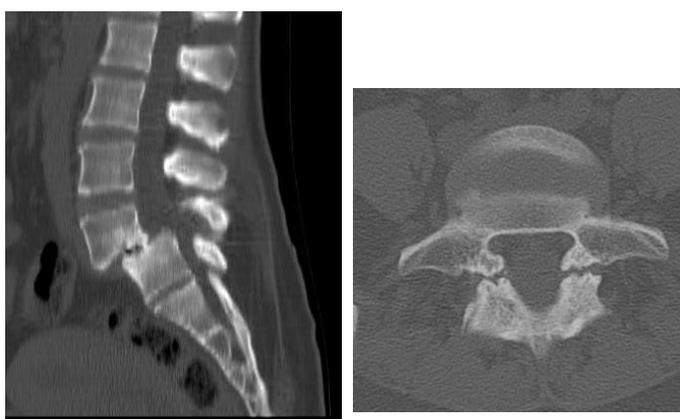


Fig. 23. A) TAC lateral: espondilolistesis. B) Corte axial mostrando defecto bilateral de la pars interarticularis



Fig. 24. RNM mostrando espondilolistesis y compromiso medular

Resonancia nuclear magnética

La resonancia (RNM) es útil para evaluar la pre-lisis, cuando el TAC es normal (Fig. 24). Pero su utilidad principal es evidenciar el estado de las partes blandas, como son los ligamentos vertebrales y las raíces nerviosas (Birch 1986).

Análisis radiométrico

Existen numerosos sistemas y parámetros de medición radiográfica que cuantifican el grado de desplazamiento y la morfología vértebro-pelviana. El método de Meyerding (1932) es el que se utiliza comúnmente para describir el grado de deslizamiento de las espondilolistesis, como hemos comentado anteriormente en el apartado de clasificaciones (Fig. 25).

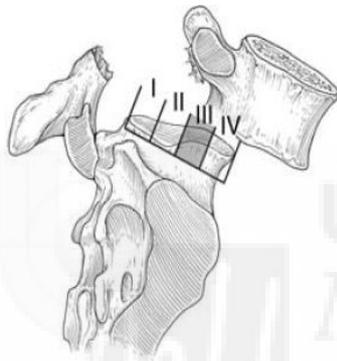


Fig. 25. Graduación de severidad del desplazamiento, según el método de Meyerding

Como se describirán más pormenorizadamente en el capítulo de "Material y Métodos", por convención se utilizan una serie de parámetros radiométricos para definir la morfología y estabilidad de la pelvis. Los principales son (Fig. 26):

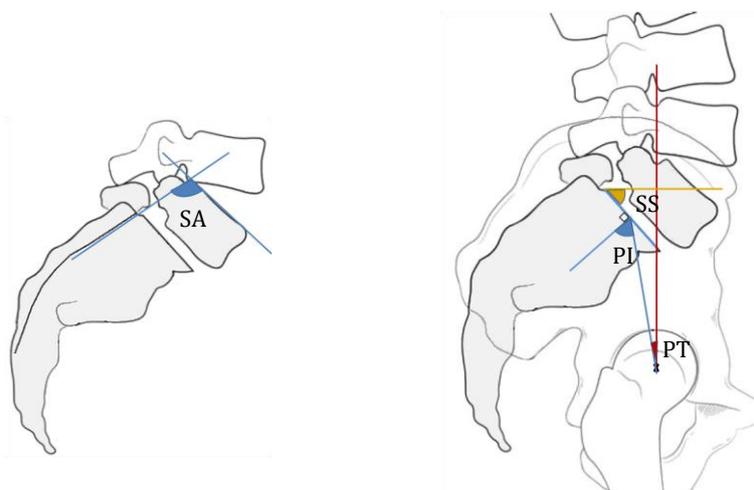


Fig. 26. 1) Desplazamiento lumbosacro (SA). 2) Parámetros espinopélvicos radiológicos. PT, inclinación pélvica. SS, inclinación sacra. PI, incidencia pélvica.

El ángulo de desplazamiento lumbosacro (*slip angle*, SA), que describe la alineación de L5 respecto a S1 en el plano sagital (Dubousset 1997; Li 2012).

Se ha comprobado que la morfología de la pelvis influye sustancialmente en la alineación de la columna con ésta (Vialle 2005). Así, nuevos términos radiográficos (Li 2012). Se han introducido en el estudio de la espondilolistesis sobre una radiografía lateral para describir el llamado balance sagital espinopélvico (Tabla 2).

Tabla 2. Parámetros radiométricos en la espondilolistesis

Parámetros	Descripción
Incidencia pélvica (<i>pelvic incidence</i> , PI)	Describe morfología de la pelvis. No está afectada por la orientación de la pelvis y es constante después de la finalización del crecimiento del esqueleto. Su valor normal es de 51º. PI = SS + PT
Inclinación sacra (<i>sacral slope</i> , SS)	Describe orientación de la pelvis respecto al plano horizontal, con valor norma de 40º.
Inclinación pélvica (<i>pelvic tilt</i> , PT)	Describe orientación de la pelvis respecto al plano vertical, con valor norma de 11º.
Lordosis lumbar	Método de Cobb, de valor variable

La incidencia pélvica (PI) no está afectada por la orientación de la pelvis y es constante después de la finalización del crecimiento del esqueleto. Variaría por trauma pélvico, cirugía, o remodelación esquelética. Por el contrario, la inclinación sacra (SS) y la inclinación pélvica (PT) son parámetros variables, ya que se miden con respecto a los planos horizontal y vertical, respectivamente. Estos parámetros son dependientes de la posición y varían con la flexión y extensión de la pelvis respecto de la articulación de la cadera. Los términos de la pelvis en anteversión y retroversión se utilizan para describir el movimiento de la pelvis sobre la articulación de la cadera en el plano sagital. Anteversión pélvica se refiere a PT anterior, y la retroversión pélvica se refiere a PT posterior. En anteversión SS es alto y PT es bajo, mientras que la retroversión pélvica ocurriría al contrario (Labelle H et al 1976). Estos tres parámetros geométricos están relacionados entre sí, mediante la fórmula $PI = SS + PT$. En consecuencia, un cambio en PT alteraría

SS, lo que influirá en el balance sagital. A diferencia de PI, el radio de la pelvis carece de la correlación geométrica con SS y PT.

La morfología sacropélvica se determina con la incidencia pélvica (PI) (Fig. 27). Espondilolistesis de bajo grado con una PI inferior a 60° tienen un bajo riesgo de progresión, sin embargo por encima de 60° o igual (morfología anormal de la pelvis) el riesgo de progresión es alto y es conveniente su seguimiento. Los pacientes con alto grado suelen tener una $PI \geq 60^\circ$, en cuyo caso se evalúa la orientación de la pelvis a través de la inclinación sacra (SS) y de la inclinación pelviana (PT). Una pelvis balanceada tendrá un SS elevado y un PT disminuido y una pelvis desbalanceada un SS disminuido y un PT elevado. En las espondilolistesis de alto grado, cuanto mayor es PT menor es SS, y viceversa.

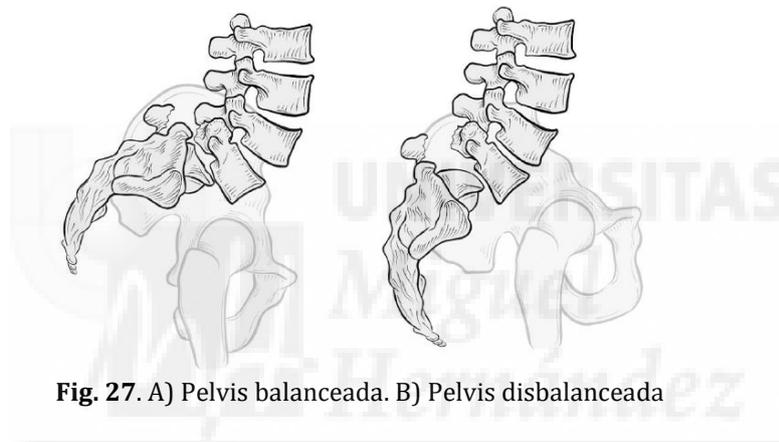


Fig. 27. A) Pelvis balanceada. B) Pelvis desbalanceada

Finalmente, se mide el equilibrio espinopélvico. En el paciente con una pelvis equilibrada, la columna vertebral es casi siempre equilibrada. En el paciente con una pelvis desequilibrada el equilibrio espinopélvico se evalúa en una radiografía lateral de pie de la columna vertebral mediante la plomada desde la apófisis espinosa de C7. Si la plomada queda entre la cabeza femoral y el sacro se trataría de una columna balanceada o equilibrio espinopélvico.

La lordosis lumbar está influenciada por la anatomía de la pelvis y su posición se mide con el método tradicional de Cobb. Varios autores (Vaz 2002; Vialle 2005) encontraron correlaciones entre PI, SS, PT, y la lordosis lumbar. Cuando SS aumenta, la lordosis lumbar aumenta. Pero cuando la lordosis lumbar aumenta en los pacientes con espondilolistesis de alto grado se produce una retroversión de la pelvis para equilibrar el tronco en la posición vertical y esto provocaría que SS no aumentara sino que descendiera y PT aumentara.

2.2.7. MÉTODOS DE TRATAMIENTO

Indicaciones terapéuticas

En los niños y adolescentes, el dolor y la magnitud de la listesis son fundamentales para decidir la conducta a seguir. Aquellos asintomáticos y con deslizamiento menor de 25% (grado I), suelen poder realizar una vida normal sin tratamiento, bajo control radiográfico periódico hasta el final del crecimiento. En pacientes sintomáticos con grado I se indica quinesiterapia, eliminando ejercicios violentos y deportes de contacto físico (rugby, fútbol, karate, etc.) y con control radiográfico periódico hasta el final del crecimiento.

En los asintomáticos con grado II (25% a 50% de deslizamiento), se indica eliminar ejercicios violentos, e incluso la gimnasia escolar. Control radiográfico periódico. En los sintomáticos con grado II, se indica tratamiento quinesiterápico, suspensión cuasi definitiva de educación física. Control radiográfico periódico.

En los deslizamientos de alto grado (mayor del 50%) sintomáticos suele estar indicado el tratamiento quirúrgico para estabilizar la vértebra afectada y evitar la progresión del deslizamiento.

En los adultos, el síntoma eje es el dolor y es el motivo de consulta más frecuente. La falta de alivio del dolor es el motivo más frecuente para pasar del tratamiento médico al tratamiento quirúrgico. Cualquiera sea la causa de la espondilolistesis el tratamiento inicial y de elección es conservador. No obstante, la presencia de ciatalgia recalcitrante suele ser una indicación de tratamiento quirúrgico.

En paciente asintomático, la indicación suele ser mantener una postura adecuada en su vida cotidiana y laboral, para evitar la hiperlordosis lumbar. Evitar el sobrepeso. Realización de ejercicios diarios de musculatura abdominal.

En el paciente sintomático se recomienda reposo ocasional de acuerdo a magnitud del dolor, tratamientos medicamentosos con analgésicos, antiinflamatorios y relajantes musculares. Quinesiterapia con ejercicios de rehabilitación postural y muscular. Fisioterapia con calor superficial y profundo. Control radiográfico y clínico de acuerdo a evolución del dolor. Si el dolor cede, se debe mantener la postura y peso adecuado.

En caso de ciatalgia o lumbociatalgia, la pauta de tratamiento es básicamente la misma que en el dolor lumbar puro, aunque puede agregarse un medio de inmovilización, faja o corsé. Cuando el dolor no cede, puede estar indicado el tratamiento quirúrgico y, en este caso, suele hacerse una distinción respecto a la edad, menor o mayor de 40 años. El tratamiento quirúrgico prevalece en los pacientes menores de 40 años.

Tratamiento conservador

Hay cierto consenso actual en que los desplazamientos de bajo grado (I-II) pueden ser tratados satisfactoriamente por métodos conservadores. Muchos pacientes permanecen asintomáticos durante toda su vida y nunca presentan síntomas clínicos, y de presentarse algún síntoma este está relacionado con dolor lumbar y menos común con radiculopatía (Kalichman 2009).

Aunque el tratamiento inicial del dolor de espalda es no quirúrgico, no hay estudios que describan que protocolo es óptimo. El manejo inicial no quirúrgico consiste en corticoides no esteroideo, anti-inflamatorios, modificación de la actividad y terapia física (ejercicios de flexión, fortalecimiento de musculatura y acondicionamiento aeróbico). El uso de bicicleta estática se promueve porque esta posición flexionada abre teóricamente el foramen neural y descomprime el saco tecal, aliviando así los síntomas de claudicación neurógena. Masajes, calor, ultrasonidos, y la manipulación del raquis son a menudo usados en la terapia física. Ahora bien, su eficacia no ha sido verificada por estudios prospectivos a largo plazo.

Los corticosteroides epidurales están ampliamente siendo utilizados para el tratamiento de la estenosis medular con y sin espondilolistesis. Los beneficios teóricos incluyen disminución del dolor de espalda y radicular. No hay estudios sobre los efectos a largo plazo (más de tres años) de estos corticoides en pacientes con espondilolistesis. Anderson (2004) obtuvo buenos resultados con el uso de un aparato de descompresión interespinosa no quirúrgica en pacientes con espondilolistesis lumbar degenerativa. Sólo 12,9% de los tratados sin cirugía tuvo buenos resultados a los 2 años. La mayoría de los pacientes con síntomas de estenosis lumbar y espondilolistesis responden al tratamiento no quirúrgico y no requieren de cirugía.

Tratamiento quirúrgico

Mientras que para las espondilolistesis de bajo grado el tratamiento ortopédico suele ser la recomendación inicial, la mayoría de los autores coinciden en indicar el tratamiento quirúrgico en las de alto grado (III-V). El tratamiento quirúrgico básicamente consiste en la fijación de la vértebra desplazada para evitar que progrese el deslizamiento. Las técnicas han evolucionado desde la artrodesis posterior con injerto de Hibbs en 1911, la posterolateral de Watkins en 1953, y la fijación interna pedicular descrita por Roy Camile en 1970. Con los estudios de Denis (1984), y su teoría de estabilización vertebral en tres columnas, se consiguió involucrar un menor número de vertebras, preservando la movilidad articular en mayor grado.

Dado los fallos y complicaciones de las técnicas precedentes, se han descrito numerosas variantes y distintas técnicas de artrodesis, que pueden resumirse en (Wang 2005): 1) descompresión aislada; 2) fusión posterolateral (PLF) con o sin laminectomía, y esta última uni o bilateral; 3) PLF con instrumentación, ya sea pedicular o transdiscal; 4) artrodesis intercorporal por vía posterior circunferencial (en 360°), como PLIF (*Posterior lumbar interbody fusion*), TLIF (*Transforaminal lumbar interbody fusion*) y XLIF (*Lateral lumbar interbody fusion*); y la artrodesis por vía anterior, al como el ALIF (*Anterior lumbar interbody fusion*).

Además de la técnica, los mayores puntos de controversia actuales giran en torno a los gestos asociados de descompresión o no de las raíces nerviosas, y de la necesidad o no de reducción del desplazamiento.

Descompresión

La descompresión posterior del saco dural y las raíces nerviosas al nivel del defecto fue descrita inicialmente por Gill en 1955, realizada mediante laminectomía parcial.

La descompresión como único gesto quirúrgico es hoy en día poco utilizado, limitándose a los pacientes mayores con osteofitos anteriores que presentan principalmente síntomas radiculares. La descompresión sin fijación se ha asociado con pobres resultados, obteniéndose una tasa de progresión de deslizamiento de hasta el 27%, además de acelerar la degeneración del disco (Amuso 1970). Las contraindicaciones para la descompresión sólo incluyen dolor lumbar

predominante y espondilolistesis de alto grado inestables (con desplazamientos móviles) (Jones 2009).

Reducción del desplazamiento:

El tratamiento clásico y electivo para las espondilolistesis de alto grado ha sido, durante mucho tiempo, la artrodesis in situ. Sin embargo, presenta diversas desventajas y complicaciones. La pseudoartrosis es una de las principales complicaciones, con una incidencia cercana al 40% en algunas publicaciones (DeWald CJ et al 2005). También se ha observado una progresión secundaria en el 26%, incluso en pacientes con fusión radiográfica aparentemente sólida (Boxall 1979). Para contrarrestar el alto índice de fallos relacionadas con la consolidación de la artrodesis se suelen involucrar en la fijación segmentos más cefálicos de la columna lumbar, pero esto conlleva una pérdida de segmentos móviles. Es conveniente intentar la reducción del ángulo de inclinación en el momento de la fusión, ya que cuanto mayor sea el ángulo mayor será la tendencia a la progresión secundaria. Asimismo, cuanto mayor sea el ángulo de inclinación, mayor será la posibilidad de que aparezcan trastornos de la marcha. La mayor cifosis lumbosacra se comportará en el adulto como el síndrome de espalda plana, con todas sus consecuencias clínicas.

Las técnicas de reducción han sido muy difundidas en las espondilolistesis de alto grado. Las maniobras de reducción suelen justificarse en la medida que la deformidad presente una severa inestabilidad segmentaria, una pelvis retrovertida o un desbalance sagital importante (Labelle 2011). Las comparaciones directas con las técnicas de fusión in situ han demostrado que se mejora la tasa de fusión y los parámetros radiográficos de la alineación. Aunque no hay diferencias en los resultados clínicos (Molinari 1999). Sus principales ventajas son la mayor superficie de contacto para la artrodesis, la adecuada distribución de cargas sobre los segmentos cefálicos, la corrección de la cifosis lumbosacra y el balance sagital global. La mayor controversia respecto de la reducción gira en torno a las complicaciones neurológicas, que van desde las radiculopatías, principalmente de L5, hasta el síndrome de cola de caballo irreversible. En un intento por reducir la incidencia de las lesiones neurológicas se utilizaron diferentes sistemas de control intraoperatorios, como la disección y liberación amplia de la raíz L5 previa a toda

maniobra quirúrgica, hasta el monitoreo electrofisiológico con potenciales evocados metaméricos somatosensitivos o motores y el EMG intraoperatorio. Sin embargo, también se han descrito lesiones neurológicas secundarias a fenómenos vasculares que pasan inadvertidas incluso con este tipo de técnicas durante la cirugía (Ogilvie 2005). La raíz L5 es la más frecuentemente lesionada (Petraco 1996). Otras lesiones que se pueden producir son parálisis permanente, alteraciones en intestino, disfunción de la vejiga, y disfunción sexual. Pero éstas son muy poco frecuentes (Spruit 2005).

Técnica con uso de injerto intersomático:

El uso de técnicas de injerto intersomática o intercoporal para proporcionar estabilidad a la columna vertebral es otra opción posible en el tratamiento de espondilolistesis. Estos injertos intercoporales se pueden colocar ya sea desde un abordaje anterior separado o por vía posterior o transforaminal. La vía anterior requiere una incisión distinta e identificar el espacio discal a través de este abordaje retroperitoneal de minilaparotomía. Se reseca el disco y se preparan los platillos vertebrales para la fusión. La estabilidad se consigue mediante la utilización de injerto autólogo de cresta ilíaca, expansores de aloinjerto o cilindros sintéticos. El uso de técnicas anteriores sin algún tipo de estabilización posterior no se debe considerar en casos de inestabilidad porque puede conducir a una mayor inestabilidad con una importante tasa de pseudoartrosis. En estos casos, se debe realizar instrumentación pedicular, Sobre todo si se trata de una espondilolistesis ístmica. Es posible realizar una fijación translaminar o pedicular en las degenerativas.

Fusión posterolateral:

La fusión posterolateral (PLF) unilateral entre la apófisis transversas fue descrito inicialmente por Watkins en 1953 y luego modificada para incluir la fusión bilateral, la moderna PLF (Fig. 28). Un metaanálisis no encontraba diferencias estadísticamente significativas en los resultados clínicos o incidencia de la fusión en los pacientes que se sometieron a PLF ya sea con o sin descompresión (Jacobs 2006). Sin embargo, otro metaanálisis observó un claro beneficio en las tasas de fusión (90% versus 77%) y el éxito clínico (85% versus

64%) con la inclusión de instrumentation (Kwon 2005). Sin embargo, las complicaciones neurológicas son más comunes con la instrumentación de tornillos pediculares, atribuibles en gran parte a la mala colocación del tornillo.



Fig. 28. Fusión posterolateral instrumentalizada

Fusión circunferencial intersomática:

Algunos cirujanos combinan descompresión posterior de los elementos neurales y fusión posterior instrumentada con una fusión intersomática posterior (PLIF, *posterior lumbar interbody fusion*), o transforaminal (TLIF, *transforaminal lumbar interbody fusion*), o bien asociando otra vía anterior (ALIF, *anterior lumbar interbody fusion*) (Fig. 29).

PLIF se realiza tras laminectomía descompresiva a nivel de la espondilolistesis. El acceso al espacio del disco se obtiene a través de la ventana interlaminar por la retracción del saco dural y el nervio que atraviesa la raíz. Los resultados clínicos a corto plazo son en gran parte equivalentes a los de PLF, aunque la corrección de la alineación sagital y el mantenimiento de la reducción es mejor con PLIF (Ekman 2007). Otro estudio encontraba que, a pesar de mejores resultados radiográficos, los resultados funcionales eran peores con PLIF que con PLF (Madan 2002).

TLIF incluye laminectomía y facetectomía unilateral, tras lo cual se aborda el espacio discal a través de la zona foraminal. El portal lateralizado permite la manipulación del saco dural y las raíces nerviosas, de manera similar a la técnica PLIF. Se han obtenido resultados satisfactorios (Lauber 2006), pero las complicaciones, similares a la técnica PLIF, incluyen lesión de raíz nerviosa

durante la exposición del disco con radiculopatía postoperatoria, lesión de la duramadre, migración del implante intersomático, y hemorragia epidural.

ALIF consiste en la extirpación completa del disco bajo visualización directa a través de un abordaje abdominal, seguido por inserción de un injerto óseo estructural o de una caja intersomática sintética. Los resultados de fusión y clínicos han sido comparables a los de PLF, pero con mayor agresividad, tiempo de intervención y complicaciones potenciales (Jacobs 2006).

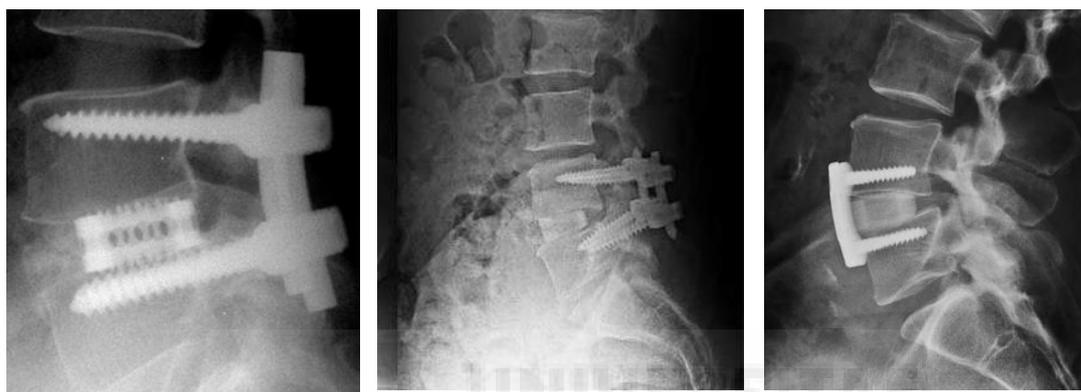


Fig. 29. Fusiones circunferenciales. A) Intersomática posterolateral. B) Posterolateral con cajetín anterior. C) Intersomática anterior

2.2.8. TÉCNICAS QUIRÚRGICAS DE ESTUDIO

Vía posterior estándar

El paciente se sitúa en decúbito prono sobre soportes almohadillados evitando la compresión abdominal y torácica para facilitar el retorno venoso. Se realiza una incisión longitudinal lumbosacra en la línea media de la espalda sobre las apófisis espinosas, a nivel donde se desea realizar la artrodesis. A continuación se expone el segmento afecto mediante disección subperióstica bilateral de la musculatura paravertebral (Fig. 30). La disección se extiende lateralmente hasta los extremos de las apófisis transversas y la membrana interlaminar. A nivel lumbosacro, las alas del sacro se descubren reflejando los músculos paraespinales con un separador. Se decortican las apófisis transversas como parte de la zona de fusión.

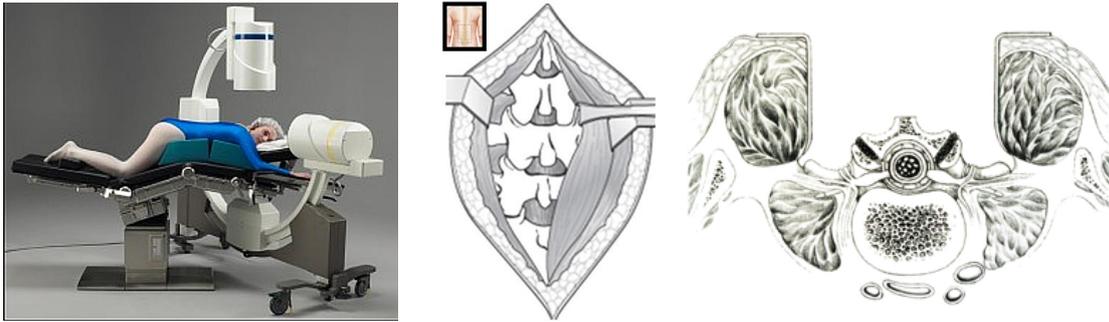


Fig. 30. Acceso posterior. A) Posición en decúbito prono. B) Separación de la musculatura. C) Detalles del acceso profundo tras separación muscular

La descompresión de raíces nerviosas (Fig. 31) se realiza con gubia o laminotomo practicando laminectomía parcial en ambos lados y de restos de la *pars interarticularis* y de las facetas articulares. En los casos en que la lámina y la articulación interapofosaria se dejan parcialmente intactos y se utiliza la técnica intercoporal lumbar posterior, se debe tener mucho cuidado en reducir la tensión neural al colocar el injerto, porque podría producir deficiencias de la función motora y sensitiva o dolor crónico por dejar la raíz tensionada.

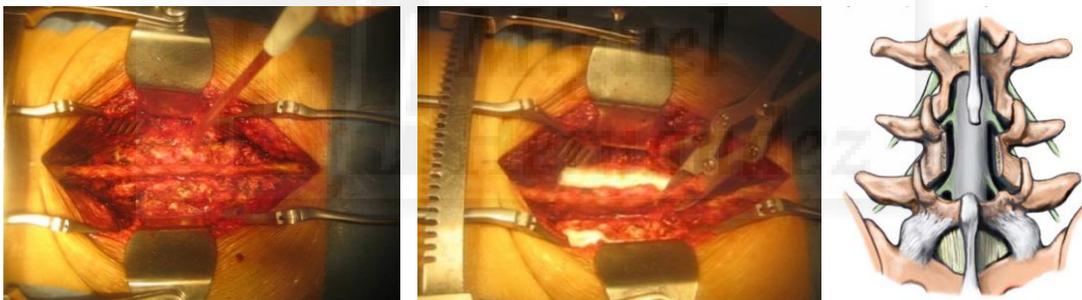


Fig. 31. Acceso posterior. A) Disección profunda mostrando las apófisis espinosas. B) Descompresión mediante resección de los arcos posteriores. C) esquema del resultado tras laminectomía

Se procede a extirpar el disco y el platillo vertebral cartilaginoso (Fig. 32). Debe controlarse el complejo venoso epidural con el bisturí eléctrico, para reducir así la pérdida de sangre y conseguir mejorar la visualización y una adecuada protección de las estructuras neurales.

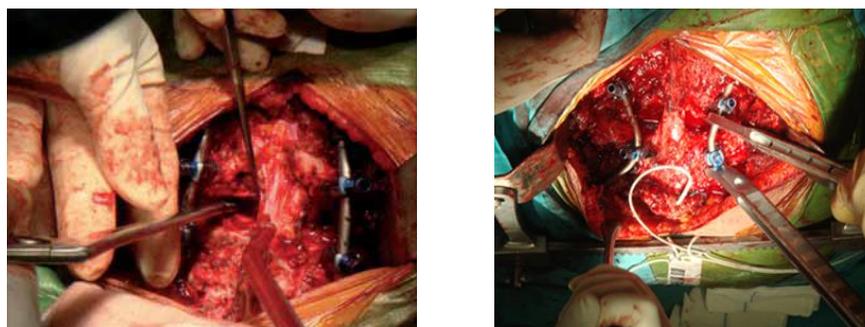


Fig. 32. Acceso posterior. A) Limpieza del espacio discal. B) Detalle de la colocación de electrodos para monitorización nerviosa

Fijación posterolateral pedicular

Se procede a la colocación de tornillos pediculares en la dirección adecuada, bajo control de escopia y con monitorización nerviosa (Fig. 33). Tras ello, se decortican las apófisis espinosas (Fig. 34) y, en su caso, de las láminas, para colocar si se desea injerto óseo autólogo en el lecho (procedente de la decorticación de las apófisis transversas y la carilla lateral de la articulación interapofisaria). La instrumentación finaliza solidarizando los tornillos mediante barras.

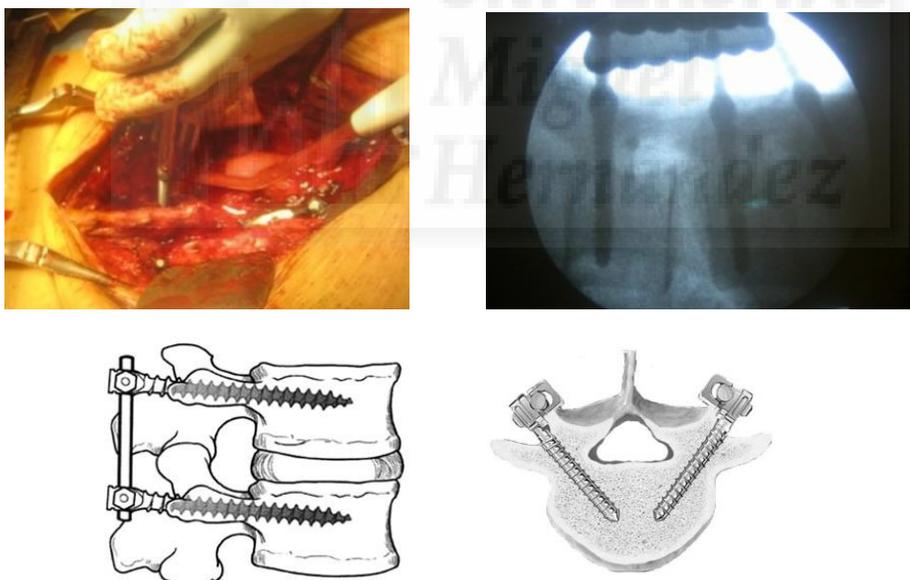


Fig. 33. Instrumentación con tornillos pediculares. A) Colocación de un tornillo. B) Control con escopia. C) Esquema en el plano lateral. D) Esquema en el plano axial.

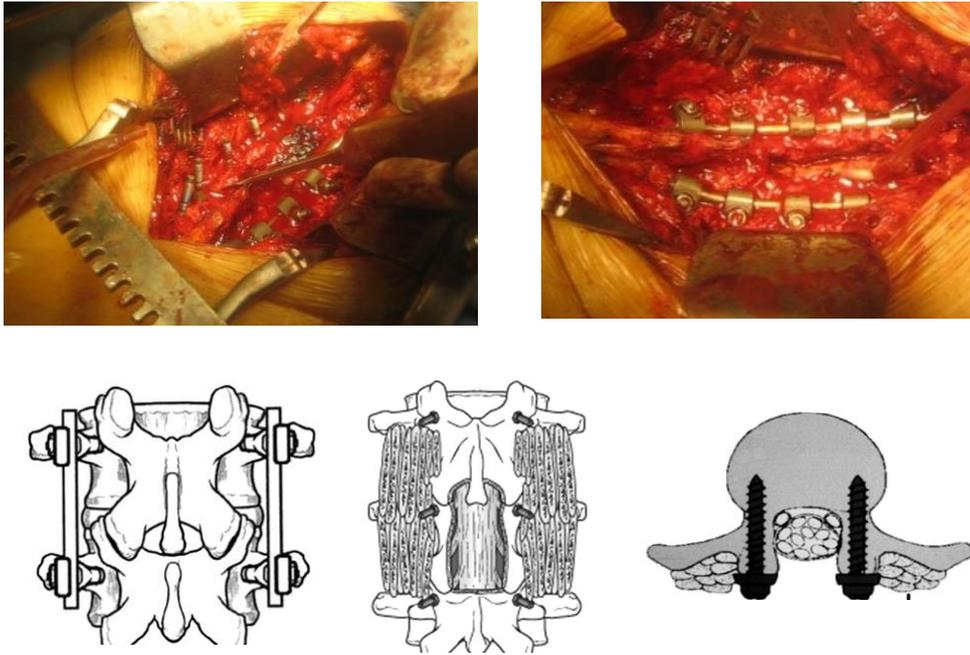


Fig. 34. Fusión posterolateral. A) Decorticación. B) Colocación de las barras. C) Esquema de las barras uniendo los tornillos pediculares. D) Esquema de aporte de injerto en visión posterior. D) Colocación de injerto en visión axial tras descompresión

Se recoloca la masa muscular paravertebral por encima del injerto óseo y éste sirve como un buen aporte vascular para el injerto, además de mantenerlo en su posición contra la superficie lateral de la columna. También se pueden colocar sustitutos óseos. Para finalizar se procede al cierre de las partes blandas de manera estándar (Fig. 35).



Fig. 35. Resultado radiológico de una fusión posterolateral instrumentada

Fusión posterolateral transdiscal

La técnica es similar a la descrita para la fusión posterolateral, excepto en la inserción y colocación de los tornillos (Fig. 36). Los tornillos en las vértebras lumbares proximales se colocan de manera pedicular, pero los tornillos sacros se colocan transdiscales (Abdu 1996; Francois 2005). Mediante escopia, a nivel de los pedículos de S1 se perfora el lecho de los tornillos mediante una aguja de prueba, en dirección tal que sean paralelos en el plano lateral a la orientación de los tornillos colocados en la vértebra proximal. La prueba se dirige en dirección proximal, atravesando el platillo superior de S1, cruzando el espacio discal, y penetrando en el cuerpo de L5. Ambos tornillos transdiscales deben convergen entre sí unos 30° hacia la línea media en el plano transversal. Tras comprobar la correcta colocación, se retiran las pruebas y se colocan los tornillos definitivos de longitud adecuada y 6,2 cm de diámetro. Se ultima solidarizando los tornillos de cada lado mediante barras (Fig. 37).



Fig. 36. Instrumentación posterior. A) Fijación pedicular. B) Fijación transdiscal L5-S1. C) esquema de la posición de los tornillos transdiscales

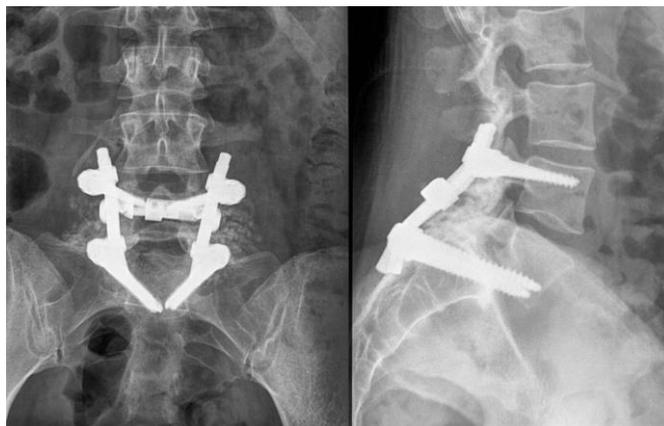


Fig. 37. Resultado radiológico, tras fusión posterolateral con tornillos transdiscales, según técnica de Abdu

Postoperatorio estándar

Se realiza profilaxis estándar antibiótica y antitrombótica. Tras la cirugía los pacientes se movilizan usando una ortesis o corsé bien ajustados. Se deberían iniciar ejercicios para mejorar la capacidad aeróbica funcional y reforzar los músculos abdominales y paravertebrales en cuanto el paciente lo tolere.



III. JUSTIFICACIÓN, HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

3.1. JUSTIFICACIÓN

La espondilolistesis de alto grado es una patología que puede ser altamente invalidante para el paciente y constituye un reto para el cirujano. En los casos sintomáticos, el tratamiento quirúrgico persigue obtener una artrodesis segura y efectiva del nivel vertebral afectado, con restauración del perfil sagital y resolución de los síntomas (Boxall 1979; Dimar 1986)

Actualmente, la estabilización quirúrgica de la espondilolistesis de alto grado permanece controvertida, utilizándose numerosas variantes quirúrgicas y diferentes técnicas de estabilización instrumentada, sin que ninguna de ellas haya demostrado su superioridad sobre las otras. La fusión posterolateral convencional con tornillos pediculares incrementó su popularidad en los pasados años, siendo la técnica más habitual y considerada como patrón de referencia en el tratamiento de la espondilolistesis lumbosacra. Aunque con resultados relativamente satisfactorios (Lee 2014), éstos han sido variablemente reportados y con relevante tasa de complicaciones mecánicas tales como progresión del deslizamiento y pseudoartrosis hasta en el 50% y neurológicas debido a la necesidad de manipulación de las raíces nerviosas, siendo achacable la pseudoartrosis a la falta de fijación de la columna anterior, la que soporta la mayor parte de las sollicitaciones mecánicas (Boxall 1979; Bossl 1993).

Como alternativa, y en base a planteamientos mecánicos teóricos, se ha descrito la técnica de atornillado transdiscal (Abdu 1994; Francois 2005). Los resultados clínicos inicialmente reportados han sido favorables y con escasa tasa de complicaciones neurológicas o mecánicas. Con esta técnica, parece ser que la tasa de pseudoartrosis puede ser minimizada al emplear un método que puede asociar una reducción parcial de la cifosis lumbosacra, descompresión y

transfijación lumbosacra; y todo ello puede realizarse con acceso simple posterior y sin incrementar el riesgo de posibles secuelas neurológicas (Boachie-Adjei 2002).

Por otro lado y desde el punto de vista biomecánico, la técnica convencional requiere la colocación de 2 tornillos pediculares en cada vértebra lo cual, para un nivel simple de fijación, se traduce en 4 tornillos y dos barras (o placas) de interconexión. Dada la disposición anatómica inclinada de las vértebras, más pronunciada en la espondilolistesis, esta construcción no proporciona suficiente resistencia a la carga axial en la columna anterior y es incapaz de oponerse eficazmente a las fuerzas de cizallamiento a través del espacio discal (Boxall 1979). Además, la flexibilidad de las barras/placas y tornillos conduce a micromovimientos que aumentan la probabilidad de fallo de los implantes y puede retrasar o impedir la fusión.

La técnica de atornillado sacro transdiscal utiliza el concepto de las tres columnas descritas por Denis (1984) para proporcionar una fijación más estable. En la vértebra proximal se utiliza una estabilización convencional con tornillos pediculares, pero en la vértebra sacra se utiliza a cada lado un tornillo transdiscal: desde el pedículo de S1 se dirige oblicuamente en dirección supero-medial, atravesando la fuerte cortical del platillo de S1, atravesando el espacio discal, y penetrando en el cuerpo de L5. Esta construcción tridimensional potencialmente proporciona gran estabilidad a la columna anterior, debido a la dirección de los tornillos y a su agarre en hueso cortical.

Sin embargo, las ventajas clínicas potenciales de la fijación transdiscal no han sido todavía demostradas pues las evidencias disponibles son escasas y no de calidad. Hay numerosos estudios sobre fusión lumbar en espondilolistesis, pero sólo cinco han focalizado sobre la fijación transdiscal (Boachie-Adjei 2002; Francois 2005; Logroscino 2012), siendo sólo dos de ellos con al menos 20 pacientes (Rodriguez 2008; Zagra 2009), y todos con seguimiento de menos de dos años. Otros estudios han utilizado tornillos transdiscales pero asociados a otras técnicas quirúrgicas de fusión (Grob 1996; Smith 2001; Bartolozzi 2003; Lakshmanan 2009).

A nuestro entender, hasta el momento no se han publicado estudios clínicos comparando los resultados funcionales entre la fijación transdiscal y la instrumentación convencional posterior transpedicular.

Así, el tratamiento idóneo para la espondilolistesis lumbosacra de alto grado permanece controvertido. Por ello, ante la pregunta de ¿cuál técnica de fijación quirúrgica sería para nuestros pacientes más efectiva y segura?, nos planteamos la siguiente hipótesis en diferentes escenarios:

3.2. HIPÓTESIS

3.2.1. EN EL ESCENARIO CLÍNICO

Las evidencias clínicas respecto a la técnica transdiscal de estabilización lumbosacra parecen prometedoras en el tratamiento de la espondilolistesis de alto grado, pero esas evidencias son escasas y no de alta calidad, además de no haber sido comparada con la técnica convencional de fijación pedicular que actualmente constituye el patrón de referencia.

Así, partimos de la hipótesis nula de que la fijación atornillada transdiscal no influye en los resultados clínicos, ni aporta mayor seguridad quirúrgica o menor tasa de complicaciones que empleando la técnica convencional de atornillado pedicular, la cual consideramos como patrón de referencia.

3.2.2. EN EL ESCENARIO BIOMECÁNICO

Dada la subjetividad relativa inherente en todo estudio de resultados clínico-funcionales, pues se basa en cuestionarios y escalas de valoración funcional con componentes subjetivos (como el dolor)

Así, nos planteamos la hipótesis nula de que la técnica transdiscal no aporta al paciente una mejor respuesta funcional ante el esfuerzo, al menos en actividades cotidianas, medidas éstas con instrumentos de valoración objetivos.

3.3. OBJETIVOS DE ESTUDIO

3.3.1. OBJETIVO PRINCIPAL

El objetivo principal del estudio clínico fue comparar los resultados clínicos y radiológicos entre la técnica transdiscal y la fusión posterior convencional con tornillos pediculares en la espondilolistesis ístmica L5-S1.

3.3.2. OBJETIVOS SECUNDARIOS BIOMECÁNICO

Como objetivo secundario comparar, entre los pacientes sometidos a dichas técnicas, la capacidad o habilidad para realizar esfuerzos moderados en actividades cotidianas en la que interviene la cinemática del segmento vertebral sacrolumbar.



IV. MATERIAL Y MÉTODOS

4.1. ESTUDIO CLÍNICO

4.1.1. DISEÑO DEL ESTUDIO

Estudio retrospectivo observacional de casos y controles, con datos recogidos prospectivamente, de los pacientes consecutivos intervenidos quirúrgicamente por espondilolistesis L5-S1 en la Unidad de Raquis del Hospital La Fe (Valencia) entre enero 2007 y diciembre 2012. Para valoración de resultados se consideró necesario un seguimiento postoperatorio mínimo de 2 años.

El estudio fue aprobado por el Comité de Ética institucional (CEIC Hospital La Fe) y se requería consentimiento informado.

En el tiempo del estudio, todas las fusiones por espondilolistesis lumbosacra realizadas en la Unidad de Raquis fueron instrumentadas utilizando uno de los dos sistemas: fusión posterolateral convencional con tornillos pediculares o estabilización con atornillado transdiscal. La decisión para utilizar uno u otro sistema era multifactorial y no sistematizada. De acuerdo a sus preferencias, cada uno de los dos equipos quirúrgicos de la Unidad utilizó una de las técnicas, y sólo una.

4.1.2. SELECCIÓN DE PACIENTES

Criterios de inclusión

- (1) espondilolistesis ístmica L5-S1
- (2) de alto grado, considerada como grado III o mayor de acuerdo a Meyerding (1932)
- (3) edad de hasta 60 años
- (4) no presentar otra deformidad o patología raquídea o neurológica.

Criterios de exclusión

- (1) evidencia de estenosis espinal
- (2) intervenciones raquídeas previas.

Los pacientes fueron incluidos en uno de dos grupos de acuerdo a la técnica quirúrgica realizada (Fig. 38): fijación transdiscal (de estudio) o convencional (de control).

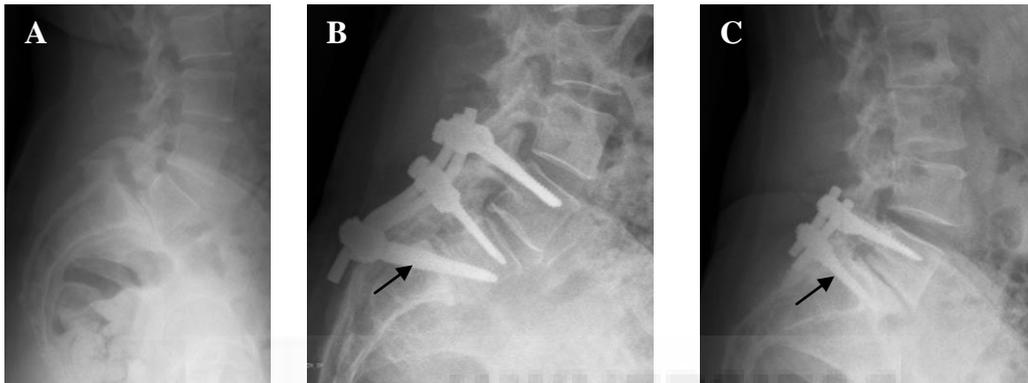


Fig. 38. A) Espondilolistesis L5-S1 grado-III. B) Tornillos transdiscales. C) Tornillos pediculares

4.1.3. PROCEDIMIENTOS QUIRÚRGICOS

En todos los pacientes se utilizó un acceso quirúrgico convencional posterior y medial. Así mismo, en todos los casos se utilizaron sistemas de atornillado estándar de titanio, aunque de diversos fabricantes (Transpine, Laffit, España; USS, Synthes, Suiza; Colorado, Medtronic, Francia). La tasa de utilización de estos sistemas fue similar en ambos grupos. En ambos grupos la reducción, siempre parcial, sólo era realizada en aquellos pacientes que tenían severo desbalance espinopélvico sagital.

En todas las cirugías, el riesgo de complicaciones neurológicas intraoperatorias fue minimizado con la utilización de técnicas de neuromonitorización multinodal de potenciales evocados sensitivos (SSEP, *somato-sensory evoked potentials*), potenciales evocados motores (TcMEP, *transcranial electrical motor evoked potentials*), y electromiografía (EMG).

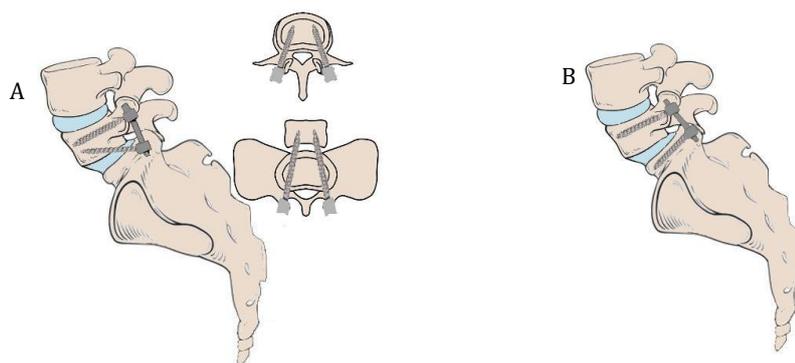


Fig. 39. Posición de los tornillos. A) Transdiscal. B) Pedicular

Grupo transdiscal

La técnica quirúrgica utilizada en el grupo transdiscal (de estudio) había sido descrita por otros autores (Abdu 1994; Francois 2005). Brevemente (Fig. 39 a), en la vértebra superior se colocaban tornillos pediculares de 6,2 mm de diámetro. A continuación, se colocaban tutores de prueba en los pedículos de S1 comprobando con fluoroscopia que su posición fuera paralela al plano sagital de aquellos tornillos colocados en la vértebra superior. Tras ello, las pruebas eran retiradas y se colocaban los tornillos definitivos de longitud apropiada en los pedículos de S1. Estos dos tornillos debían dirigirse oblicuamente hacia proximal, de manera que atravesaran el platillo superior de S1, cruzaran el espacio interdiscal S1-L5 y penetraran en el cuerpo de L5. Su posición idónea era que fueran paralelos en el plano sagital a los tornillos pediculares de la vértebra superior para proporcionar resistencia a la construcción, y que en el plano transversal convergiera uno con otro alrededor de 30°. Una barra de conexión era colocada en cada lado, para dar resistencia a la fijación.

El nivel de instrumentación fue L4-S1 en 22 pacientes (88%) y L5-S1 en 3 (12%). Se realizó fusión in situ en 23 pacientes (92%) y reducción parcial en 2 pacientes (8%). En 5 pacientes (20) se utilizó adicionalmente injerto autólogo de cresta ilíaca y/o sustituto óseo sintético (Actifuse, Baxter, EE.UU.).

Grupo convencional pedicular

En el grupo de control (convencional) se utilizó la técnica estándar de tornillos pediculares (Fig. 39 b), con iguales implantes de síntesis. El nivel de

instrumentación fue L4-S1 en 23 pacientes (71,2%) y L5-S1 en 8 (28,8%). Se realizó fusión in situ en 25 pacientes (80,6%) y reducción parcial en 6 pacientes (19,4%). Adicionalmente se utilizó injerto autólogo de cresta ilíaca y/o sustituto óseo en 6 pacientes (19,3%).

Postoperatorio

En ambos grupos se utilizaba el mismo protocolo postoperatorio estándar de profilaxis antibiótica y trombótica. En todos los pacientes la región lumbosacra fue protegida con una ortesis durante 3 meses postoperatorios.

4.1.4. SEGUIMIENTO

Aunque el presente estudio era retrospectivo, todos los pacientes habían sido prospectivamente evaluados clínica y radiológicamente en el pre y postoperatorio, de manera rutinaria y sus datos incluidos en una historia clínica informatizada. El protocolo de seguimiento consistía en valoraciones a los 3, 6, 12, y luego al menos a los 24 meses después de la cirugía.

Adicionalmente, y para este estudio, los pacientes fueron invitados a una nueva evaluación clínica y radiográfica, y ninguno rehusó. En este último seguimiento, los pacientes fueron evaluados clínicamente por dos médicos residentes especialmente entrenados al efecto, observadores independientes al no haber participado en las cirugías y desconociendo qué tipo de fusión había sido realizada.

4.1.5. VARIABLES DE ESTUDIO

Variable principal

La variable principal de resultados fue la puntuación mediante la escala *Oswestry Disability Index* (ODI) (Fairbank 2000), en su versión validada para España (Alcántara 2006). Esta escala (Anexo I) valora el grado de discapacidad relacionada con patología de la espalda con una combinación de restricciones físicas y sociales. El cuestionario contiene 10 preguntas al respecto de diferentes actividades de la vida diaria. Los resultados del cuestionario varían de 0 a 100 puntos, donde 0 es el mejor resultado posible (ninguna discapacidad) y 100 el peor

resultado (máxima incapacidad). Esta puntuación puede referirse como porcentaje (0% de incapacidad - 100% de incapacidad).

VARIABLES SECUNDARIAS

Clínicamente, también se utilizaron:

* La escala *Core Outcomes Measures Index* (COMI) (Deyo 1998), en versión validada para España (Ferrer 2006). Fue diseñado para una evaluación estandarizada de la incapacidad en actividades de la vida diaria en pacientes con dolor lumbar. Es un cuestionario (Anexo II) de 8 preguntas que evalúa el dolor, la función, el bienestar, la discapacidad y la satisfacción del paciente, puntuándose las primeras 8 preguntas de 1 a 5, más las puntuaciones de las escalas analógicas para el dolor. Los resultados del cuestionario son el valor medio, con rango de de 0 a 10 puntos, donde 0 es el mejor resultado posible (ninguna incapacidad).

* El cuestionario *Short-Form 12* (SF-12) (Ware 1996), validado para España (Alonso 1995). Este cuestionario (Anexo III) valora la calidad de vida general de los pacientes, mediante 12 preguntas divididas en 8 dimensiones (función física, rol físico, dolor corporal, salud general, vitalidad, función social, rol emocional, y salud mental), las cuales pueden ser agrupadas en 2 componentes globales: uno físico y otro mental. Los resultados de cada componente son independientes, y no pueden ser sumados. La puntuación obtenida en cada componente fue transformada en escala de 0 a 100, siendo 100 el mejor resultado posible de calidad de vida.

* Dolor, valorado mediante el instrumento validado (Guyatt 1987) de escala visual analógica (EVA) de 10 cm, donde 0 es la ausencia completa de dolor, y 10 el peor dolor posible sentido por el paciente. Se midió separadamente para el dolor de espalda y el dolor irradiado al miembro inferior.

* Demográficas (edad, sexo), índice de masa corporal (IMC), tipo de actividad laboral (sedentaria, en bipedestación, de esfuerzo), práctica deportiva habitual o no, sintomatología preoperatoria (dolor de espalda, dolor irradiado, sintomatología neurológica motora o sensitiva).

* Relativas a la intervención: técnica e incidencias quirúrgicas, tiempo quirúrgico, pérdida sanguínea, duración de la estancia hospitalaria, y complicaciones. Se consideraron complicaciones mayores aquellas que requirieron una nueva cirugía o que resultaron en un déficit neurológico permanente.

Valoración radiológica

La exploración radiológica incluía, rutinariamente, radiografías simples y TAC. Las proyecciones de columna fueron anteroposterior y lateral en bipedestación. La Resonancia nuclear magnética (RNM) se utilizó en aquellos pacientes que presentaban evidente déficit neurológico.

Todas las imágenes eran digitalizadas y fueron valoradas y medidas por dos cirujanos independientes que no habían participado en las cirugías. Las radiografías del postoperatorio inmediato fueron comparadas con las de la última evaluación.

Se realizaron las siguientes mediciones:

* Grado de deslizamiento radiológico, de acuerdo a la clasificación de Meyerding (1932). Sobre radiografía lateral (Fig. 40), se divide el platillo superior de S1 en 4 partes, graduándose el desplazamiento de acuerdo a la situación del borde posterior del platillo inferior. El grado V sería la ptosis vertebral, con total pérdida de contacto. De acuerdo a esta graduación, se define espondilolistesis de bajo grado cuando hay un deslizamiento $<50\%$ (grados I y II), y de alto grado cuando es $>50\%$ (grados III-V).

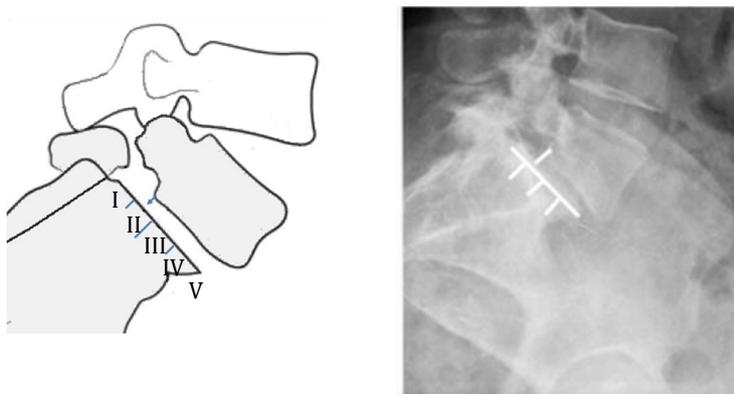


Fig. 40. Grados de Meyerding. En la radiografía, una espondilolistesis grado I

* Ángulo de deslizamiento (*slip angle* -SA). Se han ideado diversas mediciones, siendo la más reproducible la propuesta por Dubousset (1997), al que llamó ángulo lumbosacro: en radiografía lateral (Fig. 41), el ángulo formado entre la línea del platillo superior de L5 y la línea de la cara posterior de S1. Define la alineación de la vértebra lumbar respecto al sacro en el plano sagital, sin embargo el término lumbosacro ha causado confusión al ser utilizado por diversos autores para mediciones diferentes (Li 2012).

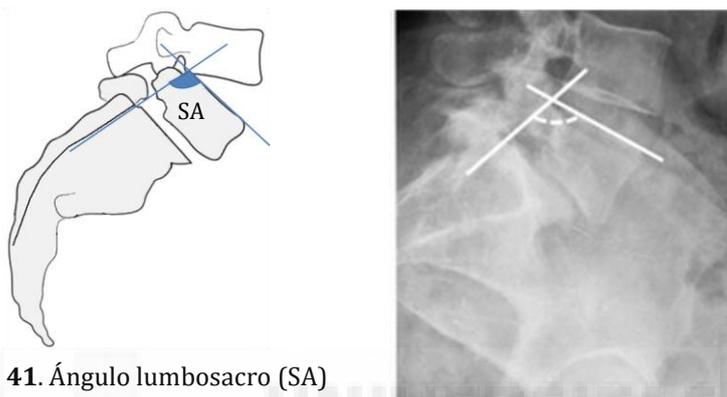


Fig. 41. Ángulo lumbosacro (SA)

* Parámetros espinopélvicos en radiografía lateral, de acuerdo a los criterios de Li y Hresko (2012). Cuando se precise situar el centro de la cabeza femoral, en el caso de no estar superpuestas ambas se considera centro el punto medio de la línea que une ambos centros (Fig. 42).

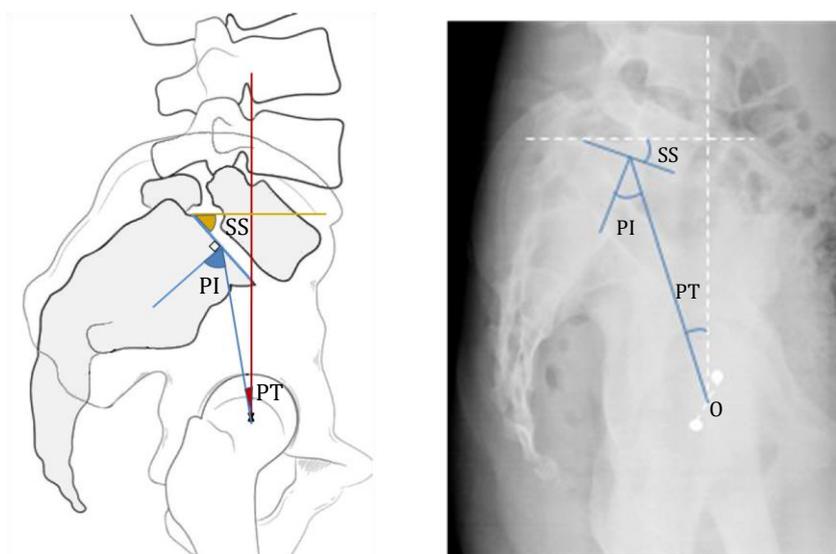


Fig. 42. Parámetros espinopélvicos radiológicos. PT, inclinación pélvica. SS, inclinación sacra. PI, incidencia pélvica. O, punto medio que une los centros de ambas cabezas femorales

Ángulo de inclinación pélvica (*pelvic tilt* -PT): ángulo entre la línea que conecta el punto medio del platillo superior de S1 y el centro de la cabeza femoral, y una línea vertical (Fig. 43). Este ángulo define de manera sencilla el balance espinal sagital, indicando si existe anteversión o retroversión pélvica respecto de la columna (Li 2012), con valor normal de 11°.

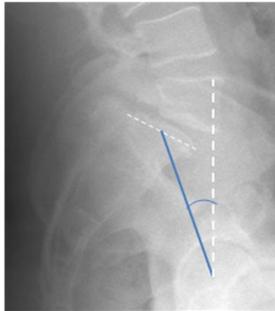


Fig. 43. Inclinación pélvica (PT)

Ángulo de inclinación sacra (*sacral slope* -SS): ángulo entre el platillo sacro y la horizontal (Fig. 44), con valor normal de 40°.

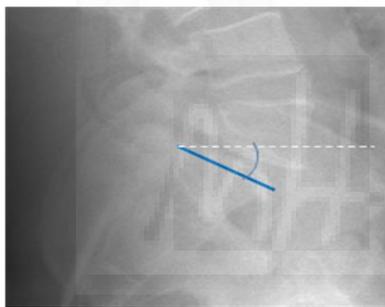


Fig. 44. Inclinación sacra (SS)

Ángulo de incidencia pélvica (*pelvic incidence* -PI): ángulo entre la perpendicular al platillo superior sacro en su punto medio, y una línea que conecta dicho punto medio con el centro de la cabeza femoral (Fig. 45) (Duval-Beaupère 1992).

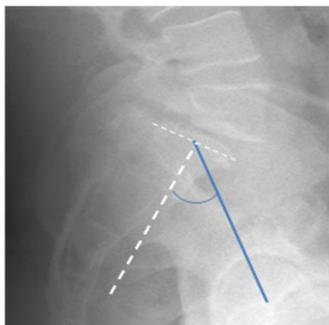


Fig. 45. Incidencia pélvica (PI)

Este ángulo PI, con un valor normal de 47°-57°, define la relación del plano del platillo sacro y el eje de rotación del centro de la cabeza femoral, el cual está aumentado en los casos de espondilolistesis de alto grado. Geométricamente, el ángulo $PI = SS + PT$. Un bajo PI implica un menor ángulo PT y menor lordosis lumbar. Así, los pacientes con gran lordosis lumbar, y por tanto elevado PI, tienen aumentada la fuerza de cizallamiento en la unión lumbosacra; y el mayor valor de PI suele correlacionarse con mayor grado de Meyerding en las espondilolistesis ístmicas (Cheung 2006). Los pacientes con espondilolistesis que presentan relativamente bajo PT y elevado SS, pelvis anteversa, pueden considerarse como teniendo una pelvis "balanceada", similar a los pacientes asintomáticos, mientras que la presencia de alto PT y bajo SS se considera como pelvis "no balanceada", con pelvis retroversa y en estos pacientes puede considerarse la posibilidad de reducción de la espondilolistesis (Hresko 2007).

La fusión definitiva se definió como la evidencia radiológica de puentes óseos, ausencia de líneas radiolucetas alrededor de los tornillos, o cambio de posición de los mismos.

4.1.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Fueron realizados mediante el programa informático IBM-SPSS versión española 19.0 (IBM-SPSS, Armonk, NY, EE.UU.).

La normalidad o no de las variables fueron comprobadas mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnoff.

Para la comparación de variables categóricas entre los dos grupos se utilizaron las pruebas de chí-cuadrado o la no paramétrica de Mantel-Haenszel.

Para la comparación de variables continuas entre los dos grupos se utilizaron las pruebas de t-Student o no paramétrica de U-Mann-Whitney.

Para la comparación intragrupos de las variables continuas, pre y postoperatorias, se utilizaron las pruebas t-Student pareada o no paramétrica de rango-con-signo de Wilcoxon.

La correlación entre variables continuas era estimada mediante el coeficiente de Pearson.

En todos los análisis se consideraron estadísticamente significativos los valores de p menores de 0,05.

4.1.7. TAMAÑO MUESTRAL

A posteriori, se realizó un análisis de la potencia estadística del estudio mediante el método de Cohen (1988), en relación a los valores postoperatorios de la escala ODI.

Consideramos clínicamente relevante una diferencia entre los dos grupos de 10 puntos (Fairbank 2000). Habiendo obtenido una desviación estándar de ODI de 14, y siendo 25 el tamaño de la muestra más pequeña, se obtuvo que para un error alfa de 0,05 la potencia del estudio era del 81%, lo cual es convencionalmente considerado aceptable.

4.2. ESTUDIO BIOMECÁNICO

4.2.1. DISEÑO DEL ESTUDIO

Estudio comparativo entre pacientes sometidos a las intervenciones quirúrgicas de estudio.

El estudio fue aprobado por el CEIC local (Hospital La Fe) y se requería consentimiento informado. El estudio fue realizado merced a subvenciones recibidas por la Fundación de la Sociedad Española de Cirugía Ortopédica y Traumatología (SECOT) y la Sociedad de Traumatología y Cirugía Ortopédica de la Comunidad Valenciana (SOTOCV), pero sin ayuda comercial alguna. Fue realizado en el Instituto de Biomecánica de Valencia (IBV), cuyo personal colaboró con los investigadores de este estudio.

4.2.2. SELECCIÓN DE PACIENTES

Los criterios de inclusión y exclusión fueron aquellos descritos para el estudio clínico. De entre los intervinientes en el estudio clínico se seleccionaron aleatoriamente a 10 pacientes de cada uno de los dos grupos de tratamiento, 5 de cada sexo, que no tuvieran incapacidad manifiesta ($ODI > 25$), y excluyendo los que

hubieran tenido alguna complicación. Esta selección se realizó para evitar someter a pruebas de esfuerzo a pacientes que presentaran dolor, y evitar sesgos subjetivos o simulaciones. El tamaño de las muestras estuvo supeditado a condicionamientos económicos dado el alto coste de las pruebas.

4.2.3. MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio funcional biomecánico se realizó mediante el procedimiento informatizado NedLumbar (IBV, España), el cual integraba sincronizadamente un análisis de esfuerzos y cargas (sistema cinético Dinascan P600, IBV, España), y otro de movimientos (sistema cinemático Kinescan v.2011, IBV, España). Estaba basado en el análisis de la realización por el paciente de dos actividades cotidianas que suponían esfuerzo lumbar: 1) levantarse de la silla sin apoyos; y 2) Levantar un peso del suelo. Para estudiar la repetibilidad, el levantarse de la silla se repetía 5 veces, y el levantar peso 3 veces.

Justificación de las actividades

La actividad de levantarse de una silla produce un aumento de los momentos de fuerza en los miembros inferiores y el raquis lumbar (Andersson 1976) y está alterado frecuentemente en las personas afectadas de dolor lumbar (Roebroeck 1994). El dolor lumbar puede conllevar una ejecución lenta y más imprecisa del movimiento (McClure 1997). La actividad consta de 3 fases: inclinación, descarga y levantamiento. 1) La fase inclinación, desde la postura de sedestación, se inicia con el desplazamiento del centro de gravedad hacia adelante para transferir la fuerza de apoyo de la silla a los pies del sujeto. Finaliza cuando los pies soportan el 100% de la fuerza vertical máxima. A medida que el sujeto se flexiona o inclina hacia delante en el inicio del movimiento de levantarse del asiento, el centro de gravedad se adelanta creando un aumento del momento flexor. Este momento debe ser contrarrestado con la musculatura extensora de la espalda aumentando las fuerzas de compresión en el raquis lumbar produciendo dolor y mayor dificultad en la realización del movimiento. Por ello, esta fase está acortada en los sujetos con dolor lumbar para soportar mejor la carga en el raquis (Nachemson 1976). 2) La fase descarga es el desplazamiento de la carga del peso

corporal desde la silla a las extremidades inferiores, lo que aumenta la carga sobre el raquis. Finaliza cuando todo el peso del sujeto es soportado por los pies (100% de la fuerza vertical máxima). 3) La fase levantamiento es el movimiento de extensión de rodillas y tronco que produce el desplazamiento del centro de gravedad hacia arriba y atrás. Finaliza cuando el sujeto alcanza una bipedestación estable con las rodillas en extensión completa.

Actividades analizadas

Para el gesto de levantarse de una silla (Fig. 46) se utilizó una silla regulable para adaptarla a la estatura del paciente y que al estar sentado tuviera las rodillas a 90º de flexión. Se realizaba estando los brazos cruzados sobre el tórax, a fin de no apoyar los brazos y que actuase sólo la musculatura lumbar y de miembros inferiores para soportar el peso del cuerpo. Este gesto se ha demostrado muy eficaz para la valoración objetiva del daño en la columna lumbar y su repercusión funcional (Whitney 2005).

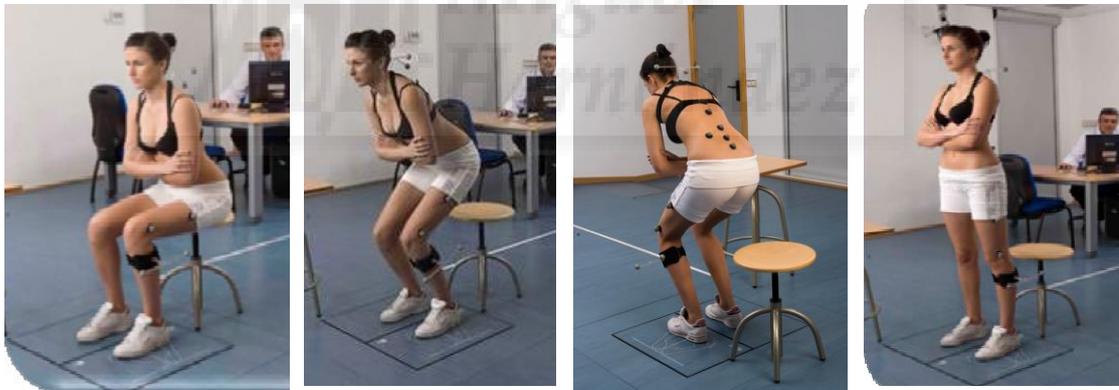


Fig. 46. Gesto de la silla. A) Posición sentada; B y C) Acción de levantarse sin apoyos; D) Posición de bipedestación al terminar el gesto.

El levantamiento de peso (Fig. 47) de un valor determinado se realizaba partiendo desde la posición de bipedestación. El paciente debía agacharse, flexionando las rodillas, y levantar un peso frontalmente desde el suelo hasta la altura de su cintura y colocarlo sobre una mesa. Ésto conllevaba primero (al agacharse) un desplazamiento del centro de gravedad hacia abajo y adelante, y luego (al erguirse) al contrario. Así se sometía a esfuerzo a la musculatura lumbar

que debía realizar al erguirse un movimiento de extensión del tronco soportando el peso del cuerpo y el del peso levantado.



Fig. 47. Gesto de levantar peso con los pies apoyados en las plataformas dinamométricas

Estudio cinemático

El sistema de fotogrametría 3D Kinescan v.2011 (IBV, España) consistía de de 12 marcadores reflectantes colocados sobre el paciente en los segmentos anatómicos de interés, en nuestro caso la región torácica y lumbar, y de 3 cámaras de video digitales con focos de infrarrojos que captaban en tiempo real los movimientos de los marcadores.

Conforme al modelo biomecánico pre-establecido (Fig. 48), se colocaron 12 marcadores reflectantes en los segmentos corporales de interés: apófisis espinosas de C7, D12, L3, L5, S1, cresta ilíaca izquierda, extremos proximal y distal del fémur izquierdo, y en el tercio superior del peroné izquierdo (Fig. 49).

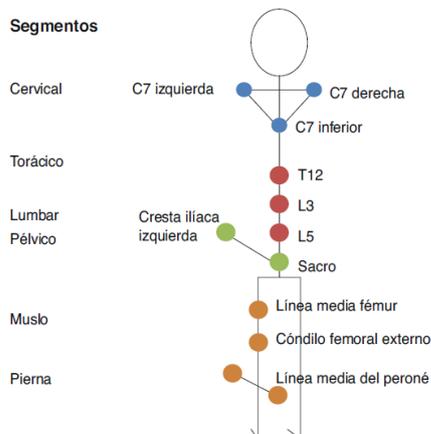


Fig. 48. Modelo biomecánico de raquis utilizado

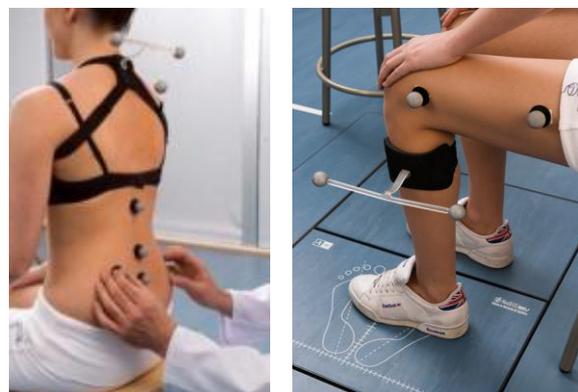


Fig. 49. Colocación de los marcadores reflectantes en el cuello, tronco y miembro inferior

El estudio se realizaba con la realización de las actividades antes descritas. Durante dichas actividades se producían cambios de posición de los marcadores reflectantes, cuyas coordenadas espaciales eran captadas por las cámaras de video (Fig. 50). Los datos de posición cambiantes eran transmitidos a la aplicación informática (Fig. 51), la cual realizaba los cálculos de las variables cinemáticas (Fig. 52) y su representación gráfica (Fig. 53). Para este estudio, las variables fueron: velocidades y aceleraciones angulares de los segmentos lumbares implicados (Fig. 54).

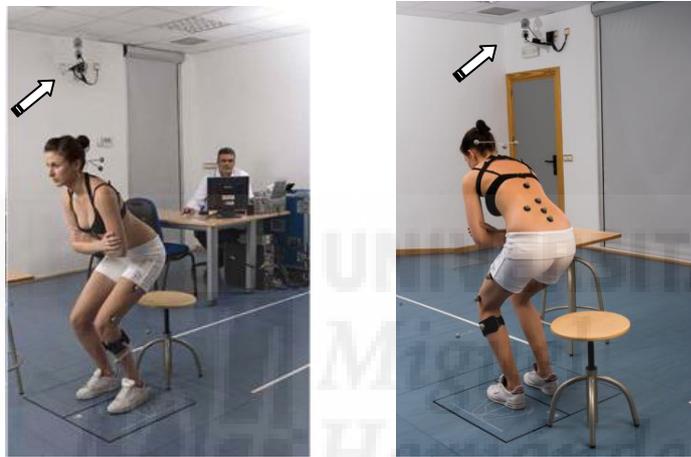


Fig. 50. Cámaras de video para detectar los cambios de posición de los arcadores reflectantes



Fig. 51. Kinescan, Ejemplo de paciente con los marcadores reflectantes, y digitalización semiautomática de la posición de los mismos.

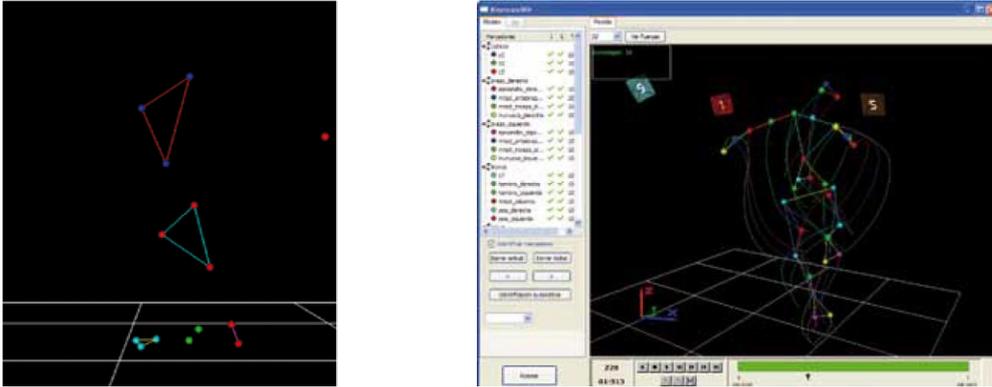


Fig. 52. Kinescan. A) Registro de localización de cadera, rodilla, tobillo y pie. B) Digitalización de movimientos en tiempo real

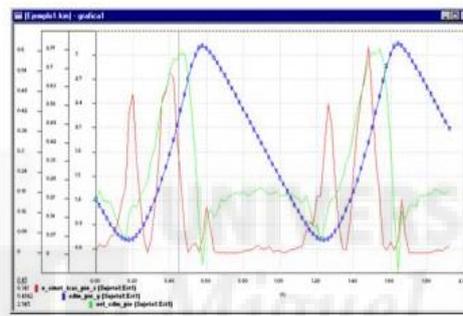


Fig. 53. Kinescan. Gráfica de resultados del movimiento

Estudio cinético

El análisis de esfuerzos y cargas se realizaba mediante el sistema Dinascan P600 (IBV, España) que constaba de dos plataformas dinamométricas, colocadas en paralelo en el suelo, sobre las que el paciente colocaba sus pies. Cada plataforma estaba instrumentada con cuatro captadores extensométricos, y cada captador de dos puentes de Wheatstone basados en 8 galgas extensométricas, 4 de ellas sensible a cargas verticales y 4 a esfuerzos horizontales. La presión ejercida por los pies sobre los captadores al realizar movimientos (Fig. 50) generaba unas fuerzas de reacción en el suelo, cuyos datos eran transmitidos a una aplicación informática (Fig. 51) que registraba y calculaba la intensidad de las fuerzas, sus puntos de aplicación y sus momentos durante la realización de los movimientos.



Fig. 54. Plataformas dinámicas. A) apoyo de los pies. B) Presión al levantarse de una silla. C) Presión al levantar un peso

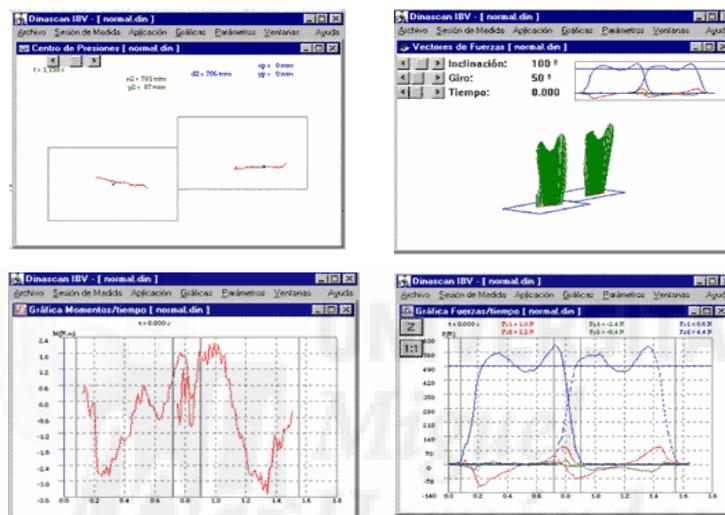


Fig. 55. Resultados cinéticos con el sistema Dinascan. A) Centros de presiones. B) vectores de fuerza. C) Gráfica de movimientos/tiempo. D) Gráfica de fuerzas/tiempo

Variables analizadas

1) Tiempo total: tiempo total de ejecución necesario para realizar el gesto de levantarse de la silla o de levantar peso.

2) Velocidad angular máxima del tronco: media de la velocidad angular máxima de los segmentos lumbares. Se expresa en grados por segundo y en porcentaje de normalidad.

3) Aceleración angular máxima: media de las aceleraciones angulares del tronco al realizar los movimientos. Se expresa en grados por segundo al cuadrado y en porcentaje de normalidad.

4) Fuerza vertical máxima: fuerza máxima realizada sobre las plataformas dinámicas mientras se ejecutan los movimientos. Cuantifica el impulso realizado en el movimiento para conseguir levantarse de la silla o levantar peso. Es

adimensional, ya que está ponderada por el peso del sujeto. Se expresa en porcentaje de normalidad.

5) Asimetría de fuerzas: diferencia de fuerzas verticales máximas entre las dos extremidades. Está normalizada por el peso del sujeto. Se expresa en porcentaje y en porcentaje de normalidad.

6) Movilidad lumbar: rango del ángulo de flexión lumbar (S1-T12). En sujetos normales, cuando al realizar el movimiento el paciente se inclina o flexiona hacia delante el tórax disminuye la lordosis lumbar. Este fenómeno es conocido como ritmo lumbosacro, y cuando es anómalo, manteniendo la lordosis lumbar, indica un menor rango de movilidad lumbar. Se expresa en grados y en porcentaje de normalidad.

7) Inclinción torácica: de C7 respecto a la horizontal al realizar los gestos de levantarse de la silla o levantar peso. Se expresa en grados y en porcentaje de normalidad.

8) Flexión del tronco: rango de flexión de la cadera (entre segmentos sacro y del muslo) al levantar peso. Se expresa en grados y en porcentaje de normalidad.

9) Flexión de rodilla: rango de flexión de rodilla al levantar peso. Se expresa en grados y en porcentaje de normalidad.

Los resultados de las variables eran aportados por el sistema informático en porcentaje respecto a la normalidad ponderada (Figs. 56 y 57).



Fig. 56. Ejemplo de resultados de levantarse de una silla. El área azul representa la normalidad. Gráfica A) Fuerza vertical total. Gráfica B) Relación entre velocidad y aceleración angular máximas del tronco (mitad derecha, extensión del tronco; mitad izquierda, flexión)

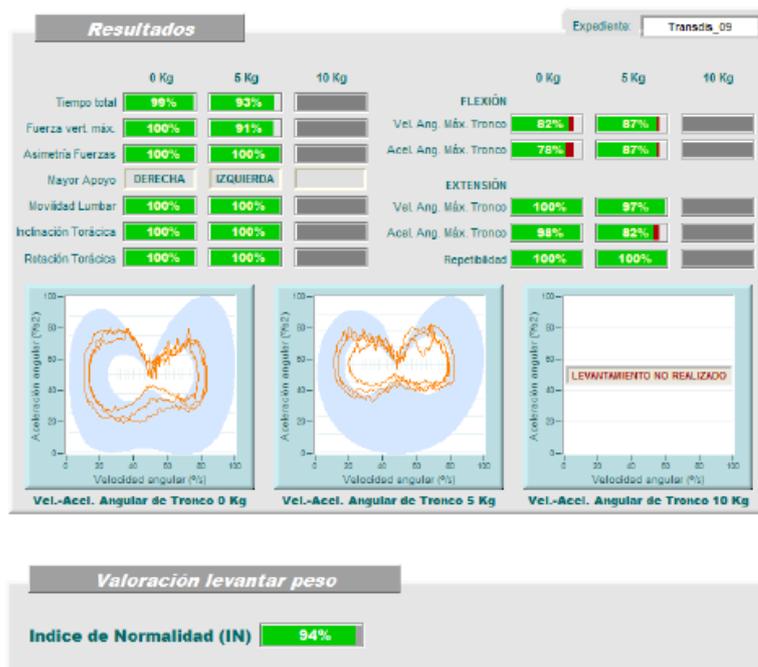


Fig. 57. Ejemplo de resultados de levantar peso. El área azul representa la normalidad. Gráficas de las velocidad y aceleración angular del tronco con los distintos pesos (0 y 5 Kg). No se realizó levantamiento de 10 Kg de peso (mitad derecha de las gráficas: extensión del tronco; mitad izquierda, flexión)

Análisis estadístico

1) Comparación con la normalidad: para cada variable se aportaba el valor medio de las repeticiones. Mediante un análisis de regresión logística, el valor medio se comparaba con la amplia base de datos del sistema NedLumbar, constituida por personas sanas segmentadas por edad y sexo, lo que permitía caracterizar los patrones fisiológicos de los movimientos realizados.

La aplicación tiene una alta sensibilidad y especificidad entre sujetos normales y patológicos (especificidad 100%, sensibilidad 89%), y entre colaboradores y no colaboradores o simuladores (especificidad 97%, sensibilidad 69%).

2) Índice de normalidad (IN): es el promedio ponderado de la valoración en porcentaje de normalidad, de la citada base de datos, de todos los parámetros analizados en la prueba, donde valores inferiores al 90% se consideran no normales o alterados funcionalmente.

V. RESULTADOS

5.1. RESULTADOS CLÍNICOS

5.1.1. ANÁLISIS DESCRIPTIVO

Ambos grupos tenían similares características preoperatorias, sin diferencias estadísticamente significativas (Tabla 3).

El tiempo de la duración quirúrgica, pérdidas sanguíneas perioperatorias, y duración de la estancia hospitalaria fueron similares entre ambos grupos, sin diferencias estadísticamente significativas (Tabla 4).

Grupo de estudio - transdiscal

Consistía de 25 pacientes, 7 hombres y 18 mujeres, con una edad media de 36,7 años (rango 14 a 60). Previo a la cirugía, 15 de estos pacientes referían dolor lumbar severo, y en 8 había irradiación al miembro inferior.

Once pacientes tenían debilidad muscular en el miembro inferior, uno tenía déficit motor, 3 déficit sensitivo, y 2 incontinencia de esfínteres.

El tiempo medio de seguimiento postoperatorio fue de 2,6 años (rango, 2,0 a 4,9).

Grupo de control - pedicular

Consistía de 31 pacientes, 15 hombres y 16 mujeres, con una edad media de 42,0 años (rango 10 a 60). Previo a la cirugía, 18 de estos pacientes referían dolor lumbar severo, y en 11 había irradiación al miembro inferior.

Nueve pacientes tenían debilidad muscular en el miembro inferior, uno tenía déficit motor, 4 déficit sensitivo, y 1 incontinencia de esfínteres.

El tiempo medio de seguimiento postoperatorio fue de 2,9 años (rango, 2,0 a 5,3).

Tabla 3. Datos preoperatorios de ambos grupos

	Grupo pedicular	Grupo transdiscal	valor p
n	31	25	
Sexo (H/M)	15/16	7/18	0,170
Edad (años)	42,0 (17,5)	36,7 (12,3)	0,190
IMC (Kg/m ²)	25,7 (3,5)	25,3 (3,7)	0,668
Grados (III/IV/V)	11/18/2	12/12/1	0,624
Actividades (S/B/E)	7/15/9	5/15/5	0,656
Deporte	6 (19,3%)	10 (40,0%)	0,080
EVA-dolor lumbar	7,1 (2,0)	7,4 (1,8)	0,554
EVA-dolor pierna	4,6 (3,7)	4,8 (3,3)	0,866
ODI	69,3 (14,0)	69,7 (12,4)	0,926
COMI	6,3 (1,6)	7,0 (1,4)	0,112
SF12-físico	19,2 (14,4)	18,2 (17,3)	0,819
SF12-mental	31,4 (12,9)	28,9 (15,7)	0,511

Los datos continuos son presentados como media (desviación estándar). Sexo (hombre/mujer). IMC: índice masa corporal. Grados (Meyerding). Actividades: sedentaria, bipedestación, de esfuerzo. Deporte (práctica). EVA: escala analógica visual. ODI: puntuación Oswestry Disability Index. COMI: puntuación Core Outcomes Measures Index. SF12: puntuación autocuestionario.

Tabla 4. Datos perioperatorios de ambos grupos

	Grupo pedicular	Grupo transdiscal	valor p
Tiempo cirugía (min)	270,4 (49,7)	278,4 (62,8)	0,598
Pérdida sanguínea(cc)	180,6 (120,6)	187,6 (166,3)	0,857
Estancia (días)	7,9 (1,3)	7,6 (1,2)	0,126

Los datos continuos son presentados como media (desviación estándar)

5.1.2. RESULTADOS CLÍNICOS

En ambos grupos, la media de los resultados clínicos mejoraron significativamente desde el preoperatorio a la última evaluación efectuada ($p=0,001$) respecto a ODI, COMI, SF12, y EVA-dolor. Sin embargo, todos los resultados finales, excepto para EVA-dolor, fueron significativamente mejores en el grupo transdiscal (Tabla 5).

Tabla 5. Resultados clínicos postoperatorios en ambos grupos

	Grupo pedicular	Grupo transdiscal	valor p
EVA-dolor lumbar	3,5 (2,3)	2,8 (1,9)	0,228
EVA-dolor pierna	2,0 (1,7)	1,3 (1,4)	0,116
ODI	31,6 (17,2)	20,2 (14,0)	0,010
COMI	2,8 (1,8)	1,6 (1,2)	0,012
SF12-físico	65,5 (26,5)	84,3 (19,0)	0,004
SF12-mental	69,4 (21,0)	81,5 (15,8)	0,021

Los datos continuos son presentados como media (desviación estándar). EVA: escala analógica visual. ODI: puntuación Oswestry Disability Index. COMI: puntuación Core Outcomes Measures Index. SF12: puntuación autocuestionario.

Discapacidad según escala ODI

En la última evaluación postoperatoria, en el grupo transdiscal el valor medio de ODI fue de 20,2 (de, 14,0). Todos los pacientes tuvieron un ODI de 44 puntos o menor.

En el grupo pedicular, el valor medio de ODI fue de 31,6 (de, 17,2). Todos los pacientes tuvieron un ODI de 44 puntos o menor. Hubo 8 pacientes (25,8%) con un ODI de 50 puntos o mayor.

La diferencia de ODI entre grupos era estadísticamente significativa ($p=0,010$), con menor incapacidad en el grupo transdiscal (Fig. 58).

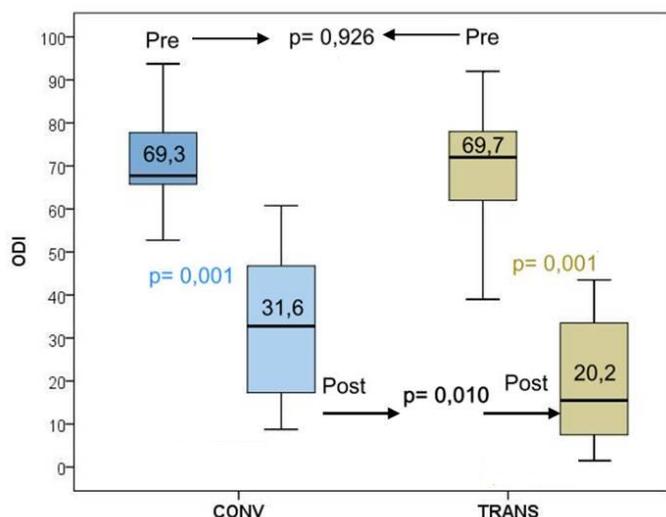


Fig. 58. Datos ODI pre y postoperatorios de ambos grupos, y la relación entre ellos

Capacidad laboral y deportiva

En el grupo transdiscal, hubo 14 pacientes (56%) que pudieron retornar a sus ocupaciones habituales, 2 (8%) tenían alguna limitación, y 9 (36%) tuvieron que cambiar de trabajo. De los 6 pacientes que previamente practicaban algún deporte, 2 (33,3%) pudieron seguir practicándolo.

En el grupo pedicular, 15 pacientes (48,3%) pudieron retornar a sus ocupaciones habituales, 8 (25,8%) tenían alguna limitación, 5 (16,1%) tuvieron que cambiar de trabajo, y 3 (9,6%) no pudieron volver a trabajar. De los 10 pacientes que previamente practicaban algún deporte, 5 (50%) pudieron seguir practicándolo.

No había diferencias estadísticamente significativas entre grupos respecto a la capacidad laboral ($p= 0,065$), ni a la vuelta a la práctica deportiva ($p= 0,512$) (Figs. 59 y 60).

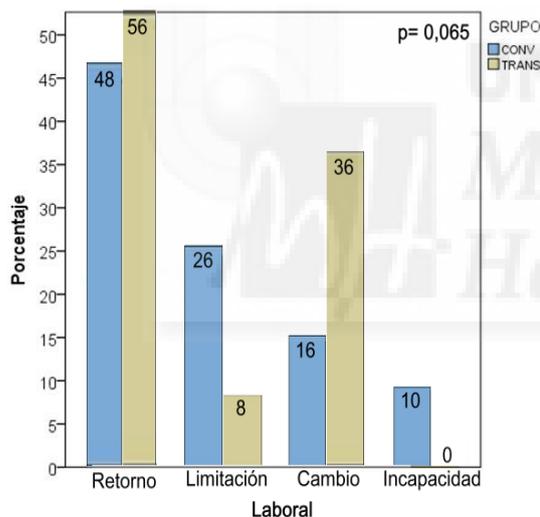


Fig. 59. Datos laborales pre y postoperatorios de ambos grupos, y la relación entre ellos

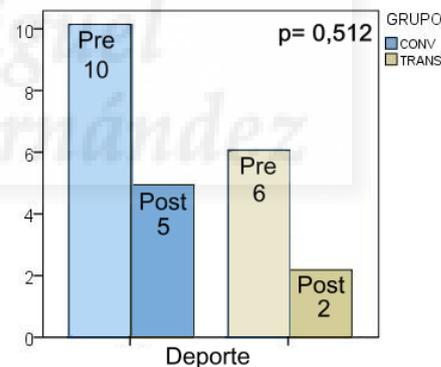


Fig. 60. Datos deportivos pre y postoperatorios de ambos grupos, y la relación entre ellos

Calidad de vida

En el grupo transdiscal, la calidad de vida postoperatoria referida al estado general (SF12) obtuvo una puntuación media de 84,3 (de, 19,0) en el componente físico y de 81,5 (de, 15,8) en el componente mental. La calidad de vida referida a la región lumbar (COMI), tuvo un valor medio de 1,6 (de, 1,2).

En el grupo pedicular, la calidad de vida postoperatoria referida al estado general (SF12) obtuvo una puntuación media de 65,5 (de, 26,5) en el componente

físico y de 69,4 (de, 21,0) en el componente mental. La calidad de vida referida a la región lumbar (COMI), tuvo un valor medio de 2,8 (de, 1,8).

La diferencia de SF12 ($p= 0,004$ y $0,021$, respectivamente) y de COMI ($p= 0,012$) entre grupos era estadísticamente significativa, con mejor calidad de vida para ambas escalas en el grupo transdiscal (Figs. 61 y 62).

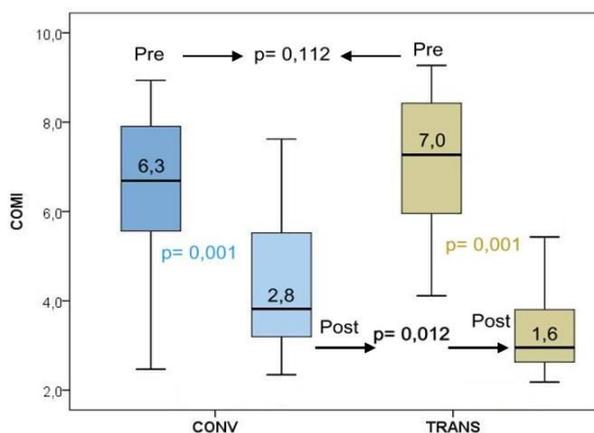


Fig. 61. Datos COMI, salud lumbar, pre y postoperatorios de ambos grupos, y la relación entre ellos

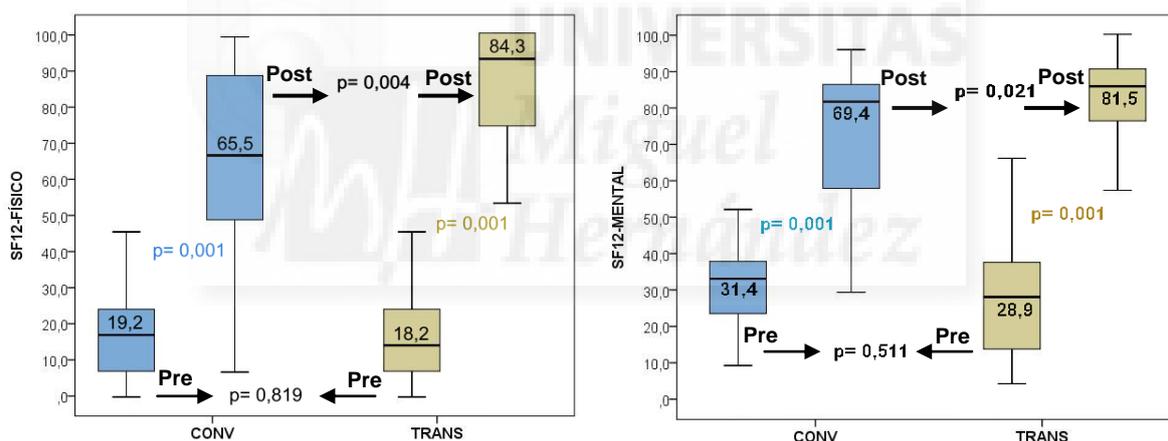


Fig. 62. Datos SF12, salud general componentes físico y mental, pre y postoperatorios de ambos grupos, y la relación entre ellos

Dolor

En el grupo transdiscal, el dolor medido con EVA obtuvo una puntuación media para el dolor lumbar de 2,8 (de, 1,9) y para el dolor en el miembro inferior de 1,3 (de, 1,4).

En el grupo pedicular, el dolor medido con EVA obtuvo una puntuación media para el dolor lumbar de 3,5 (de, 2,3) y para el dolor en el miembro inferior de 2,0 (de, 1,7).

Aunque el dolor en ambos niveles era inferior en el grupo transdiscal, estas diferencias no eran estadísticamente significativas ($p= 0,228$ y $0,116$, respectivamente) (Fig. 63).

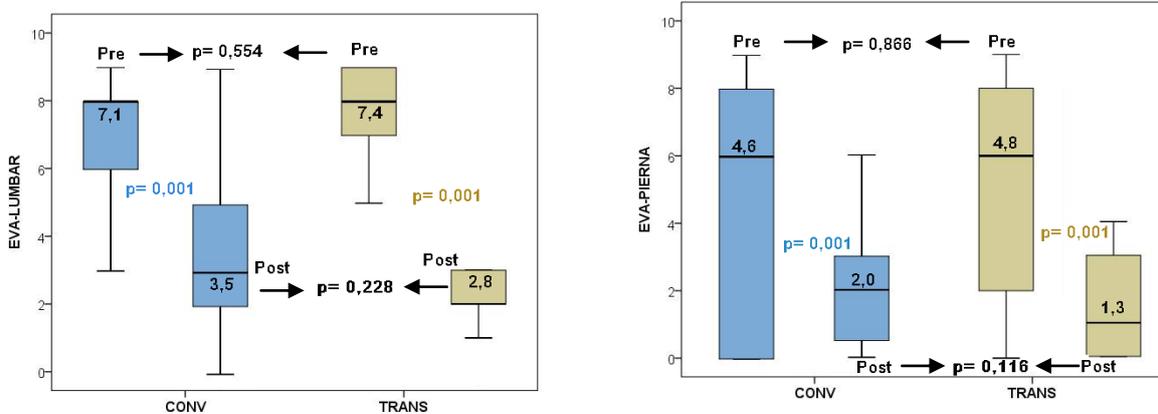


Fig. 63. Datos EVA-dolor, lumbar y en miembro inferior, pre y postoperatorios de ambos grupos, y la relación entre ellos

Clínica neurológica

En el grupo transdiscal, en 2 pacientes persistió debilidad muscular en el miembro inferior, y en otros 2 persistió un déficit sensitivo. En otros 2 pacientes se presentó postoperatoriamente una irritación transitoria de la raíz L5, de la cual se recuperaron. Otro paciente con previa incontinencia urinaria se recuperó de la misma, pero presentó un déficit permanente de la raíz L4, debido a rotura de una barra, aunque no presentó pseudoartrosis y el resultado fue de incapacidad moderada (ODI= 32).

En el grupo pedicular, en 2 pacientes persistió el déficit muscular o sensitivo. Otros 3 pacientes desarrollaron un déficit parcial permanente de la raíz L5.

5.1.3. RESULTADOS RADIOGRÁFICOS

Preoperatoriamente, no había diferencias significativas entre los grupos respecto a las variables radiográficas medidas (Tabla 6).

Tabla 6. Datos radiográficos pre y postoperatorios en ambos grupos

	Grupo pedicular	Grupo transdiscal	Valor p *
Áng. deslizamiento lumbosacro (SA)			
Preoperatorio	101,8° (13,0°)	98,6° (16,6°)	0,425
Postoperatorio	113,0° (8,4°)	101,4° (20,5°)	0,013
p **	0,001	0,167	
Áng. incidencia pélvica (PI)			
Preoperatorio	63,0° (10,8°)	67,7° (15,0°)	0,177
Postoperatorio	61,5° (11,0°)	68,9° (18,2°)	0,068
p **	0,297	0,557	
Áng. inclinación pélvica (PT)			
Preoperatorio	19,9° (5,9°)	21,2° (8,1°)	0,482
Postoperatorio	17,5° (7,3°)	22,6° (9,6°)	0,029
p **	0,008	0,425	
Áng. inclinación sacra (SS)			
Preoperatorio	43,1° (8,8°)	46,1° (13,8°)	0,319
Postoperatorio	43,6° (10,6°)	46,0° (14,5°)	0,494
p **	0,725	0,922	

Los datos continuos son presentados como media (desviación estándar). * Valor p intergrupo
** Valor p intragrupos (pre-postoperatorio).

En la última evaluación postoperatoria (Tabla 6), en el grupo transdiscal todos los parámetros radiográficos permanecieron sin cambios significativos respecto al preoperatorio ($p > 0,05$).

En el grupo pedicular, no hubo cambios significativos del ángulo de incidencia pélvica (PI, $p = 0,297$) o del de inclinación sacra (SS, $p = 0,725$), pero hubo un incremento estadísticamente significativo de los valores medios del ángulo de deslizamiento lumbosacro (SA, $p = 0,001$) y del de inclinación pélvica (PT, $p = 0,008$).

Comparando ambos grupos, los ángulos PI y SS no eran estadísticamente diferentes ($p = 0,068$ y $0,494$, respectivamente), pero el ángulo SA ($p = 0,013$) era

significativamente menor y el PT ($p= 0,029$) significativamente mayor en el grupo transdiscal que en el grupo pedicular.

En ambos grupos, no había una correlación estadísticamente significativa ($p > 0,302$) entre el resultado ODI y los parámetros radiográficos postoperatorios.

En el grupo transdiscal, todos los pacientes presentaron fusión radiográfica o no deslizamiento progresivo, mientras que en el grupo pedicular hubo 4 pacientes (12,9%) con pseudoartrosis, aunque esta diferencia no era estadísticamente significativa ($p= 0,123$).

5.1.4. COMPLICACIONES Y REINTERVENCIONES

Como complicaciones (Tabla 7), en el grupo transdiscal hubo 2 infecciones quirúrgicas profundas que precisaron desbridamiento quirúrgico, resultando ambos al final del seguimiento con moderado resultado funcional (ODI= 32 y 44). Se observaron complicaciones técnicas en 4 pacientes (16%). En uno de estos casos, se debió a rotura de un tornillo sacro a los 3 años postoperatorios, pero al final del seguimiento había una fusión sólida no requiriendo reintervención, y con buen resultado funcional (ODI= 17). En los otros 3 casos se debían a pobre orientación de los tornillos sacros, resultando en 2 pacientes con fusión sólida o sin desplazamiento progresivo y buen resultado clínico (ODI= 10 y 16), y en el tercero con síntomas severos por irritación de la raíz L5, teniendo que ser reoperado para extracción del tornillo y resultando con moderada incapacidad (ODI= 42) en la última evaluación. En el grupo transdiscal, en 2 pacientes persistió debilidad muscular en el miembro inferior, y en otros 2 persistió un déficit sensitivo. En otros 2 pacientes se presentó postoperatoriamente una irritación transitoria de la raíz L5, de la cual se recuperaron.

En el grupo pedicular, en 2 pacientes persistió el déficit muscular o sensitivo. Otros 3 pacientes desarrollaron un déficit parcial permanente de la raíz L5. En el grupo pedicular, un paciente presentó rotura de la duramadre siendo reparada en la misma intervención (ODI= 20). Otros 2 pacientes presentaron infección superficial que no precisó reintervención con resultado funcional bueno (ODI=8) y moderado (ODI=32). Otro paciente presentó rotura de un tornillo lumbar y otro sacro debido a pseudoartrosis, con pobre resultado funcional (ODI= 60). Otros 3 pacientes (antes citados) también presentaron pseudoartrosis. Estas 4

pseudoartrosis requirieron reintervención quirúrgica reconvirtiéndose a fijación transdiscal, con buen resultado funcional en la última evaluación.

Así, en el grupo transdiscal 3 pacientes requirieron reintervención quirúrgica, mientras que esto ocurrió en 4 pacientes en el grupo pedicular. Por causas asépticas, las reintervenciones fueron 1 en el grupo transdiscal y 4 en el pedicular.

Tabla 7. Complicaciones

	Grupo transdiscal	Grupo pedicular
Infección	2 profundas*	2 superficiales
Técnicas	3 mal orientación (1*)	1 rotura duramadre
Mecánicas	1 rotura tornillo	1 rotura tornillo (pseudoartrosis)
Pseudoartrosis	0	4*
Reintervención	3	4

* Casos con reintervención



5.2. RESULTADOS BIOMECÁNICOS

5.2.1. CARACTERÍSTICAS BASALES

No había diferencias significativas respecto a la edad media e IMC entre ambas muestras (Tabla 8). Los valores funcionales eran estadísticamente similares, debido a la selección de pacientes que tuvieran un resultado postquirúrgico satisfactorio. Así, las muestras eran comparables, aunque de pequeño tamaño.

Tabla 8. Características basales de los grupos

	Pedicular	Transdiscal	p
n	10	10	
Sexo (M/H)	5/5	5/5	
Edad	44,4 (22-51)	45,3 (22-59)	0,267
IMC	22,5 (17-26)	23,6 (21-24)	0,121
EVA lumbar post	2,3 (2-3)	2,0 (1-3)	0,742
ODI post	13,5(6-24)	13,2 (4-24)	0,849
COMI post	12,2 (9-14)	10,8 (8-13)	0,089

5.2.2. RESULTADOS DE LEVANTARSE DE UNA SILLA

En esta prueba, que comportaba un esfuerzo moderado, la mayoría de parámetros en ambos grupos estaban dentro del rango de la normalidad (>90%), excepto la movilidad lumbar que en ambos grupos era menor de la normalidad, lo cual era de esperar al ser pacientes con patología en dicha región (Tabla 9).

Entre los grupos, no había diferencias significativas respecto al tiempo de ejecución ($p= 0,096$), velocidad angular ($p= 0,228$) y aceleración angular o impulso ($p= 0,619$), lo que confirmaba los satisfactorios resultados postquirúrgicos con ambas técnicas y que todos los pacientes fueron capaces de ejecutar el movimiento de forma fluida.

Sin embargo, en el grupo pedicular la fuerza vertical máxima ejercida sobre el suelo al levantarse de la silla era significativamente menor ($p= 0,036$), así como era mayor la asimetría en el apoyo de los miembros inferiores ($p= 0,041$). Ésto sugiere la realización en este grupo de estrategias para realizar actividades.

Tabla 9. Resultados funcionales biomecánicos de levantarse de una silla

	Pedicular		Transdiscal		p
	Valor	%Normal*	Valor	%Normal*	
Tiempo ejecución (s)	2,6±0,2	94,3 %	2,4±0,1	96,4 %	0,096
Velocidad angular máx (°/s)	70,5±7	94,8 %	75,83±5	98,2 %	0,228
Aceleración angular máx (°/s ²)	176,4±22	90,4 %	184,4±26	97,6 %	0,619
Fuerza vertical máx (%N)*	112,7±5	96,3 %	119,0±2	98,6 %	0,036
Asimetría entre miembros (%)	9,0±3	89,2 %	5,1±2	93,6 %	0,041
Movilidad lumbar (°)	18,4±5	72,8 %	24,6±3	81,2 %	0,044
Inclinación torácica (°)	33,6±5	98,9 %	21,8±2	93,4 %	0,003
Índice de Normalidad global**	91,6 %		97,6 %		

Los datos se exponen como valores medios±desviación estándar. El valor p es entre los valores absolutos.

* Porcentaje respecto a la normalidad ponderada para edad, sexo y peso. ** Se considera dentro del rango normal si el valor es mayor del 90%.

Por otro lado, en el grupo pedicular era significativamente menor la movilidad del segmento lumbar ($p= 0,044$), que se compensaba con una significativamente mayor inclinación torácica ($p= 0,033$) lo que sugiere una mayor protección lumbar para reducir las cargas sobre dicha región, haciendo más patente la suposición de realización de estrategias protectoras.

5.2.3. RESULTADOS DE LEVANTAR PESO

Esta prueba suponía una mayor exigencia funcional al raquis lumbar que la prueba de levantarse de una silla (Tabla 10), lo que concuerda con que muchos de los parámetros estuvieran por debajo de la normalidad en ambos grupos, al tratarse de pacientes operados del raquis lumbar.

Comparando ambos grupos, el tiempo de ejecución ($p= 0,175$) y velocidad angular ($p= 0,148$) no eran significativamente diferentes, debiendo tenerse en cuenta que la ejecución del movimiento es relativamente rápida, como escaso rango de variabilidad y con un peso soportado de poca entidad (máximo 5 kg). No obstante, la aceleración angular, o impulso inicial para levantar el peso, era significativamente menor en el grupo pedicular ($p= 0,044$), sugiriendo una mayor prevención ante el esfuerzo.

Tabla 10. Resultados funcionales biomecánicos de levantar peso

	Pedicular		Transdiscal		p
	Valor	%Normal*	Valor	%Normal*	
Tiempo ejecución (s)	2,16	83,8 %	1,91	91,6 %	0,175
Velocidad angular máx (°/s)	109,9±17	80,2 %	125,3±13	89,3 %	0,148
Aceleración angular máx (°/s ²)	209,6±27	85,2 %	248,1±24	90,6 %	0,044
Fuerza vertical máx (%N)*	118,9±3	81,2 %	125,5±5	89,6 %	0,035
Asimetría entre miembros (%)	9,9±5	80,7 %	3,6±3	91,6 %	0,040
Movilidad lumbar (°)	29,7±4	80,6 %	35,9±3	88,2 %	0,024
Inclinación torácica (°)	58,5±10	82,6 %	40,0±12	87,2 %	0,035
Flexión tronco (cadera) (°)	102,65	83,8 %	111,97	89,6 %	0,090
Flexión rodillas (°)	95,7±18	88,6 %	95,5±15	88,6 %	0,982
Índice de Normalidad global	83,8 %		94,2 %		

Los datos se exponen como valores medios. El valor p es entre los valores absolutos.

* Porcentaje respecto a la normalidad ponderada para edad, sexo y peso. ** Se considera dentro del rango normal si el valor es menor del 90%.

Así mismo, eran significativamente menores en el grupo pedicular la fuerza vertical máxima ejercida ($p= 0,035$) y la asimetría en el apoyo de los miembros inferiores ($p= 0,040$), confirmando la estrategia sugerida en el ejercicio de levantarse de una silla.

Respecto a la movilidad, al igual que en el ejercicio de la silla, en el grupo pedicular la lumbar era significativamente menor ($p= 0,024$), compensándose con una significativamente mayor inclinación torácica ($p= 0,035$), lo que confirma la estrategia de higiene lumbar para reducir el esfuerzo sobre dicha región.

Sin embargo, no había diferencias significativas respecto a la flexión del tronco a nivel de la pelvis ($p= 0,090$) y a la flexión de rodillas al levantar peso ($p= 0,982$), sugiriendo que todos los pacientes eran conscientes de los riesgos en la realización de determinadas actividades y estaban entrenados para realizarlas reduciendo los esfuerzos lumbares.

Globalmente, como era de esperar dada la selección de pacientes, ambos grupos estaban dentro del rango de normalidad, aunque en su límite inferior. No obstante, y con la precaución debida al pequeño tamaño de las muestras, los resultados mostraban que los pacientes del grupo transdiscal presentaban una mayor movilidad lumbar, realizaban los ejercicios con mayor fuerza e impulso, mayor simetría en el apoyo, y ejerciendo menores estrategias (o no ejerciéndolas)

para la realización de los ejercicios de esfuerzo realizados. Así, estos hallazgos sugieren que la columna lumbar se comporta biomecánicamente mejor en los pacientes sometidos a técnica transdiscal que aquellos sometidos a la técnica pedicular convencional.





VI. DISCUSIÓN

La espondilolistesis L5-S1 de alto grado puede ser una enfermedad altamente invalidante y representar un reto para el cirujano. El tratamiento quirúrgico está indicado cuando es sintomática o con deslizamiento progresivo. El objetivo del tratamiento quirúrgico es aportar una artrodesis efectiva y segura del nivel afectado, con o sin restauración del perfil sagital, y resolución de los síntomas (Boxall 1979; Dubousset 1997). Para obtener esta artrodesis se dispone de diversas técnicas pero los resultados son controvertidos y, actualmente no hay evidencias suficientes sobre cuál de ellas es más efectiva. Las opciones quirúrgicas actuales son (Agabegi 2010): (1) la fusión posterolateral, instrumentada o no, con reducción previa de la cifosis lumbosacra o no; (2) la fusión posterior del cuerpo lumbar o fusión intersomática posterior; (3) la fusión intersomática anterior; (4) la fusión circunferencial (360°) empleando separadamente la vía anterior y posterior; (5) y más recientemente la fijación transdiscal.

Así mismo, existe una gran controversia respecto a asociar la descompresión de las raíces nerviosas y sobre todo respecto a la necesidad o no de realizar maniobras previas de reducción de la deformidad. Recientes estudios han mostrado que el parámetro de incidencia pélvica (PI) puede ser un importante predictor del riesgo de progresión del deslizamiento en las espondilolistesis de bajo grado (Hanson 2002; Labelle 2004). El PI es la suma algebraica del ángulo de inclinación sacra (SS, *sacral slope*) y el de inclinación pélvica (PT, *pelvic tilt*) (Duval-Beaupère 1992). Por el contrario, en las de alto grado parece ser más relevante la orientación pélvica en el plano sagital, con medidas individualizadas de los parámetros radiográficos SS y PT, debido a que el PI está siempre elevado (Labelle 2011). En espondilolistesis de alto grado, se han clasificado a los pacientes como con pelvis balanceada (elevado SS y Bajo PT) y pelvis no balanceada o retrovertida (bajo SS y elevado PT) (Hresko 2007). En las balanceadas, los ángulos SS y PI son similares a los pacientes controles que tienen un elevado PI.

Reducción in situ

La ventaja teórica de la reducción es que al restaurar el alineamiento sagital de la columna podría ser más eficaz para reducir el dolor lumbar (O'Brien 1994; Hresko 2007; Labelle 2011). Pero estas teorías no han sido bien demostradas. La principal desventaja de la reducción es el mayor riesgo de lesión neurológica, de hasta el 30% (Bradford 1987; Bradford 1990; Boos 1993; Hu 1996), seguida de fallos en la instrumentación, pérdida de reducción y pseudoartrosis (Ani 1991; Molinari 1999; Roca 1999). Además, la reducción completa comporta un mayor tiempo y agresividad de la cirugía (Agabegi 2010). Estas complicaciones pueden disminuir cuando se realiza una reducción tan solo parcial (Laurson 1999; Boachie-Adjei 2002). Molinari et al (1999), encontraron que la fusión in situ conllevaba una alta tasa de pseudoartrosis. De otro lado, la fusión in situ no cambia la anatomía de la deformidad pero tiene mucha menor tasa de complicaciones neurológicas y se asocia a una razonable tasa de fusión, con resultados clínicos satisfactorios descritos por muchos autores (Harris 1987; Burkus 1992; Transfeldt 2007; Lamartina 2010). Poussa et al (2006) establecieron categóricamente que la fusión in situ era definitivamente mejor que la reducción y fusión en las espondilolistesis de alto grado en términos de resultados clínicos a largo plazo.

En este estudio, la reducción no era realizada en la mayoría de los pacientes, y la reducción parcial era efectuada sólo en aquellos pacientes que tenían severo desbalance espinopélvico sagital, con bajo ángulo de inclinación sacra (SS) y elevado ángulo de inclinación pélvica (PT) de acuerdo a los criterios de Hresko et al (2007). Otros autores utilizando tornillos transdicales también han encontrado buenos resultados funcionales y fusión sólida en todos los casos con fijación in situ (Francois 2005) o con reducción parcial (Boachie-Adjei 2002), si bien sus series eran muy pequeñas.

Instrumentación y fusión

De entre las técnicas quirúrgicas disponibles para la espondilolistesis L5-S1, la fusión posterolateral sin instrumentación ha resultado con una alta tasa de pseudoartrosis (Dubousset 1997; Vaccaro 1997; Lamberg 2007), de hasta el 36% (Lenke 1992), tasa que se reduce cuando se asocia a instrumentación pedicular

(Boos 1993; Thomsen 1997), aunque sigue siendo elevada (Harris 1987; Suk 1997). Por su mayor simplicidad y menores riesgos, la fusión posterolateral con fijación atornillada pedicular ha ganado popularidad en los últimos años. Algunos autores han obtenido resultados satisfactorios en espondilolistesis de alto grado (Ani 1991; Lee 2014), pero otros observaron elevadas tasas de progresión del deslizamiento y pseudoartrosis del 17% al 50% (Laurent 1976; Boxall 1979; Burkus 1992; Boos 1993). Esta alta tasa de pseudoartrosis era atribuida al fallo por fatiga de los implantes, secundario a las altas sollicitaciones en flexión sobre la columna anterior y a la ausencia de un contrafuerte mecánico anterior, de manera que la fijación pedicular posterior no facilitaba el intercambio de cargas en la columna anterior y era incapaz de restringir las fuerzas de cizallamiento través del espacio discal (Laurent 1976; Boxall 1979). Estos hallazgos clínicos han sido correlacionados biomecánicamente en el laboratorio (Shirado 1991), y se ha descrito una tasa de fallos de implantes de hasta el 19% (Jutte 2002; Fritzell 2003).

En un reciente estudio, Lee et al (2014) compararon los resultados de la fusión posterolateral (39 pacientes) con la fusión intersomática posterior (42 pacientes) en pacientes menores de 60 años con espondilolistesis ístmica seguidos al menos 2 años. Encontraron que la tasa de fusión era similar (85%), así como los resultados funcionales, alivio del dolor y tasa de complicaciones. En otro estudio randomizado de 111 pacientes menores de 55 años con un seguimiento medio de 9 años, comparando el tratamiento conservador con la fusión posterolateral en espondilolistesis de todos los grados, encontraba resultados muy similares entre ambos, y sólo la escala ODI era superior en los pacientes operados, concluyendo que la fusión posterolateral en adultos con espondilolistesis ístmica solo aportaba una modesta mejoría funcional a largo plazo, comparado con tratamiento conservador y un programa de ejercicios durante un año (Ekman 2005).

Para proporcionar una mayor resistencia a la columna anterior y una mayor superficie para la fusión ósea se ha propuesto el asociar a la fusión posterolateral una fusión intersomática anterior o circunferencial (Molinari 2002; Lamberg 2007), lo que parece que aumenta la tasa de fusión y reduce el riesgo de progresión del deslizamiento (Ani 1991; Lenke 1992; Roca 1999), aunque también aumenta relevantemente el tiempo quirúrgico y la morbilidad asociada a la vía anterior, tales como lesiones peritoneales y viscerales (uréteres, vejiga, intestino) y

vasculares (arteria y vena ilíaca) (Faciszewski 1995; Rajaraman 1999). Además, ante la frecuente necesidad de realizar maniobras de reducción de la cifosis lumbar para obtener la fusión cirucunferencial se ha descrito una alta tasa de complicaciones neurológicas (Wood 1995; Rivet 2004).

Fijación transdiscal

El tratamiento de la espondilolistesis de alto grado requiere obtener una construcción mecánica como la instrumentación capaz de resistir las fuerzas de cizallamiento en el espacio discal L5-S1 deslizado, así como una cirugía segura. Por ello se han desarrollado técnicas para estabilizar la columna anterior, tales como la fijación con cajas intervertebrales, fusión con injerto transvertebral o la fijación con tornillos pediculares transdiscales. El injerto transvertebral con peroné descrito por Bohlman 1982 aporta cierta estabilidad a la columna anterior (Majd 2000), pero se han reportado fallos del injerto por fractura o reabsorción (Roca 1999) e inestabilidad secundaria (Molinari 1999; Smith 2001) con tasa de fusión del 88%.

En 1994, Abdu et al describieron la fijación L5-S1 con tornillos pediculares atravesando el espacio discal en 3 pacientes. Esta técnica partía del concepto biomecánico de 3 columnas de Denis (1984), siendo necesario la estabilización de la columna anterior para facilitar la fusión y evitar progresión del deslizamiento. La dirección oblicua de los tornillos, y el que atravesaran dos platinos vertebrales confería a la construcción una fuerte resistencia para oponerse a las fuerzas de cizallamiento en el espacio discal en tanto se producía la fusión posterolateral (Smith 1990; Chell 2001; Boachie-Adjei 2002). Esta técnica tiene la ventaja de aportar estabilidad a las tres columnas por una simple vía posterior, eliminando los riesgos de la vía anterior, con el gesto sencillo de un atornillado. Así mismo puede realizarse in situ o asociado a reducción parcial, aporte de injerto y en su caso descompresión de las raíces nerviosas (Smith 2001; Boachie-Adjei 2002). El principal inconveniente es la dificultad técnica de situar correctamente los tornillos para que adoptasen una correcta construcción triangular.

En estudios biomecánicos en cadáver, se ha comprobado que esta construcción era 1,6 a 1,8 veces más resistente que la fijación pedicular tradicional, y que su rigidez era igual a la combinación de fijación pedicular junto a fusión

intersomática (Minamide 2003). Por el contrario, otros estudios (St Clair 2012; Aghayev 2014) encontraron que la rigidez y estabilidad aportada por los tornillos pediculares transacros transdiscales eran similares a los tornillos pediculares.

En nuestro estudio, se observó complicaciones técnicas o una inadecuada colocación de los tornillos sacros en 4 pacientes (16%) (1 se rompió a los tres años, 2 bien, otro se retiró tornillo pq irritaba raíz L5) , aunque en todos ellos se obtuvo una fusión sólida, resultando 3 con satisfactorios resultados clínicos y funcionales pero uno con mal resultado debido a radiculopatía L5 que tuvo que ser reoperado para extracción del tornillo.

Nuestros resultados apoyan las ventajas biomecánicas de la construcción transdiscal. En los 25 pacientes del grupo transdiscal se obtuvo una fijación sólida o ausencia de progresión del deslizamiento tras un seguimiento medio de unos 3,5 años, mientras que en el grupo con fijación pedicular convencional 4 de los 31 pacientes (13%) desarrollaron pseudoartrosis que requirieron reintervención, realizándose una fijación transdiscal y obteniendo así buenos resultados clínicos y radiográficos. Por otro lado, en el grupo transdiscal no varió el ángulo de incidencia pélvica (PI) ni el de inclinación sacra (SS), debido a que no se realizó reducción o ésta fue parcial, pero significativamente decreció el ángulo de inclinación pélvica PT y aumentó el ángulo de deslizamiento lumbosacro (SA), lo que indicaba que al final del seguimiento la pelvis había aumentado su balance, según los criterios de Hresko et al (2007).

Boachie-Adjei et al (2002), en una revisión de 6 pacientes con espondilolistesis de alto grado tratados con tornillos transdiscales, seguidos una media de 3,5 años, encontraron que todos los casos mostraban fusión sólida a los 6 meses. Al igual que en nuestro estudio, el ángulo de deslizamiento (SA) mejoró de 62° a 28°, mientras que no había un cambio significativo del porcentaje de deslizamiento (89%-80%) o de la inclinación sacra (28°-37°). No observaron complicaciones neurológicas y los resultados funcionales fueron satisfactorios.

Resultados funcionales

Clínicamente, en nuestro estudio los resultados fueron significativamente mejores en el grupo transdiscal que en el pedicular convencional, tanto respecto a la evaluación clínica y funcional mediante la escala ODI y COMI, como respecto a la

calidad de vida con el cuestionario SF12. Sin embargo no había diferencia significativa respecto a la intensidad del dolor en la última evaluación o a la tasa de retorno a las ocupaciones habituales previas a la intervención.

Estas diferencias clínicas también fueron comprobadas en nuestro estudio mediante la valoración biomecánica en la realización de ejercicios que comportaban esfuerzo sobre la columna lumbar.

Nuestros hallazgos clínicos confirman lo aportado en las escasas series previas. Francois et al (2005), estudiando 4 pacientes, observaron que la construcción transdiscal era igual de fuerte que la clásica fusión circunferencial, con la ventaja de la facilidad de su ejecución, utilización de instrumentación convencional y menor tasa de riesgos. Así mismo, observaron la formación de hueso en el espacio discal L5-S1 sin haber realizado discectomía ni aporte de injerto intervertebral. Logroscino et al (2012) compararon en 30 pacientes la fusión in situ instrumentada con tornillos pediculares combinados con tornillos transdiscales y la instrumentación de tornillos pediculares combinado con fusión intersomática posterolateral. Observaron que los tornillos transdiscales aportaban una adecuada estabilidad mecánica para favorecer una fusión sólida con una baja incidencia de complicaciones neurológicas, y que esos pacientes tenían mejor resultado funcional, con más rápida recuperación y retorno a sus actividades a los 3-6 meses. Rodriguez et al (2008) compararon retrospectivamente 20 pacientes tratados con tornillos transdiscales con otros 20 pacientes tratados con fusión intersomática lumbar trasforaminal, en espondilolistesis de alto grado. En el primer grupo se obtuvo la fusión en todos los casos a los 6 meses de seguimiento y en el segundo grupo en el 95%. La tasa de complicaciones era similar en ambos grupos, sin secuelas neurológicas.

Otros estudios han asociado tornillos transdiscales L5-S1 a otras técnicas de fijación, a fin de aumentar la estabilidad de la columna anterior. Bartolozzi et al (2003) asociaban los tornillos transdiscales a una caja intervertebral por vía posterior, con buenos resultados. Grob et al (1996) utilizaba aisladamente los tornillos transdiscales L5-S1, sin asociarlo a instrumentación pedicular en la vértebra proximal, técnica también utilizada por Zagra et al (2009) con resultados satisfactorios a largo plazo.

Seguridad de la técnica transdiscal

Respecto a la seguridad de la fijación convencional, en nuestro estudio hubo un caso de rotura de la duramadre intraoperatoria, que fue reparada sin secuelas posteriores. Esta es una complicación potencial en cualquier tipo de cirugía de raquis. Por otro lado, la tasa de complicaciones neurológicas con la fijación transdiscal fue muy escasa, con 2 pacientes presentando irritación transitoria de las raíces L5 que se resolvieron sin secuelas, y otro paciente con un déficit parcial de la raíz L4 debido a rotura de una barra. Por el contrario, con la técnica de fijación convencional hubo 3 pacientes que desarrollaron un déficit permanente parcial de las raíces L5. Respecto a la necesidad de reintervención, en el grupo transdiscal sólo un caso, ya citado, del paciente que requirió la extracción de un tornillo sacro malposicionado que producía irritación radicular. En el grupo de fijación pedicular convencional se requirió reintervención en los 4 casos con pseudoartrosis sintomática.

Limitaciones del estudio

Este estudio tiene varias limitaciones. En primer lugar, las inherentes a cualquier estudio retrospectivo en cuanto a calidad de las evidencias aportadas. Esto es fundamentalmente debido a la relativa baja prevalencia de la enfermedad, que exigiría un plazo dilatado de inclusión y gran esfuerzo de seguimiento, razón por lo que todos los estudios previos en la literatura internacional son también retrospectivos. No obstante, en nuestro estudio los datos de los pacientes y sus resultados a medio plazo habían sido recogidos prospectivamente, de acuerdo al protocolo de la Unidad de Raquis.

Otra limitación es su tamaño moderado, como en la mayoría de los estudios previos debido a la citada baja prevalencia. No obstante, nuestro estudio presenta una serie de fijación transdiscal de mayor tamaño a las previamente publicadas. Además, se incluyeron todos los pacientes consecutivos y no hubo pérdidas de seguimiento.

Aunque el seguimiento era a medio plazo, este era de un mínimo de 2 años, superior a los previamente publicados. No obstante debido a este postoperatorio relativamente corto, cabe la posibilidad de que los resultados pudiesen variar a

más largo plazo, aunque la mayoría de autores coinciden en que no suelen producirse variaciones mecánicas o sintomáticas pasado ese tiempo.

Respecto al estudio biomecánico, el pequeño tamaño de las muestras debido a los costes de su realización hacen que los resultados obtenidos deban tomarse con precaución, pues el estudio no tenía la suficiente potencia estadística. Así, no podemos asegurar que los resultados fueran diferentes si se aumentase el tamaño de las muestras.

Por último, en este estudio no se empleó una instrumentación homogénea, debido a disponibilidad económica en el Hospital, pero todas eran similares y de acuerdo al estándar más actual en este tipo de intervenciones.

Las ventajas de este estudio son que, a nuestro entender, éste es el primer estudio clínico comparando los resultados de la fijación transdiscal con el patrón oro de la fijación pedicular convencional para la espondilolistesis ístmica de alto grado en pacientes menores de 60 años. Así mismo, todas las intervenciones fueron realizadas por sólo dos equipos con amplia experiencia en la cirugía del raquis y especialmente en la deformidad de estudio.

A la vista de lo anterior, las ventajas teóricas biomecánicas y clínicas de la fijación transdiscal no pueden ser todavía plenamente demostradas, al no disponerse de suficientes evidencias de adecuada calidad, pero los resultados clínicos y radiográficos parecen ser prometedores. Lo que justifica la realización de más estudios de calidad.

VII. CONCLUSIONES

A la vista de los resultados de este estudio comparativo de casos y controles, y teniendo en cuenta las limitaciones citadas, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

Primera: ambas técnicas son igualmente efectivas para aliviar el dolor, tanto lumbar como irradiado al miembro inferior, y favorecer el retorno a las actividades previas.

Segunda: no obstante, la fijación transdiscal, aporta significativamente mejores resultados clínicos y de reducción del grado de discapacidad funcional, sin que haya un deterioro de los resultados a un mínimo de 2 años de seguimiento postoperatorio.

Tercera: la fijación transdiscal mejora significativamente en mayor medida la calidad de vida, tanto referida esta al estado general de salud como al debido a la región lumbar, lo cual es importante dada la edad media de los pacientes.

Cuarta: la fijación transdiscal tiene un mejor comportamiento biomecánico al realizar actividades que comporten esfuerzo lumbar, reduciendo la actitud de estrategias para reducir dicho esfuerzo, lo que es más acorde con la normalidad.

Quinta: con la fijación transdiscal es posible obtener una alta tasa de fusión ósea y reducir el riesgo de progresivo deslizamiento, significativamente mayor que con la fijación pedicular convencional.

Sexta: además, la fijación transdiscal mantiene a un plazo medio de 3,5 años, e incluso mejora en muchos casos, el balance espinopélvico determinado por los parámetros radiográficos.

Séptima: las dos conclusiones anteriores parecen sugerir que la fijación transdiscal, con una simple vía posterior, aporta una construcción mecánica capaz de proporcionar la necesaria estabilidad a las tres columnas en tanto se produce la fijación ósea.

Octava: la técnica de fijación transdiscal es un procedimiento seguro para la estabilización quirúrgica de la espondilolistesis de alto grado, con una muy baja tasa de complicaciones neurológicas mayores, menor que con la fijación convencional.

Novena: la fijación transdiscal requiere de un equipamiento estándar y de bajo coste, sin necesidad de otros más extensos, novedosos o experimentales.

Décima: no obstante, aunque el acceso quirúrgico es convencional y relativamente fácil, la correcta posición de los tornillos transdiscales comporta cierta dificultad, experiencia y curva de aprendizaje.

VIII. REFERENCIAS

1. **Abdu W, Wilber R, Emery S.** Pedicular transvertebral screw fixation of the lumbosacral spine in spondylolisthesis. *Spine* 1994;19:710-715.
2. **Agabegi SS, Fischgrund JS.** Contemporary management of isthmic spondylolisthesis: pediatric and adult. *Spine J.* 2010;10:530–543.
3. **Aghayev K, Gonzalez-Blohm SA, Doulgeris JJ, Lee WE 3rd, Waddell JK, Vrionis FD.** Feasibility and biomechanical performance of a novel transdiscal screw system for one level in non-spondylolisthetic lumbar fusion: an in vitro investigation. *Spine J* 2014;14:705-713.
4. **Alcántara-Bumbiedro S, Flórez-García MT, Echávarri-Pérez C, García-Pérez F.** Escala de incapacidad por dolor lumbar de Oswestry. *Rehabilitación* 2006;40:150-158.
5. **Alonso J, Prieto L, Anto JM.** La versión española del SF-36 Health Survey (Cuestionario de Salud SF-36): un instrumento para la medida de los resultados clínicos. *Med Clin (Barc)* 1995;104:771-776.
6. **Amuso SJ, Neff RS, Coulson DB, Laing PG.** The surgical treatment of spondylolisthesis by posterior element resection. *J Bone Joint Surg Am* 1970; 52:529-536.
7. **Anderson PA, Tribus CB, Kitchel SH.** Treatment of neurogenic claudication by interspinous decompression: application of the X-Stop device in patients with lumbar degenerative spondylolisthesis. *J Neurosurg Spine* 2006;4:463-471.
8. **Andersson GBM, Nachemson A, Ortengren R.** Measurements of back loads in lifting. *Spine.* 1976;1:178-185.
9. **Ani N, Keppler L, Biscup RS, Steffee AD.** Reduction of high-grade slips (grades III-V) with VSP instrumentation: report of a series of 41 cases. *Spine.* 1991;16(Suppl 6):302–310.
10. **Antonaides SB, Hammerberg KW, DeWald RL.** Sagittal plane configuration of the sacrum in spondylolisthesis. *Spine* 2000;25:1085-1091.

11. **Bartolozzi P, Sandri A, Cassini M, Ricci M.** One-stage posterior decompression-stabilization and trans-sacral interbody fusion after partial reduction for severe L5-S1 spondylolisthesis. *Spine*. 2003;28:1135-1141.
12. **Birch JG, Herring JA, Maravilla KR.** Splitting of the intervertebral disc in spondylolisthesis. A magnetic resonance imaging finding in two cases. *J Pediatr Orthop* 1986;6:609-611.
13. **Bjarke Christensen F, Stender Hansen E, Laursen M, Thomsen K, B"unger CE.** Long-term functional outcome of pedicle screw instrumentation as a support for posterolateral spinal fusion: randomized clinical study with a 5-year follow-up. *Spine* 2002;27:1269-1277.
14. **Boachie-Adjei O, Do T, Rawlins BA.** Partial lumbosacral kyphosis reduction, decompression, and posterior lumbosacral transfixation in high-grade isthmic spondylolisthesis: clinical and radiographic results in six patients. *Spine* 2002;27:161-168.
15. **Boden SD, Riew KD, Yamaguchi K, Branch TP, Schellinger D, Wiesel SW.** Orientation of the lumbar Facet joints: association with degenerative disc disease. *J Bone Joint Surg Am* 1996;78:403-411.
16. **Bohlman HH, Cook SS.** One-stage decompression and posterolateral and interbody fusion for lumbosacral spondyloptosis through a posterior approach: report of two cases. *J Bone Joint Surg Am*. 1982;64:415-418.
17. **Boos N, Marchesi D, Zuber K, Aebi M.** Treatment of severe spondylolisthesis by reduction and pedicular fixation: a 4-6-year follow-up study. *Spine*. 1993;18:1655-1661.
18. **Boxall D, Bradford DS, Winter RB, Moe JH.** Management of severe spondylolisthesis in children and adolescents. *J Bone Joint Surg Am* 1979;61:479-495.
19. **Bradford DS, Boachie-Adjei O.** Treatment of severe spondylolisthesis by anterior and posterior reduction and stabilization. *J Bone Joint Surg Am*. 1990;72:1060-1066.
20. **Bradford DS, Gotfried Y.** Staged salvage reconstruction of grade IV and V spondylolisthesis. *J Bone Joint Surg Am*. 1987;69:191-202.

21. **Bradford DS, Iza J.** Repair of the defect in spondylolysis or minimal degrees of spondylolisthesis by segmental wire fixation and bone grafting. *Spine*. 1985; 10:673-9.
22. **Burkus JK, Lonstein JE, Winter RB, Denis F.** Long-term evaluation of adolescents treated operatively for spondylolisthesis: a comparison of in situ arthrodesis only with in situ arthrodesis and reduction followed by immobilization in a cast. *J Bone Joint Surg Am*. 1992;74:693-704.
23. **Chell J, Quinnell RC.** Transvertebral pedicle fixation in severe grade spondylolisthesis: Report of three cases. *J Neurosurg* 2001;95(Suppl 1):105-107.
24. **Cheung EV, Herman MJ, Cavalier R, Pizzutillo PD.** Spondylolysis and spondylolisthesis in children and adolescents II: surgical management. *J Am Acad Orthop Surg* 2006;14:488-498
25. **Cohen J.** Statistical power analysis for the behavioral sciences (2^a ed.). Hillsdale, NJ: Erlbaum, 1988.
26. **Colombier P, Clouet J, Hamel O, Lescaudron L, Guicheux J.** The lumbar intervertebral disc: from embryonic development to degeneration. *Joint Bone Spine* 2014; 81: 125-9.
27. **Denis F.** Spinal instability as defined by the three-column spine concept in acute spinal trauma. *Clin Orthop Relat Res*. 1984;189:65-76.
28. **DeWald CJ, Vartabedian JE, Rodts MF, Hammerberg KW.** Evaluation and management of high-grade spondylolisthesis in adults. *Spine* 2005;30(Suppl 6):49-59.
29. **Deyo R, Battie M, Beurskens A, Bombardier C, Croft P, Koes B, et al.** Outcome measures for low back pain research: a proposal for standardised use. *Spine* 1998;23:2003-2013.
30. **Dimar JR, Hoffman G.** Grade 4 spondylolisthesis. Two-stage therapeutic approach of anterior vertebrectomy and anterior-posterior fusion. *Orthop Rev*. 1986; 15 : 504-9.
31. **Dubousset J.** Treatment of spondylolysis and spondylolisthesis in children and adolescents. *Clin Orthop Relat Res* 1997;337:77-85.

32. **Duval-Beaupère G, Schmidt C, Cosson PH.** A Barycentremetric study of the sagittal shape of spine and pelvis: the conditions required for an economic standing position. *Ann Biomed Eng* 1992;20:451-462.
33. **Ekman P, Möller H, Hedlund R.** The long-term effect of posterolateral fusion in adult isthmic spondylolisthesis: a randomized controlled study. *Spine J.* 2005;5:36-44.
34. **Ekman P, Möller H, Tullberg T, Neumann P, Hedlund R.** Posterior lumbar interbody fusion versus posterolateral fusion in adult isthmic spondylolisthesis. *Spine* 2007;32:2178-2183.
35. **Epstein, J.A., Epstein, B.S., Lavine, L.S., Carras, R., Rosenthal, A.D.** Degenerative lumbar spondylolisthesis with an intact neural arch (pseudospondylolisthesis). *J. Neurosurg* 1976;44:139-147.
36. **Faciszewski T, Winter RB, Lonstein JE, Denis F, Johnson L.** The surgical and medical perioperative complications of anterior spinal fusion surgery in the thoracic and lumbar spine in adults: a review of 1223 procedures. *Spine.* 1995;20:1592-1599.
37. **Fairback JC, Pynsent PB.** The Oswestry Disability Index. *Spine* 2000;25:2940-2952.
38. **Ferrer M, Pellisé F, Escudero O, Alvarez L, Pont A, Alonso J, Deyo R.** Validation of a minimum outcome core set in the evaluation of patients with back pain. *Spine* 2006;31:1372-1379.
39. **Floman Y.** Progression of lumbosacral isthmic spondylolisthesis in adults. *Spine.* 2000; 25:342-7.
40. **François J, Lauweryns P, Fabry G.** Treatment of high-grade spondylolisthesis by posterior lumbosacral transfixation with transdiscal screws: surgical technique and preliminary results in four cases. *Acta Orthop Belg* 2005;71:334-341.
41. **Fritzell P, Hagg O, Nordwall A.** Complications in lumbar fusion surgery for chronic low back pain: comparison of three surgical techniques used in a prospective randomized study. A report from the Swedish Lumbar Spine Study Group. *Eur Spine J.* 2003;12:178-189.
42. **Gilbert SF (ed.).** Developmental biology. 8^a ed. Sinauer Ass: Sunderland. 2006.

43. **Gill GG, Manning JC, White HL.** Surgical treatment of spondylolisthesis without spine fusion; excision of the loose laminae with decompression of the nerve roots. *J Bone Joint Surg Am* 1955;37:493-520.
44. **Gregory PL, Batt ME, Kerslake RW, Scammell BE, Webb JF.** The value of combining single photon emission computerised tomography and computerized tomography in the investigation of spondylolysis. *Eur Spine J* 2004;13:503-509.
45. **Grob D, Humke T, Dvorak J.** Direct pediculo-body fixation in cases of spondylolisthesis with advanced intervertebral disc degeneration. *Eur Spine J* 1996;5:281-285.
46. **Guyatt GH, Townsend M, Berman LB, Keller JL.** A comparison of Likert and visual analogue scales for measuring change in function. *J Chronic Dis* 1987;40:1129-1133.
47. **Hanson DS, Bridwell KH, Rhee JM, Lenke LG.** Correlation of pelvic incidence with low- and high-grade isthmic spondylolisthesis. *Spine.* 2002;27:2026-2029.
48. **Harris I, Weinstein S.** Long term follow up of patients with grade III and IV spondylolisthesis. *J Bone Joint Surg Am.* 1987;69:960-969.
49. **Hibbs RA.** An operation for progressive spinal deformities: a preliminary report of three cases from the service of the orthopaedic hospital. *NY Med J* 1911; 93:1013-1016.
50. **Hresko MT, Labelle H, Roussouly P, Berthonnaud E.** Classification of high-grade spondylolistheses based on pelvic version and spine balance: possible rationale for reduction. *Spine* 2007;32:2208-2213.
51. **Hu SS, Bradford D, Transfeldt E, Cohen M.** Reduction of high grade spondylolisthesis using Edwards instrumentation. *Spine.* 1996;21:367-371.
52. **Hu SS, Tribus CB, Diab M, Ghanayem AJ.** Spondylolisthesis and spondylolysis. *J Bone Joint Surg* 2008;90:656-671.
53. **Jacobs WC, Vreeling A, De Kleuver M.** Fusion for low-grade adult isthmic spondylolisthesis: a systematic review of the literature. *Eur Spine J* 2006;15:391-402.
54. **Jones TR, Rao RD.** Adult Isthmic spondylolisthesis. *J Am Acad Orthop Surg* 2009;17:609-617.

55. **Junghanns H.** Spondylolisthesen ohne spalt in zwischengelenstuck (Pseudospondylolisthesen). Arch Orthop Unfallchir 1930;29:118-127.
56. **Jutte PC, Castelein RM** Complications of pedicle screws in lumbar and lumbosacral fusions in 105 consecutive primary operations. Eur Spine J. 2002;11:594-598.
57. **Kakiuchi M.** Repair of the defect in spondylolysis: durable fixation with pedicle screws and laminar hooks. J Bone Joint Surg Am 1997;79:818-825.
58. **Kalichman I, Kim DH, Li L, Guermazi A, Berkin V, Hunter DJ.** Spondylolysis and Spondylolisthesis: prevalence and association with low back pain in the adult community-based population. Spine 2009; 34: 199-205 .
59. **Kapandji IA.** Fisiología articular. Ed panamericana: Barcelona. 2007.
60. **Kilian HF.** Schilderungen neuer beckenformen un ihres verhaltens im leben. Mannheim: Bassermann und Mathy. 1854.
61. **Koblentz R.** Eine eigenthümliche angeborene lordose, wahrscheinlich bedingt durch eine verschiebung des koerpes des letzten lendenwirbels auf die wordere flashe des ersten kreuzbeinwirbels (spondylolisthesis, Kilian) nebst bemerkungen über die mechanik dieser beckenformation. Monatschr Geburtskunde Frauenkrank 1885;5:891-984.
62. **Kwon BK, Hilibrand AS, Malloy K, Savas PE, Silva MT, Albert TJ, Vaccaro AR.** A critical analysis of the literature regarding surgical approach and outcome for adult low-grade isthmic spondylolisthesis. J Spinal Disord Tech 2005;18(suppl):30-40.
63. **Labelle H, Mac-Thiong JM, Roussouly P.** Spino-pelvic sagittal balance of spondylolisthesis: a review and classification. Eur Spine J 2011;20 (Suppl5):641-646.
64. **Labelle H, Roussouly P, Berthonnaud E, Dimnet J, O'Brien M.** The importance of spino-pelvic balance in L5-S1 developmental spondylolisthesis: a review of pertinent radiologic measurements. Spine 2005;30(Suppl 6):27-34.
65. **Labelle H, Roussouly P, Berthonnaud E, Transfeldt E, O'Brien M, Chopin D, Hresko T, Dimnet J.** Spondylolisthesis, pelvic incidence, and spinopelvic balance: a correlation study. Spine. 2004;29:2049-54.

66. **Lakshmanan P, Ahuja S, Lewis M, Howes J, Davies PR.** Transsacral screw fixation for high-grade spondylolisthesis. *Spine J* 2009;9:1024-1029.
67. **Lamartina C.** Posterior instrumentation, reduction and fusion in spondyloptosis. *Eur Spine J* 2010;19:1799-1800.
68. **Lamberg T, Remes V, Helenius I, Schlenzka D, Seitsalo S, Poussa M.** Uninstrumented in situ fusion for high-grade childhood and adolescent isthmic spondylolisthesis: long-term outcome. *J Bone Joint Surg Am.* 2007;89:512-518.
69. **Landi A, Marotta N, Mancarella C, Tarantino R, Delfini R.** Trans-sacral screw fixation in the treatment of high dysplastic developmental spondylolisthesis. *World J Clin Cases* 2013;1:116-120.
70. **Larsen W.** Human embryology. Churchill Livingstone: New York. 1993.
71. **Latarjet M, Ruiz Liard A** (ed). Anatomía humana. V. 1, 14^a edición. Ed Médica Panamericana: Buenos Aires. 2004, p. 43.
72. **Latarjet M, Ruiz Liard A.** Articulaciones de la columna vertebral. En Latarjet M, Ruiz Liard A. Anatomía humana. 4.a ed. Ed Médica Panamericana; 2007:45-51.
73. **Lauber S, Schulte TL, Liljenqvist U, Halm H, Hackenberg L.** Clinical and radiologic 2-4-year results of transforaminal lumbar interbody fusion in degenerative and isthmic spondylolisthesis grades 1 and 2. *Spine* 2006;31:1693-1698.
74. **Laurent LE, Osterman K.** Operative treatment of spondylolisthesis in young patients. *Clin Orthop Relat Res.* 1976;117:85-91.
75. **Laursen M, Thomsen K, Eiskjaer SP, Hansen ES, Bünger CE.** Functional outcome after partial reduction and 360 degree fusion in grade III-V spondylolisthesis in adolescent and adult patients. *J Spinal Disord.* 1999;12:300-306.
76. **Lee GW, Lee SM, Ahn MW, Kim HJ, Yeom JS.** Comparison of posterolateral lumbar fusion and posterior lumbar interbody fusion for patients younger than 60 years with isthmic spondylolisthesis. *Spine* 2014;39:E1475-480.
77. **Lenke LG, Bridwell KH, Bullis D, Betz RR, Baldus C, Schoenecker PL.** Results of in situ fusion for isthmic spondylolisthesis. *J Spinal Disord.* 1992;5:433-442.

78. **Li Y, Hresko MT.** Radiographic analysis of spondylolisthesis and sagittal spinopelvic deformity. *J Am Acad Orthop Surg* 2012;20:194-205.
79. **Logroscino CA, Tamburrelli FC, Scaramuzza L, Schirò GR, Sessa S, Proietti L.** Transdiscal L5-S1 screws for the treatment of adult spondylolisthesis. *Eur Spine J.* 2012;21(Suppl 1):128-133
80. **Lonstein JE.** Spondylolisthesis in children: cause, natural history, and management. *Spine* 1999;24:2640-2648.
81. **Macnab I.** Spondylolisthesis with an intact neural arch; the so-called pseudo-spondylolisthesis. *J Bone Joint Surg Br* 1950;32:325-333.
82. **Madan S, Boeree NR.** Outcome of posterior lumbar interbody fusion versus posterolateral fusion for spondylolytic spondylolisthesis. *Spine* 2002;27:1536-1542.
83. **Mahato NK.** Trabecular bone structure in lumbosacral transitional vertebrae: distribution and densities across sagittal vertebral body segments. *Spine J* 2013; 13: 932-937.
84. **Majd ME, Holt RT.** Anterior fibular strut grafting for the treatment of pseudoarthrosis in spondylolisthesis. *Am J Orthop.* 2000;29:99-105.
85. **Marchetti PG, Bartolozzi PB.** Classification of spondylolisthesis as a guideline for treatment. En Bridwell KH, DeWald RL, eds. *The Textbook of Spinal Surgery.* 2nd ed. Philadelphia, PA: Lippincott-Raven Publishers; 1997. p. 1211-54.
86. **Maurice HD, Morley TR.** Cauda equina lesions following fusion in situ and decompressive laminectomy for severe spondylolisthesis: four case reports. *Spine* 1989;14:214-216.
87. **McClure PW, Esola M, Schreier R, Siegler S.** Kinematic analysis of lumbar and hip motion while rising from a forward, flexed position in patients with and without a history of low back pain. *Spine.* 1997;22:552-558.
88. **Meyerding H.** Spondylolisthesis. *Surg Gynecol Obstet* 1932;54:371-377.
89. **Minamide A, Akamaru T, Yoon ST, Tamaki T, Rhee JM, Hutton WC.** Transdiscal L5-S1 screws for the fixation of isthmic spondylolisthesis: a biomechanical evaluation. *J Spinal Disord.* 2003;16:144-149.
90. **Miralles RC, Puig M (ed.).** *Biomecánica Clínica del Aparato Locomotor.* Masson: Barcelona. 1998.

91. **Molinari RW, Bridwell KH, Lenke LG, Baldus C.** Anterior column support in surgery for high-grade, isthmic spondylolisthesis. *Clin Orthop Relat Res.* 2002;394:109-120.
92. **Molinari RW, Bridwell KH, Lenke LG, Ungacta FF, Riew KD.** Complications in the surgical treatment of pediatric highgrade, isthmic dysplastic spondylolisthesis: A comparison of three surgical approaches. *Spine* 1999;24:1701-1711.
93. **Nachemson A.** The lumbar spine: an orthopaedic challenge. *Spine.* 1976;1:59-71.
94. **Nazarian S.** Spondylolysis and spondylolytic spondylolisthesis. *Eur Spine J* 1992;1:62-83.
95. **Neugebauer FI.** A new contribution to the history and etiology of spondylolisthesis. The New Sydenham Society, London, 1888:121. Reprinted in *Clin Orthop Relat Res* 1976;117:4-22.
96. **Newman P, Stone K.** The etiology of spondylolisthesis with a special investigation. *J. Bone Joint Surg Br* 1963;45:39-59.
97. **O'Brien JP, Mehdian H, Jaffray D.** Reduction of severe lumbosacral spondylolisthesis: a report of 22 cases with a ten-year follow-up period. *Clin Orthop Relat Res.* 1994;300:64-69.
98. **Ogilvie JW.** Complications in spondylolisthesis surgery. *Spine* 2005;30(Suppl 6):97-101.
99. **Panjabi MM, White AA 3rd.** Basic biomechanics of the spine. *Neurosurgery* 1980; 7: 76-93.
100. **Petraco DM, Spivak JM, Cappadona JG, Kummer FJ, Neuwirth MG.** An anatomic evaluation of L5 nerve stretch in spondylolisthesis reduction. *Spine* 1996;21:1133-1138.
101. **Phalen GS, Dickson JA.** Spondylolisthesis and tight hamstrings. *J Bone Joint Surg Am* 1961;43:505-512.
102. **Pope MH.** Biomechanics of the lumbar spine. *Ann Med* 1989; 21: 347-351.
103. **Poussa M, Remes V, Lamberg T, Tervahartiala P, Schlenzka D, Yrjönen T, Osterman K, Seitsalo S, Helenius I.** Treatment of severe

- spondylolisthesis in adolescence with reduction or fusion in situ: long-term clinical, radiologic, and functional outcome. *Spine*. 2006;31:583-590.
104. **Rajaraman V, Vingan R, Roth P, Heary RF, Conklin L, Jacobs GB.** Visceral and vascular complications resulting from anterior lumbar interbody fusion. *J Neurosurg*. 1999;91(Suppl 1):60-64.
 105. **Rivet DJ, Jeck D, Brennan J, Epstein A, Laurysen C.** Clinical outcomes and complications associated with pedicle screw fixation-augmented lumbar interbody fusion. *J Neurosurg Spine*. 2004;1:261-266.
 106. **Roca J, Ubierna MT, Caceres E, Iborra M.** One-stage decompression and posterolateral and interbody fusion for severe spondylolisthesis: an analysis of 14 patients. *Spine*. 1999;24:709-714.
 107. **Rodriguez-Olaverri JC1, Zimick NC, Merola A, Vicente J, Rodriguez J, Tabuena A, Loste A, Suñen E, Burgos J, Hevia E, Piza-Vallespir G.** Comparing the clinical and radiological outcomes of pedicular transvertebral screw fixation of the lumbosacral spine in spondylolisthesis versus unilateral transforaminal lumbar interbody fusion (TLIF) with posterior fixation using anterior cages. *Spine* 2008;33:1977-1981.
 108. **Roebroek ME, Doorenbosch CA, Harlaar J, Jacobs R, Lankhorst GJ.** Biomechanics and muscular activity during sit to stand transfer. *Clin Biomech*. 1994;9:235-244.
 109. **Rouvière H, Delmas A, Delmas V** (ed.). *Anatomía humana: descriptiva, topográfica y funcional*. 9ª ed, V.2 y 11 . Masson: Barcelona.1996.
 110. **Roy Camille R, Roy-Camille M, Demeulenaere C.** Osteosynthesis of dorsal, lumbar, and lumbosacral spine with metallic plates screwed into vertebral pedicles and articular apophyses. *Presse Med* 1970;78:1447-1448.
 111. **Sagi HC, Jarvis JG, Uhthoff HK.** Histomorphologic analysis of the development of the pars interarticularis and its association with isthmic spondylolysis. *Spine* 1998; 23: 1635-1639.
 112. **Saraste H.** Spondylolysis and spondylolisthesis. *Acta Orthop Scand* 1993;251: 84-86.

113. **Scoles PV, Linton AE, Latimer B, Levy ME, Digiovanni BF.** Vertebral body and posterior element morphology: The normal spine in middle life. *Spine* 1988;13:1082-1086.
114. **Seitsalo S, Osterman K, Poussa M.** Scoliosis associated with lumbar spondylolisthesis. A clinical survey of 190 young patients. *Spine* 1988;13: 899-904.
115. **Shirado O, Zdeblick T, McAfee P, Warden KE.** Biomechanical evaluation of methods of posterior stabilization of the spine and posterior lumbar interbody arthrodesis for lumbosacral isthmic spondylolisthesis. *J Bone Joint Surg Am.* 1991;73:518–526.
116. **Smith JA, Deviren V, Berven S, Kleinstueck F, Bradford DS.** Clinical outcome of transsacral interbody fusion after partial reduction for high-grade L5-S1 spondylolisthesis. *Spine.* 2001;26:2227-22234.
117. **Smith MD, Bohlman HH.** Spondylolisthesis treated by a single-stage operation combining decompression with in situ posterolateral and anterior fusion: an analysis of eleven patients who had long-term follow-up. *J Bone Joint Surg Am.* 1990;72:415–421.
118. **Spruit M, van Jonbergen JP, de Kleuver M.** A concise follow-up of a previous report: Posterior reduction and anterior lumbar interbody fusion in symptomatic low-grade adult isthmic spondylolisthesis. *Eur Spine J* 2005;14:828-832.
119. **St Clair S, Tan JS, Lieberman I.** Oblique lumbar interbody fixation: a biomechanical study in human spines. *J Spinal Disord Tech.* 2012;25:183-189.
120. **Suk SI, Lee CK, Kim WJ, Lee JH, Cho KJ, Kim HG.** Adding posterior lumbar interbody fusion to pedicle screw fixation and posterolateral fusion after decompression in spondylolytic spondylolisthesis. *Spine.* 1997;22:210–220.
121. **Taillard WF.** Les spondylolisthesis chez l'enfant et l'adolescent: eEtude de 50 cas. *Acta Orthop Scand* 1955;24:115-44.
122. **Thomsen K, Christensen FB, Eiskjaer SP, Hansen ES, Fruensgaard S, Bünger CE.** The effect of pedicle screw instrumentation on functional

- outcome and fusion rates in posterolateral lumbar spinal fusion: a prospective, randomized clinical study. *Spine*. 1997;22:2813–2822.
123. **Transfeldt EE, Mehbood AA.** Evidence-based medicine analysis of isthmic spondylolisthesis treatment including reduction versus fusion in situ for high-grade slips. *Spine*. 2007;32(Suppl 19):126-129.
124. **Vaccaro AR, Ring D, Scuderi G, Cohen DS, Garfin SR.** Predictors of outcome in patients with chronic back pain and low-grade spondylolisthesis. *Spine*. 1997;22:2030–2034.
125. **Vaz G, Roussouly P, Berthonnaud E, Dimnet J.** Sagittal morphology and equilibrium of pelvis and spine. *Eur Spine J* 2002;11:80-87.
126. **Vialle R, Levassor N, Rillardon L, Templier A, Skalli W, Guigui P.** Radiographic analysis of the sagittal alignment and balance of the spine in asymptomatic subjects. *J Bone Joint Surg Am* 2005;87:260-267.
127. **Wang JC, Mummaneni PV, Haid RW.** Current treatment strategies for the painful lumbar motion segment posterolateral fusion versus interbody fusion. *Spine* 2005;30 (Suppl 16):33–43.
128. **Wang Z, Parent S, de Guise JA, Labelle H.** A variability study of computerized sagittal sacral radiologic measures. *Spine* 2010;35:71-75.
129. **Ware JE Jr, Kosinski M, Keller SD.** A 12-Item Short-Form Health Survey: construction of scales and preliminary tests of reliability and validity. *Med Care* 1996;34:220-233.
130. **Watkins MB.** Posterolateral fusion of the lumbar and lumbosacral spine. *J Bone Joint Surg Am* 1953;35:1014-1018.
131. **Whitney SL, Wrisley DM, Marchetti GF, Gee MA, Redfern MS, Furman JM.** Clinical measurement of sit to stand performance in people with balance disorders: validity of data for the five-times sit to stance test. *Phys Ther*. 2005;85:1034-1045.
132. **Whyne CM, Hu SS, Klisch S, Lotz JC.** Effect of the pedicle and posterior arch on vertebral body strength predictions in finite element modeling. *Spine* 1998; 23: 899-907.
133. **Wiltse LL, Newman PH, Macnab I.** Classification of spondylolysis and spondylolisthesis. *Clin Orthop* 1976;117:23-29.

134. **Wood GW II, Boyd RJ, Carothers TA, Mansfield FL, Rechtine GR, Rozen MJ, Sutterlin CE 3rd.** The effect of pedicle screw/plate fixation on lumbar/lumbosacral autogenous bone graft fusions in patients with degenerative disc disease. *Spine*. 1995;20:819–830.
135. **Yantzer BK, Freeman TB, Lee WE 3rd, Nichols T, Inamasu J, Guiot B, Johnson WM.** Torsion-induced pressure distribution changes in human intervertebral discs: an in vitro study. *Spine* 2007; 32: 881-884.
136. **Zagra A, Giudici F, Minoia L, Corriero AS, Zagra L.** Long-term results of pediculo-body fixation and posterolateral fusion for lumbar spondylolisthesis. *Eur Spine J*. 2009;18(Suppl 1):151–155.





IX ANEXO. ARTÍCULO

TRANSDISCAL SCREW VERSUS PEDICLE SCREW FIXATION FOR HIGH-GRADE L5-S1 ISTHMIC SPONDYLOLISTHESIS IN PATIENTS YOUNGER THAN 60 YEARS. A CASE-CONTROL STUDY.

European Spine Journal (Eur Spine J). 2016; 25: 1806–1812.

DOI 10.1007/s00586-016-4550-0

Authors:

Isabel Collados-Maestre^a, Alejandro Lizaur-Utrilla^b, Teresa Bas-Hermida^c, Esther Pastor-Fernandez^c, Vicente Gil-Guillen^d

^a Elda University Hospital, Ctra. Elda-Sax s/n, 03600 Elda, Spain

^b Orthopaedic Surgery, Faculty of Medicine, Miguel Hernandez University, Elda University Hospital, Ctra. Elda-Sax s/n, 03600 Elda, Spain

^c Spine Surgery Unit, La Fe University Hospital, Av. Fernando Abril Martorell 106, 46026 Valencia, Spain

^d Clinical Research Unit, Elda Health Department, Ctra. Elda-Sax s/n, 03600 Elda, Spain

Corresponding Author's:

Dr. A. Lizaur-Utrilla

ABSTRACT

Purpose: To compare outcomes between transdiscal and conventional pedicle fixation for high-grade L5-S1 spondylolisthesis.

Methods: This was a retrospective case-control study with patients prospectively followed. Twenty-five consecutive patients with mean age of 36.7 years underwent transdiscal fixation, and 31 other with mean age of 42.0 years to pedicle fixation were clinically and radiographically compared. Clinical assessments were performed using Oswestry Disability Index (ODI), Core Outcomes Measures Index (COMI), Short-Form 12 (SF-12), and pain visual analogue scale (VAS). Radiographic spinopelvic parameters were also evaluated. The mean follow-up was 2.7 years (range 2.0-5.3)

Results: Preoperative data were comparable between groups. Surgery time, blood loss, and hospital stay were similar between groups. At last follow-up, clinical and radiographic outcomes were significantly improved in both groups. Postoperatively, both lumbar and leg pain VAS were similar between groups, but ODI (20.2 vs. 31.6, $p=0.010$), COMI (1.6 vs. 2.8, $p=0.012$), and SF-12 physical (84.3 vs. 61.5, $p=0.004$) and mental (81.5 vs. 69.4, $p=0.021$) scores were significantly better in the transdiscal group. The neurologic complication rate was similar in both groups. There were 4 pseudoarthroses in the pedicle group, and none in the transdiscal group.

Conclusion: L5-S1 transdiscal screw fixation provided better functional and radiographic outcomes at medium-term than conventional pedicle fixation for high-grade spondylolisthesis, although transdiscal sacral screws are difficult to place in correct position.

Keywords: Spondylolisthesis; Sacrolumbar; Transdiscal screw; Transvertebral screw; Transacral screw; Pedicle screw; Outcome.

INTRODUCTION

High grade spondylolisthesis can be a debilitating condition for the patient and present a significant challenge for the surgeon [1]. Today, surgical stabilization of high-grade spondylolisthesis remains controversial. Several surgical techniques have been advocated to deal with symptomatic L5-S1 isthmic spondylolisthesis. Posterolateral fusion with pedicle screw fixation has become increasingly popular over the past years for treatment of spondylolisthesis [2], but it has been also associated with a relatively high rate of pseudoarthrosis and progressive slippage [1].

On the basis of pseudoarthrosis rate and biomechanical considerations [3], alternative L5-S1 transdiscal screwing have been considered. This technique [4] uses the concept of three-column fixation by means of a posterior approach, and the triangular construct potentially provides stability to the anterior column. Many case-series studies of lumbosacral fusion for spondylolisthesis have been reported, but only a few have focused on L5-S1 fixation with transdiscal screws [5-7], and only 2 of these had more than 20 patients [8,9]. In addition, other studies had used transdiscal screwing associated with some other technique of fusion [10-13]. We have not found any study comparing the results between transdiscal and pedicle fixation.

According to the literature [7,8,9], in this study transdiscal fixation was defined as screw placement in the S1 pedicles, across the L5-S1 disc space, and penetrating

into the L5 vertebral body. We hypothesized that the transdiscal fixation was mechanically stronger to resist L5-S1 slipping compared with pedicle fixation, regardless of the fixation level proximal to L5.

The objective of this study was to compare functional and radiographic outcomes between transdiscal and pedicle fixation in patients younger than 60 years with high-grade L5-S1 isthmic spondylolisthesis.

MATERIAL AND METHODS

Patient selection

A retrospective case-control study with patients prospectively followed was conducted to compare the outcomes between L5-S1 transdiscal fixation and conventional pedicle fixation for high-grade L5-S1 spondylolisthesis. The study was approved by our institutional ethical committee, and informed consent was required. All consecutive patients who underwent surgery for spondylolisthesis at our center between January 2007 and December 2012 were eligible for the study. Indications for surgery were chronic low back pain and/or radiating pain of the lower extremity, severity slippage and radiological findings of spondylolisthesis including sagittal balance. In that time, fusion for spondylolisthesis was always instrumented at our department by either using a conventional posterolateral fusion with pedicle screws fixation or stabilization with transdiscal screwing. According to their preferences, each of the two surgical teams at our department used only one of these techniques in that time. The inclusion criteria for this study were high grade slippage (grade III or higher) [14], level of L5-S1, and age of 60 years or less. A minimum postoperative follow-up of 2 years was required for analysis of results in this study. The exclusion criteria were evidence of spinal

stenosis or previous spine surgery. Patients were assigned to one of two study groups according the surgical technique performed, with the understanding that each technique was performed by just one of the teams.

The transdiscal group consisted of 25 patients, 7 male and 18 female with a mean age of 36.7 years (range, 14 to 60). Before surgery, 15 of these patients had severe low back pain, and 8 had radiating leg pain. Eleven patients had muscular weakness, 1 motor deficit, 3 sensory deficit, and 2 sphincter incontinence. The pedicle group consisted of 31 patients, 15 male and 16 female with a mean age of 42.0 years (range, 10 to 60). Before surgery, 18 of these patients had severe low back pain, and 11 had radiating leg pain. Nine patients had muscular weakness, 1 motor deficit, 4 sensory deficit, and 1 sphincter incontinence. Preoperative data were comparable between groups (Table 1). In the transdiscal group there were 52% of patients with grade IV-V preoperatively and 64% in the pedicular group (p= 0.417).

Surgical procedure

A routine posterior midline approach was used in both groups. Partial reduction was only performed in those patients who had severe spinopelvic sagittal imbalance. Standard titanium screw systems were used in all patients, all similar but from several manufacturers (Transpine, Laffit, Spain; USS, Synthes, Zwitterland; Colorado, Medtronic, France). The ratios of these systems were similar in both groups.

The technique of transdiscal lumbosacral fixation has previously been described [4,6]. The sacral screws were placed in the S1 pedicle, through the endplate of S1, cross the disc space, and through the inferior endplate of L5 to terminate in the L5

body. The instrumented level was L4-S1 in 22 patients (88%) and L5-S1 in 3 (12%). In situ fusion was performed in 23 patients (92%) and partial listhesis reduction via manipulation of the L5 body through implanted screws in 2 (8%).

In the pedicle group, a standard pedicle screw fixation was performed. The instrumented level was L4-S1 in 23 patients (71%) and L5-S1 in 8 (29%). In situ fusion was performed in 25 patients (81%) and partial reduction in 6 (19%). Interbody fusion (L5-S1 cages) was used in 3 patients.

In both groups, decompression was performed and standard posterolateral fusion using the bone fragments removed during the surgical approach. In addition, autologous iliac crest bone graft and/or bone substitute (Actifuse, Baxter, USA) was used in 5 patients in transdiscal group and in 6 patients en pedicular group. Comparing both groups, level instrumentation rate (L4-5-S1 vs. L5-S1, $p= 0.311$) or reduction rate (partial vs. in situ, $p= 0.276$).were not significantly different.

Multimodal neuromonitoring techniques of sensory evoked potential, transcranial electrical motor evoked potentials and electromyography were used for all surgeries. Postoperative protocol was similar in both groups. All patients in both groups were braced with a lumbosacral orthosis for a three-month period after surgery.

Evaluations

At our institution, standardized prospective assessment was made pre- and postoperatively at 3, 6, 12, and at least 24 months after surgery. Additionally for this study, patients were also invited to perform new clinical and radiographic evaluations, and none refused. At last follow-up, all the patients were clinically

assessed by two specially trained independent fellows who were not involved in the surgeries and did not know which type of lumbar fusion had been used.

Primary outcome measure in this study was the Oswestry Disability Index (ODI) score [15] from 0 to 100 points, with lower scores indicating less severe symptoms. Clinical assessment was also performed in each visit by the Core Outcomes Measures Index (COMI) [16], and Short-Form 12 (SF-12) [17]. COMI was ranged from 0 to 10 points, with lower scores indicating better outcome. SF-12 questionnaire included physical and mental components which were transformed to a 0-100 scale with higher scores indicating a better quality of life. Pain at the lower back and the leg were each measured separately with a visual analogue scale (VAS) [18] from 0 (no pain) to 10 (maximal pain). Postoperative major complications were those that needed revision surgery or resulted in permanent neurological deficit.

Standard radiographic evaluation including standing anteroposterior, lateral, and oblique view was made preoperatively and in each follow-up. Computed tomography scan (CT) was made preoperatively and postoperatively at 6, 12 and 24 months. Magnetic resonance imaging was used when there was presence of neurological deficit. All radiographs and CT were assessed by independent observers not involved in the surgical procedure. Grading of slippage was assessed by the classification of Meyerding [14]. The slip angle (SA) was defined according to Dubousset (lumbosacral angle) [19]. Lumbar lordosis was assessed by Cobb's method [20]. Spinopelvic parameters were obtained according to Duval-Beaupère criteria [21] including pelvic incidence angle (PI), pelvic tilt (PT), and sacral slope (SS). Both fusion and implant position were assessed by radiographs and CT scan.

Successful radiographic outcome was defined as evidence of bone bridging with absence of radiolucent lines around the screws, or nonprogressive slippage.

Statistical analysis

Statistical analyses were conducted with IBM-SPSS 19.0 software (IBM-SPSS, Armonk, NY, USA).

The chi-square test or nonparametric Mantel-Haenszel test was used to compare categorical data between groups. For continuous data, unpaired t-test or Mann-Whitney U-test was used. For comparison between pre- and post-operative data, the paired t-test or Wilcoxon signed-rank test were used. Correlation was made by Pearson coefficient. A p-value less than 0.05 was considered significant. Potential predictors in univariate analyses were used in a regression logistic analysis to determine their effects on the functional outcomes. The results were presented as Odds ratio (OR) with 95% confidence interval (95% CI).

A posteriori Cohen's statistical power analysis was performed in relation to the postoperative ODI scores. Considering a clinically relevant difference [15] between groups of 10, standard deviation of 14, and a minimum sample size of 25 in each group, for an alpha error of 0.05 the study power was 81%.

RESULTS

The mean postoperative follow-up was 2.6 years (range, 2.0-4.9) in the transdiscal group, and 2.9 years (range, 2.0-5.3) in the pedicle group. The mean operating time, perioperative blood loss, and hospitalization stay were similar in both groups (Table 2). There were no significant differences between groups regarding the

severity of spondylolisthesis ($p= 0.417$), instrumentation level ($p= 0.311$) or reduction rate ($p= 0.276$).

Clinical outcomes

Mean functional outcomes related to ODI, COMI, SF12, and VAS-pain improved significantly in both groups at last follow-up ($p= 0.001$). However, all the functional outcomes were significantly better in the transdiscal group than in pedicle group, except for VAS scores (Table 3).

In the transdiscal group, all patients had an ODI score of 44 or less at last follow-up. Fourteen patients (56%) were able to return to their previous occupation, 2 (8%) had some limitation, and 9 (36%) were forced to change job. Two of the 6 patients who practiced a sport before the intervention were able to continue practicing. Previous leg weakness was recovered in all patients except 2, and the sensorial deficit was also recovered in all patients except in 2 other patients. Two other patients developed transitory L5 root irritation after surgery. One other patient with previous urinary incontinence, from which she recovered, postoperatively developed L4 partial neurologic deficit. In this patient a broken rod was also observed but solid fusion was achieved at 1 year after surgery, resulting in moderate disability (ODI= 32).

In the pedicle group, 8 patients (25.8%) had an ODI score of 50 or greater at last follow-up. Fifteen patients (48.3%) were able to return to their previous occupation, 8 (25.8%) had some limitation, 5 (16.1%) changed their occupation, and 3 (9.6%) could not return to work. Among the 10 patients who practiced a sport before the intervention, 5 were able to continue practicing. Previous leg

weakness or sensory deficit was recovered in all patients except 2. Three other patients developed L5 partial neurologic deficit after surgery.

Analyzing only those patients with L4-S1 instrumentation level, there were significant differences between groups regarding to the functional outcomes such as ODI ($p= 0.032$), COMI ($p= 0.019$), SF12-physical ($p= 0.007$) and SF12-mental ($p= 0.018$). Logistic regression analysis showed that the level of instrumentation was not an independent predictor of functional outcomes in either transdiscal (OR= 0.31, 95% CI: 0.19-1.14, $p= 0.542$) and pedicular (OR= 0.43, 95% CI: 0.22-1.33, $p= 0.628$) group.

Radiographic results

In the transdiscal group, all of patients had a radiographic fusion or nonprogressive slippage at last follow-up (Fig. 1), whereas in the pedicle group 4 patients (12.9%) developed pseudoarthrosis ($p= 0.123$). Preoperatively (Table 4), there were no significant differences related to radiographic parameters between groups. Postoperatively (Table 4), in the pedicle group there were no significant changes in the PI or SS, but SA increased significantly ($p= 0.001$) and the PT decreased significantly ($p= 0.008$) at last follow-up. In the transdiscal group, all radiographic parameters were unchanged significant from preoperative to last follow-up.

Comparing both groups, the PI and SS did not differ significantly at last follow-up, but SA and PT tilt were significantly different (Table 4). In both groups, significant correlation between postoperative ODI and postoperative radiographic parameters ($p > 0.302$) was not found.

Complications and revisions

Complications are shown in Table 5. In the transdiscal group, 2 patients developed a deep wound infection treated with debridement and final moderate functional outcome (ODI= 32 and 44, respectively). Three patients had a poor orientation of the sacral screws without fusion consequences and good functional results (ODI= 10 and 16, respectively) in two of these (Fig. 2). The third patient was severely symptomatic due to a sacral screw misplacement that produced L5 radiculopathy, and this screw was subsequently removed, with moderate final result (ODI= 42). Breakage of a sacral screw was observed in a fourth patient at 3 postoperative years, although solid fusion was achieved and revision was not required (ODI= 17). In the pedicle group, one patient had a dural tear which was repaired intraoperatively without residual sequelae (ODI= 20). Two patients developed superficial wound infections (ODI= 8 and 32, respectively). Another patient had breakage of both sacral and lumbar screws due to pseudoarthrosis, with poor functional outcome (ODI= 60). Three other patients had a pseudoarthrosis. These 4 pseudoarthroses required surgical revision to transdiscal fixation with successful final outcomes.

DISCUSSION

To our knowledge, this is the first clinical study to compare the outcomes of transdiscal and conventional pedicle fixation for patients younger than 60 years with high-grade L5-S1 isthmic spondylolisthesis. Management of this spondylolisthesis is variable. Posterolateral fusion with pedicle screw instrumentation has become increasingly popular over the past years. Successful results have been reported with this technique [2], but relatively high rates of

pseudoarthrosis, neurologic dysfunction, and progressive slippage have also been observed [1]. In our study, there was a clinically relevant pseudoarthrosis rate in the pedicle group.

Transdiscal L5-S1 screw fixation [4] uses the concept of three-column fixation achieved from a single posterior approach. The direction of the sacral screws provides a triangular construct of screw-to-screw and screw-to L5 plate which potentially provides greater fixation strength [5]. All of this potentially improves the resistance against the shear forces across the disc space while posterolateral fusion is occurring [5,6]. In a biomechanical analysis of cadaver models with spondylolisthesis [3], the authors found that the transdiscal L5-S1 screw fixation produced constructs that were 1.6 to 1.8 times stiffer than traditional pedicle screw fixation. In another study [8], the stiffness of the transdiscal fixation was found to be equivalent to fixation with a combined interbody fusion and pedicle screw fixation. On the other hand, transdiscal L5-S1 fixation could be considered difficult regarding positioning of the sacral screws. In our study, sacral screw misplacement was observed in 4 patients (16%). Although they all had solid fusion, one patient had poor clinical result due to L5 radiculopathy.

Landi et al [22] believed that the choice of treatment or to extend the fusion at L4-L5 for high-grade spondylolisthesis was related to a correct clinical and diagnostic planning, in particular the severity index and the standard measurements described in the literature. Reduction of the slipped vertebrae is still debatable, mainly due to the potential risk of L5 nerve injury [23,24]. Several authors suggested that in situ fusion was better than reduction and fusion in high-grade spondylolisthesis with respect to long-term clinical outcome [24-26]. In our series, reduction was not performed in most patients, and partial reduction was carried

out in patients who had severe spinopelvic sagittal imbalance. Other authors have obtained successful results using in situ fusion with transdiscal fixation [10-12]. Francois et al [6] treated 4 patients according to the transdiscal technique with good clinical and fusion was noted in all patients. Boachie-Adjei et al [5] used a technique of partial reduction and transdiscal fixation in 6 patients with high-grade spondylolisthesis followed a minimum of 2 years. They reported fusion in all patients which were able to resume their previous occupation. Rodriguez-Olaverri et al [8] compared the outcomes of unilateral transforaminal lumbar interbody fusion (TLIF) with those of transdiscal screw fixation in high-grade spondylolisthesis. They found no significant differences in radiographic or clinical outcome in either group. Among 20 patients who were treated by transdiscal fixation, there was 1 pseudarthrosis and 1 implant failure, whereas in the TLIF group there was an increased risk of intraoperative complications. Logroscino et al [7] compared 15 patients underwent L5-S1 pedicle instrumentation associated with transdiscal screw fixation, and 15 other underwent L5-S1 pedicle instrumentation associated with a posterolateral interbody fusion (PLIF). They observed that those patients treated with transdiscal had a faster resolution of the symptoms and a more rapid return to daily activities. In group transdiscal, one misplaced sacral screw was observed in a patients showing radicular leg pain which required revision surgery. Zagra et al [9] treated 62 patients by posterolateral fusion with autologous bone graft and additional transdiscal screws followed 5 years. They reported successful clinical outcomes and fusion in all patients.

Novel variations of L5-S1 transdiscal fixation has been recently developed for treatment of high-grade spondylolisthesis. Wu et al [27], in an in vitro and

cadaveric investigation, established that it was feasible to perform a percutaneous posterior transdiscal screw fixation associated with an especially designed model of interbody cage. Shedid et al [28] used also a novel minimally invasive procedure for high-grade spondylolisthesis using a L5-S1 transdiscal rod screw in 3 patients, and successful clinical and radiological outcomes was obtained in all patients at latest follow-up (range, 13–18 months). Jouve et al [29] in 8 patients performed a original technique of circumferential L5-S1 fusion by posterior-only approach using a transdiscal custom-made screw and corticocancellous bone grafts, and they obtained a solid fusion at a mean 6 postoperative months. In specific cases, when a postoperative sagittal malalignment is predictable with the lumbosacral fusion, the construct is extended to L4 using a classical posterior instrumented fusion.

This study has several limitations. The design was retrospective, although patients were prospectively followed. As in other previous studies, there was a relatively small sample size which was due to the relatively low prevalence of the condition. However, the results included all consecutive patients with no loss to follow-up. No homogeneous fixation systems were used due to the availability in the hospital, but they were similar and the surgeries were performed by two teams of surgeons with extensive experience in the spine. There was no standardization of the surgical techniques but both were performed according to standard medical practice. Postoperative follow-up was short, so it is recommended that these results be confirmed by future investigations on a higher number of patients and longer follow-up.

CONCLUSIONS

Transdiscal fixation results in improved functional outcomes compared with posterolateral fusion and pedicle fixation. Based on our results, we recommend transdiscal fixation for patients with high-grade L5-S1 spondylolisthesis, but the difficulty of placing the sacral screws should be also informed.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare that they have no conflict of interest.

REFERENCES

1. Boxall D, Bradford DS, Winter RB, Moe JH (1979) Management of severe spondylolisthesis in children and adolescents. *J Bone Joint Surg Am* 61:479-495.
2. Lee GW, Lee SM, Ahn MW, Kim HJ, Yeom JS (2014) Comparison of posterolateral lumbar fusion and posterior lumbar interbody fusion for patients younger than 60 years with isthmic spondylolisthesis. *Spine* 39:1475-1480.
3. Minamide A, Akamaru T, Yoon ST, Tamaki T, Rhee JM, Hutton WC (2003) Transdiscal L5-S1 screws for the fixation of isthmic spondylolisthesis: A biomechanical evaluation. *J Spinal Disord Tech* 16:144-149.
4. Abdu WA, Wilber RG, Emery SE (1994) Pedicular transvertebral screw fixation of the lumbosacral spine in spondylolisthesis: A new technique for stabilization. *Spine* 19:710-715.
5. Boachie-Adjei O, Do T, Rawlins BA (2002) Partial lumbosacral kyphosis reduction, decompression, and posterior lumbosacral transfixation in high-grade isthmic spondylolisthesis: Clinical and radiographic results in six patients. *Spine* 27:161-168.

6. Francois J, Lauweryns P, Fabry G (2005) Treatment of high-grade spondylolisthesis by posterior lumbosacral transfixation with transdiscal screws: Surgical technique and preliminary results in four cases. *Acta Orthop Belg* 71:334-341.
7. Logroscino CA, Tamburrelli FC, Scaramuzza L, Schiro GR, Sessa S, Proietti L (2012) Transdiscal L5-S1 screws for the treatment of adult spondylolisthesis. *Eur Spine J* 21(Suppl 1):128-133.
8. Rodriguez-Olaverri JC, Zimick NC, Merola A, Vicente J, Rodriguez J, Tabuenca A, et al (2008) Comparing the clinical and radiological outcomes of pedicular transvertebral screw fixation of the lumbosacral spine in spondylolisthesis versus unilateral transforaminal lumbar interbody fusion (TLIF) with posterior fixation using anterior cages. *Spine* 33:1977-1981.
9. Zagra A, Giudici F, Minoia L, Corriero AS, Zagra L (2009) Long-term results of pediculo-body fixation and posterolateral fusion for lumbar spondylolisthesis. *Eur Spine J* 18(Suppl 1):151-155.
10. Grob D, Humke T, Dvorak J (1996) Direct pediculo-body fixation in cases of spondylolisthesis with advanced intervertebral disc degeneration. *Eur Spine J* 5:281-285.
11. Bartolozzi P, Sandri A, Cassini M, Ricci M (2003) One-stage posterior decompression-stabilization and trans-sacral interbody fusion after partial reduction for severe L5-S1 spondylolisthesis. *Spine* 28:1135-1141.
12. Smith JA, Deviren V, Berven S, Kleinstueck F, Bradford DS (2001) Clinical outcome of trans-sacral interbody fusion after partial reduction for high-grade L5-S1 spondylolisthesis. *Spine* 26:2227-2234.

13. Lakshmanan P, Ahuja S, Lewis M, Howes J, Davies PR (2009) Transsacral screw fixation for high-grade spondylolisthesis. *Spine J* 9:1024-1029.
14. Meyerding H (1932) Spondylolisthesis. *Surg Gynecol Obstet* 54:371-377.
15. Fairbank J, Pynsent PB (2000) The Oswestry Disability Index. *Spine J* 25:2940-2953.
16. Deyo RA, Battie M, Beurskens AJHM, Bombardier C, Croft P, Koes B, et al (1998) Outcome measures for low back pain research: a proposal for standardized use. *Spine* 23:2003-2013.
17. Ware JE Jr, Kosinski M, Keller SD (1996) A 12-Item Short-Form Health Survey: construction of scales and preliminary tests of reliability and validity. *Med Care* 34:220-233.
18. Guyatt GH, Townsend M, Berman LB, Keller JL (1987) A comparison of Likert and visual analogue scales for measuring change in function. *J Chronic Dis* 40:1129-1133.
19. Dubousset J (1997) Treatment of spondylolysis and spondylolisthesis in children and adolescents. *Clin Orthop Relat Res* 337:77-85.
20. Li Y, Hresko MT (2012) Radiographic analysis of spondylolisthesis and sagittal spinopelvic deformity. *J Am Acad Orthop Surg* 20:194-205.
21. Duval-Beaupère G, Schmidt C, Cosson PH (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.
22. Landi A, Marotta N, Mancarella C, Tarantino R, Delfini R (2013) Trans-sacral screw fixation in the treatment of high dyplastic developmental spondylolisthesis. *World J Clin Cases* 1:116-120.

23. DeWald RL, FautMM, Taddonio RF, Neuwirth MG (1981) Severe lumbosacral spondylolisthesis in adolescents and children. *J Bone Joint Surg Am* 63:619-626.
24. Poussa M, Remes V, Lamberg T, Tervahartiala P, Schlenzka D, Yrjönen T, et al (2006) Treatment of severe spondylolisthesis in adolescence with reduction or fusion in situ: long-term clinical, radiologic, and functional outcome. *Spine* 31:583-590.
25. Lamartina C (2010) Posterior instrumentation, reduction and fusion in spondyloptosis. *Eur Spine J* 19: 1799-1800.
26. Transfeldt EE, Mehdod AA (2007) Evidence-based medicine analysis of isthmic spondylolisthesis treatment including reduction versus fusion in situ for high-grade slips. *Spine* 32(Suppl 1):126-129.
27. Wu AM, Ni WF, Shao ZX, Kong XJ, Tian NF, Huang YX, et al (2015) Percutaneous posterior transdiscal oblique screw fixation with lateral interbody fusion: a radiological and cadaveric study. *Eur Spine J* 4:852-858.
28. Shedid D, Weil AG, Lieberman I (2014) A novel minimally invasive technique for the treatment of high-grade isthmic spondylolisthesis using a posterior transsacral rod. *J Spinal Disord Tech* 27:41-48.
29. Jouve JL, Blondel B, Fuentes S, Choufani E, Pesenti S, Bollini G (2014) Circumferential fusion using a custom-made screw in the management of high-grade spondylolisthesis. *Eur Spine J* 23(Suppl 4):457-462.

TABLE 1. Preoperative data

	Pedicle group	Transdiscal group	p value
n	31	25	
Gender (M/F)	15/16	7/18	0.170
Age (yr)	42.0 (17.5)	36.7 (12.3)	0.190
BMI (Kg/m ²)	25.7 (3.5)	25.3 (3.7)	0.668
Grades (III/IV/V)	11/18/2	12/12/1	0.624
Activities (S/St/E)	7/15/9	5/15/5	0.656
Sport	6 (19.3%)	10 (40.0%)	0.080
Grade III/IV/V	24/6/1	16/9/0	0.274
VAS-lumbar pain	7.1 (2.0)	7.4 (1.8)	0.554
VAS-leg pain	4.6 (3.7)	4.8 (3.3)	0.866
ODI	69.3 (14.0)	69.7 (12.4)	0.926
COMI	6.3 (1.6)	7.0 (1.4)	0.112
SF12-physical	19.2 (14.4)	18.2 (17.3)	0.819
SF12-mental	31.4 (12.9)	28.9 (15.7)	0.511

Continuous data are presented as mean (standard deviation).Activities: sedentary, standing, effort

TABLE 2. Perioperative data

	Pedicle group	Transdiscal group	p value
Surgery time (min)	270.4 (49.7)	278.4 (62.8)	0.598
Blood loss (cc)	180.6 (120.6)	187.6 (166.3)	0.857
Hospital stay (days)	7.9 (1.3)	7.6 (1.2)	0.126

Continuous data are presented as mean (standard deviation)

TABLE 3. Postoperative clinical data

	Pedicle group	Transdiscal group	p value
VAS-lumbar pain	3.5 (2.3)	2.8 (1.9)	0.228
VAS-leg pain	2.0 (1.7)	1.3 (1.4)	0.116
ODI	31.6 (17.2)	20.2 (14.0)	0.010
COMI	2.8 (1.8)	1.6 (1.2)	0.012
SF12-physical	65.5 (26.5)	84.3 (19.0)	0.004
SF12-mental	69.4 (21.0)	81.5 (15.8)	0.021

Continuous data are presented as mean (standard deviation)

TABLE 4. Radiographic data

	Pedicle group	Transdiscal group	p value ^b
Slip angle			
Preoperative	101.8° (13.0°)	98.6° (16.6°)	0.425
Postoperative	113.0° (8.4°)	101.4° (20.5°)	0.013
p value ^a	0.001	0.167	
Lumbar lordosis			
Preoperative	60.4° (9.8°)	62.9° (14.0°)	0.450
Postoperative	60.1° (9.7°)	62.6° (14.5°)	0.469
p value ^a	0.620	0.594	
Pelvic incidence			
Preoperative	63.0° (10.8°)	67.7° (15.0°)	0.177
Postoperative	61.5° (11.0°)	68.9° (18.2°)	0.068
p value ^a	0.297	0.557	
Pelvic tilt			
Preoperative	19.9° (5.9°)	21.2° (8.1°)	0.482
Postoperative	17.5° (7.3°)	22.6° (9.6°)	0.029
p value ^a	0.008	0.425	
Sacral slope			
Preoperative	43.1° (8.8°)	46.1° (13.8°)	0.319
Postoperative	43.6° (10.6°)	46.0° (14.5°)	0.494
p value ^a	0.725	0.922	

Continuous data are presented as mean (standard deviation). ^a p-value intragroup. ^b p-value intergroups

TABLE 5. Complications and revisions

	Pedicle group	Transdiscal group
Intraoperative	1 (3.2%)	0
Infection	2 (6.4%)	2 (8.0%)
Implant misplacement	0	3 (12.0%)
Implant breakage	1 (3.2%)	1 (4.0%)
Pseudoarthrosis	4 (12.9%)	0
Aseptic revision	4 (12.9%)	1 (4.0%)