

Copyright © The Journal of Bone and Joint Surgery, Inc. Todos los derechos reservados. Para obtener permiso para volver a utilizar este artículo en forma parcial o total, contáctese con rights@jbjs.org.

Esta traducción ha sido provista por terceras partes. El texto fuente incluye terminología médica que puede ser difícil de traducir con exactitud. Si tiene alguna pregunta relacionada con la exactitud de la información contenida en la traducción, por favor refiérase a la versión en inglés, que es el texto oficial, en www.jbjs.org o en su versión impresa. Si detecta problemas o errores en esta traducción, por favor contáctese con The Journal en mail@jbjs.org.

RESEÑA SOBRE CONCEPTOS ACTUALES

Osteotomías correctivas en cirugía de columna

Por J. Brian Gill, MD, MBA, Andrew Levin, BS, Tim Burd, MD, y Michael Longley, MD

- Las deformidades de la columna vertebral pueden provocar cifosis torácica creciente o pérdida de la lordosis lumbar, lo que deriva en desequilibrio en el plano sagital. Este tipo de deformidades puede tener efectos debilitantes desde los puntos de vista funcional y psicológico.
- La osteotomía de Smith-Petersen posibilita una corrección de alrededor de 10° en el plano sagital, en cada nivel vertebral en el que se practica. Esta osteotomía es beneficiosa para pacientes que presentan un desequilibrio degenerativo en el plano sagital.
- La osteotomía de sustracción pedicular puede lograr una corrección de aproximadamente 30°-40° en el plano sagital, en cada nivel vertebral en el que se practica. Es la osteotomía preferida para pacientes con espondilitis anquilosante que presentan un desequilibrio de la columna en el plano sagital.
- La osteotomía de extensión cervical se practica en la columna cervical, en la unión cervicotorácica, en pacientes que tienen una deformidad cervical en flexión que les impide mirar hacia adelante mientras caminan o que les provoca dificultad para deglutir.
- Se recurre a la resección de la columna vertebral cuando el desequilibrio es lo suficientemente grave para que otras osteotomías no permitan corregir la deformidad, sobre todo en pacientes con desequilibrio sagital y coronal combinado.
- Los problemas neurológicos, ya sean transitorios o permanentes, son las complicaciones más frecuentes después de estos procedimientos.
- Los resultados recientes han mostrado una alta tasa de satisfacción de los pacientes y buena evolución funcional después de osteotomías vertebrales efectuadas para tratar diversos trastornos.

Las deformidades vertebrales del adulto plantean numerosos desafíos al cirujano de columna. En particular, a veces no es posible corregir un desequilibrio sustancial en el plano sagital sólo mediante una artrodesis con instrumentación, especialmente cuando la deformidad es inflexible. En estos casos singulares, se deben practicar osteotomías vertebrales para lograr el equilibrio tanto en el plano sagital como en el coronal. Hay varios cuadros en los que las osteotomías son una opción de tratamiento viable. Estos trastornos son: escoliosis fija del adulto, desequilibrio de la columna en el plano sagital y espondiloartropatías (espondilitis anquilosante y artritis psoriásica), entre otros. Estas deformidades incapacitantes pueden causar aplanamiento de la lordosis lumbar normal, hiper cifosis torácica y traslación anterior (equilibrio sagital positivo) de la cabeza y la columna cervical. Estas posturas son funcional y psicológicamente incapacitantes.¹ Además de conocer estos

trastornos de columna, se requiere una revisión detallada de las principales osteotomías vertebrales para comprender mejor las ventajas y desventajas de cada técnica, y para determinar qué osteotomía es la mejor para una deformidad particular. En esta revisión, se analizarán los tipos de deformidades sagitales que pueden aparecer a fin de mejorar el conocimiento de los lectores sobre la importancia de restablecer la así llamada alineación normal de la columna. También describiremos cómo afectan las deformidades sagitales la mirada horizontal de un individuo y el efecto sobre la orientación de la pelvis y la cadera respecto de la columna vertebral. La mirada horizontal se refiere a una orientación en la que el paciente está mirando hacia adelante con el plano horizontal de la cabeza y los ojos paralelo al piso. Un paciente con una columna descompensada y pérdida del equilibrio sagital probablemente ya no pueda mantener una mirada paralela al piso.

Desequilibrios sagitales y coronales

Hay dos tipos generales de desequilibrio de la columna en el plano sagital: el tipo 1 y el tipo 2.² Un desequilibrio de tipo 1 hace referencia a un cuadro en el que el paciente tiene un desequilibrio segmentario o regional en el plano sagital de la columna, pero todavía conserva una columna equilibrada, definida por una plomada que cae desde C7 sobre el disco L5-S1 (Fig. 1). Por lo general, estos pacientes tienen un segmento corto (dos o tres vértebras) hipercifótico, que determina que las vértebras más cefálicas o más caudales tengan que compensar con lordosis. Por ejemplo, en pacientes que sufren una fractura del cuerpo vertebral en la unión toracolumbar que causa cifosis, los niveles caudales más móviles tratan de compensar la cifosis con hiperlordosis para mantener el equilibrio sagital apropiado de la columna. En caso de cifosis en la vértebra L3, las vértebras lumbares cefálicas y caudales a L3 intentan compensar la cifosis. La columna torácica es bastante rígida y mantiene su cifosis normal.

Un desequilibrio de tipo 2 se define como un desequilibrio global en el que la plomada cae >5 cm por delante del disco L5-S1. Una columna con un desequilibrio de tipo 2 no puede compensar la deformidad, y el paciente tiende a flexionar las caderas y las rodillas para mantener un equilibrio apropiado y la mirada horizontal (Fig. 2). Por lo tanto, durante un examen, es importante que estos pacientes se paren con las caderas y las rodillas extendidas, de manera de poder evaluar la deformidad de columna descompensada. Un desequilibrio de la columna en el plano sagital también se puede combinar con un desequilibrio en el plano coronal, lo que provoca asimetría de la altura de los hombros en relación con la pelvis (Fig. 3).

Los niveles cervical, torácico y lumbar contribuyen a la alineación sagital global de la columna. Estos segmentos, cuando funcionan de la manera correcta, permiten ubicar la cabeza sobre la pelvis. En cambio, la alteración de la alineación sagital normal puede alterar la marcha y causar dolor como consecuencia del desequilibrio. Los estabilizadores dinámicos de la columna están sometidos a mayor esfuerzo, lo que determina fatiga muscular y mayor consumo de energía durante la marcha. Es preciso considerar muchos factores diferentes para decidir el tratamiento del desequilibrio de la columna en el plano sagital, como el grado de desequilibrio, la flexibilidad de la curva, si la deformidad es segmentaria o global y si corresponde al nivel cervical, torácico o lumbar.³

Osteotomías correctivas

Tratar el desequilibrio de la columna en el plano sagital suele incluir una o más osteotomías que manipulan la posición de la columna vertebral al alargar o acortar una región particular de ésta (columna anterior o posterior), lo que determina un grado específico de corrección. Hay varios tipos de osteotomías: de Smith-Petersen, de sustracción pedicular, de extensión cervical y la resección de la columna vertebral.

Osteotomía de Smith-Petersen (Resección en cuña de los elementos posteriores)

Antecedentes

Esta osteotomía fue descrita inicialmente por Smith-Petersen et al. como una técnica quirúrgica para tratar la cifosis causada por espondilitis anquilosante.⁴ Smith-Petersen et al. recomendaron una resección posterior en cuña, en un solo tiempo, de la columna mediolumbar con una disposición en forma de V y fractura controlada del ligamento longitudinal anterior osificado (Fig. 4).

Técnica quirúrgica

Al igual que todas las osteotomías, la osteotomía de Smith-Petersen se puede practicar en una mesa de operaciones para columna de marco abierto y debe aprovechar cualquier flexibilidad de la deformidad. Al principio, puede ser necesario flexionar las caderas del paciente y, después, extenderlas para ayudar a cerrar el sitio de osteotomía. Una vez que se identifica el nivel apropiado para esta osteotomía, se resecan en forma bilateral la lámina, el ligamento amarillo, y las apófisis articulares superior e inferior. Por lo general, el ancho de la osteotomía es de 7 a 10 mm. Una pauta aproximada es que cada 1 mm de resección posibilita 1° de corrección, lo que determina una corrección de alrededor de 10° en cada nivel en el que se practica la osteotomía de Smith-Petersen. Un prerrequisito para el cierre del sitio de osteotomía de Smith-Petersen es un espacio intervertebral abierto. Si el disco ha colapsado, puede limitar el grado de corrección que se puede alcanzar. Además, no se puede practicar una osteotomía de Smith-Petersen en un nivel donde se ha efectuado antes una artrodesis de columna, pues el disco ya no es móvil. Es importante corroborar que los elementos nerviosos estén libres y no comprimidos en el sitio de osteotomía una vez que se ha cerrado el sitio de osteotomía con la ayuda de varillas y tornillos pediculares, mediante compresión gradual.

Osteotomía de sustracción pedicular (Resección posterior en cuña de tres columnas)

Antecedentes

En 1985, Thomasen describió por primera vez la osteotomía posterior de tres columnas para el tratamiento de deformidades fijas en el plano sagital en pacientes con espondilitis anquilosante.⁵ La osteotomía de sustracción pedicular se suele practicar en L2 ó L3, pues estas vértebras son el vértice habitual de la lordosis lumbar. Asimismo, es más seguro realizar la osteotomía en uno de estos niveles, pues son caudales al cono medular.⁶ La técnica consiste en una resección vertebral transpedicular en cuña, que se extiende desde los elementos posteriores, a través de los pedículos, hasta la cortical anterior del cuerpo vertebral. Cuando se cierran los defectos óseos de la columna media y posterior, no se modifica la longitud de la cortical vertebral anterior (Fig. 4). El cierre de las superficies óseas anterior, media y posterior de la osteotomía aporta un área sustancial para la consolidación ósea.

Técnica quirúrgica

Los preparativos prequirúrgicos son similares a los empleados para la osteotomía de Smith-Petersen. Con el método de Smith-Petersen, se acorta la columna posterior y se alarga la anterior. En la osteotomía de sustracción pedicular, se acorta la columna posterior sin alargar la columna anterior, lo que acorta el conducto raquídeo.⁷ En promedio, la osteotomía de sustracción pedicular permite alcanzar 30°-40° de lordosis en cada nivel en el que se la practica.³

Antes de iniciar la osteotomía, se deben colocar tornillos pediculares por encima y por debajo del sitio planificado para la osteotomía, porque se los usará para ayudar a asegurar y estabilizar la columna después de la osteotomía. La técnica de la osteotomía de sustracción pedicular exige reseca todos los elementos posteriores (apófisis espinosa y lámina) en el nivel de la osteotomía. Una vez aislados los pedículos, se puede reseca hueso del cuerpo vertebral a través de los pedículos mientras se protegen la duramadre y las raíces nerviosas. El cuerpo vertebral sangrará, de manera que es útil emplear un agente hemostático como trombina. Ésta se puede utilizar en combinación con una esponja de colágeno para rellenar los pedículos y ayudar a controlar la pérdida de sangre. Además, trabajar a través de un pedículo por vez ayuda a controlar la hemorragia mientras el pedículo contralateral está relleno con la esponja de colágeno embebida en trombina para favorecer la hemostasia. Una vez que se efectúa la resección ósea adecuada a través de los pedículos, se extirpa la cortical dorsal del cuerpo vertebral. A continuación, se practica la osteotomía circunferencialmente a través de las paredes laterales del cuerpo vertebral, sin violar su cara ventral. Hay que prestar especial atención a fin de garantizar que la resección ósea sea uniforme en todo el cuerpo vertebral. Esto determinará un cierre simétrico del sitio de osteotomía, lo que corrige la deformidad sagital. Si la resección ósea no es uniforme, es decir, si se reseca más hueso de un lado que del otro, el cierre será asimétrico. La cara ventral del cuerpo vertebral actúa como bisagra mediante la cual se cierra el sitio de osteotomía, de una manera similar al cierre de una osteotomía en cuña del segmento proximal de la tibia. La ruptura de la cortical ventral del cuerpo vertebral desestabilizará la columna vertebral. Bridwell et al. sugirieron crear un agrandamiento central de la lámina cefálica y caudal a la osteotomía, de modo que al cerrar el sitio de osteotomía, se puedan inspeccionar el saco tecal y las raíces nerviosas para corroborar que nada los comprime (Fig. 5).⁸ El sitio de osteotomía se puede cerrar mediante varillas transitorias que se proyectan y refuerzan la columna y, también, mediante hiperextensión del tórax y los miembros inferiores con la mesa de operaciones o con la ayuda manual de un asistente.

Osteotomía de extensión cervical

Antecedentes

El objetivo de una osteotomía correctiva no sólo es corregir el equilibrio sagital, sino también la mirada horizontal. Inspirado en el trabajo de Smith-Petersen et al., Urist comunicó su experiencia en osteotomía de extensión cervical con un paciente con deformidad en flexión grave secundaria a espondilitis anquilosante.⁹ No se reconoció la diferencia entre los conceptos de corrección del equilibrio sagital y corrección del ángulo visual hasta la presentación de los trabajos de Royen y Slot,¹⁰ y Lazennec et al.¹¹ Estos autores observaron que el nivel de la osteotomía afecta cada parámetro de modo diferente.¹² Así, está indicada una osteotomía de extensión cervical para corregir la mirada horizontal. La técnica quirúrgica convencional implica un abordaje posterior convencional de la columna cervical y osteotomía en C7-T1.¹³

Técnica quirúrgica

La preparación prequirúrgica antes de la osteotomía de extensión cervical consiste en medir el ángulo de mentón-ceja a la vertical (Fig. 6). Esta medición se utiliza para determinar el grado de deformidad en flexión de la columna cervical. Sobre la base del ángulo de mentón-ceja a la vertical, se puede determinar el tamaño de la cuña por reseca de la cara posterior de la columna cervical.¹³ Una regla general es que cada milímetro de resección ósea permite una corrección de alrededor de 1°-2°. Se puede practicar resonancia magnética y tomografía computarizada de la columna cervical antes de la operación para determinar el diámetro del conducto raquídeo en el sitio de osteotomía. Esto permite la planificación apropiada de la osteotomía, de manera que al cerrar la brecha de la osteotomía, los elementos nerviosos no sean comprimidos por el hueso, posteriormente, ni por un disco intervertebral herniado. Los estudios de imágenes preoperatorios también ayudan a definir la posición de la arteria vertebral en relación con el sitio de osteotomía propuesto.

La osteotomía de extensión cervical se puede practicar de dos maneras. La técnica descrita por Simmons et al. exige reseca los elementos posteriores (apófisis espinosa y lámina) y los pedículos. Sin embargo, no se practica una osteotomía del

cuerpo vertebral¹³ (Fig. 7). Otra técnica es la osteotomía transpedicular, que es similar a la osteotomía de sustracción pedicular en cuanto a que se practica una osteotomía del cuerpo vertebral. En la columna lumbar, el saco tecal se puede retraer por debajo de L2. En cambio, en la columna cervical hay que tener cuidado de no retraer el saco. La osteotomía se practica en C7, donde se efectúa una resección generosa de la lámina. Esto crea un espacio amplio para evitar la compresión de la duramadre o de las raíces nerviosas C8 una vez que se cierra el espacio.¹³ En la columna cervical, se utilizan tornillos para masa lateral, mientras que en la columna torácica, se pueden usar tornillos pediculares. La longitud de la instrumentación debe ser suficiente para soportar el sitio de osteotomía. Nosotros preferimos asegurar el sitio de osteotomía en tres niveles cefálicos y tres niveles caudales a éste, pero se debe tener particular cuidado en cada paciente.

Resección de la columna vertebral

Antecedentes

Se ha comunicado resección de la columna vertebral para el tratamiento de tumores de columna, espondiloptosis y cifosis congénita, así como para escisión de hemivértebras.¹⁴ Se la define como la resección de uno o más segmentos vertebrales, incluidos los elementos posteriores (apófisis espinosa y lámina), los pedículos, el cuerpo vertebral y los discos cefálicos y caudales al cuerpo vertebral. Se ha sugerido practicar resección de la columna vertebral en operaciones correctivas de deformidades que no son pasibles de otras técnicas de osteotomía, como la de Smith-Petersen o la de sustracción pedicular.¹⁴ La resección de la columna vertebral se practica a través de un abordaje anterior y posterior combinado o sólo a través de un abordaje posterior.

Técnica quirúrgica

Esta discusión se limitará a la técnica quirúrgica con abordaje posterior únicamente. Primero, se resecan los elementos posteriores (apófisis espinosa y lámina), incluidos los pedículos. Se practica una disección lateral amplia hasta las apófisis transversas para facilitar la resección del cuerpo vertebral. Esta resección lateral amplia evita violar el saco tecal cuando se la practica por encima de L2 y previene la retracción excesiva del saco tecal cuando se la practica por debajo de L2. En la columna torácica, se efectúan costotransversectomías para facilitar la resección del cuerpo vertebral. A diferencia de las osteotomías comentadas antes, no se logra contacto hueso-hueso, pues el cuerpo vertebral se reseca por completo. Por lo tanto, hay que reconstruir la columna vertebral después de corregida la deformidad, lo que se puede efectuar con una jaula metálica, autoinjerto o aloinjerto estructural. Esta reconstrucción de la columna vertebral es complementada con tornillos pediculares y varillas. La instrumentación también ayuda a lograr la corrección deseada de la deformidad, una vez practicada la resección de la columna vertebral. Por último, se practica una artrodesis de columna igual a la longitud de la instrumentación para estabilizar aún más la columna.

Selección de la osteotomía y el nivel vertebral apropiados

Seleccionar la osteotomía y el nivel vertebral apropiados es crucial para el éxito del procedimiento. Por lo general, las osteotomías se practican en la región de cifosis y deformidad máxima relativas, que pueden corresponder a la columna cervical, torácica o lumbar.¹⁵ Es posible estimar el grado de corrección necesario a partir de las mediciones radiográficas preoperatorias, que indican el grado de curvatura en el plano sagital.⁶ Se puede practicar una osteotomía de Smith-Petersen si se requiere corrección $<30^\circ$. De lo contrario, se suele optar por una osteotomía de sustracción pedicular.^{7,14,16-18} La figura 8 presenta un algoritmo que puede servir, como norma general, para seleccionar la osteotomía apropiada.¹⁴ Es mejor tratar una deformidad sagital combinada con desequilibrio coronal mediante una osteotomía de sustracción pedicular asimétrica o, incluso, una resección de columna vertebral, de manera de corregir la deformidad coronal en lugar de exacerbarla.¹⁴ La osteotomía de Smith-Petersen o una osteotomía de sustracción pedicular simétrica corregiría la deformidad sagital, pero permitiría que la deformidad coronal se descompense, pues estas osteotomías no pueden corregir una deformidad coronal.¹⁴ El nivel de la osteotomía también es importante, pues cuanto más caudal es, menos vértebras hay para fijar, lo que impone mayor tensión a la instrumentación y probablemente determine el fracaso del material de osteosíntesis antes de la consolidación ósea.^{15,19-23}

Una vez practicada la osteotomía seleccionada, se debe incluir una cantidad adecuada de vértebras en la instrumentación y artrodesis. La instrumentación que es demasiado corta (dos o tres vértebras) puede causar una cifosis de la unión cefálica o caudal al constructo quirúrgico. Además, éste no debe terminar en el vértice de la curva, porque esto puede exacerbarla o inducir pérdida de la fijación.¹⁵ El extremo caudal del constructo debe terminar, si es posible, por encima de la vértebra L5, y dejar abiertos los espacios intervertebrales L4-L5 y L5-S1. Un constructo que termina en L5 puede acelerar la degeneración del disco L5-S1.²²⁻²⁴

Indicaciones de osteotomías específicas

Osteotomía de Smith-Petersen

Las indicaciones de la osteotomía de Smith-Petersen dependen del grado de la deformidad, del grado de alteración funcional del paciente, de la edad y estado del paciente, y de la factibilidad de la corrección. La osteotomía de Smith-Petersen se suele practicar en la columna torácica. Además, se pueden efectuar múltiples osteotomías de Smith-Petersen en toda la columna torácica e, incluso, en la columna lumbar, para alcanzar la corrección deseada.¹⁴

Las osteotomías de Smith-Petersen múltiples son muy útiles para tratar un desequilibrio fijo en el plano sagital de la columna causado por una pérdida de lordosis lumbar después del tratamiento quirúrgico de deformidades de columna, en particular, escoliosis idiopática. Por lo general, estos pacientes se trataban mediante un sistema de instrumentación de distracción posterior, como las barras de Harrington.²⁵ Las osteotomías de Smith-Petersen también resultan beneficiosas para pacientes con desequilibrio degenerativo en el plano sagital de la columna. Habitualmente, este cuadro afecta la columna lumbar de individuos mayores (más de 50 años de edad). Estos pacientes suelen presentar colapso sustancial de los discos intervertebrales, artropatía de las carillas articulares y osteófitos de la placa epifisaria vertebral, que causan la deformidad.

Osteotomía de sustracción pedicular

La osteotomía de sustracción pedicular es útil para tratar pacientes con espondilitis anquilosante y desequilibrio en el plano sagital de la columna.^{6,7,26-27} A diferencia de la osteotomía de Smith-Petersen, la osteotomía de sustracción pedicular resulta útil, especialmente para las deformidades con vértice en la columna lumbar. Tradicionalmente, se la practica en L2 o L3, y el candidato ideal para el procedimiento suele tener un desequilibrio sagital positivo >12 cm.^{6,14,26,28} También está indicada para pacientes que fueron sometidos a una artrodesis circunferencial en múltiples vértebras, lo que impide practicar una osteotomía de Smith-Petersen, pues la osteoclasia no se puede efectuar a través de un disco intervertebral fusionado.

Osteotomía de extensión cervical

Las indicaciones de una osteotomía de extensión cervical son la alteración del campo visual para mirar hacia adelante (mirada horizontal) y las dificultades para la higiene personal, la función y la deglución secundarias a la deformidad cervical en flexión.¹⁵ La mayoría de los pacientes que requieren una osteotomía de extensión cervical presentan antecedentes de larga data de espondilitis anquilosante que ha causado la deformidad en flexión. Aparte de la espondilitis anquilosante, el traumatismo previo de la columna cervical (en particular, en la unión cervicotorácica) puede provocar una deformidad cervical en flexión.^{9-13,28}

Resección de la columna vertebral

Los pacientes con un desequilibrio grave y rígido en el plano sagital de la columna, que no es pasible de tratamiento mediante una osteotomía de Smith-Petersen ni una osteotomía de sustracción pedicular, son candidatos a la resección de la columna vertebral. Una deformidad sagital de tipo 2 con desequilibrio coronal de la columna exige una resección de la columna vertebral, pues una osteotomía de sustracción pedicular asimétrica no corregiría por completo la deformidad coronal. Otras indicaciones de resección de la columna vertebral son cifosis congénita, hemivértebra, espondiloptosis de L5 y resección de un tumor vertebral.^{14,29-32}

Resultados clínicos de las osteotomías

Las ventajas de optar por una osteotomía de Smith-Petersen para tratar un desequilibrio en el plano sagital de la columna son las siguientes: se la puede practicar con relativa rapidez, implica menos pérdida de sangre que una osteotomía de sustracción pedicular, no exige manipulación de elementos nerviosos y se practica sin riesgos en los niveles medulares, del cono o caudales. A través de la aplicación de diversos análisis estadísticos, Cho et al. compararon prospectivamente las osteotomías de Smith-Petersen con osteotomías de sustracción pedicular para el tratamiento de desequilibrios en el plano sagital de la columna, en setenta y un pacientes.¹⁶ Observaron que la osteotomía de Smith-Petersen lograba una corrección global promedio de $24,9^\circ \pm 10,6^\circ$, que correspondía a $10,7^\circ \pm 3,2^\circ$ por segmento. Un subgrupo de pacientes que se habían sometido a tres o más osteotomías de Smith-Petersen presentaban una corrección global promedio de $33,0^\circ \pm 9,2^\circ$. El grupo tratado con osteotomía de sustracción pedicular presentaba una corrección promedio de $31,7^\circ \pm 9,0^\circ$. Esta diferencia no fue significativa ($p > 0,05$). En términos del resultado funcional, el Índice de incapacidad de Oswestry (Oswestry Disability Index) medio mejoró de $42,3 \pm 14,2$ puntos, antes de las osteotomías de Smith-Petersen, a $21,3 \pm 14,8$ puntos, después de ellas, y de $47,9 \pm 15,8$ puntos, antes de las osteotomías de sustracción pedicular, a $29,7 \pm 18,3$ puntos, después de ellas; la diferencia de mejoría entre los dos grupos de tratamiento no fue significativa ($p = 0,35$). Si bien Cho et al. observaron que el grado de corrección digital secundario a tres o más osteotomías de Smith-Petersen era equivalente al grado obtenido con una osteotomía de sustracción pedicular, la osteotomía de Smith-Petersen puede exacerbar la concavidad de una curva coronal, si la hubiera. Por lo tanto, no se debe practicar una osteotomía de Smith-Petersen en columnas con curvatura en el plano coronal.

Una variación de la osteotomía de Smith-Petersen es la osteotomía de Ponte, un procedimiento torácico en múltiples niveles utilizado para tratar cifosis torácica flexible.³³ Es una resección agresiva de las carillas articulares no fusionadas, la lámina, el ligamento interespinoso y el ligamento amarillo en cada nivel.¹⁹ Esta osteotomía es ventajosa, porque es simple y se puede practicar en múltiples niveles, y las osteotomías pueden ser sustancialmente más pequeñas.¹⁹ Permite tratar de manera eficaz curvas sustanciales, y el procedimiento puede posibilitar una transición suave entre zonas de máxima y mínima cifosis. En un estudio de nivel IV de Geck et al., se sometió a diecisiete pacientes consecutivos con cifosis de Scheuermann a osteotomía de Ponte.³⁴ La corrección de la cifosis fue, en promedio, del 61%. La corrección promedio en el vértice de la cifosis fue de $9,3^\circ$ (rango: $5,9^\circ$ - 15°) por osteotomía. No hubo complicaciones neurológicas. Un paciente con una fusión sólida presentó una infección tardía veinticuatro meses después del procedimiento. La infección se trató mediante remoción de la instrumentación y antibióticos intravenosos. Dos pacientes presentaron cifosis de la unión cefálica o caudal a la instrumentación. Los autores concluyeron en que esta osteotomía era una alternativa aceptable al abordaje anterior y posterior combinado de la columna, ya que no se asocia con la morbilidad y el tiempo de cirugía prolongado atribuidos al abordaje anterior.

La osteotomía de sustracción pedicular resulta ventajosa, pues puede determinar una corrección sustancial en un solo nivel, induce consolidación ósea exitosa debido a las tres columnas de contacto óseo y se puede practicar sin un abordaje anterior complementario.¹⁴ En un estudio prospectivo en el que se sometió a treinta pacientes a una osteotomía de Smith-Petersen, y cuarenta y uno, a una osteotomía de sustracción pedicular, sólo el 39% de los pacientes tratados con la osteotomía de sustracción pedicular requirieron una artrodesis anterior concomitante, en comparación con el 87% de los tratados con osteotomía de Smith-Petersen.¹⁶ Kim et al. analizaron retrospectivamente sus resultados a un mínimo de cinco años después de osteotomías de sustracción pedicular en treinta y cinco pacientes.³⁵ Entre los dos y cinco años de posoperatorio, los autores no observaron ningún cambio radiográfico significativo de la cifosis torácica o la lordosis lumbar ($p = 0,38$ y $0,84$, respectivamente). Con ulterioridad, ocho pacientes fueron sometidos a procedimientos de revisión para tratar pseudoartrosis. El Índice de incapacidad de Oswestry y las puntuaciones de resultado de la *Scoliosis Research Society* entre los dos y cinco años de posoperatorio tampoco se modificaron de manera significativa. Un eje vertical sagital <8 cm en el momento del seguimiento final se asoció significativamente con una mejor puntuación de resultados de la *Scoliosis Research Society* ($p = 0,038$). La conclusión de los autores fue que la osteotomía de sustracción pedicular puede brindar resultados clínicos y radiográficos satisfactorios a un mínimo de cinco años de posoperatorio.

En un estudio retrospectivo que comparó artrodesis circunferencial con osteotomía de sustracción pedicular en veintiséis pacientes con cifosis postraumática sometidos a un seguimiento durante un promedio de 3,5 años, Suk et al. observaron que la osteotomía de sustracción pedicular insumía un tiempo quirúrgico más breve (215 minutos frente a 351 minutos), menor sangrado intraoperatorio y mayor corrección de la cifosis entre los exámenes preoperatorio y posoperatorio ($25,7^\circ$ frente a $11,2^\circ$).³⁶

La osteotomía de extensión cervical permite que el paciente mire hacia adelante, y trae aparejados beneficios funcionales y psicológicos importantes. En la serie de mayor envergadura que conocemos, Simmons et al. revisaron retrospectivamente los resultados de la osteotomía de extensión cervical en 114 pacientes.¹³ En promedio, se obtuvo una corrección de 37° , con una tasa de consolidación del 95%. Dos pacientes presentaron complicaciones neurológicas secundarias a la compresión de la médula espinal con el cierre del sitio de osteotomía; uno de ellos tuvo paraplejía transitoria, que se resolvió después de una reoperación, y el otro, paraplejía permanente. Se observó pseudoartrosis radiográfica que requirió procedimientos adicionales en el 5% (seis) de los 114 pacientes. Belanger et al. comunicaron una corrección promedio de 38° en su serie de veintitres pacientes.³⁷ Concluyeron en que una osteotomía de extensión cervical no sólo mejora la mirada horizontal, sino que también puede ayudar a aliviar el dolor cervical, las dificultades para alimentarse y anomalías neurológicas, por ejemplo, la radiculopatía. Más aún, observaron que se requiere fijación interna para estabilizar el sitio de la osteotomía a fin de reducir el riesgo de pseudoartrosis, prevenir la subluxación y la pérdida de corrección, y minimizar el riesgo de lesión neurológica.

Aunque las resecciones de la columna vertebral son procedimientos de envergadura, se puede lograr la corrección de la deformidad. En un estudio de Suk et al., se redujeron las curvas sagitales, en promedio, de 111° antes de la operación a 50° después de ésta, en pacientes con escoliosis de adulto, y de 68° antes de la operación a 12° después de la operación, en aquellos con cifosis posinfecciosa.³¹ En otro estudio de Suk et al., se trataron veinticinco pacientes con una deformidad lumbosacra mediante una resección de la columna vertebral en la que se extirparon, en promedio, más de dos vértebras.³⁸ Los pacientes obtuvieron una corrección de la deformidad coronal de alrededor del 60% (de 38° a 15°) y una corrección de la cifosis de 40° .

Complicaciones de las osteotomías

Las osteotomías vertebrales son procedimientos importantes y complejos. A medida que aumenta la complejidad, también lo hace el riesgo de complicaciones. Como en cualquier procedimiento de columna, puede haber problemas neurológicos importantes, sobre todo cuando hay manipulación del espacio foraminal, retracción del saco tecal y las raíces nerviosas, y acortamiento de las columnas y los segmentos de la columna vertebral. Por lo tanto, es importante practicar el control apropiado de la médula espinal. La prueba de despertar después de haber cerrado el sitio de la osteotomía puede ser la manera más exacta de evaluar la función de la médula espinal y las raíces nerviosas.⁸

Una osteotomía de Smith-Petersen acorta la columna posterior, mientras que alarga la columna anterior. Existe la preocupación de que esto pueda lesionar vasos importantes, en particular, la aorta abdominal, aunque no conocemos ningún caso comunicado de lesión aórtica. Las complicaciones como hematoma intrarraquídeo y obstrucción intestinal o síndrome de la arteria mesentérica superior son específicas de la osteotomía de Smith-Petersen.^{19,39,40} Cho et al. observaron que las complicaciones más frecuentes después de esta osteotomía fueron infecciones superficiales de la herida y desequilibrio coronal sustancial >4 cm cuando se habían practicado tres o más osteotomías de Smith-Petersen.¹⁶

Las osteotomías de sustracción pedicular son técnicamente exigentes e implican movilización de la duramadre, y la pérdida de sangre es mayor que en la osteotomía de Smith-Petersen.^{6,25} Un análisis retrospectivo de datos obtenidos prospectivamente en un estudio de cuarenta y seis pacientes de sesenta años de edad o mayores mostró que la probabilidad de presentar, por lo menos, una complicación importante era siete veces más alta en aquellos sometidos a una osteotomía de sustracción pedicular que en aquellos sometidos a un procedimiento vertebral diferente (índice de probabilidades: 6,96; intervalo de confianza del 95%: 1,10-79).⁴¹ Las complicaciones importantes fueron déficits neurológicos, infecciones profundas de la herida, embolia pulmonar, neumonía e infarto de miocardio. El avance de la edad fue un factor predictivo significativo de complicaciones ($p < 0,05$). Los investigadores concluyeron que la edad en la que los pacientes pueden tolerar un procedimiento de cirugía mayor, como la osteotomía de sustracción pedicular, probablemente sea más baja que la edad en la que pueden tolerar otros procedimientos vertebrales comunes. Buchowski et al. comunicaron que la prevalencia de déficits neurológicos fue del 11,1%, y la de déficits permanentes, del 2,8% en un estudio de 108 pacientes sometidos a osteotomía de sustracción pedicular.³ En un estudio de Bridwell et al., cinco (15%) de treinta y tres pacientes tratados mediante una

osteotomía de sustracción pedicular por un desequilibrio en el plano sagital presentaron un déficit neurológico transitorio.²⁶ En un estudio retrospectivo reciente, Yang et al. comunicaron que la prevalencia de déficits neurológicos intraoperatorios o posoperatorios fue del 4% (uno de veintiocho pacientes) después de una osteotomía de sustracción pedicular lumbar o torácica practicada para tratar un desequilibrio en el plano sagital.⁴² Se consideró que este déficit aislado se debía con suma probabilidad a compresión de raíces nerviosas.

Las complicaciones neurológicas de una osteotomía de extensión cervical pueden obedecer a diversas causas. Cuando se cierra el sitio de osteotomía, los elementos nerviosos, incluidos la médula espinal y las raíces nerviosas, pueden estar comprimidos si no se resecó suficiente hueso de los elementos posteriores (apófisis espinosa y lámina). Asimismo, puede haber compresión de las raíces nerviosas C8 en su agujero intervertebral si no se resecó suficiente hueso de los pedículos cefálicos y caudales a la osteotomía. Además, la inestabilidad y la subluxación en el sitio de la osteotomía puede provocar complicaciones neurológicas. Si sobreviene subluxación, hay alta probabilidad de que cause pseudoartrosis en el sitio de osteotomía, lo que puede requerir una artrodesis anterior de columna.¹

Suk et al. evaluaron retrospectivamente la tasa de complicaciones después de una resección de columna vertebral en dieciséis pacientes con escoliosis rígida.³⁰ Cuatro de estos pacientes presentaron complicaciones: una parálisis completa, un hematoma, un hemoneumotórax y una cifosis de la unión proximal. En otro estudio retrospectivo, sobrevino una complicación en el 20% (cinco) de veinticinco pacientes que se habían sometido a una resección de columna vertebral para tratar una deformidad lumbosacra fija.³⁸ Las complicaciones incluyeron dos casos de dolor radicular que se resolvieron en seis meses, dos fracturas por compresión y una pseudoartrosis. Los investigadores comunicaron una pérdida de sangre media de 2.810 mL (rango: 320-5.460 mL), lo que indica que puede haber una hemorragia sustancial asociada a este procedimiento.

Revisión

Las osteotomías correctivas se utilizan para tratar desequilibrios sagitales y coronales de la columna en pacientes con diversas deformidades de columna. Es importante reconocer el tipo y la causa de base de la deformidad, de manera que se pueda elegir la osteotomía más apropiada. La osteotomía de Smith-Petersen es bastante simple en comparación con otras osteotomías y, por lo general, se la puede practicar para tratar deformidades de tipo 1. Asimismo, las curvas que tienen una cifosis relativamente suave en lugar de una cifosis angular aguda se pueden tratar con una osteotomía de Smith-Petersen. Se pueden practicar múltiples osteotomías de Smith-Petersen para lograr el grado de corrección necesario. Por lo general, las osteotomías de sustracción pedicular se indican para desequilibrios mayores en el plano sagital de la columna y cuando se requiere una corrección mínima de 30°. Las resecciones de columna vertebral se reservan para deformidades, como las de los planos sagital y coronal, que no son pasibles de tratamiento con osteotomía de Smith-Petersen ni osteotomía de sustracción pedicular ni una combinación de ambas. La osteotomía de extensión cervical se practica en pacientes con antecedentes de espondilitis anquilosante, pero se la indica específicamente para corregir la mirada horizontal dirigiendo hacia adelante el campo visual. A medida que aumenta la complejidad de la osteotomía, también lo hace la posibilidad de complicaciones.

Información: los autores no recibieron fondos ni subsidios externos para financiar su investigación ni para preparar este trabajo. Ni ellos ni sus familiares directos recibieron de una entidad comercial pagos u otros beneficios ni un compromiso o acuerdo para otorgar beneficios de este tipo. Ninguna entidad comercial pagó ni asignó, acordó pagar o asignar, ningún beneficio a ningún fondo de investigación, fundación, división, centro, consultorio clínico u otra organización de caridad o sin fines de lucro con la que los autores, o alguno de sus familiares directos, estén afiliados o asociados.

J. Brian Gill, MD, MBA

Tim Burd, MD

Michael Longley, MD

Nebraska Foundation for Spinal Research, 11819 Miracle Hills Drive, Suite 102, Omaha, NE 68154. Dirección de correo electrónico de J.B. Gill: jbgill@nebraskaspinecenter.com

Andrew Levin, BS

Department of Orthopaedic Surgery and Rehabilitation, Texas Tech University Health Sciences Center, 3601 4th Street, Lubbock, TX 79430

J Bone Joint Surg Am. 2008;2509-2520 • doi:10.2106/JBJS.H.00081

Referencias

1. McMaster MJ. *Osteotomy of the cervical spine in ankylosing spondylitis.* J Bone Joint Surg Br. 1997;79:197-203.
2. Booth KC, Bridwell KH, Lenke LG, Baldus CR, Blanke KM. *Complications and predictive factors for the successful treatment of flatback deformity (fixed sagittal imbalance).* Spine. 1999;24:1712-20.
3. Buchowski JM, Bridwell KH, Lenke LG, Kuhns CA, Lehman RA Jr, Kim YJ, Stewart D, Baldus C. *Neurologic complications of lumbar pedicle subtraction osteotomy: a 10-year assessment.* Spine. 2007;32:2245-52.
4. Smith-Petersen MN, Larson CB, Aufranc OE. *Osteotomy of the spine for correction of flexion deformity in rheumatoid arthritis.* J Bone Joint Surg Am. 1945;27:1-11.
5. Thomasen E. *Vertebral osteotomy for correction of kyphosis in ankylosing spondylitis.* Clin Orthop Relat Res. 1985;194:142-52.
6. Wang MY, Berven SH. *Lumbar pedicle subtraction osteotomy.* Neurosurgery. 2007;60(2 Suppl 1):ONS140-6.
7. Bridwell KH, Lewis SJ, Lenke LG, Baldus C, Blanke K. *Pedicle subtraction osteotomy for the treatment of fixed sagittal imbalance.* J Bone Joint Surg Am. 2003;85:454-63.
8. Bridwell KH, Lewis SJ, Rinella A, Lenke LG, Baldus C, Blanke K. *Pedicle subtraction osteotomy for the treatment of fixed sagittal imbalance. Surgical technique.* J Bone Joint Surg Am. 2004;86 Suppl 1:44-50.

9. Urist MR. *Osteotomy of the cervical spine; report of a case of ankylosing rheumatoid spondylitis*. J Bone Joint Surg Am. 1958;40:833-43.
10. van Royen BJ, Slot GH. *Closing-wedge posterior osteotomy for ankylosing spondylitis. Partial corporectomy and transpedicular fixation in 22 cases*. J Bone Joint Surg Br. 1995;77:117-21.
11. Lazennec JY, Saillant G, Saidi K, Arafati N, Barabas D, Benazet JP, Laville C, Roy-Camille R, Ramaré S. *Surgery of the deformities in ankylosing spondylitis: our experience of lumbar osteotomies in 31 patients*. Eur Spine J. 1997;6:222-32.
12. Sengupta DK, Khazim R, Grevitt MP, Webb JK. *Flexion osteotomy of the cervical spine: a new technique for correction of iatrogenic extension deformity in ankylosing spondylitis*. Spine. 2001;26:1068-72.
13. Simmons ED, DiStefano RJ, Zheng Y, Simmons EH. *Thirty-six years experience of cervical extension osteotomy in ankylosing spondylitis: techniques and outcomes*. Spine. 2006;31:3006-12.
14. Bridwell KH. *Decision making regarding Smith-Petersen vs. pedicle subtraction osteotomy vs. vertebral column resection for spinal deformity*. Spine. 2006;31(19 Suppl):S171-8.
15. Sansur CA, Fu KM, Oskouian RJ Jr, Jagannathan J, Kuntz C 4th, Shaffrey CI. *Surgical management of global sagittal deformity in ankylosing spondylitis*. Neurosurg Focus. 2008;24:E8.
16. Cho KJ, Bridwell KH, Lenke LG, Berra A, Baldus C. *Comparison of Smith-Petersen versus pedicle subtraction osteotomy for the correction of fixed sagittal imbalance*. Spine. 2005;30:2030-8.
17. Kuklo TR, Bridwell KH, Lewis SJ, Baldus C, Blanke K, Iffrig TM, Lenke LG. *Minimum 2-year analysis of sacropelvic fixation and L5-S1 fusion using S1 and iliac screws*. Spine. 2001;26:1976-83.
18. Kornblatt MD, Casey MP, Jacobs RR. *Internal fixation in lumbosacral spine fusion. A biomechanical and clinical study*. Clin Orthop Relat Res. 1986;203:141-50.
19. Macagno AE, O'Brien MF. *Thoracic and thoracolumbar kyphosis in adults*. Spine. 2006;31(19 Suppl):S161-70.
20. Lebowhl NH, Cunningham BW, Dmitriev A, Shimamoto N, Gooch L, Devlin V, Boachie-Adjei O, Wagner TA. *Biomechanical comparison of lumbosacral fixation techniques in a calf spine model*. Spine. 2002;27:2312-20.
21. McCord DH, Cunningham BW, Shono Y, Myers JJ, McAfee PC. *Biomechanical analysis of lumbosacral fixation*. Spine. 1992;17(8 Suppl):S235-43.
22. Edwards CC 2nd, Bridwell KH, Patel A, Rinella AS, Jung Kim Y, Berra AB, Della Rocca GJ, Lenke LG. *Thoracolumbar deformity arthrodesis to L5 in adults: the fate of the L5-S1 disc*. Spine. 2003;28:2122-31.
23. Polly DW Jr, Hamill CL, Bridwell KH. *Debate: to fuse or not to fuse to the sacrum, the fate of the L5-S1 disc*. Spine. 2006;31(19 Suppl):S179-84.
24. Kuhns CA, Bridwell KH, Lenke LG, Amor C, Lehman RA, Buchowski JM, Edwards C 2nd, Christine B. *Thoracolumbar deformity arthrodesis stopping at L5: fate of the L5-S1 disc, minimum 5-year follow-up*. Spine. 2007;32:2771-6.
25. Lagrone MO, Bradford DS, Moe JH, Lonstein JE, Winter RB, Ogilvie JW. *Treatment of symptomatic flatback after spinal fusion*. J Bone Joint Surg Am. 1988;70:569-80.
26. Bridwell KH, Lewis SJ, Edwards C, Lenke LG, Iffrig TM, Berra A, Baldus C, Blanke K. *Complications and outcomes of pedicle subtraction osteotomies for fixed sagittal imbalance*. Spine. 2003;28:2093-101.
27. Berven SH, Deviren V, Smith JA, Emami A, Hu SS, Bradford DS. *Management of fixed sagittal plane deformity: results of the transpedicular wedge resection osteotomy*. Spine. 2001;26:2036-43.
28. Hoh DJ, Khoueir P, Wang MY. *Management of cervical deformity in ankylosing spondylitis*. Neurosurg Focus. 2008;24:E9.
29. Bradford DS, Tribus CB. *Vertebral column resection for the treatment of rigid coronal decompensation*. Spine. 1997;22:1590-9.
30. Suk SI, Chung ER, Kim JH, Kim SS, Lee JS, Choi WK. *Posterior vertebral column resection for severe rigid scoliosis*. Spine. 2005;30:1682-7.
31. Suk SI, Kim JH, Kim WJ, Lee SM, Chung ER, Nah KH. *Posterior vertebral column resection for severe spinal deformities*. Spine. 2002;27:2374-82.
32. Bradford DS, Boachie-Adjei O. *One-stage anterior and posterior hemivertebral resection and arthrodesis for congenital scoliosis*. J Bone Joint Surg Am. 1990;72:536-40.
33. Ponte A. *Posterior column shortening for Scheuermann's kyphosis: an innovative one-stage technique*. In: Hafer TR, Merola AA, editors. Surgical techniques for the spine. New York: Thieme Medical; 2003. p 107-13.
34. Geck MJ, Macagno A, Ponte A, Shufflebarger HL. *The Ponte procedure: posterior only treatment of Scheuermann's kyphosis using segmental posterior shortening and pedicle screw instrumentation*. J Spinal Disord Tech. 2007;20:586-93.
35. Kim YJ, Bridwell KH, Lenke LG, Cheh G, Baldus C. *Results of lumbar pedicle subtraction osteotomies for fixed sagittal imbalance: a minimum 5-year follow-up study*. Spine. 2007;32:2189-97.
36. Suk SI, Kim JH, Lee SM, Chung ER, Lee JH. *Anterior-posterior surgery versus posterior closing wedge osteotomy in posttraumatic kyphosis with neurologic compromised osteoporotic fracture*. Spine. 2003;28:2170-5.
37. Belanger TA, Milam RA 4th, Roh JS, Bohlman HH. *Cervicothoracic extension osteotomy for chin-on-chest deformity in ankylosing spondylitis*. J Bone Joint Surg Am. 2005;87:1732-8.
38. Suk SI, Chung ER, Lee SM, Lee JH, Kim SS, Kim JH. *Posterior vertebral column resection in fixed lumbosacral deformity*. Spine. 2005;30:E703-10.
39. Adams JC. *Technique, dangers and safeguards in osteotomy of the spine*. J Bone Joint Surg Br. 1952;34:226-32.
40. McMaster MJ. *A technique for lumbar spinal osteotomy in ankylosing spondylitis*. J Bone Joint Surg Br. 1985;67:204-10.
41. Daubs MD, Lenke LG, Cheh G, Stobbs G, Bridwell KH. *Adult spinal deformity surgery: complications and outcomes in patients over age 60*. Spine. 2007;32:2238-44.
42. Yang BP, Ondra SL, Chen LA, Jung HS, Koski TR, Salehi SA. *Clinical and radiographic outcomes of thoracic and lumbar pedicle subtraction osteotomy for fixed sagittal imbalance*. J Neurosurg Spine. 2006;5:9-17.

Sagittal Balance

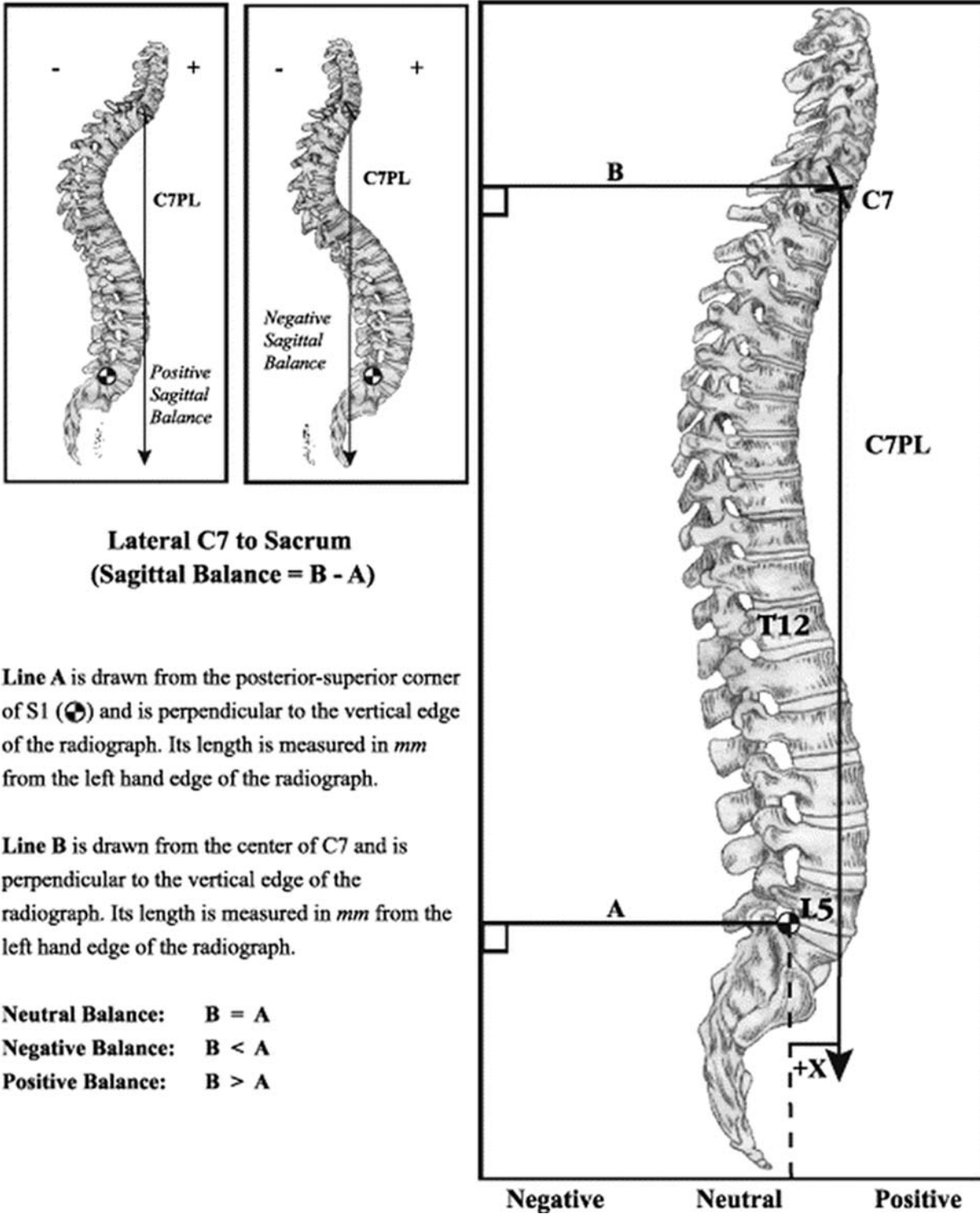


Fig. 1

Técnica para medir el desequilibrio sagital. (Reimpreso, con autorización, de Glassman SD, Berven S, Bridwell K, Horton W, Dimar JR. *Correlation of radiographic parameters and clinical symptoms in adult scoliosis*. Spine. 2005;30:682-8.)

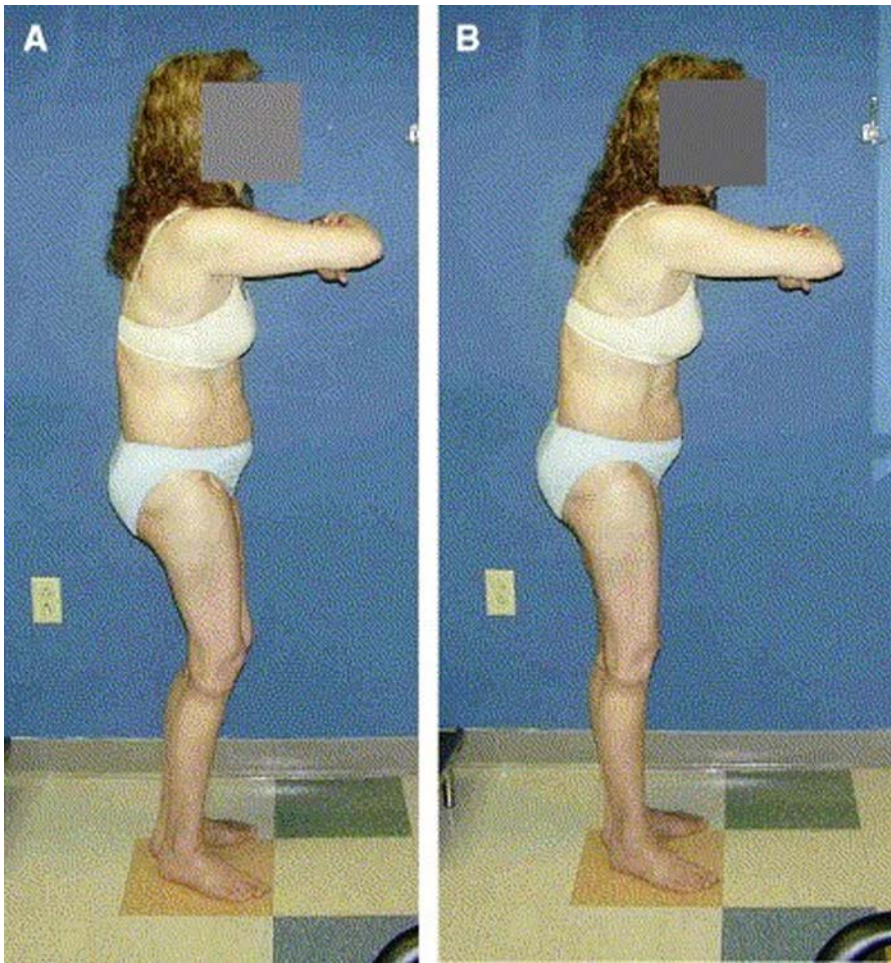


Fig. 2

A: los pacientes pueden compensar las deformidades vertebrales fijas mediante flexión de las rodillas y las caderas. B: la extensión completa de las rodillas revela el grado de desequilibrio sagital positivo global. (Reimpreso, con autorización, de Angevine PD, Bridwell KH. *Sagittal imbalance*. Neurosurg Clin N Am. 2006;17:353-63, vii.)

Type 1 and 2 Coronal Decomposition. Relationship Of Shoulders To The Pelvis

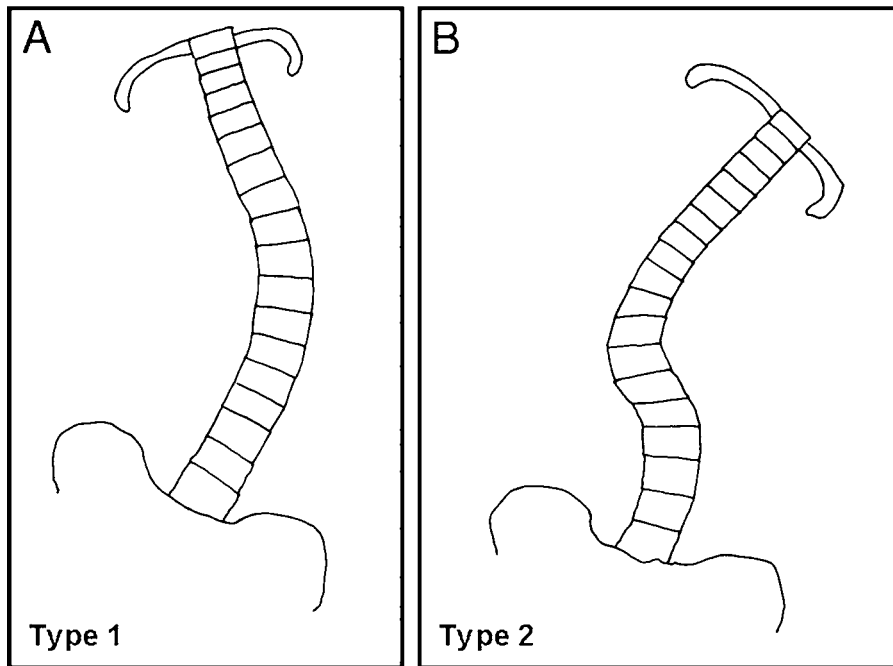


Fig. 3

Descompensación coronal de tipo 1 y 2. A: en la deformidad coronal de tipo 1, el acortamiento de la columna del lado derecho volverá a equilibrarla. B: en una deformidad coronal de tipo 2, el acortamiento de un lado de la columna no logrará restablecer el equilibrio coronal.

(Reimpreso, con autorización, de Bridwell KH. *Decision making regarding Smith-Petersen vs. pedicle subtraction osteotomy vs. vertebral column resection for spinal deformity*. Spine. 2006;31[19 Suppl]:S171-8.)

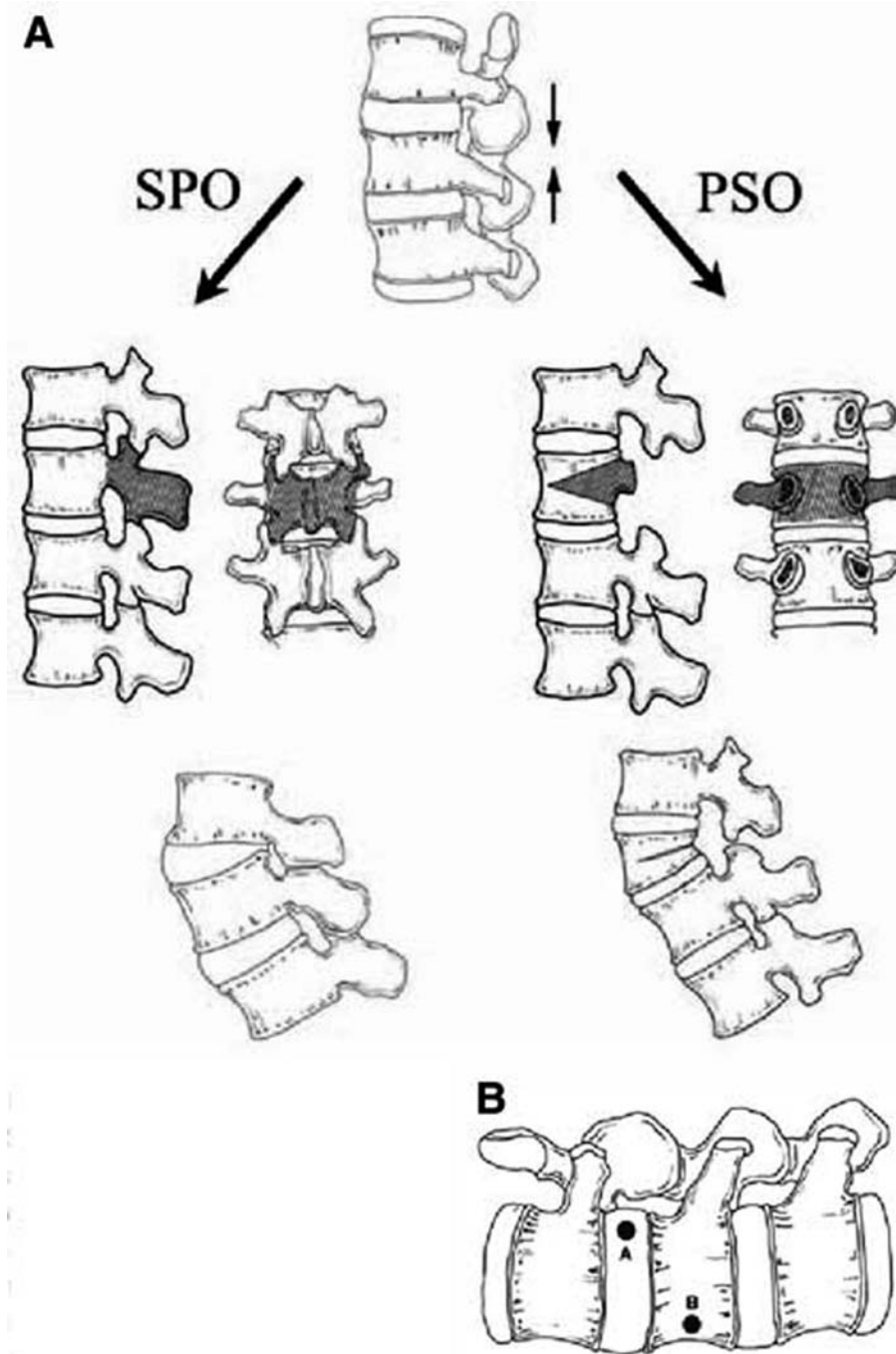


Fig. 4

A: comparación de la osteotomía de sustracción pedicular (PSO) con la osteotomía de Smith-Petersen (SPO). El sombreado indica el hueso por reseca. B: la osteotomía de sustracción pedicular consiste en la resección de una cuña vertebral con un punto de apoyo en la cara anterior de la columna (Punto B), mientras que la osteotomía de Smith-Petersen sólo reseca los elementos posteriores y su punto de apoyo está en la columna media (Punto A). Así, la osteotomía de sustracción pedicular puede determinar un mayor grado de corrección de la cifosis en cada nivel tratado. (Reimpreso, con autorización, de Wang MY, Berven SH. *Lumbar pedicle subtraction osteotomy*. Neurosurgery. 2007;60[2 Suppl 1]:ONS140-6.)

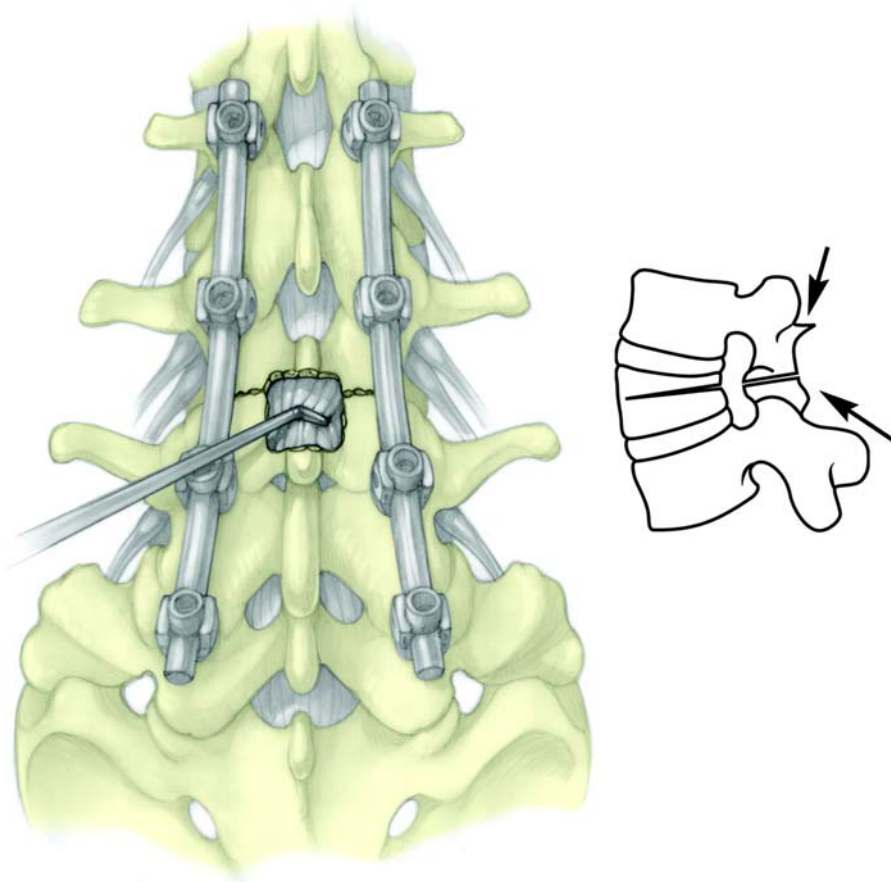


Fig. 5

Representación del agrandamiento central después del cierre de una osteotomía de sustracción pedicular. (Reimpreso de Bridwell KH, Lewis SJ, Rinella A, Lenke LG, Baldus C, Blanke K. *Pedicle subtraction osteotomy for the treatment of fixed sagittal imbalance. Surgical technique.* J Bone Joint Surg Am. 2004;86 Suppl 1:44-50.)

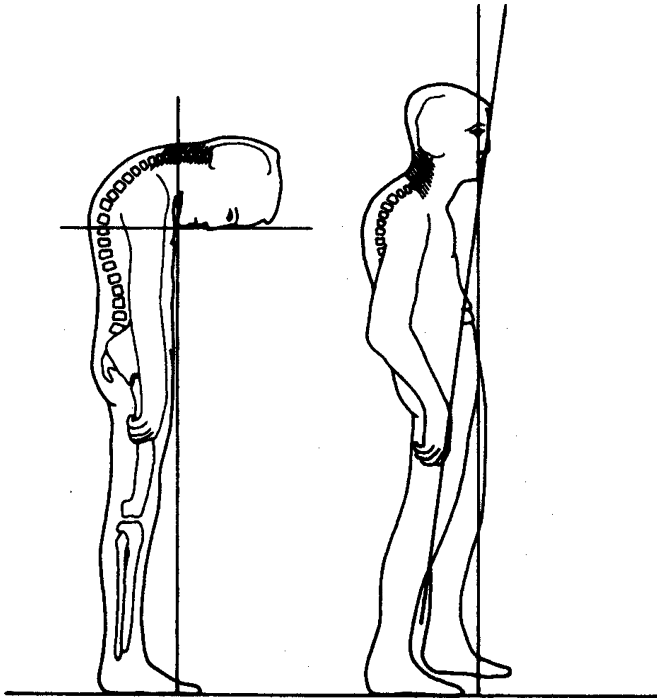


Fig. 6

El ángulo de mentón-ceja a la vertical se utiliza para medir el grado de deformidad cervical en flexión de la columna en pacientes con espondilitis anquilosante. (Reimpreso, con autorización, de Simmons EH. *The cervical spine in ankylosing spondylitis*. En: Bridwell KH, Dewald RL, editores. *Textbook of spinal surgery*. 2ª ed, vol 1. Filadelfia: Lippincott-Raven; 1996. p 1136.)

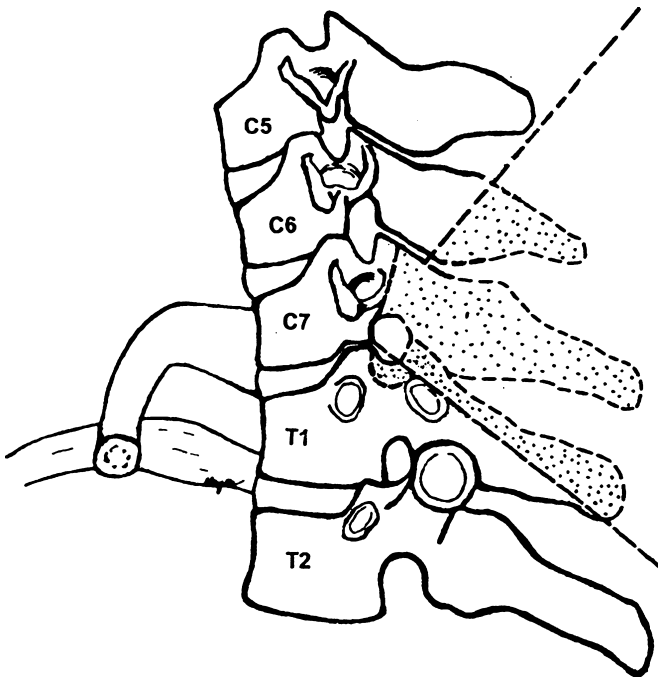
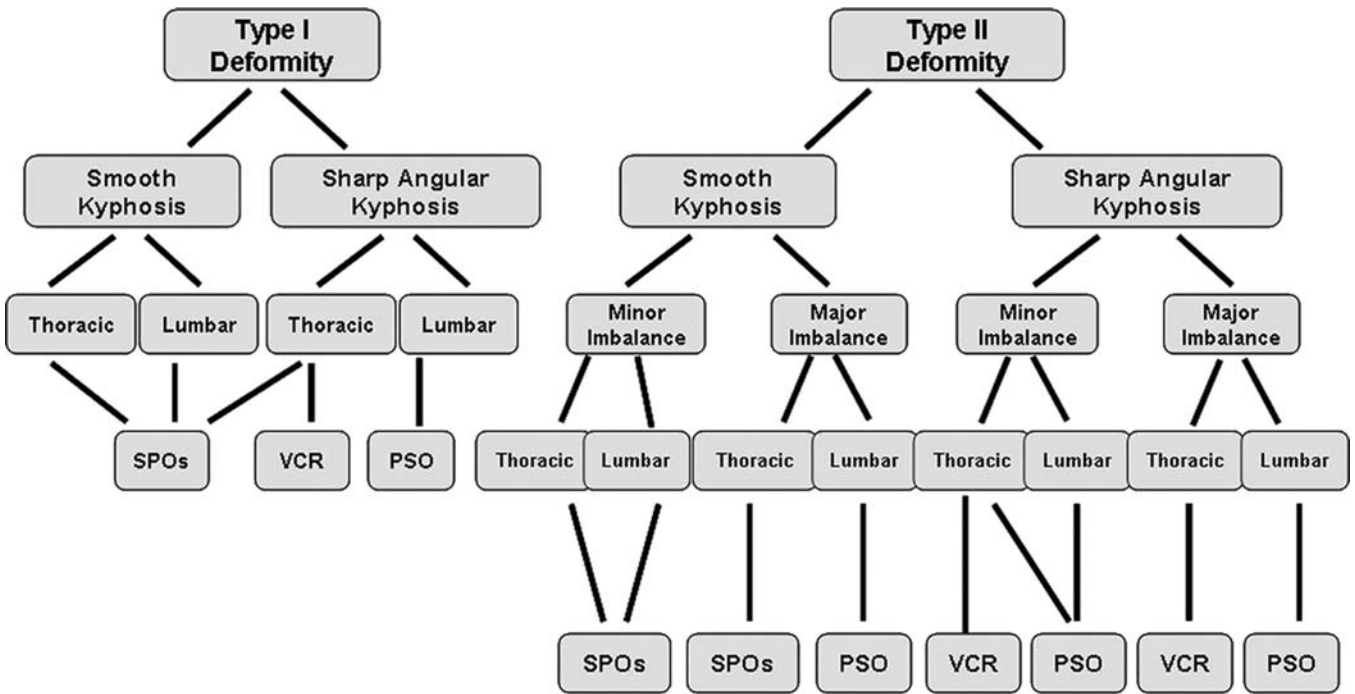


Fig. 7

Esquema de la imagen lateral del área de resección cervical, que muestra la resección de la mayor parte del pedículo. (Reimpreso, con autorización, de Simmons ED, DiStefano RJ, Zheng Y, Simmons EH. *Thirty-six years experience of cervical extension osteotomy in ankylosing spondylitis: techniques and outcomes*. *Spine*. 2006;31:3006-12.)



**PSO = pedicle subtraction osteotomy; SPO = Smith-Petersen osteotomy;
VCR=vertebral column resection**

Fig. 8

Algoritmo para elegir el tipo de osteotomía sobre la base del carácter de la deformidad sagital. (Reimpreso, con autorización, de Bridwell KH. *Decision making regarding Smith-Petersen vs. pedicle subtraction osteotomy vs. vertebral column resection for spinal deformity.* Spine. 2006;31[19 Suppl]:S171-8.)