



Universidad  
Católica de  
Valencia  
San Vicente Mártir

# **Halo tracción: eficacia y seguridad en el tratamiento de deformidades severas de la columna infantil. Estudio anatómico-radiológico en 270 cráneos infantiles y clínico en cohorte de 36 pacientes pediátricos**

Tesis para el grado de Doctor en medicina clínica.

**Presentada por:**

Dr. Pedro Domenech Fernández

**Dirigida por:**

Prof. Dr. Carlos Barrios Pitarque

Valencia, 2023

---





## Agradecimientos

---

A la Universidad Católica de Valencia San Vicente Mártir y al Dr. Carlos Barrios Pitarque por su apoyo.

A todos los médicos que me han enseñado, a los que he enseñado y hemos aprendido juntos.

A todos nuestros pacientes.

A los amigos de " Los Martes Tesis".

A Gonzalo, Patricia, Jorge, Pablo, Cristina y Laura, antiguos alumnos de la UCV, que me han inspirado, animado y ayudado.

A toda mi familia.



---

## Abstract

---

### Introduction and objectives:

Treatment of severe deformities is challenging, often requiring aggressive techniques such as spinal resection and osteotomies for high comorbidity. Progressive correction using halo gravity traction (HGT) may facilitate isolated posterior correction surgery. The first purpose of this study was to assess the skull bone thickness from birth to skeletal maturity at different sites to provide a reference for the correct selection of pin type and pin placement according to age. The second objective was to evaluate and quantify the effectiveness of the Perioperative Halo-Gravity Traction (HGT) in the Treatment of Severe Spinal Deformity in Children. A third objective was to determine, through a systematic review, the effects of halo gravity traction in spinal pathology.

### Material and Method:

Study I: 270 children and adolescents (age: 0–16 years) with a normal CT scan obtained at Emergency Department for other medical reasons were included. Skull thickness was measured on the axial plane CT scans, 1 cm. above the pinna in the same plane where the halo must be placed at eight different sites of the vault: midline anterior (A) and posterior (P), right and left lateral (L), antero-lateral (AL), and posterolateral (PL).

Study II: A historical cohort of 37 consecutive children with severe spinal deformity who underwent to a perioperative HGT as a part of the treatment protocol. Minimum follow-up of 2 years. Demographic, clinical and radiological data, including time duration of perioperative HGT and Cobb angle in the coronal and sagittal plane. The radiological variables were measured before the placement of the halo, after placement of the halo, at the end of the period of traction, after surgery and in the final follow-up.

Study III: The systematic review was conducted according to the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) criteria. Prospective studies or series of patients with scoliosis or kyphosis treated with cranial HGT were included. Radiological outcomes were measured by Cobb angle before and at the end of follow-up in the sagittal and/or coronal planes. Pulmonary function at the end of follow-up was assessed by forced vital capacity FVC, forced expired volume in the first second FEV1, FEV1/FVC or Tiffenau index, and peak expiratory flow PEF. Perioperative complications associated with HGT were also collected.

## Results:

Study I: From birth to skeletal maturity, L thickness was increased significantly less (+ 58%) compared with AL (+ 205%), P (+ 233%), PL (+ 247%), and A (+ 269%) thickness ( $P < 0.01$ ). At the end of growth, the thickest and thinnest points of the vault (absolute value) were found at the P and L measurement sites, respectively ( $P < 0.01$ ). Children aged  $< 4$  years exhibited the highest variability in AL and PL skull bone thickness, with thickness  $< 3$  mm observed in 85% (64/75 patients) and 92% (69/75 patients) of cases, respectively.

Study II: Seventeen males (57%) and twenty females (43%) were included in the final analysis. The mean age was 6.5 years (SD 4.8). The most frequent etiology for the spinal deformity was syndromic (13 patients). The average preoperative Cobb angle was  $88^\circ$  (range, 12-135). HGT was used in 17 cases prior to a primary surgery and in 20 cases prior to a revision surgery. After the HGT, an average correction of 34% of the deformity was achieved ( $p < 0.05$ ). After the surgery this correction improved. At 2-year follow-up there was a correction loss of 20% ( $p < 0.05$ ). There were 3 complications (8.1%): 2 pin infections and cervical subluxation.

Study III: Congenital etiology was the most frequent etiology observed, followed by idiopathic and neuromuscular. Most studies provided clinically relevant curve correction values in the sagittal and coronal planes. Pulmonary values improved significantly after the use of HGT except in the case of the Tiffenau index. Finally, there were a total of 76 complications in 247 patients (30.8%). The most frequent complication was screw infection (38 cases), followed by neurological complications (16 cases).

---

## **Conclusions:**

Study I: Children aged < 4 years show significant variability in skull thickness, and therefore a CT scan may be required for this particular age group. We recommend that the tip of the pin should not exceed 2–3 mm in children aged < 4, and 4 mm in children aged 4–6 years, to decrease the risk of inner table perforation. After the age of 7 years and 13 years, standard-sized pin tips (5 and 6 mm, respectively) may be safely used.

Study II: The application of HGT in cases of severe rigid deformity is useful allowing a correction of the preoperative deformity of 34%, facilitating surgery. Preoperative HGT seems to be a safe and effective intervention in pediatric patients with high degree deformity.

Study III: Preoperative HGT appears to be a safe and effective intervention for high-grade deformity that allows correction prior to surgery. However, there is a lack of consistent data and homogeneity in many of the published studies



---

## Resumen

---

### Introducción y Objetivos:

El tratamiento de las deformidades graves de la columna vertebral en niños es un desafío y, a menudo, requiere técnicas agresivas, como la resección vertebral y las osteotomías que implican una comorbilidad alta. La corrección progresiva con halo-tracción por gravedad puede facilitar la cirugía de corrección posterior aislada. El primer objetivo de este trabajo fue analizar el grosor del hueso del cráneo desde el nacimiento hasta la madurez esquelética en diferentes localizaciones anatómicas para proporcionar una referencia para la selección correcta del tipo de pin y la colocación del pin adecuado según la edad. Un segundo objetivo consistió en evaluar y cuantificar la eficacia de la tracción perioperatoria por halo-gravedad (HGT) en una cohorte de niños con deformidad espinal severa. Un tercer objetivo fue determinar, a través de una revisión sistemática, los efectos de la tracción de halo por gravedad en la patología de columna.

### Material y Método:

Estudio I: Incluye 270 niños y adolescentes (edad: 0-17 años) con una tomografía computarizada normal obtenida en un Servicio de Urgencias por otras razones médicas. El grosor del cráneo se midió en el plano axial de las tomografías computerizadas en el plano donde se coloca idealmente el Halo 1 cm. por encima del pabellón auricular, en ocho localizaciones diferentes de la bóveda: línea media anterior (A) y posterior (P), lateral derecha e izquierda (L), anterolateral (AL), posterolateral (PL).

Estudio II: Se analiza una cohorte histórica consecutiva de niños con deformidad espinal grave que se sometieron a una tracción mediante halo perioperatoria como parte del protocolo de tratamiento. El seguimiento mínimo fue de 2 años. Se registraron datos demográficos, clínicos y radiológicos, incluido el tiempo de duración de la tracción con halo y el ángulo de Cobb en el plano coronal y sagital. Las variables radiológicas se midieron antes de la colocación del halo, después de la colocación del halo, al final del período de tracción, después de la cirugía y en el seguimiento final.

Estudio III: La revisión sistemática se realizó de acuerdo con los criterios Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA). Se incluyeron estudios prospectivos o series de pacientes con escoliosis o cifosis tratados con halo-tracción craneal. Los resultados radiológicos se midieron por ángulo de Cobb antes y al final del seguimiento en los planos sagital y/o coronal. La función pulmo-

nar al final del seguimiento se evaluó mediante determinación de la capacidad vital forzada, el volumen espirado forzado en el primer segundo (FEV1), FEV1/FVC o índice de Tiffenau y el flujo espiratorio máximo (PEF). También se recogieron las complicaciones perioperatorias asociadas al halo-tracción.

## Resultados:

Estudio I: Desde el nacimiento hasta la madurez esquelética, el grosor L aumentó significativamente menos (+ 58 %) en comparación con AL (+ 205 %), P (+ 233 %), PL (+ 247 %) y A (+ 269 %) grosor ( $p < 0,01$ ). Al final del crecimiento, las zonas más gruesas y más delgadas de la bóveda (valor absoluto) se encontraron en las localizaciones de medición P y L, respectivamente ( $p < 0,01$ ). Los niños menores de 4 años exhibieron la mayor variabilidad en el grosor del hueso del cráneo AL y PL, observándose un grosor  $< 3$  mm en el 85 % (64/75 pacientes) y el 92 % (69/75 pacientes) de los casos, respectivamente.

Estudio II: En el análisis final se incluyeron diecisiete hombres (57%) y veinte mujeres (43%). La edad media fue de 6,5 años (DE 4,8). La etiología más frecuente de la deformidad de la columna fue sindrómica (13 pacientes). El ángulo de Cobb preoperatorio promedio fue de  $88^\circ$  (rango, 12-135). El halo-tracción se utilizó en 17 casos antes de una cirugía primaria y en 20 casos antes de una cirugía de revisión. Después de la tracción se logró una corrección promedio del 34% de la deformidad ( $p < 0,05$ ). Después de la cirugía esta corrección mejoró. A los 2 años de seguimiento hubo una pérdida de corrección del 20 % ( $p < 0,05$ ). Hubo 3 complicaciones (8,1%): 2 infecciones de pines y subluxación cervical.

Estudio III: La etiología congénita fue la etiología más frecuente observada, seguida de la idiopática y la neuromuscular. La mayoría de los estudios proporcionaron valores de corrección de curva clínicamente relevantes en los planos sagital y coronal. Los valores pulmonares mejoraron significativamente tras el uso del halo-tracción excepto en el caso del índice de Tiffenau. Finalmente, se registraron un total de 76 complicaciones en 247 pacientes (30,8%). La complicación más frecuente fue la infección del tornillo (38 casos), seguida de las complicaciones neurológicas (16 casos).

---

## **Conclusiones:**

Estudio I: Los niños menores de 4 años muestran una variabilidad significativa en el grosor del cráneo y, por lo tanto, es posible que se requiera una tomografía computarizada TAC para este grupo de edad en particular a la hora de aplicar tracción con halo. Recomendamos que la punta del pin no supere los 2-3 mm en niños < 4 años y los 4 mm en niños de 4-6 años, para disminuir el riesgo de perforación de la tabla interna. Después de la edad de 7 años y 13 años, se pueden usar con seguridad puntas de pin de tamaño estándar (5 y 6 mm, respectivamente).

Estudio II: La aplicación del halo-tracción en casos de deformidad rígida severa es útil permitiendo una corrección de la deformidad preoperatoria del 34%, y facilitando por tanto la cirugía. La tracción con halo preoperatoria parece ser una intervención segura y eficaz en pacientes pediátricos con alto grado de deformidad

Estudio III: La tracción preoperatoria mediante halo parece ser una intervención segura y eficaz para las deformidades de alto grado permitiendo la corrección antes de la cirugía. Sin embargo, hay una falta de datos consistentes y homogeneidad en muchos de los estudios publicados.

---

# Índice

---

<b>Agradecimientos</b> .....	05
<b>Abstract</b> .....	07
<b>Resumen</b> .....	11
<b>Índice</b> .....	14
<b>Introducción</b> .....	17
Escoliosis de Inicio Temprano (EOS) .....	18
Clasificación EOS .....	19
Desarrollo de la columna vertebral .....	21
Diagnóstico EOS .....	22
Tratamiento EOS.....	24
Historia tracción halo-gravitatoria.....	25
Procedimiento y mecanismo de acción de la tracción halo-gravitatoria .....	26
Indicaciones Halo .....	34
Contraindicaciones .....	38
Complicaciones Halo .....	39
Eficacia Halo tracción-gravedad.....	44
Halo tracción y función pulmonar.....	45
Impacto de la Halo tracción en la función neurológica.....	46
<b>Hipótesis</b> .....	49
<b>Objetivos</b> .....	53

---

---

<b>Materiales y métodos</b> .....	57
Material y métodos del artículo “Analysis of skull bone thickness during growth: an anatomical guide for safe pin placement in halo fixation” .....	58
Diseño del estudio .....	58
Pacientes .....	58
Evaluación mediante TAC .....	60
Análisis estadístico .....	61
Material y métodos (Eficacia de la tracción de halo-gravedad perioperatoria en el tratamiento de la deformidad espinal grave en niños) .....	61
Muestra del estudio .....	61
Criterios de inclusión y exclusión .....	61
Protocolos de tratamiento con halo-tracción .....	62
Medidas de resultados .....	64
Análisis estadístico .....	65
Material y métodos (Eficacia del Halo Tracción Gravedad craneal en el manejo de patología de columna. Una revisión sistemática de la literatura) .....	65
Estrategia de búsqueda y selección de estudios .....	65
Extracción de datos .....	66
Evaluación de los resultados .....	66
<b>Resultados</b> .....	69
Estudio 1 .....	70
Estudio 2 .....	77
Estudio 3 .....	79
<b>Discusión</b> .....	85
<b>Conclusiones</b> .....	93
<b>Referencias bibliográficas</b> .....	97





# Introducción

---

## Escoliosis de Inicio Temprano (EOS)

El término Escoliosis de Inicio Temprano (EOS: Early Onset Scoliosis) hace referencia a una curvatura en la columna vertebral mayor de  $10^\circ$  en niños menores de diez años de edad [1, 2] (Fig. 1). Un diagnóstico precoz es crucial debido al compromiso del crecimiento de la columna vertebral, la caja torácica y el desarrollo pulmonar. Por el contrario, un retraso en el diagnóstico podría condicionar una alteración restrictiva ventilatoria del paciente pediátrico, así como una alteración en el crecimiento [3, 4].

La EOS y las consecuencias de su tratamiento producen limitaciones en la esfera biopsicosocial del paciente [5]. Las limitaciones físicas debidas a la deformidad condiciona una pérdida la calidad de vida [6]. Además, los adolescentes con enfermedades crónicas como la EOS pueden experimentar un estrés con aumento del riesgo de desarrollar problemas emocionales y psicosociales a largo plazo [7].



**Figura 1.** Paciente de 8 años con escoliosis de inicio temprano tipo neuromuscular. Presenta curva de  $87^\circ$  torácica con ápex a nivel derecho, componente cifótico y compromiso ventilatorio.



**Figura 2.** TAC3D de paciente de 7 años que presenta escoliosis congénita secundaria a un defecto mixto.

## Clasificación EOS

---

La clasificación de la EOS es un reto debido a la heterogeneidad de los pacientes. Audigé et al. establece una clasificación basada en la etiología de la enfermedad (C-EOS), en la cual distingue entre etiología neuromuscular, idiopática, congénita (Fig. 2) y sindrómica. La prevalencia y el abordaje terapéutico de los distintos subgrupos difieren entre sí (Tabla 1) [8].

**Tabla 1.** Clasificación EOS.

Etiología eos	Características	Diagnósticos asociados	Consideraciones tratamiento
<b>Congénita</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anomalía estructural de la columna vertebral o del tórax presente en el nacimiento.</li> <li>• Fracaso en la formación. (p.Ej: Hemivertebra).</li> <li>• Fallo en la segmentación. (p.Ej: Costillas o vertebra fusionadas)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Malformaciones renales o cardíacas.</li> <li>• Otras anomalías musculoesqueléticas (extremidades superiores, pie) asociadas a síndromes VACTER / VACTERL. Anormalidades intraespinales (es decir, diastematomielia)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Escisión de hemivertebra.</li> <li>• La fusión espinal temprana de segmento corto en casos seleccionados en este grupo puede ser la excepción a la cirugía de columna que favorece el crecimiento.</li> </ul>
<b>Neuromuscular</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alteraciones en el tono muscular. Curvas de escoliosis pronunciadas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ejemplos: parálisis cerebral, distrofias musculares, miopatías, lesiones de la médula espinal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En general, los pacientes quirúrgicos de mayor riesgo con comorbilidades médicas (p. Ej. Respiratorias, gastrointestinales).</li> </ul>
<b>Sindrómica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incluye a cualquier síndrome que pueda ser causa de escoliosis excluyendo la congénita y la neuromuscular</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ejemplos: trastornos del tejido conectivo, síndrome de Marfan, neurofibromatosis, displasias esqueléticas, síndrome de Prader- Willi, etc.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cada síndrome</li> <li>• Requiere consideraciones únicas en el tratamiento.</li> </ul>
<b>Idiopática</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Escoliosis sin una causa atribuible al origen de esta.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayor incidencia de malformación de Arnold-Chiari y siringomielia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La cirugía a menudo suele ser necesaria, aunque se puede controlar la curva con medidas no quirúrgicas, previas a la fusión.</li> </ul>

---

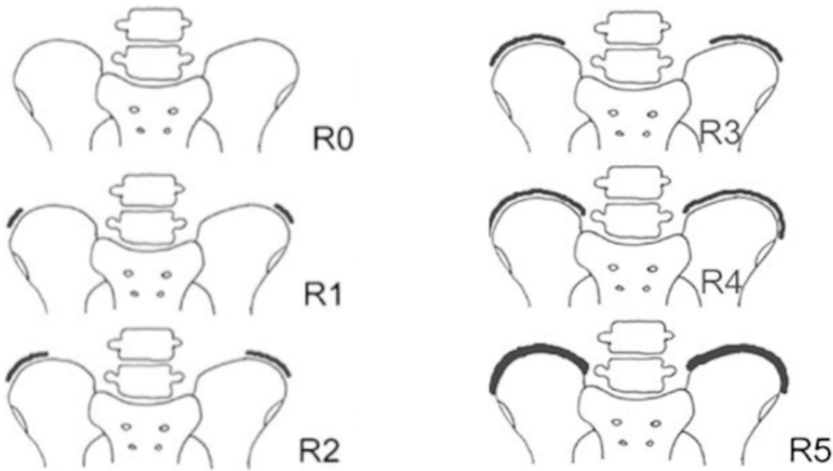
## Desarrollo de la columna vertebral

---

La columna vertebral es una estructura compleja y vital que tiene la función de soporte del cuerpo así como de proteger la médula espinal. El desarrollo embrionario de la columna tiene lugar entre la semana 4 y la semana 6 de la gestación. Las estructuras más importantes para el correcto desarrollo de la columna son la notocorda y los somitas. Es necesario la migración celular y la fusión de las estructuras vertebrales para que en la sexta semana, comience la condricificación inducida por las señales de la notocorda y el tubo neural. Tanto la osificación (la cual comienza tras la condricificación) como la condricificación son procesos que dependen directamente de señales moleculares de la notocorda y de diferentes genes. Los defectos en la condricificación y en la osificación causarán las anomalías en el desarrollo de la columna [9]. El mesodermo paraxial se encarga de formar las vértebras además de la dermis de la piel, el músculo esquelético estriado, el tejido conectivo y los músculos de la cabeza. Las otras dos áreas del mesodermo se encargarán del desarrollo urogenital (mesonefro), pulmonar y cardíaco. Es por eso que la escoliosis suele asociar en algunos casos anomalías medulares, torácicas, cardíacas, genitourinarias, gastrointestinales [10].

Respecto al crecimiento de la columna vertebral, esta experimenta un rápido crecimiento durante los primeros cinco años de vida (2 cm al año aproximadamente). Después de los 5 años la velocidad de crecimiento disminuye a 1 cm por año hasta la etapa de aceleración del crecimiento en la adolescencia, donde la velocidad de crecimiento tiene una media de 2 cm al año. El segmento T1 a S1 es el que mayor crecimiento experimenta [11]. Un conocimiento individualizado del crecimiento en el paciente es decisivo a la hora de tomar decisiones, ya que los pacientes en periodo de aceleración de crecimiento tienen un riesgo aumentado de la progresión de su deformidad. Por lo tanto la etapa de crecimiento determina qué intervención se va a ofrecer al paciente y en qué momento se le va a ofrecer.

Para valorar el grado de maduración ósea del paciente se utiliza el signo de Risser (Fig. 3). Esta valoración se realiza mediante radiografía visualizando el cartílago de crecimiento de la espina ilíaca. De este modo un nivel de fusión bajo del cartílago de crecimiento indica un bajo grado de maduración ósea y por lo tanto un aumento del riesgo de progresión de la deformidad. Por el contrario una fusión total del cartílago de crecimiento indica que el paciente ha alcanzado la madurez ósea y por lo tanto existe un riesgo bajo de progresión [2].



**Figura 3.** Escala de Risser. Muestra los niveles del 0 al 5. Risser 0 es el estado más incipiente con mayor riesgo de progresión de la curva y Risser 5 es el estado final de osificación completa, que representa la totalidad de la madurez esquelética y curvas estables [2].

## Diagnóstico EOS

La EOS suele ser una enfermedad asintomática, solo en algunos casos de compresión medular podría manifestarse con alteraciones neurológicas, dolor o disnea producida por la alteración restrictiva pulmonar. La exploración física puede poner de manifiesto asimetrías en la cintura escapular y pélvica. También es típica la giba (prominencia en la espalda) que indica un componente rotacional. La exploración física debe incluir una valoración de la fuerza muscular, la sensibilidad y los reflejos del paciente para detectar una posible afectación nerviosa. La inspección de distintas articulaciones como tobillos, caderas, rodillas, lesiones cutáneas, crecimiento de vello o hiperlaxitud podrían poner de manifiesto una etiología sindrómica o anomalías congénitas asociadas [12].

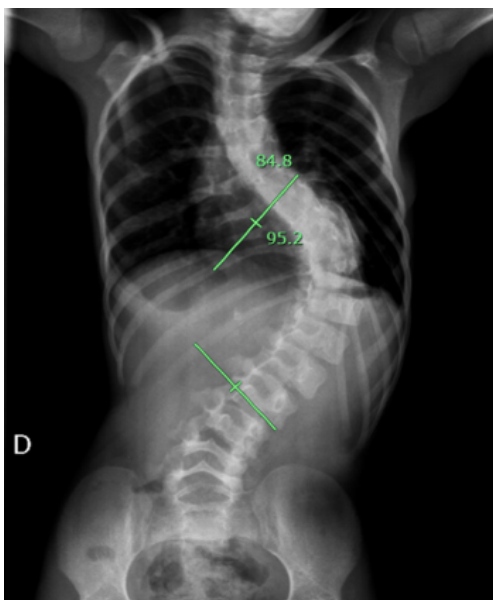
Por lo tanto, en el diagnóstico de la EOS se basa en una anamnesis minuciosa, junto con una exploración física rigurosa que incluye maniobras más específicas de EOS y, finalmente pruebas de imagen para cuantificar la magnitud de la curva. [13, 14].

Algunas de las maniobras empleadas en el diagnóstico precoz de la EOS son: La prueba de Adams, presenta un alto valor predictivo positivo y consiste en examinar al paciente con una flexión del tronco poniendo de manifiesto una deformidad vertebral; la prueba de la Plomada, que consiste en dejar caer la plomada sobre la apófisis espinosa de la séptima vértebra cervical, la cual pasa en pacientes sanos por

---

el pliegue interglúteo. Si la columna no se encuentra compensada y esta curvada, la cuerda de la plomada caerá a la derecha o a la izquierda del pliegue interglúteo; y el escoliómetro de Bunnell, un inclinómetro que se utiliza para la determinación cuantitativa de la magnitud de la curva. Una curva mayor a 7 grados indicará la necesidad de realización de un examen radiológico [14, 15].

Las radiografías en proyección AP y lateral de columna siguen siendo la prueba de imagen inicial de elección. La radiografía debe incluir la zona cervical, torácica y lumbar, preferiblemente en bipedestación. El ángulo de Cobb (ángulo entre la vértebra más inclinada cefálica y caudal de la curva) se utiliza para cuantificar la magnitud de la curva prediciendo el riesgo de progresión de la deformidad y ayudando a la toma de decisiones [13, 16] (Fig. 4).



**Figura 4.** El ángulo de Cobb consiste en seleccionar el platillo superior de la vértebra más inclinada por encima de la curva y el platillo inferior de la vértebra más inclinada situada por debajo de la curva.

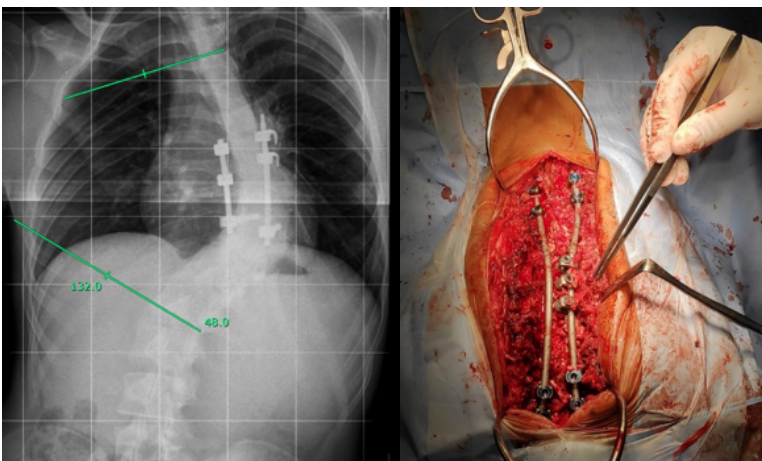
Las pruebas de imagen más sofisticadas como la Resonancia Magnética (RM) o la Tomografía Axial Computarizada (TAC) se indican en casos complejos como escoliosis congénita o formas graves de la enfermedad, así como clínica sugestiva neurológica o la valoración de tumores, lesiones óseas o anomalías medulares asociadas [17].

## Tratamiento EOS

Manejo de la EOS debe ser individualizado y depende de diferentes factores como la etiología, las anomalías asociadas y el crecimiento óseo. Cuánto menos maduración ósea, mayor es el riesgo de progresión de la curva y por lo tanto mayor probabilidad de afectación de la función pulmonar y complicaciones asociadas a la deformidad y al tratamiento. El tratamiento de la EOS puede dividirse en manejo no quirúrgico (o conservador) y manejo quirúrgico.

El manejo no quirúrgico o conservador puede consistir en observación periódica cada 6-12 meses en curvas leves. También se pueden usar corsés o yesos. Los corsés son el tratamiento de elección para pacientes en periodo de crecimiento con curvas entre 25-45º, sin embargo, se asocia a disminución de la calidad de vida debido al tiempo que los pacientes deben permanecer con el corsé (en algunos casos más de 16 horas al día), y también se asocia a una afectación psicosocial. Por otro lado, los yesos están indicados en la escoliosis infantil progresiva diagnosticada antes de los 3 años [18, 19].

El manejo quirúrgico generalmente está indicado con curvas superiores a los 45- 50º y ante curvas con riesgo de progresión en las que el tratamiento conservador ha fracasado [20]. El tratamiento quirúrgico más empleado es la fusión temprana o artrodesis (Fig. 5), sin embargo, esta técnica se asocia a una limitación del crecimiento de la región fusionada y/o una limitación del volumen intratorácico y, por lo tanto, el volumen pulmonar. Como resultado, los niños sometidos a artrodesis pueden desarrollar enfermedad pulmonar restrictiva grave [21].



**Figura 5.** Fusión o artrodesis.

---

Actualmente, la estrategia en el tratamiento quirúrgico de las EOS ha evolucionado significativamente durante la última década con el uso de implantes modernos que no dañan el crecimiento. Estos implantes intentan maximizar el crecimiento de la columna vertebral y el tórax mientras controlan la progresión de la curva para preservar el volumen pulmonar normal. Los implantes más utilizados hoy en día son las barras de crecimiento (GR: Growing Rods) y los VEPTR, que son sistemas de distracción costal [1] (Fig. 6). Otros procedimientos como la tracción halo-gravitatoria o la tracción halo-femoral se utilizan antes de realizar un procedimiento correctivo definitivo para disminuir la comorbilidad quirúrgica de las deformidades graves.



**Figura 6.** Vertical Expandable Prosthetic Titanium Rib (VEPTR).

## Historia tracción halo-gravitatoria

---

En 1959 Perry y Nickel introdujeron las bases para el desarrollo del halo, un instrumento de tracción y estabilización de la columna cervical [22–24]. Entre los requisitos que tenía que cumplir el dispositivo destacaba la posibilidad de llevar a cabo un control preciso de la posición en los tres planos, una estabilización rígida y la capacidad de realizar un ajuste longitudinal progresivo de la tracción, todo ello garantizando cierta comodidad para el paciente, una aplicación sencilla y las mínimas complicaciones posibles durante el largo periodo de consolidación ósea [22].

El halo, desde su aparición, se ha empleado en la estabilización de la patología cervical de etiología heterogénea, incluyendo patología traumatólogica, neoplasias, artritis reumatoide, infecciones o poliomielitis [25, 26], escoliosis severas, parálisis muscular, estabilización pre o postoperatoria o como tratamiento definitivo en lesiones medu-

lares de la región cervical [22, 24] puesto que ha demostrado una reducción de la movilidad cervical entre un 30-96% [27].

Inicialmente, el halo se empleaba para disminuir los riesgos de la cirugía posterior, aportando seguridad y corrigiendo gradualmente la curvatura de la columna, aunque la literatura no logra llegar a un consenso sobre el beneficio del halo en curvaturas severas [28].

## Procedimiento y mecanismo de acción de la tracción halo-gravitatoria

Se compone de un anillo metálico que rodea la cabeza y se fija a la misma con 6-10 pernos o pines bajo anestesia general o local y ejerce la extensión mediante un sistema de poleas. Con el paso del tiempo se va colocando más peso de forma progresiva [22, 27, 29, 30].

El número de pines y la cantidad de peso aplicado dependerá de la edad del paciente y de la calidad y densidad ósea del mismo, así como del grado de deformidad, por lo que es importante la individualización y adaptación del halo en cada situación [25, 30].

Una vez colocada la fijación (tabla 2) se recomienda iniciar la tracción e ir aumentando el peso progresivamente hasta un máximo de 33-50% del peso total del paciente siempre que sea capaz de tolerarlo adecuadamente [25, 26, 30].

**Tabla 2.** Proceso de colocación del halo [31].

Proceso para la colocación del halo
1. Determinar el tamaño del anillo en función del diámetro y dimensiones cefálicas
2. Determinar el tamaño del chaleco en función de las dimensiones torácicas
3. Identificar la ubicación adecuada para la colocación de los pines
4. Rasurar la zona donde se introducirán los pines para preparar la piel con povidona yodada con las medidas de asepsia y antisepsia correspondientes

5. Anestesia local con lidocaína al 1% en la zona de colocación de los pines
6. Colocación de los pines empleando un destornillador con dinamómetro simultáneamente en ambos lados hasta penetrar la cortical del cráneo
7. Apretar los pines de forma alterna hasta que dinamómetro alcance unas 6 pulgadas por libra (0,7 metros por Newton aproximadamente).
8. Los pines, finalmente, quedan bloqueados por una placa.
9. Aplicar sistema de poleas y de tracción.

Se recomienda que diariamente, cada paciente sea capaz de estar un mínimo de 12 horas con la tracción del halo, que puede ser aplicado en la cama, en una silla de ruedas adaptada o en un dispositivo en bipedestación (Fig.7) [25].



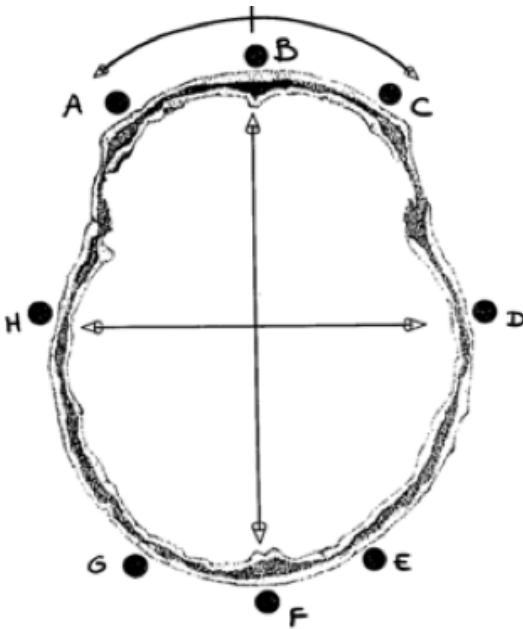
**Figura 7.** A. Silla de ruedas adaptada para la tracción con halo. B. Adaptación del halo en dispositivo de bipedestación [25].

La zona de unión entre el pin y el cráneo es uno de los puntos críticos donde más fallos se reportan. La posición más aceptada es 0,5 cm proximal a la ceja. A medida que nos alejamos de la colocación óptima, disminuye la rigidez, a 1 cm disminuye un 10%, y a 1,5cm alcanza una disminución del 30%. Esta variación puede deberse a la angulación que adopta el pin en el propio hueso [27].

El conocimiento de la anatomía, el cumplimiento de las pautas establecidas para la colocación del halo y un continuo y meticuloso seguimiento del profesional son

requisitos necesarios para disminuir las complicaciones y garantizar un adecuado uso de este tipo de instrumentalización [31, 32].

S. Garfin [31] realizó un estudio gracias al cual se pudo determinar cuál era la localización más adecuada para la colocación de los pines del halo con las mínimas comorbilidades y para evitar potenciales complicaciones (tabla 3). Se realizaron mediciones del espesor del cráneo mediante TAC de los diferentes puntos de posible colocación de los pines (Fig. 8).



**Figura 8.** Representación gráfica de los puntos de referencia para colocación de pines y medición del grosor óseo [31].

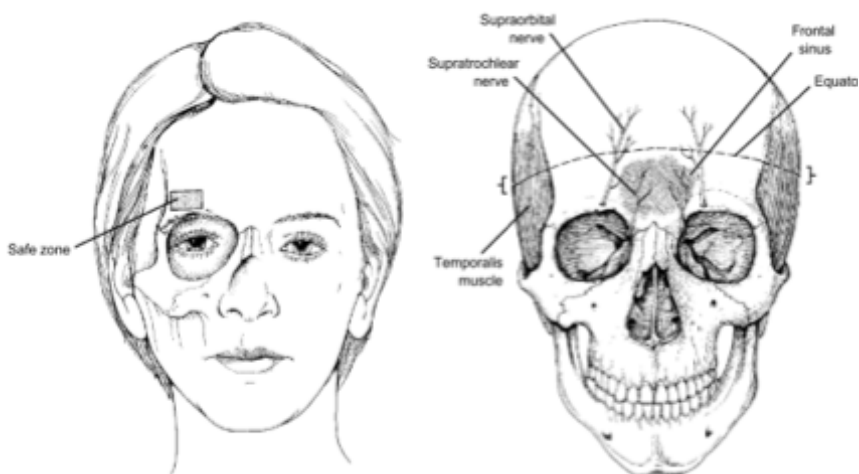
**Tabla 3.** Mediciones de la capa externa, media e interna del espesor óseo del cráneo [31].

	A	B	C	D	E	F	G	H
<b>Zona externa</b>	2.1±0.5	2.3±0.7	2.1±0.7	1.7±0.6	2.2±0.6	3.1±1.0	2.4±0.6	1.7±0.5
<b>Zona media</b>	2.8±1.2	4.8±2.1	2.7±0.1	2.4±0.5	2.4±0.6	4.9±1.3	2.3±0.6	2.0±0.8
<b>Zona interna</b>	1.7±0.3	2.5±0.8	1.9±0.5	1.5±0.6	1.5±0.6	2.6±0.7	1.4±0.6	1.6±0.5

---

Basándose en los datos recopilados en este estudio (Tabla 2), se pudo concluir que las zonas con mayor espesor óseo eran la anterolateral y posterolateral por lo que son las posiciones de referencia para la colocación de los pines del halo (Imagen 2). Por el contrario, el seno frontal, las fosas temporales y las regiones con menor espesor óseo se recomienda evitar para evitar potenciales complicaciones [31].

Se estableció una región anatómica conocida como zona segura (Imagen 3) para la colocación de los pines del halo para disminuir la tendencia a la aparición de complicaciones. La posición óptima de los pines anteriores es la región anterolateral del cráneo 1 cm por encima del arco orbitario, en los dos tercios laterales de la órbita evitando el recorrido anatómico del nervio supratroclear y del nervio supraorbitario, así como el seno frontal [32–34] (Fig.9).



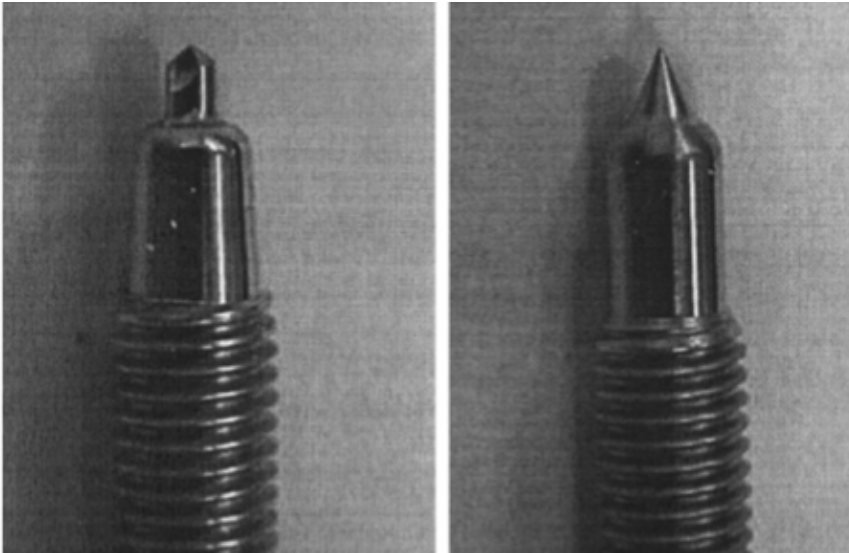
**Figura 9.** Representación gráfica de la “zona segura” y sus límites [32].

En los límites laterales de esta zona segura se localiza el músculo temporal y el nervio cigomaticotemporal cuya lesión ocasiona parestesias, debilidad y dolor en la zona temporal. Es fundamental esquivar el músculo temporal a la hora de la colocación porque podría generar una parálisis del movimiento mandibular. El poco espesor óseo de esta región puede suponer un aumento del riesgo de atravesar el cráneo o de pérdida de los pines [31, 32].

La colocación del halo en la región posterior es la parte con menos complicaciones puesto que el componente óseo de esta región es más ancho y regular [32]. La posición adecuada es la zona temporooccipital, posterior a la fosa temporal, 4cm

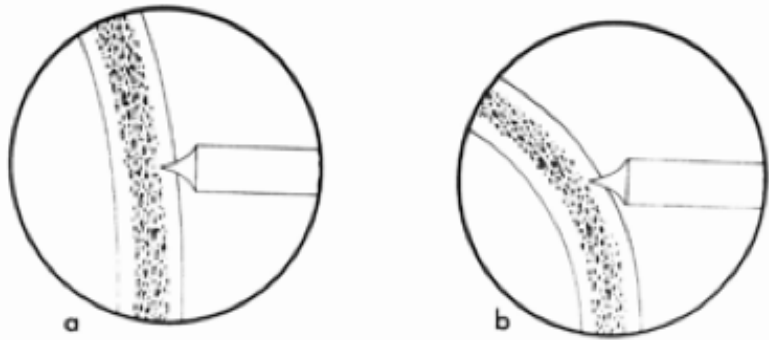
superior y otros 4 cm posterior al conducto auditivo externo, pocos centímetros por debajo del ecuador del cráneo [33, 34].

Se ha demostrado que un rediseño de los pines puede modificar las propiedades biomecánicas de la interfaz con el hueso. Destaca un aumento del 27% de la carga máxima media en las fuerzas verticales generadas en el extremo del pin de tipo trocar durante la inmovilización respecto a un 3% en el caso del pin convencional, con y sin periostio intacto, respectivamente (Fig. 10) [35].



**Figura 10.** A la izquierda el pin tipo HIFix o tipo trocar. A la derecha, el pin convencional [36].

En casos de cráneo inmaduro, la inserción perpendicular del pin en el cráneo puede suponer un aumento de la carga en la interfaz lo que modificaciones y mejoras en este aspecto podría suponer una disminución de la incidencia de complicaciones en los niños tratados con halo [37]. Algunos estudios aseguran que la inserción perpendicular (Imagen 5) es superior a una colocación de los pines con una angulación de 15-30 grados con respecto al cráneo ya que se genera un aumento de la superficie de contacto de la interfaz entre el hueso y el pin [32] (Fig.11).



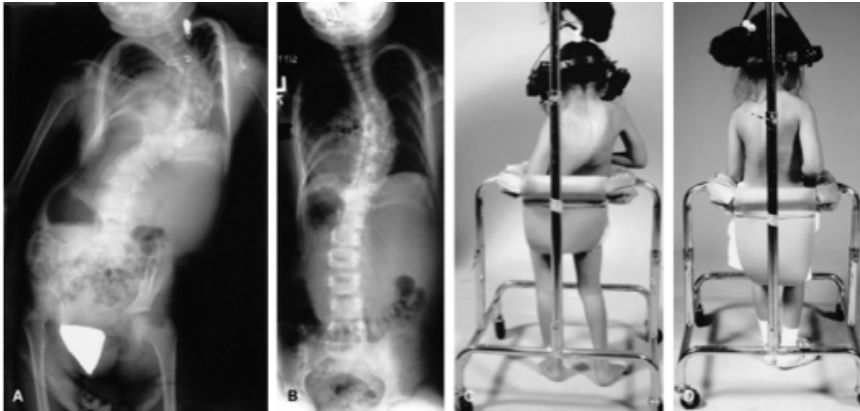
**Figura 11.** A. Inserción del pin perpendicular al cráneo. B. Inserción del pin con angulación [38].

Si se compara la fuerza de fijación, Lerman y Haynes ya demostraron la ventaja del halo cerrado respecto al halo abierto aunque no encontraron diferencias significativas en los diferentes materiales empleados en el halo [39], a diferencia de otros estudios en los que se afirma que al emplear un halo de grafito (fibra de carbono) los pines pierden un 57% de la fuerza que ejercen inicialmente. Los pines colocados en halos metálicos no eran tan vulnerables [27].

Otras de las causas que intervienen en el fallo de la interfaz es el propio paso del tiempo, pudiendo llegar a disminuir las fuerzas de compresión hasta en un 83% y en algunas series prácticamente el 100% de los pacientes referían síntomas clínicos de aflojamiento de los pines en el momento de la extracción del halo. Otros aspectos como cambios en el propio pin, fuerzas o la carga de impacto podrían contribuir al aflojamiento [40].

Un uso inadecuado del halo o mal cumplimiento de las indicaciones médicas por parte del paciente puede dar lugar a un aumento del movimiento potencialmente lesivo para las estructuras ligamentosas de la región cervical [24].

El halo ha demostrado claros beneficios preoperatorios en el tratamiento de las alteraciones anatómicas severas de la columna (Fig. 12) y mejoría de la curva en escoliosis severas, logrando correcciones en algunas series de un 35% del ángulo de Cobb coronal y un 35% en el sagital, llegando también a optimizar la función pulmonar un 9%. A pesar de estos resultados, no hay un consenso sobre un protocolo óptimo de tracción y uso del halo en la práctica clínica habitual [25, 28].

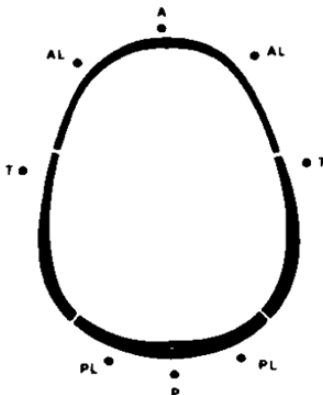


**Figura 12.** Paciente de 4 años con miopatía congénita [41].

- A:** Radiografía anteroposterior con ángulo de Cobb de  $80^\circ$
- B:** Radiografía tras 16 semanas con halo. Ángulo de Cobb de  $47^\circ$ .
- C:** Fotografía clínica de la paciente al inicio del tratamiento
- D:** Fotografía clínica de la paciente tras 16 semanas de tratamiento con halo.

S. Garfin tras analizar el grosor del cráneo en los adultos [31] para determinar la mejor localización de los pines realizó un estudio similar pero centrado en la etapa infantil viendo como el desarrollo de la masa ósea, el espesor del cráneo y la maduración durante la infancia podían condicionar los resultados del halo y la aparición de complicaciones [31].

La muestra de los pacientes fue dividida según rangos de edad: 1-2 años (antes de la fusión de las suturas craneales), 2-5 años (crecimiento del cerebro y aumento del perímetro craneal) y 5-12 años (cerca del crecimiento total del cráneo). Los resultados (Tabla 4) se obtuvieron midiendo el ancho del cráneo mediante TAC en las localizaciones habituales de colocación de los pines (Fig.13).



**Figura 13.** Representación gráfica de posibles localizaciones de los pines para la colocación del halo en la infancia [31].

**Tabla 4.** Resultados obtenidos de la medición del espesor del cráneo mediante TAC en los diferentes puntos indicados en la imagen 7 [31].

	Edad		
	1-2	2-5	5-12
<b>Anterior (A)</b>	6.6±0.3	9.1±0.7	9.3±1.0
<b>Anterolateral (AL)</b>	3.7±0.3	4.8±0.2	6.1±0.2
<b>Fosa temporal (T)</b>	3.0±0.3	3.6±0.2	4.1±0.3
<b>Posterolateral (PL)</b>	3.9±0.2	4.8±0.2	5.9±0.4
<b>Posterior (P)</b>	7.0±0.8	8.6±0.7	9.8±0.9
<b>Diámetro anteroposterior</b>	160.0±5.5	169.4±3.9	174.4±6.0
<b>Diámetro lateral</b>	122.3±3.5	133.1±3.4	131.6±2.5

Este estudio concluye que las regiones anterolaterales AL (Fig. 14) y posterolateral PL (Figura 9) son más gruesas que las fosas temporales en los tres grupos y son las regiones de elección para la colocación de los pines. Las zonas para evitar son claramente la región anterior por la presencia del seno frontal y las fosas temporales por su poca anchura. A pesar de que la zona con una mayor anchura ósea es la posterior, la colocación de las fijaciones en esta área dificultaría el descanso en posición supina (Fig. 15) [31].



**Figura 14.** Representación de la fijación anterolateral del halo en edad infantil [34].



**Figura 15.** Representación de la fijación anterolateral y postero-lateral en edad infantil [42].

Realmente, dadas las múltiples variaciones del cráneo durante su desarrollo, se recomienda la realización de un TAC craneal antes de la colocación del halo para localizar el mejor punto de fijación en edades tempranas [31].

Actualmente, no hay investigaciones que estudien las variaciones del grosor del huso del cráneo en todas las etapas, desde el nacimiento hasta la maduración esquelética. Se requieren más estudios para determinar la colocación óptima de las fijaciones craneales en cada grupo de edad y en función del grosor óseo en pacientes en desarrollo.

Por ello, dada la falta de conclusiones claras respecto a este tema, el propósito de este estudio fue evaluar y medir el grosor del hueso del cráneo en diferentes localizaciones mediante TAC (tomografía axial computarizada) sin contraste en una cohorte amplia desde el nacimiento hasta la madurez esquelética del adolescente.

De esta forma, se podrían obtener datos claros y actualizados que proporcionen una referencia a los profesionales para la selección adecuada de los pines, y la colocación más adecuada de los mismos para cada grupo de edad y grado de madurez ósea.

## Indicaciones Halo

El halo puede usarse de forma tanto preoperatoria como postoperatoria en una lesión inestable en la columna cervical.

De urgencia y con un estribo de tracción, las luxaciones unilaterales o bilaterales recientes se reducen gracias a maniobras externas con anestesia general y control con amplificador de imágenes.

---

Las tracciones están contraindicadas en las fracturas luxaciones muy desplazadas, en las fracturas conminutas con fragmento intracanal y en las lesiones inestables disco- ligamentosas [1].

Las maniobras de reducción deben adaptarse al tipo de lesión:

- Para las fracturas articulares con luxación o las fracturas «en lágrima», la tracción es axial o en ligera extensión;
- Para las luxaciones articulares posteriores unilaterales, la tracción se efectúa con un movimiento de flexión y de inclinación lateral o de ligera rotación. Las luxaciones articulares bilaterales pueden exigir una maniobra doble, primero de un lado y luego del otro, con el fin de desenganchar las apófisis articulares por separado;
- Las luxaciones crónicas uni o bilaterales se reducen mediante tracción continua (1/7 del peso del cuerpo) con un estribo de tracción en la cama del paciente y administración de miorrelajantes y analgésicos.

No hay que traccionar demasiado por el riesgo de excederse en la distracción y causar lesiones neurológicas.

El peso necesario para reducir la columna cervical depende del sitio de la fractura, del grado de lesión ligamentosa y del tamaño del paciente. La regla es comenzar con una base de 5 kg de tracción y después añadir unos 2,5 kg por cada nivel vertebral para reducir la fractura en la mayoría de los pacientes, es decir, para una lesión C5-C6, unos 20 kg en total. Sin embargo, el peso exacto necesario varía y deben repetirse los controles radiológicos laterales cada vez que se aumenta el peso.

La tracción cervical se mantiene después de la reducción, ya sea como tratamiento temporal en espera de una osteosíntesis raquídea o como tratamiento ortopédico definitivo.

El halo craneal puede ser el tratamiento ortopédico definitivo de una lesión demasiado inestable como para ser tratada con una minerva. Se puede usar hasta la consolidación (3 meses).

El halo craneal unido a un corsé (halo-jacket) permite al paciente levantarse. También puede usarse 3 meses hasta la consolidación [33].

Las indicaciones para la colocación del chaleco con halo incluyen fracturas tipo es-tallido de atlas, fracturas tipo II del ahorcado, fracturas de odontoides tipo II y III, fracturas conminutas C2 y combinaciones de C1 y fracturas C2 [43]. En un estudio de Cooper et al. todos los pacientes con fracturas de ahorcado con diversos grados de subluxación C2 / C3 que se sometieron a un tratamiento con chaleco con halo de corona resultaron en una curación absoluta de las fracturas y estabilización de la columna cervical [44]. Por otro lado, un estudio de Bransford et al. Determinó que un porcentaje significativo de pacientes con fractura de odontoides resultaron fallidos con el tratamiento de halo, este porcentaje fue de un 54%, mientras que solo el 32% de los casos de fractura de odontoides fueron exitosos con el tratamiento con halo [45]. Esto contradice el anterior estudio que muestra que la terapia con halo es eficaz, aunque los autores sugieren que, si la fractura de odontoides está desplazada, es en un paciente mayor de 40 años, o si el desplazamiento es mayor de 4 mm, entonces se recomienda que se sometan a fusión en su lugar [44, 46]. De los 311 pacientes analizados en su estudio, Bransford et al. informó de un paciente con luxación occipitocervical y tratamiento con halo que no obtuvo éxito y requirió tratamiento quirúrgico en su lugar [45].

En una revisión de 245 casos realizada por Glaser et al., no encontraron pacientes sometidos a terapia con halo que desarrollaran lesión neurológica o progresión neurológica a pesar de la pérdida de reducción de la fractura [47], un resultado de acuerdo con algunos estudios en la literatura [48]. Por otro lado, esto es contradictorio con otros estudios en la literatura que han descubierto que la terapia con halo no previene de lesión neurológica en pacientes con inestabilidad de la columna cervical [33].

En tales casos, es posible que se requiera tratamiento quirúrgico además de tratamiento con halo, este tratamiento quirúrgico posterior al tratamiento con halo es particularmente relevante para los pacientes que sufren lesión ósea de las columnas espinales anterior y posterior que, de hecho, puede enmascarar una lesión ligamentosa subyacente [47], o cuando ocurre una lesión ligamentosa sin fractura ósea [44]. Sin embargo, Glaser y col. encontraron una falta de restricción de movimiento cervical hasta el 42% de lo normal en el nivel C2 / C3, con un rango de movimiento aún mayor en niveles más bajos, lo que sugiere que el halo de corona es menos efectivo en la inmovilización de la columna cervical inferior.

En todos los pacientes con inestabilidad cervical, puede ser aconsejable emplear un tratamiento quirúrgico [49, 50].

La corrección de la escoliosis y cifoescoliosis severas y rígidas es un gran desafío quirúrgico; además existe un compromiso pulmonar importante lo que empeora el pronóstico de los procedimientos ya quirúrgicamente desalentadores. El objetivo de

---

la cirugía en estos pacientes es detener el progreso de una discapacidad y deformidad, para disminuir el tamaño de la curva y restaurar equilibrio del tronco mientras mejora la calidad de vida del paciente, proporcionando estabilidad cardiopulmonar y evitando a largo plazo secuelas de enfermedad pulmonar restrictiva y descompensación de la curva [33].

Las estrategias quirúrgicas actuales incluyen una liberación tanto anterior como posterior muy agresivas y osteotomías, ya sea con abordaje combinado anterior-posterior o solo posterior también muy agresivas. Con la extensión de la liberación quirúrgica y la instrumentación segmentaria, aumenta el potencial de corrección de la curva; sin embargo, también se incrementa el potencial de compromiso neurológico [33].

En el pasado, el tratamiento con tracción por halo ya fue recomendado ya que se pensó que reducía la gravedad de la escoliosis y podía mejorar la función pulmonar antes de la cirugía [26, 51]. Estas recomendaciones no tienen demasiada evidencia y por lo tanto el papel de la tracción con halo aún queda por definir.

Debido al creciente número de informes que utilizan sistemas de tornillos pediculares en combinación con agresivos abordajes para la corrección de curvas severas [26], los autores analizaron el valor del halo dentro del tratamiento de una muestra de pacientes con escoliosis rígida severa cuantificando los impactos preoperatorios en la función pulmonar y en la corrección de la curva para definir con mayor precisión las indicaciones del halo.

Según los últimos estudios el halo preoperatorio también está indicado para las cifoescoliosis graves con compromiso pulmonar moderado a severo, consiguiendo una significativa corrección de la curva además de una mejora pulmonar. El halo también puede ser útil en déficits neurológicos progresivos, reduciendo la tensión colocada en el cordón a través de una ligera reducción de curva. No se debe esperar que el halo ablande curvas severas y rígidas en un grado significativo sin una previa liberación anterior y/o posterior [52]. Esta reducción gradual de la curva, mejora neurológica y pulmonar puede ayudarnos a conseguir un menor riesgo preoperatorio al también mejorar la nutrición de los pacientes y permitirnos un buen control neurológico al estar los pacientes despiertos durante el tratamiento y por tanto poder medir el progreso espaciado en el tiempo. [20]

En conclusión, el halo tiene como principales indicaciones las lesiones inestables de columna cervical y las escoliosis y cifoescoliosis, teniendo menos eficacia en la columna inferior según los datos actuales (tabla 5).

**Tabla 5.** Principales indicaciones del tratamiento con halo.

Principales indicaciones del tratamiento con halo
Fracturas de atlas tipo ráfaga
Fracturas de ahorcado
Fracturas de odontoides
Fracturas conminutas C1-C2
Subluxación C1-C2
Tortícolis muscular congénita
Escoliosis y cifoescoliosis (mejora la curva, la función pulmonar y los déficits neurológicos)
Fusión cervical (síndrome de Klippel-Feil)

## Contraindicaciones

A pesar de sus múltiples usos, la presencia de fractura craneal, déficit óseo, sepsis o una lesión severa en el tejido blando suponen contraindicaciones absolutas para la colocación del halo. Entre las contraindicaciones relativas cabe destacar el traumatismo torácico severo, obesidad y el tórax en tonel [26, 27].

**Tabla 6.** Contraindicaciones del uso del halo [25, 29].

Contraindicaciones de uso del halo	
Absolutas	Relativas
Fractura craneal	Traumatismo torácico severo (contusión pulmonar, neumotórax, lesión penetrante de tórax)

---

Déficit óseo	Obesidad
Sepsis	Toras en tonel
Lesión severa de partes blandas	
Cifosis o estenosis cervical	
Laxitud o inestabilidad ligamentosa	

## Complicaciones Halo

---

La incidencia de complicaciones en el tratamiento con halo varía ampliamente en la literatura, llegando a haber diferencias en la incidencia entre el 11% al 92% en los distintos estudios (en su mayoría en un rango de 30 a 50%), aunque la mayoría de estas se clasifican como complicaciones “menores” [53]. Un resumen de los artículos que investigan el chaleco con halo mostró como complicaciones las siguientes:

El aflojamiento del clavo, la infección del sitio del clavo y la inestabilidad de la columna fueron considerablemente las complicaciones más comunes relacionadas con el halo, relacionando significativamente la infección en el sitio del pin con la penetración de este en la tabla externa craneal [53].

La edad avanzada ha sido descrita como el predictor más fuerte de complicaciones en tratamiento halo [54]. Sin embargo, otros estudios sugieren que mientras que existe una tendencia hacia mayores tasas de complicaciones en los ancianos, el aumento no es estadísticamente significativo. Van Middendorp et al. concluyeron que los pacientes mayores de 65 años no tienen un mayor riesgo de muerte o neumonía debido al halo [53], esto contradice los hallazgos de Bransford et al. en el que la morbilidad con el tratamiento halo es significativamente más común en pacientes mayores de 60 años [45].

En una revisión de múltiples estudios, se encontraron 37 muertes en 795 pacientes (5%) y se confirmó que solo 1 de estas muertes está directamente relacionada con el tratamiento con halo además de ver una incidencia de neumonía del 3% [53]. En casos extremadamente raros (1%), se observó la dislocación del anillo halo debido a una caída del paciente o tos severa debido a un ataque de asma [45].

Menon et al. Informaron sobre un caso de un hombre de 51 años que sufría una fractura del ahorcado en C2 después de un accidente automovilístico; dos semanas después de la aplicación del halo, el paciente acudió al servicio de urgencias con proptosis, ptosis, diplopía y aflojamiento de pines; las técnicas radiológicas confirmaron un diagnóstico de celulitis orbitaria y fractura secundaria a penetración de pin a través del techo orbital [55]. Mientras que tales complicaciones son raras, fomentan la discusión sobre estrategias para mejorar la incidencia de complicación que tal vez podrían evitarse mediante un mapeo más preciso de la anatomía para mejorar la colocación de los pines.

Varios estudios en la literatura informan sobre la colocación de pines en los puntos de referencia anatómicos detallados en el manual del dispositivo; si bien estos puntos de referencia para la colocación segura de pines tienen han sido determinados a través de extensos estudios, no tienen en cuenta la presencia una posible malformación anatómica. En otro ejemplo, Cheong et al. presentaban el caso de un varón de 57 años con un traumatismo espondilolistesis tipo 1 de las vértebras C2 y C3 después de un accidente automovilístico. Se reveló que el paciente tenía una anomalía con agrandamiento del seno frontal izquierdo que fue penetrado por un pin colocado utilizando los puntos de referencia anatómicos estándar.

Otras complicaciones pueden ser rinorrea, neumocraneo y del líquido cefalorraquídeo desarrollado secundario a la penetración del pin [56]. En el pin anterior la colocación debe evitar la penetración del seno frontal y las lesiones de los nervios supraorbitario y supratroclear, que puede ocurrir si los pines anteriores están colocados demasiado medialmente [33]. Además, la colocación de los pines debe evitar la fosa o el músculo temporales porque la corteza craneal es delgada en esa región y la penetración del pin en el músculo temporal puede causar dolor durante la masticación.

Por lo tanto, lo recomendado es un enfoque más personalizado para determinar la posición de los pines colocándolos en los puntos de referencia mediante el uso de imágenes radiográficas para disminuir el riesgo de penetración.

La osteólisis fisiológica debida a la infección del sitio del pin es el principal motivo de aflojamiento tardío en el tratamiento con halo [57]. El estudio de Glover et al. informó un caso de un hombre de 60 años con halo colocado después de una fractura odontoidea tipo III no desplazada después de caer por un tramo de escaleras; el historial médico del paciente reveló una pancreatectomía parcial y esplenectomía siete años antes debido a una pancreatitis crónica, que lo dejó diabético y requirió terapia con insulina; se sabe tradicionalmente que la esplenectomía aumenta el riesgo de infección, mientras que la diabetes se conoce como un factor de riesgo de desarrollo de celulitis y osteoporosis. El autoapretado de los pines sueltos por parte

---

del paciente llevaron a dos penetraciones craneales que resultaron en neumocefalia y convulsiones epilépticas [57]. La penetración intracraneal del pin a través de la tabla interna del cráneo da como resultado algunas de las complicaciones más graves asociadas con el uso del halo.

En otro estudio de caso, un hombre de 77 años con mieloma múltiple desarrolló hemiparesia y alteración del habla después del tratamiento con halo al mismo tiempo que quimioterapia. Las imágenes radiográficas revelaron neumocefalia secundaria a clavar el pin a través de la tabla interna craneal posterior derecha adyacente al lóbulo parietal [58], lo cual es inusual ya que la literatura sugiere una incidencia significativamente mayor de penetración anterior del pin [31].

En otro caso de un paciente osteoporótico con tratamiento con anticoagulantes después de la disección bilateral de la arteria vertebral, se indicó hematoma subdural agudo después de apretar los pines de halo [59]. En pacientes con aumento de la osteólisis debido a la osteoporosis, inmunosupresión patológica, inmunosupresión secundaria a quimioterapia, o pacientes con alto riesgo de hemorragia, la colocación y el apretado del pin deben realizarse con cuidado para evitar la penetración de pines a través de la díploe interna del cráneo. En otro estudio más de la penetración de clavos intracraneales, se colocó a un hombre de 64 años que padecía espondilitis anquilosante halo para el tratamiento de una fractura-luxación a través del disco intervertebral C5-C6 asociado con radiculopatía C6 del lado izquierdo; una semana después de la aplicación del halo el paciente informó fiebre y dolor de cabeza asociados con dolor, enrojecimiento, y drenaje del área que rodea el clavo posterior izquierdo, con imágenes radiográficas que confirman la penetración del clavo a través del hueso temporal en un sitio de craneoplastia previa [30]. Esto provocó un absceso epidural y edema cerebral cerca del lado izquierdo en la unión del lóbulo temporal-parietal.

Otro estudio de Gelalis et al. informó de un absceso cerebral y convulsiones tónico-clónicas generalizadas secundarias a la penetración intracraneal de ambos pines posteriores en un varón de 21 años con fractura de odontoides. Estos estudios de caso respaldan aún más la necesidad del cuidado que debe tomarse al tratar a pacientes con halo cuando hay evidencia de hueso blando patológico en la estructura craneal de mieloma múltiple, artritis reumatoide, craneoplastia previa, osteoporosis, o de otro tipo. Sin embargo, como se ve en el caso de Gelalis et al. y otro caso de Kingma et al. [61], la penetración intracraneal, aunque rara, también puede ocurrir en pacientes sin destrucción patológica del hueso por un apretado excesivo de los pines de halo, causando un posible ataque epiléptico debido a la hemorragia intracraneal, incluso en ausencia de un absceso cerebral o infección. En la mayoría de los casos, las convulsiones se pueden resolver mediante administración farmacológica

antiepiléptica, mientras que la infección se puede resolver reemplazando el pin de halo antiguo con un uno nuevo adyacente al sitio original además de añadir tratamiento antibiótico [55, 56, 60, 61]

Por tanto, es prudente educar al paciente sobre los riesgos y consecuencias que pueden acompañar el autoapriete de los pines del halo.

Aunque hay casos de estudios a pequeña escala que informan de sólo una tasa de complicaciones del 20% [62]. En un estudio, se descubrió que lastasas de infecciones en los clavos y el aflojamiento fue extremadamente alto en niños (39%) en relación con sus los adultos (8%) [62].

Las infecciones con drenaje purulento, similares a las infecciones del pin que se encuentran en adultos, se encontró que eran más comunes en niños mayores de diez años, mientras que el drenaje no purulento de las infecciones y el aflojamiento de los pines eran más comunes en niños menores de diez años (71% de las complicaciones relacionadas con los pines) [62].

En niños menores de diez años, existe la noción de que un cráneo relativamente más delgado, un aumento general en el nivel de actividad física y un cuerpo más pequeño conduce a una menor restricción de movimiento por el halo y esto lleva asociado una mayor tasa de complicaciones, un hallazgo apoyado por otros estudios exhaustivos sobre las complicaciones del halo en niños [30]. Este problema se resuelve parcialmente mediante el uso de un halo de múltiples pines, aunque otros estudios han demostrado una tasa de complicaciones parecidas al estándar de cuatro pines [62]. Por el contrario, si el halo se aplica al cuerpo de un adulto corpulento, existe la posibilidad de que el chaleco no sea lo suficientemente grande para ejercer un control completo de los segmentos cervicales inestables. Así que la terapia con halo debe abordarse con mucha más precaución en los niños que en los adultos.

También hay problemas con las cargas del halo durante el sueño y durante las diversas formas de actividad física diaria los cuales deben abordarse. Los estudios han demostrado que las fuerzas de distracción en el cuello son mucho mayores en una posición supina en relación con una posición de pie o sentada durante el descanso [63]. Estas fuerzas de distracción se aplican al cuello en lugar de en las varillas que conectan el chaleco al halo.

De los tres tipos de chalecos con halo analizados por Fukui et al., el chaleco “4PAD” proporcionó cargas de distracción del cuello significativamente más bajas en relación con los chalecos “Bremer” o “PMT” (100% frente a 159% y 180% respectivamente) [63]. Si bien una estructura más rígida puede parecer atractivo, de hecho es la pro-

---

piocepción de los músculos del cuello de los pacientes la que proporciona la mayor parte de la inmovilización [63, 64].

En un esfuerzo por mejorar las tasas de complicaciones sin alterar el propio diseño del halo, Sears et al. fueron capaz de crear un modelo matemático para predecir la probabilidad de éxito con tratamiento conservador halo solo para pacientes sin luxación de la articulación facetaria, basada en la cantidad de subluxación y el grado de angulación en el plano sagital, con subluxación mayor de 3,5 mm o una angulación de más de 11 grados que constituyan inestabilidad espinal [65]. Se ha encontrado que la luxación de la articulación facetaria está significativamente correlacionada con la pérdida de alineación de la columna cervical [53].

Aunque los estudios en la literatura apuntan a una alta incidencia de complicaciones con el tratamiento con halo, también se corrobora una alta tasa de éxito si el paciente es capaz de cumplir con el tratamiento durante un período de tiempo considerable. En un estudio, del 74% de los pacientes que completaron el tratamiento previsto, el 85% se recuperó con éxito, con una tasa de éxito aún mayor (del 95%) si superaron las tres primeras semanas [45]. En el estudio de Cooper y col. se registró una tasa de éxito general del 85% con un tratamiento con durante un período de tratamiento de tres meses [44]. Las altas tasas de complicaciones asociadas al halo han alentado la investigación para mejorar el diseño del aparato. Los estudios han demostrado que los pacientes con halo estándar tienen un 40-70% de los valores normales de movimiento cervical [64]. El halo de cuatro almohadillas "4PAD" está diseñado para tener cuatro almohadillas que evitan el contacto con la clavícula, escápula y abdomen, tal diseño reduce las cargas entre el chaleco y el halo evitando la transferencia de carga al dispositivo desde la clavícula, escápula y abdomen, que están significativamente involucrados en el día a día, sobre todo en las actividades que incluyen la respiración. Además, la falta de contacto entre el chaleco y estos puntos de referencia anatómicos reduce la incidencia de úlceras por presión en estas regiones; una complicación que se encuentra en aproximadamente 10% de los pacientes [43, 44].

Los pines de cerámica son una tecnología relativamente nueva que se ha introducido en la terapia con halo basado en la hipótesis de que disminuirían la incidencia de infecciones del tracto del pin y mejorarían la tolerancia al dispositivo durante los procedimientos de resonancia magnética [66]. A pesar de la premisa prevista de un material mejorado para compatibilidad con resonancia magnética, Kraemer et al. concluyó que los cambios necesarios que se tuvieron que hacer en el diseño del chaleco y el pin produjeron un aumento de la tasa de complicaciones en relación con el pin estándar metálico [66].

En conclusión, el tratamiento con halo tiene una elevada tasa de incidencia de diversas complicaciones (tabla 7), la mayoría estando relacionadas con el pin y el lugar de inserción de este, siendo las más comunes entre estas la infección del lugar del pin, aflojamiento de este, absceso, úlcera y rotura del hueso craneal por el pin.

**Tabla 7.** Principales complicaciones del tratamiento con halo

Principales complicaciones del tratamiento con halo
Infección del sitio de inserción del pin
Aflojamiento del pin
Rotura craneal
Neumocefalia
Convulsión epiléptica
Úlcera de presión
Absceso purulento
Lesiones nerviosas

## Eficacia Halo tracción-gravedad

El uso de halo se ha generalizado para el tratamiento de fracturas, luxaciones y deformidades. Sin embargo, todavía no están claras las indicaciones ideales de la tracción con halo, cuál es su duración adecuada o su eficacia en el tratamiento de deformidades rígidas como la escoliosis y la cifosis [28].

En el caso de enfermedades como la escoliosis o la cifoescoliosis congénita o no, se ha demostrado que el uso de esta técnica, la tracción de halo-gravedad preoperatoria mejora la deformidad de la columna, así como la función pulmonar, reduce el posible daño neurológico y es un instrumento útil en el tratamiento de la deformidad espinal compleja [28, 67].

---

A pesar de encontrar un claro beneficio del uso de la terapia con Halo tracción preoperatoria en el tratamiento de la deformidad espinal compleja, no existe un consenso claro sobre el protocolo de tracción óptimo [68]. Llegándose a plantear incluso la hipótesis de que la colocación de la tracción mediante halo no produce ningún beneficio adicional en la corrección de la curva y que además puede exponer innecesariamente a los pacientes al riesgo de complicaciones relacionadas con la técnica.

El tratamiento adecuado de la escoliosis y cifo escoliosis sigue siendo un desafío. En el pasado, se hacía referencia a que el uso de la Halo tracción conseguía reducir la morbimortalidad de la operación, así conseguía que la cirugía fuera menos compleja y que mejorara la seguridad y una mejor corrección gradual de la enfermedad [69].

Sin embargo, la literatura carece de evidencia de los beneficios de la Halo tracción en curvas severas y su duración, incluso autores como Letts analizaron la corrección de la escoliosis en función del tiempo durante la tracción halo-femoral de varios pacientes obteniéndose correcciones de 82 ° a 34 ° en los que la mayor parte de la mejoría se produjo dentro de la primera semana; no estando por tanto del todo indicada más de una tercera semana [70].

## **Halo tracción y función pulmonar**

---

Una de las complicaciones más graves asociadas a la corrección de la escoliosis grave es una alta incidencia de insuficiencia pulmonar perioperatoria. La propia escoliosis, que ocasiona la deformación de la caja torácica, así como la debilidad de los músculos inspiratorios y espiratorios son causa de una enfermedad pulmonar restrictiva además de causar enfermedad pulmonar obstructiva por la compresión de las vías respiratorias grandes [71].

Por tanto, los pacientes con escoliosis pueden presentar de forma preoperatoria alteraciones, como hipoxia, hipoventilación alveolar e hipercapnia; que después de la cirugía podrían complicar de manera drástica el pronóstico de los pacientes y que por tanto dificultaría una corrección eficaz y satisfactoria [72].

La alteración de la función respiratoria, más que la magnitud de la curva escoliótica, ocasiona el principal problema que influye tanto en la función física como en la mortalidad [73].

Para dar ejemplo de la severidad de esta afectación pulmonar, en aquellos pacientes en los que la escoliosis es  $>100^\circ$ , la distensibilidad del sistema pulmonar disminuye a niveles comparables a los del síndrome de distress respiratorio del adulto [74].

La escoliosis o cifoescoliosis grave no tratada tiene, por tanto, un pronóstico desfavorable y representa hasta el 5% de los fallos respiratorios crónicos en la edad adulta. Por lo tanto, se recomienda la cirugía temprana que se dice que confiere mejoras en la función pulmonar y aumentos en la esperanza de vida [75].

En conclusión, esta alteración a nivel de la columna dorsal es el principal determinante de la insuficiencia respiratoria, aunque esta relación es compleja y la gravedad no puede inferirse únicamente de las radiografías. Teniendo que considerarse la edad del paciente, la debilidad de los músculos respiratorios y el daño irreversible en el parénquima estructural pulmonar para valorar la evolución de los pacientes [75].

## **Impacto de la Halo tracción en la función neurológica**

---

La corrección de la escoliosis en presencia de un daño neurológico, de un déficit neurológico con la médula espinal sobre el vértice de la deformidad o tensada por un tabique como en la diastematomelia o formando un síndrome de médula anclada, presenta un riesgo elevado. En este tipo de pacientes generalmente se ha estado recomendando una corrección moderada para conseguir un equilibrio global; y como alternativa, se ha recomendado un procedimiento de distracción que preceda a la corrección de la escoliosis [15].

La cifoescoliosis rígida puede descompensarse y la tensión de la médula espinal que se coloca sobre el vértice cifótico o escoliótico puede crear una compresión medular espinal mielopática con posibles déficits neurológicos progresivos. Mediante la tracción con halo pueden producirse mejoras en los déficits neurológicos progresivos en casos con curvas descompensadas [28, 76].

Este efecto es inducido por una ligera corrección de la curva. Esto, a su vez, provoca una liberación del compromiso apical en la médula espinal. Con una corrección parcial de la curva la tensión en la médula espinal se reduce, permitiendo que el cordón se recupere antes de la operación [28, 76].







# Hipótesis

---



---

Los pacientes pediátricos con fracturas y deformidades severas de columna asociadas a restricción pulmonar y del crecimiento tienen un alto riesgo de complicaciones durante la cirugía. Por lo que el Halo tracción gravedad perioperatoria podría mejorar la deformidad antes de someterse a una cirugía correctora de la deformidad, disminuyendo la morbilidad y las complicaciones asociadas. Por lo tanto, la tracción mediante halo por gravedad sería un procedimiento eficaz que corrige la escoliosis y/o cifosis y además es un procedimiento seguro con un bajo número de complicaciones.

El estudio anatómico y radiológico del crecimiento del cráneo podría proporcionar una referencia para la correcta selección del pin y del sitio ideal de colocación, evitando potenciales daños asociados a su uso.





# Objetivos

---



---

## Primarios

1. Realizar un **estudio anatómico** evolutivo cuantificando el grosor del hueso del cráneo en niños, desde el nacimiento hasta la madurez esquelética, en diferentes localizaciones de la calota con el fin de proporcionar una referencia para la correcta selección del tipo de pin y su mejor ubicación según la edad.
2. Evaluar la **efectividad clínica** de la tracción perioperatoria con halo en una serie consecutiva de pacientes (niños) que se sometieron a esta técnica antes de la corrección quirúrgica de su deformidad espinal severa de inicio temprano (escoliosis, cifosis o cifoescoliosis).
3. Determinar, mediante una **revisión sistemática**, los efectos del halo-tracción en el tratamiento de deformidades graves de columna.

## Secundarios

1. Respecto al estudio anatómico:
  - 1.1. Determinar el ritmo de crecimiento óseo de la bóveda craneal en 5 localizaciones anatómicas (antero-lateral, postero-lateral, anterior, posterior y lateral) en el eje anatómico de colocación del halo.
  - 1.2. Establecer recomendaciones de tamaño del pin que debería colocarse por rango de edades
2. En el estudio clínico:
  - 2.1. Identificar qué pacientes tienen una mejor respuesta al halo para poder sugerir indicaciones precisas para el uso de esta técnica.
  - 2.2. Comparar la corrección producida por el halo y la cirugía final de fusión.
  - 2.3. Analizar la incidencia de complicaciones del tratamiento con halo-tracción: aflojamiento de los pines; tasas de complicaciones infecciosas en el lugar de inserción de los pines; y los factores de riesgo que llevan a estas complicaciones.
3. En la Revisión sistemática:
  - 3.1. Determinar el porcentaje de corrección de las curvas dependiendo de la etiología de la deformidad espinal
  - 3.2. Evaluar la repercusión del uso del halo-tracción en la función pulmonar de los sujetos sometidos a esta técnica previa a la cirugía.
  - 3.3. Registrar las complicaciones referidas en la literatura al usar la técnica de halo-tracción para reducir la severidad de la curva.





# Material y métodos

---

---

# Material y métodos del artículo “Analysis of skull bone thickness during growth: an anatomical guide for safe pin placement in halo fixation”

---

## Diseño del estudio

Este estudio retrospectivo fue aprobado por la junta de revisión institucional. Un total de 270 niños y adolescentes (131 mujeres; 139 hombres; edad: 0-17 años) se sometieron a un TAC (tomografía axial computarizada) de la cabeza sin contraste entre 2010 y 2015.

Todos los casos ingresaron a través del servicio de emergencias con un antecedente de traumatismo craneoencefálico (TCE) asociado a pérdida, disminución o alteración del nivel de conciencia, así como amnesia, déficit neurológico, o lesión intracraneal [77]

Los criterios de inclusión para este estudio requieren tener entre 0-17 años en el momento de la exploración. Además de la lesión cerebral traumática, todos los pacientes tenían que estar sanos sin antecedentes de fractura de cráneo concomitante, enfermedad sistémica que afecta a la calidad y/o estructura del hueso, o cualquier enfermedad localizada del hueso del cráneo (deformidad, tumor, infección y/ o cirugía de cabeza previa).

Se realizaron tomografías axiales computarizadas (TAC) de cabeza sin contraste, es decir, imágenes completas de los huesos frontal, temporal y orbitario, a los pacientes en posición supina en las primeras 24 horas tras la admisión en la sala de emergencias. La TAC deben tener una resolución espacial < 1.6 mm. Se excluyeron aquellas que tuvieran artefactos de movimiento. Los pacientes fueron desidentificados y transferidos a una base de datos segura

## Pacientes

Los pacientes se estratifican en 18 grupos (15 pacientes por grupo). El grupo 1 incluyó a pacientes entre el nacimiento y los 6 meses de edad; el grupo 2 incluyó a pacientes de 7 a 12 meses; el grupo 3 incluyó a pacientes de 1-2 años; el grupo 4 incluyó a pacientes entre 2-3 años; hasta el grupo 18, que incluyó pacientes de 16 a 17 años. La tabla 8 describe las características demográficas de los pacientes.

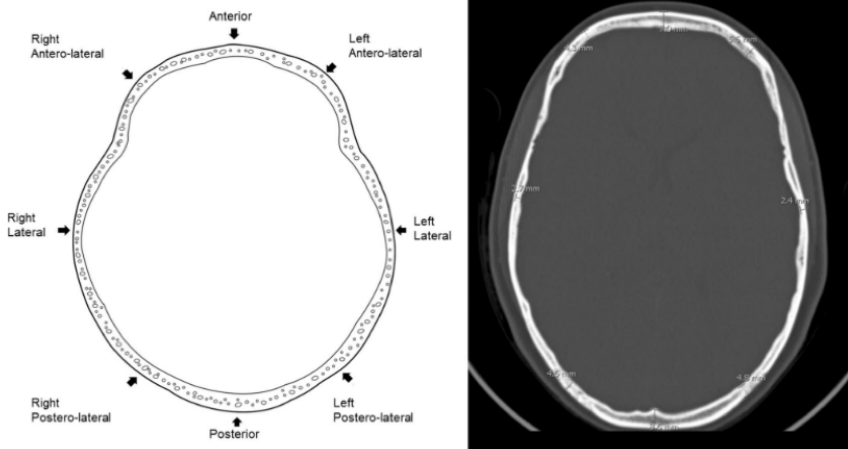
**Tabla 8.** Demografía de los pacientes en función de género y edad. \*P>0.05

Grupo	Edad	Hombres (n)*	Mujeres (n)*
1	Nacimiento - 6 meses	9	6
2	7-12 meses	7	8
3	1-2 años	7	8
4	2-3 años	8	7
5	3-4 años	8	7
6	4-5 años	8	7
7	5-6 años	7	8
8	6-7 años	8	7
9	7-8 años	8	7
10	8-9 años	7	8
11	9-10 años	8	7
12	10-11 años	7	8
13	11-12 años	8	7
14	12-13 años	10	5
15	13-14 años	9	6
16	14-15 años	5	10
17	15-16 años	8	7
18	16-17 años	7	8
TOTAL	139	131	

## Evaluación mediante TAC

Las TAC sin contraste se procesaron utilizando la estación de trabajo IMPAX® Client Software versión 6.5.2 (Agfa HealthCare, Mortsel, Bélgica). El sistema permitió la reconstrucción multiplanar en las áreas recomendadas para la colocación del sitio de los clavos [31, 78]. El plano de medición era siempre el mismo plano en el que debía colocarse el halo.

En concreto, el grosor del cráneo se midió en el plano axial en las ubicaciones estándar para los pines del halo: por encima de las cejas y lateral a los nervios supraorbitarios (anterolateral [AL] derecho e izquierdo) y posterior a la oreja por encima del nivel del meato auditivo (posterolateral [PL], derecha e izquierda) utilizando las ventanas óseas con el mismo ancho de corte (Garfin et al., 1986; Mubarak et al., 1989). Todas las mediciones se obtuvieron utilizando la misma tomografía computarizada y el mismo corte del ancho del hueso. El plano de adquisición se adaptó al plano de la colocación del halo para medir con precisión el ancho del cráneo en el sitio de colocación del clavo. Además, el grosor del hueso del cráneo se evaluó en cuatro sitios adicionales (es decir, anterior [A], lateral derecho [Lr], lateral izquierdo [Li] y posterior [P]) utilizando el mismo plano axial (Fig. 16). Un solo cirujano ortopédico senior con experiencia en cirugía de la columna cervical (JY) realizó todas las mediciones.



**Figura 16.** Sitios de medición en el plano de colocación del halo

---

## **Análisis estadístico**

Las variables categóricas se describieron con sus valores absolutos y porcentajes. Las variables cuantitativas se presentaron de acuerdo con sus medidas de tendencia central (media y desviación estándar). Se utilizó la correlación de Spearman para estudiar la progresión del grosor entre los diferentes sitios de clavijas y la edad. Se empleó la prueba U de Mann-Whitney para comparar las diferencias entre los grupos de edad y el grosor del sitio del clavo. Una  $p < 0.005$  denota una diferencia estadísticamente significativa. El análisis estadístico se realizó utilizando el software IBM SPSS Versión 24.0 (IBM Corp., Armonk, NY, EEUU).

## **Material y métodos (Eficacia de la tracción de halo-gravedad perioperatoria en el tratamiento de la deformidad espinal grave en niños)**

---

### **Muestra del estudio**

Se obtuvo la aprobación de la junta de revisión institucional para este estudio observacional, esta revisión retrospectiva de una base de datos recopilada prospectivamente. Se revisó una serie consecutiva de pacientes que se sometieron a Halo tracción antes de la corrección quirúrgica de la deformidad de la columna de inicio temprano (escoliosis, cifosis o cifoescoliosis). Los pacientes fueron tratados entre los años 2011 y 2016.

### **Criterios de inclusión y exclusión**

#### **Criterios de inclusión:**

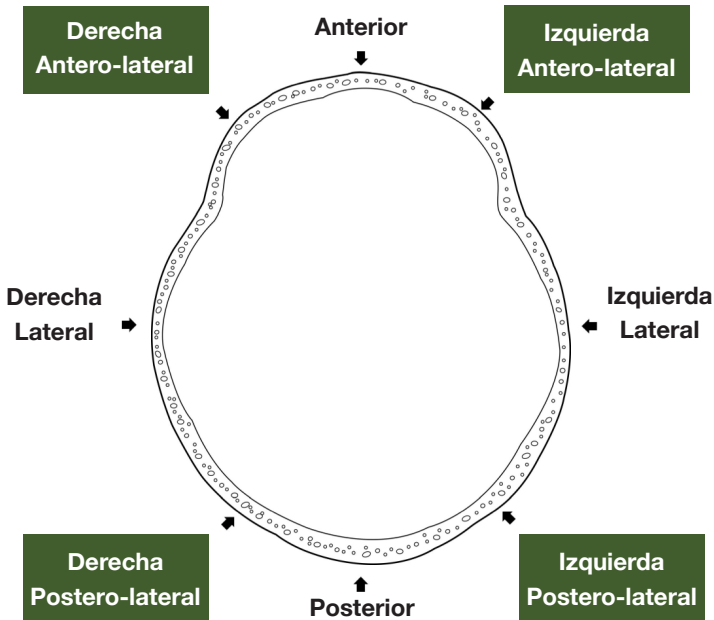
- Pacientes por debajo de 16 años;
- Pacientes con deformidades de la columna torácica superior, torácica media o toracolumbar a los que se les planificó para someterse a la colocación de varillas de crecimiento o fusión espinal posterior definitiva;
- Pacientes sometidos a cirugía primaria o de revisión;
- Pacientes con un seguimiento mínimo de 2 años.

### Criterios de exclusión:

- Se excluyeron los pacientes con historias clínicas o exámenes radiográficos incompletos.

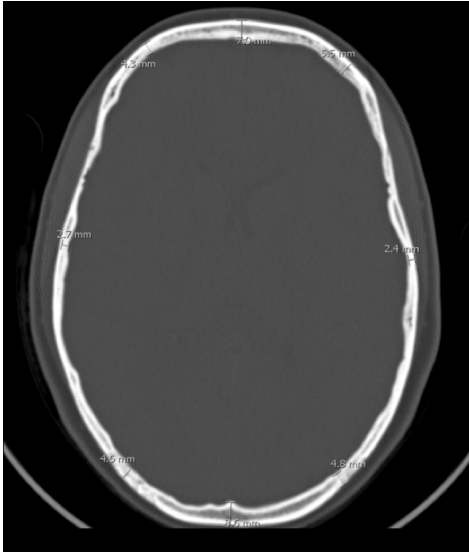
## Protocolos de tratamiento con halo-tracción

Todos los pacientes fueron sometidos a anestesia local y sedación para la aplicación de la Halo tracción. Se colocaron de seis a ocho clavijas de halo para minimizar el riesgo de aflojamiento, en las posiciones que se pueden observar en la Imagen (Fig. 17).



**Figura 17:** Localización de las clavijas de halo.

Los pasadores se apretaron de manera adecuada y proporcional a la edad y el tamaño del paciente, y a la densidad general de la calota del paciente. Para la HGT, el peso de tracción inicial fue de 2,5 a 5 kg, por lo general inmediatamente después de que el paciente se despertara. Posteriormente, la tracción se incrementaba gradualmente de 1,0 a 1,5 kg por día según la tolerancia de los pacientes. Con el objetivo de alcanzar una tracción máxima del 33% al 50% del peso corporal.



**Figura 18:** Para cada caso, se midió el grosor del cráneo en los sitios de inserción de pines anterolaterales y posterolaterales y además en los sitios anterior, posterior, laterales derecho e izquierdo de la bóveda en el plano axial de la tomografía computarizada.

Se aplicó tracción las 24 h del día, con una disminución del peso al 25% del peso corporal mientras los pacientes estaban en decúbito supino para evitar la migración de los pacientes hacia la cabecera de la cama. La tracción se aplicó mientras los pacientes estaban en la cama, en una silla de ruedas o en un aparato en bipedestación. Durante el intervalo de tracción, los pacientes continuaron de forma ambulatoria y recibieron ejercicios respiratorios diarios para optimizar la función pulmonar.

El equipo quirúrgico evaluó diariamente a los pacientes en busca de infecciones en el sitio del pin y complicaciones neurológicas inesperadas. Para la prevención de infecciones en el sitio de inserción en el cráneo, el cabello alrededor de los pines se afeitó y se limpió a diario con una solución diluida de povidona.

Para cada caso, se midió el espesor del cráneo en los sitios de inserción de pines (anterolaterales AL y posterolaterales PL derechos e izquierdos) y los sitios anterior (A), posterior (P), laterales (L) derecho e izquierdo de la bóveda en el plano axial de colocación del halo y la posición de inserción de los pines (Fig 18). En el momento de la cirugía de columna, la tracción se mantuvo intraoperatoriamente.

## Medidas de resultados

Se recopilaron datos demográficos y clínicos que incluyeron:

- Edad del paciente en el momento de la cirugía
- Sexo
- Etiología de la deformidad espinal
- Cirugía primaria o de revisión
- Duración del tiempo bajo HGT
- Datos relacionados con la tracción
- Datos quirúrgicos.

Los datos de tracción incluyeron el tiempo total (semanas) en tracción, el peso máximo de tracción cuando se documenta, la tracción máxima como porcentaje del peso corporal y cualquier complicación (Fig. 2). También se registró la etiología subyacente de la deformidad de la columna vertebral, el tipo de deformidad y si el paciente había tenido cirugía espinal previa por deformidad.

La evaluación radiológica incluyó una medición del ángulo de Cobb en anteroposterior y una radiografía lateral de toda la columna en bipedestación. Las mediciones se realizaron antes de la colocación del halo, al final del período de HGT con tracción, después de la cirugía y en el seguimiento final. Las mediciones fueron realizadas de forma independiente por dos cirujanos de columna (uno de ellos, el autor principal) y solo se consideraron los valores medios.

El porcentaje de corrección de la escoliosis y la cifosis observado después de la HGT y después de la cirugía se calculó mediante las siguientes fórmulas:

$$\frac{\text{Ángulo de Cobb pre HGT} - \text{Ángulo de Cobb post HGT}}{\text{Ángulo de Cobb pre HGT}}$$

$$\frac{\text{Ángulo de Cobb post HGT} - \text{Ángulo de Cobb post cirugía}}{\text{Ángulo de Cobb post HGT}}$$

---

## Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó utilizando IBM SPSS versión 24.0 (IBM Corp., Armonk, NY, EE. UU.).

Las variables categóricas se describieron con sus valores absolutos y porcentajes. Las variables cuantitativas se presentaron por sus medidas de tendencia central (media y desviación estándar).

Se utilizaron pruebas **t de student** para datos no apareados para comparar las diferencias en la progresión de la curva entre los 2 grupos según el tipo de cirugía, primaria o de revisión, durante el seguimiento. Se utilizaron pruebas t pareadas para comparar los cambios dentro de los participantes.

Las diferencias con un valor de  $p < 0,05$  se consideraron estadísticamente significativas.

## Material y métodos (Eficacia del Halo Tracción Gravedad craneal en el manejo de patología de columna. Una revisión sistemática de la literatura)

---

### Estrategia de búsqueda y selección de estudios

Esta revisión sistemática se hizo acorde a los criterios de Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA). Se buscaron estudios en las siguientes bases de datos reconocidas por la comunidad científica: The Cochrane Library Plus, Pubmed (MEDLINE), Physiotherapy Evidence Database (PEDro) y SCOPUS entre febrero y octubre de 2017. La fecha límite de publicación fueron los últimos 20 años. Se utilizaron los siguientes Medical Subject Headings (MeSH): "Halo AND spine" "Halo AND spine deformity" "Halo AND scoliosis" y "Halo AND kyphosis". La búsqueda se limitó a la lengua inglesa. Los criterios de inclusión fueron los siguientes: Estudios prospectivos o series de pacientes tratados con HGT craneal; estudios que incluían al menos alguna de los siguientes resultados: etiología de la escoliosis o cifosis, eficacia radiológica medida mediante el ángulo de Cobb antes y al final del seguimiento en los planos sagital y/o coronal, función pulmonar al final del seguimiento. Los criterios de exclusión fueron estudios que no trataban humanos, estudios que eran los mismos, estudios que utilizaban tracción femoral u otro procedimiento quirúrgico u ortopédico y estudios que no compartían variables.

## Extracción de datos

Extraemos los datos base de cada estudio: número de pacientes, género, edad media, talla, peso, seguimiento, máximo/medio peso del halo. Las variables relacionadas con la eficacia del uso del halo gravedad tracción fueron resultados radiológicos Y resultados de la función pulmonar. También se recogieron las etiologías más frecuentes de cada estudio.

Los resultados radiológicos incluyeron el ángulo de Cobb en un plano sagital (cifosis) y en un plano coronal (escoliosis). De los resultados radiológicos se obtuvo la diferencia media entre el ángulo de Cobb antes del halo y al final del seguimiento. Además se obtuvo la desviación estándar y el rango de los artículos así como la significación estadística.

La función respiratoria se valoró mediante La capacidad vital forzada FVC, el volumen expirado forzado en el primer segundo FEV1, el FEV1/VC o índice de tiffenau y el Pico flujo espiratorio PEF. También, se obtuvo la significación estadística que aportaban los estudios.

## Evaluación de los resultados

Esta revisión sistemática fue llevada a cabo con Excel. Para Las variables cuantitativas se emplearon la media, la desviación estándar, el rango y la significación estadística de cada estudio.

No se pudo hacer una comparación estadística o metaanálisis de los ensayos clínicos ya que los estudios no median las variables de la misma forma al igual que la mayoría no aportó las desviaciones estándar, el intervalo de confianza o la significación estadística de sus resultados. **P-value menor de 0,05 fueron considerados estadísticamente significativos.**

---





# Resultados

---

## Estudio 1: Estudio anatómico radiológico del cráneo

Se revisaron un total de 270 tomografías computarizadas (TC) sin contraste (131 mujeres; 139 hombres) y se realizaron un total de 2.160 mediciones (tabla 1). No se encontraron diferencias significativas en los grupos de edad entre el lado derecho e izquierdo del grosor de la bóveda craneal antero-lateral (AL), postero-lateral (PL) y lateral (L) (Tabla 10).

**Tabla 9.** Demografía de pacientes según edad y sexo

Grupo	Edad	Masculino (n)*	Femenino (n)*
1	Nacimiento – 6 meses	9	6
2	7–12 meses	7	8
3	1–2 años	7	8
4	2–3 años	8	7
5	3–4 años	8	7
6	4–5 años	8	7
7	5–6 años	7	8
8	6–7 años	8	7
9	7–8 años	8	7
10	8–9 años	7	8
11	9–10 años	8	7
12	10–11 años	7	8
13	11–12 años	8	7
14	12–13 años	10	5
15	13–14 años	9	6

16	14–15 años	5	10
17	15–16 años	8	7
18	16–17 años	7	8
<b>Total</b>		<b>139</b>	<b>131</b>

\* p>0.05

**Tabla 10.** Espesor del hueso del cráneo en diferentes sitios según la edad

Grupo	Edad	AL	PL	A	P	L
1	<4 años (n=75)	D=2.46±0.56	D=2.15±0.5	3.82±1.17	4.78±1.46	D=2.13±0.47
2		l=2.4±0.52	l=2.42±0.52			l=1.97±0.44
3		n.s.	n.s.			n.s.
4						
5						
6	4–6 años (n=45)	D=3.24±0.62	D=2.9±0.6	4.62±0.94	7.06±1.75	D=2.46±0.46
7		l=3.11±0.56	l=3.34±0.62			l=2.4±0.5
8		n.s.	n.s.			n.s.
9	7–9 años (n=45)	D=3.32±0.59	D=3.61±0.85	5.33±1.15	7.49±1.83	D=2.39±0.82
10		l=3.22±0.53	l=3.95±0.78			l=2.48±0.65
11		n.s.	n.s.			n.s.
12	10–12 años (n=45)	D=3.89±0.75	D=4.25±0.91	5.26±1.4	8.25±1.99	D=3.04±0.72
13		l=3.79±0.63	l=4.44±0.81			l=3.07±0.69
14		n.s.	n.s.			n.s.
15	>13 años (n=60)	D=4.12±0.67	D=4.71±0.95	7.24±1.64	8.63±2.31	D=3.43±0.99
16		l=4.13±0.76	l=5.15±0.98			l=3.46±0.86
17		n.s.	n.s.			n.s.
18						

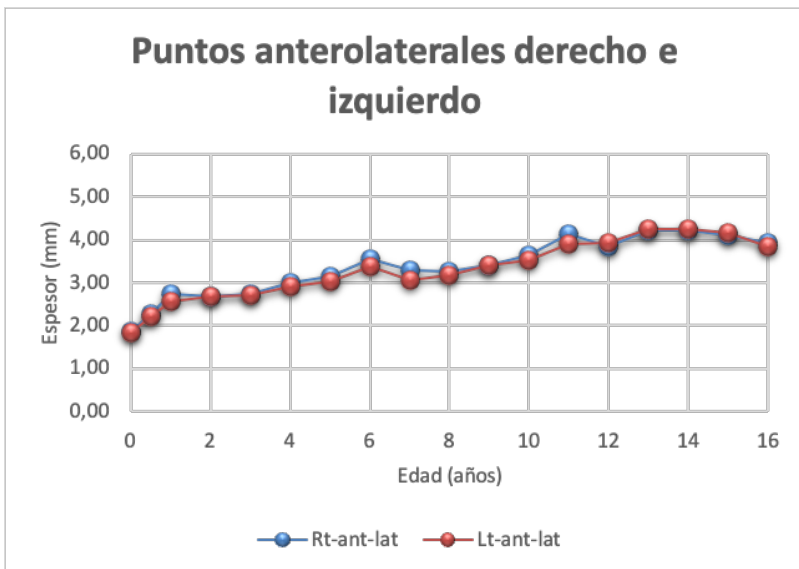
Los valores medios se expresan en mm. / n.s. : no significativo. AL: antero-lateral; PL: poste-ro-lateral; A: anterior; P: posterior; L: lateral; D: derecha; l: izquierda;

El espesor del hueso del cráneo aumentó con la edad para todos los parámetros. En particular, el grosor del hueso del cráneo A (anterior), AL (anterolateral), PL (postero-lateral), L (lateral) y P (posterior) aumentó gradualmente con la edad, demostrando una correlación de buena a excelente ( $R = 0,718$ ,  $R = 0,742$ ,  $R = 0,836$ ,  $R = 0,569$  y  $R = 0,6$ , respectivamente;  $p < 0,001$ ).

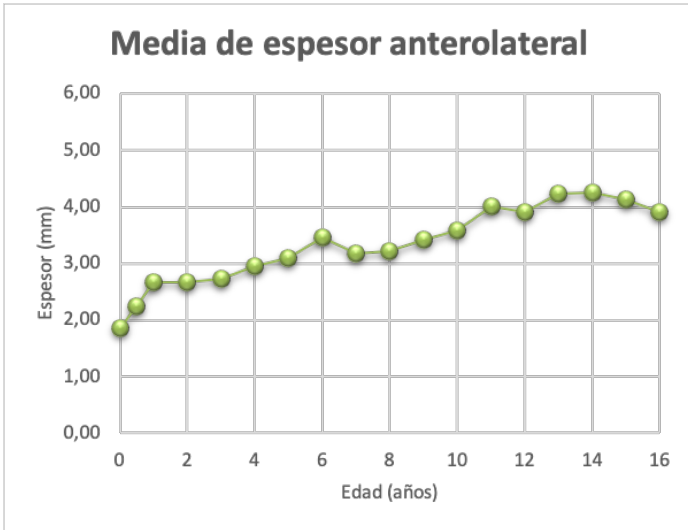
Desde el nacimiento hasta la madurez esquelética, el grosor de L aumentó significativamente menos (+ 58%) en comparación con el grosor de AL (+ 205%), P (+ 233%), PL (+ 247%) y A (+ 269%) ( $p < 0,01$ ). Al final del crecimiento, los puntos más gruesos y delgados en la bóveda (valor absoluto) se encontraron en los sitios de medición P y L, respectivamente ( $p < 0,01$ ) (Figura 2).

Los niños menores de 12 meses tenían un grosor de cráneo promedio en el lugar ideal de inserción de los pines anterolateral AL y posterolateral PL de  $1,88 \pm 0,5$  mm y  $1,81 \pm 0,45$  mm, respectivamente. Los espesores AL y PL alcanzaron  $2,74 \pm 0,38$  mm y  $2,29 \pm 0,37$  mm,  $2,67 \pm 0,46$  mm y  $2,42 \pm 0,36$  mm, y  $2,74 \pm 0,53$  mm y  $2,49 \pm 0,53$  mm en niños de 2, 3 y 4 años, respectivamente.

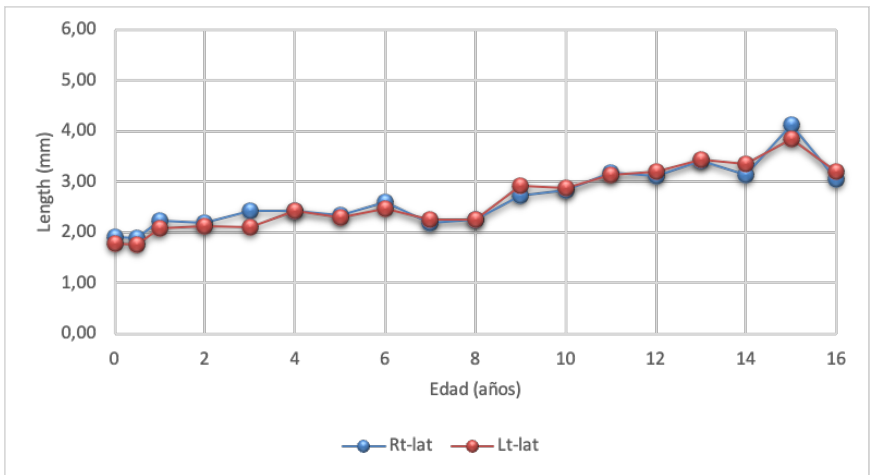
Los niños menores de 4 años mostraron la mayor variabilidad en el espesor del hueso del cráneo AL y PL, observándose un grosor  $< 3$  mm en el 85% (64/75 pacientes) y el 92% (69/75 pacientes) de los casos, respectivamente (Tabla 11).



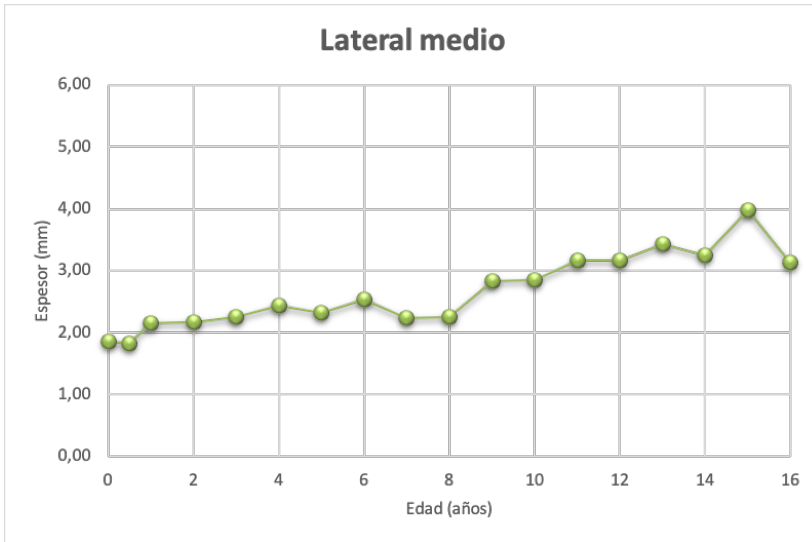
**Figura 19.** Espesor del cráneo en los puntos de anclaje anterolaterales derecho e izquierdo. No se observan diferencias significativas por lateralidad.



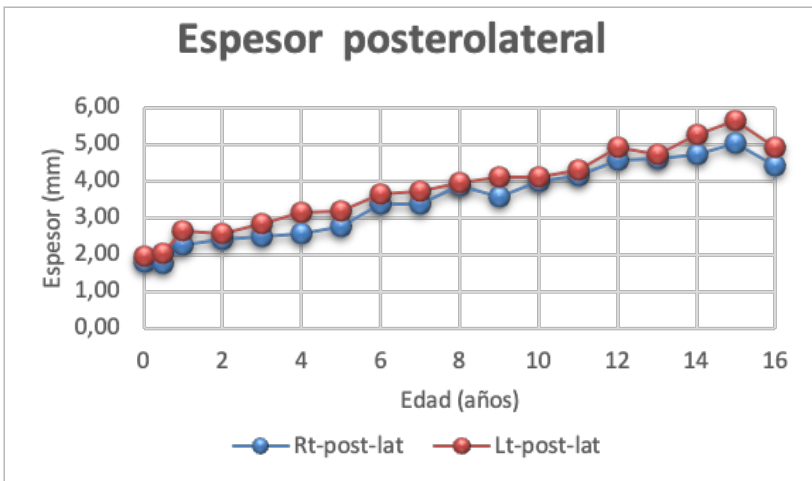
**Figura 20.** Representación gráfica del espesor medio del cráneo en el punto de anclaje anterolateral. Se aprecia un aumento de más del 100% global durante el crecimiento, pasando de menos de 2 mm al nacimiento a más de 4 mm al final del crecimiento. Se observan dos periodos de crecimiento acelerado, el periodo inicial en los primeros 4 años, principalmente en el primer año de vida, y un segundo período de crecimiento acelerado en la pubertad de más del 33%.



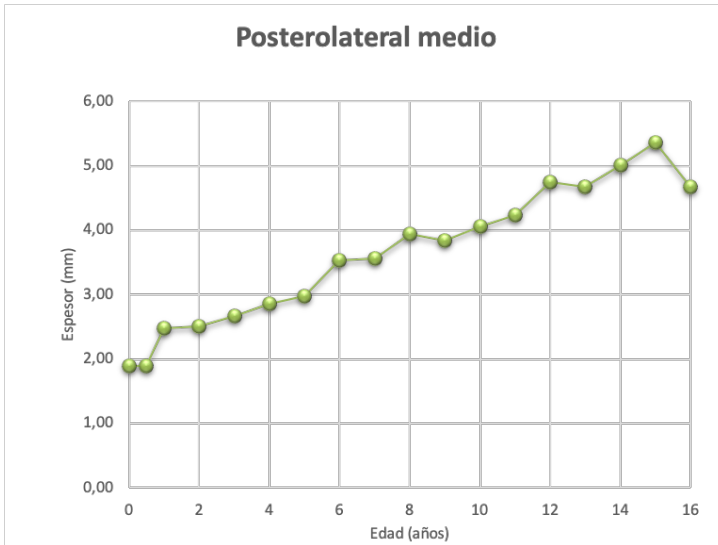
**Figura 21.** Crecimiento en espesor de la anchura de la calota en los puntos laterales derecho e izquierdo, no se observan diferencias relevantes por lateralidad.



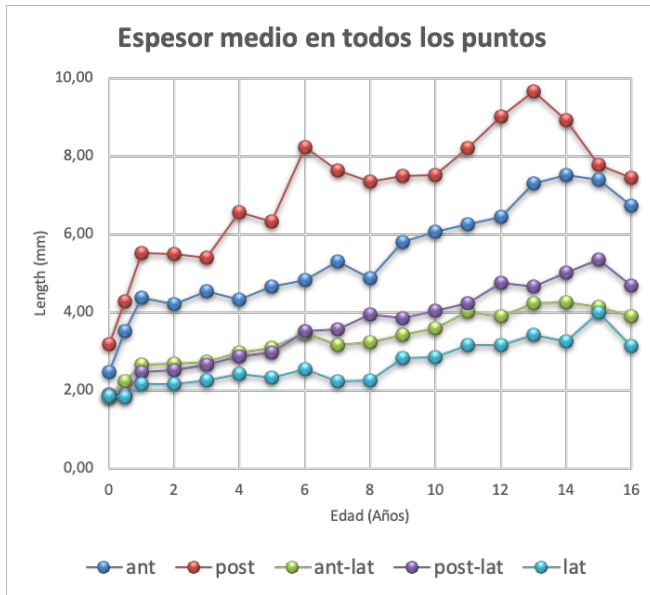
**Figura 22.** Crecimiento del espesor medio en el punto de medición lateral del cráneo por edad se aprecia un incremento de más del 50% del inicial.



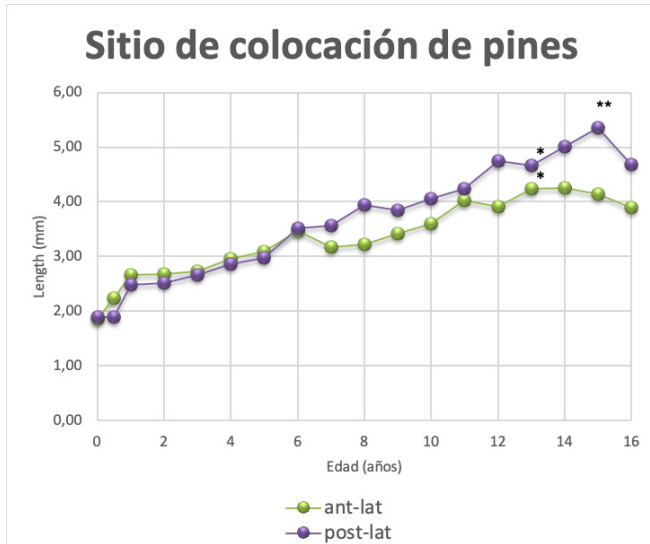
**Figura 23.** Espesor medio de los puntos de inserción de los pines posterolateral derecho e izquierdo. No se observan diferencias relevantes por lateralidad (derecho e izquierdo).



**Figura 24.** Espesor medio de los puntos de inserción de los pines posterolaterales. Se aprecia un aumento significativo del 150% desde el nacimiento hasta el final del crecimiento.



**Figura 25.** Espesor medio en todos los puntos de medición del cráneo en el plano de colocación del halo. Los puntos de mayor espesor son los de la línea media, el mayor el posterior seguido del anterior. Dentro de los sitios de colocación habitual de los pines, el posterolateral presenta mayor espesor que el anterolateral. El punto de menor espesor medio en todas las edades es el punto lateral del cráneo. Se observan dos periodos de mayor crecimiento en espesor del cráneo en los primeros 3 años de edad y en el periodo puberal.



**Figura 26.** Espesor del cráneo en el sitio de colocación de los pines (antero-lateral y postero-lateral). Se aprecia un mayor crecimiento de espesor en postero-lateral al final del crecimiento  $p < 0.01$ .

**Tabla 11.** Tamaño recomendado del pin según la edad (sitios AL y PL)

Edad	Tamaño del pin	TC de Cabeza preoperatoria	
<4 años	2–3 mm	Recomendada debido a la alta variabilidad en el grosor del hueso del cráneo.	<2 mm: 24% (AL)–35% (PL)
			2–2.5 mm: 32% (AL)–46% (PL)
			2.5–3 mm: 29% (AL)–11% (PL)
			>3 mm: 15% (AL)–8% (PL)
4–6 años	4 mm	No recomendada	
7–9 años	5 mm		
10–12 años	6 mm		
>13 años			

AL: antero-lateral; PL: postero-lateral; TC: Tomografía computerizada.

---

El crecimiento de la bóveda craneal mostró una progresión no lineal. Se pueden identificar dos períodos de crecimiento acelerado:

- El primer período ocurrió durante los primeros 2 años de vida, con un aumento del 50% de los espesores de AL y PL.
- El segundo período ocurrió entre los 10 y los 15 años, con un aumento del 42% de los espesores de AL y PL (Figura 2).

## Estudio 2: Serie clínica

---

Treinta y siete pacientes cumplieron los criterios de inclusión y exclusión. En el análisis final se incluyeron diecisiete hombres (57%) y veinte mujeres (43%). La edad media fue de  $6,5 \pm 4,8$  años). La Halo tracción se utilizó en 17 casos antes de una cirugía primaria y en 20 casos se realizó antes de una cirugía de revisión. La duración media de la HGT fue de  $106 \pm 60$  días (rango, 15-330 (tabla 12). La etiología más frecuente de la deformidad espinal fue la sindrómica ( $n = 13, 35,1\%$ ) seguida de la etiología neuromuscular ( $n = 10, 27,0\%$ ) (tabla 13).

**Tabla 12.** Datos de los 37 pacientes tratados con HALO.

<b>Edad (años)</b>	6.5 (4.8)
<b>% Mujeres</b>	43
<b>% Revisión</b>	54
<b>Edad de diagnóstico (años)</b>	3.6(3.0)
<b>Peso</b>	23.1(10.3) Kg
<b>Días con HALO</b>	102.9(62.4) days
<b>Seguimiento (años)</b>	3.6(2.0) years

**Tabla 13.** Diagnósticos

Diagnóstico	n
Sindrómico	13
Neuromuscular	10
Idiopático	7
Congenito	6
Tumoral	1

El ángulo de Cobb coronal AP preoperatorio fue de  $87,2 \pm 28,7$ o (rango, 11-135o). Después de la aplicación de HGT, las curvas escolióticas mejoraron a  $61,7 \pm 28,6$ o (rango, 12-130). ( $p < 0,01$ ). Este cambio implica que se logró una corrección promedio del 41,3% de la deformidad. Después de la cirugía la corrección mejoró aún más un 10,5% en promedio ( $p < 0,05$ ).

Al comparar la efectividad de la HGT preoperatoria entre cirugía primaria y de revisión, la cantidad de corrección fue menor en pacientes con cirugía previa, particularmente en deformidades cifóticas ( $p < 0,05$ )

## Cifosis

La cifosis preoperatoria promedio fue  $83,4 \pm 33,6$ o (rango, 15-148o) y mejoró a  $63,4 \pm 21,2$ o (rango, 14-100o) ( $p \leq 0,001$ ). La curva sagital alcanzó por tanto un 23,9%. Después de la cirugía, esta corrección se mantuvo casi sin cambios con solo una mejora del 4,7%.

## Cambios al último seguimiento:

En el último seguimiento, se encontró una pérdida de corrección de las figuras posquirúrgicas tanto en la curva coronal como en la sagital. La pérdida media de corrección de la escoliosis fue de  $7,1 \pm 24,8$ o y la de la cifosis fue de  $8,7 \pm 18,6$ o. Los cambios posquirúrgicos solo fueron estadísticamente significativos con respecto a la cifosis ( $p < 0,05$ ) (fig. 3) (fig. 4).

Hubo 3 complicaciones (8,1%): 2 infecciones de clavijas y una subluxación cervical.

---

## Estudio 3: Revisión sistemática de la literatura

---

### Características de los estudios

La tabla 14 refleja las características de los estudios incluidos. Se incluyeron 11 estudios entre 2001 y 2016. El número de pacientes varió entre ocho y 68. La edad media variaba según los estudios, la mayoría incluyeron pacientes pediátricos, aunque cuatro artículos incluyeron pacientes adultos. El peso máximo/medio del halo varió entre un 25 y un 50 % del peso del paciente. El seguimiento varió entre 14 días y 105 días desde el estudio con un periodo de seguimiento más corto al más largo respectivamente.

### Etiología

Nueve estudios analizaron la etiología de los pacientes de forma detallada. La etiología incluida en los artículos se recoge en la tabla 15. La etiología congénita fue la más frecuente observada seguida de la idiopática la neuromuscular y la sindrómico. No obstante, los estudios que incluyeron mayor proporción de pacientes adultos el porcentaje de etiología traumática (fractura).

### Escoliosis

La tabla 16 muestra la corrección media de la escoliosis tras el seguimiento. Seis estudios dieron la diferencia del ángulo de corte inicial y tras el seguimiento con el uso del halo. Esta diferencia fue desde 16° el estudio con menor corrección (Koller 2012) hasta 56,83° (bao 2016). Tres de los estudios aportaron un P valor significativo. (Ver si hay diferencias a mayor tiempo, etiología mayor Corrección de la curva).

### Cifosis

La tabla 17 muestra la corrección media de la cifosis tras el seguimiento. Seis estudios dieron la diferencia del ángulo de cobre en plano sagital al inicio y al final de seguimiento con el uso del halo. Esta diferencia fue desde 15° el estudio con menor corrección (cole 2012) hasta 49,27° (bao 2016). Tres de los estudios aportaron un P valor significativo. (Ver si hay diferencias a mayor tiempo, etiología mayor Corrección de la curva).

## Función pulmonar

La función pulmonar se refleja en la tabla 18. Tres estudios incluyeron resultados de la función pulmonar. En cuanto al FVC, tres estudios demostraron un aumento del mismo tras el seguimiento con halo, dos de ellos aportaron un P valor significativo. En cuanto al FEV1, Dos estudios demostraron un aumento significativo del mismo al final del seguimiento. Respecto FEV1/FVC evaluado por dos estudios, no mostraron aumentos significativos. Finalmente, el PEG mostró una mejoría significativa en dos estudios.

## Complicaciones

Las complicaciones se observan en la tabla 19. Se incluyeron siete estudios en total. Existieron un total de 69 complicaciones en 217 pacientes (31,8%). La complicación más frecuente fue la infección del tornillo (34 casos); seguido de complicaciones neurológicas (16 casos), complicaciones relacionadas con el chaleco (7 casos), pérdida o aflojamiento de los tornillos (6 casos), náuseas y vómitos (2 casos), penetración del hueso craneal (2 casos) y mareo (1 caso).

En cuanto a las reintervenciones Causadas por las complicaciones: 9 pacientes recibieron un cambio de tornillo, 3 pacientes una retirada de tornillo, un paciente un cambio del halo, Un paciente una retirada completa de halo y un paciente una retirada completa del chaleco.

**Tabla 14.** Características demográficas y antropométricas de los estudios.

	Koller et al. 2012	Koptan et al. 2012	Parent weis et al. 2006	Li et al. 2017	Pourta-heri et al. 2016	Bogunovic et al. 2012	Sink et al. 2001	Limpa-phayom et al. 2009	Caird et al. 2006	Bao et al. 2016
<b>n</b>	45	21	20	11	8	33	19	68	13	21
<b>Hombres</b>	14	ne	11	4	5	11	13	37	10	7
<b>Mujeres</b>	31	ne	9	7	3	22	6	31	3	14
<b>Edad media (yr)</b>	24±14	18	46	19±8	7	12.8	7	10	2.2	2.2

<b>Talla (cm)</b>	149±13	ne	ne	141±19	ne	ne	ne	ne	ne	ne
<b>Peso (kg)</b>	47±14	ne	ne	37±16	ne	ne	ne	ne	ne	ne
<b>Seguimiento (días)</b>	30±14	14	90	70±14	32	70	91	105	ne	76
<b>Maximo/medio peso</b>	33±9%	30-50%	ne	50±5	33-50%	33-50%	25-50%	40%	ne	30%

**Tabla 15.** Etiología presentada por los estudios incluidos.

<b>Koller etl al. 2012</b>	<b>Parent weis et al. 2006</b>	<b>Li et al. 2017</b>	<b>Pourtaheri et al. 2016</b>	<b>Bogunovic et al. 2012</b>	<b>Sink et al. 2001</b>	<b>Limpa-phayom et al. 2009</b>	<b>Caird et al. 2006</b>	<b>Bao et al. 2016</b>
Congenita 23	Fracturas 35	Idiopática 8	Sindrómica 1	Idiopática 15	Congenita 5	Idiopática 4	Idiopática 1	Neuromuscular 6
Neuromuscular 7	Subluxación 1	Congenita 3	Displasia 7	Neuromuscular 4	Idiopática 4	Neuromuscular 7	Trauma 6	Congenita 7
Idiopática 5	Condroma 2			Congenita 3	Displasia 1	Displasia 7	Sindrómica 3	Idiopática 5
Neurofibromatosis 5	Sindrómica 1			Sindrómica 11	Neurofibromatosis 1	Sindrómica 16	Neuromusc 1	Neurofibromat 2
Sindrómica 5	Reumática 1				Sindrómica 5	Tumor 12	Congenita 1	Sindrómica 2
					Neuromuscular 1	Trauma 9	Hipoplasia 1	
						Torticollis 2		
						Neurofibromatosis 4		
						Congénita 7		

**Tabla 16.** Corrección media de la escoliosis tras el seguimiento.

Ecoliosis	Diferencia	ED	Rango	p	n
<b>Koller 2012</b>	16	12	9-41	p-0,0001	45
<b>Li et al. 2017</b>	33.45	18.7	ne	p-0,001	11
<b>Pourtaheri et al. 2016</b>	30	ne	ne	p-0,009	8
<b>Bogunovic et al. 2012</b>	34	ne		ne	33
<b>Sink et al. 2001</b>	28	ne	ne	ne	22
<b>Bao et al. 2016</b>	56.83	ne	ne	ne	21

**Tabla 17.** Corrección media de la cifosis tras el seguimiento.

Cifosis	Diferencia	ED	Rango	p	n
<b>Koller 2012</b>	15		ne	p-0,0001	45
<b>Li et al. 2017</b>	23.45	12.27	10 rango 45	p-0,001	11
<b>Pourtaheri et al. 2016</b>	30	ne	ne	p-0,001	8
<b>Bogunovic et al. 2012</b>	31.1	ne	ne	ne	33
<b>Sink et al. 2001</b>	25	ne	ne	ne	22
<b>Bao et al. 2016</b>	49.27	ne	ne	ne	21

**Tabla 18.** Corrección de la función respiratoria tras el seguimiento.

Fx respiratoria	Aumento FVC	p	Aumento FEV1	p	Aumento FEV1/VC	p	Aumento PEF	p
Li et al. 2017	6.73	p=0,014	6.06	p-0,0001	1.71	p=0,068	8.16	p=0,003
Bogunovic et al. 2012	7.7	ne	9	ne	ne	ne	ne	ne
Bao et al. 2016	6.62	p-0,001	8.24	p-0,001	-2.49		14.55	p-0,001

**Tabla 19.** Complicaciones. Total de 7 estudios dieron complicaciones

Complicación	n
Total	69
Infección del pin	35
Neurológicos	16
Complicaciones relacionadas con el chaleco	7
Aflojamiento	6
Nauseas y vómitos	2
Penetración	2
Mareos	1





# Discusión

---

Este estudio evaluó el espesor del hueso del cráneo en diferentes sitios para proporcionar valores normativos para la colocación segura de pines en pacientes esqueléticamente inmaduros. Nuestros hallazgos se basan en un mayor número de tomografías computarizadas y un mayor número de mediciones en comparación con investigaciones publicadas anteriormente.

Además, debido al mayor tamaño de la muestra, los resultados podrían estratificarse según la edad, con el objetivo de proporcionar un conjunto de datos más preciso para todos los grupos de edad (es decir, desde el nacimiento hasta la madurez esquelética).

El hueso de cráneo consta de tres capas, la interna, la externa y la intermedia (diploe) de hueso esponjosos. Las tomografías computarizadas brindan representaciones de alta fidelidad de los huesos craneales y son la modalidad preferida para la obtención de imágenes óseas.

Varios investigadores realizaron mediciones del grosor óseo mediante tomografías computarizadas [79, 80] y encontraron que las mediciones eran confiables y estaban correlacionadas con mediciones similares obtenidas en muestras humanas [81, 82].

Sin embargo, la realización de tomografías computarizadas en niños por lo demás sanos no se justificaba debido a preocupaciones sobre los efectos de la radiación ionizante.

Todos nuestros pacientes ingresaron a través de la sala de emergencias de nuestra institución con antecedentes médicos positivos para traumatismo craneoencefálico asociado con pérdida, disminución o alteración del nivel de conciencia, así como amnesia, déficit neurológico o lesión intracraneal [77]. Por lo tanto, se adquirieron tomografías computarizadas de la cabeza para descartar condiciones médicas potencialmente significativas.

En el estudio actual, el grosor del cráneo se incrementó gradualmente durante el crecimiento. Los niños menores de 3 años tenían el hueso cortical más delgado.

Caird et al realizó un estudio con 13 lactantes de 16 a 43 meses tratados con fijación de halo y recogió información sobre la duración del tratamiento y complicaciones de esta técnica en menores de 3 años. A todos los pacientes se les realizó una tomografía computarizada previa al inicio de tratamiento con el halo [83].

---

La instrumentalización fue adaptada al cráneo de estas edades con la colocación de 8 pines de media con una fuerza de torsión de 2-4 pulgada-libra. 9 de los 13 pacientes (69%) sufrieron algún tipo de complicación durante el proceso.

Algunos estudios han señalado la variabilidad del espesor del cráneo en edades tempranas y recomiendan la realización de una tomografía computarizada craneal para asegurar una correcta colocación de los pines. Otras medidas para asegurar el éxito de la técnica en la edad infantil es la colocación de múltiples pines (Figura 15- [83]), diseños especiales, bajas fuerzas de inserción de pines (4-6 pulgadas-libra) y una buena calibración de los mismos para prevenir graves complicaciones como la penetración del hueso intracraneal [83-85].

La fijación del halo es segura en menores de 3 años y tiene una tasa de complicación similar a la de los niños mayores. Se considera una gran opción terapéutica en lesiones graves y problemas de inestabilidad cervical que amenazan la vida. El uso del halo de forma segura en estas edades permitirá realizar cirugías y descompresiones más extensas [83].

Arkader et al realizó un estudio similar en el que se evaluaba la eficacia y seguridad del halo en menores de 3 años independientemente de la patología por la cual recibían el tratamiento. UN total de 10 pacientes, 6 niños y 4 niñas con un rango de edad de 10 meses a 2 años y 10 meses. La media de inmovilización fue de 75 días (33-168 días de rango) con un seguimiento medio de 5 años y dos meses (un rango de 1-12 años). Se notificaron una reducción de la tasa de complicación de un 20% (una infección en el lugar del clavo; un clavo suelto) [42].

Mubarak et al comunicaron otros tres casos de lactantes de 10 a 24 meses de edad que fueron satisfactoriamente tratados con la fijación con halo [85].

Todos los investigadores recomendaron realizar una tomografía computarizada de la cabeza preoperatoria para evaluar el grosor del hueso del cráneo antes de la aplicación del halo.

Sugirieron que se necesita un mayor número de pines, un cuidado meticuloso del sitio de colocación de los pines, un seguimiento frecuente y una deambulaci3n limitada puesto que los niños pequeños son m3s propensos a caerse que en edades m3s avanzadas. Todas ellas son medidas a tomar para intentar disminuir la cantidad de complicaciones relacionadas con los pines [42, 83, 85].

Garfin et al revis3 18 tomograf3as computarizadas de cr3neos pedi3tricos. Los cr3neos se dividieron en tres grupos de edad: 1-2 a3os; 2-5 a3os y 5-12 a3os.

Encontraron que el grosor total medio a nivel de las porciones anterolaterales (AL) y posterolaterales (PL) del cráneo aumentaron de 3,7 y 3,9, respectivamente, en los lactantes de 1-2 años a 6,1 y 5,9 mm, respectivamente, en los niños y preadolescentes con edades entre 5 y 12 años. El grosor más bajo fue el correspondiente a la fosa temporal, aumentando de 3 mm en los lactantes a 4,1 mm en los niños mayores [84].

Sin embargo, el número de pacientes fue bajo y no incluyó a los pacientes menores de 1 año ni a los mayores de 12 años. Otra de los problemas de este estudio es el amplio rango de edad seleccionado que impide una adecuada evaluación de los cambios producidos a lo largo del tiempo.

Lett et al. Revisó 68 cráneos pediátricos, 35 hombres y 33 mujeres. Descubrieron que el grosor del cráneo se modificaba considerablemente en los primeros 6 meses de edad, independientemente de la edad y del sexo. Durante este periodo de rápido crecimiento del cráneo y particularmente, hasta los 3 años, el tamaño del anillo de halo debe seleccionarse cuidadosamente. Cuando sea posible, la selección de pines debe basarse en el conocimiento del grosor del cráneo [70].

Además, informaron de una tendencia hacia el aumento del grosor del cráneo durante la adolescencia. Esta tendencia se inició aproximadamente a los 10 años de edad, y el grosor del adulto se alcanzó a los 16 años [70].

Stone et al. informaron que los adultos tienen un grosor del hueso del cráneo similar en comparación con los niños de más de 12 años, y encontraron que la tabla interna era más gruesa en la posición anterolateral (AL) [34].

Nuestros hallazgos muestran que, a la edad de 4 años, el grosor anterolateral (AL) ha alcanzado los 3 mm en el 20% de los niños. Este porcentaje alcanza el 60% a los nueve años, y supera el 80% a los 12 años y el 100% entre la pubertad y la madurez esquelética.

Por otro lado, solo el 7% de los pacientes alcanzaron un grosor posterolateral (PL) 3 mm a los 4 años, el 40% a los 6 años, el 80% a los 9 años y el 100% entre la pubertad y la madurez esquelética.

Una de las principales preocupaciones es la aparición de fugas de líquido cefalorraquídeo (LCR) en el momento de la colocación del pin, que muchas veces está más relacionado con la presión aplicada a un punto que con el grosor del cráneo.

---

Las fuerzas de torsión no se consideraron en este estudio. La bibliografía recomienda una fuerza de torsión significativamente menor que el de los niños mayores, que no superen las 2 pulgadas / libra [85].

Por lo tanto, se debe tener precaución durante la aplicación de un fijador de halo para todos los niños. Recomendamos que la punta del clavo no exceda de 2 a 3 mm en niños menores de 4 años y 4 mm en niños de 4 a 6 años, para disminuir el riesgo de perforación de la capa interna del hueso del cráneo. Después de los 7 años y los 13 años, se pueden usar con seguridad puntas de clavijas de tamaño estándar de 5mm y 6mm respectivamente. Se ha recomendado que los niños pequeños y los niños se sometían a una tomografía computarizada de la cabeza antes de colocar los pines.

Teniendo en cuenta que el grosor del hueso del cráneo varía entre los puntos de colocación de los pines anterolateral (AL) y posterolateral (PL), este enfoque ayuda a evaluar el grosor del hueso craneal y facilita la selección de la longitud y el lugar óptimo de colocación de los pines [32, 68].

Las deformidades escolióticas graves tienen un impacto negativo en la caja torácica, la función esquelética, muscular y diafragmática y reducen la distensibilidad del sistema respiratorio [86]. Por esa razón, el objetivo del tratamiento de la deformidad espinal severa es lograr una corrección duradera de una manera segura y reproducible. La tracción mediante halo es una herramienta eficaz en el tratamiento de la deformidad que proporciona un medio de corrección gradual seguro. Nuestro principal hallazgo fue que la aplicación de HGT en casos de deformidad severa rígida es útil proporcionando una corrección preoperatoria de la deformidad del 34%, facilitando así, la cirugía definitiva. Aunque durante el seguimiento hubo una pérdida de corrección del 20%, especialmente en pacientes que tenían solo cifosis.

El análisis de esta serie mostró que la corrección debida a la tracción de halo-gravedad puede lograr una corrección parcial de forma preoperatoria. Estudios anteriores demostraron que la HGT preoperatoria puede obtener una corrección del 15% al 38% en la escoliosis y una corrección del 17% al 35% en la cifosis [87]. En uno de los primeros estudios, Sink et al. utilizaron HGT en 19 pacientes mejorando el ángulo de Cobb desde un promedio de 84 ° antes de la tracción a 55 ° antes de la fusión (35% de corrección preoperatoria) [41]. Del mismo modo, Bogunovic et al. [25] mostraron una corrección del 35% de la curva coronal y sagital con HGT.

La importancia clínica de reducir preoperatoriamente la magnitud de la deformidad radica en varios aspectos: esta corrección puede ayudar a mejorar la función pulmonar preoperatoria y a conseguir una mejor tolerancia al procedimiento quirúrgico del que podría esperarse posteriormente [52]. Además, si se necesita menos corrección

durante la cirugía, se pueden evitar procedimientos agresivos como la resección de la columna y las osteotomías vertebrales [26]. La tracción gradual antes de la operación también podría ayudar a evaluar la función neurológica y estimar la cantidad de corrección que se consigue alcanzar de manera segura.

En nuestro estudio encontramos que el grupo de cirugía de revisión obtuvo una menor corrección de la curva. Estos hallazgos contrastan con los de Koller et al. [52] quienes informaron que la HGT no mejoró significativamente las curvas severas sin una liberación quirúrgica anterior o posterior.

Actualmente, no hay consenso sobre la duración de la tracción [5]. En nuestro estudio, la duración de la tracción de halo gravedad (HGT) varió de 2 a 40 semanas. En una revisión sistemática del tratamiento preoperatorio con HGT, el intervalo de tiempo de HGT osciló entre 2 y 12 semanas [88]. Algunos estudios han demostrado que la máxima corrección se logra en la primera semana. Watanabe et al. [89] informaron que el 63,6% de la corrección preoperatoria se logró en 1 semana. Park et al. [90] encontraron que el 66% de la corrección preoperatoria ocurría dentro de las primeras 2 semanas. Es más, Nemani et al. [91] observaron una meseta de corrección después de aproximadamente 2 meses después de la rápida corrección inicial. Por lo tanto, en términos de corrección de la curva, es razonable pensar que la duración de la tracción no debe exceder los 2 meses.

Las complicaciones observadas en esta serie fueron mínimas y todas se resolvieron sin efectos deletéreos. Aunque, la tracción mediante halo (HGT) no estaba exenta de riesgos inherentes. En la bibliografía actual, las complicaciones relacionadas con la tracción son frecuentes y la prevalencia es del 22% [91]. En nuestro estudio se observaron 3 complicaciones (8,1%): 2 infecciones de pines y una subluxación cervical en un paciente con síndrome de Marfan. Aunque estas complicaciones no fueron graves, cabe señalar que hubo un caso de una complicación mayor atribuible a la tracción en un paciente con hiperlaxitud ligamentosa por síndrome de Marfán (subluxación cervical que revertió sin secuelas cuando se interrumpió la HGT).

Este estudio presenta varias limitaciones. Primero, no hay un grupo de control para comparar directamente. La muestra de pacientes también fue pequeña; sin embargo, es difícil obtener un grupo de control comparable de estos tipos de deformidades de la columna. A pesar de las limitaciones, este estudio también tenía varios atributos únicos. En nuestro estudio comparamos la efectividad de la tracción de halo-gravedad perioperatoria entre cirugía primaria y de revisión. La mayoría de los estudios informan solo los resultados de la HGT en cirugía primaria. También se constató el mantenimiento de la corrección durante el seguimiento y la pérdida de corrección en el seguimiento postoperatorio.

---

Se necesitan estudios prospectivos comparativos con un tamaño de muestra mayor. Creemos que la investigación futura también debería centrarse en el efecto de la tracción sobre la corrección preoperatoria obtenida, debería explorar la duración adecuada de la tracción y la preservación a largo plazo de la corrección obtenida después de la cirugía principal.





# Conclusiones

---

## **I. En relación con los objetivos del estudio anatómico evolutivo, podemos establecer las siguientes conclusiones:**

1. Los hallazgos de este estudio proporcionaron datos normativos con respecto al grosor del hueso craneal que pueden usarse en pacientes con inmadurez esquelética que requieren fijación con halo. Esto es especialmente importante en niños menores de 4 años que son particularmente sensibles a la exposición a la radiación ionizante.
2. Se debe prestar especial atención a los niños menores de 4 años que muestran una variabilidad significativa en el grosor del cráneo en comparación con otros grupos de edad; es posible que aún se requiera una tomografía computarizada para este grupo de edad en particular.
3. Los pines específicos utilizados para la fijación del halo deben colocarse anterolateralmente y posterolateralmente, ambas localizaciones con un espesor óseo de mayor grosor y evitar otras localizaciones como la fosa temporal caracterizada por ser la zona con un menor espesor óseo.

## **II. Las observaciones del estudio clínico permiten establecer las siguientes conclusiones:**

1. El halo- tracción gravedad (HGT) logra una mejoría radiográfica de manera segura y eficaz en pacientes con deformidad espinal severa. Por esta razón, el HGT puede ayudar a disminuir los procedimientos agresivos, mejorar la función pulmonar preoperatoria y reducir las complicaciones neurológicas. Sin embargo, durante el seguimiento hay una pérdida de corrección del 20%, especialmente en pacientes con cifosis.
2. Se necesitan estudios comparativos con un tamaño de muestra más grande para confirmar estos resultados. Creemos que la investigación futura no debería centrarse también en el efecto de la tracción en la corrección preoperatoria, debería explorar la duración adecuada de la tracción y el mantenimiento de la corrección durante el seguimiento.

## **III. La revisión sistemática sobre el uso del halo-tracción**

1. A tenor de las publicaciones analizadas, la aplicación de halo-tracción en el preoperatorio parece ser una intervención segura y efectiva con deformidad de alto grado que permite la flexibilización de la curva antes de la cirugía.

---

Sin embargo, hay una falta de datos consistentes y homogeneidad en muchos de los estudios publicados.

- 2.** El uso del halo-tracción tiene un impacto en la función pulmonar; sin embargo, sería necesario determinar si este impacto tiene relevancia clínica.
- 3.** La técnica de halo-tracción previo a la cirugía no es un procedimiento inocuo. Las series publicadas refieren complicaciones en más de un tercio de los casos, siendo las más frecuentes las relacionadas con fallos e infecciones en el lugar de anclaje de los pines.





# Referencias bibliográficas

---

1. Yang S, Andras LM, Redding GJ, Skaggs DL. Early-onset scoliosis: A review of history, current treatment, and future directions. *Pediatrics*. 2016;137(1).
2. Kotwicki T. Improved accuracy in Risser sign grading with lateral spinal radiography. *Eur Spine J*. 2008;17(12):1676–85.
3. Tsiligiannis T, Grivas T. Pulmonary function in children with idiopathic scoliosis. *Scoliosis*. 2012 Mar 23;7(1):7.
4. Dimeglio A, Canavese F. The growing spine: How spinal deformities influence normal spine and thoracic cage growth. *European Spine Journal*. 2012;21(1):64-70.
5. Aslan C, Olgun ZD, Ertas ES, Ozusta S, Demirkiran G, Unal F, et al. Psychological profile of children who require repetitive surgical procedures for early onset scoliosis: Is a poorer Quality of Life the cost of a straighter spine? *Spine Deform*. 2017;5(5):334–41.
6. Jeans KA, Johnston CE, Stevens WR, Tran D-P. Exercise tolerance in children with early onset scoliosis: growing rod treatment “graduates.” *Spine Deform*. 2016;4(6):413–9.
7. Danielsson AJ, Wiklund I, Pehrsson K, Nachemson AL. Health-related quality of life in patients with adolescent idiopathic scoliosis: A matched follow-up at least 20 years after treatment with brace or surgery. *Eur Spine J*. 2001;10(4):278–88.
8. Audigé L, Bhandari M, Hanson B, Kellam J. A concept for the validation of fracture classifications. *J Orthop Trauma*. 2005;19(6):404–9.
9. Nolting D, Hansen BF, Keeling J, Kjær I. Prenatal development of the normal human vertebral corpora in different segments of the spine. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1998;23(21):2265–71.
10. Moore KL, Persaud TVN. *The developing human: clinically oriented embryology*. Saunders. 1998.
11. Canavese F, Dimeglio A. Normal and abnormal spine and thoracic cage development. *World J Orthop*. 2013;4(4):167–74.
12. Sarwark J, LaBella C. *Pediatric orthopaedics and sports injuries: A quick reference guide, 2nd Edition*. American Academy of Pediatrics. 2014.

- 
13. Sheehan DD, Grayhack J. Pediatric scoliosis and kyphosis: An overview of diagnosis, management, and surgical treatment. *Pediatr Ann.* 2017;46(12):e472–80.
  14. Kotwicki T, Chowanska J, Kinel E, Czaprowski D, Janusz P, Tomaszewski M. Optimal management of idiopathic scoliosis in adolescence. *Adolesc Health Med Ther.* 2013;4:59.
  15. Côté P, Kreitz BG, Cassidy JD, Dzus AK, Martel J. A study of the diagnostic accuracy and reliability of the scoliometer and Adam's forward bend test. *Spine (Phila Pa 1976).* 1998;23(7):796–803.
  16. Schwab FJ, Smith VA, Biserni M, Gamez L, Farcy JPC, Pagala M. Adult scoliosis: A quantitative radiographic and clinical analysis. *Spine (Phila Pa 1976).* 2002;27(4):387–92.
  17. Kim W, Porrino JA, Hood KA, Chadaz TS, Klauser AS, Taljanovic MS. Clinical evaluation, imaging, and management of adolescent idiopathic and adult degenerative scoliosis. *Curr Probl Diagn Radiol.* 2019;48(4):402-414.
  18. Fayssoux RS, Cho RH, Herman MJ. A history of bracing for idiopathic scoliosis in north America. *Clin Orthop Relat Res.* 2010;468(3):654-64.
  19. Mehta MH. Growth as a corrective force in the early treatment of progressive infantile scoliosis. *J Bone Jt Surg - Ser B.* 2005;87(9):1237–47.
  20. Akbarnia BA, Marks DS, Boachie-Adjei O, Thompson AG, Asher MA. Dual growing rod technique for the treatment of progressive early-onset scoliosis: A multicenter study. *Spine.* 2005;30(17 Suppl):S46-57.
  21. Goldberg CJ, Gillic I, Connaughton O, Moore D, Fogarty EE, Canny GJ, et al. Respiratory function and cosmesis at maturity in infantile-onset scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976).* 2003 Oct 15;28(20):2397-406.
  22. Nickel VL, Perry J, Garret A, Heppenstall M. The Halo. *J Bone Jt Surg.* 1968;50(7):1400–9.
  23. Sutton DC, Vaccaro AR, Cotler JM. Halo orthosis: Indications and application technique. *Oper Tech Orthop.* 1996;6(1):2–5.
  24. Ivancic PC, Beauchman NN, Tweardy L. Effect of halo-vest components on stabilizing the injured cervical spine *Spine (Phila Pa 1976).* 2009;34(2):167-75.

25. Bogunovic L, Lenke LG, Bridwell KH, Luhmann SJ. Preoperative halo-gravity traction for severe pediatric spinal deformity: Complications, radiographic correction and changes in pulmonary function. *Spine Deform*. 2013;1(1):33–9.
26. Sponseller PD, Takenaga RK, Newton P, Boachie O, Flynn J, Letko L, et al. The use of traction in the treatment of severe spinal deformity. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2008;33(21):2305–9.
27. Schmolke S, Gossé F. The halo fixator. *Oper Orthop Traumatol*. 2008;20(1):3–12.
28. Koller H, Zenner J, Gajic V, Meier O, Ferraris L, Hitzl W. The impact of halo-gravity traction on curve rigidity and pulmonary function in the treatment of severe and rigid scoliosis and kyphoscoliosis: a clinical study and narrative review of the literature. *Eur Spine J*. 2012;21(3):514-29.
29. Pinches E, Thompson D, Noordeen H, Liasis A, Nischal KK. Fourth and sixth cranial nerve injury after halo traction in children: A report of two cases. *J AAPOS*. 2004;8(6):580–5.
30. Limpaphayom N, Skaggs DL, McComb G, Krieger M, Tolo VT. Complications of halo use in children. 2009;34(8):779–84.
31. Garfin SR, Botte MJ, Waters RL, Nickel VL. Complications in the use of the halo fixation device. *J Bone Joint Surg Am*. 1986;68(3):320-5.
32. Botte MJ, Byrne TP, Abrams RA, Garfin SR. Halo Skeletal Fixation: Techniques of application and prevention of complications. *J Am Acad Orthop Surg*. 1996;4(1):44–53.
33. Bel J. Traction and suspensions (lower limb, upper limb, spine). 2013;5(13):1–12.
34. Stone JL, Gulabani A, Gorelick G, Vannemreddy SNK, Vannemreddy PSSV. Frontolateral pins for halo ring placement: Reassessment of a common neurosurgical procedure with CT measurements of skull thickness: Clinical article. *J Neurosurg Spine*. 2013;19(6):744–9.
35. Bullock SJ, Runciman RJ. Biomechanical evaluation of two halo pin designs, with, and without, intact periosteum. *J Biomech*. 2001;34:129–33.
36. Parent-weiss NM, Graziano GP. Prospective analysis of complication rate using two types of adult halo skull pins. *J Pediatr Orthop*. 2006;21–5.

- 
37. Copley LA, Pepe MD, Tan V, Sheth N, Dormans JP. A comparison of various angles of halo pin insertion in an immature skull model. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1999;24(17):1777-80.
  38. Ballock RT, Lee TQ, Triggs KJ, Woo SL, Garfin SR. The effect of pin location on the rigidity of the halo pin-bone interface. *Neurosurgery*. 1990 Feb;26(2):238-41.
  39. Lerman JA, Haynes RJ. Open versus closed halo rings comparison of fixation strengths. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2001;26(19):2102-4.
  40. Fleming BC, Krag MH, Huston DR, Sugihara S. Pin loosening in a halo-vest orthosis: A biomechanical study. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2000;25(11):1325-31.
  41. Sink EL, Karol LA, Sanders J, Birch JG, Johnston CE, Herring JA. Efficacy of perioperative halo-gravity traction in the treatment of severe scoliosis in children. *J Pediatr Orthop*. 2001;519-24.
  42. Arkader A, Hosalkar HS, Drummond DS, Dormans JP. Analysis of halo-orthoses application in children less than three years old. *J Child Orthop*. 2007;1(6):337-44.
  43. Yang S, Andras LM, Redding GJ, Skaggs DL. Early-onset scoliosis: A review of history, current treatment, and future directions. 2016;137(1).
  44. Daentzer D, Flörkemeier T. Conservative treatment of upper cervical spine injuries with the halo vest: An appropriate option for all patients independent of their age? *J Neurosurg Spine*. 2009;10(6):543-50.
  45. Cooper PR, Maravilla KR, Sklar FH, Moody SF, Clark WK. Halo immobilization of cervical spine fractures. Indications and results. *J Neurosurg*. 1979;50(5):603-10.
  46. Bransford RJ, Stevens DW, Uyeji S, Bellabarba C, Chapman JR. Halo vest treatment of cervical spine injuries: A success and survivorship analysis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2009;34(15):1561-6.
  47. Ersmark H, Dalen N, Kalen R. Cervical spine injuries: A follow-up of 332 patients. *Paraplegia*. 1990;28(1):25-40.
  48. Glaser JA, Whitehill R, Stamp WG, Jane JA. Complications associated with the halo-vest. *J Neurosurg*. 2009;65(6):762-9.

49. Heary RF, Hunt CD, Krieger AJ, Antonio C, Livingston DH. Acute stabilization of the cervical spine by halo-vest application facilitates evaluation and treatment of multiple trauma patients. *J Trauma*. 1992;33(3):445-51.
50. Anderson PA, Budorick TE, Easton KB, Bradford Henley M, Salciccioli GG. Failure of halo vest to prevent in vivo motion in patients with injured cervical spines. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1991;16(10):S501-5.
51. Mueller OM, Gasser T, Hellwig A, Dohna-Schwake C, Sure U. Unstable cervical spine injury in a toddler: Technical note. *Child's Nerv Syst*. 2010;26(11):1625–31.
52. Shi B, Xu L, Li Y, Liu Z, Sun X, Zhu Z, et al. Pre-operative halo-gravity traction in severe neurofibromatosis type 1 and congenital scoliosis with thoracic rotatory subluxation. *Clin Neurol Neurosurg*. 2019;187:105548.
53. Koller H, Zenner J, Gajic V, Meier O, Ferraris L, Hitzl W. The impact of halo-gravity traction on curve rigidity and pulmonary function in the treatment of severe and rigid scoliosis and kyphoscoliosis: A clinical study and narrative review of the literature. *Eur Spine J*. 2012;21(3):514–29.
54. Van Middendorp JJ, Slooff WBM, Nellestein WR, Öner FC. Incidence of and risk factors for complications associated with halo-vest immobilization: A prospective, descriptive cohort study of 239 patients. *J Bone Jt Surg - Ser A*. 2009;91(1):71–9.
55. Boakye M, Arrigo RT, Kalanithi PSA, Chen YR. Impact of age, injury severity score, and medical comorbidities on early complications after fusion and halo-vest immobilization for c2 fractures in older adults: A propensity score matched retrospective cohort study. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2012;37(10):854–9.
56. Menon KV, Al Rawi AE, Taif S, Al Ghafri K, Mollahalli KK. Orbital roof fracture and orbital cellulitis secondary to halo pin penetration: Case report. *Glob Spine J*. 2014;5(1):63–7.
57. Cheong ML, Chan CYW, Saw LB, Kwan MK. Pneumocranium secondary to halo vest pin penetration through an enlarged frontal sinus. *Eur Spine J*. 2009;18:269–71.
58. Glover AW, Zakaria R, May P, Barrett C. Overtightening of halo pins resulting in intracranial penetration, pneumocephalus, and epileptic seizure. *Int J Spine Surg*. 2013;7(1):e42–4.

- 
59. Hashimoto Y, Doita M, Hasuda K, Korosue K. Intracerebral pneumocephalus and hemiparesis as a complication of a halo vest in a patient with multiple myeloma: Case report. *J Neurosurg.* 2004;100:367–71.
60. Medhkour A, Massie L, Horn M. Acute subdural hematoma following halo pin tightening in a patient with bilateral vertebral artery dissection. *Neurochirurgie.* 2012;58(6):386–90.
61. Papagelopoulos PJ, Sapkas GS, Kateros KT, Papadakis SA, Vlamis JA, Falagas ME. Halo pin intracranial penetration and epidural abscess in a patient with a previous cranioplasty: case report and review of the literature. *Spine (Phila Pa 1976).* 2001;26(19):463–7.
62. Kingma R, Peters JM, Coene LNJEM. Intracranial penetration of a halo pin causing an epileptic seizure. *J Bone Jt Surg - Ser B.* 2006;88(12):1654–5.
63. Baum JA, Hanley EN Jr, Pullekines J. Comparison of halo complications in adults and children. *Spine (Phila Pa 1976).* 1989;14(3):251–2.
64. Fukui Y, Krag M, Huston D, Ambrose T, Vaccaro AR. Halovest dynamic loads: Full crossover comparison of three vest types. *Spine (Phila Pa 1976).* 2002;27(3):241–9.
65. Tomonaga T, Krag MH, Novotny JE. Clinical, radiographic, and kinematic results from an adjustable four-pad halovest. *Spine (Phila Pa 1976).* 1997;22(11):1199–208.
66. Sears W, Fazl M. Prediction of stability of cervical spine fracture managed in the halo vest and indications for surgical intervention. *J Neurosurg.* 1990;72(3):426–32.
67. Kraemer P, Lee MB, Englehardt H, Chapman JR, Bransford RJ. Infectious pin complication rates in halo vest fixators using ceramic versus metallic pins. *J Spinal Disord Tech.* 2010;23(8):59–62.
68. Rinella A, Lenke L, Whitaker C, Kim Y, Park SS, Peelle M, et al. Perioperative halo-gravity traction in the treatment of severe scoliosis and kyphosis. *Spine (Phila Pa 1976).* 2005;30(4):475–82.
69. Bogunovic L, Lenke LG, Bridwell KH, Luhmann SJ. Preoperative halo-gravity traction for severe pediatric spinal deformity: Complications, radiographic correction and changes in pulmonary function. *Spine Deform.* 2013;1(1):33–9.

- 70.** Sponseller PD, Takenaga RK, Newton P, Boachie O, Flynn J, Letko L, et al. The use of traction in the treatment of severe spinal deformity. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2008;33(21):2305–9.
- 71.** Letts RM, Palakar G, Bobechko WP. Preoperative skeletal traction in scoliosis. *J Bone Jt Surg - Ser A*. 1975;57(5):616–9.
- 72.** Gonzalez C, Ferris G, Díaz J, Fontana I, Nuñez J, Marín J. Kyphoscoliotic ventilatory insufficiency: Effects of long-term intermittent positive-pressure ventilation. *Chest*. 2003;124(3):857–62.
- 73.** Doherty MJ, Millner PA, Latham M, Dickson RA, Elliott MW. Non-invasive ventilation in the treatment of ventilatory failure following corrective spinal surgery. *Anaesthesia*. 2001;56(3):235–8.
- 74.** Vitale MG, Matsumoto H, Bye MR, Gomez JA, Booker WA, Hyman JE, et al. A retrospective cohort study of pulmonary function, radiographic measures, and quality of life in children with congenital scoliosis: An evaluation of patient outcomes after early spinal fusion. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2008;33(11):1242–9.
- 75.** Murray & Nadel's Textbook of Respiratory Medicine, 2-Volume Set - 7th Edition.
- 76.** Koumbourlis AC. Scoliosis and the respiratory system. *Paediatr Respir Rev*. 2006;7(2):152–60.
- 77.** Sucato DJ. Management of severe spinal deformity: Scoliosis and kyphosis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2010;35(25):2186–92.
- 78.** Blyth BJ, Bazarian JJ. Traumatic Alterations in Consciousness: Traumatic Brain Injury. *Emerg Med Clin North Am*. 2010;28(3):571-94.
- 79.** Mubarak SJ, Camp JF, Vuletich W, Wenger DR, Garfin SR. Halo application in the infant. *J Pediatr Orthop*. 1989;9(5):612-4.
- 80.** Moreira-Gonzalez A, Papay FE, Zins JE. Calvarial thickness and its relation to cranial bone harvest. *Plast Reconstr Surg*. 2006;117(6):1964–71.
- 81.** Pillai P, Sammet S, Ammirati M. Application accuracy of computed tomography-based, image-guided navigation of temporal bone. *Neurosurgery*. 2008;63(4):326–33.

- 
- 82.** Adeloye A, Kattan KR, Silverman FN. Thickness of the normal skull in the American blacks and whites. *Am J Phys Anthropol.* 1975;43(1):23–30.
- 83.** Ross MD, Lee KAP, Castle WM. Skull thickness of black and white races. *South African Med J.* 1976;50(16):635–8.
- 84.** Caird MS, Hensinger RN, Weiss N, Farley FA. Complications and problems in halo treatment of Toddlers. *J Pediatr Orthop.* 2006;26(6):750–2.
- 85.** Ballock RT, Lee TQ, Triggs KJ, Woo SLY, Garfin SR, Guthrie BL. The effect of pin location on the rigidity of the halo pin-bone interface. *Neurosurgery.* 1990;26(2):238-41.
- 86.** Mubarak SJ, Camp JF, Vuletich W, Wenger DR, Garfin SR. Halo Application in the Infant. *J Pediatr Orthop.* 1989;9(5):612–4.
- 87.** Shimizu T, Lenke LG, Cerpa M, Lehman RA, Pongmanee S, Sielatycki JA. Preoperative halo-gravity traction for treatment of severe adult kyphosis and scoliosis. *Spine Deform.* 2020;8(1):85–95.
- 88.** Li X, Zeng L, Li X, Chen X, Ke C. Preoperative halo-gravity traction for severe thoracic kyphoscoliosis patients from tibet: Radiographic correction, pulmonary function improvement, nursing, and complications. *Med Sci Monit.* 2017;23:4021–7.
- 89.** Yang C, Wang H, Zheng Z, Zhang Z, Wang J, Liu H, et al. Halo-gravity traction in the treatment of severe spinal deformity: a systematic review and meta-analysis. *ur Spine J.* 2017;26(7):1810-1816.
- 90.** Watanabe K, Lenke LG, Bridwell KH, Kim YJ, Hensley M, Koester L. Efficacy of perioperative halo-gravity traction for treatment of severe scoliosis ( $\geq 100^\circ$ ). *J Orthop Sci.* 2010;15(6):720–30.
- 91.** Park HY, Matsumoto H, Feinberg N, Roye DP, Kanj WW, Betz RR, et al. The clas- sification for early-onset scoliosis (C-EOS) correlates with the speed of vertical expandable prosthetic titanium rib (VEPTR) proximal anchor failure. *J Pediatr Orthop.* 2017;37(6):381–6.
- 92.** Nemani VM, Kim HJ, Bjerke-Kroll BT, Yagi M, Sacramento-Dominguez C, Akoto H, et al. Preoperative halo-gravity traction for severe spinal deformities at an SRS-GOP site in West Africa: Protocols, complications, and results. *Spine (Phila Pa 1976).* 2015;40(3):153–61.