



ORIGINAL

Inserción de tornillos iliosacros S1 en la sala de tomografía computarizada. Una alternativa para mejorar la seguridad en el tratamiento percutáneo de las lesiones posteriores del anillo pélvico



J.V. Andrés-Peiró ^{a,b,*}, C.A. Piedra-Calle ^{a,b}, F. Blasco-Casado ^a,
E. García-Albó ^a, J. Tomàs-Hernández ^{a,b}, J. Selga-Marsà ^{a,b},
Y. García-Sánchez ^c, M. de Albert de Delás-Vigo ^c y J. Teixidor-Serra ^{a,b}

^a Departamento de Cirugía Ortopédica y Traumatología, Hospital Universitari Vall d'Hebron, Barcelona, España

^b Departamento de Cirugía Ortopédica y Traumatología, Vall d'Hebron Institut de Recerca (VHIR), Barcelona, España

^c Departamento de Radiología Musculoesquelética, Hospital Universitari Vall d'Hebron, Barcelona, España

Recibido el 17 de mayo de 2023; aceptado el 9 de octubre de 2023

Disponible en Internet el 31 de octubre de 2023

PALABRAS CLAVE

Pelvis;
Fractura;
Tornillo iliosacro;
Dismorfismo;
Navegación;
Tomografía;
Complicaciones

Resumen

Introducción: La principal complicación de la osteosíntesis percutánea con tornillos iliosacros es la malposición del implante, que puede ocasionar lesiones vasculares y nerviosas. La variabilidad anatómica del sacro puede dificultar la inserción del tornillo bajo control fluoroscópico. De entre los métodos descritos para mejorar la precisión de esta técnica, destaca el uso de la tomografía computarizada (TC). El objetivo del estudio es comparar los resultados de la implantación de tornillos iliosacros con fluoroscopia y TC.

Metodología: Estudio de cohortes retrospectivo sobre 66 tornillos iliosacros implantados en 56 pacientes durante 11 años. Los tornillos fueron introducidos con fluoroscopia en el quirófano o con TC en el área de radiodiagnóstico. Recogimos datos sobre las características de los pacientes, sus lesiones, el tratamiento y los resultados clínicos y radiológicos.

Resultados: Cuarenta y siete tornillos fueron implantados con fluoroscopia y 19 con TC. El 18,2% de los tornillos perforaba el corredor S1. Todos ellos se intervinieron con fluoroscopia (0 vs. 34%; $p < 0,01$). Pese a ello, los intervenidos en TC acumulaban más criterios de dismorfismo sacro que los intervenidos con fluoroscopia (2,2 vs. 1,6; $p = 0,02$). El corredor S1 en la TC axial era más estrecho en aquellos en que se había producido una perforación (18,8 vs. 21,0 mm; $p = 0,02$). Dos casos con perforación desarrollaron una radiculalgia S1. Fue necesario retirar 2 tornillos endopélvicos.

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: josevicente.andres@vallhebron.cat (J.V. Andrés-Peiró).

Conclusión: Aconsejamos el uso de la guía por TC para la inserción de tornillos iliosacros en pacientes con sacros displásicos o corredores estrechos en S1 en instalaciones que no dispongan de otros métodos de navegación.

© 2023 SECOT. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

KEYWORDS

Pelvis;
Fracture;
Iliosacral screw;
Dysmorphism;
Navigation;
Computed tomography;
Complications

Insertion of S1 iliosacral screws in the computed tomography room: An alternative to improve safety in the percutaneous management of posterior pelvic ring injuries

Abstract

Introduction: The main complication of percutaneous iliosacral screw fixation is implant malposition, which can lead to vascular and nerve damage. The anatomical variability of the sacrum can make screw insertion difficult under fluoroscopic guidance. Among the methods described to improve the accuracy of this technique, stands out the use of computed tomography (CT). The aim of this study is to compare the results of iliosacral screw insertion with fluoroscopy or CT navigation.

Methodology: Retrospective cohort study of 66 iliosacral screws in 56 patients during 11 years. The screws were inserted with fluoroscopy in the operating room or with CT in the radiodiagnosis area. We collected data on patient characteristics, lesions, treatment, and clinical and radiological results.

Results: Forty-seven screws were inserted with fluoroscopy and 19 with CT. A percentage of 18.2 of screws perforated the S1 osseous corridor. All of them were inserted with fluoroscopy guidance (0 vs. 34%; $p < 0.01$). Those operated with CT accumulated more sacral dysmorphism criteria than those operated with fluoroscopy (2.2 vs. 1.6; $p = 0.02$). The S1 corridor on the axial CT view was narrower in those in whom perforation had occurred (18.8 vs. 21.0 mm; $p = 0.02$). Two cases with perforation developed S1 radiculalgia. Two endopelvic screws had to be removed.

Conclusion: We advise the use of CT guidance for iliosacral screw insertion in patients with sacral dysmorphism or narrow S1 corridors in facilities where other navigation methods are not available.

© 2023 SECOT. Published by Elsevier España, S.L.U. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Introducción

La estabilización percutánea con tornillos iliosacros (TIS) juega un papel insustituible en la osteosíntesis de las fracturas inestables del anillo pélvico. No obstante, la variabilidad en la morfología del sacro puede dificultar la interpretación de la anatomía radiológica, provocando la penetración de los implantes en espacios anatómicos extraóseos y la lesión de estructuras vasculares y nerviosas¹⁻³.

En los últimos años, han surgido diversas tecnologías basadas en la navegación que permiten una mejor implantación de los TIS en un entorno libre de radiación. No obstante, se trata de instrumentos actualmente costosos, lo que dificulta su utilización generalizada⁴⁻⁷.

La implantación de TIS con control por tomografía computarizada (TC) en el área de radiodiagnóstico surge como una alternativa a la fluoroscopia convencional que permite mejorar la precisión de este procedimiento. Se trata de un método eficaz y seguro que sí es aplicable en la mayoría de los centros hospitalarios⁸⁻¹⁴.

El objetivo del presente estudio es comparar los resultados de la inserción de TIS empleando como guía de imagen el control fluoroscópico (CF) convencional en el quirófano o

la TC en el área de radiodiagnóstico. El objetivo secundario es la descripción de la técnica de inserción de TIS con TC.

Metodología

Obtuvimos la aprobación de nuestro Comité de Ética en la Investigación Clínica –referencia PR(ATR)369/2020– previamente a la realización del presente estudio de cohortes retrospectivo, y su redacción se adaptó a las recomendaciones de la declaración STROBE. Todos los pacientes fueron intervenidos en un único hospital público y universitario de nivel III durante el periodo de septiembre de 2010 a septiembre de 2021. Incluimos a todos los pacientes esqueléticamente maduros (edad igual o superior a 18 años) con fracturas del anillo pélvico cuya lesión posterior se había estabilizado con TIS en S1 guiados por TC en el área de radiodiagnóstico o, alternativamente, en el quirófano con CF y que disponían de una TC de control postoperatorio. El uso o no de guía intraoperatoria por TC para la implantación de los TIS definió los 2 grupos de exposición. Excluimos las disociaciones lumbopélvicas y aquellos casos en que se había llevado a cabo una reducción abierta de la lesión posterior.

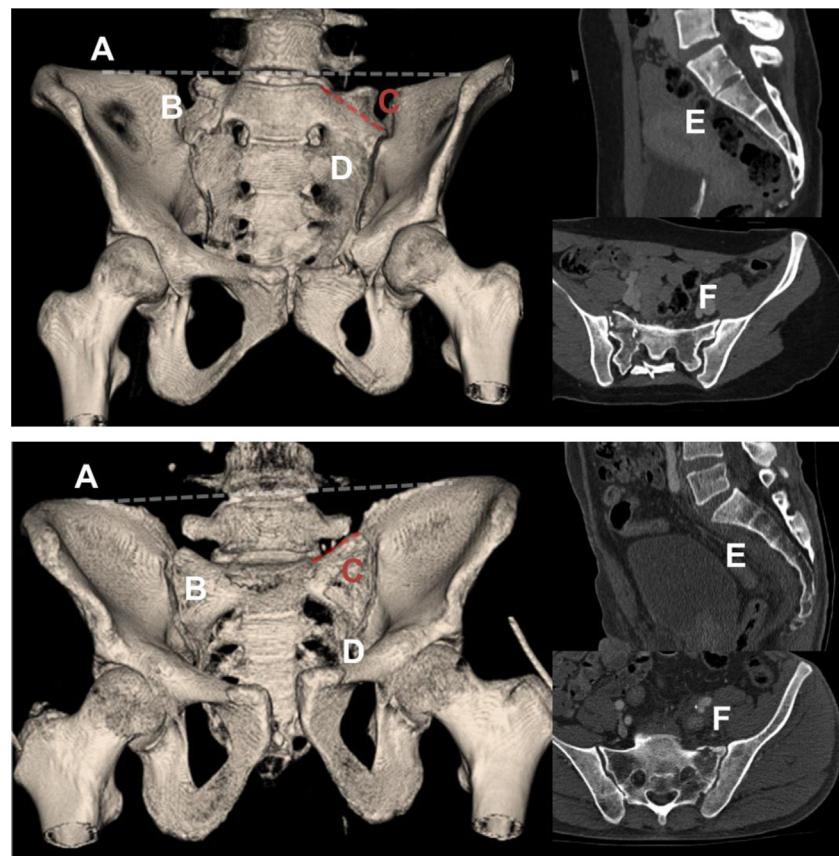


Figura 1 Criterios anatómicos del dismorfismo sacro. Se muestran las imágenes por TC de una pelvis que cumple todos los criterios anatómicos de dismorfismo sacro (arriba) y otra que no cumple ninguno (abajo): A. Colinealidad de la plataforma S1 con la cresta ilíaca. En la imagen de abajo, la plataforma queda a un nivel claramente inferior con respecto a las crestas ilíacas. B. Tubérculos mamilares. C. Pendiente sacra aguda. En la imagen de abajo, la pendiente es inversa. D. Foramen S1 no esférico e irregular. E. Persistencia de disco intervertebral residual entre S1 y S2. F. Articulaciones sacroilíacas machihembradas. En pelvis no dismórficas, el perfil de las sacroilíacas en el corte axial de la TC es regular.

Se consideró un periodo de seguimiento postoperatorio de un año.

Se recogieron datos sobre las características basales de los pacientes, sus lesiones, el tratamiento y los resultados clínicos y radiológicos en formularios de papel que fueron transcritos a una base de datos con identidad codificada en formato Microsoft Excel. Para la valoración radiológica, se empleó el programa RAIM Viewer (Corporació Sanitària Parc Taulí, España). Las imágenes valoradas fueron: radiografías simples de pelvis obtenidas con carácter urgente durante el manejo inicial del paciente; TC realizada antes de la intervención para inserción de los TIS, ya fuera obtenida durante la atención urgente o en algún momento antes de la cirugía con motivo de su planificación; TC intraoperatoria, en caso de que los TIS fueran insertados con ayuda de esta modalidad de imagen; y/o TC de control postoperatoria, en caso de que los TIS fueran insertados empleando CF. Cada imagen fue evaluada en una sola ocasión por uno de los 3 investigadores designados (CAPC, FBC y EGA). Para la clasificación de las lesiones se emplearon los sistemas descritos por Tile¹⁵, Denis et al.¹⁶ y Day et al.¹⁷.

La proyección outlet en radiografía simple y la TC preoperatoria se utilizaron para determinar la presencia de los 6 criterios de dismorfismo sacro (DS)¹ (fig. 1). Asimismo, se

valoró la anchura máxima en milímetros del corredor S1 en los cortes coronal y axial de la TC preoperatoria. La posición definitiva de los implantes se valoró en la TC intraoperatoria o, alternativamente, en la postoperatoria. Se determinó la penetración de espacios anatómicos atendiendo a los criterios propuestos por Smith et al.⁴: grado 0, sin perforación; grado 1, perforación < 2 mm; grado 2, perforación 2-4 mm; y grado 3, perforación > 4 mm.

El análisis de los datos se llevó a cabo empleando el paquete informático Stata 14.2 (StataCorp, EE. UU.). Las variables continuas fueron representadas empleando la media y la desviación estándar. Para las variables categóricas se emplearon recuentos y porcentajes. Puesto que no fue posible garantizar la distribución normal de las variables cuantitativas, empleamos la prueba no paramétrica de Wilcoxon-Mann-Whitney para la comparación de medias. Para comparar variables categóricas empleamos la prueba no paramétrica de chi-cuadrado de Pearson. Cualquier prueba bilateral con un resultado $p < 0,05$ fue considerada estadísticamente significativa.

Todos los pacientes fueron atendidos en nuestro servicio de emergencias según las guías del protocolo de Soporte Vital Avanzado en Trauma. Para el manejo inicial de la hemorragia pélvica se emplearon tanto el empaquetamiento



Figura 2 Detalles técnicos para la inserción de tornillos iliosacros en sala de TC.

preperitoneal como la angioembolización. La estabilización inicial de la lesión esquelética pélvica incluyó el uso de hamacas pélvicas y fijadores externos. En todos los pacientes se insertó una sonda vesical por vía uretral o, alternativamente, a través de una cistostomía. El tratamiento de las fracturas abiertas incluyó, atendiendo a la mejor evidencia, la administración precoz de antibióticos, el desbridamiento quirúrgico e irrigación de las heridas y una adecuada cobertura. Una vez reanimados, y en función de sus necesidades terapéuticas, los pacientes fueron transferidos a una unidad de cuidados intensivos o a la planta de hospitalización. La cirugía para la estabilización pélvica definitiva se realizó cuando los pacientes se encontraron suficientemente estables y los procedimientos se hubieron planificado debidamente. En todos los casos, se administró profilaxis antibiótica perioperatoria según guías hospitalarias. El tratamiento definitivo de todas las lesiones fue llevado a cabo por un equipo de cirujanos con especial dedicación al trauma pélvico. La decisión de insertar los TIS en el quirófano con CF o en sala de TC fue tomada por los coautores senior del trabajo (JTS y JTH) basándose en los criterios

de DS y la morfología del corredor en S1 en las pruebas de imagen disponibles.

Los pacientes en que se utilizó CF fueron intervenidos en un quirófano convencional bajo anestesia general. En función del volumen del paciente y de las necesidades de fijación de los elementos anteriores de la pelvis, el paciente fue ubicado en decúbito supino (habitualmente) o prono; siempre sobre una mesa radiotransparente. La secuencia de fijación fue planificada atendiendo al patrón de inestabilidad de cada caso. Para la inserción de los TIS, se empleó la técnica descrita originalmente por Matta y Saucedo, en la que la visualización del corredor es posible gracias a una combinación de CF en proyecciones AP, outlet e inlet¹⁸. Añadimos la proyección CF del sacro en perfil para ubicar el punto de entrada del TIS en el ilíaco¹⁹.

Los pacientes en que se implantaron los TIS en la sala de TC recibieron anestesia general en el quirófano y fueron trasladados bajo intubación orotraqueal y ventilación mecánica al área de radiodiagnóstico, ubicada en una planta inferior y a un recorrido de 60 m desde el área quirúrgica. El quirófano empleado para la anestesia quedó desocupado y

preparado ante la eventual necesidad de conversión a cirugía abierta. En los casos en que solo fue necesario insertar un TIS, el paciente fue posicionado en decúbito lateral con el lado lesionado hacia arriba sobre la mesa de exploración de la TC. Para mantener la posición deseada, se colocaron soportes a ambos lados del tórax y del abdomen, que fueron sujetados a la mesa de exploración con cintas adhesivas (fig. 2A y B). En caso de requerir una osteosíntesis posterior bilateral, el paciente fue ubicado en prono, evitando el decúbito sobre las prominencias óseas. Una vez el paciente estuvo posicionado, se comprobó que ningún elemento interfería con el normal deslizamiento de la mesa de exploración. Para la ubicación preliminar del punto de entrada del TIS, se utilizó el testigo láser de la TC cuando este se proyectaba en un corte que ofrecía un corredor seguro en todos los planos (fig. 2C). Ocasionalmente, se empleó una aguja espinal para anticipar la posición de la aguja guía utilizada para la inserción del TIS. Una vez determinado el corte que ofrecía un corredor seguro, se intentó que la aguja del TIS se mantuviese paralela al testigo láser en el plano sagital, de modo que solo tuviesen que controlarse el punto de entrada y la navegación de la aguja en el plano axial. El entallado incluyó un área rectangular periférica al punto de entrada anticipado (fig. 2D). Tanto el enfermero instrumentista como el cirujano principal se situaron a la espalda del paciente (fig. 2E). La posición de la aguja guía fue comprobada frecuentemente con ayuda de la TC, confirmando que atravesaba un corredor seguro hasta superar la zona de lesión (fig. 2F). Una vez determinada la longitud definitiva del implante con ayuda de medidores y de la propia TC, se procedió al brocado e inserción del TIS (fig. 2G). Al terminar, se adquirió una TC de pelvis completa para certificar la adecuada posición de los implantes y la correcta reducción de la lesión. En caso de que, una vez concluida la estabilización posterior, se requiriese la estabilización de los elementos anteriores, el paciente fue trasladado de vuelta al quirófano y operado del resto de sus lesiones pélvicas. Todos los procedimientos en TC se realizaron con carácter multidisciplinar, contando con la colaboración de radiólogos y técnicos en Radiología con amplia experiencia en el intervencionismo musculoesquelético, que manejaron el aparato de TC y colaboraron en la interpretación de las imágenes (fig. 3).

Para la osteosíntesis con TIS se emplearon tornillos canulados de 6,5 y 7,5 mm con rosca parcial o completa, en función del patrón lesional; en todos los casos se emplearon arandelas. La estabilización del marco anterior de la pelvis incluyó la osteosíntesis con placas, el uso de fijaciones externas supraacetabulares como tratamiento definitivo durante 6 a 8 semanas y el tratamiento conservador. En caso necesario, la misma sesión quirúrgica comprendió la estabilización de otras lesiones esqueléticas. Las intervenciones concluyeron con la hemostasia, el lavado y el cierre por planos de las heridas quirúrgicas.

Los pacientes fueron sometidos a observación en régimen de hospitalización hasta que alcanzaron una mejoría suficiente de sus lesiones y procesos médicos. La fisioterapia se inició de forma tan precoz como fue posible. No obstante, se mantuvo la descarga de la articulación sacroiliaca o hemisacro lesionados hasta las 8-12 semanas del procedimiento.

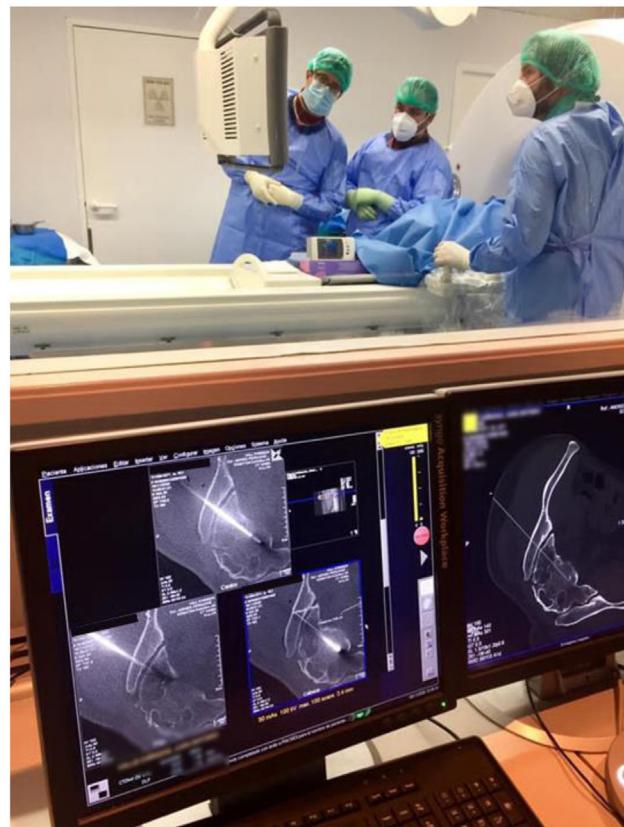


Figura 3 Colaboración multidisciplinar en la inserción de tornillos iliosacros en TC. A la izquierda, los 2 cirujanos ejecutan el procedimiento. A la derecha, el radiólogo musculoesquelético intervencionista controla la TC. El técnico en Radiología colabora en el control del aparato y la generación de imágenes con interés clínico durante el procedimiento.

El seguimiento ambulatorio contempló revisiones periódicas clínicas y radiológicas.

Resultados

Durante el periodo de estudio, en nuestro hospital se operaron 279 lesiones del anillo pélvico. Detectamos un total de 75 pacientes con TIS implantados en sala de TC o con CF que disponían de una TC de control postoperatoria. Descartamos 14 casos con seguimiento insuficiente y 5 en que se llevó a cabo una reducción abierta. Finalmente, disponíamos de 56 pacientes y 66 TIS para el análisis (10 casos bilaterales). Se trataba de 34 hombres y 22 mujeres con una edad media de $45,7 \pm 19,0$ años. El 85,2% de los pacientes presentaba un Injury Severity Score ≥ 16 , lo que representa una situación politraumática. Destacaron las fracturas del sacro (76,8%) y, consecuentemente, los patrones de inestabilidad parcial o Tile B (83,9%) provocados por accidentes de tráfico (55,4%) o precipitaciones (30,4%). Hubo 2 fracturas abiertas.

La fijación externa se empleó en la estabilización inicial de 25 pacientes. La angioembolización se utilizó en el control de la hemorragia pélvica en 16 casos, mientras que el empaquetamiento preperitoneal se utilizó en una

Tabla 1 Características de los pacientes, sus lesiones y el tratamiento

<i>Pacientes</i>	
Sexo	34 hombres, 16 mujeres
Edad (años)	45,7 ± 19,0
ISS	27,1 ± 12,9
ASA	I = 16, II = 18, III = 20, IV = 2
Mecanismo lesional	Accidente de tráfico = 31, precipitación = 17, otros = 8
<i>Lesiones</i>	
Clasificación de Tile ^a	B, inestabilidad posterior parcial (rotacional) = 47 B1, libro abierto = 5 B2, compresión lateral unilateral = 36 B3, compresión lateral y libro abierto contralateral = 6 C, inestabilidad posterior completa (rotacional y vertical) = 9 C1, unilateral = 5 C2, bilateral = 3 C3, asociada a fractura de acetábulo = 1
Lesión anatómica posterior ^b	Fractura-luxación sacroiliaca = 7; clasificación de Day: II, la luxación abarca un tercio a dos tercios de la articulación = 1 III, la luxación abarca toda la articulación = 6 Fractura del sacro = 43; clasificación de Denis: I, lateral al foramen = 17 II, transforaminal = 25 III, medial al foramen = 1 Luxación sacroiliaca = 16; clasificación de Tile: B1, inestabilidad rotacional = 7 C1, inestabilidad multidireccional = 9
<i>Tratamientos</i>	
Estabilización inicial	Hamaca pélvica = 31, FE = 25
Control de la hemorragia pélvica	Angioembolización = 12, empaquetamiento = 1
Navegación de tornillo iliosacro	Fluoroscopia = 39; sala de TC = 17
Estabilización anterior	Conservador = 27, FE = 18, placa = 11

ASA: American Society of Anesthesiologists physical status classification; FE: fijación externa; ISS: Injury Severity Score; TC: tomografía computarizada.

^a Clasificación según Tile¹⁵ sobre un total de 56 lesiones del anillo pélvico.

^b Clasificación individual de cada una de las 66 lesiones posteriores tratadas con tornillo iliosacro según las clasificaciones de Day et al.¹⁷, Denis et al.¹⁶ y Tile¹⁵.

sola ocasión. Los TIS fueron insertados en sala de TC en 17 pacientes (30,4%) y en el quirófano con CF en 39 (69,6%), representando un total de 19 y 47 TIS, respectivamente. Todos los pacientes permanecieron estables durante el traslado desde el área quirúrgica hasta la de radiodiagnóstico, así como durante el proceso guiado por TC. El promedio de días desde el traumatismo hasta la inserción de los TIS fue de $10,0 \pm 9,7$ días, lo que no se vio influido por la técnica empleada (9,6 días de demora con CF vs. 11,1 con TC; $p = 0,27$). Las hospitalizaciones fueron prolongadas, con un promedio de $46,1 \pm 33,7$ días. La **tabla 1** recoge información detallada sobre las características de los pacientes, sus lesiones y el tratamiento aplicado.

Doce de los 66 TIS perforaban el corredor S1 en algún punto (18,2%). Las pelvis intervenidas acumulaban un promedio de $1,9 \pm 1,7$ criterios de DS, siendo más acusado en pacientes intervenidos con TC con respecto a CF (promedio 2,6 vs. 1,6; $p = 0,02$). Todas las características morfológicas del DS se presentaron con más frecuencia en los pacientes intervenidos en TC, excepto la presencia del disco S1 residual, que también fue la variante más habitual (**tabla 2**). Pese a ello, todas las perforaciones ocurrieron en casos en

que se empleó CF (0,0 vs. 34,0%; $p < 0,01$). Contrariamente, no existían diferencias en cuanto al DS en pacientes con y sin perforación intervenidos con CF (promedio de criterios de DS 1,7 vs. 1,7; $p = 0,81$). La anchura máxima del corredor S1 en cortes axiales de TC era menor en los casos en que se había producido una perforación (18,8 vs. 21,0 mm; $p = 0,02$), lo que no se confirmó para el plano coronal (20,0 vs. 19,6 mm; $p = 0,73$). En cambio, no existían diferencias entre TC y CF en la anchura del corredor en el plano axial (20,0 vs. 20,8 mm para TC y CF, respectivamente; $p = 0,55$) o coronal (19,6 vs. 20,0 mm; $p = 0,73$), por lo que esta no fue una variable determinante para la indicación de una u otra técnica. El patrón fracturario tampoco tuvo una influencia significativa sobre la indicación quirúrgica o el riesgo de perforación de espacios.

Ocho de las perforaciones eran grado III y 4 eran grado IV. Siete casos afectaron al foramen S1 ipsilateral (inferior), 4 a la endopelvis (anterior) y uno al canal medular sacro (posterior). En 2 de los TIS en que se había producido una perforación anterior, se consideró que su localización ponía en riesgo estructuras endopélvicas e impedía su correcta labor mecánica (**fig. 4**). Dado que se trataba de pacientes de

Tabla 2 Criterios de dismorfismo sacro en función de la navegación de tornillos iliosacos por control fluoroscópico o tomografía computarizada

	Colinealidad S1 con cresta ilíaca	Tubérculos mamillares	Pendiente sacra aguda	Foramen S1 irregular	Disco S1 residual	Sacroilíacas machihembradas
CF	7 (18,0)	10 (25,6)	7 (18,0)	10 (25,6)	17 (43,6)	12 (30,8)
TC	5 (29,4)	10 (58,8)	8 (47,1)	8 (47,1)	6 (35,3)	8 (47,1)
Total	12 (21,4)	20 (35,7)	15 (26,8)	18 (32,1)	23 (41,1)	20 (35,7)

CF: control fluoroscópico; TC: tomografía computarizada.

La distribución de los criterios de dismorfismo sacro se representa como recuento (porcentaje).

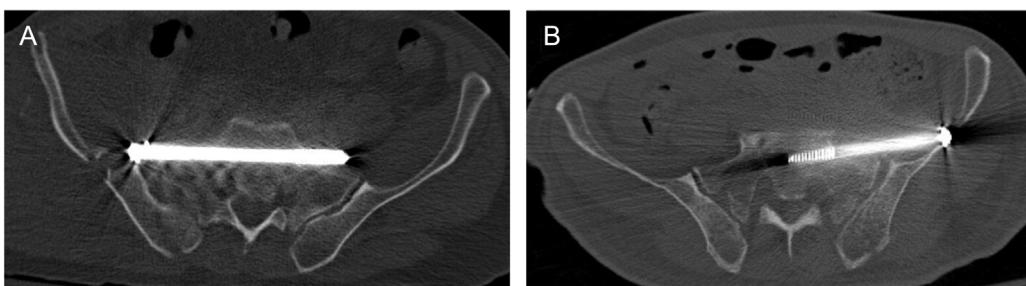


Figura 4 Casos con perforación anterior del tornillo iliosacro en que se procedió a la retirada precoz de los implantes. A. La imagen corresponde a un paciente de 72 años que sufrió un accidente de circulación con producto de una fractura-luxación sacroilíaca tipo III de la clasificación de Day (Tile B2 y Young-Burgess LC-II). La inserción con guía fluoroscópica produjo la perforación anterior del tornillo iliosacro, que fue retirado tan pronto como fue descubierta. La malposición no tuvo repercusiones sobre estructuras endopélvicas. B. Mujer de 81 años, víctima de un accidente de tráfico, que sufre una lesión similar a la previa: fractura-luxación sacroilíaca Day 1, Tile B2 y Young-Burgess LC-II. Tras la técnica fluoroscópica, se retiró el tornillo iliosacro. No se produjo ninguna afectación de estructuras endopélvicas.

edad avanzada y con bajas demandas que sufrían inestabilidades posteriores parciales, se optó simplemente por retirar los TIS, lo que no interfirió en la consolidación. Dos casos desarrollaron una radiculalgia S1 tras la perforación del foramen, pero no un déficit motor. Los síntomas eran tolerables y mejoraron de forma progresiva con la administración de neuromoduladores orales, por lo que se retuvieron los TIS. No hubo otros casos de conflicto con estructuras nobles ubicadas en los espacios perforados. No se detectaron otras complicaciones locales o causas de reintervención relacionadas con la estabilización con TIS durante el periodo de estudio. Todas las fracturas consolidaron y todas las luxaciones se consideraron resueltas en un promedio de $4,6 \pm 2,4$ meses, sin diferencias entre CF y TC.

Discusión

El manejo de las fracturas pélvicas inestables representa un verdadero reto en el ámbito del trauma ortopédico. La correcta osteosíntesis de los elementos posteriores de la pelvis es de capital importancia para la consecución de un anillo estable. La reducción abierta, ejecutada habitualmente a través de abordajes posteriores a la articulación sacroiliaca, ofrece altas tasas de complicaciones, destacando la infección²⁰. La descripción de las técnicas de fijación percutánea con TIS supuso una auténtica revolución en el manejo de estas fracturas, siendo una herramienta insustituible en la osteosíntesis moderna del anillo pélvico^{18,21}.

La osteosíntesis percutánea con TIS implica un riesgo de infección mínimo, siendo la principal complicación la malposición de los implantes, que se ubica globalmente en un 6% y puede llegar hasta un 30%. La penetración del tornillo en espacios anatómicos puede ocasionar o deteriorar lesiones neurológicas en las raíces L5 y S1²²⁻²⁴. En ese caso, es aconsejable la retirada o modificación en la posición del tornillo²². Es particularmente frecuente la irrupción en el foramen S1, donde existe un margen de seguridad promedio entre la cortical y el implante de tan solo 3 mm²⁵. En el presente trabajo, encontramos que un 18,2% de los TIS perforaban el corredor S1. Interpretamos que la cifra es atribuible a la inclusión sólo de pacientes que disponían de TC postoperatoria, que probablemente fueron solicitadas en fracturas más complejas o en casos en que existía una sospecha previa de penetración. Por otra parte, las propias maniobras de reducción pueden provocar un deterioro del estado neurológico, por lo que siempre que sea posible (paciente consciente y colaborador) debería documentarse la exploración neurológica preoperatoria¹⁸.

Existen diversos factores de riesgo para la malposición de los TIS, destacando la obesidad del paciente, la malreducción de la fractura, los patrones de inestabilidad vertical, la estrechez del corredor en S1 y el DS^{1,2,23,24}. El DS se ha reportado en la población con una prevalencia que oscila entre el 30 y el 50%^{1,2,26,27}. La morfología del sacro displásico impide el uso de tornillos transacros y translíacos, y dificulta la interpretación anatómica del corredor, incrementando el

riesgo de penetración de espacios extraóseos y la consecuente aparición de lesiones vasculares y nerviosas¹⁻³.

La navegación con TC es un método eficaz para mejorar la precisión en la implantación de TIS con respecto al CF. Permite una mejor interpretación de la anatomía de la pelvis posterior en pacientes obesos o con DS, contribuyendo a una mejor colocación de los implantes y a la reducción de las complicaciones. Facilita las correcciones en la posición de los TIS y la identificación de las estructuras en riesgo en tiempo real. Además, puede organizarse en la mayoría de los centros hospitalarios, pues no requiere medios técnicos más allá de los habitualmente presentes en cualquier departamento de Radiología⁸⁻¹⁴. En nuestra serie, todas las penetraciones se produjeron en casos intervenidos con CF. El uso de la TC resultó en la ausencia de malposición en los implantes pese a una mayor agregación de criterios de DS, lo que es coherente con los datos previamente reportados⁸⁻¹⁴. Paradójicamente, no encontramos diferencias en cuanto a la intensidad del DS en pacientes intervenidos con CF en que se había dado una penetración de espacios con respecto a los que no. Interpretamos este hallazgo como una limitación del CF por encima de las dificultades que plantea la evaluación radiológica de la variable anatomía del sacro. No obstante, el uso de la TC plantea una serie de contrapartidas.

La TC no puede llevarse a cabo en pacientes con obesidad extrema que superen el peso máximo soportado por la mesa de exploración o el diámetro del túnel¹⁰. Otro inconveniente es la necesidad de colaboración multidisciplinar que, aunque enriquecedora, podría ocasionar demoras por incompatibilidades en la agenda de cirujanos y radiólogos. En nuestro trabajo, afortunadamente, esta colaboración no ha ocasionado un incremento significativo en la demora de los procedimientos. La eventual aparición de una lesión vascular o nerviosa durante la realización del procedimiento en un área de radiodiagnóstico plantea un dilema sobre la seguridad del paciente⁴. La principal preocupación con el uso de la TC es la dosis de radiación ionizante acumulada tanto en el paciente como en el personal, con sus inevitables riesgos para la salud a largo plazo. Siempre es aconsejable el ajuste de dosis al mínimo y la protección radiológica de áreas corporales especialmente sensibles^{8,10,11}. También es necesario subrayar la necesidad de un uso racional de la TC sobre la CF en la inserción de TIS, ya que la CF puede ofrecer buenos resultados en pacientes con un corredor apto en S1.

En los últimos años, se han desarrollado instrumentos basados en la navegación que persiguen mejorar los resultados de la inserción de TIS con CF al mismo tiempo que reducen las dosis de radiación de la TC. Se trata de técnicas cuya precisión supera la del CF, pero aún no la de la TC. Además, requieren de la participación de medios técnicos muy costosos, lo que limita su aplicación en la mayoría de los entornos⁴⁻⁷.

Admitimos las limitaciones del presente estudio, incluyendo su naturaleza retrospectiva, la ausencia de aleatorización y la evaluación de cada imagen radiológica en una única ocasión y por un solo investigador, lo que impide un análisis de la concordancia. Debido a la habitual concatenación de procedimientos en una misma sesión quirúrgica, no fue posible recoger la duración concreta de la colocación del TIS, como tampoco disponemos de datos sobre la dosis de

radiación asociada a los procedimientos. No obstante, creamos que el considerable tamaño muestral, la descripción pormenorizada de esta técnica y su enorme potencial de aplicación en entornos diversos hacen que los mensajes que transmite este trabajo sean de interés para la comunidad ortopédica.

Como conclusión, los TIS son un método seguro y eficaz en la estabilización de lesiones del marco posterior de la pelvis, siendo la malposición de los implantes su complicación más habitual. La navegación con CF puede ser técnicamente demandante, especialmente en pacientes con DS. Aconsejamos el uso de la guía por TC para la inserción de TIS en pacientes con sacros displásicos o corredores estrechos en S1 en instalaciones que no dispongan de otros métodos de navegación.

Nivel de evidencia

Nivel de evidencia III.

Disponibilidad de los datos

Los datos que soportan los hallazgos de este trabajo están disponibles a través del autor de correspondencia, JVAP, previa solicitud razonable.

Consideraciones éticas

Este estudio fue aprobado por nuestro Comité de Ética en la Investigación Clínica (CEIC); número de referencia PR(ATR)369/2020. Este es un estudio retrospectivo. Su realización no implicó riesgo alguno para los pacientes y todos los datos recogidos están privados de nexo con la identidad de los participantes. Consecuentemente, el Comité de Ética aprobó una dispensa completa del Consentimiento Informado.

Financiación

El presente estudio no contó con fuentes de financiación externas.

Autoría

Todos los autores contribuyeron en la concepción y diseño del estudio. La preparación de los materiales, recogida de los datos y su análisis fueron realizados por JVAP, CAPC, FBC y EGA. El primer borrador del manuscrito fue escrito por JVAP y todos los autores contribuyeron en la creación de las sucesivas versiones. Todos los autores leyeron y aprobaron la versión definitiva.

Conflictos de intereses

Los autores tienen conflictos de interés que declarar con Smith & Nephew, Zimmer Biomet, Link Orthopaedics, Stryker y MBA Surgical Empowerment.

Responsabilidades éticas

Aprobado por el Comité de Ética en la Investigación Clínica (CEIC) del Vall d'Hebron Institut de Recerca (VHIR); referencia PR(ATR)369/2020.

Bibliografía

1. Miller AN, Routt MLC. Variations in sacral morphology and implications for iliosacral screw fixation. *J Am Acad Orthop Surg.* 2012;20:8–16, <http://dx.doi.org/10.5435/JAAOS-20-01-008>.
2. Kaiser SP, Gardner MJ, Liu J, Routt MLC, Morshed S. Anatomic determinants of sacral dysmorphism and implications for safe iliosacral screw placement. *J Bone Joint Surg Am.* 2014;96:e120, <http://dx.doi.org/10.2106/JBJS.M.00895>.
3. Laux CJ, Weigelt L, Osterhoff G, Slankamenac K, Werner CML. Feasibility of iliosacral screw placement in patients with upper sacral dysplasia. *J Orthop Surg Res.* 2019;14:418, <http://dx.doi.org/10.1186/s13018-019-1472-7>.
4. Smith HE, Yuan PS, Sasso R, Papadopolous S, Vaccaro AR. An evaluation of image-guided technologies in the placement of percutaneous iliosacral screws. *Spine (Phila Pa 1976).* 2006;31:234–8, <http://dx.doi.org/10.1097/01.brs.0000194788.45002.1b>.
5. Theologis AA, Burch S, Pekmezci M. Placement of iliosacral screws using 3D image-guided (O-Arm) technology and Stealth Navigation: Comparison with traditional fluoroscopy. *Bone Joint J.* 2016;98-B:696–702, <http://dx.doi.org/10.1302/0301-620X.98B5.36287>.
6. Thakkar SC, Thakkar RS, Sirisreetreerux N, Carrino JA, Shafiq B, Hasenboehler EA. 2D versus 3D fluoroscopy-based navigation in posterior pelvic fixation: Review of the literature on current technology. *Int J Comput Assist Radiol Surg.* 2017;12:69–76, <http://dx.doi.org/10.1007/s11548-016-1465-5>.
7. Lu S, Yang K, Lu C, Wei P, Gan Z, Zhu Z, et al. O-arm navigation for sacroiliac screw placement in the treatment for posterior pelvic ring injury. *Int Orthop.* 2021;45:1803–10, <http://dx.doi.org/10.1007/s00264-020-04832-2>.
8. Sciulli RL, Daffner RH, Altman DT, Altman GT, Sewecke JJ. CT-guided iliosacral screw placement: Technique and clinical experience. *AJR Am J Roentgenol.* 2007;188:W181–92, <http://dx.doi.org/10.2214/AJR.05.0479>.
9. Barrick EF, O'Mara JW, Lane HE. Iliosacral screw insertion using computer-assisted CT image guidance: A laboratory study. *Comput Aided Surg.* 1998;3:289–96, 10.1002/(SICI)1097-0150(1998)3:6<289:AID-IGS2>3.0.CO;2-6.
10. Daffner RH, Sciulli RL. CT-guided iliosacral screw placement. *Semin Musculoskelet Radiol.* 2013;17:407–15, <http://dx.doi.org/10.1055/s-0033-1356470>.
11. Jacob AL, Messmer P, Stock KW, Suhm N, Baumann B, Regazzoni W, et al. Posterior pelvic ring fractures: Closed reduction and percutaneous CT-guided sacroiliac screw fixation. *Cardiovasc Intervent Radiol.* 1997;20:285–94, <http://dx.doi.org/10.1007/s002709900153>.
12. Nelson DW, Duwelius PJ. CT-guided fixation of sacral fractures and sacroiliac joint disruptions. *Radiology.* 1991;180:527–32, <http://dx.doi.org/10.1148/radiology.180.2.2068323>.
13. Ebraheim NA, Coombs R, Jackson WT, Rusin JJ. Percutaneous computed tomography-guided stabilization of posterior pelvic fractures. *Clin Orthop Relat Res.* 1994;222–8.
14. Gandhi G, Vijayvargiya M, Shetty V, Agashe V, Maheshwari S, Monteiro J. CT-guided percutaneous sacroiliac stabilization in unstable pelvic fractures: A safe and accurate technique. *Rev Bras Ortop.* 2018;53:323–31, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rboe.2017.03.013>.
15. Tile M. Pelvic ring fractures: Should they be fixed? *J Bone Joint Surg Br.* 1988;70:1–12, <http://dx.doi.org/10.1302/0301-620X.70B1.3276697>.
16. Denis F, Davis S, Comfort T. Sacral fractures: An important problem. Retrospective analysis of 236 cases. *Clin Orthop Relat Res.* 1988;227:67–81.
17. Day AC, Kinmont C, Bircher MD, Kumar S. Crescent fracture-dislocation of the sacroiliac joint: A functional classification. *J Bone Joint Surg Br.* 2007;89:651–8, <http://dx.doi.org/10.1302/0301-620X.89B5.18129>.
18. Matta JM, Saucedo T. Internal fixation of pelvic ring fractures. *Clin Orthop Relat Res.* 1989;83–97.
19. Giannoudis PV, Papadokostakis G, Alpantaki K, Kontakis G, Chalidis B. Is the lateral sacral fluoroscopic view essential for accurate percutaneous sacroiliac screw insertion? An experimental study. *Injury.* 2008;39:875–80, <http://dx.doi.org/10.1016/j.injury.2008.01.049>.
20. Kellam JF, McMurtry RY, Paley D, Tile M. The unstable pelvic fracture. Operative treatment. *Orthop Clin North Am.* 1987;18:25–41.
21. Routt ML, Kregor PJ, Simonian PT, May KA. Early results of percutaneous iliosacral screws placed with the patient in the supine position. *J Orthop Trauma.* 1995;9:207–14, <http://dx.doi.org/10.1097/00005131-199506000-00005>.
22. Alzobi OZ, Alborno Y, Toubasi A, Derbas J, Kayali H, Nasef H, et al, et al. Complications of conventional percutaneous sacroiliac screw fixation of traumatic pelvic ring injuries: A systematic review and meta-analysis. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2023;33:3107–17, <https://doi.org/10.1007/s00590-023-03543-9>.
23. Hadeed MM, Woods D, Koerner J, Strage KE, Mauffrey C, Parry JA. Risk factors for screw breach and iatrogenic nerve injury in percutaneous posterior pelvic ring fixation. *J Clin Orthop Trauma.* 2022;33:101994, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcot.2022.101994>.
24. Routt ML, Simonian PT, Mills WJ. Iliosacral screw fixation: Early complications of the percutaneous technique. *J Orthop Trauma.* 1997;11:584–9, <http://dx.doi.org/10.1097/00005131-199711000-00007>.
25. Templeman D, Schmidt A, Freese J, Weisman I. Proximity of iliosacral screws to neurovascular structures after internal fixation. *Clin Orthop Relat Res.* 1996;194–8, <http://dx.doi.org/10.1097/00003086-199608000-00023>.
26. Conflitti JM, Graves ML, Chip Routt ML Jr. Radiographic quantification and analysis of dysmorphic upper sacral osseous anatomy and associated iliosacral screw insertions. *J Orthop Trauma.* 2010;24:630–6, <http://dx.doi.org/10.1097/BOT.0b013e3181dc50cd>.
27. Gardner MJ, Morshed S, Nork SE, Ricci WM, Chip Routt ML Jr. Quantification of the upper and second sacral segment safe zones in normal and dysmorphic sacra. *J Orthop Trauma.* 2010;24:622–9, <http://dx.doi.org/10.1097/BOT.0b013e3181cf0404>.