

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

PROGRAMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO EN
ESPECIALIDADES MÉDICAS

POSGRADO EN ORTOPEDIA Y TRAUMATOLOGÍA

Revisión Balance Sagital de la Columna
Análisis de los Parámetros Radiológicos como
Predictores Patológicos y Funcionales
Objetivos Terapéuticos

Trabajo final de investigación aplicada, sometido a la consideración de la Comisión del Programa de Estudios de Postgrado en Especialidades Médicas, para optar por el grado y título de Especialista en Ortopedia y Traumatología

Dr. Fernando Zúñiga Segura
Residente de Ortopedia y Traumatología

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica
Marzo 2024



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA

"Esta tesis fue aceptada por la Comisión del Programa de Estudios de Postgrado en Especialidades Médicas de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar al grado y título de Especialista en Ortopedia y Traumatología."

A handwritten signature in blue ink, consisting of several loops and a long horizontal stroke.

Dr. Esteban Zamora Estrada

Coordinador del Postgrado en Ortopedia y Traumatología

A handwritten signature in blue ink, appearing as a series of connected loops.

Dr. Andrés Angulo García

Profesor Guía

A handwritten signature in blue ink, featuring a large, prominent loop.

Dr. Danilo Solano Vargas

Lector

A handwritten signature in blue ink, with multiple overlapping loops and a long horizontal stroke.

Dr. Javier Pozo Urbina

Lector

A handwritten signature in blue ink, consisting of several loops and a long horizontal stroke.

Dr. Fernando Zúñiga Segura

Sustentante

*Licda. Marianita Devandas Artavia.
Filóloga*

naturalspanish@gmail.com- celular 83882070 FB:@revisiondetesiscr

San José, 19 de marzo de 2024

Señor
Esteban Zamora Estrada
Comité de Especialidad de Ortopedia y Traumatología
Sistema de Estudios de Posgrado
Universidad de Costa Rica

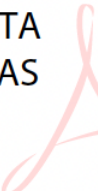
Estimado señor:

En mi condición de profesional colegiada en el Área de la Filología y Lingüística, doy fe de haber leído, revisado y corregido totalmente el trabajo final de graduación titulado *Revisión Balance Sagital de la Columna Análisis de los Parámetros Radiológicos como Predictores Patológicos y Funcionales Objetivos Terapéuticos*, del estudiante Fernando Zúñiga Segura para optar por el grado de Especialista en Ortopedia y Traumatología.

He revisado y corregido errores gramaticales, de puntuación y ortografía, construcción de párrafos, vicios del lenguaje y otros aspectos relacionados en el campo filológico, que se manifestaron en el documento escrito. Desde ese punto de vista, considero que, con las correcciones realizadas en el documento, está listo para ser presentado como trabajo final de graduación; por cuanto cumple con los requisitos establecidos por la Universidad.

Atentamente,

MARIANITA
DEVANDAS
ARTAVIA
(FIRMA)



Firmado digitalmente
por MARIANITA
DEVANDAS ARTAVIA
(FIRMA)
Fecha: 2024.03.19
09:13:30 -06'00'

Licenciada Marianita Devandas
Cédula 107490848
Carné 11009
Colegio de Licenciados y Profesores



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA

SEP Sistema de
Estudios de Posgrado

Autorización para digitalización y comunicación pública de Trabajos Finales de Graduación del Sistema de Estudios de Posgrado en el Repositorio Institucional de la Universidad de Costa Rica.

Yo, Fernando Zúñiga Segura, con cédula de identidad 1-1554-0287, en mi condición de autor del TFG titulado Revisión Balance Sagital de la Columna Análisis de los Parámetros Radiológicos como Predictores Patológicos y Funcionales Objetivos Terapéuticos

Autorizo a la Universidad de Costa Rica para digitalizar y hacer divulgación pública de forma gratuita de dicho TFG a través del Repositorio Institucional u otro medio electrónico, para ser puesto a disposición del público según lo que establezca el Sistema de Estudios de Posgrado. **SI** **NO** *

*En caso de la negativa favor indicar el tiempo de restricción: _____ año (s).

Este Trabajo Final de Graduación será publicado en formato PDF, o en el formato que en el momento se establezca, de tal forma que el acceso al mismo sea libre, con el fin de permitir la consulta e impresión, pero no su modificación.

Manifiesto que mi Trabajo Final de Graduación fue debidamente subido al sistema digital Kerwá y su contenido corresponde al documento original que sirvió para la obtención de mi título, y que su información no infringe ni violenta ningún derecho a terceros. El TFG además cuenta con el visto bueno de mi Director (a) de Tesis o Tutor (a) y cumplió con lo establecido en la revisión del Formato por parte del Sistema de Estudios de Posgrado.

FIRMA ESTUDIANTE

Nota: El presente documento constituye una declaración jurada, cuyos alcances aseguran a la Universidad, que su contenido sea tomado como cierto. Su importancia radica en que permite abreviar procedimientos administrativos, y al mismo tiempo genera una responsabilidad legal para que quien declare contrario a la verdad de lo que manifiesta, puede como consecuencia, enfrentar un proceso penal por delito de perjurio, tipificado en el artículo 318 de nuestro Código Penal. Lo anterior implica que el estudiante se vea forzado a realizar su mayor esfuerzo para que no sólo incluya información veraz en la Licencia de Publicación, sino que también realice diligentemente la gestión de subir el documento correcto en la plataforma digital Kerwá.

Tabla de contenidos

Resumen	6
Justificación	8
Introducción	9
Marco Teórico	11
- Balance sagital	11
- Parámetros pélvicos	12
- Orientación espacial de la pelvis	14
- Parámetros espinales	15
- Parámetros globales	17
- Importancia de los parámetros en la calidad de vida	20
- Formulas	21
- Clasificación morfológica	22
- Implicaciones clínicas con base en la morfología	25
- Mecanismos compensatorios	27
- Correlación patológica	30
- Umbral de alineamiento	33
- Manejo conservador	35
- Evolución hacia un manejo quirúrgico	35
- Indicación quirúrgica	36
- Tipos de Osteotomías	37
- Complicaciones	42
Discusión	43
Conclusiones	45
Bibliografía	46
Anexos	49
- Abreviaciones	
- Lista de Figuras	
- Lista de Tablas	

Resumen

El balance sagital de la columna hace referencia al estado de equilibrio entre las cargas externas que soporta la columna y la respuesta muscular del tronco secundaria a la adaptación neurológica sensorial con el propósito de mantener la posición erguida de forma estática y dinámica; actualmente se considera como piedra angular para el entendimiento de la biomecánica en la patología degenerativa de la columna.

La postura erguida es considerada como uno de los puntos definitivos en la evolución humana. Las curvas sagitales de la columna se relacionan mutuamente con el objetivo de que la postura erguida sea energéticamente económica. El desbalance sagital resulta cuando la armonía entre las curvas sagitales se ve alterada. Esto puede ocurrir por múltiples razones dentro de las cuales se puede mencionar; el envejecimiento de las estructuras musculoesqueléticas, lesiones neurológicas, secuelas traumáticas, inestabilidad iatrogénica y deformidades espinales.

El balance sagital positivo hace referencia a una postura con inclinación anterior del tronco debido a un fallo en la compensación de la postura erguida. Pacientes con esta condición desarrollan dolor y limitación funcional. Esta condición se ha convertido en un importante problema de salud a medida que aumenta la expectativa de vida y demandas funcionales en la población adulta mayor. A diferencia de las deformidades típicas observadas en pacientes muy jóvenes, cuyo tratamiento está muy guiado por la deformidad, el manejo de la deformidad espinal del adulto con desbalance sagital se apoya en el dolor y discapacidad asociada.

Múltiples parámetros espinopélvicos han sido descritos en las últimas décadas con el objetivo de guiar el manejo de esta condición. Un análisis exhaustivo de estos parámetros permite la identificación de mecanismos compensatorios observados en pacientes con desbalance sagital. Los mecanismos de compensación buscan limitar el desbalance, sin embargo, de manera adversa pueden llegar a producir dolor mecánico o alteraciones neurológicas. Por otra parte, si se toma en cuenta la morfología espinal de un individuo se puede deducir de los parámetros presentes como pueden estos predisponer a diferentes formas de patología degenerativa por las diferentes cargas a las que puede ser sometida la columna. La clasificación de Roussouly describe diferentes morfologías de columna con base en valores de parámetros espino pélvicos, posterior a esto se han publicado múltiples estudios con el objetivo de correlacionar distintas patologías de columna con diferencias en los parámetros de balance sagital.

Se han publicado estudios reportando buenos resultados con respecto al manejo quirúrgico de pacientes adecuadamente seleccionados en comparación con el manejo conservador. Si el desbalance sagital es el origen del dolor, la corrección del perfil sagital puede ayudar a producir alivio. Esto requiere procurar conseguir una pelvis en mayor anteversión mientras se incrementa la pendiente sacra. Mecanismos compensatorios como la retroversión pélvica, hipo cifosis torácica y flexión de rodillas podrían según el contexto corregir espontáneamente con una restauración adecuada de la lordosis según el tipo morfológico de columna y otros parámetros correspondientes a la edad del paciente.

En la actualidad la cirugía de esta patología se apoya mucho en técnicas de instrumentación posterior, disectomías, artrodesis y osteotomías que permitan flexibilizar y corregir las deformidades. En el 2014 Schwab et al. (12) desarrollaron un sistema de clasificación de osteotomías para las deformidades toracolumbares. Múltiples técnicas quirúrgicas son actualmente aplicadas por los cirujanos que manejan estas deformidades; sin embargo, todavía no se ha definido si alguna es superior a la otra. Es necesario mencionar que de igual forma estas cirugías se caracterizan por ser técnicamente demandantes, largas y predispuestas a complicaciones con tasas reportadas de hasta un 70%. Los pacientes que sufren de esta condición por lo general son de edad avanzadas, con múltiples comorbilidades y pobre calidad ósea. La evidencia apoya que pese a los altos riesgos asociados sí existe un claro beneficio con el manejo quirúrgico, por lo que la decisión debe tomarse en conjunto con los pacientes y basarse principalmente en el dolor y limitación funcional.

Justificación

El balance espinopélvico y su relación con la deformidad espinal del adulto es un tema complejo. Previamente se consideraba al desalineamiento sagital como parte de la evolución natural de la columna y que el manejo quirúrgico debía evitarse por los riesgos asociados (Acaroglu et al., 2016, 7). Actualmente se entiende que la deformidad espinal del adulto es un verdadero problema que afecta la salud de la población. En el 2015 Pellise et al., (29) evidenció el impacto negativo de esta condición en los parámetros relacionados a la calidad de vida. En algunos casos incluso mayor que el de otras condiciones crónicas como la falla cardiaca, enfisema pulmonar y diabetes *mellitus*, por mencionar algunas.

A medida que incrementa el porcentaje de la población adulta mayor, se espera en un incremento en el número de pacientes afectados por esta condición (Acaroglu et al., 2016, 7). La decisión entre manejo conservador o quirúrgico debe ser individualizada y basarse en múltiples factores como la severidad de los síntomas, la limitación funcional asociada, las comorbilidades propias del paciente y el riesgo potencial que implicaría la cirugía.

La deformidad espinal del adulto representa un amplio espectro de patologías con diversos y variables patrones radiológicos y presentaciones clínicas. En el caso de la escoliosis degenerativa del adulto se estima que ocurre en hasta un 60% de la población adulta mayor (Schwab et al., 2012, 6). El continuo estudio de este tema permitirá tener un mejor conocimiento sobre el complejo desafío que representa la enfermedad degenerativa de la columna. El análisis del balance sagital e identificación de los diferentes tipos morfológicos podría ayudar a predecir diferentes patrones degenerativos lo cual implicaría posibilidades terapéuticas tempranas. Durante las últimas décadas se han realizado múltiples estudios buscando entender esta condición (Schwab et al., 2014, 12) por lo que se procede a realizar esta revisión para integrar la información presente con el objetivo de lograr un adecuado manejo.

Introducción

El alineamiento de la columna vertebral en el plano sagital se ha vuelto un parámetro crítico dentro del contexto de la deformidad espinal del adulto. En las últimas décadas se ha visto un aumento en el reconocimiento del balance sagital espinopélvico. Es un tema el cual sigue en continuo estudio para tener un mejor conocimiento sobre la relación que tiene con la patología espinal y los parámetros de calidad de vida.

La posición erguida es el resultado del ensanchamiento y verticalización de la pelvis en relación a las curvas características de la columna (Le Huec et al., 2011, 1). El bipedalismo humano es una postura exclusiva, estable y ergonómica. Libera a los miembros superiores para controlar de mejor forma el entorno a un mayor costo energético que permita el balance postural (Schwab et al., 2009, 2).

El balance sagital positivo hace referencia a una postura con inclinación anterior del tronco debido a un fallo en la compensación de la postura erguida. Pacientes con esta condición desarrollan dolor y limitación funcional. Este desbalance sagital representa una disrupción del “cono de la economía” termino descrito por Dubousset et al., (2005, 30). El cono se proyecta proximalmente desde los pies. La zona del cono representa el área donde el cuerpo se mantiene balanceado sin necesidad de aditamentos y con el mínimo esfuerzo energético. En el caso de que la postura exceda el área del cono se termina requiriendo de un mayor esfuerzo energético para mantener la postura.

Tanto en condiciones normales como patológicas de la columna, se debe recalcar la importancia de los parámetros propios de la columna vertebral, así como de los parámetros pélvicos e incluso de miembros inferiores; cuyas características morfológicas deben ser tomadas en consideración (Le Huec et al., 2011, 1).

Las pérdidas en el alineamiento sagital fisiológico se pueden ver tanto en condiciones congénitas, iatrogénicas y degenerativas. Múltiples mecanismos compensatorios, los cuales serán detalladas más adelante, han sido descritos tanto en fases tempranas como tardías de la deformidad sagital; sin embargo, estos mismos mecanismos con el tiempo terminarán resultando en un aumento del gasto energético y por ende una eventual fatiga con discapacidad funcional progresiva (Schwab et al., 2009, 2).

Es importante llegar a un mutuo reconocimiento del balance espinopélvico entre las múltiples especialidades afines a la patología de columna. El objetivo está en poder estratificar y diagnosticar adecuadamente a los pacientes para que, de esta manera, se pueda dirigir de forma óptima las opciones de tratamiento. Por el contrario, no tomar en cuentas la importancia del balance espinopélvico a la hora de tomar decisiones en el tratamiento de la patología de columna puede tener resultados subóptimos, patología iatrogénica y limitación funcional incapacitante. Esta revisión bibliográfica busca hacer una recopilación de la información que ha demostrado mayor relevancia sobre el balance espinopélvico, los parámetros radiológicos espinopélvicos como factores pronóstico y su relación con la deformidad espinal del adulto. Se procederá a revisar el tema con relación a los diferentes parámetros radiológicos, su importancia y aplicación, así como de los

mecanismos compensatorios clínicos descritos, formas de clasificación y opciones terapéuticas.

Desarrollo del tema

Balance y desarrollo sagital

EL balance es el término que representa el estado de reposo de un cuerpo sobre el cual actúan varias fuerzas en exacto equilibrio. El alineamiento es un aspecto del balance, pero no son lo mismo, en el caso de la columna puede haber un mal alineamiento presente pero balanceado por mecanismos compensatorios. El balance espinal se consigue cuando hay un equilibrio entre las fuerzas externas aplicadas sobre columna con la respuesta neuromuscular del tronco, el objetivo es mantener una posición erguida (Genevois et al., 2021, 17).

Al analizar la posición erguida en pacientes sanos podemos observar cómo la línea de gravedad pasa por el centro de los canales auditivos hacia en el centro articular de los miembros inferiores, pasando justo por el borde posterior del sacro. Esta posición permite una distribución óptima de la masa alrededor de esta línea (Genevois et al., 2021, 17), de esta forma se minimiza el gasto energético y la necesidad de control visual consciente.

El conjunto sacro y pelvis debido a la movilidad negligible de las articulaciones sacroilíacas fue denominado como la vertebra pélvica por Dubousset et al., (2005, 30). Su morfología fija explica cómo la pendiente sacra es el determinante inicial de la cascada geométrica que altera a la lordosis lumbar, cifosis torácica y unión toracolumbar. El tórax requiere cifosis para propósito de respiración y la columna lumbar va a ocupar una lordosis recíproca como transición entre la unión lumbosacra y toracolumbar para mantener la posición erguida. Esta postura erguida es uno de los puntos definitivo en la evolución humana, permite control del entorno con los miembros superiores. El desarrollo de las curvas sagitales recíprocas para la posición erguida sea energéticamente económica y por ende sostenible está gobernado por cargas fisiológicas que buscan un alineamiento entre el centro de masa y los centros articulares de las extremidades inferiores.

En los cuadrúpedos es la estabilidad lateral la cual controla el control postural y compensación muscular. El bipedalismo resulta en libertad funcional a costo de inestabilidad que amerita estabilidad en ambos planos (Le Huec et al., 2019, 22).

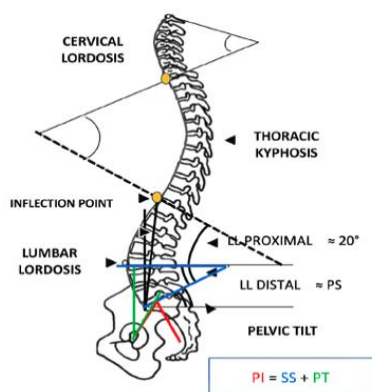


Fig. 1. Representación geométrica del balance espinal sagital. (Genevois et al., 2021, 17)

Parámetros pélvicos

Los parámetros pélvicos tienen una íntima relación con el perfil sagital de la columna vertebral. La orientación del platillo de S1 en el sacro está condicionada por el grado de inclinación pélvica y pendiente sacra, por lo que la columna lumbar al estar en directa continuidad con el sacro se verá directamente relacionada.

Las articulaciones coxofemorales tienen un amplio arco de movilidad por lo que participan de manera importante en cuanto a la orientación espacial de la pelvis mientras a la vez constituyendo los puntos en donde la carga toracolumbar se transfiere a las extremidades inferiores por medio de la pelvis.

La pelvis normal es horizontal y de altura simétrica, sin embargo, su geometría en el plano sagital es compleja. La caracterización del balance sagital pélvico requiere la definición de parámetros basados en las características biomecánicas involucrada en la transmisión y soporte de las cargas (Le Huec et al., 2011, 1).

Incidencia pélvica

El ángulo de incidencia pélvica se construyó para reproducir las características anatómicas de la pelvis en el plano sagital. Es la suma algebraica de dos ángulos complementarios, la inclinación pélvica y la pendiente sacra. El valor de la incidencia pélvica es un valor fijo para cada paciente una vez alcanzada la madurez esquelética, la suma de los dos valores previos van a tener una relación constante: cuando uno sube, el otro disminuye (IP: PS + TP). (Le Huec et al., 2019, 22)

Este parámetro se basa en la definición de dos puntos y una superficie. Las cabezas femorales al ser responsables en la transmisión de cargas desde la pelvis y hacia las extremidades inferiores son tomadas en consideración, así como el platillo sacro de S1 donde reposa la columna vertebral. (Le Huec et al., 2011, 1).

Al dibujar una línea dirigida desde el centro de las cabezas femorales sobreimpuestas hacia el centro del platillo sacro conseguimos una medición de longitud y dirección que refleja el grosor pélvico en dirección anteroposterior. Al trazar otra línea perpendicular al centro del platillo sacro, imitamos un vector para la carga transmitida al platillo sacro. Estos dos puntos de referencia formaron el ángulo de incidencia pélvica con un valor promedio de 55 +/- 10 grados con un rango entre los 35-85 grados, sin considerar superior algún valor en específico dentro del rango como. En el 2011 Roussouly (et al., 10) demostraron en una población asintomática que el valor más bajo de incidencia pélvica fue 35 grados mientras que el más alto de 85 grados. Valores inferiores a los 35 grados son vistos en la enfermedad de Scheuermann y mayores de 85 grados en casos de espondilolistesis ístmica. Por lo que concluyen que valores fuera de este rango son representativos de condiciones patológicas. (Roussouly et al., 2011, 10)

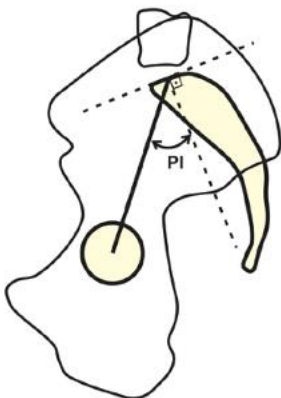


Fig. 2. Representación esquemática de la incidencia pélvica. (Garbin et al., 2020, 24)

Pacientes con incidencia pélvica baja presentan una pelvis estrecha en el diámetro anteroposterior, esencialmente verticalizada con las cabezas femorales justamente por debajo del platillo sacro. Mientras que las pelvis de los pacientes con valores altos de incidencia pélvica tienen un mayor eje anteroposterior y con las cabezas del fémur posicionadas por delante del punto medio del platillo sacro (Le Huec et al., 2019, 22).

La incidencia pélvica presenta cambios durante el crecimiento los cuales han sido reportados en varios estudios. En el 2004 Mac-Thiong (et al., 31) condujo un estudio prospectivo en 180 niños y documentó una asociación entre la edad y la incidencia pélvica, describiendo que el cambio en la incidencia pélvica durante el desarrollo es un mecanismo compensatorio para mantener un balance sagital durante el crecimiento. En el 2002 Marty (et al., 32) describe como la incidencia pélvica se mantiene relativamente estable antes de los 10 años de edad y posteriormente incrementa hasta su máximo valor en la adultez. La laxitud ligamentaria puede resultar en leves grados de variación en este parámetro en el contexto de pacientes mayores de 75 años o ante la presencia de sistemas extensos de fusión espinal (Le Huec et al., 2019, 22).

Inclinación pélvica

La inclinación pélvica es comúnmente descrita como un mecanismo compensador, por medio de la retroversión pélvica para intentar mantener la columna vertical y por ende una postura energéticamente económica.

La inclinación pélvica es el ángulo entre el segmento eje bicoxofemoral – centro S1 con una línea vertical. Describe la orientación rotacional de la pelvis en relación a las cabezas del fémur (Garbin et al., 2020, 24) demarcando la orientación espacial pélvica. Tiene un valor promedio de 13 ± 6 grados en la posición de pie, en esta posición la pelvis tiene una leve inclinación hacia adelante. Entre mayor sea el valor de este parámetro, el centro de gravedad estará más alejado por detrás de las cabezas femorales. A medida que la inclinación pélvica aumenta, el sacro se verticaliza y el acetábulo cubre de forma excesiva la zona posterior de la cabeza femoral, limitando la extensión de cadera (Le Huec et al., 2019, 22).

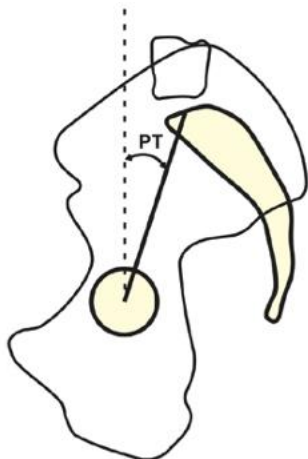


Fig. 3. Representación esquemática de la inclinación pélvica. (Garbin et al., 2020, 24)

Pendiente sacra

La pendiente sacra es el ángulo entre una línea paralela al platillo sacro con la horizontal. Tiene un valor promedio de 40 grados con un rango de 20-65 grados. 24 este parámetro correlaciona directamente con la lordosis lumbar (Le Huec et al., 2019, 22).

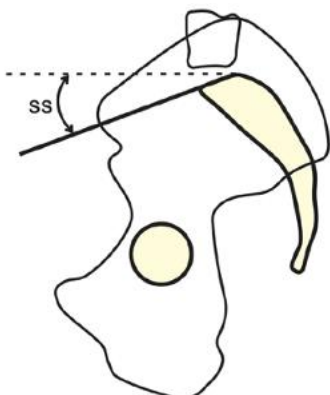


Fig. 4. Representación esquemática de la pendiente sacra. (Garbin et al., 2020, 24)

Orientación de la pelvis en el espacio

Con base en que el valor de la incidencia es determinado para un dado paciente, la suma de la inclinación pélvica con la pendiente sacra es invariable y a medida que un valor aumenta, el otro disminuye. Para una dada incidencia, una inclinación pélvica específica va a estar asociado a una pendiente sacra específica (Le Huec et al., 2011, 1).

Cuando la pelvis rota hacia atrás, retroversión, la inclinación pélvica aumenta y por el contrario la inclinación pélvica disminuye con la anteversión. Esta posibilidad de rotar con respecto al eje de las cabezas femorales es un mecanismo de regulación del balance sagital. En el 2004 Mac Thiong (et al., 31) sugiere que el límite superior no patológico de la inclinación pélvica es menor del 50% de la incidencia pélvica, mientras que el valor de

la pendiente sacra debe exceder en un 50% al de la incidencia pélvica. En el contexto patológico la pendiente sacra nunca llega a una posición con valor negativo, menor a 0 grados ya que esto no es posible en humanos erectos. El valor mínimo es de 0 grados totalmente horizontal lo cual representa la máxima retroversión posible. Dicho de otra forma, la retroversión está limitada por valor de la incidencia pélvica. Pacientes con poca incidencia pélvica, tiene una menor capacidad para compensar el desbalance sagital por medio de retroversión pélvica. La posición de la columna lumbar al estar continua con el platillo sacro, se ve también afectada por la posición pélvica. Entre mayor la incidencia pélvica, mayor la pendiente sacra y mayor el grado de lordosis lumbar (Ames et al., 2012, 18).

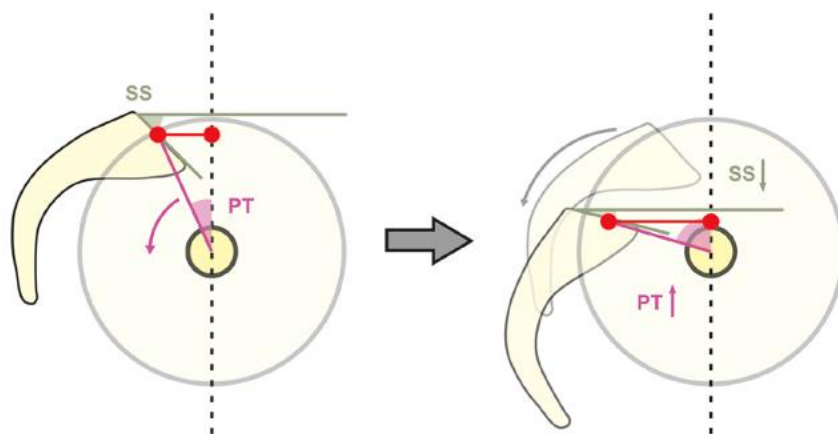


Fig. 5. Representación esquemática de la retroversión pélvica. (Garbin et al., 2020, 24)

Parámetros espinales

Cifosis torácica

Se mide entre el platillo superior de T11 y el inferior de T12. Algunos estudios consideran válido la medición de la cifosis entre T4 y T12 por la sobreposición de las cabezas humerales en la radiografía convencional. En el 2019 Le Huec (et al., 22) estudiaron la cifosis del segmento T1-T4 en la población asintomática y vieron que este segmento representa aproximadamente 8-10 grados de la cifosis general. Este hallazgo es importante a tomar en cuenta durante fusiones posteriores con el objetivo de no ignorar la posibilidad de brazo de palanca residual sobre los segmentos suprayacentes a la instrumentación. Se ha estudiado que el valor teórico de la cifosis torácica equivale a 0.75 veces la lordosis L1-S1. $T2-T12 = 0.75 \times L1-S1$.

Punto de inflexión

En 1982 Stagnara (et al., 33) definió el concepto de la forma espinal individual, en contra del dogma de las curvas anatómicas puras. Realizó un estudio con 100 sujetos sanos y logró demostrar la variabilidad del alineamiento en el punto de transición

dorsolumbar entre T11 y L3 introduciendo el concepto de lordosis y cifosis funcional. Designó el punto de transición entre las dos curvas como el cuerpo vertebral intermedio (actualmente denominado punto de inflexión). Este punto de inflexión se dio en T12 el 22% de los casos, en L1 en 3% de los casos y en L2 un 22%.

Lordosis lumbar

La lordosis no está distribuida de forma equitativa desde su límite proximal en L1 hasta su límite distal en S1 14, va aumentando de forma progresiva al punto de que L4-S1 representa 2/3 de la lordosis total (Roussouly et al., 2011, 10). En el 2005 Berthonnaud (et al., 34) propuso la representación de la lordosis lumbar como dividida por dos arcos tangenciales de un círculo. El arco inferior resulta de la intersección de una línea horizontal que pasa por el ápice lumbar y otra línea tangencial al platillo sacro. El arco superior resulta del ángulo entre la línea horizontal que pasa por el ápice con otra línea que pasa por el punto de inflexión toracolumbar.

El arco superior tiene un valor constante entre los 15-19 grados. Por su parte el arco inferior va a tener un valor dependiente de la orientación del platillo sacro que corresponde al valor de la pendiente sacra. Hay una fuerte correlación entre la incidencia pélvica y pendiente sacra, lo que explica de igual forma la correlación entre incidencia pélvica y lordosis lumbar (Berthonnaud et al., 2005, 34).

Cabe mencionar el rol de la herencia en el alineamiento espinal. El grado de lordosis correlaciona dentro de familia proporcionalmente en cercanía genética y con el mismo sexo (Genevois et al., 2021, 17).

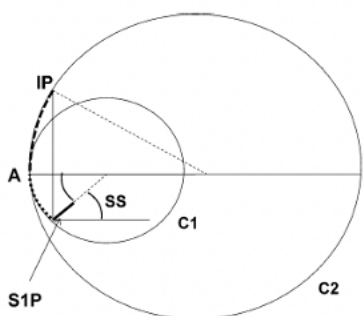


Fig. 6. Representación geométrica de la lordosis por arcos tangenciales de un círculo. La LL está limitada proximalmente por el punto de inflexión (IP) y distalmente por el platillo sacro de S1 (S1P). C1 y C2 son dos círculos tangenciales al ápice (A) de la LL. la LL se divide en dos arcos; el superior desde el IP hasta el A esta localizado en C2, el inferior entre A y S1P está en C1. Como ángulos complementarios, el arco inferior equivale a la pendiente sacra. (Roussouly et al., 2011, 9)

Parámetros de balance global

El balance global de la columna involucra una armonía entre la cifosis torácica y la lordosis lumbar, tomando en cuenta los parámetros pélvicos (Le Huec et al., 2011, 1). Una congruencia entre los parámetros pélvicos y espinales hace pensar en el balance sagital estándar de una población. Se deben tomar en cuenta los diferentes tipos morfológicos de columna y la variabilidad en los parámetros espinopélvicos que esto representa (Garbin et al., 2020, 24).

De forma simplificada el SVA describe el balance global como la posición de la columna en relación con la pelvis. Está definido por la distancia entre la línea de plomada desde el centro del cuerpo vertebral de C7 con una línea vertical que pasa por el borde posterosuperior de S1. Se han definido valores promedio en adultos asintomáticos de 0.5 ± 2.5 cm. Este parámetro ha evidenciado una fuerte correlación con mala calidad de vida y pobre salud (Garbin et al., 2020, 24)

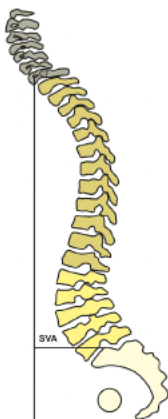


Fig. 7. Representación esquemática del eje vertical sagital. (Garbin et al., 2020, 24)

Con el SVA es importante destacar que pese a de que se habla de que debe ser menor a 5 cm, realmente hay que verlo como edad dependiente. Este parámetro no toma en cuenta a la incidencia pélvica y posibles mecanismos de compensación presentes. Se recomienda su uso como parámetro comparativo del balance de un paciente con el tiempo y en casos de ser sometidos a cirugía como punto de referencia (Le Huec et al., 2019, 22).

El problema descrito con el SVA es que por tratarse de una medida en distancia se encuentra predispuesto a mediciones erróneas atribuibles a fallos en la calibración de las imágenes. Se ha sugerido el uso de parámetro angulares como el ángulo espino-sacro o el T1 SPI (Barrey et al., 2013, 5).

El ángulo espino sacro es un parámetro intrínseco de balance general dado que integra la pendiente sacra con la posición de C7. Sin embargo, no toma en cuenta a la columna cervical (Le Huec et al., 2019, 22). Se define como el ángulo entre el platillo

sacro y una línea conectando el centro del cuerpo vertebral de C7 y el punto medio del platillo sacro. El valor promedio en la población normal es de 135 ± 8 grados (Barrey et al., 2013, 5).

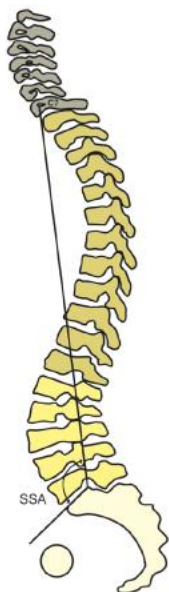


Fig. 8. Representación esquemática del ángulo espino-sacro. (Garbin et al., 2020, 24)

La relación C7/SFD (plomada C7 / distancia sacro-femoral) es otro parámetro recomendado para describir el balance global. La distancia sacro-femoral es la distancia horizontal entre el eje vertical bicoxofemoral y una línea vertical pasando por la esquina posterosuperior del sacro. También se mide la distancia entre la plomada de C7 y la esquina posterosuperior del sacro y con estos dos valores se saca la tasa de relación. La tasa es cero cuando la línea de plomada C7 se proyecta exactamente en la esquina posterosuperior del sacro, es igual a uno cuando la plomada de C7 se proyecta en el eje bicoxofemoral. Es negativa cuando se proyecta por detrás del sacro y de un valor mayor a uno cuando cae por delante de las cabezas femorales. Se describe como normal un valor de -0.9 ± 1 . El índice de Barrey C7/SFD se ha propuesto como remplazo del SVA dado que por tratarse de un parámetro de relación es aplicable a todas las radiografías y además, toma en cuenta la posición de las cabezas femorales y, por ende, el grosor de la pelvis también que varía según la incidencia pélvica (Barrey et al., 2013, 5).

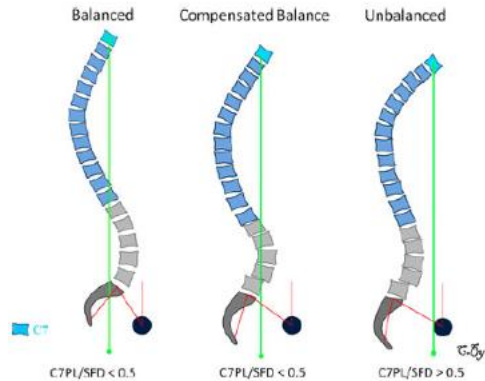


Fig. 9. Clasificación del balance sagital en tres etapas con respecto a la severidad. En la tercera etapa la relación C7PL/SFD es superior a 0.5 por lo que la línea de plomada C7 yace más cerca de las cabezas femorales que del platillo sacro. (Barrey et al., 2013, 5)

El ángulo pélvico T1 es una medida de alineamiento sagital que toma en cuenta tanto la inclinación espinal como la retroversión pélvica y que no se ve afectado por la compensación postural. Se mide con una línea que va del centro de las cabezas femorales hacia el centro del cuerpo y otra que va del centro de las cabezas femorales hacia el centro del platillo superior de S1. Este ángulo combina de forma simultánea la información del eje vertical sagital y de la inclinación pélvica para medir de forma más directa la deformidad espinal global. Dicho de otra forma, es la suma de la inclinación de T1 con la inclinación pélvica por lo que si la deformidad progresa, también aumenta el valor de este parámetro. El valor promedio en la población asintomática se estima de 11.9 grados. Se ha demostrado que un valor de 20 grados correlaciona con índices severos de discapacidad. Objetivos metra de 10-15 grados para pacientes entre los 40-65 años y de 15-25 grados para paciente mayores de 65 años pueden ayudar a reducir el deterioro postoperatorio (Protopsaltis et al., 2014, 27).

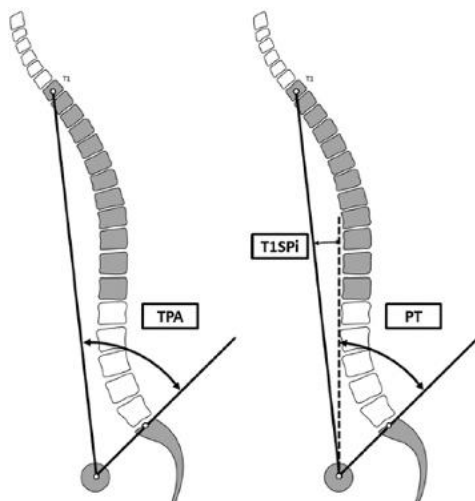


Fig. 10. Medición del ángulo pélvico T1 (izquierda). El ángulo pélvico T1 resulta de la suma de la inclinación espino pélvica y la inclinación pélvica (derecha). Este parámetro toma en cuenta el balance global y la compensación de la retroversión pélvica. (Protopsaltis, Schwab, et al., 2014, 27)

El ángulo OD-HA (odontoides - eje de caderas) Se recomienda como una forma válida de estudiar el balance general, toma en cuenta la columna cervical y se mantiene constante incluso en pacientes mayores asintomáticos. Se mide entre una línea vertical y el punto más alto del odontoides conectándose en el centro del eje bicoxofemoral. Se estudio en individuos asintomáticos y se definió como valor normal (+2 a -5 grados) (Le Huec et al., 2019, 22). En el 2018 Faundez (et al., 35) le asoció utilidad para valorar el riesgo de cifosis de transición proximal. Paciente con valores mayores a 2 grados se encontraron desbalanceados y con mayor carga cifótica por el brazo de palanca suprayacente a la vertebral proximal instrumentada.

Importancia de los parámetros en la calidad de vida

El estudio del 2009 por Schwab (et al., 2) retrospectivo en 125 en adultos con deformidad espinal buscó valorar la relación entre los parámetros pélvicos con resultados de pronóstico funcional autoreportados por los pacientes mediante instrumentos de calidad de vida relacionada a la salud como el ODI, SF-12 y SRS-23. Se encontró correlación significativa entre los HRQOL con el SVA e inclinación espino pélvica T1.

No se encontró correlación entre parámetros coronales con los resultados de pronóstico funcional HRQOL. La magnitud de la deformidad coronal no impactó el dolor ni discapacidad. Estos hallazgos son consistentes con los trabajos publicados por Schwab et al. 2 en población adulta con varias deformidades espinales. Los autores han demostrado que la discapacidad de los adultos con deformidad espinal impresiona relacionarse primariamente con un problema en el plano sagital (Lafage et al., 2009, 11).

La lordosis lumbar L1-S1 demostró ser determinante en la capacidad funcional para caminar y mantenerse de pie dentro del ODI. Una pérdida de la lordosis lumbar se correlacionó con un aumento en el dolor y limitación funcional; por el contrario, la cifosis torácica no evidenció correlación significativa con los puntajes HRQOL.

El SVA tuvo su correlación más fuerte en términos del ODI en el contexto con discapacidad para estar de pie. Tuvo incluso una correlación más significativa el T1-SPI. Este parámetro (valor promedio= -1 grado, SD=7 grados) tuvo la correlación más alta con HRQOL de todos los parámetros radiológicos analizados. En una revisión de base de datos, 75 pacientes asintomáticos voluntarios con una edad promedio de 48 años, presentaron un valor promedio T1-SPI de -6 grados (SD=3.8 grados) sin cambios significativos relacionados a la edad.

La inclinación pélvica fue el tercer parámetro de mayor importancia estadísticamente significativa, con un valor promedio de 24 grado, mayor que en la población asintomática voluntaria (TP: 13 grados, SD=9 grados). En términos de ODI, la mayor correlación se encontró con la discapacidad para caminar. La correlación entre inclinación pélvica y discapacidad para caminar, señala que una inclinación pélvica elevada no permite una deambulación efectiva. Esta limitación se explica como un resultado de los mecanismos compensatorios. Compensar el balance positivo por medio de la retroversión pélvica, resulta en extensión de caderas y disminución en la cobertura acetabular. Para compensar esta pérdida de cobertura anterior y rectificar su postura, los

pacientes flexionan las rodillas, lo cual puede llevar a una contractura en flexión. El hecho de tener las caderas en hiperextensión reduce la reserva extensora requerida para caminar.

El hecho de que el T1-SPI tuviera una correlación más significativa con las medidas de HRQOL puede relacionarse al factor de que este incorpora el offset de T1 desde la pelvis en relación a las cabezas del fémur y no al sacro posterior. Por esta razón, el T1-SPI toma en cuenta la posición relativa de T1 en relación a la pelvis a través de las caderas. Pacientes con una cierta cantidad de retroversión pélvica pueden ser capaces de mantener balanceadas las fuerzas alrededor de las cabezas femorales, pese a una inclinación pélvica elevada, se va a tener un T1-SPI más positivo. Esto podría reflejar un estado de descompensación marcado que resulte en limitación marcada. En este contexto el SVA no diferencia entre un offset compensado de la columna torácica superior de una deformidad con retroversión pélvica agotada (Lafage et al., 2009, 11).

Con base en lo mencionado sobre los múltiples parámetros espinopélvicos, su importancia y variabilidad; se busca una integración adecuada para una adecuada evaluación del balance sagital que optimice el planeamiento operatorio. Es importante realizar un adecuado análisis del balance actual del paciente y además definir por medio de la incidencia pélvica los valores teóricos de otros parámetros (Le Huec et al., 2019, 22).

Un análisis adecuado requiere de radiografía completas de la columna vertebral incluyéndose C2 y hasta las cabezas femorales. Se recomienda estandarizar la posición al momento de las radiografías, con las manos reposando sobre las clavículas y documentando la posición de los miembros inferiores en busca de alteraciones compensatorias.

Formulas propuestas

En el 2009 Schwab (et al., 2) propone de forma simplificada estimar la lordosis lumbar mediante la incidencia pélvica con la siguiente fórmula: $LL = IP + 9 \text{ grados } (+/-9)$. Esta fórmula está basada en la incidencia pélvica media de una población adulta asintomática de 75 pacientes. Se basa en que la lordosis debe adaptarse a la morfología pélvica. Una falta de correspondencia entre los dos valores representa una condición en la cual el paciente no logra armonía de las curvas espino pélvicas. Como limitante tiene el pequeño número de pacientes estudiados lo cual resulta en menor precisión en valores extremos del rango (Garbin et al., 2020, 24).

En conjunto, los estudios de Barrey et al. (2013, 5) y Le Huec et al. (2011, 1) buscaron estratificar pacientes en grupos basándose en la incidencia pélvica. Se concluye que, para incidencias pélvicas por debajo del valor promedio de 50 grados, el ángulo de lordosis tiende a incrementar mientras que la incidencia pélvica disminuye. En caso donde la incidencia pélvica se aproxime a los 50 grados, el ángulo de lordosis tiende a igualar al de la incidencia pélvica ($LL=IP$). Para casos donde la incidencia pélvica sobrepase los 65 grados, la lordosis tiende a ser menor que la incidencia pélvica. Con base en esto interpretan que la fórmula clásica $IP: LL +/- 9 \text{ grados}$ solo es válida para

casos que tenga una baja incidencia pélvica. Se considera esto como una posible razón de sobrecorrección de lordosis al realizar osteotomías en pacientes con valores altos de incidencia pélvica.

Roussouly et al. (10) realizó en el 2011 midió los parámetros en espinogramas de una base de datos de 268 adultos sanos de diversa etnicidad. Propuso las siguientes fórmulas:

- $LL (L1-S1) = 0.54 \times IP + 27.6$
- $\text{Inclinación pélvica} = 0.44 IP - 11.04$

Estas fórmulas tienen el beneficio de basarse en una muestra estadísticamente significativa y sin distorsión posible por lo que se consideran más precisas. Se sugiere que estas fórmulas permiten conocer el valor teórico normal de la pendiente sacra e inclinación pélvica en individuos asintomáticos y en detectar compensación pélvica en casos patológicos.

Clasificación morfológica de la columna con base en los parámetros espinopélvicos

El perfil sagital de la columna usualmente históricamente se ha caracterizado como cifótico entre T1-T12 y lordótico entre L1-L5, sin embargo, hay variables significativas tanto en el contexto normal como en el patológico. Esto es importante debido a que la mayoría de enfermedades degenerativas ocurren en columnas con adecuado alineamiento coronal, pero con morfología variable en el plano sagital (Roussouly et al., 2005, 3).

Roussouly et al., 3) utilizó modelos computarizados para las curvas torácicas y lumbares, definiendo la curva torácica entre el aspecto anterior de T1 y el punto de inflexión donde la asociación entre cuerpos vertebrales adyacentes entre vertebras pasan de cifosis a lordosis, independiente de la unión toracolumbar T12-L1. De forma similar, la curva lumbar está definida por el punto de inflexión previamente mencionado y la esquina anterosuperior de S1. Esta técnica es esencialmente idéntica a la utilizada para determinar anomalías coronales con el método de Cobb. Se especifican los límites de cada curva sagital y el número de cuerpos vertebrales en cifosis y lordosis. Roussouly et al. (3) estudio una población de 160 adultos asintomáticos con edades en el rango de 18 a 48 años, diferencia de sexo similar y todos de descendencia europea. Importante para ser incluidos en el estudio fue el hecho de no tener historia de dolor dorsolumbar crónico, deformidad, enfermedad ortopédica significativa ni alguna anomalía radiológica obvia en la columna.

Se estableció un sistema de clasificación basado en la observación de las características de los perfiles sagitales que ocurren como consecuencia de la orientación de la pelvis, sacro y unión lumbosacra. Este sistema toma en consideración la posición del ápice de las curvas torácicas y lumbares, la posición del punto de inflexión, el número de cuerpos vertebrales en cada curva, la cifosis y lordosis total en grados, el ángulo de

inclinación lordótica y la pendiente sacra para establecer a cada paciente en uno de cuatro posibles tipos morfológicos de columna.

Relaciones equitativas entre la pendiente sacra y las características de la curvatura lumbar se consideraron de significativa importancia como componente del perfil sagital general. Variaciones en el arco lumbar inferior se determinaron por la pendiente sacra; cuando la pendiente sacra incrementa, el arco lumbar inferior incrementa y por ende la curvatura global de lordosis lo hace también. Mientras que cuando la pendiente sacra disminuye, pueden ocurrir dos cambios en el arco de lordosis inferior: el arco inferior de lordosis puede disminuir a medida que el ápice se desplaza inferiormente, o el arco inferior de lordosis se puede aplanar a medida que el radio de la curvatura aumenta.

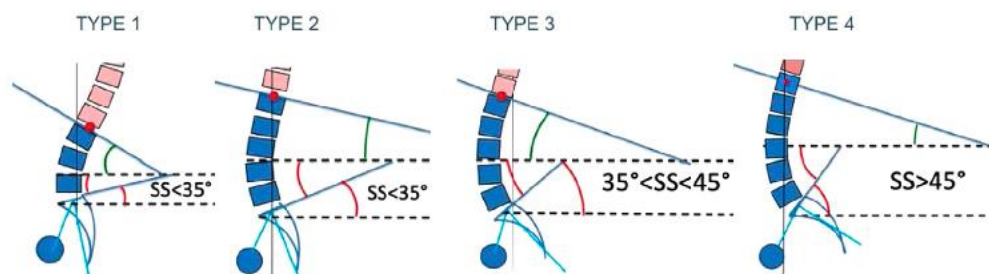


Fig. 11. Clasificación del tipo morfológico de columna de acuerdo a Rousouly et al., 2005,3. (Imagen: Genevois, 2020, 17)

Tipo 1:

- La pendiente sacra es menor de 35 grados, lo cual usualmente está asociada a una incidencia pélvica menor.
- El ápice de la lordosis lumbar está localizado en el centro de L5.
- El arco inferior de lordosis es mínimo, disminuyendo hacia cero a medida que la pendiente sacra se acerca a la horizontal.
- El punto de inflexión es bajo y posterior, lo que resulta en una breve lordosis con angulación negativa del tilt lordótico.
- La columna superior tiene una cifosis significativa de la unión toracolumbar y el tórax.

Tipo 2:

- La pendiente sacra es menor de 35 grados
- El ápice de la lordosis está ubicado en la base de L4
- El arco inferior de lordosis es relativamente plano.
- El punto de inflexión esta más alto y anterior, disminuyendo el ángulo de inclinación lordótica, pero aumentando el número de cuerpos vertebrales incluidos en la lordosis.
- La columna es relativamente hipolordótica e hipocifótica.

Tipo 3:

- La pendiente sacra está entre 35-45 grados.
- El ápice de la lordosis está en el centro del cuerpo de L4
- El arco inferior de lordosis es más prominente.
- El punto de inflexión está en la unión toracolumbar y el ángulo de inclinación lordótica es casi cero.
- Un promedio de cuatro cuerpos vertebrales constituye el arco de lordosis.
- La columna está bien balanceada

Tipo 4:

- La pendiente sacra es mayor a los 45 grados, lo cual está asociado a una incidencia pélvica mayor.
- El ápice de la lordosis está ubicado a nivel de la base de L3 o un poco más proximal
- El arco de lordosis inferior es prominente y el ángulo de inclinación lordótica es cero o positivo.
- El número de vertebrae lordóticas es mayor a cinco
- Existe un estado de hiperextensión segmentaria

Puntos importantes encontrados en el estudio:

- La categoría menos común fue el tipo 2 con 18 pacientes, mientras que la más común fue el tipo 3 con 60 pacientes.
- La cifosis global promedio fue de 46 grados
- El punto de inflexión se encontró en el centro de L1 en promedio, sin embargo, esta transición se encontró tan proximal como a nivel de T10 y tan distal como a nivel de L4.
- El rango de lordosis fue de 41-81 grados, con un promedio de 61 grados.
- En promedio el ápice de la lordosis se encontró en el centro de L4, con un rango entre L2 y L5.
- La lordosis global aumenta a medida que la pendiente sacra se vuelve más vertical, evidenciando una asociación recíproca entre la orientación del sacro y las características de la lordosis lumbar.
- Este estudio evidenció una alta variabilidad entre individuos diferentes en cuanto al alineamiento sagital de la columna y pelvis. Esto sugiere que la generalización ampliamente aceptada que la cifosis abraza los segmentos T1-T12 y la lordosis L1-L5 es una sobre simplificación.
- Las características de la lordosis lumbar son muy dependientes de la orientación de la pendiente sacra y la pelvis. El arco superior de lordosis se mantiene relativamente constante, con un promedio de 20 grados en todos los tipos propuestos de alineamiento sagital. Mientras que, por lo contrario, el arco de lordosis inferior es el determinante más importante de la lordosis global: ángulo inclinación lordótica, posición del ápice y número de vertebrae lordóticas.
- Una pendiente sacra menor a 35 grados y baja incidencia pélvica están asociadas con una espalda relativamente plana y corta lordosis lumbar. Una pendiente sacra

mayor a 45 grados y una incidencia pélvica alta están asociadas con una larga y prominente curva lumbar.

Tipos morfológicos de columna

La distribución de las fuerzas que actúan en la columna va a depender de la orientación del platillo vertebral y de las curvaturas espinales en general. En el caso de una inclinación promedio de 45 grados va a haber una equivalencia entre las fuerzas de deslizamiento paralelas al platillo y las fuerzas de compresión perpendiculares al mismo. Si el platillo vertebral se verticaliza, aumentarán las fuerzas de cizallamiento, mientras que, por el contrario, si el platillo se vuelve horizontal, aumentarán las cargas de compresión. En una columna cifótica o plana, los cuerpos y discos vertebrales serán los principales en soportar las cargas, en el caso de tratarse de una columna con lordosis acentuada, la carga se distribuirá principalmente sobre los elementos posteriores (Roussouly et al., 2011,10).

La interacción entre fuerzas de contacto y la gravedad sobre las cargas locales también van a tener efecto en la orientación de la columna. Cuando la columna lumbar se inclina hacia adelante las fuerzas se neutralizan por medio de una disminución en la presión abdominal y estabilización por parte de los músculos abdominales. Por el contrario, cuando la inclinación es hacia posterior, los músculos extensores son los responsables en neutralizar la fuerza de gravedad. El término “fuerza de contacto” en la columna es la suma de las fuerzas anteriores (gravedad, presión abdominal) y la fuerza de los músculos posteriores de la columna.

La flexibilidad de la columna lumbar está relacionada con la capacidad extensión. En el caso de lordosis pronunciadas, los arcos posteriores son más delgados, así como las apofisis espinosas, permitiendo un amplio arco de movilidad al costo de que la debilidad de los arcos posteriores pueda inducir una ruptura o aflojamiento que resulte en listesis. En lordosis relativamente planas, los arcos posteriores son gruesos y altos, así como las apofisis espinosas por lo que la capacidad de extensión se encuentra reducida. En el caso de cifosis patológica. Cuando la columna es flexible, la hiperextensión espinal arriba o por abajo compensa la cifosis. En el caso de una cifosis en columna rígida como por ejemplo ante una espondilitis anquilosante o una cifosis iatrogénica, el primer y único mecanismo de compensación va a ser la retroversión (Roussouly et al., 2011, 10).

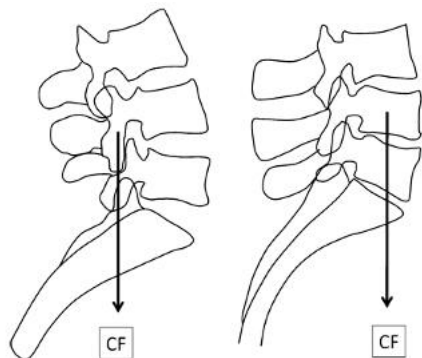


Fig. 12. Posicionamiento de las fuerzas de contacto con respecto a la extensión de la columna. Cuando la columna está en hiperextensión (lado izquierdo, hiperlordosis distal de una columna tipo 1) las fuerzas de contacto actúan sobre los elementos posteriores. Si hay poca lordosis local (lado derecho), las fuerzas de contacto actúan sobre los discos y cuerpos vertebrales. (Roussouly et al., 2011, 10)

Evolución degenerativa esperable según el tipo de columna de Roussouly (et al., 2011, 10).

Tipo 1: breve hiperlordosis con una amplia cifosis toracolumbar.

- Discopatías toracolumbares tempranas.
- En la zona de transición entre la cifosis toracolumbar y la lordosis lumbar, los discos están muy inclinados, lo que predispone a una retrolistesis.
- Artritis facetaria en los elementos posteriores de la columna lumbar distal.
- La hiperextensión L4-S1 podría resultar en una espondilólisis L5 tipo cascanueces por cargas compresivas
- Los discos L4-L5 y L5-S1 se encuentran protegidos de cargas excesivas.
- En el caso de una un incremento de la cifosis toracolumbar, como por ejemplo en el caso de una fractura, la única manera de compensar sería aumentando la corta lordosis distal. Sin embargo, la capacidad de retroversión está limitada debido a la baja incidencia pélvica. Por lo que, para evitar esta hiperlordosis tan concentrada, se debe procurar reducir la cifosis toracolumbar.

Tipo 2: Curva lumbar plana.

- Los discos reciben la mayor parte de la carga debido a su orientación horizontal. Hay un riesgo considerable de enfermedad discal temprana con hernia de disco central. El riesgo de discopatía temprana aumenta en pacientes con baja incidencia pélvica y espalda plana. Desde el punto de vista mecánico este tipo de columna no está adaptada para el soporte de peso ni actividades que demanden altas cargas en la espalda.

Tipo 3: se considera como el tipo que representa la armonía óptima entre las curvas y no se caracteriza por algún patrón degenerativo en específico.

Tipo 4: lordosis lumbar prominente.

- Fuerzas de cizallamiento pueden resultar en una espondilólisis ístmica de L5.
- Artritis de las facetas posteriores puede tener diferentes presentaciones patológicas como subluxación a través de mecanismos de deslizamiento, osteofitos, sinovitis y formación de quistes. Puede presentarse inestabilidad anterior con deslizamiento por espondilolistesis degenerativa, usualmente a nivel de L4-L5.
- Pacientes mayores pueden perder la lordosis característica y compensar mediante una amplia retroversión dado la alta incidencia pélvica asociada con este tipo de columna.

La forma original de la columna de cada individuo es un factor determinante en el proceso evolutivo de la patología degenerativa. Al conseguir la incidencia pélvica, por ser un parámetro fijo, nos podemos guiar sobre el tipo de columna propio del paciente que puede estar enmascarado por los mecanismos de compensación y de esta forma guiarnos sobre la restauración del balance sagital necesaria.

Mecanismos de compensación

En el 2004 Battié (et al., 36) describió como un 74% de la degeneración discal es secundario a factores genéticos. Con la edad, la columna lumbar sufre modificaciones que resultan en incompetencia mecánica de los discos por pérdida en su elasticidad e hipermovilidad. Otros cambios degenerativos incluyen a la; hipertrofia facetaria, atrofia de los músculos extensores y el remodelamiento óseo. De forma variable estos cambios resultaran en pérdida de lordosis o cifosis de la columna vertebral (Barrey et al., 2013, 5).

El propósito de la compensación busca mantener el balance de la columna por encima de la pelvis en el plano sagital, de esta forma se busca una postura energéticamente económica y una capacidad para mantener la mirada en el horizonte. Los mecanismos compensatorios dependen de múltiples factores como la flexibilidad o rigidez de la columna, el estado de la musculatura paravertebral, el componente de dolor asociado y la severidad del desbalance presente; por lo que rara vez se ven actuar todos a la vez, sino más bien se van asociando en diferentes grados.

La pérdida en lordosis lumbar es secundaria al proceso degenerativo, los otros cambios en parámetros posicionales como reducción en la cifosis, aumento de la lordosis proximal o disminución en la pendiente sacra, son mecanismos compensatorios.

Barrey (et al., 5) en el 2013 observaron 3 etapas dependiendo de la severidad del desbalance sagital: balanceado, balanceado a expensas de mecanismos compensatorios y desbalanceado.

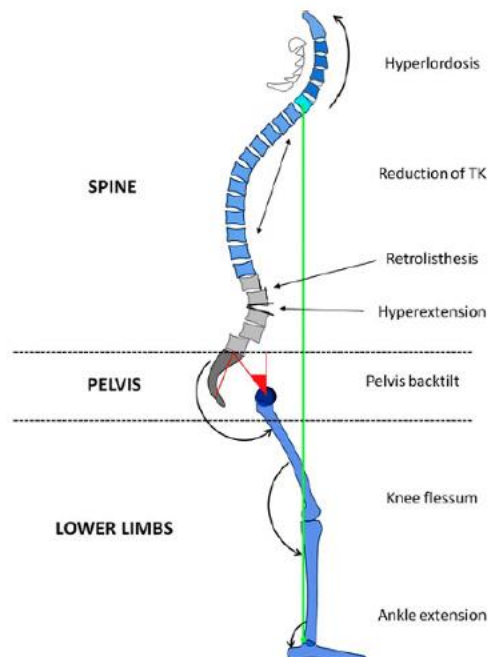


Fig. 13. Diferentes mecanismos de compensación en la columna, pelvis y miembros inferiores. (Barrey et al., 2013, 5)

Mecanismos en la columna

La hiperextensión de la columna cervical es una forma de compensación ante una hiper cifosis torácica con el objetivo de poder mantener la mirada en el horizonte; sin embargo, como consecuencia de la hiperlordosis esta la degeneración acelerada asociada que se presenta como artrosis facetaria, la cual puede resultar en dolor axial, estenosis foraminal y/o central con radiculopatía o mielopatía.

La postura de la frente es otra forma de compensación que permite mantener abiertos los forámenes y a la vez manteniendo una mirada horizontal al limitar la lordosis cervical por medio de hiperlordosis O-C2.

La disminución de la cifosis torácica es una forma de limitar la traslación anterior de la columna en relación a la pelvis. Esto es factible en el contexto de pacientes jóvenes con una columna flexible, mientras que en una columna rígida no hay posibilidad para disminuir la magnitud de su curva. En un estudio observaron como pacientes con enfermedad discal degenerativa y hernia de disco fueron caracterizados por una columna plana secundaria tanto a una reducción significativa de la lordosis lumbar y cifosis torácica (Barrey et al., 2013, 5).

La hiperextensión de los segmentos adyacentes se ha evidenciado como un mecanismo compensatorio para limitar la cifosis lumbar. En estudios previos se ha visto que pacientes que padecen de dolor lumbar crónico usualmente se caracterizan por tener menor lordosis distal, un sacro más verticalizado y mayor lordosis proximal. En el 2011 Schuller (et al. 37) encontró que los segmentos lumbares proximales (L1-L2 y L2-L3) presentaron mayor grado de extensión en pacientes con espondilolistesis degenerativa

L4-L5. La hiperextensión local va a ser eficiente desplazando la columna posteriormente, sin embargo, esto resulta en un incremento de las cargas sobre los elementos posteriores, degeneración facetaria acelerada y riesgo de retrolistesis. La hiperextensión puede ser mono o multisegmentaria y está definida por una lordosis segmentaria de un nivel por arriba de 15 grados (Schuller et al., 2011, 37)

La discopatía compensatoria es otro mecanismo y se caracteriza por hiperextensión discal de más de 15 grados. Se diferencia de la discopatía degenerativa en que esta última resulta en un estrechamiento paralelo de los platillos vertebrales que resulta en menor lordosis. Faundez et al. 24, 22! Describió el signo “inclinación hacia atrás” el cual se caracteriza por hiperextensión discal con anterolistesis al mismo nivel, la vertebra proximal se desliza hacia adelante y se inclina en hiperextensión sobre la vertebra distal.

La retrolistesis lumbar usualmente se limita a un desplazamiento de 2-3mm y puede resultar en estenosis central o foraminal. Usualmente se presenta la columna lumbar proximal o en L5-S1.

Mecanismos pelvis y miembros inferiores

La retroversión pélvica es el único mecanismo descrito propiamente de la pelvis y hace referencia a la rotación posterior de la pelvis con respecto a las cabezas femorales. Las caderas van a estar por detrás del eje bicoxofemoral, esto aumenta la distancia sacro femoral, compensando la traslación anterior de la columna. Como mencionado previamente la incidencia pélvica determina la capacidad de retroversión.

La flexión de rodilla se ha visto como mecanismo compensatorio en el contexto de enfermedad degenerativa severa, un estudio evidenció una asociación entre el ángulo de flexión de rodillas y la ausencia de lordosis teórica estimada según la incidencia pélvica (Obeid et al., 2011, 38).

Barrey (et al., 5) propusieron un algoritmo basado en tres pasos para determinar la presencia o ausencia de mecanismo compensatorios. Primero se procede a determinar la incidencia pélvica y con este valor se pueden determinar los valores teóricos esperables de los parámetros espinopélvicos posicionales. Como segundo paso es determinar el balance o desbalance global del paciente y esto se propone realizarlo mediante el ángulo espino sacro y/o C7PL/SFD. Como tercer y último paso está el determinar la presencia de mecanismo compensatorios por zona. En la columna se valoran las curvas cervical, torácica y lumbar además de buscar mecanismos como hiperextensión local, retrolistesis o discopatía compensatoria. En la pelvis se debe determinar la inclinación pélvica en relación a la incidencia y no menos importante en los miembros inferiores medir en ángulo de flexión de rodillas, ya que este mecanismo si no es tomado en cuenta puede enmascarar al resto de parámetros (Barrey et al., 2013, 5).

Parámetros espinopélvicos y su correlación patológica

Desde el contexto de la lumbalgia crónica, cuya etiología suele ser multifactorial y de abordaje multidisciplinario podemos buscar relación con los diferentes parámetros de balance sagital. Sabiendo que factores tanto psicosociales como ambientales son importantes en predecir su recurrencia y cronicidad, los factores morfológicos y posturales pueden también potencialmente influencia su presentación. Un estudio prospectivo comparó 198 pacientes con dolor lumbar crónico y 709 pacientes control asintomáticos, en cuanto a parámetros de balance sagital. (Chaleat et al., 2011, 45)

Las relaciones entre los parámetros son similares entre el grupo dolor lumbar y los cohortes de control. En particular, hay fuertes correlaciones que generalmente se encuentran en individuos normales entre la incidencia pélvica e inclinación pélvica, así como entre los parámetros pélvicos y la lordosis lumbar se conservan en el grupo de lumbalgia crónica, lo que confirma la fuerte interdependencia entre la pelvis y la columna lumbar para mantener una postura equilibrada. Sí se encuentran diferencias significativas pero pequeñas para varios parámetros de los segmentos pélvico, lumbar y torácico en sujetos con dolor lumbar. El tipo de lordosis lumbar también es distribuido de manera diferente entre sujetos con dolor lumbar. Una mayor proporción de sujetos con dolor lumbar presentan una pendiente sacra anormalmente pequeña (<35 grados) y una incidencia pélvica asociada con una lordosis lumbar larga pero recta, en comparación con los controles. (Chaleat et al., 2011, 45)

Parámetro	Lumbalgia	Control	P value
Edad	39.4	36.8	0.02
Incidencia pélvica	50.6°	52.6°	0.02
Inclinación pélvica	13.9°	13.0°	0.1
Pendiente sacra	36.7°	39.6°	<10 ⁻⁴
Lordosis lumbar	41°	42°	0.3

Tabla 1. Parámetros promedio de balance espinopélvico en paciente con lumbalgia crónica y controles (Chaleat et al., 2011, 45)

La espondilolistesis degenerativa se ha asociado a factores como la edad, género, IMC y orientación sagital de las facetas articulares, sin embargo, llama la atención su relación con valores altos de incidencia pélvica. El estudio multicéntrico retrospectivo por Ferrero et al. (2014) comparó los valores de la incidencia pélvica en grupo de 654 pacientes con espondilolistesis degenerativa con un grupo de voluntarios asintomáticos. (Ferrero et al., 2014, 43) Se confirmaron valores altos de incidencia pélvica en el grupo de espondilolistesis degenerativa, asociando además en este grupo, una ausencia de lordosis principalmente en el área lumbosacra. La lordosis L4-S1 representó un 44% de la lordosis máxima en el grupo patológico en comparación con un 66% del grupo asintomático. En este mismo estudio se evidencia que pese a que se documentaron mecanismos compensatorios como retroversión pélvica o disminución de la cifosis torácica, estos fueron insuficientes para corregir el mal alineamiento anterior demostrado por el 24% de pacientes con tilt C7 anterior. La tasa de inclinación pélvica / incidencia pélvica fue de un 39% vs un 25% en el grupo asintomático, evidenciando la retroversión

pélvica como signo de mal alineamiento sagital. Pese a lo dicho, un 25% de paciente con espondilolistesis degenerativo tuvo una incidencia pélvica por debajo de los 51 grados, recalcando que su patogénesis es multifactorial. (Ferrero et al., 2014, 43)

En pacientes con enfermedad degenerativa del disco, la pérdida de lordosis lumbar es un hallazgo frecuente que tiene el potencial de influir en el equilibrio sagital. (Mardare et al., 2016, 42). estudiaron pacientes con hernia de disco lumbar que fueron manejados ya sea de forma quirúrgica o conservadora, comparando diferencias entre los parámetros de balance sagital. Los pacientes con enfermedad degenerativa del disco lumbar de un solo nivel que fueron sometidos a tratamiento quirúrgico presentaron fundamentales diferencias de los parámetros espinopélvicos: reducción de incidencia pélvica, pendiente sacra y lordosis lumbar en comparación con los pacientes tratados de forma conservadora. Los pacientes que necesitaron tratamiento quirúrgico mostraron una tendencia a tener una morfología según la clasificación de Roussouly tipos I y II, con una significativa incidencia pélvica más baja en comparación con la población normal inclusive correlacionando con los cambios en la resonancia magnética de Pfirrmann. (Mardare et al., 2016, 42) Con base en lo dicho, estos parámetros podrían ayudar a predecir que pacientes suelen tener una mejor respuesta a la terapia conservadora.

	<i>Incidencia pélvica</i>	<i>Inclinación pélvica</i>	<i>Pendiente sacra</i>	<i>Lordosis lumbar</i>
<i>Grupo quirúrgico (n=26)</i>	48.3 °± 11	15.1 °± 5.9	33 °± 8.4	49.4 °± 13
<i>Grupo conservador (n=45)</i>	52.7 °± 11	16.7 °± 8.2	35.8 °± 8.2	53 °± 12
<i>Grupo asintomático (n=709)</i>	652.6 °± 10	13.0 °± 6.8	39.6 °± 7.9	61 °± 10.7

Tabla 2. Parámetros espinopélvicos obtenidos en los grupos estudiados y en comparación con la población asintomática. (Mardare et al., 2016, 42)

Se puede afirmar que los pacientes con patología de disco lumbar, discopatía degenerativa y espondilolistesis degenerativa demuestran tres principios fundamentales y variaciones significativas en el balance espinopélvico según el estudio de (Barrey et al., 2007, 46): traslación anterior de la línea de plomada C7, pérdida de lordosis lumbar y una menor pendiente sacra como retroversión pélvica. La forma de la pelvis también parece influenciar en el tipo de enfermedad degenerativa observada viendo que los pacientes con lesiones discales se caracterizan por una incidencia pélvica normal o bajo con columna recta, mientras que población con espondilolistesis degenerativa presenta curvas pronunciadas con gran incidencia pélvica. (Barrey et al., 2007, 46)

	Control	HDL	DD	ELD
n	154	25	32	28
IP	52° ± 10.7	49.8° ± 11.4	51.6° ± 12	60° ± 11
PS	40° ± 8.2	35.4° ± 10 P=0.001	35.6° ± 9 P<0.0005	40.1° ± 8.8 P<0.0005
TP	12° ± 6.5	14.4° ± 5.9 P=0.001	16.4° ± 7.4 P<0.0005	19.9° ± 7 P<0.0005
LL	61° ± 9.7	48.8° ± 11 P<0.0005	48.8° ± 12 P<0.0005	59° ± 11 P<0.0005
CT	47° ± 10.2	40.2° ± 11 P<0.002	39° ± 10 P<0.0005	43.8° ± 9.8 P<0.005
SSA	125° ± 7.8	123.5° ± 9 P<0.005	127° ± 11.3 P<0.005	127.5° ± 10 P<0.0005

Tabla 3. Comparación parámetros espinopélvicos (Barrey et al., 2007, 46)

HDL: Hernia disco lumbar, DD: Discopatía degenerativa, ELD: Espondilolistesis degenerativa

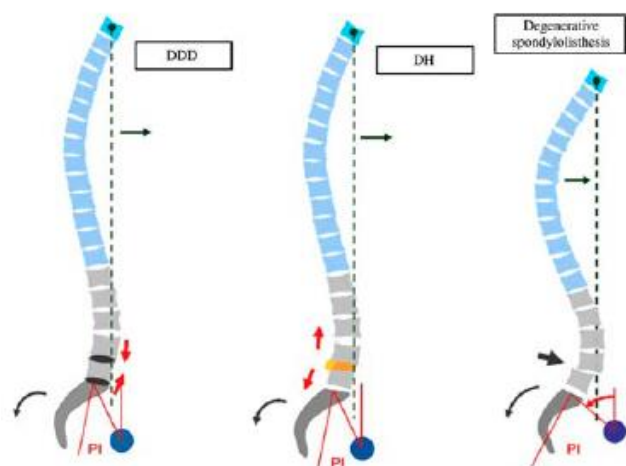


Fig. 14. Variaciones de la alineación espinopélvica en la población de pacientes. Las variaciones del equilibrio sagital fueron de la misma manera para pacientes con enfermedades del disco (DD y HDL) y para pacientes con ELD: desplazamiento anterior de la plomada C7, pérdida de lordosis y retroversión pélvica. Diferencia entre enfermedades del disco (HDL y DD) y DSPL se referían a la forma de la pelvis: la IP fue normal o disminuida para DD y HDL y aumentada para el grupo de ELD. (Barrey et al., 2007, 46)

En el caso de fracturas por fragilidad también se ha estudiado posibles asociaciones con el balance sagital. Dai et al. (2014, 44) Estudiaron la relación entre el balance sagital y la incidencia de fracturas vertebrales en mujeres postmenopáusicas con osteoporosis a las cuales se les dio seguimiento por 6 años. Se encontró que las pacientes con fractura vertebral tuvieron una tendencia por tener valores inferiores de lordosis lumbar, pendiente sacra e incidencia pélvica. Mientras que al comparar los valores del eje vertical sagital se demostró que la mayoría de pacientes osteoporóticos pueden tener un balance sagital normal previo a la presencia de una fractura. Lee et al. (2013, 47) observaron un desequilibrio sagital evidente en pacientes osteoporóticos con antecedentes de fractura vertebral, y concluyó que la incidencia pélvica era un predictor notable para el desequilibrio sagital. En conjunto, se puede concluir que PI es de gran valor en la predicción de lesiones vertebrales incidentales en pacientes con osteoporosis

que posteriormente puede conducir al desequilibrio sagital. La evaluación del perfil espinal sagital sería útil para la predicción de futuras fracturas vertebrales durante un largo período de tiempo. (Dai et al., 2014, 44)

	Grupo fractura	Grupo sin fractura	P value
Edad	56± 6.8	54± 7	NS
IMC	23± 1.5	22.9± 1.8	NS
CT	25.8 °± 9	27.2 °± 8.7	NS
LL	41.3 °± 6.2	47.5 °± 7.3	0.001
PS	24.5 °± 4.2	31.3 °± 5.1	<0.001
TP	11.4 °± 6.7	12.1 °± 5.9	NS
IP	42.3 °± 8.7	46.2 °± 9.4	0.01
SVA (cm)	20.7 ± 28	19.5 ± 22	NS

Tabla 4. Comparación entre el grupo de fractura y el de no fractura en términos de parámetros asociados. Dai et al. (2014, 44)

Definiendo el umbral adecuado del alineamiento espinopélvico

Se han publicado múltiples estudios en las últimas 2 décadas con respecto a la correlación de los parámetros espinopélvicos con el pronóstico basado en instrumentos de medición HRQOL. El objetivo ha sido definir objetivos precisos para la corrección quirúrgica. Con el envejecimiento de la población y el incremento en sus demandas funcionales, se ha visto un incremento en las cirugías de corrección de deformidad con osteotomías agresivas y largas instrumentaciones (Lafage et al., 2016, 9)

A parte de los mecanismos compensatorios van a ocurrir otros cambios relacionados al envejecimiento en el resto del sistema musculoesquelético como, por ejemplo; la atrofia muscular, disminución en la cantidad de unidades motoras funcionales y cambios del cartílago secundarios a la artritis. Los componentes neurosensoriales y del control postural también se ven afectados por la edad. Al considerar la cirugía de realineamiento sagital se deben tomar en cuentas todos estos factores.

Parámetros normales de alineamiento en individuos sanos es un tema que se ha estudiado, sin embargo, esto no significa que al tratar pacientes con desbalance sagital se deban buscar alineamientos que asemejen al estándar de los individuos sanos. La deformidad espinal del adulto es una enfermedad crónica con limitación funcional documentada y la cirugía debe procurar tratar el dolor y discapacidad más que intentar conseguir parámetros anatómicos (Lafage et al., 2016, 9).

Schwab (et al., 2009, 2) han recomendado parámetro de SVA <40mm, discrepancia IP-LL dentro de 10 grados y una inclinación pélvica <20 grados como un balance óptimo. Sin embargo, debido a la gran variabilidad asociada a la edad se ha puesto en duda la rigurosidad de estos objetivos (Smith et al., 2019, 28).

En el estudio por Lafage et al., 2016, 9) se proporcionaron objetivos de alineamiento realísticamente obtenibles y que correlacionan con pronósticos

satisfactorios reportados por los pacientes. Estos parámetros se detallan en la siguiente tabla. En este estudio se concluyó que, para un cierto resultado en el ODI, los pacientes mayores tienen una mayor predisposición de tener algún elemento de desbalance sagital basándose en los parámetros clásicos. Estos pacientes no requieren objetivos rigurosos de alineamiento ya que cambios como una leve traslación anterior o retroversión pélvica parecen ser resultado de la evolución y adaptación natural al envejecimiento (Schwab et al., 2014, 12).

Rango de edad	% En la base de datos	ODI	PT	IP-LL	SVA	T1PA
<35	17.7	9.4	11.1	-11.3	-29.1	4.4
35-44	8.8	11.7	15.5	-6.2	-4	10.0
45-54	19.9	15.4	18	-1.7	16.5	14.5
55-64	28.0	20.8	22.1	3.3	37	18.8
65-74	19.5	24.6	25.2	7.5	55.6	22.8
>74	6.2	32.5	28.8	13.7	79.9	27.8

Tabla 5. Parámetros radiológicos limítrofes según Edad -ODI específico (Lafage et al., 2016, 9)

Posiblemente, los pacientes jóvenes requieran objetivos de realineamiento más rigurosos. Se ha visto en estudios que los pacientes mayores toleran magnitudes mayores de mal alineamiento sagital. Pacientes mayores a 75 años toleran una discrepancia IP-LL de 8.3 con un ODI de 20, mientras que para el mismo ODI, los pacientes entre los 35-44 años ocuparon una discrepancia 2.7 (Smith et al., 2019, 28).

Rango de edad	Discapacidad Moderada ODI=20				Discapacidad Severa ODI=40			
	PT	IP-LL	SVA	TPA	PT	IP-LL	SVA	TPA
<35	11.3	-6.8	-17.4	6.2	13.2	1.8	5	9.8
35-44	15.1	-2.7	5.2	11.5	17	5.9	27.6	15
45-54	17.8	0.2	21.6	15.3	19.7	8.8	44	18.8
55-64	20.2	2.9	36.1	18.7	22.2	11.5	58.5	22.2
65-74	22.6	5.5	50.4	22	24.6	14.1	72.8	25.5
>75	25.2	8.3	65.8	25.6	27.1	16.9	88.2	29.1

Tabla 6. Parámetros radiológicos correspondientes a un ODI de 20 (izquierda) y 40 (derecha). (Lafage et al., 2016, 9)

Rol del manejo conservador

Es importante agotar las opciones de tratamiento conservador previo a un tratamiento quirúrgico por su alto riesgo de complicaciones, necesidad de reintervención y el alto costo económico asociado a este tipo de cirugías. Usualmente se indica en el contexto de pacientes con síntomas leves a moderados como dolor axial, radicular, claudicación neurogénica, además en deformidades cuya curva es menor a 30 grados, con menos de 2mm de subluxación lateral y un balance coronal / sagital aceptable.

La mayoría de la evidencia disponible con respecto al tipo y momento para prescribir una terapia conservadora es de tipo retrospectivo. Se considera una falta de consenso sobre el manejo conservador óptimo para los pacientes con deformidad espinal degenerativa. Entre las posibilidades de manejo conservador se encuentra el uso de corsés, terapia física, inyecciones epidurales, uso de radiofrecuencia y diferentes modalidades de esquemas analgésicos. Pese a la falta de evidencia se apoya que en el caso de pacientes en los que se logre con las medidas conservadoras una adecuada calidad de vida y funcionalidad, se puede evitar la intervención quirúrgica (Cheung, 2020, 26).

Evolución hacia un manejo quirúrgico

En una revisión sistemática en el 2013 por Hart et al. (39) de estudios acerca del manejo conservador en la deformidad espinal del adulto, se llegó a la conclusión que los cirujanos usualmente optaban por el manejo conservador debido a la alta tasa de complicaciones, pese a que no hay un consenso sobre las indicaciones de manejo conservador. En el 2009, Bridwell et al. (40) realizaron un estudio prospectivo que tomó en cuenta 160 pacientes con deformidad espinal del adulto manejados de forma conservadora o quirúrgica y a los cuales se les dio seguimiento por 2 años. El estudio evidenció en cuanto a los parámetros HRQOL del grupo operado mientras que en el grupo de manejo conservador no hubo mejoría alguna.

Como factor importante a considerar, están las tasas de complicaciones quirúrgicas. En el 2007 Daubs et al. (41) realizaron un estudio de 46 pacientes por arriba de 60 años de edad sometidos a artrodesis torácicas o lumbares de cinco o más niveles y a los que se les dio seguimiento por 4 años, se observó una tasa general de complicaciones de un 37%, con una tasa de complicaciones mayores al 20%; en pacientes por arriba de los 69 años estos porcentajes fueron mayores. Sin embargo, al final del seguimiento, el pronóstico con respecto al índice de discapacidad de Oswestry fue significativamente mejor.

El objetivo al manejar esta patología es procurar un tratamiento “óptimo”. Previamente los parámetros radiológicos eran el aspecto más cuantificable para determinar el éxito o fracaso de la intervención quirúrgica; sin embargo, actualmente se ha visto una tendencia a medir éxito por medio de los instrumentos de medición HRQOL.

Un estudio prospectivo realizado por Acaroglu (et al., 7) en donde se le dio seguimiento por un año a 535 pacientes manejados de forma conservador o quirúrgica

buscó responder la pregunta sobre el tratamiento óptimo en la deformidad espinal del adulto. Como se evidenció en otros estudios, se demostró que la posibilidad de mejoría fue significativamente más alta en los pacientes intervenidos quirúrgicamente. La mejoría funcional basándose en el índice de discapacidad de Oswestry fue de un 54% en comparación a un 9% del grupo no operados. Un hallazgo interesante fue de presentar un deterioro significativo al año de seguimiento, la cual fue mayor en el grupo manejado sin intervención quirúrgica por lo que hay una mayor probabilidad de mejoría y una menor posibilidad de presentar un deterioro. Este estudio también buscó determinar la carga asociada al tratamiento. La carga más elevada representada por fallecimiento o parálisis completa y la menos elevada representando un excelente estado de salud. Como era de esperar esta carga fue mucho mayor en el grupo que se manejó de forma quirúrgica. No obstante, solo en el grupo intervenido quirúrgicamente pudo disminuir significativamente la carga de la enfermedad, mientras que la carga en general de la enfermedad se mantuvo sin cambios en el grupo manejado de forma conservadora

Al analizar las complicaciones en este grupo se documentaron 78 complicaciones sin compromiso directo de la vida (14.6%), 12 complicaciones con potencial compromiso de la vida (2.2%) y 3 casos de fallecimiento / parálisis (2.2%). En la siguiente tabla se detallan los resultados (Acaroglu et al., 2016, 7).

Complicaciones	Quirúrgicas n (%)	No quirúrgicas n (%)	Total n (%)
Ninguna	112 (68)	330 (89)	442 (82.6)
CCV	39 (23.8)	39 (10.5)	78 (14.6)
CSCV	10 (6.1)	2 (0.5)	12 (2.2)
Fallecimiento	3 (1.8)	0	3 (0.6)
Total	52 (31.7)	41 (11.1)	535

CCV: Complicaciones que comprometen la vida; CSCV: complicaciones sin compromiso de la vida

Tabla 7. Incidencia de complicaciones en pacientes operados y pacientes no operados. (Acaroglu, et al., 2016, 7)

Indicación quirúrgica

La indicación quirúrgica primaria en la deformidad espinal del adulta va a ser una limitación funcional que se pueda asociar a la deformidad. Esta limitación se puede presentar de múltiples formas, incluyendo síntomas como dolor axial, dolor radicular, déficit neurológico, claudicación neurogénica o progresión de la deformidad. Inicialmente se debe procurar un manejo conservador, sin embargo, si no se logra una mejoría significativa por parte del paciente y la limitación afecta la calidad de vida, estaría indicada la cirugía de corrección. Los síntomas neurológicos son variables dependiendo del tipo de deformidad y grado de afectación asociado. Smith et al., sugieren que en los pacientes que consultan por deformidad espinal del adulto refieren, 8% debilidad secundaria a una radiculopatía, 9% claudicación, 1% mielopatía y 3% alteración en el control de esfínteres. Las limitaciones funcionales usualmente se deben al aumento del gasto energético secundario al incremento del SVA (Nolte et al., 2020, 21).

Dado que muchos de estos pacientes usualmente son de edad avanzada y se presentan en la séptima década de vida se deben balancear las opciones de manejo

entre calidad de vida y capacidad de tolerar una cirugía correctiva de alta complejidad. Muchos de estos pacientes tienen múltiples comorbilidades médicas con riesgos asociados por lo que una valoración preoperatoria exhaustiva es obligatoria una vez se considere candidato a cirugía. Es necesario discutir e informar al paciente sobre los síntomas y expectativas postoperatorias. La evaluación completa debe incluir tanto la presentación clínica, alineamiento, pronóstico, comorbilidades y rehabilitación postoperatoria.

El uso de osteotomías otorga flexibilidad a la columna, lo cual es particularmente útil en curvas rígidas o largas. En el caso de restaurar la cifosis torácica el beneficio sigue sin definirse. El tipo específico de osteotomía a utilizar estará basado en la cantidad de corrección necesaria según el planeamiento preoperatorio. En el siguiente apartado de esta revisión se detallan los tipos de osteotomías según la clasificación descrita por Schwab. Las osteotomías de columna posterior por lo general se utilizan en deformidades flexibles con menor cantidad de corrección necesaria. Usualmente corrigen entre 5-10 grados por nivel dependiendo del grado de flexibilidad en el espacio discal. Las osteotomías de tres columnas son más agresivas y usualmente se utilizan en casos con deformidades angulares fijas. La osteotomía de sustracción pedicular por lo general permite una corrección de entre 20-40 grados en la lordosis lumbar. Las osteotomías de resección vertebral pueden corregir entre 40-80 grados especialmente en las zonas de transición (Cheung, 2020, 26).

Scheer et al. (13) realizaron un estudio en el 2014 para valorar si osteotomías técnicamente complejas con altos riesgos asociadas como las osteotomías de tres columnas realmente podían ofrecer un beneficio en pacientes afectados por la deformidad espinal del adulto, tomando en cuenta que estos pacientes suelen ser de edad avanzada, con múltiples comorbilidades y pobre calidad ósea. Se determinó que, pese al riesgo y complejidad, sí pueden ofrecer una corrección significativa y mejorar el pronóstico funcional. No se considera una equivalencia entre osteotomías de sustracción pedicular y resección de vertebra en el contexto de HRQOL y edad. En el caso de pacientes sometidos a osteotomías de sustracción pedicular, los de edad avanzada tienen una discapacidad preoperatoria mayor que los pacientes jóvenes; sin embargo tienen una mayor mejoría en relación a los resultados en HRQOL. En el caso de pacientes sometidos a osteotomías de resección vertebral, usualmente tienen un nivel de discapacidad preoperatorio similar, pero en este caso son los pacientes más jóvenes los que suelen conseguir mayores incrementos según las mediciones de HRQOL.

Tipos de osteotomías

Schwab et al. (12) propuso en el 2014 un sistema de clasificación de osteotomías basado anatómicamente para proporcionar un lenguaje común entre cirujanos de columna. Este sistema está basado en 6 grados anatómicos de resección correspondiente a la extensión de hueso resecado e incrementos en el grado de potencial desestabilizador.

Este sistema busca destacar la importancia de un abordaje sistemático y anatómico para facilitar la comunicación y de esta manera estandarizar los reportes y pronósticos para el tratamiento de la deformidad espinal. Es necesario mencionar que este sistema de clasificación no intenta describir las indicaciones, eficacia o abordaje quirúrgico óptimo para cada procedimiento (Schwab et al., 2014, 12)

Grado I: resección parcial de articulaciones facetarias

- Involucra la resección de las facetas inferiores y capsula articular de un nivel espinal.
- Potencial de corrección de deformidad limitado
 - o Ofrece cambios limitados en el alineamiento y potencial para fusión por medio de la resección del cartílago de la faceta superior.
- Se requiere de movilidad en la columna anterior para la realización de este tipo de osteotomía.
- La osteotomía de Smith Petersen es una osteotomía de apertura en cuña. En promedio, 5-10 grados de corrección pueden obtenerse por cada nivel, pero una ausencia de movilidad de la columna anterior puede resultar en secuelas neurológicas y vasculares

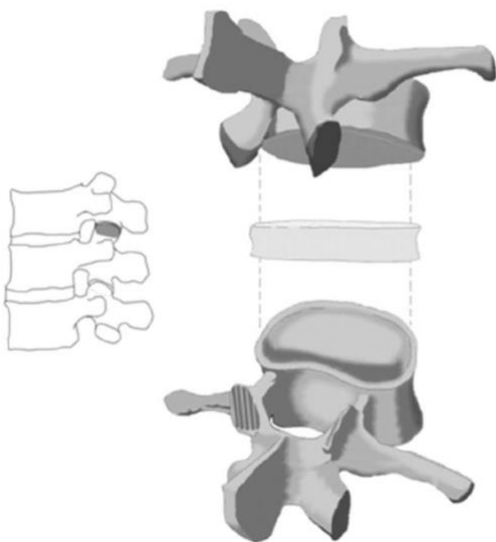


Fig. 15. Osteotomía grado 1, resección parcial articulaciones facetarias. (Schwab et al., 2014, 12)

Grado II: resección completa de las articulaciones facetarias

- Involucra la resección de tanto las facetas inferiores como superiores de un nivel espinal.
- Así como el ligamento amarillo, otros elementos posteriores, incluyendo las láminas, apófisis espinosas puede ser incluidos en la resección.
- Se requiere de movilidad en la columna anterior para la realización de este tipo de osteotomía.
- Este grado de osteotomías resecan hueso más allá de lo descrito por Smith Petersen.

- La osteotomía de Ponte involucra la resección de múltiples facetas, así como de las apófisis espinosas e involucra una cantidad sustancial de hueso y ligamentos resecados para corregir la deformidad.

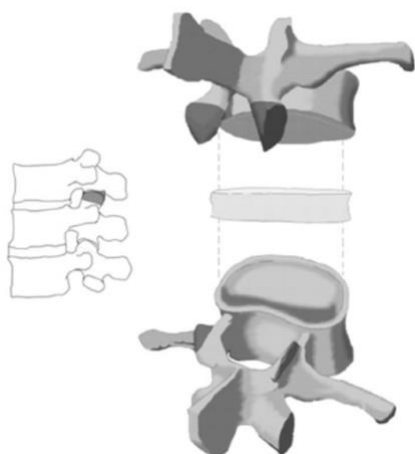


Fig. 16. Osteotomía grado 2, resección completa articulaciones facetarias. (Schwab et al., 2014, 12)

Grado III: Resección pedicular y parcial de cuerpo vertebral

- Involucra una resección parcial en cuña del cuerpo vertebral posterior y resección de los elementos posteriores con los pedículos.
- Una porción del cuerpo vertebral y discos intervertebrales tanto por arriba como por debajo del nivel de osteotomía, se mantienen intactos.
- La osteotomía de sustracción pedicular se ha descrito como una resección en forma de cuña de los pedículos, extendiéndose a la porción posterior y media del cuerpo vertebral seguidamente de la resección del par de procesos articulares y desinserción de las apófisis transversas. Esta técnica no resulta en alargamiento de la columna anterior y aproximadamente se pueden conseguir entre 25-25 grados de corrección por cada nivel.

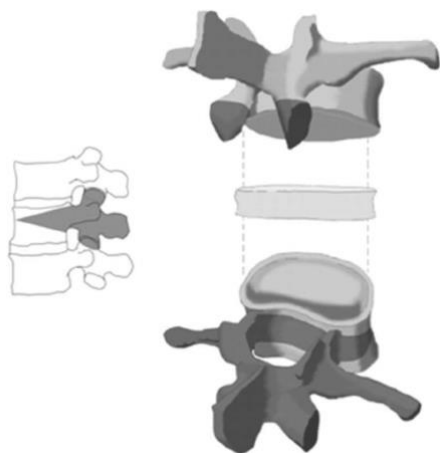


Fig. 17. Osteotomía grado 3, resección pedicular y parcial de cuerpo. (Schwab et al., 2014, 12)

Grado IV: Resección pedicular con resección parcial de cuerpo vertebral y disco intervertebral.

- Involucra una resección en cuña más amplia a través del cuerpo vertebral que la realizada para el grado III y que incluya cuerpo vertebral posterior, elementos posteriores con pedículos y suficiente resección de cuerpo para que el platillo y al menos una porción de un disco adyacente sea resecada. Una porción del cuerpo vertebral al nivel de la osteotomía permanece intacta, pero se podría requerir soporte anterior en casos de acortamiento marcado.

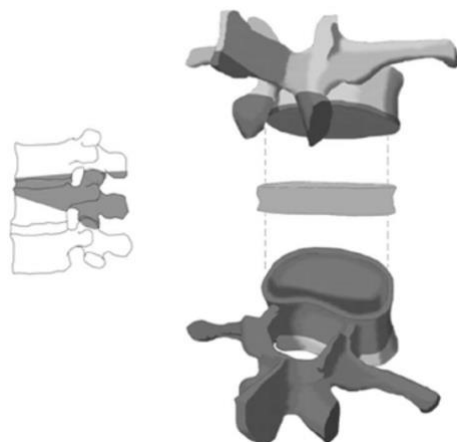


Fig. 18. Osteotomía grado 4, resección pedicular y parcial de cuerpo y disco intervertebra. (Schwab et al., 2014, 12)

Grado V: Resección completa de vértebra y discos intervertebrales

- Involucra la resección completa de un nivel vertebral y sus discos adyacentes, en la columna torácica se asocia con resección costal agregada. Por el acortamiento anterior resultante, un soporte anterior es frecuentemente necesario.



Fig. 19. Osteotomía grado 5, resección completa de segmento vertebral. (Schwab et al., 2014, 12)

Grado VI: resección de múltiples vertebras adyacentes y sus discos intervertebrales

- Involucra resección de varias vertebras adyacentes, al menos un cuerpo vertebral completo y una resección parcial o completa de una segunda vertebra.

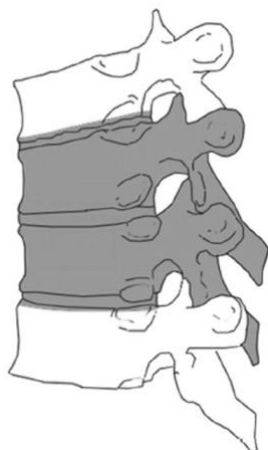


Fig. 20. Osteotomía grado 6, resección completa de múltiples segmentos vertebrales adyacentes. (Schwab et al., 2014, 12)

La decisión sobre dónde ubicar la osteotomía debe tomar en cuenta los cambios de angulación y traslación con respecto a la línea de plomada. Lafage et al. (9) observaron en un estudio que, basándose en el nivel para realizar la osteotomía, no hubo diferencia entre la corrección focal ni correlación con corrección del SVA. Para calcular la cantidad y localización del ángulo de corrección óptimo se debe tomar en cuenta la inclinación pélvica preoperatoria y los cambios esperables en la cifosis torácica. Osteotomías más caudales a nivel lumbar correlacionaron significativamente con una mayor reducción en la inclinación pélvica mientras que el grado de osteotomía correlacionó con cambios en la cifosis torácica (Ames et al., 2012, 18). El uso de objetivos de alineamiento ajustados a la edad ayuda a reducir el riesgo de sobre corrección. Se sugiere que restaurar la lordosis en niveles L4-S1 resulta más fisiológico y preventivo de la cifosis de unión proximal en comparación a la restauración clásica a nivel de L3 (Smith et al., 2019, 28).

El tipo morfológico de columna influye sobre las opciones de corrección. En el caso de paciente con una incidencia pélvica baja es importante no exacerbar la lordosis y procurar restaurar según la relación de las curvas en el tipo 1 y 2 de columna. Para pacientes con una incidencia pélvica alta, cambios que resulten en una mayor incidencia van a ameritar todavía más lordosis para reducir la inclinación posterior de la pelvis. Una retroversión pélvica marcada como consecuencia de una inclinación pélvica elevada va a forzar a las caderas en extensión, esto puede alterar la función de una prótesis de cadera por la verticalización acetabular (Le Huec et al., 2019, 22).

Complicaciones asociadas a la corrección del alineamiento sagital

La tasa de complicaciones quirúrgicas asociadas a la cirugía correctiva en la deformidad espinal del adulto es muy alta, así como la tasa de reintervención. Smith et al. (2019, 28) mediante un estudio prospecto determina la tasa de complicaciones en un grupo de 346 pacientes con deformidad espinal del adulto, intervenidos quirúrgicamente y a los que se les dio seguimiento por un periodo de dos años. Un 70% de los pacientes presentaron por lo menos una complicación y un 28% requirió por lo menos un procedimiento de revisión. Entre las categorías de complicaciones más comunes se mencionan: infecciosas, neurológicas, cardiopulmonares y relacionada al implante.

Entre las complicaciones relacionada a la cirugía, destacan: la degeneración del segmento adyacente, realineamiento sagital inadecuado, cifosis de la unión proximal, pseudoartrosis y fallo del material. La degeneración del segmento adyacente tiene una alta correlación con un valor de SVA anormal. Las artrodesis lumbares deben procurar mantener una adecuada lordosis. Artrodesis en niveles inferiores como L4-S1 con inadecuada lordosis podrían resultar en compensación lordótica en los segmentos lumbares proximales no fusionado. Realizar una artrodesis sin lordosis resultará en una espalda plana con eventual desbalance sagital. Por su parte, una hipocifosis torácica por sobre corrección puede llevar a una cifosis de la unión proximal secundario a un aumento de las cargas cifóticas en la zona de transición. Especialmente con esta complicación es importante ajustar los parámetros según la edad del paciente. Otros factores de riesgo para cifosis de la unión proximal son la osteoporosis, cifosis torácicas largas, atrofia muscular paraespinal y degeneración grasa (Cheung, 2020, 26).

La pseudoartrosis y falla de la instrumentación son causas comunes de revisión. Se estima una tasa de 9% para fatiga de barras, llegando hasta de un 22% en pacientes a lo cual se les realizó osteotomía de sustracción pedicular. Esta complicación usualmente ocurre previo a que se logre la artrodesis. El uso de configuraciones con múltiples barras se ha descrito como método para disminuir el riesgo. Se debe mencionar que mientras no ocurra la artrodesis por otros factores, el material adicional únicamente va a retrasar la fatiga de las barras. Se mantiene como prioridad continuar el esfuerzo en entender y reducir las complicaciones relacionadas a la corrección de la deformidad espinal del adulto (Smith et al., 2019, 28).

Discusión

Entre los múltiples parámetros radiológicos descritos para caracterizar el balance sagital, se ha evidenciado por medio de múltiples estudios que puede existir una predisposición a padecer diferentes tipos de patología degenerativa de la columna vertebral con base en la forma en que están relacionados los mismos. Se han descrito tipos morfológicos de columna con el propósito de agrupar diferentes combinaciones y así explicar cómo entre estas difiere transmisión de cargas; esto último asociado a otros factores de riesgo puede resultar en un desbalance sagital sintomático. Se puede partir de este hecho y valorar la posibilidad de estudiar estos parámetros a largo plazo en poblaciones asintomáticas de pacientes para determinar si, instaurando medidas preventivas dirigidas a las predisposiciones patológicas específicas, se puede retrasar el desbalance sagital y el mal pronóstico funcional que asocia.

Una vez instaurado un desbalance sagital espinopélvico sintomático se ha visto que la corrección quirúrgica de la deformidad espinal del adulto tiene una importante tasa de complicaciones con cifras reportadas de hasta un 70%. Las complicaciones afectan el pronóstico clínico del tratamiento de forma negativa aumentando la carga de la enfermedad en comparación al estado preoperatorio. Por otra parte, la evidencia parece indicar que solo mediante el manejo quirúrgico de pacientes adecuadamente seleccionados se puede lograr una disminución la limitación funcional progresiva característica de esta patología. La posibilidad de una mejoría es mayor en pacientes que no tuvieron complicaciones, pero de igual forma es posible presentar mejoría en pacientes que sí asociaron algún tipo de complicación. Hace falta evidencia de alto nivel con respecto a resultados relacionados tanto al manejo conservador como quirúrgico; de momento, la mayoría de estudios son retrospectivos no controlados. No obstante, de forma uniforme se enfatiza que hasta la fecha el manejo quirúrgico ofrece mejor pronóstico funcional.

Es necesario continuar estudiando esta condición dado que la incidencia continuará aumentando a medida que la expectativa de vida general siga prolongándose. Hace falta tener una mejor definición con respecto a las indicaciones quirúrgicas y los tipos de cirugía que puedan resultar de mayor beneficio para diferentes grupos de pacientes dentro de esta patología. Como se mencionó previamente, las complicaciones son comunes por lo que también se debe enfocar el estudio hacia con el objetivo de establecer medidas para disminuir la tasa de complicaciones.

La estratificación de pacientes con base en la intervención quirúrgica necesaria y sus comorbilidades puede ayudar a identificar cuáles pacientes van a tener mayor predisposición a complicarse si se procede a realizar cierta intervención. De esta forma se puede modificar la agresividad de la cirugía con el objetivo de disminuir el riesgo de complicaciones sin excluir al paciente de la posibilidad en lograr cierta mejoría con un tratamiento menos invasivo. Con base en lo dicho es necesario continuar estudiando los parámetros ideales, la selección de niveles para incluir en la artrodesis, las técnicas de corrección, el nivel apropiado según el tipo de osteotomía y las posibilidades de instrumentación.

Se espera que la continua evolución de las tecnologías quirúrgicas permita una mayor seguridad para el paciente. El desarrollo de nuevos implantes es importante para lograr disminuir las complicaciones, dado que muchas de ellas están asociadas a fallas de los implantes.

Las modalidades de tratamiento conservador de igual forma deben continuar estudiándose. Es una posibilidad que puedan cambiar el curso de la enfermedad si se establecen de forma temprana, de esta forma se evita o demora la cirugía con sus complicaciones asociadas.

Conclusiones

El aumento en la expectativa de vida ha resultado en un mayor número de pacientes con dolor secundario a un desbalance sagital en el contexto de la deformidad espinal del adulto. Esto ha resultado en un mayor interés en el estudio del balance sagital con el propósito de definir los parámetros de alineamiento óptimos, así como de la mejor manera de lograr la corrección quirúrgica y con la menor posibilidad de complicaciones.

El análisis exhaustivo de los parámetros espinopélvicos permite identificar mecanismos compensatorios presentes. De primera entrada, estos mecanismos son eficientes evitando el desbalance, sin embargo, de forma progresiva resultarán en cambios adversos sobre la postura que se verán reflejados en dolor y limitación funcional. Es importante considerar estos mecanismos al momento de realizar un planeamiento preoperatorio ya que influyen directamente en el resultado.

La estandarización de un análisis individualizado del balance sagital desde la adultez temprana podría favorecer a instaurar medidas de prevención dirigidas a la preservación de las relaciones espino pélvicas de cada individuo, esta idea propone que al mantener un estado de balance sagital se pueden evitar los síntomas y deterioro funcional a la pérdida de relaciones espino pélvicas.

En casos de intervención quirúrgica, un pronóstico favorable está directamente relacionado con una adecuada restauración del alineamiento. Se ha evidenciado correlación directa entre la posición pélvica y la mejoría percibida por los pacientes. Los valores promedio de los parámetros espinopélvicos ofrecen cierta ayuda en guiar los objetivos de tratamiento; sin embargo, el uso de fórmulas basadas en la correlación de parámetros podría ofrecer mayor precisión. Con base en esto es importante continuar estudiando la relación de la pelvis con la columna, así como de los parámetros óptimos según el contexto individual de un paciente.

Con respecto al tratamiento es importante definir mejor las indicaciones quirúrgicas. En cuanto a la técnica quirúrgica hay múltiples posibilidades por lo que es importante definir objetivos claros con respecto a la selección de niveles para realizar osteotomías, niveles que incluir en la fusión, técnicas de corrección, tipo de implantes y configuración óptima de las instrumentaciones. Sin importar la etiología primaria que resultó en el desbalance, es fundamental tener en cuenta los principios descritos de la armonía espino pélvica. Una adecuada posición e inclinación del tronco en relación a la pelvis, una lordosis lumbar proporcional y una inclinación pélvica que no se encuentre en retroversión.

Bibliografía

1. Le Huec JC, Aunoble S, Philippe L, Nicolas P (2011) Pelvic parameters: origin and significance. *European Spine Journal* 20 Suppl 5:564–571
2. Schwab F, Lafage V, Patel A, Farcy J-P (2009) Sagittal plane considerations and the pelvis in the adult patient. *Spine* 34:1828–1833
3. Roussouly P, Gollogly S, Berthonnaud E, Dimnet J (2005) Classification of the normal variation in the sagittal alignment of the human lumbar spine and pelvis in the standing position. *Spine* 30:346–353.
4. Scemama C, Laouissat F, Abelin-Genevois K, Roussouly P (2017) Surgical treatment of thoraco-lumbar kyphosis (TLK) associated with low pelvic incidence. *Eur Spine J* 26:2146–2152. doi: 10.1007/s00586-017-4984-z
5. Barrey C, Roussouly P, Le Huec J-C, et al. (2013) Compensatory mechanisms contributing to keep the sagittal balance of the spine. *European Spine Journal* 22 Suppl 6: S834–41.
6. Schwab F, Ungar B, Blondel B, Buchowski J, Coe J, Deinlein D, DeWald C, Mehdian H, Shaffrey C, Tribus C, Lafage V. Scoliosis Research Society-Schwab Adult Spinal Deformity Classification: A Validation Study. *Spine (Phila Pa 1976)* 2012; 20;37(12):1077–82.
7. Acaroglu E, European Spine Study Group. Decision-making in the treatment of adult spinal deformity, *EFORT open Rev* 2016;1(5):167–76.
8. Boulay C, Tardieu C, Hecquet J, Benaim C, Mouilleseaux B, Marty C, et al. Sagittal alignment of spine and pelvis regulated by pelvic incidence: standard values and prediction of lordosis. *Eur Spine J* 2006 15(4):415-22.
9. Lafage R, Schwab F, Challiera V, Henry JK, Gum J, Smith J, et al. Defining Spino-Pelvic Alignment Thresholds: Should Operative Goals in Adult Spinal Deformity Surgery Account for Age? *Spine (Phila Pa 1976)* 2016 41(1).
10. Roussouly P, Pinheiro-Franco JL. Biomechanical analysis of the spino-pelvic organization and adaptation in pathology. Vol. 20 Suppl 5, *European spine journal: official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society*. 2011. p.
11. Lafage V, Schwab F, Patel A et al. Pelvic Tilt and Truncal Inclination. *Spine* 2009; 34-17: E599 – 608.
12. Schwab F, Blondel B, Chay E, et al. The Comprehensive Anatomical Spinal Osteotomy Classification. *Neurosurg* 2014; 74-1: 112 – 120.
13. Scheer JK, International Spine Study Group. Impact of Age on the Likelihood of Reaching a Minimum Clinically Important Difference in 374 Three-column Spinal Osteotomies. Clinical article. *J Neurosurg Spine* 2014; 20: 306-312.
14. Roussouly P, Pinheiro-Franco JL. Sagittal Parameters of the Spine: Biomechanical Approach. *Eur Spine J* 2011; 20-Suppl 5: S578 – S585.
15. Bari TJ, Heegaard M, Bech-Azzeddine R et al. Lordosis Distribution Index in Short-Segment Lumbar Spine Fusion. Can Ideal Lordosis Reduce Revision Surgery and Iatrogenic Deformity. *Neurospine* 2021; 18-3: 543-555.
16. Yilgor C, Sogunmez N, and the European Spine Study Group. Relative Lumbar Lordosis and Lordosis Distribution Index: Individualized Pelvic Incidence-Based Proportional Parameters that Quantify Lumbar Lordosis More Precisely than the Concept of Pelvic Incidence Minus Lumbar Lordosis. *Neurosurg Focus* 2017; 43- 6: E5.

17. Kariman Abelin – Genevois. Sagittal balance of the spine. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research* 107 (2021) 102769
18. Christopher P. Ames, et al. Impact of spinopelvic alignment on decision making in deformity surgery in adults. *J Neurosurg Spine* 16:547–564, 2012
19. Zuckerman et al. Patient-Reported Outcomes After Complex Adult Spinal Deformity Surgery: 5-Year Results of the Scolio-Risk-1 Study. *Global Spine Journal* The Author(s) 2021
20. R. Sethi et al. State-of-the-Art Reviews: Safety in Complex Spine Surger. / *Spine Deformity* 7 (2019) 657e668
21. Michael T. Nolte et al. Sagittal Balance in Adult Idiopathic Scoliosis *Clin Spine Surg* Volume 33, Number 2, March 2020
22. Le Huec, et al. Sagittal balance of the spine. *European Spine Journal*. 22 July 2019
23. Amer Sebaaly, et al. Description of the sagittal alignment of the degenerative human spine *European Spine Journal* (2018) 27:489–496
24. Garbin savarese, et al. Spinopelvic sagittal balance: what does the radiologist need to know? *Radiol Bras.* 2020 Mai/Jun;53(3):175–184
25. Steven D. Glassman, et al. The Impact of Positive Sagittal Balance in Adult Spinal Deformity. *SPINE* Volume 30, Number 18, pp 2024–2029, 2005.
26. Cheung. Importance of sagittal balance in adult deformity. *Ann Transl Med* 2020;8(2):35
27. Protopsaltis, Schwab, et al. The T1 pelvic angle, a novel radiographic measure of global sagittal deformity. *Journal of bone & joint surgery JBJ S .org* volume 96-A d number 19 d october 1, 2014.
28. Justin S. Smith, et al. Treatment of adult thoracolumbar spinal deformity: past, present, and future. *J Neurosurg Spine* Volume 30 • May 2019
29. Pellisé F, Vila-Casademunt A, Ferrer M, et al.; European Spine Study Group, ESSG. Impact on health-related quality of life of adult spinal deformity (ASD) compared with other chronic conditions. *Eur Spine J* 2015; 24:3-11.
30. Dubousset J, Charpak G, Dorion I, Skalli W, Lavaste F, Deguise J, Kalifa G, Ferey S (2005) Le système EOS. Nouvelle imagerie ostéo-articulaire basse dose en position debout. *Mémoires de l'Académie Nationale de Chirurgie* 4:22–27
31. Mac-Thiong JM, Berthonnaud E, Dimar JR 2nd, Betz RR, Labelle H. Sagittal alignment of the spine and pelvis during growth. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2004 Aug 1;29(15):1642-7. doi: 10.1097/01.brs.0000132312.78469.7b. PMID: 15284510.
32. Marty C, Boisaubert B, Descamps H, et al. The sagittal anatomy of the sacrum among young adults, infants, and spondylolisthesis patients. *Eur Spine J* 2002; 11:119–25.
33. Stagnara P, De Mauroy JC, Dran G, Gonon GP, Costanzo G, Dimnet J, Pasquet A. Reciprocal angulation of vertebral bodies in a sagittal plane: approach to references for the evaluation of kyphosis and lordosis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1982 Jul-Aug;7(4):335-42. doi: 10.1097/00007632-198207000-00003. PMID: 7135066.
34. Berthonnaud E, Dimnet J, Roussouly P, Labelle H. Analysis of the sagittal balance of the spine and pelvis using shape and orientation parameters. *J Spinal Disord Tech*. 2005 Feb;18(1):40-7. doi: 10.1097/01.bsd.0000117542.88865.77. PMID: 15687851.
35. Faundez AA, Richards J, Maxy P et al. (2018) The mechanism in junctional failure of thoraco-lumbar fusions. Part II: analysis of a series of PJK after thoraco-lumbar fusion to determine parameters allowing to predict the risk of junctional breakdown. *Eur Spine*

- J Off Publ Eur Spine Soc Eur Spinal Deform Soc Eur Sect Cerv Spine Res Soc 27:139–148.
36. Batti MC, Videman T, Parent E (2004) Lumbar disc degeneration: epidemiology and genetic influences. *Spine* 29:2679–2690
 37. Schuller S, Charles YP, Steib JP (2011) Sagittal spinopelvic alignment and body mass index in patients with degenerative spondylolisthesis. *Eur Spine J* 20:713–719
 38. Obeid I, Hauger O, Aunoble S, Bourghli A, Pellet N, Vital JM (2011) Global analysis of sagittal spinal alignment in major deformities: correlation between lack of lumbar lordosis and flexion of the knee. *Eur Spine J* 20(Suppl 5):681–685
 39. Hart RA, Cabalo A, Bess S, et al.; International Spine Study Group. Comparison of patient and surgeon perceptions adverse events after adult spinal deformity surgery. *Spine (Phila Pa 1976)* 2013; 38:732-6.
 40. Bridwell KH, Glassman S, Horton W, et al. Does treatment (nonoperative and operative) improve the two-year quality of life in patients with adult symptomatic lumbar scoliosis: a prospective multicenter evidence-based medicine study *Spine (Phila Pa 1976)* 2009; 34:2171-8.
 41. Daubs MD, Lenke LG, Cheh G, Stobbs G, Bridwell KH. Adult spinal deformity surgery: complications and outcomes in patients over age 60. *Spine (Phila Pa 1976)* 2007; 32:2238-44.
 42. Mardare M, Oprea M, Popa I, Zazgyva A, Niculescu M, Poenaru DV. Sagittal balance parameters correlate with spinal conformational type and MRI changes in lumbar degenerative disc disease: results of a retrospective study. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2016 Oct;26(7):735-43.
 43. Ferrero E, Ould-Slimane M, Gille O, Guigui P; French Spine Society (SFCR). Sagittal spinopelvic alignment in 654 degenerative spondylolisthesis. *Eur Spine J.* 2015 Jun;24
 44. Ai J, Yu X, Huang S, Fan L, Zhu G, Sun H, Tang X. Relationship between sagittal spinal alignment and the incidence of vertebral fracture in menopausal women with osteoporosis: a multicenter longitudinal follow-up study. *Eur Spine J.* 2015 Apr;24.
 45. Chaléat-Valayer E, Mac-Thiong JM, Paquet J, Berthonnaud E, Siani F, Roussouly P. Sagittal spino-pelvic alignment in chronic low back pain. *Eur Spine J.* 2011 Sep;20
 46. Barrey C, Jund J, Nosedá O, Roussouly P. Sagittal balance of the pelvis-spine complex and lumbar degenerative diseases. A comparative study about 85 cases. *Eur Spine J.* 2007 Sep;16(9)
 47. Lee JS, Lee HS, Shin JK, Goh TS, Son SM. Prediction of sagittal balance in patients with osteoporosis using spinopelvic parameters. *Eur Spine J.* 2013 May;22(5):1053-8. doi: 10.1007/s00586-013-2672-1. Epub 2013 Jan 25

Anexos

Abreviaciones

SVA: Eje vertical sagital

IP: Incidencia pélvica

TP: Inclínación pélvica

SS: Pendiente sacra

LL: Lordosis lumbar

CT: Cifosis Torácica

SSA: Ángulo espinosacro

C7/SFA: Relación plomada C7 – distancia sacrofemoral

T1A: Ángulo pélvico T1

T1SPI: Inclínación espino pélvica T1

OD-HA: Eje odontoides - caderas

ODI: Índice de discapacidad de Oswestry

HRQOL: Calidad de vida relacionada a la salud / health related quality of life

Lista de figuras

Figura 1	9
Figura 2	11
Figura 3	12
Figura 4	12
Figura 5	13
Figura 6	14
Figura 7	15
Figura 8	16
Figura 9	17
Figura 10	17
Figura 11	21
Figura 12	24
Figura 13	26
Figura 14	30
Figura 15	36
Figura 16	37
Figura 17	37
Figura 18	38
Figura 19	38
Figura 20	39

Lista de Tablas

Tabla 1	28
Tabla 2	29
Tabla 3	30
Tabla 4	31
Tabla 5	32

Tabla 6
Tabla 7

32
34