

ADVERTIMENT. L'accés als continguts d'aquesta tesi queda condicionat a l'acceptació de les condicions d'ús establertes per la següent llicència Creative Commons:  <https://creativecommons.org/licenses/?lang=ca>

ADVERTENCIA. El acceso a los contenidos de esta tesis queda condicionado a la aceptación de las condiciones de uso establecidas por la siguiente licencia Creative Commons:  <https://creativecommons.org/licenses/?lang=es>

WARNING. The access to the contents of this doctoral thesis it is limited to the acceptance of the use conditions set by the following Creative Commons license:  <https://creativecommons.org/licenses/?lang=en>



TESIS DOCTORAL

**FACTORES PREDICTORES DE
COMPLICACIONES EN LA CONVERSIÓN DE
FIJACIÓN EXTERNA A FIJACIÓN INTERNA
EN FRACTURAS DE LAS EXTREMIDADES
INFERIORES**

Diego González Morgado

Directores:

Jose Vicente Andrés Peiró

Joan Minguell Monyart

Nayana Joshi Jubert

Tutora:

Nayana Joshi Jubert

Programa de Doctorado en Cirugía y Ciencias Morfológicas

Departamento de Cirugía

Universitat Autònoma de Barcelona

Barcelona, 2025



TESIS DOCTORAL

**FACTORES PREDICTORES DE
COMPLICACIONES EN LA CONVERSIÓN DE
FIJACIÓN EXTERNA A FIJACIÓN INTERNA EN
FRACTURAS DE LAS EXTREMIDADES
INFERIORES**

Diego González Morgado

Directores:

Jose Vicente Andrés Peiró

Joan Minguell Monyart

Nayana Joshi Jubert

Tutora:

Nayana Joshi Jubert

Programa de Doctorado en Cirugía y Ciencias Morfológicas

Departamento de Cirugía

Universitat Autònoma de Barcelona

Barcelona, 2025

Agradecimientos

A la Dra. Nayana Joshi, tutora y directora de esta tesis, por ser una fuente de inspiración en la faceta docente de nuestra profesión y por fomentar el crecimiento académico.

Al Dr. Joan Minguell, jefe de servicio y director de esta tesis, por ser un ejemplo de superación que trasciende el ámbito profesional. Su dedicación a la excelencia y su apoyo incondicional han sido determinantes en mi formación. Gracias por brindarme las oportunidades y los medios que han hecho de estos años una etapa inigualable.

Al Dr. Jose Vicente Andrés, director y principal impulsor de este trabajo, por ser un modelo de constancia, perfeccionismo y compromiso con nuestra profesión. Su paciencia y guía en mis primeros pasos en investigación clínica han sido invaluable. Pero, sobre todo, gracias por la confianza que has depositado en mí durante estos años y para la realización de esta tesis.

A Marina, mi pareja, por su tiempo, su cariño, su comprensión y su apoyo.

A mis padres y hermano, por ser el pilar fundamental de mi camino. Por inculcarme el valor del esfuerzo, por demostrarme que lo importante no es solo el resultado, sino la dedicación y el empeño con los que se enfrenta cada desafío. Sin ellos, este sueño no sería posible.

Listado de abreviaturas

1. **AO** – *Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen* (Grupo de estudio para la osteosíntesis)
2. **ASA** – *American Society of Anesthesiologists* (Sociedad Americana de Anestesiología)
3. **ATLS** – *Advanced Trauma Life Support* (Soporte Vital Avanzado en Trauma)
4. **EF** – External fixator o external fixation
5. **EFORT** – *European Federation of National Associations of Orthopaedics and Traumatology* (Federación Europea de Asociaciones Nacionales de Ortopedia y Traumatología)
6. **FE** – Fijador externo o fijación externa
7. **IQR** – Rangos Intercuartílicos
8. **ISS** – *Injury Severity Score* (Escala de Gravedad de Lesiones)
9. **MuST** – *musculoskeletal temporary surgery* (cirugía temporal musculoesquelética)
10. **OTA** – *Orthopaedic Trauma Association* (Asociación Americana de Trauma)
11. **PPT** – Paciente politraumatizado
12. **PRISM** – *Prompt Individualised Safe Management* (Manejo Seguro, Individualizado y Rápido)

Índice

RESUMEN.....	13
ABSTRACT.....	17
1. INTRODUCCIÓN	21
1.1. Fijación Externa.....	21
1.1.1. Definición y desarrollo histórico de la fijación externa.....	21
1.1.2. Elementos estructurales esenciales	25
1.1.2.1. Elementos de fijación al hueso	25
1.1.2.2. Elementos de estabilización.....	29
1.1.2.3. Elementos de conexión	30
1.1.3. Tipos de fijadores externos y comportamiento mecánico	32
1.1.3.1. Fijadores monolaterales	32
1.1.3.2. Fijadores bilaterales	35
1.1.3.3. Fijadores circulares	35
1.1.3.4. Fijadores híbridos	35
1.1.4. Aplicaciones	38
1.1.4.1. Cirugía de control de daños	38
1.1.4.2. Manejo de fracturas abiertas o con compromiso de partes blandas.....	38
1.1.4.3. Reducción indirecta de fracturas.....	39
1.1.4.4. Distracción Osteogénica	39
1.1.4.5. Corrección de deformidades y contracturas de partes blandas	40
1.2. Bases fisiopatológicas y estrategias en el manejo del politraumatismo	42

1.2.1. Reacción inflamatoria sistémica en el politraumatismo.....	42
1.2.2. El fenómeno de “second-hit” o “segundo golpe”.....	43
1.2.3. Lesión de partes blandas y respuesta reparativa.....	44
1.2.4. La cirugía de control de daños	46
1.2.5. Bases de la fijación externa en trauma	48
1.3. El foco de fractura y su estabilización quirúrgica.....	50
1.3.1. Fases de la consolidación ósea	50
1.3.2. Estabilidad absoluta y relativa.....	52
1.3.3. Limitaciones de la fijación externa	53
1.3.4. La conversión de fijación externa a interna	54
1.4. Dos escenarios; una técnica	58
1.4.1. Tratamiento por etapas en las fracturas de huesos largos de la extremidad inferior.....	58
1.4.2. Tratamiento por etapas en las fracturas abiertas o periarticulares complejas de la extremidad inferior	59
1.4.3. Potenciales complicaciones.....	61
2. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO.....	63
3. HIPÓTESIS.....	67
4. OBJETIVOS.....	69
5. MATERIAL Y MÉTODOS.....	71
5.1. Trabajo nº1: Factores de riesgo para complicaciones en el tratamiento por etapas mediante fijación externa temporal y enclavado endomedular en fracturas de la tibia y del fémur.....	71
5.1.1. Diseño y configuración de la muestra	71
5.1.2. Intervenciones	74

5.1.3. Variables investigadas	77
5.1.4. Métodos estadísticos	82
5.2. Trabajo nº2: Métodos de inmovilización temporal para fracturas-luxaciones cerradas de tobillo de baja energía.....	83
5.2.1. Diseño y configuración de la muestra.....	83
5.2.2. Intervenciones	85
5.2.3. Variables investigadas	91
5.2.4. Métodos estadísticos	98
6. RESULTADOS	99
6.1. Trabajo nº1: Factores de riesgo para complicaciones en el tratamiento por etapas mediante fijación externa temporal y enclavado endomedular en fracturas de la tibia y del fémur	99
6.2. Trabajo nº2: Métodos de inmovilización temporal para fracturas-luxaciones cerradas de tobillo de baja energía.....	110
7. DISCUSIÓN.....	119
7.1. Trabajo nº1: Factores de riesgo para complicaciones en el tratamiento por etapas mediante fijación externa temporal y enclavado endomedular en fracturas de la tibia y del fémur	119
7.1.1. Interpretación contextualizada de los resultados	119
7.1.2. Limitaciones	124
7.2. Trabajo nº2: Métodos de inmovilización temporal para fracturas-luxaciones cerradas de tobillo de baja energía.....	126
7.2.1. Interpretación contextualizada de los resultados	126
7.2.2. Limitaciones	131
7.3. Discusión global de la investigación	133

7.4. Contraposición de los resultados a las hipótesis	136
8. CONCLUSIONES.....	139
9. LÍNEAS DE FUTURO	141
10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	145
11. ANEXOS.....	169
11.1. Anexos Trabajo nº1.....	169
11.1.1. Anexo 1: Dictamen favorable del trabajo nº1 del Comité de Ética de Investigación con Medicamentos	169
11.1.2. Anexo 2: Formulario de recogida de datos	171
11.1.3. Anexo 3: Artículo sobre el trabajo publicado	176
11.2. Anexos Trabajo nº2.....	184
11.2.1. Anexo 4: Dictamen favorable del trabajo nº1 del Comité de Ética de Investigación con Medicamentos	184
11.2.2. Anexo 5: Artículo sobre el trabajo publicado	186

RESUMEN

Introducción: El tratamiento por etapas de fracturas de fémur y tibia con fijación externa (FE) seguido de osteosíntesis definitiva es crucial en pacientes politraumatizados (PPT). También es una estrategia útil en fracturas abiertas o periarticulares de miembros inferiores con daño en tejidos blandos, asegurando su óptima recuperación antes de la fijación interna definitiva.

Justificación del estudio: Aunque el tratamiento por etapas de fracturas diafisarias de tibia y fémur mediante FE seguida de enclavado endomedular es el estándar en PPT, aún existen cuestiones sin resolver sobre los factores asociados a complicaciones y a resultados postoperatorios. En las fracturas periarticulares con compromiso cutáneo, la FE temporal es una estrategia bien establecida. Sin embargo, en las fracturas-luxaciones de tobillo, la falta de consenso sobre el método de inmovilización inicial más adecuado revela un importante vacío de conocimiento. Esta tesis se estructura en torno a dos estudios que abordan aspectos poco investigados del manejo por etapas de fracturas de miembros inferiores utilizando FE temporal.

Hipótesis y Objetivos: La hipótesis principal de este estudio plantea que, en fracturas diafisarias de fémur y tibia tratadas mediante FE y conversión a enclavado endomedular, la infección del trayecto del pin incrementa el riesgo de infección relacionada con la fractura. Las hipótesis secundarias son: (1) una menor distancia entre los pines del FE y el foco de fractura se asocia a un mayor riesgo de infección; (2) la subespecialización en cirugía ortopédica de trauma actúa como factor protector frente a complicaciones infecciosas en este mismo contexto; (3) en fracturas-luxaciones cerradas de tobillo, el uso de FE no se asocia a una mayor tasa de complicaciones postoperatorias en comparación con la férula de yeso, a pesar de emplearse en pacientes con mayor complejidad; y (4) en

RESUMEN

estas mismas fracturas, la FE se vincula a una mejor calidad de reducción inicial y una menor tasa de pérdida secundaria de la misma.

El objetivo principal de este estudio fue identificar los factores que contribuyen al desarrollo de infección relacionada con la fractura tras el tratamiento por etapas con FE seguida de enclavado endomedular en fracturas diafisarias de fémur y tibia. Los objetivos secundarios fueron: (1) analizar el impacto de la especialización quirúrgica en las modalidades del tratamiento y en los resultados clínicos de estas fracturas; (2) comparar las características basales y los resultados clínicos y radiológicos en fracturas-luxaciones cerradas de tobillo inmovilizadas inicialmente con FE frente a férula de yeso; y (3) determinar si existieron diferencias en la tasa de pérdida de reducción entre ambos métodos de inmovilización en esta misma entidad.

Material y métodos:

Trabajo n°1: Factores de riesgo para complicaciones en el tratamiento por etapas mediante fijación externa temporal y enclavado endomedular en fracturas de tibia y fémur

Este estudio de cohortes retrospectivo incluyó pacientes con fracturas de tibia y/o fémur tratados con FE temporal, seguida de enclavado endomedular. Se registraron las características de los pacientes, el tipo de lesión, los tratamientos aplicados y los resultados clínicos. Los principales resultados investigados fueron la infección del trayecto del pin y la infección relacionada con la fractura.

Trabajo n°2: Métodos de inmovilización temporal para fracturas-luxaciones cerradas de tobillo de baja energía

Este estudio de cohortes retrospectivo comparó las características basales de los pacientes, la presencia de compromiso cutáneo y las tasas de complicaciones según el

RESUMEN

método de inmovilización inicial (férula de yeso o FE) en pacientes con fracturas-luxaciones cerradas de tobillo. Se evaluó la calidad de la reducción tras la inmovilización inicial y tras la cirugía definitiva.

Resultados:

Trabajo n°1: Factores de riesgo para complicaciones en el tratamiento por etapas mediante fijación externa temporal y enclavado endomedular en fracturas de tibia y fémur

El estudio incluyó 103 pacientes con 119 fracturas: 73 de tibia (61,3%) y 46 de fémur (38,7%). Un 31,1% de los FE fueron implantados por especialistas en trauma ortopédico. En fracturas de fémur, los especialistas en trauma ortopédico colocaron los pines a una distancia media de 78,2 mm del foco de fractura, frente a 37,3 mm en cirujanos sin esta especialización ($p<0,01$), diferencia que no se observó en fracturas de tibia. La infección del trayecto del pin ocurrió en siete casos (5,9%), mientras que la infección relacionada con la fractura se presentó en nueve pacientes (7,6%): dos en fémur (4,5%) y siete en tibia (10,6%), ocurriendo exclusivamente en casos donde el FE había sido implantado por cirujanos sin especialización en trauma ortopédico ($p=0,03$). Además, la infección relacionada con la fractura fue significativamente más frecuente en pacientes con infección previa del trayecto del pin en comparación con aquellos que no la desarrollaron (57,1% vs. 4,5%; $p<0,01$)

Trabajo n°2: Métodos de inmovilización temporal para fracturas-luxaciones cerradas de tobillo de baja energía

El estudio incluyó 194 pacientes, 138 inmovilizados con férula (71,1%) y 56 con FE (28,9%). La pérdida secundaria de la reducción ocurrió en tres pacientes del grupo de férula (2,2%). Las edades promedio en los grupos de FE y férula fueron de 63,2 y 56,1

RESUMEN

años, respectivamente ($p=0,01$). La fractura del maléolo posterior y la presencia de flictenas fueron más frecuentes en los pacientes tratados con FE (69,6% vs. 43,5% para fractura del maléolo posterior y 76,8% vs. 20,3% para flictenas; $p=0,05$ y $p<0,01$, respectivamente). La tasa de complicaciones postoperatorias fue del 8,9% en el grupo de FE y del 10,9% en el grupo tratado con férula ($p=0,69$). La calidad de reducción final fue satisfactoria en el 79,8% de los pacientes tratados con férula, frente al 64,3% de los tratados con FE ($p=0,02$).

Conclusiones: A partir de los hallazgos obtenidos, se concluye que: (1) la infección del trayecto del pin incrementa significativamente el riesgo de infección relacionada con la fractura tras el enclavado endomedular en fracturas diafisarias de fémur y tibia; (2) en esta mismo contexto, la subespecialización en trauma ortopédico actúa como factor protector frente a dicha complicación en el tratamiento por etapas con FE; (3) en fracturas-luxaciones cerradas de tobillo, las tasas de complicaciones postoperatorias fueron similares entre pacientes tratados con FE y férula, pese a mayor complejidad en el primer grupo; y (4) la calidad de la reducción inicial y la estabilidad mantenida fueron comparables entre ambos métodos de inmovilización.

ABSTRACT

Introduction: The staged treatment of femoral and tibial fractures with external fixation (EF) followed by definitive osteosynthesis is crucial in polytrauma patients. It is also useful for open or periarticular fractures of the lower limbs with soft tissue damage, ensuring optimal recovery before definitive internal fixation.

Study Justification: Although staged treatment of diaphyseal tibial and femoral fractures using EF followed by intramedullary nailing is the standard approach in polytrauma patients, questions remain regarding factors associated with complications and postoperative outcomes. In periarticular fractures with soft tissue compromise, temporary EF is a well-established strategy. However, the lack of consensus on the most appropriate initial immobilization method in ankle fracture-dislocations highlights a significant knowledge gap. This thesis is structured around two studies that address underexplored aspects of staged treatment for lower limb fractures using temporary EF.

Hypotheses and Objectives: The primary hypothesis of this study is that, in diaphyseal femoral and tibial fractures treated with staged management using temporary EF followed by intramedullary nailing, the development of pin tract infections increases the risk of fracture-related infections. The secondary hypotheses are: (1) a shorter distance between EF pins and the fracture site is associated with a higher risk of infection; (2) subspecialization in orthopaedic trauma surgery acts as a protective factor against infection-related complications in this context; (3) in closed low-energy ankle fracture-dislocations, the use of EF for temporary immobilization is not associated with a higher rate of postoperative complications compared to splints, despite being more frequently employed in complex cases with poorer baseline profiles; and (4) in the same injury

ABSTRACT

pattern, EF is associated with improved initial reduction quality and a lower rate of secondary loss of reduction.

The primary objective of this study was to identify factors contributing to the development of fracture-related infections following staged treatment with temporary EF and intramedullary nailing in diaphyseal femoral and tibial fractures. The secondary objectives were: (1) to assess the impact of surgical subspecialization on treatment modalities and clinical outcomes in these fractures; (2) to compare baseline characteristics, as well as clinical and radiological outcomes, between closed low-energy ankle fracture-dislocations temporarily immobilized with EF and those immobilized with splints; and (3) to determine whether differences existed in the rate of loss of reduction between these two temporary immobilization methods.

Materials and Methods:

Study No. 1: Risk factors for complications in staged treatment with temporary external fixation and intramedullary nailing in tibial and femoral fractures

This retrospective cohort study included patients with tibial and/or femoral fractures treated with temporary EF followed by intramedullary nailing. Patient characteristics, type of injury, treatments applied, and clinical outcomes were recorded. The primary outcomes were pin tract infection and fracture-related infection.

Study No. 2: Temporary immobilization methods for closed low-energy ankle fracture-dislocations

This retrospective cohort study compared the baseline characteristics of patients, the presence of soft tissue compromise, and complication rates according to the initial immobilization method (splint or EF) in patients with closed ankle fracture-dislocations.

ABSTRACT

The quality of reduction was evaluated after initial immobilization and after definitive surgery.

Results:

Study No. 1: Risk factors for complications in staged treatment with temporary external fixation and intramedullary nailing in tibial and femoral fractures

The study included 103 patients with 119 fractures: 73 tibial (61.3%) and 46 femoral (38.7%). A total of 31.1% of EF were implanted by orthopedic trauma specialists. In femoral fractures, orthopedic trauma specialists placed the pins at an average distance of 78.2 mm from the fracture site, compared to 37.3 mm by non-specialist surgeons ($p<0.01$); this difference was not observed in tibial fractures. Pin tract infection occurred in seven cases (5.9%), while fracture-related infection was observed in nine patients (7.6%): two in the femur (4.5%) and seven in the tibia (10.6%). All cases of fracture-related infection occurred in patients whose EF had been implanted by non-specialist surgeons ($p=0.03$). Additionally, fracture-related infection was significantly more frequent in patients who had previously developed pin tract infection compared to those who had not (57.1% vs. 4.5%; $p<0.01$).

Study No. 2: Temporary immobilization methods for closed low-energy ankle fracture-dislocations

The study included 194 patients, with 138 immobilized with a splint (71.1%) and 56 with EF (28.9%). Secondary loss of reduction occurred in three patients from the splint group (2.2%). The average age in the EF and splint groups was 63.2 and 56.1 years, respectively ($p=0.01$). Posterior malleolus fractures and the presence of blisters were more frequent in patients immobilized with EF (69.6% vs. 43.5% for posterior malleolus fractures and 76.8% vs. 20.3% for blisters; $p=0.05$ and $p<0.01$, respectively).

ABSTRACT

Postoperative complication rates were 8.9% in the EF group and 10.9% in the splint group ($p=0.69$). Satisfactory final quality of reduction was achieved in 79.8% of patients immobilized with a splint, compared to 64.3% of those immobilized with EF ($p=0.02$).

Conclusions: Based on the findings obtained, the following conclusions can be drawn: (1) the presence of pin tract infection significantly increases the risk of fracture-related infections following intramedullary nailing in diaphyseal femoral and tibial fractures; (2) in this same context, subspecialization in orthopedic trauma surgery acts as a protective factor against this complication in the setting of staged treatment with temporary EF; (3) in closed low-energy ankle fracture-dislocations, postoperative complication rates were comparable between patients temporarily immobilized with EF and those treated with splints, despite the former presenting with more complex fractures and worse baseline profiles; and (4) the quality of initial reduction and the rate of secondary loss of reduction were similar across both immobilization methods.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Fijación Externa

La fijación externa (FE) es ampliamente utilizada en el manejo inicial de fracturas complejas, permitiendo estabilizar rápidamente los segmentos óseos sin un abordaje directo al foco de la fractura. Ofrece una solución menos invasiva y más rápida y versátil frente a la fijación interna en contexto de politraumatismo. En las últimas décadas, los avances en tecnología, materiales y configuraciones biomecánicas han ampliado sus aplicaciones, incluyendo la corrección de deformidades, el tratamiento de infecciones óseas y el alargamiento óseo.

1.1.1. Definición y desarrollo histórico de la fijación externa

Un fijador externo (FE) es un dispositivo que estabiliza la estructura esquelética a través mediante de elementos de fijación percutánea al hueso que se conectan externamente entre sí, asegurando una posición adecuada en el espacio.

La FE tiene una larga trayectoria en la historia de la Cirugía Ortopédica y Traumatología, remontándose a los primeros intentos de tracción descritos por Hipócrates alrededor del año 400 a.C. (**Figura 1**). Estos métodos rudimentarios utilizaban varillas y dispositivos de cuero para mantener la alineación ósea sin intervenir directamente en el foco de la fractura, sentando las bases para las técnicas modernas de FE (1).

INTRODUCCIÓN

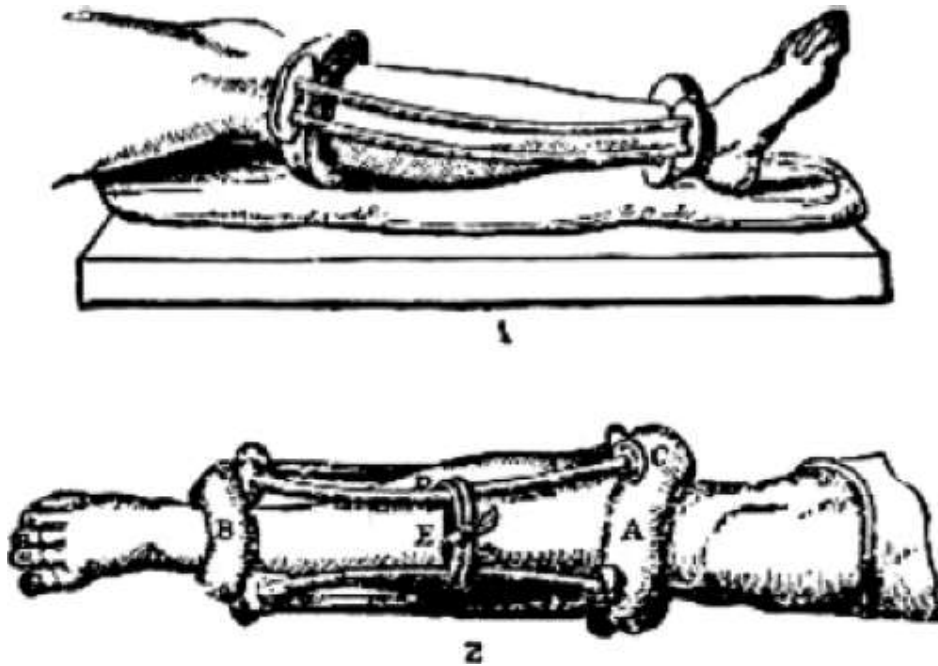


Figura 1. (1) Vista lateral de un dispositivo de fijación externa utilizado por Hipócrates, que data del año 377 a.C., (2) vista anterior del mismo. A y B: Cintas de cuero; C: Cavidades para encajes de varillas; D: Varillas de madera; E: Cuerda utilizada para estabilizar las varillas. Tomado de: Bick EM. *Sourcebook of Orthopaedics*. Baltimore, MD: Williams & Wilkins; 1937.

En el siglo XIX, la introducción de la anestesia y los principios de antisepsia revolucionó las técnicas quirúrgicas, aunque el riesgo de infección seguía limitando el abordaje directo del foco de fractura. En 1843, Joseph-François Malgaigne presentó un dispositivo rudimentario para la fijación de fracturas de rótula, consistente en unos ganchos conectados que mantenían la alineación de la fractura (**Figura 2A**). A pesar de las frecuentes infecciones que asociaba su uso, este avance marcó un hito en la estabilización esquelética por métodos quirúrgicos. En 1897, Clayton Parkhill diseñó en Estados Unidos el primer dispositivo de FE, utilizando tornillos conectados por placas y pernos metálicos (**Figura 2B**). Aunque pasó desapercibido en su tiempo, este diseño sentó las bases para dispositivos más estables con aplicaciones en fracturas complejas y pseudoartrosis (2,3). Pocos años después (1902) y en Europa, Albin Lambotte perfeccionó estos métodos, diseñando un dispositivo que incorporaba barras metálicas

INTRODUCCIÓN

paralelas al eje de la fractura, mejorando las capacidades de alineación y rigidez del sistema (**Figura 2C**) (1).

Antes de la Primera Guerra Mundial, diversos cirujanos contribuyeron al desarrollo de la FE con innovaciones específicas. En Inglaterra, Hey-Groves introdujo pines bicorticales conectados a barras externas para estabilizar fracturas complejas, destacando su uso en lesiones por armas de fuego. Este método demostró que la FE podía favorecer la consolidación ósea sin intervenir directamente en el foco de la fractura (4). En Francia, Ombredanne diseñó un dispositivo con una barra de aluminio flexible para el manejo de fracturas en pacientes pediátricos (1). Mientras tanto, en Denver (Estados Unidos), Leonard Freeman amplió los avances de Parkhill, y Howard Lilienthal en Nueva York exploró la FE en fracturas infectadas mediante pines conectados a varillas de yeso (5,6). Sin embargo, el método de Lilienthal no ganó aceptación en América debido a su complejidad técnica y su alta tasa de complicaciones.

Durante la Primera Guerra Mundial, la saturación de los servicios médicos, tanto militares como civiles, frenó el avance de las técnicas de FE (1). En el periodo entreguerras, Henri Judet perfeccionó estas técnicas mediante el uso de pines transfixiantes (**Figura 2D**) (1). En 1938, Raoul Hoffmann, en Suiza, introdujo el concepto de “osteotaxis”, una técnica mínimamente invasiva con pines percutáneos aplicada en la reducción cerrada de fracturas, lo que aumentó la relevancia clínica de los FE (7). Durante la Segunda Guerra Mundial, la FE fue oficialmente prohibida en Estados Unidos debido a complicaciones como infecciones y adherencias musculares en los sitios de transfixión. Aunque Roger Anderson y otros cirujanos intentaron implementarla en hospitales de campaña, las técnicas resultaron demasiado complejas y lentas para el entorno bélico (8).

INTRODUCCIÓN

En 1944, su uso fue desaconsejado, lo que desacreditó la FE y frenó su desarrollo durante años (8).

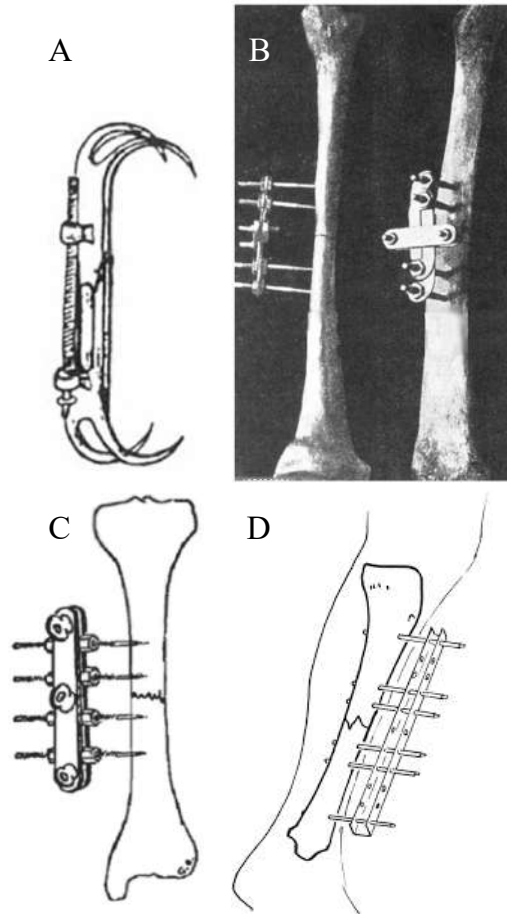


Figura 2. A. Fijador externo para rótula de Malgaigne. B. Fijador externo de Parkhill. C Fijador externo de Lambotte. D. Fijador externo de Henri Judet. Tomado y adaptado de: Hernigou P. History of external fixation for treatment of fractures. Int Orthop. abril de 2017;41(4):845-53.

Tras la Segunda Guerra Mundial, el sistema de Hoffmann representó un avance significativo en la FE (1). En Inglaterra, Charnley aplicó esta técnica en artrodesis por compresión (1). Durante la década de 1960, Vidal desarrolló un marco cuadrilátero con doble barra de conexión para tratar pseudoartrosis sépticas (1). Por otra parte, De Bastiani y Wagner contribuyeron en el diseño de FE telescópico para el alargamiento de huesos largos (1).

INTRODUCCIÓN

La fijación circular, desarrollada en la década de 1950 por Gavriil Ilizarov en la Unión Soviética, revolucionó el tratamiento de fracturas y deformidades óseas. Este método utilizaba anillos externos conectados a pines transfixiantes para manipular con precisión los fragmentos óseos, promoviendo la formación de callo y facilitando el alargamiento y la corrección de deformidades. Basado en el principio de distracción osteogénica gradual, el método Ilizarov se consolidó como una técnica esencial para tratar disimetrías y deformidades complejas (9).

La FE ha evolucionado desde técnicas rudimentarias hasta sistemas modulares avanzados, capaces de realizar correcciones milimétricas con seguridad y precisión. Estas innovaciones han revolucionado el manejo de fracturas complejas y disfunciones óseas, consolidándose como una herramienta esencial en la Traumatología y Cirugía Ortopédica.

1.1.2. Elementos estructurales esenciales

Los sistemas de FE constan de tres componentes principales: elementos de fijación al hueso, elementos de estabilización y elementos de conexión; que en conjunto confieren estabilidad mecánica a la estructura esquelética.

1.1.2.1. Elementos de fijación al hueso

Los elementos de fijación al hueso constituyen la base de la unión entre el hueso y el sistema de FE. La elección de pines y agujas es fundamental, ya que determina la estabilidad, la durabilidad y la capacidad de adaptación del montaje; especialmente en procedimientos de larga duración.

Pines

Los pines son componentes esenciales de la FE, siendo utilizados en distintas configuraciones según las necesidades del procedimiento y la lesión. Sus características

INTRODUCCIÓN

varían según el propósito y el tipo de fijación requerido. A continuación, se presentan los tipos más comunes de pines empleados en FE:

- Pin de Steinman: Estos pines tienen una punta biselada y requieren pre-brocado para su inserción en hueso cortical (10). Habitualmente se utilizan como pines transfixiantes, atravesando ambas corticales del hueso y emergiendo por el lado opuesto a través de la piel. Sus extremos se conectan a los elementos estabilizadores, lo que proporciona rigidez y estabilidad en dos planos. Son especialmente útiles en la fijación del calcáneo en fracturas de tibia distal y tobillo, así como en procedimientos de tracción transesquelética.
- Pin de Schanz: estos pines cuentan con una rosca espiral que permite su atornillado al hueso. Se fabrican en una amplia variedad de diámetros, longitudes y configuraciones (10). Los pines estándar tienen una punta biselada, requiriendo pre-brocado para su inserción. En contraste, los pines autoperforantes y autorroscantes están diseñados para perforar y roscar el hueso de forma simultánea, eliminando el brocado previo, lo que reduce el tiempo quirúrgico y posiblemente el riesgo de necrosis térmica (10). También existen versiones específicas de pines de Schanz para su uso como pines transfixiantes.

El material de los pines puede ser acero inoxidable o titanio. Los pines de titanio ofrecen mayor biocompatibilidad y se les atribuye un menor riesgo de infección en comparación con los de acero inoxidable, aunque esta ventaja no ha sido clínicamente comprobada (11).

El recubrimiento de la superficie de los pines representa un avance significativo al mejorar la integración ósea y la prevención de infecciones locales. Entre los recubrimientos disponibles, la hidroxiapatita destaca por ser un material osteoconductor

INTRODUCCIÓN

que promueve la formación ósea alrededor del pin, optimizando la interfaz pin-hueso (12–15). Este recubrimiento ha demostrado reducir el riesgo de aflojamiento y aumentar la fuerza necesaria para su extracción, mejorando así la estabilidad mecánica (16–19). Aunque algunos estudios sugieren que la hidroxiapatita podría disminuir las infecciones, la evidencia es inconsistente. Mientras ciertos trabajos reportan una reducción significativa (18), otros no encuentran diferencias frente a pines sin recubrimiento (16,17,19). Por lo tanto, se necesita mayor evidencia para confirmar su eficacia en la prevención de infecciones.

La plata, conocida por sus propiedades antimicrobianas, se ha empleado ampliamente en dispositivos médicos para prevenir infecciones (20). En FE, los pines recubiertos de plata han demostrado su eficacia para reducir la adherencia bacteriana y la formación de biofilms (21). Sin embargo, los resultados clínicos son variados: mientras algunos estudios revelan una menor incidencia de infecciones (22), otros no hallan diferencias significativas en comparación con pines sin recubrimiento (23). Una limitación potencial es la toxicidad de la plata en concentraciones elevadas, que podría comprometer la osteointegración y la viabilidad celular en el sitio de inserción, restringiendo su uso sin un control adecuado de la dosificación (24,25). Como alternativa, las nanopartículas de plata ofrecen una cobertura antimicrobiana eficaz con menores cantidades de material (20). Estudios *in vitro* han demostrado su actividad frente a patógenos como *Staphylococcus aureus* y *Escherichia coli*, aunque persisten inquietudes sobre su toxicidad y acumulación a largo plazo (26–29). Actualmente, el uso de nanopartículas de plata se limita a investigaciones experimentales, y es necesario realizar estudios adicionales en modelos animales y ensayos clínicos para confirmar su seguridad y efectividad en FE.

INTRODUCCIÓN

Los recubrimientos con antibióticos representan una estrategia efectiva para prevenir la colonización bacteriana y la formación de biofilms, siendo la gentamicina y la tobramicina los más utilizados (30–34). Estudios preclínicos han demostrado su eficacia en la reducción de infecciones en modelos experimentales, aunque la mayoría de estos estudios se enfocan en implantes endomedulares, limitando la extrapolación directa a sistemas de FE (30,32–34). No obstante, su uso prolongado conlleva el riesgo de generar resistencia bacteriana, particularmente si las concentraciones liberadas son subterapéuticas (35,36). Esto destaca la necesidad de investigaciones futuras dirigidas a optimizar estos recubrimientos para pines de FE, asegurando su eficacia antimicrobiana inicial, minimizando el riesgo de resistencia bacteriana y garantizando la seguridad a largo plazo.

Agujas de Kirschner

Las agujas de Kirschner, fabricadas con acero inoxidable, son alambres delgados que se insertan en el hueso con mínima invasión de los tejidos blandos. Son ampliamente utilizadas en sistemas de FE circulares, como el método Ilizarov, y resultan ideales para fracturas articulares complejas, alargamientos óseos y correcciones de deformidades esqueléticas. Al emplear varias agujas de forma simultánea y tensarlas sobre los anillos de un FE circular, proporcionan estabilidad multidireccional y distribuyen uniformemente las cargas en el hueso con un mínimo compromiso de los tejidos blandos circundantes (37–39). También se emplean en fracturas de huesos pequeños, como los de la mano o el pie, gracias a su diseño que minimiza el daño a tejidos y reduce complicaciones neurovasculares (10).

El grosor de las agujas varía según la aplicación: de 0,5–1,0 mm para manos y pies, 1,5 mm en casos pediátricos y extremidades superiores, y 1,8–2,0 mm para

INTRODUCCIÓN

extremidades inferiores. Estas agujas tienen un extremo para acoplarse al taladro y otro biselado y cortante para facilitar su inserción. Las versiones con tope u oliva ofrecen mayor estabilidad al prevenir desplazamientos laterales (40). Aunque el sistema Ilizarov fue diseñado para usar agujas, los FE circulares modernos permiten combinarlas con pines, incrementando la versatilidad de estos montajes.

1.1.2.2. Elementos de estabilización

Los elementos de estabilización son los componentes estructurales que soportan la carga y estabilizan el sistema de fijación; incluyen barras, anillos y raíles ajustables.

Barras

Las barras, principales estabilizadores en los sistemas de FE, se fabrican en materiales como fibra de carbono, titanio y acero inoxidable; con dimensiones y grosores variados para adaptarse a las necesidades anatómicas y biomecánicas de cada caso (10). Sus diámetros van desde 2 mm, ideales para huesos pequeños como los de la mano o el pie, hasta 11 mm, diseñados para estabilizar huesos largos. Inicialmente, se utilizaban barras de acero inoxidable y aleaciones de aluminio. Sin embargo, la fibra de carbono ha ganado popularidad por su ligereza, alta rigidez y radiotransparencia; facilitando el control radiológico y mejora la comodidad del paciente (41).

También se dispone de barras articuladas o sistemas telescópicos que permiten ajustes longitudinales precisos, lo que resulta especialmente útil en procedimientos de distracción ósea. Estas configuraciones posibilitan modificar el sistema y dinamizar el montaje sin alterar su estabilidad global.

Anillas

Las anillas (o aros) son esenciales en la FE circular, actuando como soporte para las agujas. Cuando el uso de anillos completos es inviable, se emplean anillos abiertos o aros

INTRODUCCIÓN

de circunferencia incompleta. Los anillos se conectan mediante barras que alinean el eje de carga y el eje de corrección con el centro del anillo y el eje longitudinal del hueso, proporcionando estabilidad en múltiples planos. La rigidez del sistema depende de factores como la configuración, el número de anillos y el tipo de elemento de fijación ósea (agujas o pines); las configuraciones multiplanares mejoran la estabilidad global (42,43). Recientemente, se han desarrollado sistemas hexápodos con barras telescópicas, que permiten correcciones de alineación precisas y multidireccionales, ampliando las opciones terapéuticas en deformidades y fracturas complejas (44,45).

Estos sistemas son especialmente útiles en procedimientos como distracción ósea, transporte óseo y tratamiento de fracturas complejas que requieren correcciones en múltiples planos; donde los métodos monoplanares suelen ser menos eficaces (9,46–48). Además, facilitan una carga controlada durante la consolidación ósea, promoviendo una curación eficiente sin comprometer la movilidad articular, lo que favorece un manejo funcional óptimo para el paciente.

1.1.2.3. Elementos de conexión

Los elementos de conexión son fundamentales para un montaje modular y para facilitar ajustes postoperatorios en los sistemas de FE. Estos incluyen abrazaderas, postes, bisagras y barras telescópicas. Su diseño se enfoca en lograr configuraciones adaptables que los cirujanos pueden personalizar según las necesidades específicas de cada caso.

Conectores

Los conectores unen pines o agujas con barras o anillos, garantizando la alineación y rigidez del sistema. Pueden ser simples (para un solo pin) modulares (para varios pines) o diseñadas para unir barras. Las versiones ajustables permiten modificar el ángulo de

INTRODUCCIÓN

inserción, mejorando la adaptabilidad anatómica y disminuyendo el riesgo de aflojamiento del pin (10,49).

Abrazaderas o mordazas

Las abrazaderas conectan pines con postes, facilitando el diseño de constructos cuadrangulares.

Postes

Los postes unen mordazas o abrazaderas de los pines con conectores, facilitando la construcción de un marco compacto y adaptable al diseño deseado. Contribuyen a mejorar la precisión en la alineación y a incrementar la rigidez del sistema (10).

Bisagras

Las bisagras, combinadas con postes y abrazaderas, añaden flexibilidad al montaje sin comprometer la estabilidad estructural. Son útiles en articulaciones como el codo, donde mantienen la estabilidad de la reducción mientras preservan la movilidad. También facilitan ajustes precisos de alineación y angulación, siendo clave en la corrección de deformidades angulares con FE circular (10).

Barras telescópicas

Las barras telescópicas son barras ajustables con mecanismo telescópico, fundamentales en sistemas hexápodos de FE circular. Estos sistemas emplean seis barras telescópicas, equipadas con bisagras que permiten ajustes precisos en seis grados de libertad: angulación y traslación en los tres planos espaciales (45). Además, facilitan la compresión o distracción ósea, permitiendo correcciones graduales de deformidades y favoreciendo una consolidación ósea eficiente (40).

Los elementos estructurales básicos de la FE se ilustran en la **Figura 3**.

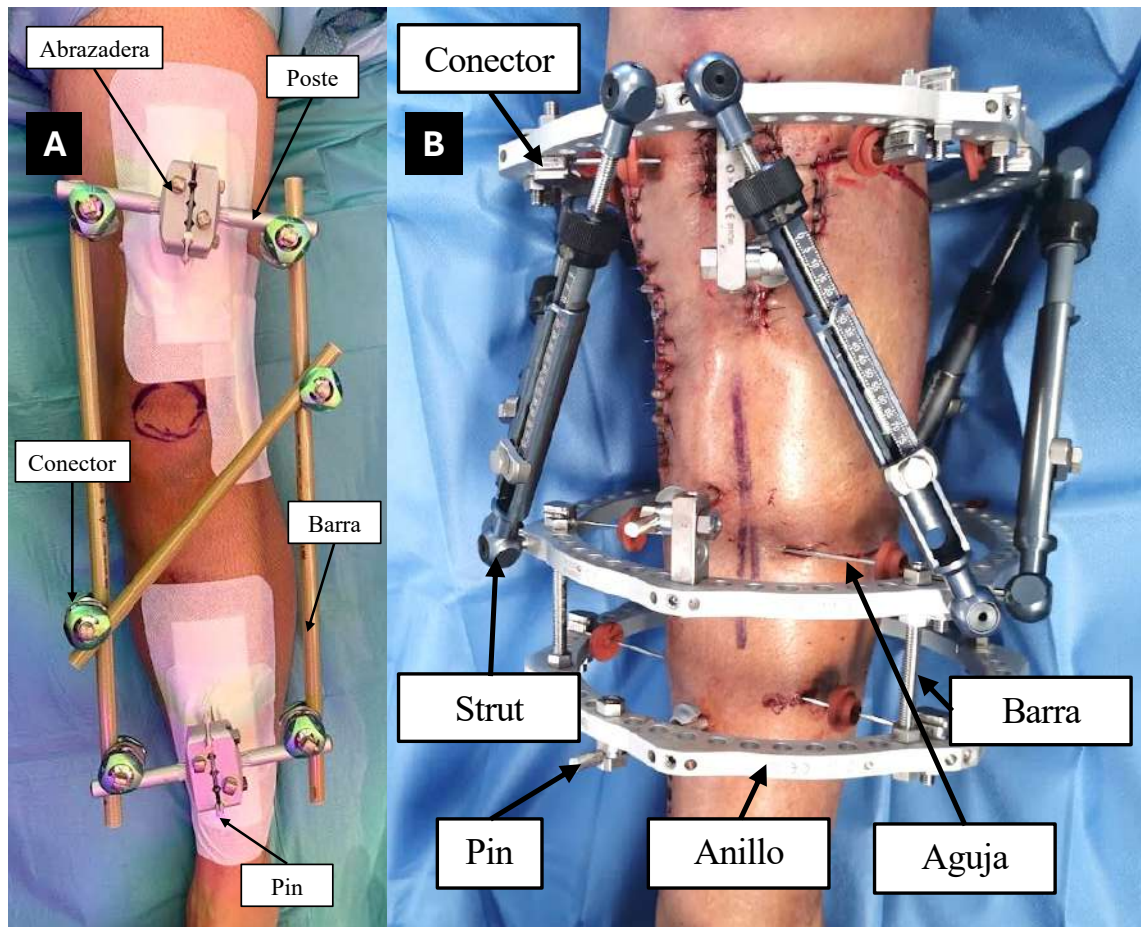


Figura 3. Componentes básicos de un fijador externo monolateral y circular. **A.** Fijador externo unilateral uniplanar. **B.** Fijador externo circular hexápodo.

1.1.3. Tipos de fijadores externos y comportamiento mecánico

Los sistemas de FE se pueden clasificar en diferentes tipos según su diseño estructural y comportamiento mecánico. Estas categorías incluyen:

1.1.3.1. Fijadores monolaterales

Los FE unilaterales, también conocidos como monolaterales, destacan por su diseño sencillo y mínima agresión sobre las partes blandas, lo que los hace ideales en escenarios de urgencia o emergencia. Son particularmente útiles para estabilización temporal de fracturas y pueden configurarse como uniplanares o biplanares.

INTRODUCCIÓN

Los FE monolaterales uniplanares son eficaces para resistir fuerzas de flexión en el plano de aplicación, como cargas axiales (**Figura 3A**) (50). Por ejemplo, un FE colocado en la cara anterior de la tibia contrarresta fuerzas anteroposteriores en el plano sagital. Sin embargo, su eficacia disminuye frente a cargas en otros planos, como las fuerzas de varo-valgo en el coronal o torsión en el axial, lo que puede generar movimientos indeseados en el foco de fractura, interfiriendo con el proceso de consolidación ósea (51).

La fijación biplanar, como las configuraciones en “A” o delta, ofrece mayor estabilidad que los sistemas uniplanares. Este diseño distribuye las fuerzas en múltiples direcciones, mejorando la capacidad para resistir cargas axiales, así como las aplicadas en los planos sagital y coronal. Esto optimiza el control de los fragmentos óseos y aumenta la rigidez del sistema.

El FE modular es una opción versátil y efectiva en emergencias, especialmente en pacientes politraumatizados (PPT) que requieren estabilización temporal (**Figura 4**). Se compone de dos estructuras parciales aplicadas en cada fragmento principal de la fractura, con al menos dos pines conectados por una barra, unidas por otra barra de conexión para formar un marco monolateral con capacidad de fijación multiplanar (10). Esta configuración permite la manipulación y reducción de la fractura tras la colocación de los pines, proporcionando una rigidez inicial suficiente. Los pines se insertan en zonas seguras, evitando áreas de tejidos blandos lesionados y reduciendo el riesgo de daño adicional. El diseño modular facilita ajustes postoperatorios, refuerzos estructurales y adaptaciones para el tratamiento definitivo; siendo especialmente útil en fracturas abiertas o con alto riesgo de infección.

INTRODUCCIÓN



Figura 4. Fotografía clínica de fijador externo modular para fractura de meseta tibial. El montaje consta de dos estructuras parciales fijadas a fémur y a tibia mediante dos pines en cada hueso conectados por barras longitudinales, unidas a su vez por una barra que forma un marco monolateral con capacidad de fijación multiplanar.

El uso de FE en el manejo temporal de fracturas permite la inserción de pines en el mismo hueso afectado o en huesos adyacentes, estabilizando también la articulación según la localización de la lesión. La fijación transarticular o “joint-spanning” abarca la articulación adyacente a la fractura y es comúnmente utilizada en fracturas periarticulares y lesiones con daño severo en tejidos blandos circundantes (49,52). Este enfoque ofrece estabilización temporal a la fractura y a la articulación, facilitando la recuperación de los tejidos blandos y mejorando las condiciones para una intervención definitiva. En fracturas alrededor de la rodilla, los pines proximales se colocan en la diáfisis femoral y los distales en la tibia. Para lesiones en el tobillo, los pines proximales se posicionan en la tibia y los distales en huesos del pie. Esta configuración permite la reducción indirecta de fragmentos óseos y estabiliza la fractura, favoreciendo la recuperación de tejidos blandos, reduciendo complicaciones preoperatorias y facilitando una planificación quirúrgica más segura.

1.1.3.2. Fijadores bilaterales

Los FE bilaterales, que utilizan pines transfixiantes para atravesar completamente la extremidad, pueden comprometer estructuras anatómicas y afectar los tejidos blandos circundantes. Aunque ofrecen mayor rigidez estructural frente a los FE unilaterales, su uso ha disminuido debido a su compleja aplicación y al elevado riesgo de lesiones en estructuras de partes blandas (10).

1.1.3.3. Fijadores circulares

Los FE circulares, popularizados por el sistema Ilizarov, están compuestos por anillos conectados mediante varillas y ofrecen estabilidad tridimensional en todos los planos del espacio (**Figura 3B**). Su diseño circular permite una distribución uniforme de la carga, brindando gran estabilidad. Esto los hace ideales para fracturas conminutas periarticulares y la aplicación de técnicas de osteogénesis a distracción, como en la corrección de deformidades angulares y el manejo de disimetrías.

En los sistemas circulares, la rigidez puede incrementarse empleando agujas de mayor diámetro, reduciendo la distancia entre el hueso y el anillo, incorporando anillos más gruesos y anchos, e incrementando el número de anillos por segmento óseo (53,54). Además, estos sistemas presentan características únicas, como el aumento de la tensión de las agujas y el ángulo de cruce entre ellas. Las agujas cruzadas a 90° brindan la mayor resistencia a la compresión axial en comparación con ángulos de cruce menores (51,55).

1.1.3.4. Fijadores híbridos

Los sistemas híbridos de FE combinan elementos de FE monolaterales y circulares, ofreciendo una versatilidad que permite la estabilización de fracturas periarticulares. Sin embargo, presentan limitaciones biomecánicas importantes. A pesar de incorporar agujas tensadas en áreas periarticulares para mejorar el control en esa región

INTRODUCCIÓN

y pines rígidos para la estabilidad diafisaria, su efectividad es cuestionable en ciertos escenarios. En la práctica, tienden a comportarse más como FE monolaterales con conexiones menos rígidas, lo que puede comprometer la estabilidad del montaje. Esto se traduce en tasas elevadas de complicaciones y pseudoartrosis, especialmente en fracturas de meseta tibial (56,57). En estos casos, los FE circulares proporcionan una biomecánica superior y un mejor control de las fuerzas aplicadas a la fractura (10).

La **Tabla 1** resume las principales aplicaciones, ventajas y desventajas de cada tipo de FE, junto con representaciones gráficas que ilustran sus configuraciones.

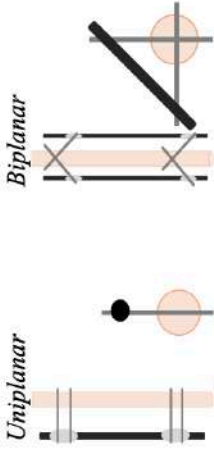
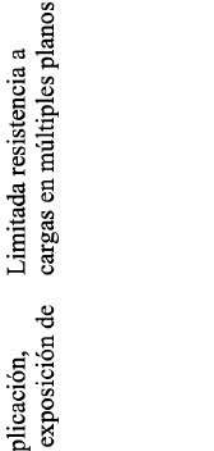
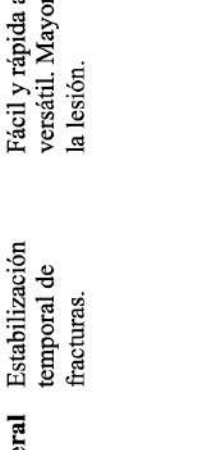
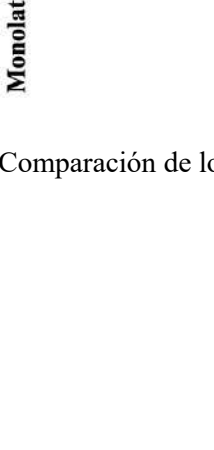

Tipo de Fijador	Aplicaciones	Ventajas	Desventajas	Dibujo
Monolateral	Estabilización temporal de fracturas.	Fácil y rápida aplicación, versátil. Mayor exposición de la lesión.	Limitada resistencia a cargas en múltiples planos	
Modular	Politrauma, estabilización de fracturas	Rápida aplicación, versátil, adaptable.	Menor rigidez en comparación con sistemas definitivos	
Bilateral	Estabilización temporal de fracturas.	Mayor estabilidad que monolateral.	Riesgo de lesión estructuras neurovasculares. En desuso.	
Circular	Fracturas periarticulares complejas, corrección de deformidades, dismetrías, defectos óseos.	Gran estabilidad multiaxial. Permite la carga.	Alta complejidad técnica y mayor tiempo de aplicación.	
Híbrido	Fracturas periarticulares complejas.	Combina flexibilidad y estabilidad: mayor estabilidad que monolateral y más versátil que circular.	Menor estabilidad que el circular. Mayor complejidad y mayor tiempo de aplicación que monolateral.	

Tabla 1. Comparación de los principales tipos de fijación externa.

1.1.4. Aplicaciones

La FE es una herramienta esencial en Cirugía Ortopédica y Traumatología debido a su versatilidad y capacidad de proporcionar estabilidad sin invadir directamente el sitio de la lesión. Es particularmente útil en el tratamiento de fracturas abiertas o periarticulares con compromiso de tejidos blandos, así como en el manejo de fracturas en PPT. Además, su uso se extiende a la corrección de deformidades, reconstrucción de defectos óseos y prevención o tratamiento de contracturas en tejidos blandos.

1.1.4.1. Cirugía de control de daños

La FE es fundamental en el manejo inicial del PPT, ya que permite estabilizar rápidamente fracturas de huesos largos como la tibia y el fémur. Su uso es especialmente beneficioso en pacientes hemodinámicamente inestables o con lesiones orgánicas graves, como traumatismo torácico con insuficiencia respiratoria refractaria, traumatismo craneoencefálico grave con deterioro progresivo del nivel de consciencia o progresión de lesiones intracraneales, así como en aquellos que requieran cirugía abdominal urgente (58–60).

Este enfoque ayuda a reducir el “second hit”, minimizando la respuesta inflamatoria sistémica y disminuyendo el riesgo de complicaciones como el síndrome de distrés respiratorio agudo y la hipoperfusión cerebral en casos de hipertensión intracraneal (61–63).

1.1.4.2. Manejo de fracturas abiertas o con compromiso de partes blandas

La FE es esencial en el manejo de fracturas abiertas o con sufrimiento severo de partes blandas, donde una osteosíntesis definitiva precoz podría comprometer la viabilidad de la cobertura cutánea e incrementar significativamente el riesgo de infección.

INTRODUCCIÓN

La FE permite estabilizar eficazmente la fractura, reduciendo la progresión de los fenómenos inflamatorios asociados a la inestabilidad mecánica. Esto favorece la cicatrización de heridas abiertas y acelera la recuperación de tejidos blandos perifracturarios, optimizando las condiciones locales para la intervención quirúrgica definitiva (62,64). Los FE unilaterales, utilizados con mayor frecuencia en el manejo temporal, presentan limitaciones biomecánicas, como insuficiente rigidez y riesgo de aflojamiento de los pines, lo que puede comprometer la consolidación ósea y aumentar la tasa de complicaciones si se emplean como tratamiento definitivo (65–68). En contraste, los FE circulares proporcionan mayor estabilidad en determinadas fracturas complejas y pueden emplearse como una solución definitiva en casos seleccionados, especialmente cuando las condiciones del paciente o la fractura hacen menos recomendable la conversión a fijación interna (69,70).

1.1.4.3. Reducción indirecta de fracturas

En Traumatología, la distracción intraoperatoria mediante FE es una técnica eficaz para la reducción indirecta de fracturas, lo que facilita la fijación interna definitiva (10). Este método emplea un FE temporal durante la cirugía para manipular y alinear el hueso fracturado, logrando una preparación óptima para la fijación definitiva. Suele tratarse de dispositivos específicos con capacidad de distracción longitudinal que son especialmente útiles en el manejo de fracturas complejas alrededor de grandes articulaciones que asocian acortamiento (71).

1.1.4.4. Distracción Osteogénica

La distracción osteogénica consiste en la aplicación gradual de una separación longitudinal entre dos segmentos óseos, estimulando la formación de nuevo tejido óseo en el espacio generado (72,73). Una variante de esta técnica es el transporte óseo, que

INTRODUCCIÓN

implica movilizar un tercer segmento óseo libre a lo largo de una zona de defecto (donde no existe tejido óseo), promoviendo la formación de hueso en el área de distracción. Estas técnicas se utilizan ampliamente en la reconstrucción de defectos óseos de gran tamaño, ya sean congénitos, traumáticos o resultantes de resecciones tumorales o infecciosas (74,75).

Los FE, en particular los de tipo circular y hexápodo, facilitan una distracción precisa y controlada, asegurando un regenerado óseo de alta calidad y manteniendo la alineación adecuada durante el proceso (75–77).

1.1.4.5. Corrección de deformidades y contracturas de partes blandas

La FE también es ampliamente utilizada en la corrección de deformidades óseas y en el tratamiento de contracturas de partes blandas. Mediante la FE circular con sistemas hexápodos, es posible realizar correcciones precisas de deformidades angulares y rotacionales, lo cual es fundamental en el manejo de dismetrías o maluniones (40). Estos sistemas permiten realizar ajustes graduales que no sólo corrigen la deformidad, sino que también promueven la formación de nuevo tejido óseo mediante osteogénesis por distracción, siendo eficaces en la corrección de deformidades asociadas con discrepancias en la longitud de los miembros, mejorando tanto la funcionalidad como la calidad de vida del paciente. La FE también permite corregir contracturas articulares, como el flexo de rodilla o el equino de tobillo (78–80).

En pacientes con lesiones por quemaduras o con alto riesgo de contracturas, la FE puede desempeñar un rol preventivo (81,82). Al mantener la alineación y la posición funcional de las extremidades, se evita la retracción de los tejidos blandos y la consecuente formación de contracturas. Esto es particularmente útil en áreas como la

INTRODUCCIÓN

rodilla y el codo, donde las contracturas pueden limitar severamente la función del paciente.

1.2. Bases fisiopatológicas y estrategias en el manejo del politraumatismo

El politraumatismo se define como la situación clínica caracterizada por la afectación multiorgánica o multisistémica simultánea que implica un deterioro a corto plazo en el pronóstico de supervivencia. Los criterios más aceptados incluyen al menos dos lesiones con una puntuación de gravedad ≥ 3 en la Escala de Lesión Abreviada, asociadas a factores como hipotensión (presión arterial sistólica ≤ 90 mmHg), puntuación en la escala de coma de Glasgow ≤ 8 , acidosis (déficit de base ≤ 6.0), coagulopatía (tiempo de tromboplastina parcial ≥ 50 segundos o índice internacional normalizado ≥ 1.4) o edad avanzada (≥ 70 años) (83). Su manejo requiere una intervención rápida y coordinada para maximizar la supervivencia y reducir secuelas funcionales y sistémicas.

1.2.1. Reacción inflamatoria sistémica en el politraumatismo

El trauma severo desencadena respuestas fisiológicas orientadas a restablecer la homeostasis, afectando profundamente al sistema cardiovascular, a la cascada de la coagulación y al sistema inmunológico (84,85).

El shock hipovolémico por hemorragia activa el sistema renina-angiotensina, desencadenando vasoconstricción para mantener la presión arterial. Paralelamente, se activa la cascada de coagulación con el objetivo de controlar el sangrado y preservar la perfusión de órganos vitales. Sin embargo, la coagulopatía es una complicación frecuente en PPT. Su origen está relacionado con el shock, el daño endotelial y la activación fibrinolítica, lo que conlleva un consumo progresivo de los factores de coagulación. Esta alteración, junto con la acidosis y la hipotermia, conforma la denominada “tríada letal”. La interacción sinérgica entre estos tres factores agrava la disfunción hemostática y

INTRODUCCIÓN

aumenta significativamente la mortalidad. Por ello, su identificación y tratamiento precoz son fundamentales para mejorar el pronóstico del paciente (85–87).

Tras un traumatismo, se desencadena una respuesta inflamatoria local con liberación de citoquinas y mediadores inflamatorios para aislar el área dañada y promover la reparación tisular. Sin embargo, en casos graves, esta respuesta se amplifica sistémicamente, lo que puede derivar en el síndrome de respuesta inflamatoria sistémica. Como consecuencia, se produce una liberación masiva de citoquinas proinflamatorias y radicales libres, lo que genera disfunción endotelial y aumento de la permeabilidad vascular. Esto favorece la fuga de líquidos hacia los tejidos y puede desencadenar complicaciones graves como el síndrome de distrés respiratorio agudo y la disfunción multiorgánica, principales causas de mortalidad en estos pacientes (84,84,88). El manejo adecuado requiere una intervención temprana para controlar la respuesta inflamatoria sistémica (86). Biomarcadores como el lactato sérico y el déficit de base permiten evaluar la hipoperfusión, monitorear la respuesta al tratamiento y prever complicaciones graves (87,88).

1.2.2. El fenómeno de “second-hit” o “segundo golpe”

El término “segundo golpe” (second hit) se refiere a un nuevo evento traumático que ocurre en un paciente con una respuesta sistémica ya comprometida por un trauma inicial (61–63). Este fenómeno puede ser desencadenado por diversos estímulos, como cirugías extensas, transfusiones o infecciones secundarias, lo que amplifica la respuesta inflamatoria inicial a través de una liberación excesiva de citoquinas proinflamatorias (89,90). Se considera un factor crítico en la progresión hacia la disfunción multiorgánica y está asociado a un aumento en la mortalidad de los PPT (87,91).

INTRODUCCIÓN

El “segundo golpe” ocurre con frecuencia en pacientes con fracturas de huesos largos, lesiones pélvicas o trauma abdominal severo sometidos a cirugías extensas (91,92). Su impacto depende del trauma inicial y de la reserva fisiológica del paciente, que influye en su tolerancia a nuevos estímulos inflamatorios (61–63).

Para reducir este riesgo, se prioriza la estabilización temprana con procedimientos mínimamente invasivos, como la FE en fracturas, posponiendo la fijación definitiva hasta que la respuesta inflamatoria disminuya (61,62).

1.2.3. Lesión de partes blandas y respuesta reparativa

Las lesiones de partes blandas representan un importante desafío en el manejo de fracturas de alta energía. Estas lesiones son especialmente frecuentes en fracturas periarticulares de la rodilla y el tobillo y en áreas con poco espesor de partes blandas, como la tibia. En estas localizaciones, el deterioro de los tejidos blandos se asocia a un incremento en el riesgo de complicaciones postoperatorias (93–95). Un manejo adecuado del problema, basado en el conocimiento de su fisiopatología y de las fases de la cicatrización, es clave para el éxito del tratamiento de las lesiones óseas que lo asocian.

La gravedad de las lesiones de tejidos blandos depende de diversos factores (94):

- Dirección de la fuerza (axial, perpendicular o tangencial a la extremidad).
- Magnitud de la fuerza: lesiones de baja o alta energía.
- Región afectada: zonas periarticulares o con poca cobertura de tejidos blandos.
- Tipo de lesión: penetrante, aplastamiento, desguantamiento o *degloving*, etc.
- Grado de contaminación.
- Estado hemodinámico de paciente.
- Comorbilidades del paciente (edad, diabetes mellitus, hábito tabáquico, etc.).

INTRODUCCIÓN

Las lesiones de tejidos blandos activan mecanismos humorales y celulares que detienen el sangrado, combaten la infección y promueven la reparación. Estas respuestas reparativas se desarrollan en tres fases: inflamatoria, proliferativa y de remodelación (94–97).

1. Fase inflamatoria: En esta fase inicial, el daño endotelial atrae plaquetas, que liberan factores vasoconstrictores, citoquinas proinflamatorias y factores de crecimiento. Se reclutan macrófagos, neutrófilos, linfocitos y fibroblastos; que son esenciales para eliminar el tejido dañado que sería colonizado por bacterias, contribuyendo a disminuir el riesgo de infección. Aunque este proceso inicia la reparación, también genera hipoxia, acidosis local y edema. La microcirculación se ve consecuentemente afectada, aumentando paradójicamente el riesgo de necrosis tisular e infección. En politraumatismos, la respuesta inflamatoria sistémica exacerba estos efectos al intensificar la permeabilidad capilar y agravar el edema, incrementando la susceptibilidad a la necrosis (94–98).

En fracturas que asocian un daño severo de tejidos blandos, suelen aparecer ampollas o flictenas en la fase inflamatoria. Estas lesiones pueden ser de contenido seroso o hemorrágico. Las flictenas serosas, formadas rápidamente por aumento de presión hidrostática, reducen la cohesión celular epidérmica. En contraste, las flictenas hemorrágicas reflejan un daño de mayor gravedad en la unión dermoepidérmica. El contenido en células y factores de crecimiento es menor, por lo que su epitelización es más lenta y la alteración de la barrera protectora cutánea más severa y prolongada, por lo que asocian un mayor riesgo de infección postoperatoria. Generalmente, estas últimas se forman en las primeras 72 horas tras la lesión y son un marcador clínico de alto riesgo de complicaciones (93–95,97,99).

INTRODUCCIÓN

Para reducir el edema en la fase inflamatoria, se recomienda aplicar medidas físicas, como la elevación de la extremidad, el frío local y la compresión. En casos con un alto riesgo de presentar flictenas o cuando las lesiones de tejidos blandos dificultan la fijación definitiva, se sugiere un enfoque diferido por etapas, utilizando la FE para estabilizar la fractura y favorecer la recuperación de las partes blandas (99–102).

2. **Fase proliferativa:** Durante esta etapa, los fibroblastos producen tejido de granulación. Se sintetiza colágeno tipo III y matriz extracelular, que sirven como andamiaje para la epitelización y angiogénesis, favoreciendo la reparación tisular (94–98).
3. **Fase de remodelación:** Durante esta fase, el colágeno tipo III es reemplazado por colágeno tipo I, lo que incrementa la resistencia y estabilidad del tejido cicatrizado. Este proceso incluye una mayor degradación y reorganización del colágeno, asemejándose a la estructura inicial del tejido (94–98).

1.2.4. La cirugía de control de daños

La mitigación del “segundo golpe” es clave en el manejo del PPT. Este concepto respalda la cirugía de control de daños, enfocada en estabilizar lesiones graves y mortales de forma temprana, posponiendo el tratamiento definitivo hasta lograr la estabilidad suficiente del paciente. Sus principios básicos incluyen (61,89,103):

1. Control inmediato de hemorragias graves y lesiones con riesgo vital o que asocien una grave morbilidad, estabilizando fracturas de huesos largos y desbridando heridas contaminadas.
2. Monitorización y reanimación en la unidad de cuidados intensivos.
3. Tratamiento definitivo de fracturas y lesiones restantes en una etapa posterior.

INTRODUCCIÓN

Esta estrategia por etapas es especialmente beneficiosa en pacientes con inestabilidad hemodinámica, lesiones orgánicas graves o baja reserva fisiológica que no pueden tolerar tratamientos definitivos agresivos de forma precoz (58–60). Las fracturas, especialmente las de pelvis y huesos largos (fémur y tibia), contribuyen significativamente al compromiso hemodinámico debido a las severas hemorragias que ocasionan y a su asociación con heridas y lesiones graves de las partes blandas (62,103,104). En fracturas abiertas, la contaminación traumática, combinada con la isquemia y necrosis de los tejidos blandos, aumentan el riesgo de infecciones locales y sistémicas (105,106). Por otra parte, las fracturas no estabilizadas intensifican el dolor y dificultan la movilización necesaria para el manejo integral del paciente.

En 2021 se introdujo el término cirugía MuST (*musculoskeletal temporary surgery*, o cirugía temporal musculoesquelética) para describir el manejo por etapas de traumas complejos en pacientes con lesiones graves únicas, diferenciándola de la cirugía de control de daños, reservada para PPT inestables o en situaciones extremas. Esta estrategia, también conocida como control de daños local, se aplica a pacientes fisiológicamente estables y sin lesiones viscerales significativas que padecen fracturas abiertas, lesiones severas de tejidos blandos, heridas contaminadas, pérdida ósea segmentaria o fracturas periarticulares complejas (64,102,103,106).

El objetivo de la estrategia MuST es estabilizar temporalmente la fractura y desbridar tejidos necróticos o contaminados, reduciendo el riesgo de un “segundo golpe” local causado por una cirugía definitiva temprana, que podría exacerbar la respuesta inflamatoria inicial y aumentar la probabilidad de necrosis cutánea e infección (64,94,102,103,106,107).

1.2.5. Bases de la fijación externa en trauma

La FE en Traumatología debe ser versátil, con montajes simples y eficaces que garanticen la estabilidad y restauren la alineación, longitud y rotación de la extremidad (12,49). Una correcta restitución suficiente de la correcta relación anatómica disminuye el espacio muerto y el volumen del hematoma, mientras que la estabilidad previene daños adicionales por fragmentos óseos móviles, mitiga la respuesta inflamatoria local y facilita la cicatrización de los tejidos blandos (12,49,108).

Su correcta aplicación requiere al menos dos pines por fragmento óseo, respetando corredores de seguridad para evitar lesiones neurovasculares, evitando heridas, el hematoma de fractura, las articulaciones adyacentes y zonas previstas para futuros abordajes quirúrgico durante el tratamiento definitivo de la lesión (12,49,108). La rigidez del sistema depende de principios que influyen directamente en la estabilidad y el comportamiento mecánico del montaje (10,50,108–110):

- **Distancia de los pines al foco de fractura:** La rigidez y estabilidad aumenta a medida que los pines se colocan más cerca del foco de la fractura (49,109).
- **Separación entre los pines en cada fragmento óseo principal:** La rigidez es mayor cuando los pines están más separados entre sí dentro de un mismo fragmento óseo. Esta disposición aumenta la estabilidad al distribuir las fuerzas de manera uniforme y al reducir el riesgo de movimiento en el foco de fractura (49,108–110).
- **Distancia de la barra al hueso:** Una barra más próxima al hueso aumenta la rigidez al minimizar el momento de flexión cuando se aplican cargas axiales (10,50,109).

INTRODUCCIÓN

- **Número de barras:** Una segunda barra refuerza la estabilidad, especialmente en configuraciones sometidas a cargas elevadas o fuerzas multidireccionales (49,108–110).
- **Configuración del montaje:** Las configuraciones en delta o biplanares ofrecen mayor estabilidad al distribuir las fuerzas en distintos planos, en comparación con diseños uniplanares (109).
- **Diámetro de los pines:** El factor más importante para incrementar la resistencia de un sistema de FE es el aumento del tamaño del pin. La rigidez del sistema frente a la flexión es proporcional a la cuarta potencia del radio del pin. Por ejemplo, un pin de 5 mm es un 144 % más rígido en comparación con un pin de 4 mm (49,108,109). No obstante, el diámetro máximo del pin está limitado por el del hueso que lo aloja, debiendo ser entre un tercio y un cuarto de este.

1.3. El foco de fractura y su estabilización quirúrgica

1.3.1. Fases de la consolidación ósea

Tras una fractura, se activan procesos biológicos orientados a su reparación. Según el nivel de estabilidad proporcionado, la consolidación ósea se clasifica en primaria (directa) o secundaria (indirecta) (10,111).

La consolidación primaria ocurre cuando se consigue estabilidad absoluta, permitiendo la regeneración ósea sin formación de callo óseo ni tejido cartilaginoso. En este proceso, el hueso se regenera directamente mediante su remodelación a través de las osteonas y vasos perforantes en las zonas de contacto entre fragmentos. En áreas sin contacto directo, la aposición osteoblástica forma nuevo tejido óseo laminar entre los extremos de la fractura. Posteriormente, las osteonas conectan los fragmentos mediante micropuentes óseos, logrando una curación directa de la estructura cortical sin fases intermedias radiológicamente evidentes (10,111).

La consolidación secundaria, o indirecta, imita el desarrollo embriológico del hueso mediante osificación intramembranosa y endocondral. Ocurre en condiciones de fijación con estabilidad relativa, donde la movilidad interfragmentaria estimula la formación de callo óseo, proceso que se divide en cuatro fases (10,111):

- 1. Fase inflamatoria o de formación del hematoma:** Se inicia tras la fractura y dura entre 1 y 7 días. La ruptura vascular en hueso, periostio y tejidos blandos genera un hematoma rico en células hematopoyéticas. La formación del hematoma desencadena una vasodilatación local, el reclutamiento de células inmunitarias en el foco fracturario y la liberación de citoquinas. Este ambiente proinflamatorio activa a osteoclastos que eliminan el hueso necrótico y facilitan el reemplazo por tejido de granulación (10,111).

INTRODUCCIÓN

- 2. Formación de callo blando:** Esta fase ocurre entre la segunda y tercera semana tras la fractura, cuando los fragmentos óseos dejan de moverse libremente. Células madre mesenquimales del endostio y periostio se diferencian en fibroblastos, condrocitos y osteoblastos. Los fibroblastos sintetizan colágeno y otros componentes de la matriz extracelular. Los condrocitos producen cartílago hialino en el centro del callo. Los osteoblastos inician la osificación intramembranosa en la periferia del callo. Simultáneamente, se forman nuevos capilares que invaden el callo. Este callo fibrocartilaginoso brinda estabilidad inicial al hueso, que es suficiente para evitar el acortamiento, pero no cierta angulación en el foco de fractura (10,111).
- 3. Formación de callo duro:** Esta fase, que dura entre 3 y 4 meses, implica la conversión del callo blando en un callo óseo rígido. El proceso comienza cuando el callo blando conecta los extremos de los fragmentos óseos, proporcionando una estabilidad inicial (10,111).

Los osteoblastos generan puentes óseos mediante osificación intramembranosa, comenzando en las zonas periféricas de menor tensión y avanzando hacia el centro de la fractura y a nivel endóstico. Este proceso reduce la deformación central, facilitando la calcificación de la matriz extracelular y el reemplazo del cartílago por hueso mediante osificación endocondral (10,111).

Una red vascular estable garantiza el suministro de nutrientes y células madre mesenquimales esenciales para la osificación endocondral y la remodelación ósea. Esto da lugar a un hueso inmaduro que une firmemente los fragmentos. Al finalizar esta fase, los fragmentos están conectados por hueso

INTRODUCCIÓN

calcificado inmaduro, rígido pero que necesitará un proceso de remodelación posterior para adaptarse a las cargas fisiológicas a largo plazo (10,111).

4. **Remodelación ósea:** Es la etapa final, que comienza tras la unión por hueso inmaduro. Puede extenderse desde meses hasta años, incluso mucho tiempo después de la unión clínica y radiológica de la fractura (10,111).

Los osteoclastos reabsorben el hueso inmaduro mientras los osteoblastos depositan hueso nuevo en respuesta a estímulos mecánicos (Ley de Wolff). Este proceso transforma gradualmente el hueso inmaduro en hueso laminar resistente, restaurando su estructura original, incluido el canal medular. La densidad y arquitectura ósea se ajustan a estímulos biomecánicos y biológicos, garantizando la capacidad del hueso para soportar cargas fisiológicas (10,111).

1.3.2. Estabilidad absoluta y relativa

La estabilidad absoluta y relativa son conceptos clave en el manejo de fracturas, pues determinan los procesos histológicos que llevan, por caminos distintos, a la consolidación de la fractura. Estos conceptos están asociados al “strain” o deformación, que es la magnitud del cambio relativo en longitud del tejido sometido a una carga. Un *strain* menor al 2% favorece la consolidación primaria, mientras que valores entre 2-10% promueven la secundaria. La tolerancia a la deformación depende del tipo de tejido, la carga aplicada, la rigidez del sistema de fijación y la superficie de contacto entre los fragmentos óseos (112–115).

En estabilidad absoluta, la reducción anatómica y la compresión interfragmentaria reducen el *strain* (<2%), eliminando el movimiento en el foco de fractura y permitiendo una consolidación directa, caracterizada por el remodelado óseo directa por medio de osteonas (114). Este proceso, más lento que la formación de callo, requiere implantes

INTRODUCCIÓN

suficientemente resistentes para evitar fallos por fatiga hasta que se produzca la consolidación (112,115). Este método, crucial en fracturas intraarticulares y diafisarias simples, se logra con tornillos y placas capaces de conferir compresión y fricción interfragmentarios.

En estabilidad relativa, un *strain* del 2-10% permite una micromovilidad en el foco de fractura, estimulando la formación de callo óseo y favoreciendo la consolidación secundaria. El callo blando fibrocartilaginoso inicial se transforma progresivamente en hueso rígido mediante osificación intramembranosa en la periferia y endocondral en el centro (114). Este proceso requiere un equilibrio entre estabilidad y movimiento: un *strain* excesivo (>10%) provoca no uniones hipertróficas, mientras que un *strain* insuficiente (<2%) retrasa la formación de callo (112,114,115). Técnicas como clavos endomedulares, placas en configuración puente y la FE confieren una estabilidad relativa, que es especialmente útil en fracturas extraarticulares de la extremidad inferior, donde conviene la consolidación con formación de callo óseo.

1.3.3. Limitaciones de la fijación externa

Los FE unilaterales o bilaterales, utilizados principalmente en el manejo inicial de fracturas abiertas, complejas o en PPT, presentan limitaciones significativas que restringen su uso como método definitivo de tratamiento. Una de sus principales desventajas es la insuficiente rigidez y estabilidad en el foco de fractura, especialmente en los sistemas unilaterales (102,103,106,107). Esto se debe a la limitada estabilidad en la interfase hueso-implante y al alto riesgo de aflojamiento de pines, pernos y conectores con el tiempo, lo que compromete tanto la solidez del montaje como la viabilidad del tratamiento (10,49).

INTRODUCCIÓN

Estas limitaciones biomecánicas se reflejan en tasas elevadas de complicaciones y resultados inconsistentes de consolidación ósea cuando la FE no circular se emplea como tratamiento definitivo. Las complicaciones más frecuentes incluyen la pseudoartrosis, malunión, infecciones y deterioro funcional a largo plazo (65–68). A esto se suman el alto coste de su tratamiento prolongado, el impacto psicológico en el paciente y la necesidad de una estricta colaboración del mismo en el mantenimiento del FE, lo que puede representar un desafío en términos de adherencia al tratamiento (116–118). Por ello, la FE se considera una solución transitoria dentro de un tratamiento escalonado, permitiendo su conversión posterior a métodos de fijación interna que ofrezcan mayor estabilidad y mejores resultados (119–123).

1.3.4. La conversión de fijación externa a interna

El tratamiento por etapas con FE y posterior conversión a fijación interna es clave en fracturas complejas y lesiones politraumáticas (59,64,65,67,119,120). Esta estrategia tiene el potencial de reducir complicaciones, favorecer la consolidación ósea y mejorar los resultados funcionales a largo plazo. La transición debe planificarse cuidadosamente, considerando factores locales (estado de tejidos blandos, signos de infección) y sistémicos (estabilidad hemodinámica y condición general del paciente) para determinar el momento óptimo (62,103,124).

A lo largo del siglo XX, el manejo de fracturas en el PPT ha evolucionado significativamente. Entre las décadas de 1940 y 1970, predominó el manejo ortopédico conservador, basado en la premisa de que el PPT estaba “demasiado enfermo para operarse”, lo que llevó al uso generalizado de tracción esquelética y reposo en cama prolongado. Sin embargo, en la década de 1980, Bone et al. demostraron que la fijación temprana de fracturas femorales reducía la incidencia de insuficiencia respiratoria y

INTRODUCCIÓN

disminuía la estancia en cuidados intensivos y en el hospital (125). Este hallazgo impulsó la difusión de las técnicas de osteosíntesis, promoviendo un enfoque más agresivo y precoz de las lesiones esqueléticas. Así, el concepto evolucionó a que el PPT grave estaba “demasiado enfermo para no operarse”, sentando las bases del modelo de “tratamiento precoz definitivo” o Early Total Care (ETC), que enfatizaba la estabilización definitiva de fracturas de huesos largos en las primeras 24 horas para prevenir complicaciones pulmonares graves, habitualmente mediante enclavado endomedular (59,125). Se demostró, no obstante, que en pacientes inestables el enclavado endomedular precoz incrementaba las complicaciones, particularmente en pacientes con trauma torácico severo, lo que llevó al desarrollo de enfoques adaptativos como la cirugía de control de daños en ortopedia (Damage Control in Orthopaedics / DCO) (59,125,126). Este enfoque combina la FE provisional de fracturas con la estabilización fisiológica del paciente. La conversión a fijación interna se producirá durante una “ventana de oportunidad” cuando las condiciones generales del paciente sean óptimas, siendo clave en pacientes críticos con tríada letal o traumatismos torácicos, craneoencefálicos y abdominales severos (59–62).

En 2013, la estrategia de “tratamiento precoz adecuado” (Early Appropriate Care / EAC) introdujo criterios metabólicos y hemodinámicos en la toma de decisiones, proponiendo una resucitación agresiva y la realización de cirugía definitiva dentro de las primeras 36 horas, cuestionando la validez de la tradicional “ventana de oportunidad” (127–129). En 2015, la estrategia de “cirugía segura definitiva” (Safe Definitive Surgery) enfatiza la necesidad de una reevaluación continua para determinar el momento óptimo del tratamiento definitivo. Esta estrategia prioriza la FE inicial y reserva la conversión a fijación interna hasta que los factores de riesgo estén optimizados y el paciente

INTRODUCCIÓN

completamente estabilizado (130). En 2016, el enfoque PRISM (Prompt Individualised Safe Management o “Manejo Seguro, Individualizado y Rápido”) introdujo una estrategia personalizada, considerando factores como recursos de la institución disponibles y características específicas del paciente, como la edad, comorbilidades o gestación (131).

En 2021, la “cirugía temporal musculoesquelética” (MuST) se estableció como una estrategia para diferenciar las cirugías de control de daño de causas locales de las sistémicas. Este enfoque se aplica a pacientes estables con lesiones musculoesqueléticas, como fracturas periarticulares complejas, pérdida ósea segmentaria o daño severo en tejidos blandos (103).

La conversión de FE a interna requiere evaluar factores locales y sistémicos para garantizar la viabilidad de los tejidos blandos y la ausencia de infección (62,103,124). A nivel sistémico, el lactato sérico es un marcador fiable de estabilidad en PPT, por su fácil interpretación y correlación con la perfusión tisular. Niveles preoperatorios de lactato ≥ 2 mmol/L se han asociado con una mayor incidencia de complicaciones postoperatorias tras la fijación ósea definitiva en fracturas de extremidades inferiores (61,103). Por tanto, su monitorización, junto con el estado de los tejidos blandos, sigue siendo clave en la toma de decisiones quirúrgicas y en la evolución de las estrategias de manejo en estos pacientes (61,62,103).

En la **Figura 5** se representa la evolución histórica de los distintos enfoques quirúrgicos en el manejo del PPT con trauma ortopédico.

INTRODUCCIÓN

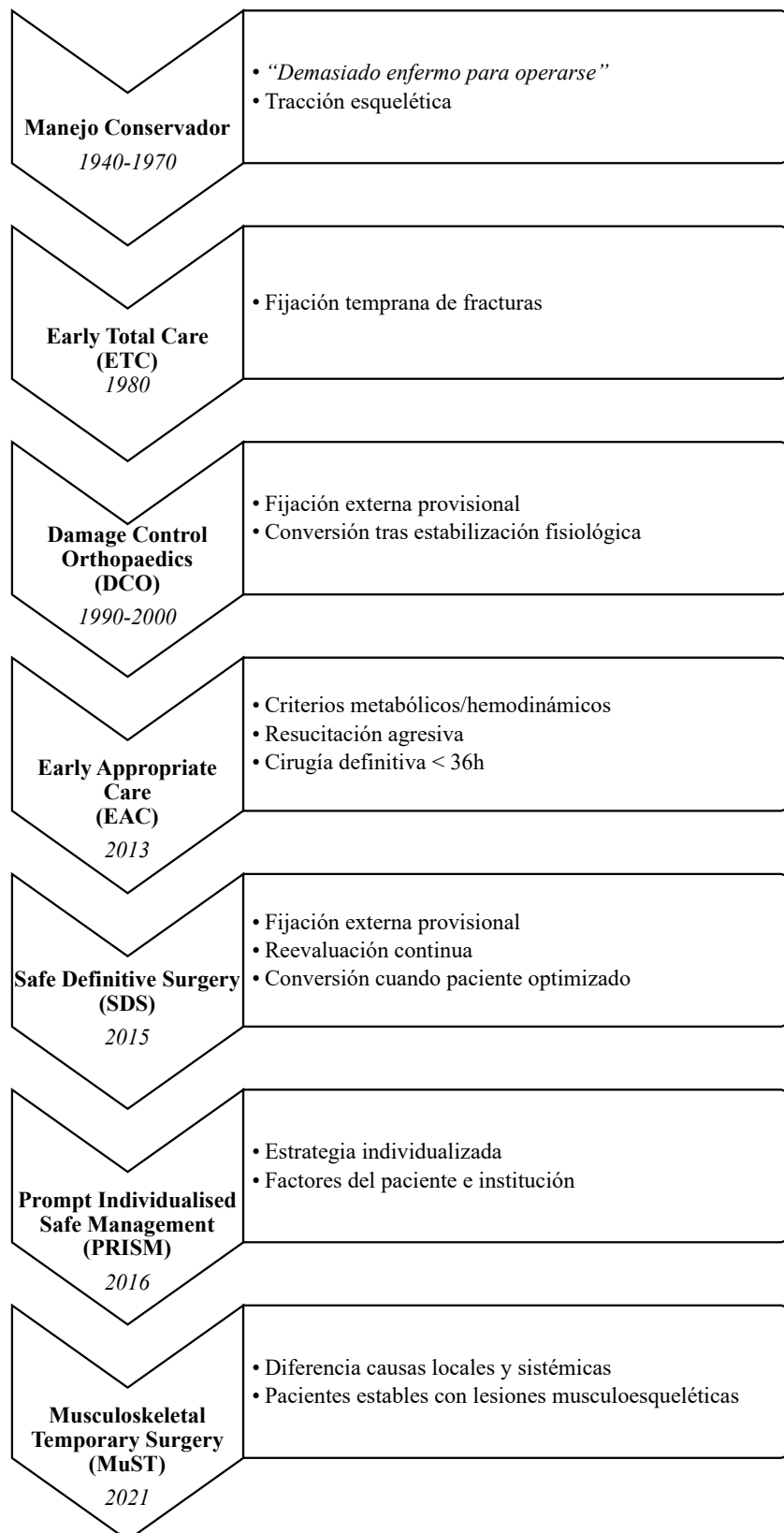


Figura 5. Evolución histórica de los enfoques quirúrgicos en el manejo del paciente politraumatizado con trauma ortopédico.

1.4. Dos escenarios; una técnica

1.4.1. Tratamiento por etapas en las fracturas de huesos largos de la extremidad inferior

El tratamiento de las fracturas diafisarias de huesos largos en el PPT requiere un equilibrio entre la estabilización temprana, con su consiguiente mejoría pronóstica y funcional, y la reducción de complicaciones sistémicas. Tanto el enclavado endomedular como la FE tienen roles específicos que deben evaluarse según las condiciones de cada paciente.

El enclavado endomedular es el tratamiento de elección para fracturas diafisarias de la extremidad inferior por sus ventajas biomecánicas y biológicas para la consolidación ósea (132,133). Sin embargo, presenta limitaciones en el manejo inicial del PPT graves. En pacientes con traumatismo craneoencefálico, el enclavado endomedular favorece la liberación de citocinas proinflamatorias aumentando la presión intracraneal, el edema cerebral y el daño secundario. Además, el fresado óseo puede inducir hipotensión transitoria, que puede persistir durante horas, comprometiendo la perfusión cerebral. En estos pacientes, mantener una adecuada presión arterial es crucial para evitar hipoperfusión y daño isquémico adicional, lo que incrementa el riesgo de complicaciones neurológicas (61,62). Además, el embolismo graso puede empeorar la hipoxemia y la isquemia cerebral. En el trauma torácico, las partículas grasas liberadas pueden desencadenar embolismo graso, hipertensión pulmonar y síndrome de distrés respiratorio (61,62).

La FE es ideal para la estabilización inicial en pacientes inestables, ya que es mínimamente invasiva, reduce la pérdida de sangre y controla la inflamación sistémica

INTRODUCCIÓN

(62,104). También es útil en fracturas con daño severo de tejidos blandos, evitando mayor lesión en la zona afectada. No obstante, cuando se emplea como tratamiento definitivo, su uso se asocia con un mayor riesgo de pseudoartrosis. En el caso de su utilización como tratamiento temporal, las principales complicaciones son la infección y el aflojamiento de los pines, que pueden estar interrelacionados y comprometer el resultado del procedimiento quirúrgico definitivo (65,66,104).

Las complicaciones del enclavado endomedular, como el impacto inflamatorio sistémico y el embolismo graso, ocurren en fases iniciales tras el trauma, mientras que las complicaciones de la FE aumentan con el tiempo (59,62,66,126). Por tanto, un enfoque por etapas, que combine la FE inicial y la conversión a enclavado endomedular cuando las condiciones clínicas y el estado de las partes blandas lo permitan, permite integrar las ventajas de ambos métodos en contexto de politraumatismo, minimizando complicaciones (61,62,103,126).

1.4.2. Tratamiento por etapas en las fracturas abiertas o periarticulares complejas de la extremidad inferior

El tratamiento por etapas es esencial para fracturas abiertas de alta energía que causan daño extenso en hueso y tejidos blandos, y que suelen asociar una contaminación y riesgo de infección significativos (103,107,134). Inicialmente, la FE temporal proporciona estabilidad mecánica mientras se garantiza una correcta evolución de las partes blandas o, alternativamente, se realizan desbridamientos secuenciales hasta la cobertura definitiva. Este enfoque permite evaluar la viabilidad tisular de forma progresiva, reducir el riesgo de infecciones profundas y mejorar las condiciones para la fijación interna definitiva (103,107,134).

INTRODUCCIÓN

En fracturas periarticulares complejas de la extremidad inferior, particularmente aquellas que se producen alrededor de la rodilla y el tobillo, el tratamiento por etapas también desarrolla un papel crucial. Estas lesiones, habitualmente producto de traumatismos de alta energía, presentan conminución ósea severa, daño articular y compromiso de tejidos blandos; lo que dificulta una fijación interna inmediata en condiciones seguras (64,107,135). Mediante tracción, que puede ejercerse de forma manual o a través del propio dispositivo, se logra la restitución de la longitud del segmento y de la alineación por medio del fenómeno de ligamentotaxis. La estabilización en una posición más anatómica favorecerá la cicatrización de ampollas y heridas y la reducción del edema. Por lo general, la fijación interna se realiza entre 7 y 21 días después, dependiendo de la recuperación tisular, evaluada mediante la desaparición de signos inflamatorios y la aparición de arrugas cutáneas, que certifican una resolución suficiente del edema (94,97,119).

En fracturas-luxaciones del tobillo, el daño ligamentoso severo y la inestabilidad articular dificultan el manejo inicial. La FE ayuda a restaurar la congruencia articular, prevenir complicaciones y evitar la pérdida de reducción asociada al uso de férulas (136–138). Además de estabilizar la articulación, facilita el manejo lesiones de tejidos blandos como ampollas y abrasiones, optimizar las condiciones quirúrgicas y reducir riesgos de complicaciones.

El uso de FE temporal también facilita la realización de curas, higiene del paciente, disminuye el uso de analgésicos y previene complicaciones como úlceras por presión o complicaciones pulmonares (49,126). Además, permite planificar con precisión la fijación definitiva con el uso de tomografía computarizada al delinear los patrones de fractura mediante ligamentotaxis (64). Este enfoque por etapas ha demostrado reducir

INTRODUCCIÓN

significativamente las tasas de infección y complicaciones graves en comparación con la fijación interna temprana en fracturas periarticulares complejas de la extremidad inferior como las de meseta tibial, pilón tibial o tobillo (64,107,135).

1.4.3. Potenciales complicaciones

Las complicaciones más comunes relacionadas con la FE incluyen infecciones en los trayectos de los pines, rigidez articular y pérdida de la reducción. Estos riesgos dependen de factores como el estado de los tejidos blandos, el diseño configuración del FE y la duración de su utilización antes de la conversión a una fijación definitiva (66–68,119).

La infección de los trayectos de los pines es la complicación más frecuente, con una incidencia que varía entre el 3% y el 80%, influida por el estado inicial de los tejidos blandos, los cuidados de los pines y la duración del uso del FE (121,139–141). Pacientes con comorbilidades como diabetes, obesidad o desnutrición presentan mayor riesgo. Además, las fracturas abiertas, especialmente las clasificadas como Gustilo III, tienen una incidencia elevada de infección, no solo en el foco de fractura debido a la contaminación inicial, sino también en los trayectos de los pines debido al daño tisular extenso (68,105,142).

La configuración del FE también afecta la aparición de complicaciones. Constructos que no respeten los preceptos mecánicos adecuados de la FE pueden aumentar el estrés en los trayectos de los pines, favoreciendo la inflamación y el riesgo de infección. Además, la colocación de pines cerca de articulaciones o estructuras neurovasculares incrementa el riesgo de complicaciones locales (52,143).

El uso prolongado del FE es un factor clave en la aparición de complicaciones. La persistente violación de la barrera cutánea, la liberación de iones metálicos y el estrés

INTRODUCCIÓN

mecánico generado por el pin sobre las partes blandas, especialmente cuando se afloja, comprometen la inmunidad local y predisponen a la contaminación e infección del trayecto del pin. Por ello, la conversión a una fijación definitiva debe realizarse lo antes posible, idealmente antes de los 14 días y cuando los tejidos blandos estén en condiciones adecuadas. (66,119,139,142).

Para la prevención de complicaciones se hacen necesarios una técnica quirúrgica adecuada, el cuidados regular de los pin con productos antisépticos y una vigilancia estricta que permita identificar y tratar de forma temprana cualquier posible infección o inestabilidad (144–146). Estas medidas, junto con una conversión oportuna a fijación definitiva, son esenciales para minimizar complicaciones y optimizar los resultados clínicos y funcionales. A pesar de los riesgos, la FE sigue siendo una herramienta indispensable en Traumatología, ofreciendo una solución temporal y eficaz en situaciones complejas.

2. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

El tratamiento por etapas, utilizando la FE como una herramienta de estabilización inicial seguida de una fijación interna definitiva, ha demostrado ser una estrategia insustituible en el manejo de fracturas en diversos contextos (66,119,132,133). En el PPT, esta estrategia se apoya en la capacidad de la FE para proporcionar estabilidad mecánica sobre el foco de fractura, minimizando la respuesta sistémica al trauma y reduciendo el impacto del “segundo golpe” que ocasionaría una cirugía de osteosíntesis definitiva precoz (61,62). En este contexto, las fracturas diafisarias de huesos largos, como el fémur y la tibia, representan las indicaciones más habituales de esta estrategia.

Aunque el tratamiento por etapas mediante FE y enclavado endomedular se ha establecido como un estándar en el manejo de fracturas diafisarias de tibia y fémur en PPT, persisten varios interrogantes que necesitan ser resueltos para optimizar los resultados clínicos y minimizar complicaciones como las infecciones y problemas de consolidación. Por ejemplo, los factores técnicos asociados a la colocación de los pines, incluyendo la distancia entre estos y el foco de fractura, son aspectos que necesitan mayor investigación para determinar su impacto en la consolidación ósea y el riesgo de infecciones relacionadas con los pines. De igual forma, la experiencia del equipo quirúrgico también se presenta como un elemento relevante a explorar, ya que el perfil del cirujano podría influir en los resultados clínicos y en la incidencia de complicaciones postoperatorias. A día de hoy, poco o nada se conoce sobre esta relación.

Por tanto, la primera parte de este trabajo investigará el tratamiento por etapas mediante FE y enclavado endomedular en fracturas diafisarias de fémur y tibia,

JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

abordando estas cuestiones con el objetivo de sugerir mejoras en el tratamiento de estos pacientes.

En el caso de las fracturas abiertas o periarticulares, como las de pilón tibial o meseta tibial, el tratamiento por etapas es igualmente un estándar aceptado debido a la necesidad de garantizar un estado óptimo de los tejidos blandos antes de proceder con la fijación interna definitiva (64,107,135). Entre estas lesiones, las fracturas-luxaciones de tobillo son frecuentes y, aunque en algunos casos pueden tratarse con fijación definitiva inmediata, muchos requieren un abordaje por etapas debido a la inestabilidad articular o al compromiso de partes blandas que impide una fijación interna inmediata (137,138,147–149). En este contexto, la reducción temprana de la luxación y la inmovilización temporal son esenciales para prevenir la pérdida de reducción, evitar el deterioro de la cobertura de tejidos blandos y garantizar un entorno quirúrgico favorable para la fijación definitiva.

Sin embargo, el método ideal de inmovilización temporal en las fracturas-luxaciones de tobillo aún genera controversia (136–138,147,148). Podemos optar por aplicar férulas o FE. Aunque ambos métodos son ampliamente utilizados, existen interrogantes en cuanto a las indicaciones óptimas de uno u otro método de inmovilización. Por un lado, se ha reportado una mayor tasa de pérdida de la reducción con las inmovilizaciones con férulas, lo que exacerba la lesión de tejidos blandos, retrasando potencialmente la cirugía definitiva (150–153). Por otro lado, las complicaciones asociadas a la FE, como infecciones del trayecto de los pines, osteomielitis y fracturas yatrogénicas no deben ser ignoradas (66–68,119). Además, la literatura sobre cuál de estos métodos ofrece una mejor calidad de reducción inicial y resultados postoperatorios más favorables es escasa (150–153). Todo ello refleja una falta

JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

de consenso en el manejo de estas fracturas, destacando la necesidad de estudios que comparen ambos métodos y sus implicaciones clínicas.

Por tanto, esta segunda parte del trabajo analizará el resultado en el manejo por etapas de fracturas-luxaciones cerradas de tobillo empleando, de forma alternativa, férulas de yeso o FE; proporcionando información que contribuirá a optimizar las estrategias de tratamiento y a mejorar los resultados clínico.

3. HIPÓTESIS

La hipótesis principal de este estudio establece que el desarrollo de infección del trayecto del pin aumenta la tasa de infección relacionada con la fractura tras el tratamiento definitivo con enclavado endomedular en fracturas de fémur y tibia.

Las hipótesis secundarias son:

- Una menor distancia entre los pines del FE y el foco de fractura se asocia a un aumento en la tasa de infección relacionada con la fractura tras el enclavado endomedular en fracturas de fémur y tibia.
- La especialización en trauma ortopédico es un factor protector para la infección relacionada con la fractura en el tratamiento por etapas mediante FE y enclavado endomedular de fracturas de fémur y tibia.
- La FE como método de inmovilización temporal no se asocia a una mayor tasa de complicaciones postoperatorias en comparación con la férula de yeso, a pesar de emplearse con mayor frecuencia en pacientes con fracturas-luxaciones cerradas de tobillo más complejas y con más factores de riesgo.
- La utilización del FE en fracturas-luxaciones cerradas de tobillo se asocia con una mejor calidad de la reducción inicial y con una menor tasa de pérdida secundaria de reducción en comparación con la inmovilización con férulas de yeso.

4. OBJETIVOS

Objetivo principal:

El objetivo principal fue identificar los factores que contribuyen a la infección relacionada con la fractura tras el tratamiento secuencial con FE y enclavado endomedular en fracturas de fémur y la tibia.

Objetivos secundarios:

Los objetivos secundarios fueron:

- Analizar el impacto de la especialización del cirujano en las modalidades de tratamiento y los resultados clínicos tras el tratamiento secuencial con FE y enclavado endomedular en fracturas de fémur y la tibia.
- Comparar las características basales de los pacientes y de las fracturas, así como los resultados clínicos y radiológicos entre fracturas-luxaciones cerradas de tobillo inmovilizadas temporalmente con FE en comparación con aquellas inmovilizadas con férulas de yeso.
- Determinar si existieron diferencias en las tasas de pérdida de reducción entre fracturas-luxaciones cerradas de tobillo inmovilizadas temporalmente con FE en comparación con aquellas inmovilizadas con férulas de yeso.
-

5. MATERIAL Y MÉTODOS

La unidad temática de esta tesis se estructura alrededor de dos estudios enfocados cada uno de ellos en alguno de los aspectos menos investigados del manejo por etapas de fracturas con FE temporal.

5.1. Trabajo nº1: Factores de riesgo para complicaciones en el tratamiento por etapas mediante fijación externa temporal y enclavado endomedular en fracturas de la tibia y del fémur

5.1.1. Diseño y configuración de la muestra

Este estudio retrospectivo de cohortes (nivel de evidencia III) incluyó pacientes tratados en un único centro de tercer nivel (Hospital Universitari Vall d'Hebron, Barcelona, España) entre marzo de 2011 y noviembre de 2022. Se reclutaron todos los pacientes esqueléticamente maduros (edad mayor o igual a 15 años) con fracturas de fémur y/o tibia que fueron tratados con FE temporal seguida de enclavado endomedular (**Figura 6 y 7**).

MATERIAL Y MÉTODOS

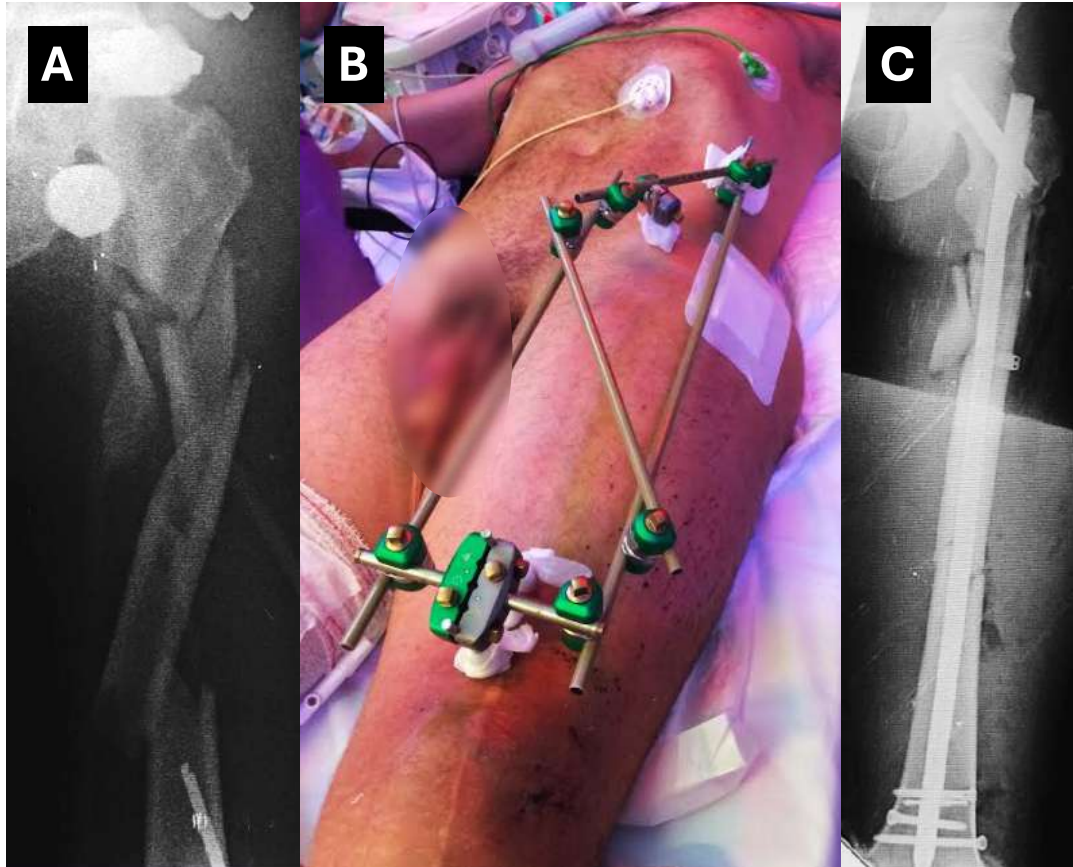


Figura 6. Imágenes ilustrativas del tratamiento secuencial de una fractura diafisaria de fémur mediante fijación externa y enclavado endomedular. **A.** Radiografía anteroposterior de fémur izquierdo mostrando una fractura diafisaria segmentaria (AO/OTA 32-C) estabilizada con un fijador externo. **B.** Imagen clínica de un fijador externo unilateral uniplanar con constructo cuadrangular para inmovilizar la fractura en muslo izquierdo abarcando la articulación de la cadera, pero no la articulación de la rodilla. **C.** Radiografía anteroposterior de fémur izquierdo con fijación definitiva mediante un clavo cefalomedular anterógrado largo.

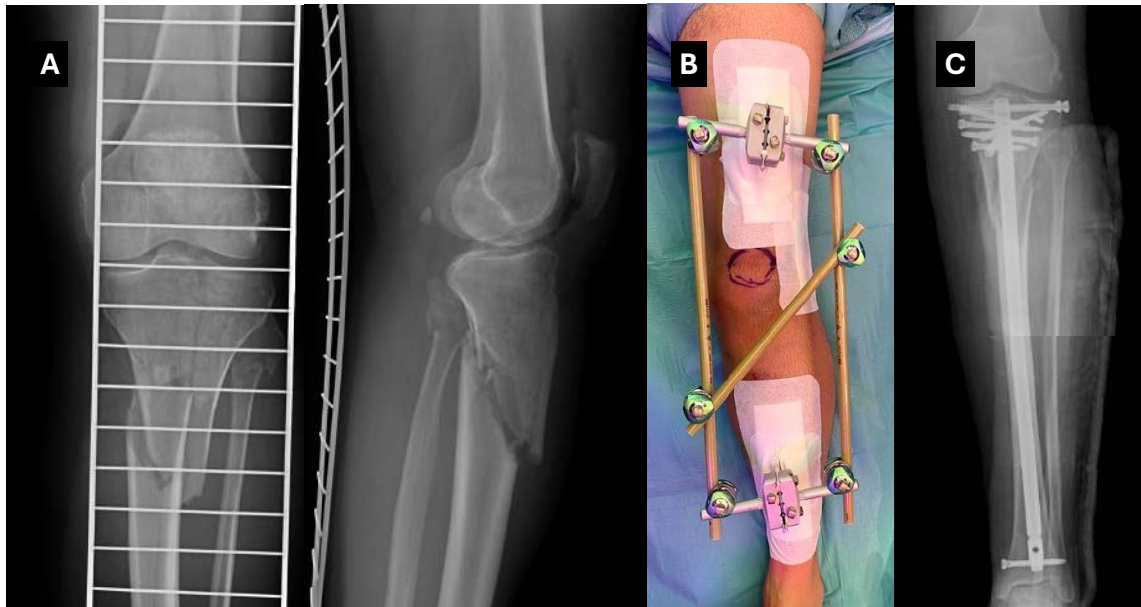


Figura 7. Imágenes ilustrativas del tratamiento secuencial de una fractura de meseta tibial con extensión diafisaria mediante fijación externa y enclavado endomedular. **A.** Radiografía anteroposterior de rodilla izquierda mostrando una fractura de meseta tibial (AO/OTA 41-C) estabilizada con un fijador externo. **B.** Imagen clínica de un fijador externo unilateral uniplanar con constructo cuadrangular para inmovilizar la fractura en muslo izquierdo abarcando la articulación de la rodilla. **C.** Radiografía anteroposterior de tibia izquierda con fijación definitiva mediante un clavo endomedular.

Se excluyeron los siguientes casos:

- Casos con indicaciones de FE o enclavado endomedular distintas a la fijación de fracturas agudas.
- Pacientes con fracturas patológicas.
- Pacientes con refracturas.
- Antecedentes de infecciones o neoplasias en el fémur, la tibia o sus articulaciones adyacentes.
- Pacientes con periodos de latencia entre la extracción del FE y el enclavado endomedular (“periodos de descanso de pines”).
- Pacientes sin superposición entre las trayectorias del implante endomedular y los pines del FE.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se obtuvo la aprobación del comité de ética institucional (**Anexo 1**) antes del inicio del estudio (PR(AT)233/2022), y se siguieron las directrices de la declaración STROBE para la redacción del trabajo. Se consideró un periodo de seguimiento postoperatorio durante un periodo de un año.

5.1.2. Intervenciones

Los pacientes fueron admitidos a través del servicio de Urgencias. Aquellos derivados bajo código PPT fueron manejados de forma inicial según las guías intrahospitalarias basadas en la categorización del código, el cual se determina según criterios fisiológicos, anatómicos y mecanismos lesionales, y adhiriéndose a los protocolos del *Advanced Trauma Life Support* (ATLS). El estudio de imagen de la extremidad afectada se realizó tan pronto como fue posible. En la mayoría de los casos este consistió en radiografías anteroposterior y lateral de la extremidad. En los pacientes en los que se realizó una tomografía axial computarizada de cuerpo completo en contexto de politraumatismo, esta incluyó las extremidades inferiores en casos de extremidad catastrófica y/o sospecha de lesión vascular. Todos los FE se aplicaron de forma emergente como parte de estrategia de control de daños, ya sea local o sistémica, por cirujanos ortopédicos de guardia con diferentes niveles de especialización en trauma ortopédico. Se administró profilaxis antibiótica según las directrices institucionales al momento de la inducción de la anestesia o con 30 minutos de antelación al procedimiento de FE. La cirugía de FE se realizó con el paciente en posición supina sobre una mesa radiolúcida, con la pierna lesionada expuesta. La reducción y la colocación de los pines se realizó utilizando fluoroscopia con arco en C. Se tomaron radiografías tras 24-48h postoperatorias de la FE.

MATERIAL Y MÉTODOS

El manejo de las fracturas abiertas incluyó la administración inmediata de antibióticos según nuestros protocolos específicos para fracturas abiertas y la profilaxis quirúrgica estándar, seguido de desbridamiento y lavado quirúrgico. La profilaxis institucional para fracturas abiertas de grado I y II de Gustilo consiste en cefazolina 2g intravenosa como dosis inicial, seguida de 1g cada 8 horas durante 24 horas. En pacientes con alergia a betalactámicos, se indica clindamicina 600mg intravenosa cada 8 horas durante 24 horas, con una dosis única de gentamicina 3 mg/kg. En fracturas abiertas de grado III, se recomienda amoxicilina-ácido clavulánico 2g intravenosa inicial, seguida de 1 a 2 g cada 8 horas, asociada a gentamicina 3 mg/kg/día durante 3 días. En caso de alergia a betalactámicos, se sustituye por clindamicina 600 mg cada 8 horas más gentamicina con misma pauta. Si el paciente presenta insuficiencia renal (aclaramiento de creatinina <50 ml/min), se sustituye la gentamicina por ceftazidima 1 g cada 8 horas. Cuando el cierre primario de las heridas no fue factible, se utilizó terapia de presión negativa. La decisión de emplear antibióticos locales fue tomada por los cirujanos tratantes. La cobertura de las heridas abiertas se realizó en colaboración con cirujanos plásticos.

Se utilizó heparina de bajo peso molecular para la profilaxis de la trombosis venosa profunda, realizando modificaciones en el tratamiento basadas en el uso previo de fármacos anticoagulantes o antiplaquetarios. Los pines del FE fueron sometidos a limpieza y antisepsia diaria. Aunque no existe un protocolo hospitalario específico para el cuidado de los pines del FE, en nuestra práctica clínica se aplican pautas adaptadas al estado local de cada trayecto. En ausencia de exudado, se recomienda curas con clorhexidina 2% alcohólica y cobertura con un apósito con plata, con cambios cada dos o tres días. En presencia de pines exudativos, se utiliza un apósito absorbente con plata y apósito secundario, ajustando la frecuencia de cambio según la saturación.

MATERIAL Y MÉTODOS

La conversión de FE a enclavado endomedular se realizó tan pronto como fuera segura, tanto a nivel sistémico como local de la extremidad. Todas las cirugías definitivas fueron realizadas exclusivamente por cirujanos especializados en trauma ortopédico.

Se administró profilaxis antibiótica según las directrices institucionales al momento de la inducción de la anestesia para el procedimiento de fijación endomedular. La cirugía de enclavado endomedular se realizó con el paciente en posición decúbito lateral o decúbito supino sobre una mesa radiotransparente de tracción para fracturas de fémur. El abordaje quirúrgico realizado para la mayoría de los casos fue percutáneo siguiendo indicaciones de colocación del implante según principios técnicos para la colocación del clavo. En algunos casos fue necesario realizar una reducción abierta del foco. Para las fracturas de tibia, el abordaje fue de igual forma percutáneo, suprapatelar o infrapatelar, con el paciente en decúbito supino con manguito de isquemia en muslo ipsilateral, con reducción cerrada o percutánea de la fractura. La reducción y la colocación del clavo endomedular se realizó utilizando fluoroscopia con arco en C. Inmediatamente tras la cirugía, se inmovilizó la pierna intervenida con una férula suropédica. Se tomaron radiografías tras 24-48h postoperatorias del enclavado endomedular.

La fisioterapia se inició entre el primer y segundo día postoperatorio. Se permitió la carga según tolerancia y la movilidad inmediata tras el enclavado endomedular de fémur, siempre que el estado de las partes blandas lo permitiera. En fracturas de tibia, la carga según tolerancia y movilidad fue progresiva tras asegurar la correcta evolución de las heridas quirúrgicas, aproximadamente a las dos semanas.

Los pacientes fueron dados de alta una vez alcanzaron una estabilidad clínica adecuada, tras lo cual se programaron visitas de seguimiento a las seis semanas, y a los

MATERIAL Y MÉTODOS

tres, seis y doce meses después de la cirugía. En cada visita de seguimiento se realizaron un examen clínico y radiografías en proyección anteroposterior y lateral.

5.1.3. Variables investigadas

Se recopilaron datos sobre las características demográficas de los pacientes, sus lesiones, los tratamientos proporcionados, la evaluación radiológica y los resultados postoperatorios de la base de datos institucional SAP (SAP SE, Alemania).

Respecto a las variables demográficas de los pacientes se recogieron:

- Edad.
- Sexo.
- Comorbilidades: El índice de comorbilidad de Charlson es una herramienta utilizada para predecir el riesgo de mortalidad en pacientes en función de la presencia y severidad de comorbilidades. Asigna un puntaje a 19 condiciones médicas crónicas, como enfermedad cardíaca, insuficiencia renal, cáncer o diabetes, según su impacto en la supervivencia ajustado a la edad del paciente.

Una puntuación más alta indica mayor riesgo de mortalidad.

Respecto a las variables relacionadas con la cronología y gravedad de las lesiones se recogieron:

- Fecha de lesión.
- Mecanismo de lesión (tráfico, caída, precipitación, deportivo, otros).
- Injury Severity Score (ISS) o puntuación de severidad de lesiones (154). El ISS es un sistema anatómico universal para evaluar la gravedad de pacientes con lesiones múltiples en el ámbito prehospitalario. Cada lesión recibe una puntuación según la Escala de Lesión Abreviada, que asigna una puntuación a las lesiones de cada una de las seis regiones corporales: cabeza, cara, tórax, abdomen (incluida

MATERIAL Y MÉTODOS

la pelvis), extremidades y piel. Solo se considera la puntuación de la Escala de Lesión Abreviada más alta de cada región. El ISS se calcula como la suma de los cuadrados de las 3 regiones del cuerpo con lesiones más graves. La puntuación ISS toma valores de 0 a 75. Este sistema es el principal método anatómico en uso y se correlaciona linealmente con mortalidad, morbilidad, estancia hospitalaria y gravedad.

- Éxito si procede.

Respecto a las variables relacionadas con las características de las fracturas se recogieron:

- Localización anatómica (fémur o tibia, lateralidad).
- Clasificación AO/OTA (155) en radiografía o prueba de imagen de urgencias. La clasificación AO/OTA de fracturas se utiliza para describir y clasificar fracturas óseas según su localización anatómica y morfología. Está estructurada en dos niveles: localización anatómica, y morfología de la fractura. En el primer nivel, se clasifica la localización anatómica de la fractura. Este nivel se basa en el hueso afectado y el segmento anatómico específico. Cada hueso se representa con un número (el fémur se identifica como 3, mientras que la tibia se clasifica como 4) y se subdivide en segmentos: metáfisis proximal (1), diáfisis (2) y metáfisis distal (3). El segundo nivel describe la morfología de la fractura, dividiéndola en tres tipos principales según su complejidad: En fracturas diafisarias, A designa fracturas simples, B fracturas en cuña y C fracturas complejas (multifragmentarias o conminutas); en fracturas metafisarias, A designa fracturas extraarticulares, B articulares parciales y C articulares completas. El segundo nivel presenta más subgrupos de clasificación, los cuales no fueron empleados en el estudio.

MATERIAL Y MÉTODOS

- Grado de fractura abierta: clasificación Gustilo-Anderson (156). La clasificación de fracturas abiertas de Gustilo-Anderson se divide en: I: herida limpia de menos de 1 cm. II: herida mayor de 1 cm, pero menor de 10 cm sin daño significativo de tejidos blandos. III: laceración con daño extenso de tejidos blandos (mayor a 10 cm), fractura segmentaria o con gran conminución o amputación traumática, incluyendo heridas por armas de fuego, heridas con reparación vascular requerida o de más de 8 horas de evolución. Dentro del tipo III, distinguimos tres subtipos. IIIA: se caracteriza por cobertura adecuada a pesar de lesiones extensas o traumatismos de alta energía. IIIB: pérdida amplia de tejidos blandos con exposición ósea y contaminación masiva que requiere uso de colgajos de cobertura. IIIC: lesiones arteriales que requieren reparación, independientemente del daño en tejidos blandos.
- Presencia de defectos óseos en fracturas abiertas: incompletos (D1), o completos (D2 y D3). Los defectos incompletos son aquellos que no abarcan la circunferencia completa de un segmento óseo. Los defectos completos se consideran subcríticos o menores (D2) cuando la longitud del defecto segmentario es menor a 2 cm, y críticos (D3) cuando el defecto es igual o mayor a 2 cm (157).
- Lesiones asociadas (neurológicas, vasculares).

Respecto a las variables relacionadas con el tratamiento inicial (FE) se recogieron:

- Fecha de colocación y retirada del FE.
- Tipo de montaje (FE abarcando la articulación o respetándola).
- Números de pines por segmento óseo.
- Mediciones radiológicas:
 - Longitud de fractura.

MATERIAL Y MÉTODOS

- Corredores anatómicos de los pines.
- Distancia pin-fractura: Distancia del pin más cercano a la cortical fracturada.
- Distancia pin-cadera, pin-rodilla y pin-tobillo: distancia entre el pin más cercano al centro de rotación de la cabeza femoral, al polo superior de la rótula, al centro de la eminencia tibial y a la superficie articular del astrágalo, respectivamente.
- Uso de antibióticos locales y terapia de presión negativa.
- Cobertura definitiva en caso de fracturas abiertas, fecha y tipo de cobertura (colgajo, injerto, fix and flap).
- Cirujano responsable (especialista o no en trauma ortopédico).

Respecto a las variables relacionadas con la cirugía definitiva, se recogieron:

- Fecha de colocación del clavo.
- Tipo de clavo (Fémur: corto, largo, retrógrado, anterógrado, cefalomedular; tibia: convencional, artrodesis, implantación suprapatelar o infrapatelar).
- Número de superposiciones entre los pines del FE y el clavo.
- Técnica de reducción (cerrada, abierta, percutánea).
- Cirujano responsable (especialista o no en trauma ortopédico).
- Necesidad de cirugía de reconstrucción o Masquelet.

Respecto a los resultados postoperatorios se recogieron:

- Complicaciones locales incluyendo: infección de pines (eritema, supuración, exudación, aflojamiento) (158), infección relacionada con la fractura (159), presencia de ampollas o epidermólisis, síndrome compartimental, pseudoartrosis o no unión, rigidez articular, y las fechas de cada una de estas. La consolidación

MATERIAL Y MÉTODOS

ósea se definió como la formación de puentes en el foco de fractura y la ausencia de dolor en dicho sitio durante la carga de peso. La pseudoartrosis o no unión se definió como ausencia de puentes óseos y dolor en carga tras 9 meses de la fractura con ausencia de progresión radiológica en últimos 3 meses (160).

- Fecha de consolidación ósea.
- Fecha de último seguimiento.
- Cirugía de retirada de clavo endomedular.
- Rigidez residual al alta.

Para la evaluación radiológica, se empleó el software RAIM Viewer (Corporació Sanitària Parc Taulí, España). Cada imagen fue evaluada una vez por un único investigador ciego a los resultados.

Los datos fueron codificados y recogidos en un formulario en soporte papel (**Anexo 2**). Posteriormente, se incluyeron en una base de datos informática en soporte Microsoft Excel. A cada participante se les asignó un código numérico y el acceso a los datos personales de los pacientes quedó restringido al investigador principal del estudio y colaboradores. Se cumplió con la normativa de protección de datos, el Reglamento (UE) 2016/679 del Parlamento Europeo y del Consejo de 27 de abril de 2016 (RGPD) relativo a la protección de las personas físicas en lo que respecta al tratamiento de datos personales y a la libre circulación de estos datos y la Ley Orgánica 3/2018 de 5 de diciembre, de Protección de datos Personales y garantía de derechos digitales (LOPDPGDD).

El desenlace principal fue el diagnóstico de infecciones del trayecto del pin y/o infecciones relacionadas con la fractura basado en criterios clínicos, radiológicos y de laboratorio (158,159). Los desenlaces secundarios incluyeron cualquier otra

MATERIAL Y MÉTODOS

complicación postoperatoria. Se realizó estudio de los factores asociados con estas complicaciones postoperatorias.

5.1.4. Métodos estadísticos

El análisis estadístico se realizó utilizando Stata/IC 14.2 (StataCorp, College Station, TX, EEUU.). Las variables continuas se representaron mediante medias y desviaciones estándar o medianas y rangos intercuartílicos (IQR), según correspondiera. Las variables categóricas se representaron mediante recuentos y porcentajes (%). Para evaluar las diferencias entre las variables continuas, se utilizó la prueba t de Student o la prueba de rangos de Wilcoxon-Mann-Whitney, según la distribución de los datos. Para las variables categóricas, las diferencias se evaluaron mediante la prueba de chi-cuadrado de Pearson o la prueba exacta de Fisher, según correspondiera. Todos los valores de p menores de 0,05 se consideraron estadísticamente significativos.

5.2. Trabajo nº2: Métodos de inmovilización temporal para fracturas-luxaciones cerradas de tobillo de baja energía

5.2.1. Diseño y configuración de la muestra

Este estudio de cohorte retrospectivo (nivel de evidencia III) incluyó pacientes operados consecutivamente en un centro de nivel III (Hospital Universitari Vall d'Hebron, Barcelona, España) entre 2009 y 2021. El protocolo del estudio fue aprobado por nuestro Comité de Ética Institucional (**Anexo 4**) (PR(ATR)397/2017) y seguimos las guías STROBE durante el proceso de redacción. Incluimos a todos los pacientes esqueléticamente maduros (edad mayor o igual a 15 años) con una fractura-luxación de tobillo (AO/OTA 44) tratados de manera definitiva con una reducción abierta y fijación interna, definiendo fractura-luxación de tobillo como un desplazamiento mayor o igual del 50% del astrágalo en relación con la tibia en radiografías anteroposteriores y/o laterales que requirieran reducción urgente (**Figura 8**). Los pacientes fueron categorizados en dos grupos según el método de inmovilización inicial utilizado: FE o férula de yeso.

MATERIAL Y MÉTODOS



Figura 8. Radiografía anteroposterior de tobillo en la que se evidencia una fractura equivalente bimalleolar de tobillo derecho luxada.

Se excluyeron los siguientes casos:

- Pacientes con cirugías previas de tobillo.
- Fracturas abiertas.
- Infecciones o malignidades alrededor del tobillo.
- Fracturas concomitantes en miembros inferiores.
- Fracturas en un contexto de politraumatismo (definido como una puntuación del índice de severidad de lesiones mayor o igual a 16).

5.2.2. Intervenciones

Los pacientes fueron admitidos a través de nuestro Servicio de Urgencias. En caso de politraumatismo, los pacientes fueron manejados siguiendo los protocolos del ATLS.

La condición de los tejidos blandos fue evaluada y registrada durante la exploración física (**Figura 9**). Se proporcionaron analgésicos y se realizaron radiografías de tobillo en proyecciones anteroposterior, lateral, mortaja, y de toda la tibia. En el caso de confirmar una fractura-luxación de tobillo, se realizó una reducción cerrada inmediata bajo bloqueo intraarticular y control fluoroscópico, llevada a cabo por un residente de ortopedia o un cirujano ortopédico capacitado (**Figura 10**). Tras la reducción se aplicó una férula suropédica posterior. Tras la inmovilización, se realizaron nuevas radiografías. La FE se aplicó de manera primaria por decisión del cirujano ortopédico senior de guardia, basada en la condición de los tejidos blandos y el patrón de fractura, o tras dos intentos fallidos de reducción.

MATERIAL Y MÉTODOS

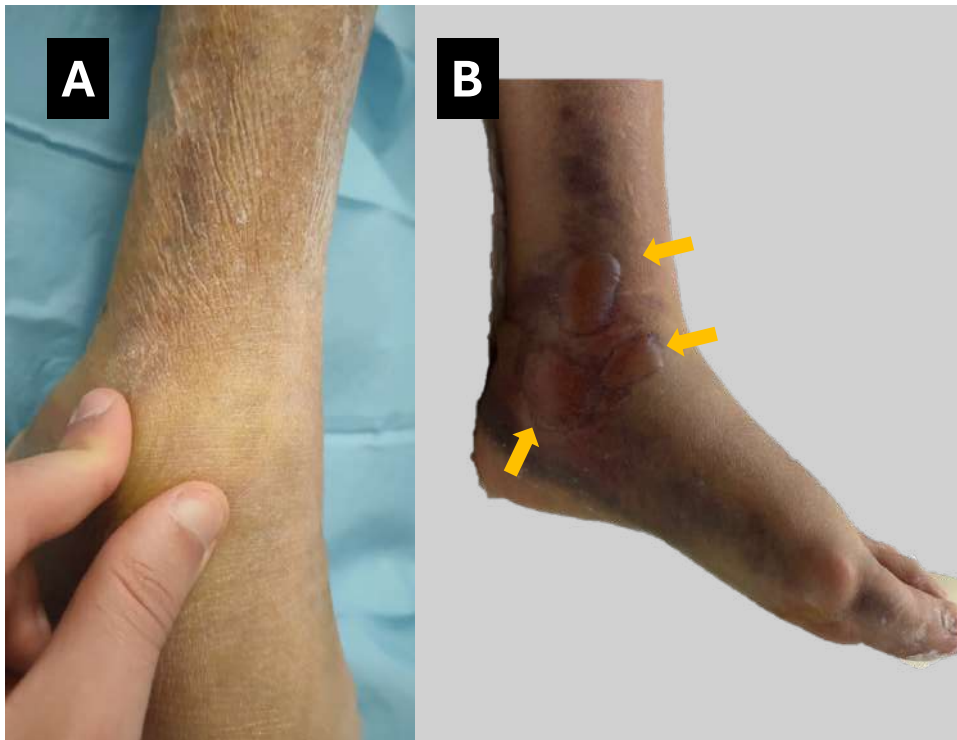


Figura 9. Valoración del estado cutáneo en fracturas de tobillo. **A.** Vista anterolateral de tobillo derecho mostrando la prueba de la arruga. Con el dedo índice y pulgar se pellizca suavemente la piel. La formación de arrugas indica un estado cutáneo favorable para realizar una osteosíntesis definitiva con seguridad. **B.** Vista medial del tobillo izquierdo donde se observan tres flictenas serosas, indicando un estado cutáneo desfavorable para la osteosíntesis definitiva.

MATERIAL Y MÉTODOS



Figura 10. Procedimiento de reducción cerrada de una fractura-luxación trimaleolar de tobillo izquierdo. **A y B.** Radiografías de tobillo izquierdo con uso de escopia, empleada durante el proceso de reducción cerrada. La proyección lateral (**A**) confirma una fractura-luxación posterior. El paciente está colocado en decúbito supino con la rodilla semiflexionada mediante el uso de un rulo. Se realiza una infiltración intraarticular de anestésico local, justo lateral al tendón del tibial anterior. **C.** Para la maniobra de reducción de una luxación posterior de tobillo primero, con una mano se libera el astrágalo de la tibia distal colocando el pie en ligera flexión plantar y traccionando axialmente el talón alejándolo de la tibia, mientras que con la otra mano se realiza contratracción axial en la pantorrilla. **D y E.** A continuación, mientras se mantiene la distracción axial del talón y aplicando una contrafuerza en la parte anterior del tobillo con la otra mano (**D**), se realiza una dorsiflexión del pie para reposicionar la cúpula astragalina anteriormente dentro de la mortaja articular (**E**). **F.** El control radiológico final confirmó una reducción infructuosa y persistencia de la luxación posterior de tobillo.

MATERIAL Y MÉTODOS

Todos los pacientes fueron ingresados para vigilancia estricta de la evolución de las partes blandas, controlar el dolor y garantizar el reposo necesario del miembro afectado. Se utilizó heparina de bajo peso molecular como profilaxis tromboembólica, con modificaciones del tratamiento basadas en el uso previo de anticoagulantes o antiagregantes plaquetarios.

La FE generalmente se realizó de carácter urgente por los cirujanos ortopédicos de guardia. La profilaxis antibiótica se administró siguiendo las guías institucionales en el momento de la inducción anestésica. Los pacientes fueron colocados en decúbito supino sobre una mesa radiolúcida con la pierna lesionada libre de tallas quirúrgicas. Se colocaron pines autorroscantes proximales en la cara anteromedial de la tibia, 5 cm distal a la tuberosidad tibial anterior, y un pin transfixante en el calcáneo introducido de medial a lateral (**Figura 11**). Todos los pines se colocaron en corredores anatómicamente seguros, alejados del foco de la fractura, las articulaciones adyacentes y las trayectorias de los abordajes quirúrgicos de fijación definitiva. El control de la colocación de los pines se realizó con fluoroscopia con el arco en C. La configuración del montaje de FE fue tipo delta o cuadrangular según la preferencia del cirujano (**Figura 12**). Tras la cirugía, se tomaron radiografías del tobillo.

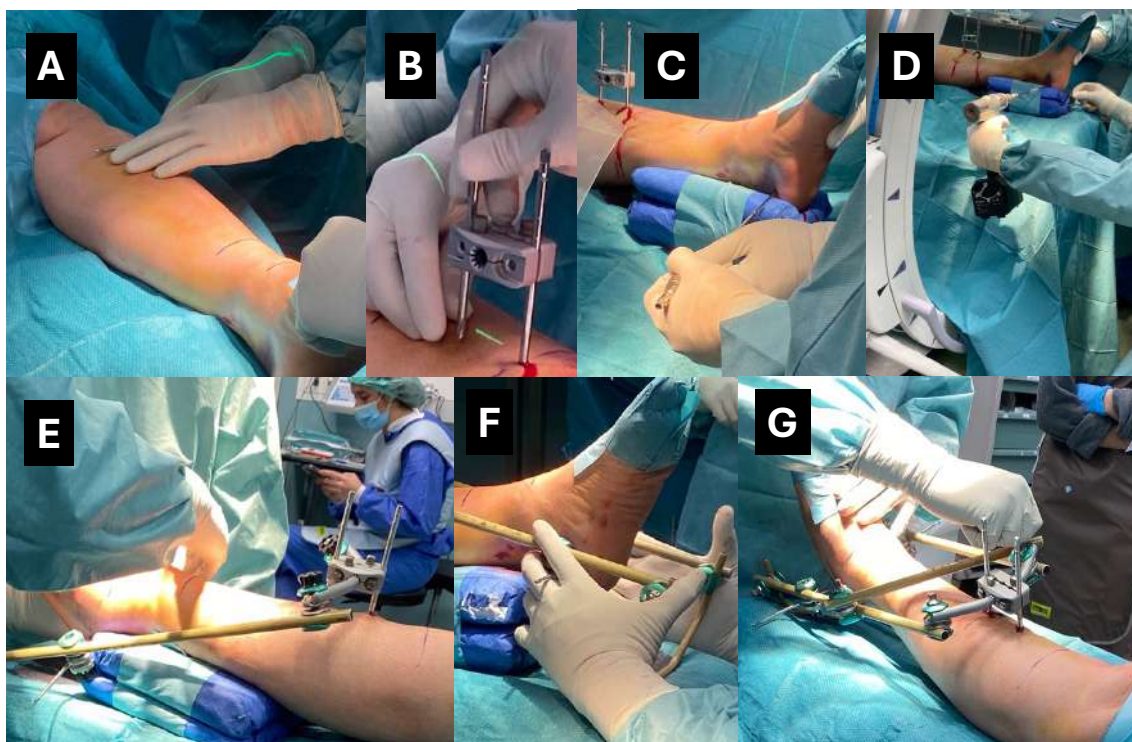


Figura 11. Secuencia quirúrgica en el montaje de un fijador externo de tobillo. **A.** Se coloca al paciente en decúbito supino sobre una mesa quirúrgica radiotransparente, asegurando que la pierna afectada quede libre de tallas. Con un objeto radiopaco, se marca las interlíneas articulares del tobillo y la rodilla, la tuberosidad tibial anterior y los límites de la fractura. **B.** Se insertan dos pines autorroscantes a nivel proximal, aproximadamente 5 cm distales a la tuberosidad tibial anterior, en la cresta de la tibia. Los pines deben colocarse perpendicularmente a la diáfisis tibial y son conectados a una abrazadera. **C y D.** Se inserta un pin transfixiante en el calcáneo, de medial a lateral, guiado por fluoroscopia, asegurando su colocación perpendicular a la línea articular del astrágalo. **E.** Tras la inserción de los pines se ensamblan las barras mediante abrazaderas y postes fijados a los pines. **F.** Se realizan maniobras de reducción indirecta bajo fluoroscopia con el fijador externo para alinear y reducir la fractura-luxación del tobillo. **G.** Finalmente, se ajustan y aseguran las abrazaderas para prevenir el aflojamiento de los componentes del fijador.

MATERIAL Y MÉTODOS



Figura 12. Fijador externo biplanar cuadrangular en pierna derecha para la inmovilización de una fractura-luxación de tobillo. Los pines proximales son insertados en la cara anteromedial de la tibia o cresta, a 5 cm distal a la tuberosidad tibial anterior. El pin distal es transfixante en el calcáneo.

El estado de las partes blandas se monitorizó y se registró cada 48-72 horas. La frecuencia del cuidado de los pines también fue cada 48-72 horas. En caso de sospecha clínica de pérdida de la reducción, se realizó radiografías adicionales del tobillo y, si esta se confirmaba, se realizó la fijación interna definitiva o FE dependiendo de la condición de los tejidos blandos. Tras la cicatrización de los tejidos blandos y disponibilidad de quirófano, se realizó el tratamiento definitivo por diferentes cirujanos con variada especialización en ortopedia. El procedimiento definitivo se realizó guiado por control

MATERIAL Y MÉTODOS

escópico intraoperatorio, con el paciente en decúbito supino, siendo necesario en casos complejos de fracturas trimaleolares, la colocación en decúbito prono. Tras la cirugía definitiva, el tobillo se inmovilizó con una férula suropédica posterior durante dos semanas y se aplicó restricción de apoyo de la extremidad. Los pacientes fueron dados de alta a domicilio 24 o 48 horas tras la cirugía, asegurando una adecuada evolución de la herida y control del dolor. Se recomendó heparina de bajo peso molecular como profilaxis tromboembólica hasta que se permitiera el apoyo de peso según tolerancia. Todos los pacientes fueron sometidos a controles clínicos y radiológicos regulares durante un año después de la cirugía definitiva en las consultas externas del servicio de Cirugía Ortopédica y Traumatología de nuestro centro.

5.2.3. Variables investigadas

Se recopilaron datos sobre las características demográficas de los pacientes, sus lesiones, los tratamientos proporcionados, la evaluación radiológica y los resultados postoperatorios de la base de datos institucional SAP (SAP SE, Alemania).

Respecto a las variables demográficas de los pacientes se recogieron:

- Edad.
- Sexo.
- Hábitos tóxicos (tabaco, alcohol y otras drogas).
- Comorbilidades (clasificación ASA, diabetes, arteriopatía periférica):
clasificación ASA (American Society of Anesthesiologists) e índice de comorbilidad de Charlson (161). La escala ASA clasifica el estado físico de los pacientes antes de una cirugía para valorar el riesgo anestésico y quirúrgico. Comprende seis niveles: ASA I para pacientes sanos, ASA II para aquellos con enfermedad sistémica leve, ASA III para enfermedad sistémica severa pero

MATERIAL Y MÉTODOS

controlada, ASA IV para enfermedad grave que amenaza la vida, ASA V para pacientes moribundos que no sobrevivirían sin cirugía y ASA VI para pacientes con muerte cerebral destinados a donación de órganos. No se han recogido V y VI por ser una contraindicación para esta cirugía.

- Lesiones concomitantes.
- Injury Severity Score o puntuación de severidad de lesiones (154).

Respecto a las variables relacionadas con la cronología de las lesiones se recogieron:

- Fecha de ingreso.
- Fecha de osteosíntesis definitiva.
- Fecha de último seguimiento.

Respecto a las variables relacionadas con las características de las fracturas se recogieron:

- Clasificación AO/OTA de la fractura (155).
- Presencia de maléolo posterior.
- Fractura abierta o cerrada.

Respecto a las variables relacionadas con el tratamiento inicial (FE o inmovilización con férula) se recogieron:

- Inmovilización inicial: FE o férula.
- Motivo de la inmovilización inicial: estado de partes blandas, inestabilidad de la fractura, pérdida de reducción.
- Grado de especialización del cirujano responsable (especialista o no en trauma ortopédico).
- Complicaciones locales antes de la osteosíntesis definitiva: sufrimiento cutáneo, pérdida de reducción, infección.
- Mediciones radiológicas:

MATERIAL Y MÉTODOS

- Tamaño del maléolo posterior (en mm).
- Tamaño del fragmento tibial (en mm).
- Distancia centro astrágalo-eje en proyección anteroposterior (en mm).
- Diámetro astrágalo en proyección anteroposterior (en mm).
- Distancia centro astrágalo-eje en proyección lateral (en mm).
- Diámetro astrágalo en proyección lateral (en mm).
- Medición inicial del ángulo de inclinación talar (en grados).
- Medición inicial del desplazamiento talar anteroposterior y lateral en mm).

Respecto a las variables relacionadas con la cirugía definitiva, se recogieron:

- Cirujano responsable (especialista o no en trauma ortopédico).
- Tiempo hasta el tratamiento definitivo: intervalo de tiempo, medido en días, desde la admisión hasta la cirugía definitiva.

Respecto a los resultados postoperatorios se recogieron:

- Calidad de la reducción:
 - Medición final del ángulo de inclinación talar (en grados).
 - Medición final del desplazamiento talar anteroposterior y lateral en mm).
- Complicaciones locales tras la cirugía definitiva durante el ingreso.
 - Tratamiento de la complicación local.
- Complicaciones durante el seguimiento:
 - Tipo de complicación
 - Fecha de debut
 - Tratamiento de la complicación

MATERIAL Y MÉTODOS

Para la evaluación radiológica, se empleó el software RAIM Viewer (Corporació Sanitària Parc Taulí, España). Cada imagen fue evaluada una vez por un único investigador ciego a los resultados.

En los casos en los que se identificó una fractura del maléolo posterior en las radiografías, se calculó la proporción del tamaño del maléolo posterior según se explica en la **Figura 13**.



Figura 13. Medición del tamaño del maléolo posterior. El tamaño se calcula en una proyección lateral de tobillo dividiendo el tamaño anteroposterior del maléolo posterior en su punto más ancho (x) entre la longitud anteroposterior total de la tibia (x+y). Esta longitud incluye el maléolo posterior (x) y el fragmento intacto anterior de la tibia (y) y es paralela a la articulación talocrural.

La calidad de la reducción se documentó en cada paciente tras la inmovilización inicial y nuevamente tras la cirugía definitiva. Los métodos de evaluación de la calidad de la reducción incluyeron los siguientes parámetros: la inclinación talar, que mide el grado de alineación angular del astrágalo en relación con la tibia (**Figura 14**); el

MATERIAL Y MÉTODOS

desplazamiento talar coronal, que evalúa la alineación del astrágalo en el plano coronal en relación con la tibia (**Figura 15**); y desplazamiento talar sagital, que evalúa la alineación del astrágalo en el plano sagital (**Figura 16**).



Figura 14. Medición de la inclinación talar. La inclinación talar se define como el ángulo (α) formado entre dos líneas: una línea que toca la superficie articular distal de la tibia (a) y otra línea que toca la superficie articular proximal del astrágalo (b) en una radiografía anteroposterior.

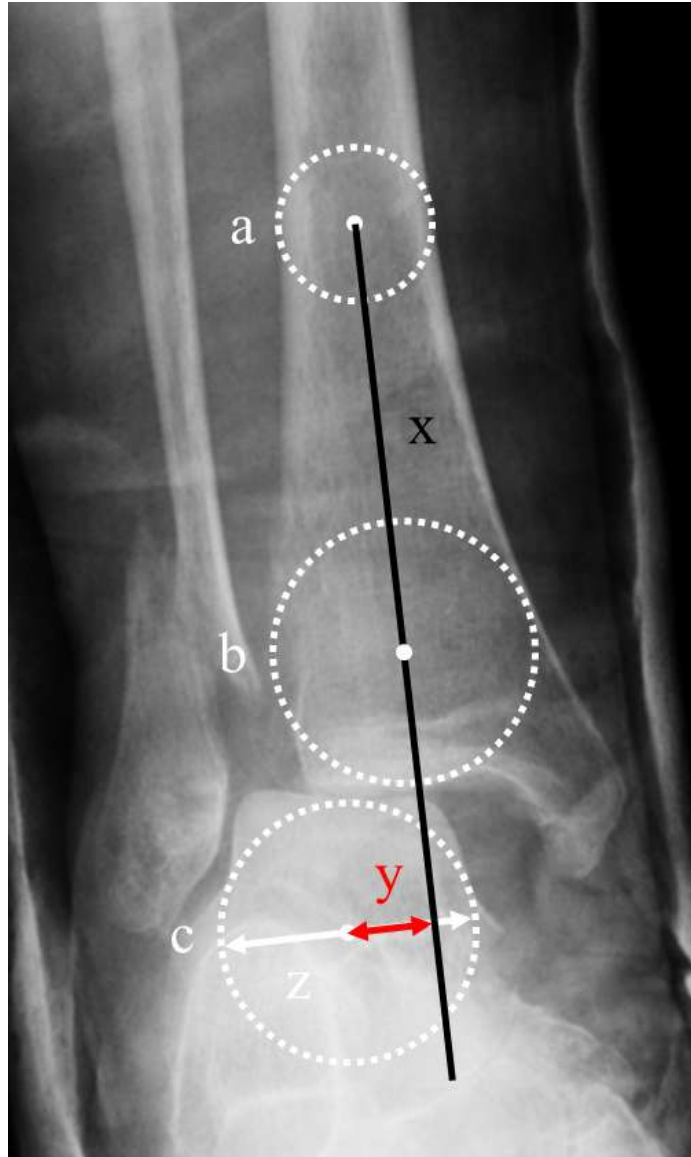


Figura 15. Medición del desplazamiento talar coronal. El desplazamiento del astrágalo en el plano coronal se calcula como la proporción entre la distancia, medida a lo largo de una línea trazada perpendicularmente desde el eje coronal distal de la tibia (x) hasta el centro del astrágalo (y), y el radio coronal del astrágalo (z). El eje coronal distal de la tibia se define mediante una línea que conecta los centros de dos círculos: uno trazado a 10 cm por encima de la línea articular en contacto con las corticales medial y lateral de la tibia (a), y otro que toca las tres corticales de la metáfisis distal (b). El centro del astrágalo se determina con el centro de un círculo que contacta el punto medio del platillo astragalino y las paredes medial y lateral (c).

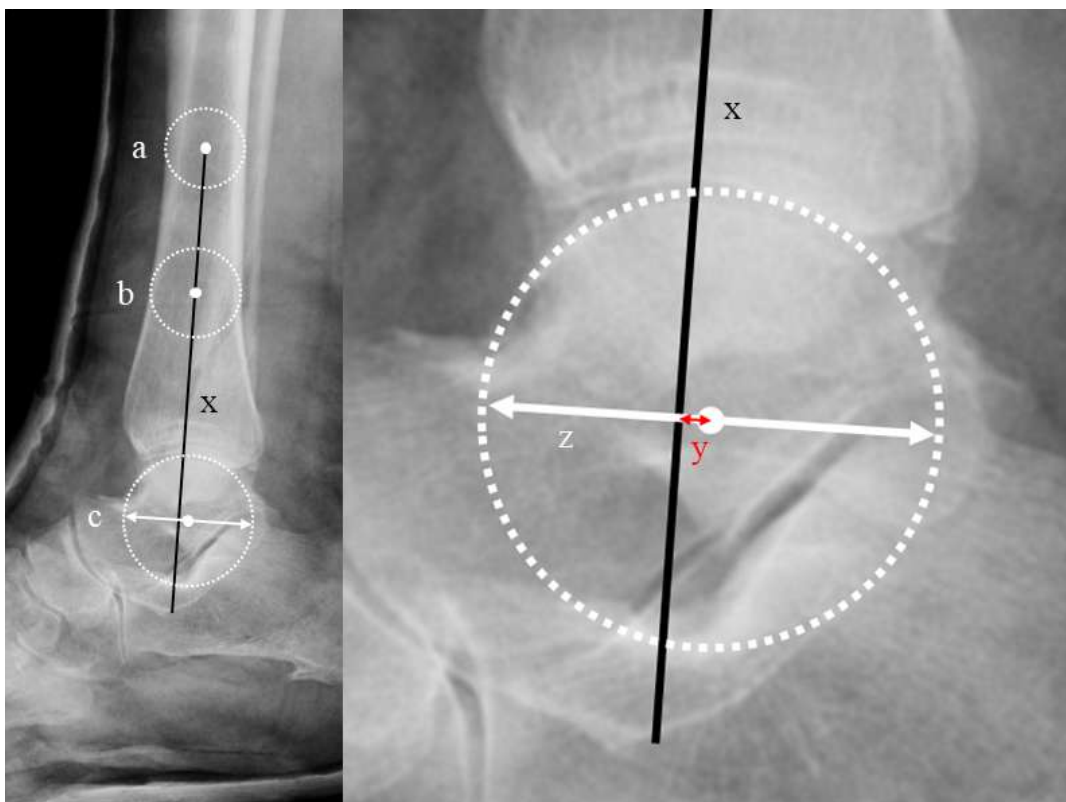


Figura 16. Medición del desplazamiento talar sagital. El desplazamiento del astrágalo en el plano sagital se calcula como la proporción entre la distancia, medida a lo largo de una línea trazada perpendicularmente desde el eje sagital de la tibia (x) hasta el centro del astrágalo (y), y el radio sagital del astrágalo (z). El eje sagital de la tibia se define mediante una línea que conecta los centros de dos círculos: trazados a 10 y 5 cm (a y b, respectivamente) por encima de la línea articular en contacto con las corticales anterior y posterior de la tibia. El centro del astrágalo se determina con el centro de un círculo ajustado a la cúpula astragalina (c).

Para la evaluación inicial de la calidad de la reducción, esta se consideró satisfactoria si la inclinación talar fue de entre 0 y 10 grados y la proporción de desplazamiento talar de entre 0 y 20%. Los valores fuera de este rango se consideraron no satisfactorios. Sin embargo, para la evaluación final de la calidad de la reducción después de la cirugía, los criterios se hicieron más estrictos. Se consideró satisfactoria si la inclinación talar fue de entre 0 y 5 grados y la proporción de desplazamiento talar de entre 0 y 10%. Los valores que superaron estos límites se consideraron no satisfactorios. Estos valores fueron basados y adaptados de trabajos previos (162,163).

MATERIAL Y MÉTODOS

Los datos fueron codificados y recogidos en una base de datos informática en soporte Microsoft Excel. A cada participante se les asignó un código numérico y el acceso a los datos personales de los pacientes quedó restringido al investigador principal del estudio y colaboradores. Se cumplió con la normativa de protección de datos, el Reglamento (UE) 2016/679 del Parlamento Europeo y del Consejo de 27 de abril de 2016 (RGPD) relativo a la protección de las personas físicas en lo que respecta al tratamiento de datos personales y a la libre circulación de estos datos y la Ley Orgánica 3/2018 de 5 de diciembre, de Protección de datos Personales y garantía de derechos digitales (LOPDPGDD).

El resultado primario fue la presencia de cualquier complicación postoperatoria local. El resultado secundario fue la calidad de la reducción en radiografías simples.

5.2.4. Métodos estadísticos

El análisis estadístico se realizó utilizando el software Stata 14.2 (StataCorp, College Station, TX, EEUU.). Las variables continuas se reportaron como medias con desviaciones estándar, mientras que las variables categóricas se resumieron como frecuencias y porcentajes (%). La prueba de Shapiro-Wilk se utilizó para evaluar la distribución normal de los datos. La comparación de variables continuas se llevó a cabo utilizando la prueba t de Student o la prueba U de Mann-Whitney, dependiendo de los resultados de la prueba de normalidad. Los datos categóricos se analizaron mediante la prueba chi-cuadrado de Pearson o la prueba exacta de Fisher, según correspondiera. Todos los valores de p menores de 0,05 se consideraron estadísticamente significativos.

6. RESULTADOS

6.1. Trabajo nº1: Factores de riesgo para complicaciones en el tratamiento por etapas mediante fijación externa temporal y enclavado endomedular en fracturas de la tibia y del fémur

Encontramos una cohorte inicial de 5170 pacientes tratados con enclavado endomedular para fracturas de fémur y tibia o con FE. De estos, 136 pacientes se sometieron de manera secuencial a FE y conversión a enclavado endomedular. Diez casos fueron excluidos por indicaciones distintas a fracturas, reduciendo la muestra a 126 pacientes con fracturas agudas de fémur y tibia. Posteriormente, se excluyeron 23 pacientes debido a razones específicas, como ser menor de 15 años (n=2), pérdida de seguimiento (n=6), ausencia de superposición entre pines y clavo (n=10) o períodos prolongados sin FE antes del enclavado endomedular (n=5). Finalmente, el análisis incluyó a 103 pacientes que cumplían con todos los criterios de inclusión (**Figura 17**).

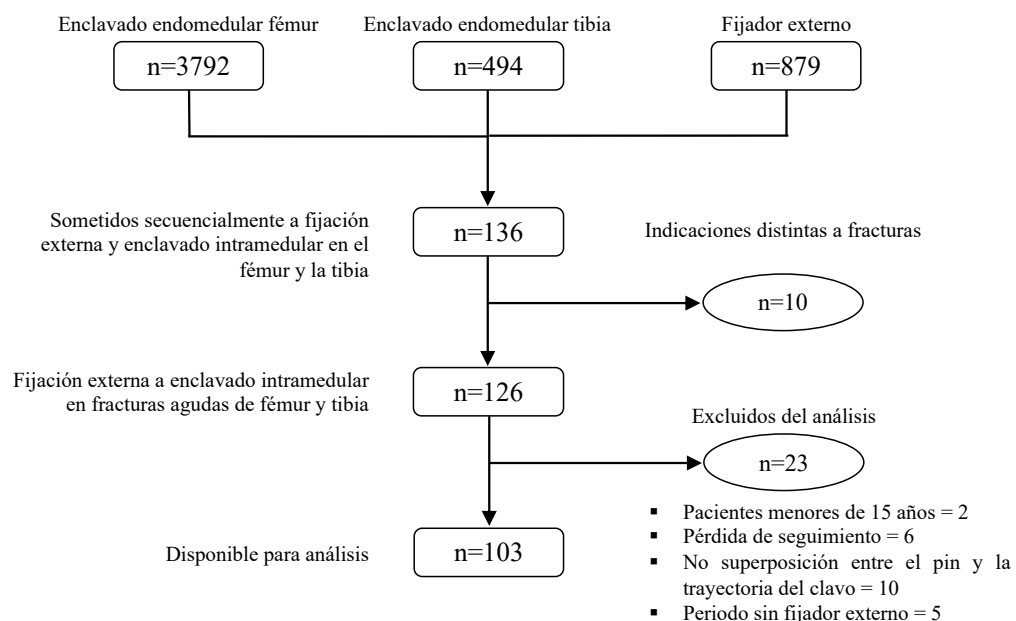


Figura 17. Diagrama de flujo que representa el proceso de selección de pacientes.

RESULTADOS

Un total de 103 pacientes con una media de edad de $41,3 \pm 18,8$ años fueron incluidos en el estudio, acumulando un total de 119 fracturas. La mayoría de los pacientes sufrieron lesiones derivadas de accidentes de tráfico (60,2%), y la mediana del ISS fue de 18 (IQR=34). El ISS fue mayor en las fracturas de fémur ($43,8 \pm 18,2$) en comparación con las fracturas de tibia ($20,7 \pm 20,1$). En cuanto a la distribución por sexo, los hombres predominaron tanto en las fracturas de fémur (73,9%), como en las fracturas de tibia (64,4%). El 68,1% de los pacientes fueron hombres. La edad promedio de los pacientes con fracturas de tibia fue de $44 \pm 19,7$ años y la de los pacientes con fracturas de fémur de $33,7 \pm 13,3$ años. Las comorbilidades basales fueron más altas en el grupo de fracturas de tibia ($0,9 \pm 1,8$) que en el de fémur ($0,2 \pm 0,9$).

De las fracturas evaluadas, 73 (61,3%) fueron de tibia y 46 (38,7%) de fémur. Cuatro pacientes presentaron fracturas bilaterales de fémur y dos fracturas bilaterales de tibia. Además, nueve pacientes presentaron una rodilla flotante, siendo un caso bilateral. Encontramos un total de 53 fracturas abiertas (44,6%), siendo más frecuentes en la tibia (54,8%) que en el fémur (28,3%) ($p < 0,01$) (**Figura 18**). Dentro de la clasificación de Gustilo para fracturas abiertas, las fracturas grado I y II solo se observaron en la tibia, representando el 11,0% y 19,2%, respectivamente. Las fracturas grado IIIA fueron más comunes en el fémur (26,1%) que en la tibia (6,9%), mientras que las fracturas grado IIIB predominaron en la tibia (16,4%) frente al fémur (2,2%). Las fracturas de tibia grado IIIB representaron el 30% de las fracturas abiertas en este hueso (12 casos). Las fracturas grado IIIC fueron infrecuentes y se observaron únicamente en la tibia (1,4%).

RESULTADOS

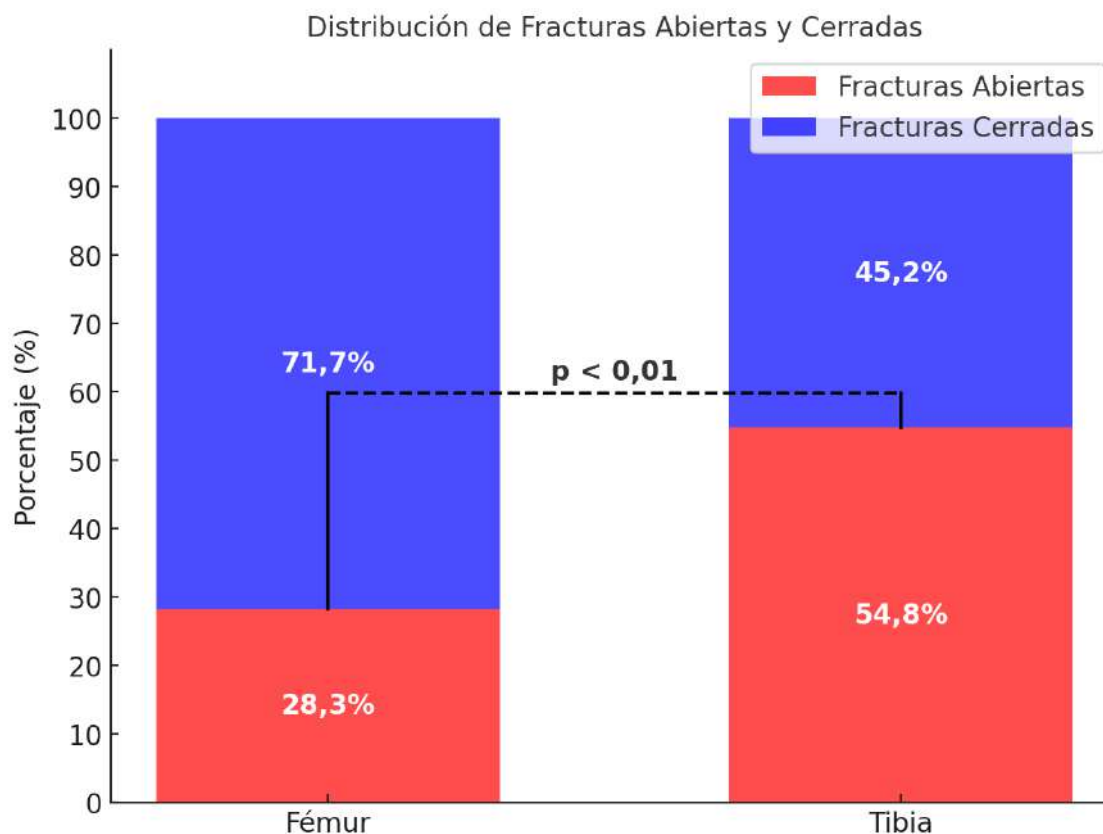


Figura 18. Distribución de fracturas abiertas y cerradas según localización anatómica: fémur vs. tibia.

En cuanto a los defectos óseos, 17 fracturas abiertas presentaron defecto óseo (32,1%), siendo subcrítico o crítico en 8 casos. Los defectos tipo D1 fueron más frecuentes en la tibia (9,6%) que en el fémur (4,4%). Los defectos tipo D2 también predominaron en la tibia (6,5%) frente al fémur (2,7%), mientras que los defectos tipo D3 se observaron únicamente en la tibia (4,1%). El síndrome compartimental ocurrió en tres pacientes con fractura de fémur (6,5%) y en 1 paciente con fractura de tibia (1,4%). Todos estos casos fueron tratados mediante fasciotomías. Se observaron ampollas en 16 (21,9%) de las 73 fracturas tibiales, ocurriendo en pacientes con un ISS más bajo (8,9 frente a 24,1; $p < 0,01$). En la **Tabla 2** se resume las características basales y de las lesiones de la muestra.

RESULTADOS

Variable	Fémur	Tibia	Global
Fracturas: n (%)	46 (39%)	73 (61%)	119
Sexo (hombres / mujeres): %	73,9 / 26,1	64,4 / 35,6	68,1 / 31,9
Edad (años)	33,7 ± 13,3	44 ± 19,7	41,3 ± 18,8
Índice de Comorbilidad de Charlson	0,2 ± 0,9	0,9 ± 1,8	0,6 ± 1,5
ISS (Injury Severity Score)	43,8 ± 18,2	20,7 ± 20,1	29,6 ± 22,4
Fracturas abiertas (%)	28,3	54,8	44,5
Clasificación de Gustilo (%)			
Grado I	-	11	6,7
Grado II	-	19,2	11,8
Grado IIIA	26,1	6,9	14,3
Grado IIIB	2,2	16,4	10,9
Grado IIIC	-	1,4	0,8
Clasificación de defecto óseo (%)			
Incompleto (D1)	4,4	9,6	7,6
Completo menor o subcrítico (D2)	6,5	2,7	4,2
Completo crítico (D3)	-	4,1	2,5
Síndrome compartimental (%)	6,5	1,4	3,4

Tabla 2. Características basales y de lesiones de nuestra muestra.

Los especialistas en trauma ortopédico colocaron el 31,1% de los FE. En cuanto a la configuración de los FE, el 46,2% de los casos abarcó articulaciones, siendo más común en las fracturas de tibia (61,6%) que en las de fémur (21,7%; $p < 0,01$). El uso de FE transarticular fue más frecuentemente aplicado por cirujanos especializados en trauma ortopédico en la tibia (42,9%) que por no especialistas (12,5%; $p < 0,02$). En el grupo de fracturas de fémur con FE transarticulares, el FE abarcó la cadera en un 8,7% de los casos y la rodilla en un 15,2%, mientras que en las fracturas de tibia predominó el uso de FE con configuración transarticular de tobillo (49,3%) y, en menor medida, la rodilla (13,7%).

RESULTADOS

La distancia promedio de los pines al foco de fractura fue mayor en las fracturas de tibia ($71,8 \pm 44,7$ mm) que en las de fémur ($49,7 \pm 41,5$ mm; $p < 0,01$), con una media general de $63,3 \pm 44,6$ mm. En las fracturas femorales, los especialistas en trauma ortopédico colocaron los pines a una distancia promedio de 78,2 mm del foco de fractura, en comparación con 37,3 mm por parte de cirujanos no especializados en trauma ortopédico ($p < 0,01$). Esta diferencia no se observó en la tibia. La distancia mínima promedio de los pines a la cabeza femoral fue de $131,9 \pm 57,6$ mm; $92,6 \pm 42,6$ mm respecto a la rodilla (polo superior de la rótula o eminencia tibial) y $66,6 \pm 50,6$ mm respecto al tobillo. Esta distancia fue mayor con configuraciones transarticulares que con constructos no transarticulares: 200,3 mm frente a 114,7 mm en la cadera; 115,1 mm frente a 74,3 mm en la rodilla; y 92,4 mm frente a 49,4 mm en el tobillo, respectivamente (todas $p < 0,01$). Respecto a la distancia de los pines a las articulaciones, en el caso de las fracturas de fémur, esta fue de $131,9 \pm 57,6$ mm en la cadera y $77,0 \pm 39,9$ mm en la rodilla. Las configuraciones transarticulares mostraron mayores distancias entre los pines y las articulaciones en comparación con las configuraciones no articuladas (92,9 frente a 37,8 mm, respectivamente, $p < 0,01$).

El tiempo medio de inmovilización con FE fue similar entre las fracturas de fémur ($12,3 \pm 8,5$ días) y tibia ($12,8 \pm 7,3$ días), con un promedio general de $12,6 \pm 7,8$ días, extendiéndose significativamente en pacientes sometidos a fasciotomía (33,5 días frente a 11,9 días; $p < 0,01$). La reducción abierta fue más frecuente en las fracturas de fémur (37,0%) en comparación con las de tibia (12,3%), con un promedio general de 21,9%.

Por último, la superposición promedio entre los pines del FE y el clavo endomedular fue mayor en las fracturas de fémur ($3,5 \pm 0,9$ pines) en comparación con las de tibia ($2,9 \pm 1,1$ pines), con un promedio general de $3,1 \pm 1$ pines. No se reportaron casos de artritis

RESULTADOS

séptica en relación con el uso del FE, por lo que no se demostró asociación entre la distancia del pin a la articulación y el riesgo de esta complicación. En 11 de las 53 fracturas abiertas, se utilizaron antibióticos locales, principalmente en casos con defectos óseos (29,4%) y fracturas abiertas tipo III de Gustilo (36,3%).

En la **Tabla 3** se resume las características del tratamiento mediante FE en nuestra muestra.

Variable	Fémur	Tibia	Global
Fijador externo transarticular (%)	21,7	61,6	46,2
- Cadera	8,7	-	3,4
- Rodilla	15,2	13,7	14,3
- Tobillo	-	49,3	30,3
Distancia de pines a la fractura (mm)	49,7 ± 41,5	71,8 ± 44,7	63,3 ± 44,6
Distancia de pines a la articulación (mm)			
- Cadera	131,9 ± 57,6	-	131,9 ± 57,6
- Rodilla	77 ± 39,9	102 ± 41,7	92,6 ± 42,6
- Tobillo	-	66,6 ± 50,6	66,6 ± 50,6
Tiempo con fijador externo (días)	12,3 ± 8,5	12,8 ± 7,3	12,6 ± 7,8
Reducción abierta (%)	37	12,3	21,9
Superposición de pines al clavo (número)	3,5 ± 0,9	2,9 ± 1,1	3,1 ± 1

Tabla 3. Descripción del tratamiento mediante fijación externa y sus configuraciones.

Se identificaron infecciones del trayecto del pin en el 5,9% de los casos (6,9% en tibia y 4,4% en fémur; $p=0,87$), ocurriendo en promedio $14,9 \pm 10,9$ días tras la implantación del FE (**Figura 19**). El diagnóstico fue principalmente clínico, con confirmación microbiológica en solo tres de siete casos (**Tabla 4**). Estas complicaciones no se asociaron significativamente con las características del paciente, el tipo de fractura, la configuración del FE o su duración.

RESULTADOS

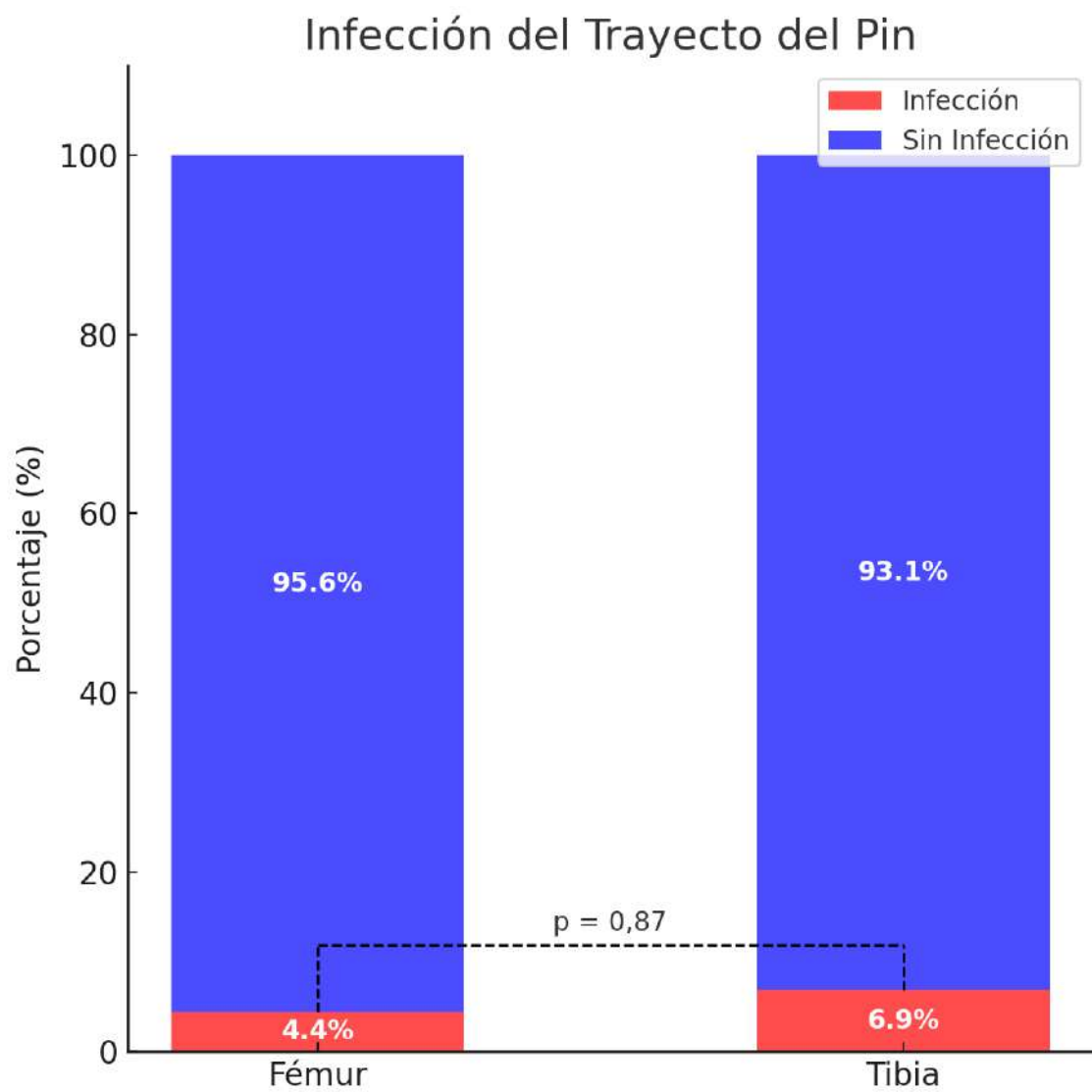


Figura 19. Tasa de infección del trayecto del pin en fracturas de fémur y tibia.

RESULTADOS

Sexo, edad	ISS	AO/OTA ¹	Gustilo ²	Infección del trayecto del pin			Infección relacionada con fractura			
				FE a inicio de ITP (días) ³	Criterios clínicos	Laboratorio	EM a inicio de IRF (días) ⁴	Criterios diagnósticos	Microbiología	Tratamiento
H, 19	75	32B		9	Dolor y drenaje purulento	SCN + E. coli				
M, 35	48	31B		18	Drenaje persistente					
H, 40	9	41C	IIIA	34 (tras retirada del FE)	Eritema					
M, 71	9	42C		8	Drenaje persistente	E. cloacae	222	Fístula	E. cloacae	EC + RIA + EM ATB + colgajo
M, 88	9	44B		6	Dolor local		106	Signos clínicos + marcadores séricos elevados	E. cloacae	EC + RIA
H, 30	9	42C		24	Dolor y drenaje purulento	E. cloacae	33	Signos clínicos + marcadores séricos elevados	E. cloacae	EC + RIA + FE circular
H, 32	75	43B		5	Eritema		312	Signos radiológicos (pseudoartrosis)	C. acnes	EC + RIA + EM ATB
M, 46	43	42C	II				315	Signos clínicos + marcadores séricos elevados	SCN	EC + RIA
H, 41	9	42C					299	Signos clínicos + marcadores séricos elevados	E. cloacae	EC + RIA + EM ATB
H, 34	75	32A					217	Fístula	E. coli	DAIR
H, 16	18	32A					62	Signos clínicos + marcadores séricos elevados	C. acnes	DAIR
H, 63	9	42A	IIIB				241	Signos clínicos + marcadores séricos elevados	SCN	DAIR

¹Clasificación de fracturas según AO/OTA, ²Clasificación para fracturas abiertas de Gustilo-Anderson (en blanco para fracturas cerradas), ³Días transcurridos desde aplicación del fijador externo hasta el diagnóstico de infección del trayecto del pin, ⁴Días transcurridos desde el enclavado endomedular hasta el diagnóstico de infección relacionada con fractura, EC: extracción de clavo, EM: enclavado endomedular, IRF: infección relacionada con fractura, DAIR: debridement, antibiotics, and implant retention (desbridamiento, antibiótico y retención de implantes), FE: fijador externo, H: hombre, IRF: infección relacionada con fractura, ISS: Injury Severity Score, ITP: infección del trayecto del pin, M: mujer, RIA: reamer irrigator aspirator (fresado, irrigación y aspiración, SCN: Staphylococcus coagulasa negativos).

Tabla 4. Características de los pacientes, clínicas y microbiológicas de las infecciones relacionadas con el trayecto del pin y las infecciones relacionadas con la fractura.

RESULTADOS

El tratamiento definitivo mediante conversión a clavo endomedular se realizó principalmente en fracturas diafisarias (93,5% en fémur y 82,2% en tibia). Entre estas fracturas diafisarias, el 44,2% en el fémur y el 34,2% en la tibia fueron clasificadas como fracturas segmentarias (AO/OTA 32C y 42C). Se implantaron 19 clavos endomédulares retrógrados y 26 anterógrados en el fémur, de los cuales 20 fueron cefalomedulares. En la tibia, se implantaron 70 clavos endomédulares suprarrotulianos y tres retrógrados para fusiones tibiotarsoalcalcáneas.

Se requirió reducción abierta en el 21,9% de las fracturas antes de la inserción del clavo, siendo más frecuente en el fémur (37,0% frente al 12,3% en la tibia; $p<0,01$). De media, $3,1 \pm 1$ orificios de los pines coincidieron con la trayectoria del clavo endomedular. El número de orificios de pines que coincidieron con el clavo fue significativamente mayor en el fémur que en la tibia (3,5 frente a 2,9; $p<0,01$) y en las configuraciones no transarticulares en comparación con las transarticulares (3,9 frente a 2,2; respectivamente, $p<0,01$).

En los casos con fracturas abiertas tipo IIIB de Gustilo, se aplicó cobertura mediante colgajos libres, con un enfoque de “fix and flap” en 11 casos, realizado dentro de una mediana de 9 días (IQR=6). El manejo de defectos óseos críticos incluyó el uso de la técnica de membrana inducida o Masquelet en tres fracturas (una femoral y dos tibiales). En los tres casos restantes, la cobertura se realizó inicialmente con FE, seguida de la conversión a un clavo endomedular.

Las infecciones relacionadas con fracturas ocurrieron en 9 fracturas (7,6%), siete en fracturas de tibia (9,6%) y dos en fracturas de fémur (4,3%) ($p=0,49$) (**Figura 20**). Se identificaron con una mediana de aparición de 222 días tras la implantación del clavo endomedular. Todas las infecciones relacionadas con la fractura fueron observadas en

RESULTADOS

pacientes donde el FE había sido colocado por no especialistas en trauma ortopédico ($p=0,03$). Además, la presencia de una infección del trayecto del pin previa incrementó significativamente el riesgo de infección relacionada con la fractura (57,1% en pacientes con una infección previa frente a 4,5% sin infección previa; $p<0,01$). En dos infecciones relacionadas con fracturas con antecedentes de infección del trayecto del pin, el diagnóstico microbiológico fue el mismo en ambos casos (*E. cloacae*). En las fracturas tibiales, la distancia entre los pines y la fractura fue menor en casos que desarrollaron una infección relacionada con la fractura (42 mm frente a 74,9 mm; $p=0,07$), aunque esta diferencia no alcanzó significancia estadística. Por otro lado, la presencia de flictenas cutáneas se asoció a un mayor riesgo de infección en tibias (57,1% en pacientes con flictenas frente a 18,2% en pacientes sin flictenas; $p<0,04$). Ni la presencia de una fractura abierta ni el tiempo hasta la colocación del colgajo influyeron en el riesgo de infección relacionada con la fractura. En seis de estos casos fue necesario retirar el clavo endomedular como parte del tratamiento. Encontramos dos pseudoartrosis asépticas causadas por problemas mecánicos, una en el fémur y otra en la tibia, que requirieron revisión de la fijación. Todas las demás fracturas consolidaron durante el período del estudio. La rigidez articular en la rodilla se desarrolló en siete casos, cuatro relacionados con fracturas femorales y tres con fracturas tibiales.

RESULTADOS

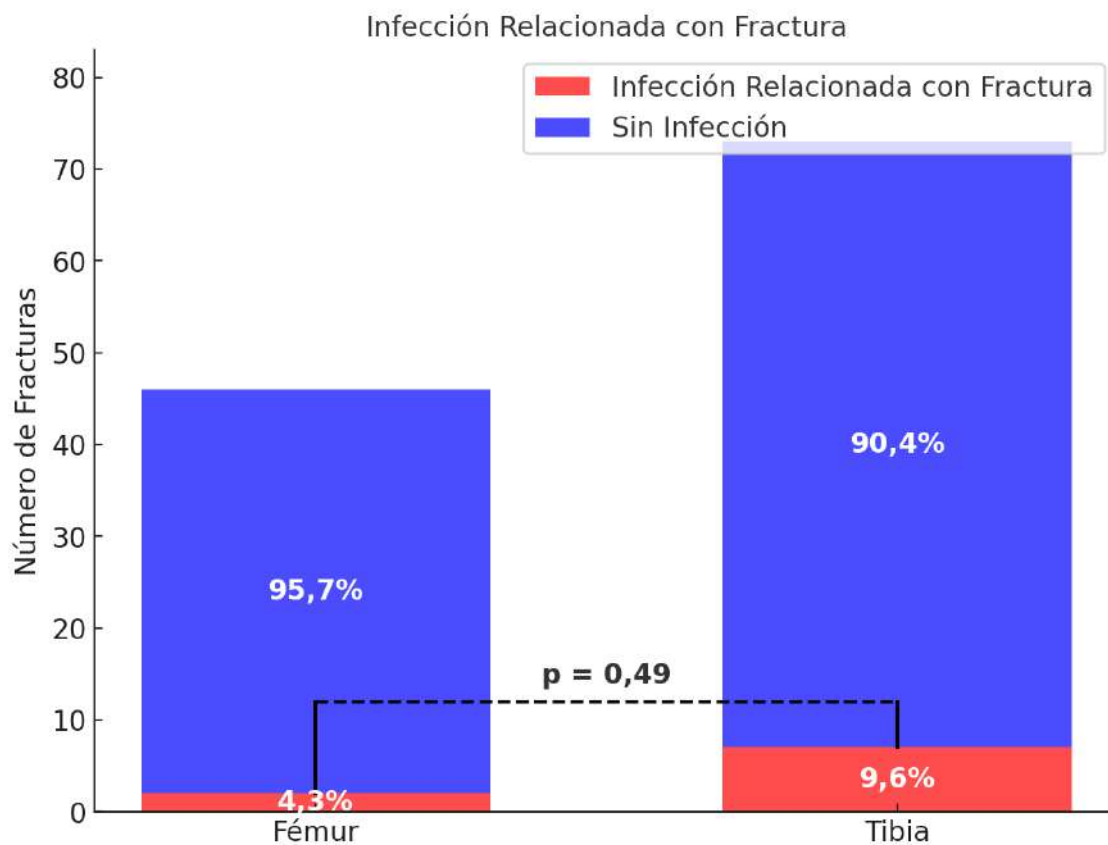


Figura 20. Tasa de infección relacionada con fractura en fracturas de fémur y tibia.

RESULTADOS

6.2. Trabajo n°2: Métodos de inmovilización temporal para fracturas-luxaciones cerradas de tobillo de baja energía

Durante el período de estudio, se realizaron intervenciones quirúrgicas en 962 fracturas de tobillo AO-OTA 44, de las cuales 246 se presentaron como fracturas-luxaciones, con una incidencia del 26,6%. Tras aplicar los criterios de elegibilidad y descartar 31 pacientes por fracturas-luxaciones abiertas, 11 con un ISS mayor de 16 y 11 casos tratados mediante clavo de artrodesis, 194 individuos quedaron disponibles para el análisis (**Figura 21**).

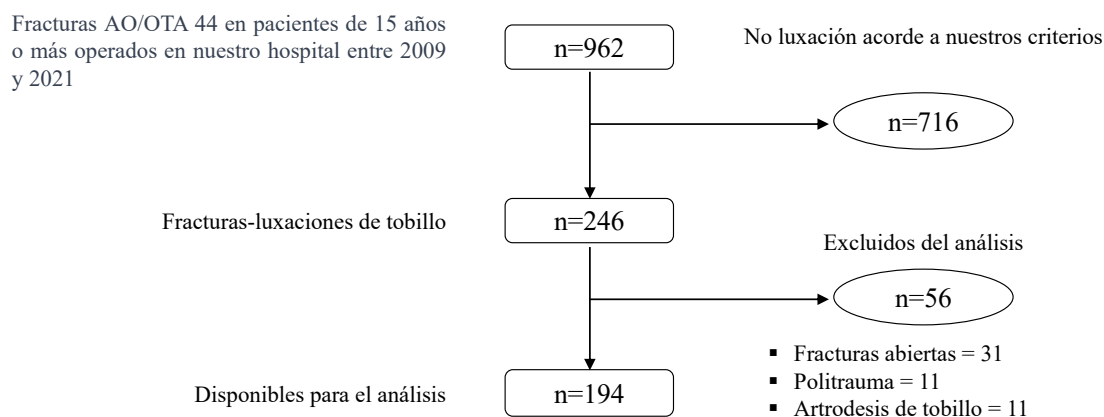


Figura 21. Diagrama de flujo que representa el proceso de selección de pacientes.

De los 194 pacientes analizados, 138 (71,1%) fueron inmovilizados inicialmente con férula y 56 (28,9%) con FE. La indicación para la FE fue la presencia de ampollas en 43 casos (76,8%) y la inestabilidad mecánica en 13 casos (23,2%). La FE se realizó de manera urgente en 33 de los 56 casos (58,9%). Solo 20 de los 56 procedimientos de FE (35,7%) fueron realizados por cirujanos dedicados a trauma ortopédico, pero estos trataron de manera definitiva 40 de estas fracturas (71,4%), en comparación con el tratamiento definitivo de solo 55 de las 138 fracturas (39,9%) inicialmente inmovilizadas con una férula ($p<0,01$).

RESULTADOS

La muestra incluyó predominantemente pacientes de edad media (media de edad de 58,1 años) y con grado moderado comorbilidades, destacando una elevada incidencia de fracturas trans-sindesmales con fractura del maléolo posterior (51%) asociada. Los pacientes inmovilizados con FE fueron significativamente mayores que aquellos manejados con férula (63,2 años frente a 56,1 años, respectivamente; $p = 0,01$) y presentaban una mayor frecuencia de fracturas del maléolo posterior (69,6% frente a 43,5%, respectivamente; $p < 0,01$). Además, el tamaño promedio del maléolo posterior fue mayor en el grupo de FE (10,9 mm frente a 8,3 mm, respectivamente; $p = 0,03$), así como la proporción de superficie articular afectada (25,8% frente a 20,6%, respectivamente; $p = 0,05$).

El grupo de FE también mostró una incidencia más alta de compromiso de partes blandas en comparación con el grupo inmovilizado con férula (76,8% frente a 20,3%, respectivamente; $p < 0,01$). A pesar de esto, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en las tasas de complicaciones postoperatorias entre ambos grupos (8,9% frente a 10,9%, respectivamente; $p = 0,69$). Por otro lado, factores como el tabaquismo, la diabetes, la enfermedad arterial y la clasificación de las fracturas según Danis-Weber o AO-OTA no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos.

En la **Tabla 5** se resumen las características basales y la tasa de complicaciones entre pacientes inmovilizados con férulas frente a los inmovilizados con FE.

RESULTADOS

	Global	Férula	Fijador externo	p-valor
Pacientes	194	138 (71,1)	56 (28,9)	
Edad (años)	58,1 ± 18	56,1 ± 18,1	63,2 ± 17	0,01
ASA (media)	1,9 ± 1,8	1,8 ± 0,8	2 ± 0,7	0,16
Fumadores	36 (18,6)	27 (19,6)	9 (16,1)	0,57
Diabetes	28 (14,4)	17 (12,3)	11 (19,6)	0,19
Arteriopatía	6 (3,1)	4 (2,9)	2 (3,6)	0,56
² Clasificación de la fractura				0,60
▪ A	5 (2,6)	3 (2,2)	2 (3,6)	
▪ B	143 (73,7)	100 (72,5)	43 (76,8)	
▪ C	46 (23,7)	35 (25,4)	11 (19,6)	
Fractura maléolo posterior	99 (51)	60 (43,5)	39 (69,6)	<0,01
Tamaño maléolo posterior (mm)	9,4 ± 5,8	8,3 ± 5,2	10,9 ± 6,2	0,03
Tamaño maléolo posterior (%)	22,6 ± 13,2	20,6 ± 12,7	25,8 ± 13,3	0,05
Compromiso de partes blandas	71 (36,6)	28 (20,3)	43 (76,8)	<0,01
Complicaciones	20 (10,3)	15 (10,9)	5 (8,9)	0,69
<i>Variables continuas se representan como: media ± desviación estándar; variables categóricas como: recuentos (porcentajes). ASA: American Society of Anesthesiologists; ²Según Danis-Weber / AO-OTA</i>				

Tabla 5. Comparaciones de variables demográficas, de fractura y complicaciones: fijador externo frente a inmovilización con férula.

De los 194 pacientes, 71 (36,6%) presentaron compromiso de partes blandas. Los pacientes con compromiso de partes blandas eran significativamente mayores comparado con los pacientes sin afectación de partes blandas (edad media de 65 años frente a 54,2 años, respectivamente; $p<0,01$), obtuvieron un puntaje promedio más alto en la clasificación ASA (2,1 frente a 1,8, respectivamente; $p<0,01$) y presentaron una mayor prevalencia de diabetes (22,5% frente a 9,8%, respectivamente; $p=0,02$), lo que indica un peor estado de salud basal. Otros factores, como el tabaquismo (21,1% frente a 17,1%, respectivamente; $p=0,48$) y la enfermedad arterial (4,2% frente a 2,4%, respectivamente; $p=0,67$), no mostraron diferencias significativas entre grupos.

RESULTADOS

La FE se utilizó con mayor frecuencia en el grupo con compromiso de partes blandas comparado con los pacientes sin afectación de partes blandas (60,6% frente a 10,6%, respectivamente; $p<0,01$), mientras que la incidencia de fracturas del maléolo posterior fue similar entre ambos grupos (53,5% frente a 49,6%, respectivamente; $p=0,66$). Sin embargo, las complicaciones postoperatorias fueron significativamente más frecuentes en el grupo con compromiso de partes blandas (16,9% frente a 6,5%, respectivamente; $p=0,02$). Estos resultados destacan que los pacientes con tejidos blandos comprometidos presentaron un perfil clínico más desfavorable y un mayor riesgo de complicaciones, lo que podría influir en la elección del manejo quirúrgico, con una mayor utilización de FE en este subgrupo.

En la **Tabla 6** se resumen las características basales y la tasa de complicaciones entre pacientes que presentaron partes blandas comprometidas frente a los que no comprometidas.

RESULTADOS

	No compromiso de partes blandas	Compromiso de partes blandas	p-valor
Pacientes	123 (63,4)	71 (36,6)	
Edad (años)	54,2 ± 19	65 ± 13,9	<0,01
ASA (media)	1,8 ± 0,7	2,1 ± 0,7	<0,01
Fumadores	21 (17,1)	15 (21,1)	0,48
Diabetes	12 (9,8)	16 (22,5)	0,02
Arteriopatía	3 (2,4)	3 (4,2)	0,67
Inmovilización con fijador externo	13 (10,6)	43 (60,6)	<0,01
Fractura de maléolo posterior	61 (49,6)	38 (53,5)	0,66
Complicaciones	8 (6,5)	12 (16,9)	0,02
<i>Variables continuas se representan como: media ± desviación estándar; variables categóricas como: recuentos (porcentajes). ASA: American Society of Anesthesiologists.</i>			

Tabla 6. Comparaciones de variables demográficas, de fractura y complicaciones: partes blandas no comprometidas frente a comprometidas.

El tiempo promedio hasta el tratamiento definitivo fue de $15,1 \pm 6,8$ días en el grupo de FE y de 6 ± 5 días en el grupo de férulas ($p < 0,01$).

La pérdida de reducción ocurrió únicamente en tres pacientes (2,2%) inmovilizados inicialmente con férulas ($p = 0,55$). No observamos casos de complicaciones relacionadas con el FE, como infección de trayectos de pines o aflojamiento de estos. Las infecciones relacionadas con la fractura ocurrieron en 16 pacientes (8,3%), con cinco en el grupo de FE (8,9%) y 11 en el grupo de férulas (8%). Todas las infecciones fueron tratadas con desbridamiento, extracción de material y terapia con antibióticos, y siete casos requirieron cobertura microquirúrgica. Las complicaciones mecánicas se observaron en cuatro pacientes, todos del grupo de férulas (2,9%), incluyendo una fractura peri-implante, dos fallos de fijación y una pseudoartrosis.

RESULTADOS

Los pacientes inmovilizados con férula mostraron una proporción de calidad de reducción inicial satisfactoria del 66,7%. Aquellos pacientes tratados con FE tuvieron una calidad de reducción inicial satisfactoria del 58,9%. Esta diferencia no fue estadísticamente significativa ($p=0,31$). La mayoría de los pacientes alcanzaron una calidad de reducción final satisfactoria. La calidad final de la reducción fue significativamente mejor en el grupo de férula que en el de FE (79,8% frente a 64,3%, respectivamente; $p=0,02$). Respecto a la especialización del cirujano, no se observaron diferencias significativas en los resultados. El 61,1% de los cirujanos especializados en trauma ortopédico logró una calidad de reducción satisfactoria de la fractura-luxación con FE. El porcentaje de cirujanos no especializados en trauma ortopédico que logró una calidad de la reducción satisfactoria con FE fue del 58,4%, sin diferencias estadísticamente significativa entre ambos grupos ($p=0,66$). De manera similar, en la calidad de reducción final, el 77,9% de los pacientes tratados por cirujanos especializados en trauma ortopédico alcanzaron un resultado satisfactorio, en comparación con el 72,7% de los tratados por otros cirujanos ($p=0,40$). El momento de realización de la FE tampoco mostró diferencias significativas en los resultados. En cuanto a la calidad de la reducción inicial, el 57,6% de los pacientes tratados dentro de las primeras 24 horas lograron un resultado satisfactorio, frente al 53,9% de aquellos tratados después de las primeras 24 horas ($p=0,78$). En la calidad de la reducción final, los porcentajes fueron del 69,7% y 56,5%, respectivamente, sin alcanzar significancia estadística ($p=0,51$).

Las complicaciones postoperatorias no mostraron una asociación significativa con la calidad de la reducción inicial. La proporción de complicaciones fue similar entre los pacientes con una calidad de la reducción inicial insatisfactoria y aquellos con una calidad de la reducción inicial satisfactoria (12,3% frente a 9,6%, respectivamente; $p=0,56$). Sin

RESULTADOS

embargo, las complicaciones postoperatorias de la fijación definitiva se asociaron significativamente con una calidad de la reducción final más desfavorable (20,8% de complicaciones en pacientes con calidad de la reducción final insatisfactoria frente a 6,8% en aquellos con calidad de la reducción satisfactoria; $p<0,01$).

En la **Tabla 7** se resumen los resultados sobre la calidad de la reducción.

RESULTADOS

	Calidad de la reducción inicial		Calidad de la reducción final	
	Satisfactorio	Insatisfactorio	p-valor	p-valor
Inmovilización:				
▪ Férula	92 (66,7)	46 (33,3)	p=0,31	28 (20,2)
▪ Fijador externo	33 (58,9)	23 (41,1)		20 (35,7)
Especialización cirujano				
▪ Otra	21 (58,4)	15 (41,6)	p=0,66	27 (27,3)
▪ Trauma ortopédico	12 (61,1)	8 (38,9)		21 (22,1)
Momento fijador externo:				
▪ ≤24h de admisión	19 (57,6)	14 (42,4)	p=0,78	10 (30,3)
▪ >24h	14 (53,9)	9 (46,1)		10 (43,5)
Complicaciones postoperatorias	12 (9,6)	8 (12,3)	p=0,56	10 (20,8)
<i>Todas las celdas contienen variables categóricas: recuentos (porcentajes).</i>				

Tabla 7. Resultados de la calidad de la reducción.

7. DISCUSIÓN

7.1. Trabajo nº1: Factores de riesgo para complicaciones en el tratamiento por etapas mediante fijación externa temporal y enclavado endomedular en fracturas de la tibia y del fémur

7.1.1. Interpretación contextualizada de los resultados

Las fracturas de tibia y fémur en PPT suelen requerir una estrategia de control de daños que combina inicialmente FE seguida de enclavado endomedular (61,62). La decisión sobre el momento adecuado para realizar esta conversión depende de múltiples factores, como el estado de las partes blandas, la necesidad de realizar desbridamientos adicionales, las condiciones de los pines del FE o el estado general del paciente (49). Retrasar la cirugía definitiva hasta los días 6-8 días ha mostrado reducir la respuesta inflamatoria en comparación con intervenciones más tempranas en PPT con fracturas de tibia o fémur (61). En nuestro estudio, el tiempo hasta la conversión a enclavado endomedular fue, por lo general, mayor a este tiempo con una alta variabilidad, posiblemente debido tanto al impacto sistémico del trauma como a las condiciones locales de la extremidad, evidenciado por el alto porcentaje de fracturas abiertas y el daño significativo en tejidos blandos. Esto subraya la necesidad de un enfoque individualizado para determinar el momento óptimo de la cirugía definitiva.

La infección del trayecto del pin asociada con la FE es una complicación relativamente frecuente, con tasas reportadas que oscilan entre el 0% y el 38%, valores consistentes con los de nuestra cohorte (66,121,139,140). Aunque los factores de riesgo exactos no están completamente definidos, se recomienda seleccionar cuidadosamente los sitios de colocación de los pines y evitar áreas con daño en los tejidos blandos

DISCUSIÓN

(140,141,144,145). Además, una duración prolongada de la FE incrementa el riesgo de colonización bacteriana (140,141,144,145), con tasas de infección significativamente mayores cuando se supera el umbral de dos semanas (66,119,139,142). La baja tasa de infección del trayecto del pin en nuestra muestra probablemente se relacionó con la conversión temprana a enclavado endomedular, realizada mayoritariamente dentro de las dos primeras semanas, y la aplicación rigurosa de un protocolo estandarizado para el cuidado de los pines. Aunque el cuidado adecuado de los pines probablemente sea crucial, actualmente no hay consenso sobre las mejores prácticas (144–146,164). Algunas estrategias preventivas, como el uso de pines recubiertos con antibióticos, hidroxiapatita o plata, ofrecen posibilidades prometedoras, pero se necesitan más estudios para validar su eficacia (17–19,22,31,145).

La incidencia de infección relacionada con la fractura tras el enclavado endomedular de tibia y fémur varía ampliamente, entre el 1% y el 23% (159,165,166), cifras que aumentan tras el uso previo de FE (6% a 67%) (66–68,119,121,123), en concordancia con nuestros hallazgos. Factores como el tipo de fractura, la presencia de fracturas abiertas, el uso de FE y la necesidad de reconstrucción de tejidos blandos incrementan el riesgo de estas infecciones (68,119,159,165). En nuestro análisis, identificamos una asociación entre la infección relacionada con la fractura, la infección del trayecto del pin y el daño a los tejidos blandos, aunque no se encontró correlación con la duración de la FE, la presencia de fracturas abiertas u otras características de la lesión. Este resultado contrasta con estudios previos que asocian fracturas abiertas y tiempos prolongados de FE con un mayor riesgo de infecciones (121,123,159). Esta discrepancia podría deberse a la limitada potencia estadística del estudio o al nivel avanzado de

DISCUSIÓN

especialización en el manejo de trauma ortopédico en nuestra institución, que podría haber mitigado el impacto de estos factores, incluso en casos de alta complejidad.

En la **Tabla 8** se resumen los resultados de estudios sobre tratamiento por etapas de fracturas de fémur y tibia mediante conversión fijación externa a enclavado endomedular.

Autor	Año	Nivel de Evidencia	N	Localización	Fracturas Abiertas (%)	Infecciones Trayecto Pin (%)	Duración FE (días)	Intervalo* (días)	Infección (%)	Unión (%)
McGraw	1988	4	9	Tibia	100	56	44	15	67	33
Maurer	1989	4	24	Tibia	100	29	52	65	25	75
Blachut	1990	4	39	Tibia	100	5	17	9	5	95
Marshall	1991	4	15	Fémur	100	0	NR	5	13	93
Wu	1991	4	15	Fémur	100	0	NR	5	13	93
Matsoukis	1991	4	13	Tibia	77	0	58	11	15	100
Hontsch	1993	4	62	Fémur	74	16	15	0	0	100
Hontsch	1993	4	107	Tibia	52	12	24	8	2	98
Wu	1993	4	28	Tibia	100	0	22	14	7	86
Antich	1997	1	17	Tibia	100	21	27	10	6	94
Winkler	1998	4	38	Fémur	30	21	12	0	2	98
Nowotarski	2000	4	59	Fémur	32	7	7	1	2	97
Cosco	2001	4	26	Tibia	100	4	50	2	8	100
Yokoyama	2006	4	42	Tibia	100	38	52	9	17	NR
Harwood	2006	4	111	Fémur	30	13	14	0	5	NR
Parekh	2008	4	47	Fémur/Tibia	74	2	5	0	16	91
Bunzel	2023	4	88	Tibia	55	7	9	0	32	76

*: Tiempo transcurrido entre retirada del FE y el enclavado endomedular. FE: Fijador Externo, NR: No reportado

Tabla 8. Resultados de estudios sobre tratamiento por etapas de fracturas de fémur y tibia mediante conversión fijación externa a enclavado endomedular.

Diversas estrategias han sido propuestas para reducir las infecciones relacionadas con la fractura tras el uso de FE (119–123,139,142,146,164,167–172). Aunque la conversión temprana a enclavado endomedular en un solo procedimiento es generalmente recomendada (119,122,123), algunos autores proponen una conversión en dos etapas (168,170–172), especialmente en casos de infección del trayecto del pin (67,68,121,167). Medidas preventivas adicionales incluyen el desbridamiento de los trayectos de los pin, la resección de tejidos blandos comprometidos, el taladrado de los orificios óseos de los pines y la administración de antibióticos ante sospecha de infección (119,120,139). En nuestra práctica habitual evitamos las conversiones en dos etapas. Además, para evaluar

DISCUSIÓN

directamente el impacto de la instrumentación de la cavidad medular por los pines del FE, excluimos a los pacientes que tuvieron un período de latencia entre la retirada del FE y la colocación del clavo endomedular y a aquellos en los que no hubo superposición entre las trayectorias del implante endomedular y los pines del FE.

En la **Tabla 9** se resumen los resultados de estudios similares al nuestro sin período de latencia entre retirada del FE y enclavado endomedular.

Autor	Año	Nivel de Evidencia	N	Localización	Fracturas	Infecciones	Duración	Intervalo*	Infección	Unión
					Abiertas (%)	Trayecto Pin (%)	FE (días)	(días)	(%)	(%)
Hontsch	1993	4	62	Fémur	74	16	15	0	0	100
Winkler	1998	4	38	Fémur	30	21	12	0	2	98
Harwood	2006	4	111	Fémur	30	13	14	0	5	NR
Parekh	2008	4	47	Fémur/Tibia	74	2	5	0	16	91
Bunzel	2023	4	88	Tibia	55	7	9	0	32	76

*: Tiempo transcurrido entre retirada del FE y el enclavado endomedular. FE: Fijador Externo, NR: No reportado

Tabla 9. Resultados de estudios sobre tratamiento por etapas de fracturas de fémur y tibia mediante conversión fijación externa a enclavado endomedular sin período de latencia entre retirada del fijador externo y el enclavado.

Algunos autores sugieren realizar cultivos sistemáticos del material obtenido durante el fresado en el enclavado endomedular, seguidos de terapia antibiótica dirigida según los resultados (123). Sin embargo, la alta tasa de contaminación en dichas muestras, reportada en su estudio, cuestiona la fiabilidad de esta estrategia (123). En nuestro análisis, identificamos que el microorganismo aislado en dos pacientes con infecciones relacionadas con fracturas era el mismo que el encontrado previamente en las infecciones del trayecto del pin, corroborando las observaciones de Bunzel et al. (119). Esto resalta el riesgo de migración bacteriana desde los sitios de FE hacia el canal endomedular, lo que puede llevar a infecciones profundas posoperatorias. Por ello, subrayamos la importancia de una cuidadosa selección de pacientes al considerar la FE en fracturas que probablemente requieran un enclavado endomedular como parte de su tratamiento definitivo.

DISCUSIÓN

Si bien los principios para la colocación de pines en la FE para garantizar la estabilidad de fracturas están bien establecidos, se ha investigado poco cómo su ubicación afecta a la consolidación ósea y al riesgo de infecciones (49,52). La proximidad al hematoma de fractura o a la lesión podría aumentar el riesgo de infección del trayecto del pin debido a mayores niveles de contaminación bacteriana, especialmente en fracturas abiertas. Además, colocar los pines demasiado cerca de la fractura podría dañar los tejidos blandos circundantes y comprometer el suministro sanguíneo periostal, ambos factores clave para la cicatrización ósea y la prevención de infecciones (143). Aunque se recomienda evitar colocar los pines en áreas con daño a tejidos blandos o en el hematoma de fractura, el impacto de la distancia entre los pines y el foco de fractura en los resultados clínicos no ha sido explorado en profundidad. En nuestro análisis, observamos que los pacientes con fracturas de tibia que desarrollaron infecciones relacionadas con fracturas tenían pines colocados más cerca del foco de fractura, aunque este hallazgo no fue estadísticamente significativo, posiblemente por limitada potencia.

Estudios previos sobre fracturas de meseta tibial han sugerido que la especialización del cirujano no influye significativamente en la calidad de la colocación del FE ni en los resultados posoperatorios (64). Sin embargo, en nuestro análisis, la FE realizada por cirujanos especializados en trauma ortopédico mostró un efecto protector contra infecciones. Esto podría explicarse por la aplicación de técnicas quirúrgicas más precisas y un mayor cumplimiento de las recomendaciones para mantener distancias adecuadas entre los pines y el foco de fractura. Además, el uso más frecuente de configuraciones transarticulares podría haber contribuido a este resultado. Es relevante destacar que todas las infecciones relacionadas con fracturas ocurrieron en pacientes cuya FE inicial fue realizada por cirujanos no especializados en trauma ortopédico. Estos

DISCUSIÓN

hallazgos subrayan la importancia de una formación especializada en técnicas de FE para asegurar una estabilización temporal eficaz de las fracturas y reducir el riesgo de complicaciones infecciosas.

Las tasas de consolidación ósea tras el manejo escalonado con enclavado endomedular en fracturas de tibia y fémur varían significativamente, oscilando entre el 33% y el 100% (66,67,119–123,139). Los factores de riesgo para la falta de consolidación son similares a los asociados con infecciones relacionadas con fracturas e incluyen la complejidad de la fractura, la presencia de fracturas abiertas, el politraumatismo, el uso previo de FE y el tiempo transcurrido hasta el enclavado (159). En nuestra cohorte, solo se registraron dos casos de pseudoartrosis aséptica, lo que podría deberse a que la fijación definitiva fue realizada exclusivamente por cirujanos ortopédicos especializados en trauma de extremidades inferiores, lo que probablemente contribuyó a optimizar los resultados.

7.1.2. Limitaciones

Reconocemos varias limitaciones inherentes a nuestro estudio. En primer lugar, su diseño retrospectivo y la variabilidad de las lesiones incluidas, que abarcan fracturas femorales y tibiales, abiertas y cerradas, así como diversas modalidades de tratamiento, introducen una significativa heterogeneidad. Además, la participación de cirujanos con diferentes niveles de especialización en el manejo inicial constituye otra fuente potencial de heterogeneidad. El análisis radiológico, realizado por un único observador, impidió evaluar la concordancia interobservador en la clasificación de fracturas y las mediciones radiológicas, lo que podría limitar la fiabilidad y reproducibilidad de los hallazgos. Asimismo, la inclusión de pacientes atendidos en un único centro limita la generalización

DISCUSIÓN

de los resultados. Por último, el seguimiento relativamente corto podría haber subestimado la incidencia de complicaciones infecciosas a largo plazo.

No obstante, dada la relativa baja incidencia de estos casos y su manejo en un centro altamente especializado, el tamaño de la muestra, relativamente amplio para este tipo de patología, y el análisis exhaustivo de los factores clínicos y radiológicos, aportan un valor significativo al estudio, ofreciendo información relevante para futuras investigaciones y la práctica clínica.

La validación y difusión de estos resultados han sido respaldadas por su aceptación para publicación en la revista *European Journal of Orthopaedic Surgery & Traumatology* (**Anexo 3**). Esto subraya la relevancia clínica del estudio.

7.2. Trabajo n°2: Métodos de inmovilización temporal para fracturas-luxaciones cerradas de tobillo de baja energía

7.2.1. Interpretación contextualizada de los resultados

Las fracturas-luxaciones de tobillo representan entre el 6 % y el 32 % de todas las fracturas de tobillo (136,149). En nuestro centro, durante el periodo de estudio, estas lesiones constituyeron aproximadamente una cuarta parte del total de fracturas de tobillo, ubicándose dentro del rango de incidencia reportado en la literatura. En muchas fracturas-luxaciones, el desplazamiento inicial ocasiona un daño en los tejidos blandos, impidiendo realizar una cirugía definitiva inmediata. En estos casos, se requiere un manejo escalonado que permita la recuperación de los tejidos blandos antes de la intervención quirúrgica definitiva (136,149).

El uso de férulas para inmovilizar fracturas de tobillo es una práctica común en la especialidad. Sin embargo, las fracturas-luxaciones de tobillo suelen estar asociadas a patrones inestables que pueden provocar pérdida de la reducción, lo que agrava el daño a los tejidos blandos y retrasa el tratamiento definitivo (136,137,147,148,173). Por esta razón, es esencial seleccionar el método de inmovilización más adecuado según el tipo de fractura. Las férulas representan una alternativa rápida, eficaz y económica, con una baja incidencia de complicaciones (174). Por otro lado, los FE temporales no se limitan a fracturas abiertas, sino que también son útiles en fracturas periarticulares cerradas con daño significativo en los tejidos blandos (64,134). En fracturas-luxaciones de tobillo cerradas, su uso se ha reportado en un rango del 20 % al 50 %, una cifra que coincide con nuestra frecuencia de aplicación, cercana a un tercio de los casos (136–138,147,148).

En este contexto, algunos autores consideran el daño en los tejidos blandos como la principal indicación para usar FE (137,148), mientras que otros destacan su papel en el

DISCUSIÓN

manejo de la inestabilidad (138,147). En nuestro estudio, tanto la presencia de ampollas en la presentación inicial como la inestabilidad de la fractura durante la reducción influyeron en la elección de FE frente al uso de férulas. La inestabilidad de la fractura depende del patrón de fractura, en particular de la presencia de fractura del maléolo posterior y del tamaño del fragmento (147,175). Se ha propuesto un umbral del 22,5 % del tamaño del fragmento de maléolo posterior para indicar el uso de FE temporal como método de inmovilización inicial (147). En nuestra experiencia, el tamaño promedio del fragmento del maléolo posterior superó este umbral en los pacientes tratados con FE, mientras que en aquellos manejados con férula fue inferior. Aunque se ha reportado una mayor tasa de pérdida de reducción en fracturas-luxaciones de tobillo tratadas inicialmente con férulas, en nuestro estudio solo tres pacientes en este grupo experimentaron pérdida de reducción (137,138,147,148). Esto podría atribuirse a decisiones acertadas en el manejo inicial y a un umbral más bajo para indicar FE. Además, nuestro protocolo, que incluye la hospitalización de pacientes con fracturas de tobillo quirúrgicas hasta la cirugía definitiva, probablemente contribuyó a mejores resultados. En estudios previos, los pacientes inmovilizados con férulas eran dados de alta y seguidos de forma ambulatoria, lo que resultó en tasas de pérdida de reducción de hasta el 50 % (147,150). Estos hallazgos refuerzan la importancia de la hospitalización, ya que reduce el riesgo de incumplimiento, evita la deambulaci3n con férulas y disminuye significativamente la probabilidad de nueva luxaci3n.

El tiempo hasta la cirugía definitiva es un factor crucial por múltiples razones, como los costes, el riesgo de infecci3n, el impacto psicol3gico y la satisfacci3n del paciente (176,177). Estudios previos han evaluado este intervalo seg3n los métodos de inmovilizaci3n utilizados para fracturas-luxaciones de tobillo. Buyukkusu et al. (151) y

DISCUSIÓN

Wawrose et al. (150) encontraron que los pacientes tratados con férulas presentaron tasas significativamente más altas de pérdida de reducción, lo que incrementó las complicaciones en los tejidos blandos y prolongó el tiempo hasta la cirugía (178). En contraste, en nuestro estudio, el tiempo hasta el tratamiento definitivo fue, en promedio, 9 días mayor en el grupo con FE en comparación con el grupo tratado con férulas, probablemente debido a una mayor frecuencia de compromiso severo de los tejidos blandos en este grupo. Además, estos pacientes eran de mayor edad y presentaban más comorbilidades, factores que contribuyeron al retraso en la cicatrización y, por tanto, de la cirugía definitiva (179–182).

Aunque no se identificaron complicaciones relacionadas con el uso de FE en nuestra cohorte, probablemente debido a la implementación de un protocolo estandarizado para el cuidado de los pines, su uso conlleva costos elevados, hospitalizaciones prolongadas y un riesgo potencial de complicaciones, como infecciones en el trayecto de los pines y fracturas iatrogénicas (183–186). Estos hallazgos resaltan la importancia de una cuidadosa selección de pacientes para garantizar un uso adecuado y justificado del FE.

En comparación con las fracturas de tobillo no luxadas, algunas series han reportado que las fracturas-luxaciones incrementan el riesgo de complicaciones postoperatorias entre dos y tres veces, con tasas que oscilan entre el 6 % y el 44 % (149,187). Sin embargo, estudios recientes no han encontrado diferencias significativas en la incidencia de infecciones o complicaciones de heridas entre fracturas-luxaciones y fracturas simples de tobillo (136,188). Es relevante mencionar que, en estos estudios, una proporción considerable de pacientes con fracturas-luxaciones fue tratada con FE temporal. En nuestra serie, los pacientes tratados con FE presentaron fracturas más

DISCUSIÓN

complejas, caracterizadas por una mayor prevalencia de fragmentos de maléolo posterior y la presencia de ampollas. Estos pacientes, que generalmente tenían un perfil basal más desfavorable, coincidieron con estudios previos que identifican a pacientes ancianos y diabéticos como más propensos a presentar daño en tejidos blandos y complicaciones postoperatorias (189,190). Cabe destacar que no encontramos una relación entre la presencia de fracturas de maléolo posterior y el compromiso de los tejidos blandos. Esto sugiere que la aparición de ampollas o daño cutáneo depende más de las comorbilidades de los pacientes que de la inestabilidad de la fractura. Al igual que en otros estudios, no identificamos diferencias significativas en las tasas globales de complicaciones postoperatorias entre los grupos tratados con FE y aquellos con férulas (137,148,152). Esto sugiere que la FE como inmovilización inicial en fracturas-luxaciones podría atenuar el impacto negativo de las características basales desfavorables y las fracturas más complejas sobre los resultados postoperatorios.

En la **Tabla 10** se resumen los resultados de otros estudios comparativos sobre los distintos métodos de inmovilización en fracturas-luxaciones de tobillo.

Autor	Año	Nivel de Evidencia	N total	Grupo	N	PR (%)	Tamaño MP (%)	Tiempo hasta cirugía definitiva (días)	Complicaciones (%)
Wawrose	2019	3	56	Férula	28	50 NR		NR	25
				FE	28	0 NR		NR	0
Buyukkusu	2022	3	117	Férula	69	25 25% en PR 75% sin PR		11 ± 5	9
				FE	48	4 4% en PR 96% sin PR		7 ± 4	6
Gerlach	2022	3	162	Férula	127	20 ≥22.5% predice PR		6 (2–16)	11
				FE	35	0 ≥22.5% predice PR		9.1 (4–21)	5
Mandelka	2023	3	102	Férula	52	17 31% en PR 18% sin PR		9 ± 4	23
				FE	50	6 35% en PR 27 sin PR		8 ± 4	12

FE: Fijador Externo, MP: Maléolo posterior, NR: No reportado, PR: Pérdida de reducción

Tabla 10. Resultados de estudios comparativos sobre los distintos métodos de inmovilización en fracturas-luxaciones de tobillo.

DISCUSIÓN

Las fracturas-luxaciones de tobillo están asociadas con la disrupción de la mortaja del tobillo y un mayor daño articular, lo que complica la reducción adecuada de la fractura y aumenta el riesgo de pérdida de reducción y malreducción postoperatoria en comparación con fracturas simples (136,187,188,191). Lograr una reducción precisa y una alineación correcta de la fractura, ya sea mediante férula o FE, es fundamental para prevenir la pérdida de reducción y facilitar la curación de los tejidos blandos antes de la fijación definitiva (134). Hasta donde sabemos, este es el primer estudio que compara directamente la calidad de la reducción entre fracturas-luxaciones de tobillo inmovilizadas inicialmente con férulas y aquellas tratadas con FE. Aunque no identificamos diferencias significativas en la calidad de la reducción inicial entre ambos métodos, observamos que las fracturas tratadas con férulas eran, en general, menos complejas. Chien et al. tampoco hallaron una asociación entre la calidad de la reducción preoperatoria y las complicaciones de heridas postoperatorias en fracturas-luxaciones de tobillo (173). Sin embargo, los tobillos mal reducidos fueron sometidos a cirugía más temprana para prevenir complicaciones relacionadas con las heridas, en línea con estudios previos (186). En nuestro estudio, no detectamos diferencias en las tasas de complicaciones postoperatorias según la calidad de la reducción inicial, pero sí observamos una mayor incidencia de complicaciones en pacientes con una calidad insatisfactoria de la reducción final.

La literatura actual asocia la malreducción con un mayor riesgo de complicaciones relacionadas con heridas, fallos de implantes, artrosis, limitación del rango de movimiento y peores resultados funcionales a largo plazo (192). En nuestra serie, los pacientes tratados con FE mostraron una mayor tasa de reducción final insatisfactoria, probablemente debido a la mayor complejidad de las fracturas tratadas con este método.

DISCUSIÓN

Algunos autores sugieren que estas fracturas complejas deben ser manejadas por cirujanos con amplia experiencia para optimizar los resultados (191). En nuestro estudio, la mayoría de las fracturas tratadas con FE fueron operadas por cirujanos ortopédicos especializados en trauma, mientras que las fracturas tratadas con férulas fueron manejadas por cirujanos con distintos niveles de subespecialización. Este hallazgo indica que el uso inicial de FE, independientemente del nivel de subespecialización del cirujano, contribuyó a homogeneizar los resultados postoperatorios en fracturas-luxaciones de tobillo graves.

7.2.2. Limitaciones

Nuestro estudio presenta varias limitaciones que deben considerarse al interpretar los hallazgos. La naturaleza retrospectiva del diseño plantea el riesgo de subnotificación de complicaciones. La evaluación radiológica realizada por un único observador en una única observación impidió la valoración de la concordancia inter e intraobservador, lo que podría afectar la reproducibilidad de los resultados. Además, el uso de radiografías para clasificar fracturas y medir el maléolo posterior tiene limitaciones en comparación con métodos más avanzados, como la tomografía computarizada, que ofrece mayor precisión. La participación de cirujanos con diferentes subespecializaciones en ambas etapas del tratamiento, junto con diferencias en las características de los pacientes y patrones de fractura entre los grupos, puede haber contribuido a la heterogeneidad. Asimismo, la duración relativamente corta del seguimiento podría haber subestimado la incidencia de complicaciones de aparición tardía, como la artrosis postraumática. Por último, la ausencia de criterios estandarizados para decidir entre el uso de férula o FE en la etapa inicial del manejo podría haber contribuido al sesgo de selección, afectando la interpretación de los resultados.

DISCUSIÓN

No obstante, la frecuencia con la que estas lesiones se presentan en la práctica diaria de la mayoría de los cirujanos ortopédicos, la brecha existente en la literatura respecto al impacto específico de la FE y el tamaño considerable de nuestra muestra destacan la relevancia y contribución de este estudio para la comprensión y manejo de estas patologías.

La validación y difusión de estos resultados han sido respaldadas por su publicación en la revista *European Journal of Orthopaedic Surgery & Traumatology* en julio de 2024 (**Anexos 5**). Esto subraya la relevancia clínica del estudio y su impacto en la práctica ortopédica.

7.3. Discusión global de la investigación

La presente investigación, estructurada en dos estudios, se ha centrado en el análisis de factores predictivos de complicaciones asociados al tratamiento por etapas de fracturas de las extremidades inferiores mediante FE y su posterior conversión a fijación interna. Este enfoque, ampliamente utilizado en el manejo de fracturas en PPT y en fracturas periarticulares complejas, plantea aún importantes interrogantes clínicos que esta investigación ha buscado esclarecer.

El objetivo principal fue identificar factores predictivos de infección relacionada con la fractura en el contexto del tratamiento escalonado con FE y enclavado endomedular en fracturas de fémur y tibia. Se confirmó que la infección del trayecto del pin constituye un factor de riesgo para la infección relacionada con la fractura, lo que refuerza la importancia del manejo adecuado del FE, incluyendo el cuidado de sus pines, así como la identificación precoz y manejo de la infección del trayecto del pin en la prevención de complicaciones mayores.

Por otro lado, el segundo estudio se centró en una entidad clínica de alta prevalencia: las fracturas-luxaciones cerradas de tobillo. Estas lesiones, aunque de menor complejidad sistémica y local que las fracturas tratadas en el primer trabajo, suponen un reto en términos de decisión terapéutica inicial. La comparación entre férula de yeso y FE como métodos de inmovilización temporal reveló que, pese a que la FE se utilizó en pacientes con peor perfil basal y fracturas más inestables, la tasa de complicaciones fue comparable a la obtenida con férula. Este hallazgo sugiere que la FE es un elemento homogeneizador de resultados, permitiendo equiparar el pronóstico incluso en casos con un perfil más desfavorables.

DISCUSIÓN

Ambos estudios comparten ciertas similitudes. En primer lugar, ambos estudios se enmarcan dentro del paradigma de la cirugía por etapas, estrategia que prioriza la estabilización inicial y la recuperación de tejidos blandos antes de una intervención definitiva. Este enfoque, que ha evolucionado desde la cirugía de control de daños hacia modelos más individualizados como “cirugía temporal musculoesquelética” o MuST, se consolida como una herramienta versátil y adaptable en contextos clínicos diversos, como se ha evidenciado en ambos trabajos.

En segundo lugar, en ambos estudios se destaca la relevancia del estado de las partes blandas como factor influyente en el manejo. El sufrimiento cutáneo como las ampollas, la epidermólisis, la necesidad de realizar fasciotomías o de emplear colgajos de cobertura no solo condicionan la planificación del momento quirúrgico definitivo, sino que también representan un factor de riesgo añadido para el desarrollo de complicaciones postoperatorias.

Una de las contribuciones destacadas de este trabajo es la constatación de que la especialización en trauma ortopédico actúa como factor protector frente a complicaciones postoperatorias en el tratamiento por etapas de fracturas de tibia y fémur, aunque no mostró el mismo efecto en el caso de las fracturas-luxaciones cerradas de tobillo. Esta diferencia podría explicarse por la mayor complejidad técnica del tratamiento en las fracturas de los huesos largos en PPT, donde una colocación precisa de los pines y el cumplimiento estricto de los principios técnicos de la FE resulta crucial. En cambio, en las fracturas-luxaciones cerradas de tobillo, al tratarse de casos generalmente menos complejos y más habituales, los resultados tienden a ser comparables incluso entre cirujanos ortopédicos con distintos niveles de especialización. Esta observación refuerza la necesidad de considerar la especialización en trauma ortopédico un criterio clave en la

DISCUSIÓN

asignación de casos complejos y promover una formación específica y periódica en FE dentro de los equipos de cirugía ortopédica y traumatología, especialmente en centros donde se manejan lesiones de alta complejidad.

A través de la identificación de factores de riesgo para complicaciones, el análisis comparativo de métodos de inmovilización y la evaluación de la especialización quirúrgica, este trabajo proporciona evidencia relevante para optimizar decisiones terapéuticas en dos escenarios de elevada complejidad, permitido ampliar la aplicabilidad clínica del trabajo a diferentes contextos en la práctica diaria de nuestra especialidad.

7.4. Contraposición de los resultados a las hipótesis

Hipótesis principal: el desarrollo de infección del trayecto del pin aumenta la tasa de infección relacionada con la fractura tras el tratamiento definitivo con enclavado endomedular en fracturas diafisarias de fémur y tibia.

- Estado: Confirmada
- Explicación: Se observó una asociación estadísticamente significativa entre la presencia de infección en el trayecto del pin y el desarrollo de infección relacionada con la fractura tras el enclavado endomedular en fracturas de tibia y fémur.

Hipótesis secundaria: Una menor distancia entre los pines del FE y el foco de fractura se asocia a un aumento en la tasa de infección relacionada con la fractura tras el enclavado endomedular en fracturas diafisarias de fémur y tibia.

- Estado: No confirmada
- Explicación: Aunque se observó una tendencia hacia una mayor tasa de infección en los casos con menor distancia entre los pines y el foco de fractura, esta diferencia no alcanzó significación estadística.

Hipótesis secundaria: La especialización en trauma ortopédico es un factor protector para la infección relacionada con la fractura en el tratamiento por etapas de fracturas diafisarias de fémur y tibia.

- Estado: Confirmada

DISCUSIÓN

- Explicación: La especialización en trauma ortopédico se asoció a una menor tasa de infecciones relacionadas con la fractura, probablemente derivado de una planificación quirúrgica más rigurosa y de una colocación más estratégica de los pines.

Hipótesis secundaria: La FE como método de inmovilización temporal no se asocia a una mayor tasa de complicaciones postoperatorias en comparación con la férula de yeso, a pesar de emplearse con mayor frecuencia en pacientes con fracturas-luxaciones cerradas de tobillo más complejas y con más factores de riesgo.

- Estado: Confirmada.
- Explicación: Los pacientes inmovilizados con FE presentaban un perfil basal más desfavorable, caracterizado por mayor edad, mayor compromiso de partes blandas y fracturas con mayor afectación del maléolo posterior. A pesar de ello, las tasas de complicaciones postoperatorias fueron comparables a las de los pacientes inmovilizados con férula.

Hipótesis secundaria: La utilización del FE en fracturas-luxaciones cerradas de tobillo se asocia con una mejor calidad de la reducción inicial y con una menor tasa de pérdida secundaria de reducción en comparación con la inmovilización con férulas de yeso.

- Estado: No confirmada.
- Explicación: La calidad de la reducción inicial y la tasa de pérdida de reducción fueron similares entre ambos métodos, con tres casos de pérdida secundaria de reducción, todos en pacientes inicialmente inmovilizados con férula.

8. CONCLUSIONES

A partir de los hallazgos obtenidos, se concluye que:

1. La presencia de infección en el trayecto del pin se asoció con un incremento significativo del riesgo de infecciones relacionadas con la fractura tras el enclavado endomedular en fracturas de tibia y fémur.
2. La especialización en trauma ortopédico fue un factor protector frente a la infección relacionada con la fractura en el tratamiento por etapas mediante FE y enclavado endomedular de fracturas de fémur y tibia.
3. Las tasas de complicaciones postoperatorias fueron comparables entre los pacientes con fracturas-luxaciones cerradas de tobillo inmovilizados temporalmente con FE y aquellos tratados con férula, a pesar de que los primeros presentaban fracturas más complejas y más comorbilidades.
4. La calidad de la reducción inicial y la tasa de pérdida de reducción en las fracturas-luxaciones cerradas de tobillo fueron similares tanto con el uso de férula como con FE.

9. LÍNEAS DE FUTURO

Este estudio aporta evidencia relevante sobre el uso de la FE en el tratamiento por etapas de fracturas de los miembros inferiores. A partir de los hallazgos obtenidos, es posible no solo plantear nuevas líneas de investigación, sino también implementar mejoras concretas en nuestra práctica clínica habitual. En particular, los resultados relacionados con las fracturas-luxaciones cerradas de tobillo respaldan la necesidad de elaborar algoritmos terapéuticos que permitan estandarizar la elección entre inmovilización con férula o FE, en función de características relacionadas con el paciente y el patrón de fractura. Asimismo, la organización de programas de formación continuada y periódica centrados en los principios básicos de la FE dirigidos a residentes y especialistas podría mejorar la aplicación técnica y reducir las complicaciones asociadas a su uso.

Sin embargo, este trabajo presenta limitaciones que incluyen tanto la heterogeneidad de los datos clínicos, la necesidad de estudios con mayor poder estadístico y un seguimiento más prolongado, así como la falta de consenso en aspectos clave del manejo quirúrgico. A partir de estas observaciones, se proponen las siguientes líneas de futuro:

1. Personalización del tratamiento: En el presente estudio, se analizaron fracturas de tibia y fémur, abarcando distintos segmentos de estos huesos largos y tratadas de forma definitiva mediante clavo endomedular, así como fracturas de tobillo, cuyo abordaje requirió diferentes estrategias de FE. Esta heterogeneidad refleja la necesidad de individualizar futuras investigaciones en función de cada segmento óseo y tipo de fractura. Futuros estudios deberían centrarse en la adaptación de estrategias terapéuticas según la localización específica de la fractura, considerando las diferencias biomecánicas y biológicas de cada segmento.

LÍNEAS DE FUTURO

Asimismo, sería fundamental ampliar el análisis a otras opciones de tratamiento definitivo, como placas de osteosíntesis, fijación híbrida u otros métodos avanzados de estabilización, para evaluar su impacto en la consolidación ósea y en la funcionalidad del paciente. La integración de modelos predictivos basados en inteligencia artificial podría facilitar la selección del tratamiento más adecuado en cada caso, optimizando la toma de decisiones clínicas.

2. Validación de protocolos mediante estudios multicéntricos: La falta de consenso y la variabilidad en la aplicación de la FE justifican estudios multicéntricos con grandes cohortes. La colaboración científica facilitaría la identificación de factores de riesgo y la validación de estrategias basadas en estudios de mayor grado de evidencia.
3. Innovación e investigación en biomateriales para reducir complicaciones: Las infecciones continúan representando un reto en el tratamiento de las fracturas. En la última década se han desarrollado clavos y pines que incorporan recubrimientos de antibióticos, así como clavos recubiertos de aleaciones con propiedades intrínsecas antimicrobianas con el fin de disminuir las infecciones. Estas últimas emplean combinaciones de metales como oro, plata y paladio, que generan un campo galvánico que dificulta la adhesión bacteriana. Actualmente, ya se están utilizando clavos con este tipo de recubrimientos en nuestro entorno clínico, aunque todavía se requiere mayor evidencia para confirmar su eficacia en la prevención de infecciones asociadas a implantes ortopédicos.
4. Impacto de la formación en FE en la eficacia del tratamiento: La variabilidad en el grado de especialización en trauma ortopédico y en la aplicación técnica puede afectar los resultados clínicos. Es crucial evaluar el impacto de programas de

LÍNEAS DE FUTURO

formación estructurada, promoviendo el uso de simulaciones y entrenamiento en modelos cadavéricos o virtuales.

5. Seguimiento a largo plazo y análisis funcional: La escasez de datos longitudinales dificulta la evaluación de los efectos a largo plazo de la FE. Se propone la implementación de registros prospectivos y herramientas de valoración funcional para mejorar la comprensión del impacto del tratamiento por etapas en la recuperación del paciente.

Estas líneas de investigación buscan mejorar la personalización del tratamiento, reducir complicaciones y optimizar los resultados clínicos. La personalización del tratamiento, la validación de estrategias terapéuticas y el fortalecimiento de la formación quirúrgica serán clave para el avance en este campo.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Hernigou P. History of external fixation for treatment of fractures. *Int Orthop*. abril de 2017;41(4):845-53.
2. Parkhill C. A New Apparatus for the Fixation of Bones after Resection and in Fractures with a Tendency to Displacement: With Report of Cases. *Clinical Orthopaedics and Related Research®*. noviembre de 1983;180:3.
3. Parkhill C. I. Further Observations regarding the Use of the Bone-Clamp in Ununited Fractures, Fractures with Malunion, and Recent Fractures, with a Tendency to Displacement. *Annals of Surgery*. mayo de 1898;27(5):553.
4. Groves EWH. On the application of the principle of extension to comminuted fractures of the Long bone, with special reference to gunshot injuries. *BJS (British Journal of Surgery)*. 1914;2(7):429-43.
5. Freeman L. XII. The Treatment of Oblique Fractures of the Tibia and other Bones by Means of External Clamps Inserted through Small Openings in the Skin. *Annals of Surgery*. septiembre de 1911;54(3):381.
6. Lilienthal H. XVI. Safety in the Operative Fixation of Infected Fractures of Long Bones. *Ann Surg*. julio de 1912;56(1):185-91.
7. Schwechter EM, Swan KG. Raoul Hoffmann and His External Fixator*. *JBJS*. marzo de 2007;89(3):672.
8. Hampton OP, Coates JB. *Orthopedic Surgery in the Mediterranean Theater of Operations*. Office of the Surgeon General, Department of the Army; 1957. 392 p.
9. Ilizarov GA. Clinical application of the tension-stress effect for limb lengthening. *Clin Orthop Relat Res*. enero de 1990;(250):8-26.
10. Buckley R, Buckley RE, Moran CG, Apivatthakakul T. *AO Principles of Fracture*

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Management [Internet]. AO Foundation; 2017. (AO Principles of Fracture Management).

Disponible en: <https://books.google.ca/books?id=aMV0tgEACAAJ>

11. Arveladze S, Moriarty F, Jennison T. The Influence of Pin Material and Coatings on the Incidence of Pin Site Infection after External Fixation. *Journal of Limb Lengthening & Reconstruction*. octubre de 2022;8(Suppl 1):S16.

12. Moroni A, Vannini F, Mosca M, Giannini S. State of the Art Review: Techniques to Avoid Pin Loosening and Infection in External Fixation. *Journal of Orthopaedic Trauma*. marzo de 2002;16(3):189.

13. Moroni A, Faldini C, Pegreff F, Giannini S. Fixation strength of tapered versus bicylindrical hydroxyapatite-coated external fixation pins: an animal study. *J Biomed Mater Res*. 2002;63(1):61-4.

14. Moroni A, Aspenberg P, Toksvig-Larsen S, Falzarano G, Giannini S. Enhanced fixation with hydroxyapatite coated pins. *Clin Orthop Relat Res*. enero de 1998;(346):171-7.

15. Moroni A, Toksvig-Larsen S, Maltarello MC, Orienti L, Stea S, Giannini S. A comparison of hydroxyapatite-coated, titanium-coated, and uncoated tapered external-fixation pins. An in vivo study in sheep. *J Bone Joint Surg Am*. abril de 1998;80(4):547-54.

16. Moroni A, Faldini C, Marchetti S, Manca M, Consoli V, Giannini S. Improvement of the bone-pin interface strength in osteoporotic bone with use of hydroxyapatite-coated tapered external-fixation pins. A prospective, randomized clinical study of wrist fractures. *J Bone Joint Surg Am*. mayo de 2001;83(5):717-21.

17. Pieske O, Pichlmaier L, Kaltenhauser F, Schramm N, Rubenbauer B, Greiner A, et al. Hydroxyapatite-coated pins versus titanium alloy pins in external fixation at the

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

wrist: a controlled cohort study. *J Trauma*. abril de 2011;70(4):845-51.

18. Pommer A, Muhr G, Dávid A. Hydroxyapatite-coated Schanz pins in external fixators used for distraction osteogenesis : a randomized, controlled trial. *J Bone Joint Surg Am*. julio de 2002;84(7):1162-6.

19. Pizà G, Caja VL, González-Viejo MA, Navarro A. Hydroxyapatite-coated external-fixation pins. The effect on pin loosening and pin-track infection in leg lengthening for short stature. *J Bone Joint Surg Br*. agosto de 2004;86(6):892-7.

20. Chaloupka K, Malam Y, Seifalian AM. Nanosilver as a new generation of nanoparticle in biomedical applications. *Trends Biotechnol*. noviembre de 2010;28(11):580-8.

21. Wassall MA, Santin M, Isalberti C, Cannas M, Denyer SP. Adhesion of bacteria to stainless steel and silver-coated orthopedic external fixation pins. *J Biomed Mater Res*. 5 de septiembre de 1997;36(3):325-30.

22. Collinge CA, Goll G, Seligson D, Easley KJ. Pin tract infections: silver vs uncoated pins. *Orthopedics*. mayo de 1994;17(5):445-8.

23. Coester LM, Nepola JV, Allen J, Marsh JL. The effects of silver coated external fixation pins. *Iowa Orthop J*. 2006;26:48-53.

24. Bosetti M, Massè A, Tobin E, Cannas M. Silver coated materials for external fixation devices: in vitro biocompatibility and genotoxicity. *Biomaterials*. febrero de 2002;23(3):887-92.

25. Monteiro DR, Gorup LF, Takamiya AS, Ruvollo-Filho AC, de Camargo ER, Barbosa DB. The growing importance of materials that prevent microbial adhesion: antimicrobial effect of medical devices containing silver. *Int J Antimicrob Agents*. agosto de 2009;34(2):103-10.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

26. Abee T, Kovács AT, Kuipers OP, van der Veen S. Biofilm formation and dispersal in Gram-positive bacteria. *Curr Opin Biotechnol.* abril de 2011;22(2):172-9.
27. Juan L, Zhimin Z, Anchun M, Lei L, Jingchao Z. Deposition of silver nanoparticles on titanium surface for antibacterial effect. *International Journal of Nanomedicine.* 15 de abril de 2010;5:261.
28. Secinti KD, Özalp H, Attar A, Sargon MF. Nanoparticle silver ion coatings inhibit biofilm formation on titanium implants. *J Clin Neurosci.* marzo de 2011;18(3):391-5.
29. Dong Y, Li X, Tian L, Bell T, Sammons RL, Dong H. Towards long-lasting antibacterial stainless steel surfaces by combining double glow plasma silvering with active screen plasma nitriding. *Acta Biomater.* enero de 2011;7(1):447-57.
30. Moojen DJF, Vogely HC, Fleer A, Nikkels PGJ, Higham PA, Verbout AJ, et al. Prophylaxis of infection and effects on osseointegration using a tobramycin-periapatite coating on titanium implants--an experimental study in the rabbit. *J Orthop Res.* junio de 2009;27(6):710-6.
31. Voos K, Rosenberg B, Fagrhi M, Seligson D. Use of a tobramycin-impregnated polymethylmethacrylate pin sleeve for the prevention of pin-tract infection in goats. *J Orthop Trauma.* febrero de 1999;13(2):98-101.
32. Schmidmaier G, Lucke M, Wildemann B, Haas NP, Raschke M. Prophylaxis and treatment of implant-related infections by antibiotic-coated implants: a review. *Injury.* mayo de 2006;37 Suppl 2:S105-112.
33. Alt V, Bitschnau A, Böhner F, Heerich KE, Magesin E, Sewing A, et al. Effects of gentamicin and gentamicin-RGD coatings on bone ingrowth and biocompatibility of cementless joint prostheses: an experimental study in rabbits. *Acta Biomater.* marzo de 2011;7(3):1274-80.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

34. Fuchs T, Stange R, Schmidmaier G, Raschke MJ. The use of gentamicin-coated nails in the tibia: preliminary results of a prospective study. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*. 24 de mayo de 2011;131(10):1419.
35. Vester H, Wildemann B, Schmidmaier G, Stöckle U, Lucke M. Gentamycin delivered from a PDLLA coating of metallic implants: In vivo and in vitro characterisation for local prophylaxis of implant-related osteomyelitis. *Injury*. octubre de 2010;41(10):1053-9.
36. Zhao L, Chu PK, Zhang Y, Wu Z. Antibacterial coatings on titanium implants. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater*. octubre de 2009;91(1):470-80.
37. Baran O, Havitcioglu H, Tatari H, Cecen B. The stiffness characteristics of hybrid Ilizarov fixators. *Journal of Biomechanics*. 20 de octubre de 2008;41(14):2960-3.
38. Watson MA, Mathias KJ, Maffulli N, Hukins DWL. The effect of clamping a tensioned wire: implications for the Ilizarov external fixation system. *Proc Inst Mech Eng H*. 2003;217(2):91-8.
39. Kani KK, Porrino JA, Chew FS. External fixators: looking beyond the hardware maze. *Skeletal Radiol*. marzo de 2020;49(3):359-74.
40. Widanage KND, Silva MJD, Lalitharatne TD, Bull AMJ, Gopura R a. RC. Developments in circular external fixators: A review. *Injury* [Internet]. 1 de diciembre de 2023 [citado 30 de octubre de 2024];54(12). Disponible en: [https://www.injuryjournal.com/article/S0020-1383\(23\)00874-4/fulltext](https://www.injuryjournal.com/article/S0020-1383(23)00874-4/fulltext)
41. Kowalski M, Schemitsch EH, Harrington RM, Chapman JR, Swiontkowski MF. Comparative biomechanical evaluation of different external fixation sidebars: stainless-steel tubes versus carbon fiber rods. *J Orthop Trauma*. 1996;10(7):470-5.
42. Yilmaz E, Belhan O, Karakurt L, Arslan N, Serin E. Mechanical performance of

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

hybrid Ilizarov external fixator in comparison with Ilizarov circular external fixator. Clin Biomech (Bristol, Avon). julio de 2003;18(6):518-22.

43. Farrar M, Yang L, Saleh M. The Sheffield hybrid fixator--a clinical and biomechanical review. Injury. diciembre de 2001;32 Suppl 4:SD8-13.

44. Kanellopoulos AD, Mavrogenis AF, Kanellopoulos ND, Magnissalis EA, Papagelopoulos PJ. A guide frame for the Taylor Spatial Frame. J Orthop Trauma. agosto de 2009;23(7):537-40.

45. Paley D. History and Science Behind the Six-Axis Correction External Fixation Devices in Orthopaedic Surgery. Operative Techniques in Orthopaedics. 1 de junio de 2011;21(2):125-8.

46. Zuo S, Dong M, Li J, Tao C, Ji R. Configuration design and correction ability evaluation of a novel external fixator for foot and ankle deformity treated by U osteotomy. Med Biol Eng Comput. marzo de 2020;58(3):541-58.

47. Bright AS, Herzenberg JE, Paley D, Weiner I, Burghardt RD. Preliminary experience with motorized distraction for tibial lengthening. Strategies in Trauma and Limb Reconstruction. 15 de marzo de 2014;9(2):97.

48. Gigi R, Mor J, Lidor I, Ovadia D, Segev E. Auto Strut: a novel smart robotic system for external fixation device for bone deformity correction, a preliminary experience. J Child Orthop. 19 de abril de 2021;15(2):130-6.

49. Bible JE, Mir HR. External Fixation: Principles and Applications. J Am Acad Orthop Surg. noviembre de 2015;23(11):683-90.

50. Behrens F, Johnson WD, Koch TW, Kovacevic N. Bending stiffness of unilateral and bilateral fixator frames. Clin Orthop Relat Res. septiembre de 1983;(178):103-10.

51. Gasser B, Boman B, Wyder D, Schneider E. Stiffness characteristics of the

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

circular Ilizarov device as opposed to conventional external fixators. J Biomech Eng. febrero de 1990;112(1):15-21.

52. Encinas-Ullán CA, Martínez-Diez JM, Rodríguez-Merchán EC. The use of external fixation in the emergency department: applications, common errors, complications and their treatment. EFORT Open Rev. 2 de abril de 2020;5(4):204-14.

53. Sarpel Y, Gulsen M, Togrul E, Capa M, Herdem M. Comparison of mechanical performance among different frame configurations of the Ilizarov external fixator: experimental study. J Trauma. marzo de 2005;58(3):546-52.

54. Antoci V, Roberts CS, Antoci V, Voor MJ. The effect of transfixion wire number and spacing between two levels of fixation on the stiffness of proximal tibial external fixation. J Orthop Trauma. marzo de 2005;19(3):180-6.

55. Podolsky A, Chao EY. Mechanical performance of Ilizarov circular external fixators in comparison with other external fixators. Clin Orthop Relat Res. agosto de 1993;(293):61-70.

56. Piper KJ, Won HY, Ellis AM. Hybrid external fixation in complex tibial plateau and plafond fractures: an Australian audit of outcomes. Injury. enero de 2005;36(1):178-84.

57. Gaudinez RF, Mallik AR, Szporn M. Hybrid external fixation of comminuted tibial plateau fractures. Clin Orthop Relat Res. julio de 1996;(328):203-10.

58. Berwin JT, Pearce O, Harries L, Kelly M. Managing polytrauma patients. Injury. octubre de 2020;51(10):2091-6.

59. Pape HC, Giannoudis P, Krettek C. The timing of fracture treatment in polytrauma patients: relevance of damage control orthopedic surgery. Am J Surg. junio de 2002;183(6):622-9.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

60. Guerado E, Bertrand ML, Cano JR, Cerván AM, Galán A. Damage control orthopaedics: State of the art. *World J Orthop*. 18 de enero de 2019;10(1):1-13.
61. Roberts CS, Pape HC, Jones AL, Malkani AL, Rodriguez JL, Giannoudis PV. Damage control orthopaedics: evolving concepts in the treatment of patients who have sustained orthopaedic trauma. *Instr Course Lect*. 2005;54:447-62.
62. Hildebrand F, Giannoudis P, Krettek C, Pape HC. Damage control: extremities. *Injury*. julio de 2004;35(7):678-89.
63. Lasanianos NG, Kanakaris NK, Dimitriou R, Pape HC, Giannoudis PV. Second hit phenomenon: existing evidence of clinical implications. *Injury*. julio de 2011;42(7):617-29.
64. Oleo-Taltavull R, Corró S, Tomàs-Hernández J, Teixidor-Serra J, Selga-Marsà J, Porcel-Vázquez JA, et al. Staged treatment of bicondylar tibial plateau fractures: influence of frame configuration and quality of reduction on outcomes. *Eur J Trauma Emerg Surg*. 18 de diciembre de 2023;
65. Della Rocca GJ, Crist BD. External fixation versus conversion to intramedullary nailing for definitive management of closed fractures of the femoral and tibial shaft. *J Am Acad Orthop Surg*. 2006;14(10 Spec No.):S131-135.
66. Bhandari M, Zlowodzki M, Tornetta P, Schmidt A, Templeman DC. Intramedullary nailing following external fixation in femoral and tibial shaft fractures. *J Orthop Trauma*. febrero de 2005;19(2):140-4.
67. Paireon P, Ossendorf C, Kuhn S, Hofmann A, Rommens PM. Intramedullary nailing after external fixation of the femur and tibia: a review of advantages and limits. *Eur J Trauma Emerg Surg*. febrero de 2015;41(1):25-38.
68. Yokoyama K, Itoman M, Uchino M, Fukushima K, Nitta H, Kojima Y. Immediate

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

versus delayed intramedullary nailing for open fractures of the tibial shaft: A multivariate analysis of factors affecting deep infection and fracture healing. *Indian J Orthop.* 2008;42(4):410-9.

69. Robinson RM, Mackey R, Ogonda L. Circular frame fixation of complex tibial plateau fractures in the elderly: Functional and radiological outcomes for Schatzker V and VI type fractures. *Injury.* 14 de octubre de 2023;54(12):111131.

70. Bastías GF, Sepúlveda S, Bruna S, Contreras M, Hube M, Cuchacovich N, et al. Comparison of complications and reoperations in AO/OTA 43.C3 pilon fractures treated with conventional ORIF versus minimally invasive hexapod ring fixation. *Injury.* noviembre de 2023;54 Suppl 6:110884.

71. Schütz M, Müller M, Regazzoni P, Höntzsch D, Krettek C, Van der Werken C, et al. Use of the less invasive stabilization system (LISS) in patients with distal femoral (AO33) fractures: a prospective multicenter study. *Arch Orthop Trauma Surg.* marzo de 2005;125(2):102-8.

72. Codivilla A. ON THE CURE OF THE CONGENITAL PSEUDOARTHROSIS OF THE TIBIA BY MEANS OF PERIOSTEAL TRANSPLANTATION. *The American Journal of Orthopedic Surgery.* octubre de 1906;s2-4(2):163-9.

73. Ilizarov GA. The tension-stress effect on the genesis and growth of tissues: Part II. The influence of the rate and frequency of distraction. *Clin Orthop Relat Res.* febrero de 1989;(239):263-85.

74. Calder PR, Faimali M, Goodier WD. The role of external fixation in paediatric limb lengthening and deformity correction. *Injury.* junio de 2019;50 Suppl 1:S18-23.

75. Corona PS, Pujol O, Vicente M, Ricou E, de Albert M, Maestre Cano D, et al. Outcomes of two circular external fixation systems in the definitive treatment of acute

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

tibial fracture related infections. *Injury*. octubre de 2022;53(10):3438-45.

76. Wakefield SM, Papakostidis C, Giannoudis VP, Mandía-Martínez A, Giannoudis PV. Distraction osteogenesis versus induced membrane technique for infected tibial non-unions with segmental bone loss: a systematic review of the literature and meta-analysis of available studies. *Eur J Trauma Emerg Surg*. junio de 2024;50(3):705-21.

77. Chappell TM, Ebert CC, McCann KM, Hutchinson BL, Rodriguez-Collazo E. Distal tibial distraction osteogenesis-an alternative approach to addressing limb length discrepancy with concurrent hindfoot and ankle reconstruction. *J Orthop Surg Res*. 30 de julio de 2019;14(1):244.

78. Lamm BM, Standard SC, Galley IJ, Herzenberg JE, Paley D. External fixation for the foot and ankle in children. *Clin Podiatr Med Surg*. enero de 2006;23(1):137-66, ix.

79. Mooney JF, Koman LA. Knee flexion contractures: soft tissue correction with monolateral external fixation. *J South Orthop Assoc*. 2001;10(1):32-6.

80. Carbonell PG, Valero JV, Fernández PD, Vicente-Franqueira JR. Monolateral external fixation for the progressive correction of neurological spastic knee flexion contracture in children. *Strategies Trauma Limb Reconstr*. diciembre de 2007;2(2-3):91-7.

81. Yoshino Y, Ueda H, Ono S, Ogawa R. An External Wire Frame Fixation Method of Skin Grafting for Burn Reconstruction. *J Burn Care Res*. 1 de enero de 2018;39(1):60-4.

82. Serror K, Chaouat M, Chatelain S, Dutot MC, Haddad J, Roncier S, et al. External Fixation During the Acute Phase of Deep Burned Hands: Description of Saint Louis' Burn Center Technique. *J Burn Care Res*. 2 de mayo de 2020;41(3):700-4.

83. Pape HC, Lefering R, Butcher N, Peitzman A, Leenen L, Marzi I, et al. The

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- definition of polytrauma revisited: An international consensus process and proposal of the new «Berlin definition». *J Trauma Acute Care Surg.* noviembre de 2014;77(5):780-6.
84. Lord JM, Midwinter MJ, Chen YF, Belli A, Brohi K, Kovacs EJ, et al. The systemic immune response to trauma: an overview of pathophysiology and treatment. *Lancet.* 18 de octubre de 2014;384(9952):1455-65.
85. Pape HC, Moore EE, McKinley T, Sauaia A. Pathophysiology in patients with polytrauma. *Injury.* julio de 2022;53(7):2400-12.
86. Giordano V, Giannoudis VP, Giannoudis PV. Current trends in resuscitation for polytrauma patients with traumatic haemorrhagic shock. *Injury.* 1 de septiembre de 2020;51(9):1945-8.
87. Giannoudis PV. Advances made in resuscitation: current status. *Eur J Trauma Emerg Surg.* 1 de junio de 2016;42(3):271-2.
88. Giannoudis PV, Harwood PJ, Loughenbury P, Van Griensven M, Krettek C, Pape HC. Correlation between IL-6 levels and the systemic inflammatory response score: can an IL-6 cutoff predict a SIRS state? *J Trauma.* septiembre de 2008;65(3):646-52.
89. Pape HC, Giannoudis PV, Krettek C, Trentz O. Timing of fixation of major fractures in blunt polytrauma: role of conventional indicators in clinical decision making. *J Orthop Trauma.* septiembre de 2005;19(8):551-62.
90. Giannoudis PV, Smith RM, Bellamy MC, Morrison JF, Dickson RA, Guillou PJ. Stimulation of the inflammatory system by reamed and unreamed nailing of femoral fractures. An analysis of the second hit. *J Bone Joint Surg Br.* marzo de 1999;81(2):356-61.
91. Giannoudis PV, Tan HB, Perry S, Tzioupis C, Kanakaris NK. The systemic

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

inflammatory response following femoral canal reaming using the reamer-irrigator-aspirator (RIA) device. *Injury*. noviembre de 2010;41 Suppl 2:S57-61.

92. Hartsock LA, Barfield WR, Kokko KP, Liles LL, Wind T, Green J, et al. Randomized prospective clinical trial comparing reamer irrigator aspirator (RIA) to standard reaming (SR) in both minimally injured and multiply injured patients with closed femoral shaft fractures treated with reamed intramedullary nailing (IMN). *Injury*. noviembre de 2010;41 Suppl 2:S94-98.

93. Guo J, Gao Z, Wang L, Feng C, Hou Z, Zhang Y. The blister occurring in severe tibial plateau fractures (Schatzker V-VI) decreases the risk of acute compartment syndrome. *Int Orthop*. marzo de 2021;45(3):743-9.

94. Tu YK, On Tong G, Wu CH, Sananpanich K, Kakinoki R. Soft-tissue injury in orthopaedic trauma. *Injury*. octubre de 2008;39 Suppl 4:3-17.

95. Varela CD, Vaughan TK, Carr JB, Slemmons BK. Fracture blisters: clinical and pathological aspects. *J Orthop Trauma*. 1993;7(5):417-27.

96. Barlow Y, Willoughby J. Pathophysiology of soft tissue repair. *Br Med Bull*. julio de 1992;48(3):698-711.

97. Tosounidis TH, Daskalakis II, Giannoudis PV. Fracture blisters: pathophysiology and management. *Injury*. diciembre de 2020;51(12):2786-92.

98. Landry PS, Marino AA, Sadasivan KK, Albright JA. Effect of soft-tissue trauma on the early periosteal response of bone to injury. *J Trauma*. marzo de 2000;48(3):479-83.

99. Strauss EJ, Petrucelli G, Bong M, Koval KJ, Egol KA. Blisters associated with lower-extremity fracture: results of a prospective treatment protocol. *J Orthop Trauma*. octubre de 2006;20(9):618-22.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

100. Strebel SJ, Burbank KM, Tullar JM, Jenkins MD, Caroom C. A retrospective analysis of the aspiration of fracture blisters. *J Clin Orthop Trauma*. febrero de 2020;11(Suppl 1):S171-3.
101. Giordano CP, Koval KJ. Treatment of fracture blisters: a prospective study of 53 cases. *J Orthop Trauma*. abril de 1995;9(2):171-6.
102. Borrelli J. Management of soft tissue injuries associated with tibial plateau fractures. *J Knee Surg*. febrero de 2014;27(1):5-9.
103. Pfeifer R, Kalbas Y, Coimbra R, Leenen L, Komadina R, Hildebrand F, et al. Indications and interventions of damage control orthopedic surgeries: an expert opinion survey. *Eur J Trauma Emerg Surg*. diciembre de 2021;47(6):2081-92.
104. Nowotarski PJ, Turen CH, Brumback RJ, Scarboro JM. Conversion of external fixation to intramedullary nailing for fractures of the shaft of the femur in multiply injured patients. *J Bone Joint Surg Am*. junio de 2000;82(6):781-8.
105. Mundi R, Chaudhry H, Niroopan G, Petrisor B, Bhandari M. Open Tibial Fractures: Updated Guidelines for Management. *JBJS Rev*. 3 de febrero de 2015;3(2):e1.
106. Giannoudis PV, Papakostidis C, Roberts C. A review of the management of open fractures of the tibia and femur. *J Bone Joint Surg Br*. marzo de 2006;88(3):281-9.
107. Tomás-Hernández J. High-energy pilon fractures management: State of the art. *EFORT Open Rev*. octubre de 2016;1(10):354-61.
108. Fragomen AT, Rozbruch SR. The Mechanics of External Fixation. *HSS J*. febrero de 2007;3(1):13-29.
109. Giotakis N, Narayan B. Stability with unilateral external fixation in the tibia. *Strategies Trauma Limb Reconstr*. abril de 2007;2(1):13-20.
110. Bliven EK, Greinwald M, Hackl S, Augat P. External fixation of the lower

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

extremities: Biomechanical perspective and recent innovations. *Injury*. junio de 2019;50 Suppl 1:S10-7.

111. Sheen JR, Mabrouk A, Garla VV. Fracture Healing Overview. En: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024 [citado 1 de enero de 2025]. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK551678/>

112. Claes LE, Heigele CA, Neidlinger-Wilke C, Kaspar D, Seidl W, Margevicius KJ, et al. Effects of mechanical factors on the fracture healing process. *Clin Orthop Relat Res*. octubre de 1998;(355 Suppl):S132-147.

113. Perren SM. Tissue response to injury—(i) bone. *Current Orthopaedics*. 1 de septiembre de 1986;1(1):51-60.

114. Claes LE, Heigele CA. Magnitudes of local stress and strain along bony surfaces predict the course and type of fracture healing. *J Biomech*. marzo de 1999;32(3):255-66.

115. Elliott DS, Newman KJH, Forward DP, Hahn DM, Ollivere B, Kojima K, et al. A unified theory of bone healing and nonunion: BHN theory. *Bone Joint J*. julio de 2016;98-B(7):884-91.

116. Emara KM, Diab RA, Ghafar KAE. Cost of external fixation vs external fixation then nailing in bone infection. *World J Orthop*. 18 de enero de 2015;6(1):145-9.

117. Rius-Zavala MM, Orellana-Reta CA, Fuentes-Figueroa S, Nieva-López MG. [Psychological evaluation in patients treated with external fixator]. *Acta Ortop Mex*. 2017;31(6):287-91.

118. Abulaiti A, Yilihamu Y, Yasheng T, Alike Y, Yusufu A. The psychological impact of external fixation using the Ilizarov or Orthofix LRS method to treat tibial osteomyelitis with a bone defect. *Injury*. diciembre de 2017;48(12):2842-6.

119. Bunzel EW, Wilkinson B, Rothberg D, Higgins T, Marchand L, Haller J.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Conversion of External Fixator to Intramedullary Nail in Tibial fractures. *J Am Acad Orthop Surg*. 1 de enero de 2023;31(1):41-8.

120. Erdem Y, Neyisci C, Koca K, Ersen O, Bek D. Is staged management with immediate conversion of external fixation to retrograde intramedullary nailing for combat-related Gustilo Type III supracondylar femur fractures safe and reliable method? *Injury*. marzo de 2019;50(3):764-9.

121. Yokoyama K, Uchino M, Nakamura K, Ohtsuka H, Suzuki T, Boku T, et al. Risk factors for deep infection in secondary intramedullary nailing after external fixation for open tibial fractures. *Injury*. junio de 2006;37(6):554-60.

122. Cheyrou-Lagrece A, Severyns M, Rongieras F, Germaneau A, Odri GA, Bertani A. Secondary intramedullary nailing for open tibial shaft fractures. Comparison of a one-stage versus two-stage surgical procedure. *Orthop Traumatol Surg Res*. noviembre de 2022;108(7):103391.

123. Roussignol X, Sigonney G, Potage D, Etienne M, Duparc F, Dujardin F. Secondary nailing after external fixation for tibial shaft fracture: risk factors for union and infection. A 55 case series. *Orthop Traumatol Surg Res*. febrero de 2015;101(1):89-92.

124. Giannoudis VP, Rodham P, Giannoudis PV, Kanakaris NK. Severely injured patients: modern management strategies. *EFORT Open Rev*. 9 de mayo de 2023;8(5):382-96.

125. Bone LB, Johnson KD, Weigelt J, Scheinberg R. Early versus delayed stabilization of femoral fractures. A prospective randomized study. *J Bone Joint Surg Am*. marzo de 1989;71(3):336-40.

126. Scalea TM, Boswell SA, Scott JD, Mitchell KA, Kramer ME, Pollak AN. External

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

fixation as a bridge to intramedullary nailing for patients with multiple injuries and with femur fractures: damage control orthopedics. *J Trauma*. abril de 2000;48(4):613-21; discussion 621-623.

127. Vallier HA, Wang X, Moore TA, Wilber JH, Como JJ. Timing of orthopaedic surgery in multiple trauma patients: development of a protocol for early appropriate care. *J Orthop Trauma*. octubre de 2013;27(10):543-51.

128. Pape HC, Halvachizadeh S, Leenen L, Velmahos GD, Buckley R, Giannoudis PV. Timing of major fracture care in polytrauma patients - An update on principles, parameters and strategies for 2020. *Injury*. octubre de 2019;50(10):1656-70.

129. Pape HC, Andruszkow H, Pfeifer R, Hildebrand F, Barkatali BM. Options and hazards of the early appropriate care protocol for trauma patients with major fractures: Towards safe definitive surgery. *Injury*. abril de 2016;47(4):787-91.

130. Pape HC, Pfeifer R. Safe definitive orthopaedic surgery (SDS): repeated assessment for tapered application of Early Definitive Care and Damage Control?: an inclusive view of recent advances in polytrauma management. *Injury*. enero de 2015;46(1):1-3.

131. Giannoudis PV, Giannoudis VP, Horwitz DS. Time to think outside the box: «Prompt-Individualised-Safe Management» (P.R.I.S.M.) should prevail in patients with multiple injuries. *Injury*. julio de 2017;48(7):1279-82.

132. Bekos A, Sioutis S, Kostroglou A, Saranteas T, Mavrogenis AF. The history of intramedullary nailing. *Int Orthop*. mayo de 2021;45(5):1355-61.

133. Bong MR, Kummer FJ, Koval KJ, Egol KA. Intramedullary nailing of the lower extremity: biomechanics and biology. *J Am Acad Orthop Surg*. febrero de 2007;15(2):97-106.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

134. Haidukewych GJ. Temporary external fixation for the management of complex intra- and periarticular fractures of the lower extremity. *J Orthop Trauma*. octubre de 2002;16(9):678-85.
135. Haidukewych GJ. Temporary external fixation for the management of complex intra- and periarticular fractures of the lower extremity. *J Orthop Trauma*. octubre de 2002;16(9):678-85.
136. Sculco PK, Lazaro LE, Little MM, Berkes MB, Warner SJ, Helfet DL, et al. Dislocation is a risk factor for poor outcome after supination external rotation type ankle fractures. *Arch Orthop Trauma Surg*. enero de 2016;136(1):9-15.
137. Buyukkuscu MO, Basilgan S, Mollaomeroglu A, Misir A, Basar H. Splinting vs temporary external fixation in the initial treatment of ankle fracture-dislocations. *Foot Ankle Surg*. febrero de 2022;28(2):235-9.
138. Wawrose RA, Grossman LS, Tagliaferro M, Siska PA, Moloney GB, Tarkin IS. Temporizing External Fixation vs Splinting Following Ankle Fracture Dislocation. *Foot Ankle Int*. febrero de 2020;41(2):177-82.
139. Harwood PJ, Giannoudis PV, Probst C, Krettek C, Pape HC. The risk of local infective complications after damage control procedures for femoral shaft fracture. *J Orthop Trauma*. marzo de 2006;20(3):181-9.
140. Parameswaran AD, Roberts CS, Seligson D, Voor M. Pin tract infection with contemporary external fixation: how much of a problem? *J Orthop Trauma*. agosto de 2003;17(7):503-7.
141. Mahan J, Seligson D, Henry SL, Hynes P, Dobbins J. Factors in pin tract infections. *Orthopedics*. marzo de 1991;14(3):305-8.
142. Ye Z, Zhao S, Zeng C, Luo Z, Yuan S, Li R. Study on the relationship between

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

the timing of conversion from external fixation to internal fixation and infection in the treatment of open fractures of extremities. *J Orthop Surg Res.* 7 de noviembre de 2021;16(1):662.

143. Hodgson S. AO Principles of Fracture Management. *Ann R Coll Surg Engl.* julio de 2009;91(5):448-9.

144. Ktistakis I, Guerado E, Giannoudis PV. Pin-site care: can we reduce the incidence of infections? *Injury.* septiembre de 2015;46 Suppl 3:S35-39.

145. Guerado E, Cano JR, Fernandez-Sanchez F. Pin tract infection prophylaxis and treatment. *Injury.* junio de 2019;50 Suppl 1:S45-9.

146. Ferguson D, Harwood P, Allgar V, Roy A, Foster P, Taylor M, et al. The PINS Trial: a prospective randomized clinical trial comparing a traditional versus an emollient skincare regimen for the care of pin-sites in patients with circular frames. *Bone Joint J.* febrero de 2021;103-B(2):279-85.

147. Gerlach R, Toepfer A, Jacxsens M, Zdravkovic V, Potocnik P. Temporizing cast immobilization is a safe alternative to external fixation in ankle fracture-dislocation while posterior malleolar fragment size predicts loss of reduction: a case control study. *BMC Musculoskelet Disord.* 22 de julio de 2022;23(1):698.

148. Mandelka E, Wikanardi BA, Beisemann N, Gruetzner PA, Franke J, Vetter SY, et al. Comparing Temporary Immobilization Using Cast and External Fixator in Unimalleolar Ankle Fracture Dislocations: A Retrospective Case Series. *J Clin Med.* 17 de enero de 2023;12(3):748.

149. Andrés-Peiró JV, Pujol O, Altayó-Carulla M, Castellanos-Alonso S, Reverté-Vinaixa MM, Teixidor-Serra J, et al. Predictors of first-year postoperative complications after fixation of low-energy ankle fractures: A single-center, retrospective cohort study

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

of 663 consecutive fractures. *Rev Esp Cir Ortop Traumatol*. 1 de diciembre de 2023;S1888-4415(23)00259-X.

150. Wawrose RA, Grossman LS, Tagliaferro M, Siska PA, Moloney GB, Tarkin IS. Temporizing External Fixation vs Splinting Following Ankle Fracture Dislocation. *Foot Ankle Int*. febrero de 2020;41(2):177-82.

151. Buyukkuscu MO, Basilgan S, Mollaomeroglu A, Misir A, Basar H. Splinting vs temporary external fixation in the initial treatment of ankle fracture-dislocations. *Foot Ankle Surg*. febrero de 2022;28(2):235-9.

152. Gerlach R, Toepfer A, Jacxsens M, Zdravkovic V, Potocnik P. Temporizing cast immobilization is a safe alternative to external fixation in ankle fracture-dislocation while posterior malleolar fragment size predicts loss of reduction: a case control study. *BMC Musculoskeletal Disorders*. 22 de julio de 2022;23(1):698.

153. Mandelka E, Wikanardi BA, Beisemann N, Gruetzner PA, Franke J, Vetter SY, et al. Comparing Temporary Immobilization Using Cast and External Fixator in Unimalleolar Ankle Fracture Dislocations: A Retrospective Case Series. *J Clin Med*. 17 de enero de 2023;12(3):748.

154. Baker SP, O'Neill B, Haddon W, Long WB. The injury severity score: a method for describing patients with multiple injuries and evaluating emergency care. *J Trauma*. marzo de 1974;14(3):187-96.

155. Meinberg EG, Agel J, Roberts CS, Karam MD, Kellam JF. Fracture and Dislocation Classification Compendium-2018. *J Orthop Trauma*. enero de 2018;32 Suppl 1:S1-170.

156. Gustilo RB, Anderson JT. Prevention of infection in the treatment of one thousand and twenty-five open fractures of long bones: retrospective and prospective analyses. *J*

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bone Joint Surg Am. junio de 1976;58(4):453-8.

157. Tetsworth KD, Burnand HG, Hohmann E, Glatt V. Classification of Bone Defects: An Extension of the Orthopaedic Trauma Association Open Fracture Classification. J Orthop Trauma. 1 de febrero de 2021;35(2):71-6.

158. Frank FA, Stubbs D, Ferguson JY, McNally M. A practical definition of pin site infection. Injury. febrero de 2024;55(2):111230.

159. Metsemakers WJ, Handojo K, Reynders P, Sermon A, Vanderschot P, Nijs S. Individual risk factors for deep infection and compromised fracture healing after intramedullary nailing of tibial shaft fractures: a single centre experience of 480 patients. Injury. abril de 2015;46(4):740-5.

160. Wittauer M, Burch MA, McNally M, Vandendriessche T, Clauss M, Della Rocca GJ, et al. Definition of long-bone nonunion: A scoping review of prospective clinical trials to evaluate current practice. Injury. 1 de noviembre de 2021;52(11):3200-5.

161. Charlson ME, Pompei P, Ales KL, MacKenzie CR. A new method of classifying prognostic comorbidity in longitudinal studies: development and validation. J Chronic Dis. 1987;40(5):373-83.

162. Benevides PC, Nery CA de S, Godoy-Santos AL, Alloza JFM, Prado MP. Study of the radiographic parameters of normal ankles: literature review and technical recommendations. Journal of the Foot & Ankle. 30 de abril de 2020;14(1):84-8.

163. Chien BY, Stupay KL, Miller CP, Smith JT, Briceno J, Kwon JY. Does the quality of preoperative closed reduction of displaced ankle fractures affect wound complications after surgical fixation? Injury. octubre de 2018;49(10):1931-5.

164. Lethaby A, Temple J, Santy-Tomlinson J. Pin site care for preventing infections associated with external bone fixators and pins. Cochrane Database Syst Rev. 3 de

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

diciembre de 2013;(12):CD004551.

165. Oliveira PR, Leonhardt MC, Carvalho VC, Kojima KE, Silva JS, Rossi F, et al. Incidence and risk factors associated with infection after intramedullary nailing of femoral and tibial diaphyseal fractures: Prospective study. *Injury*. octubre de 2018;49(10):1905-11.

166. Galvin JW, Dannenbaum JH, Tubb CC, Poepping TP, Grassbaugh JA, Arrington ED. Infection Rate of Intramedullary Nailing in Closed Fractures of the Femoral Diaphysis After Temporizing External Fixation in an Austere Environment. *J Orthop Trauma*. septiembre de 2015;29(9):e316-320.

167. Marshall PD, Saleh M, Douglas DL. Risk of deep infection with intramedullary nailing following the use of external fixators. *J R Coll Surg Edinb*. agosto de 1991;36(4):268-71.

168. Maurer DJ, Merkow RL, Gustilo RB. Infection after intramedullary nailing of severe open tibial fractures initially treated with external fixation. *J Bone Joint Surg Am*. julio de 1989;71(6):835-8.

169. Sigurdson U, Reikeras O, Utvag SE. The Effect of timing of conversion from external fixation to secondary intramedullary nailing in experimental tibial fractures. *J Orthop Res*. enero de 2011;29(1):126-30.

170. Blachut PA, Meek RN, O'Brien PJ. External fixation and delayed intramedullary nailing of open fractures of the tibial shaft. A sequential protocol. *J Bone Joint Surg Am*. junio de 1990;72(5):729-35.

171. Antich-Adrover P, Martí-Garin D, Murias-Alvarez J, Puente-Alonso C. External fixation and secondary intramedullary nailing of open tibial fractures. A randomised, prospective trial. *J Bone Joint Surg Br*. mayo de 1997;79(3):433-7.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

172. Wheelwright EF, Court-Brown CM. Primary external fixation and secondary intramedullary nailing in the treatment of tibial fractures. *Injury*. 1992;23(6):373-6.
173. Chien BY, Stupay KL, Miller CP, Smith JT, Briceno J, Kwon JY. Does the quality of preoperative closed reduction of displaced ankle fractures affect wound complications after surgical fixation? *Injury*. octubre de 2018;49(10):1931-5.
174. Ekwall A, Carlberg E, Palmberg G, Sloberg R. An audit of complications of fiberglass cast and hybrid cast for fractures of the foot, ankle and forearm in a Swedish emergency department. *Int J Orthop Trauma Nurs*. noviembre de 2018;31:32-4.
175. Tejwani NC, Pahk B, Egol KA. Effect of posterior malleolus fracture on outcome after unstable ankle fracture. *J Trauma*. septiembre de 2010;69(3):666-9.
176. Schepers T, De Vries MR, Van Lieshout EMM, Van der Elst M. The timing of ankle fracture surgery and the effect on infectious complications; a case series and systematic review of the literature. *Int Orthop*. marzo de 2013;37(3):489-94.
177. Høiness P, Strømsøe K. The influence of the timing of surgery on soft tissue complications and hospital stay. A review of 84 closed ankle fractures. *Ann Chir Gynaecol*. 2000;89(1):6-9.
178. Baker JR, Patel SN, Teichman AJ, Bochat SES, Fleischer AE, Knight JM. Bivalved fiberglass cast compared with plaster splint immobilization for initial management of ankle fracture-dislocations: a treatment algorithm. *Foot Ankle Spec*. junio de 2012;5(3):160-7.
179. Lynde MJ, Sautter T, Hamilton GA, Schuberth JM. Complications after open reduction and internal fixation of ankle fractures in the elderly. *Foot Ankle Surg*. junio de 2012;18(2):103-7.
180. Zaghloul A, Haddad B, Barksfield R, Davis B. Early complications of surgery in

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

operative treatment of ankle fractures in those over 60: a review of 186 cases. *Injury*. abril de 2014;45(4):780-3.

181. Costigan W, Thordarson DB, Debnath UK. Operative management of ankle fractures in patients with diabetes mellitus. *Foot Ankle Int*. enero de 2007;28(1):32-7.

182. Liu JW, Ahn J, Raspovic KM, Liu GT, Nakonezny PA, Lavery LA, et al. Increased Rates of Readmission, Reoperation, and Mortality Following Open Reduction and Internal Fixation of Ankle Fractures Are Associated With Diabetes Mellitus. *J Foot Ankle Surg*. mayo de 2019;58(3):470-4.

183. Bibbo C, Brueggeman J. Prevention and management of complications arising from external fixation pin sites. *J Foot Ankle Surg*. 2010;49(1):87-92.

184. Okelana B, McMillan L, Huyke-Hernandez FA, Only AJ, Parikh HR, Cunningham BP. Cost Variation in Temporizing External Fixation of Tibial Plateau and Pilon Fractures: Is There Room to Improve? *Injury*. agosto de 2022;53(8):2872-9.

185. Kheir E, Charopoulos I, Dimitriou R, Ghaz A, Dahabreh Z, Giannoudis P. The Health Economics of Ankle Fracture Fixation. *Bulletin*. 1 de abril de 2012;94(4):1-5.

186. Schepers T, De Vries MR, Van Lieshout EMM, Van der Elst M. The timing of ankle fracture surgery and the effect on infectious complications; A case series and systematic review of the literature. *Int Orthop*. marzo de 2013;37(3):489-94.

187. Lübbecke A, Salvo D, Stern R, Hoffmeyer P, Holzer N, Assal M. Risk factors for post-traumatic osteoarthritis of the ankle: an eighteen year follow-up study. *Int Orthop*. julio de 2012;36(7):1403-10.

188. Warner SJ, Schottel PC, Hinds RM, Helfet DL, Lorch DG. Fracture-Dislocations Demonstrate Poorer Postoperative Functional Outcomes Among Pronation External Rotation IV Ankle Fractures. *Foot Ankle Int*. junio de 2015;36(6):641-7.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

189. Zaghoul A, Haddad B, Barksfield R, Davis B. Early complications of surgery in operative treatment of ankle fractures in those over 60: a review of 186 cases. *Injury*. abril de 2014;45(4):780-3.
190. Liu JW, Ahn J, Raspovic KM, Liu GT, Nakonezny PA, Lavery LA, et al. Increased Rates of Readmission, Reoperation, and Mortality Following Open Reduction and Internal Fixation of Ankle Fractures Are Associated With Diabetes Mellitus. *J Foot Ankle Surg*. mayo de 2019;58(3):470-4.
191. Ovaska MT, Mäkinen TJ, Madanat R, Kiljunen V, Lindahl J. A comprehensive analysis of patients with malreduced ankle fractures undergoing re-operation. *Int Orthop*. enero de 2014;38(1):83-8.
192. Smeeing DPJ, Briet JP, van Kessel CS, Segers MM, Verleisdonk EJ, Leenen LPH, et al. Factors Associated With Wound- and Implant-Related Complications After Surgical Treatment of Ankle Fractures. *J Foot Ankle Surg*. 2018;57(5):942-7.

11. ANEXOS

11.1. Anexos Trabajo nº1

11.1.1. Anexo 1: Dictamen favorable del trabajo nº1 del Comité de Ética de Investigación con Medicamentos



INFORME DEL COMITÉ DE ÉTICA DE INVESTIGACIÓN CON MEDICAMENTOS Y COMISIÓN DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN DEL HOSPITAL UNIVERSITARI VALL D'HEBRON

Dra. M^a Luján Iavecchia, Secretaria en funciones del COMITÉ DE ÉTICA DE INVESTIGACIÓN CON MEDICAMENTOS del Hospital Universitari Vall d'Hebron,

CERTIFICA

Que el Comité de Ética de Investigación con Medicamentos del Hospital Universitario Vall d'Hebron, en el cual la Comisión de proyectos de investigación está integrada, se reunió en sesión ordinaria nº 538 el pasado 15/07/2022 y evaluó el proyecto de investigación **PR(AT)233/2022** promotor Vall d'Hebron Institut de Recerca (VHIR) , titulado *"Factores predictores de las complicaciones en el tratamiento por etapas con fijación externa temporal y enclavado endomedular en fracturas de la tibia y del fémur"* que tiene como investigador principal al Dr. Diego González morado del Servicio de Cirugía Ortopédica y Trauma de nuestro Centro.

Versión de documentos

Memoria de Proyecto	versión 2 del 09.07.2022
Solicitud de evaluación CEIm	versión 1 del 22.05.2022

El resultado de la evaluación fue el siguiente:

Aprobado

El Comité tanto en su composición como en los PNT cumple con las normas de BPC (CPMP/ICH/135/95) y con el Real Decreto 1090/2015, y su composición actual es la siguiente:

- **Presidente:**
IGNACIO FERREIRA GONZÁLEZ - Médico
- **Vicepresidente:**
VÍCTOR VARGAS BLASCO - Médico
- **Secretario:**
MIREIA NAVARRO SEBASTIAN - Química
- **Vocales:**
 - LLUIS ARMADANS GIL - Médico
 - FERNANDO AZPIROZ VIDAUR - Médico
 - VALENTINA BALASSO - Médico

ANEXOS



- INES M DE TORRES RAMÍREZ - Médico
- ELADIO FERNÁNDEZ LIZ - Farmacéutico Atención Primaria
- INMACULADA FUENTES CAMPS - Médico Farmacólogo
- JAUME GUARDIA MASSÓ - Médico
- JUAN CARLOS HORTAL IBARRA - Profesor de Universidad
- MARIA LUJAN IAVECCHIA - Médico Farmacólogo
- ALEXIS RODRIGUEZ GALLEGO - Médico Farmacólogo
- JUDITH SANCHEZ RAYA - Médico
- PILAR SUÑÉ MARTÍN - Farmacéutica Hospital
- GLORIA GÁLVEZ HERNANDO - Personal de Enfermería
- ESPERANZA ZURIGUEL PEREZ - Personal de Enfermería
- ANA BELÉN ESTÉVEZ RODRÍGUEZ - Abogada experta en protección de datos
- ROSER COBOS BAQUÉS - Abogado
- SANTIAGO ESCRIVÀ DE ROMANÍ MUÑOZ - Médico
- ANTONIO MORENO GALDÓ - Médico

En dicha reunión del Comité de Ética de Investigación con Medicamentos se cumplió el quórum preceptivo legalmente.

En el caso de que se evalúe algún proyecto del que un miembro sea investigador/colaborador, éste se ausentará de la reunión durante la discusión del proyecto.

IAVECCHIA
MARIA LUJAN
- X9680234V

Firmado digitalmente
por IAVECCHIA MARIA
LUJAN - X9680234V
Fecha: 2022.07.18
13:51:06 +02'00'

Dra. M^a Luján Iavecchia
Secretaria en funciones CEIM HUVH

11.1.2. Anexo 2: Formulario de recogida de datos

IDENTIFICACIÓN DE CASO

n.º caso	NHC		FRACTURA (señalar todas FE + IMN) Fémur derecho <input type="checkbox"/> Fémur izquierdo <input type="checkbox"/> Tibia derecha <input type="checkbox"/> Tibia izquierda <input type="checkbox"/>
	Teléfono		

CRONOLOGÍA Y ESTADO FUNCIONAL

Nacimiento		¿Dónde vive?: domicilio <input type="checkbox"/> / geriátrico u otra institución <input type="checkbox"/>
Fecha de lesión		Mecanismo: precipitación <input type="checkbox"/> / tráfico <input type="checkbox"/> / deportivo <input type="checkbox"/> caída casual <input type="checkbox"/>
Fecha de ingreso		/ otros (especificar):
Fecha de ingreso UCI/Semicríticos		PPT: 0 <input type="checkbox"/> / 1 <input type="checkbox"/> / 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/>
Fecha de alta UCI/Semicríticos		Zona: SI <input type="checkbox"/> / No <input type="checkbox"/>
Fecha de alta		Destino al alta: domicilio <input type="checkbox"/> / geriátrico <input type="checkbox"/> CSS <input type="checkbox"/> exitus (fecha abajo) <input type="checkbox"/>
ASA (para IQ definitiva)		Hábitos tóxicos: Tabaquismo <input type="checkbox"/> / Alcohol <input type="checkbox"/> Otras drogas <input type="checkbox"/>
I: paciente sano <input type="checkbox"/>		Deambulación previa: Libre <input type="checkbox"/> / Ayuda <input type="checkbox"/> / No <input type="checkbox"/>
II: comorbilidad leve <input type="checkbox"/>		Alta mutua tráfico: SI <input type="checkbox"/> / No <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/>
III: comorbilidad grave <input type="checkbox"/>		Exitus (si procede) <input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/>
IV: comorbilidad grave amenaza vital <input type="checkbox"/>		Causa (escribir):

CHARLSON (marcar sólo las que padece):

<https://www.sanitas.es/index-de-comorbilidad-de-charlson-coi/>

Puntuación:	
Cardiopatía isquémica	<input type="checkbox"/>
Insuficiencia cardíaca congestiva	<input type="checkbox"/>
Enfermedad vascular periférica	
Claudicación intermitente	
Isquemia aguda, gangrena o amputación por esa causa	<input type="checkbox"/>
Aneurisma torácico o abdominal no reparado	
ACV	<input type="checkbox"/>
Deterioro cognitivo	<input type="checkbox"/>
EPOC	<input type="checkbox"/>
Conectivopatía (reumática o heredada)	<input type="checkbox"/>
Úlcus péptico	<input type="checkbox"/>
Hepatopatía	
Leve: enfermedad crónica sin hipertensión portal	<input type="checkbox"/>
Moderada o severa: cirrosis e hipertensión portal con o sin sangrado digestivo	<input type="checkbox"/>
Diabetes	
No complicada	<input type="checkbox"/>
Complicada (lesión de órganos diana)	<input type="checkbox"/>
Hemiplejía	<input type="checkbox"/>
Insuficiencia renal moderada a severa: trasplante renal, diálisis, uremia o creatinina >3 mg/dL	<input type="checkbox"/>
Neoplasia sólida	
Localizada	
Metastásica	
Leucemia	
Linfoma	
VIH	
Controlado (carga viral indetectable)	
No controlado	

INJURY SEVERITY SCORE:

<http://polytraumacourse.com/iss-calculator/> Polytrauma App. ISS, para deslizar hacia abajo clicar en "Back" y Volver a entrar. Anotar las lesiones y registrar aquí la más grave por zonas y ISS final

Región	Peor AIS
Cabeza y cuello	<input type="checkbox"/>
Cara	<input type="checkbox"/>
Tórax	<input type="checkbox"/>
Abdomen	<input type="checkbox"/>
Extremidades y pelvis	<input type="checkbox"/>
Externo	<input type="checkbox"/>

Comentarios o información adicional:

[illegible]

ANEXOS

Nº Caso: NHC **FRACTURA** (Una hoja por cada hueso, señalar uno por hoja):

Fémur derecho	<input type="checkbox"/>	Fémur izquierdo	<input type="checkbox"/>
Tibia derecha	<input type="checkbox"/>	Tibia izquierda	<input type="checkbox"/>

The diagram illustrates the anatomical structure of a femur and tibia with various measurement points and labels for fracture assessment. The femur is shown with a proximal pin and a distal pin. The tibia is shown with a proximal pin and a distal pin. The labels include:

- Distancia centro cabeza fémur- pin:
- Distancia pin-foco: mm
- Longitud de la fractura: mm
- Distancia foco-Pin distal: mm
- Distancia pin-polo superior rótula: mm
- Distancia pin-espinas tibiales: mm
- Distancia polo superior rótula- pin: mm
- Distancia pin-espinas tibiales: mm
- Distancia pin-foco: mm
- Longitud de la fractura: mm
- Distancia pin-foco: mm
- Longitud de fractura: mm
- Distancia pin-mortaja: mm

Para calcular distancias, considerar el centro de diáfisis donde se aloje pin.

Para calcular longitud de fractura, distancia entre línea que una el centro de cada línea perpendicular al eje anatómico del segmento proximal y distal a la altura del extremo cortical más proximal del trazo de fractura para segmento proximal y extremo cortical distal del trazo de fractura para el fragmento distal. Longitud de fractura en trazos transversos=diámetro diáfisis a dicho nivel

[illegible]

ANEXOS

Nº Caso: **NHC** **FRACTURA:** ☐ Fémur derecho ☐ Fémur izquierdo
☐ Tibia derecha ☐ Tibia izquierda

COMPLICACIONES LOCALES (orden cronológico): Leer cursos clínicos COT y partes IQ si tratamiento IQ. DETALLAR

- **Sufrimiento de partes blandas:** ampollas, epidermólisis, bullas, quemaduras. Síndrome compartimental
- **Infección:** FRI*, superficial. Detallar si cultivos (germen), antibiótico, desbridamiento.
- **Infección de pin:** supuración, exudación, eritema alrededor aflojamiento, tratamiento con antibiótico por el pin, intensificación de curas de pin.
- **No unión / Rigidez:** artrosis abierta / artroscópica // Transporte óseo // Reconversión a fijación externa circular // Masaje.

Fecha de debut	<input type="text"/> / <input type="text"/> / <input type="text"/>	Fecha de debut	<input type="text"/> / <input type="text"/> / <input type="text"/>
Descripción:		Descripción:	
Tratamiento (Incluir fechas de cirugía):		Tratamiento (Incluir fechas de cirugía):	
Fecha de debut	<input type="text"/> / <input type="text"/> / <input type="text"/>	Fecha de debut	<input type="text"/> / <input type="text"/> / <input type="text"/>
Descripción:		Descripción:	
Tratamiento (Incluir fechas de cirugía):		Tratamiento (Incluir fechas de cirugía):	
Fecha de debut	<input type="text"/> / <input type="text"/> / <input type="text"/>	Fecha de debut	<input type="text"/> / <input type="text"/> / <input type="text"/>
Descripción:		Descripción:	
Tratamiento (Incluir fechas de cirugía):		Tratamiento (Incluir fechas de cirugía):	
Fecha de debut	<input type="text"/> / <input type="text"/> / <input type="text"/>	Fecha de debut	<input type="text"/> / <input type="text"/> / <input type="text"/>
Descripción:		Descripción:	
Tratamiento (Incluir fechas de cirugía):		Tratamiento (Incluir fechas de cirugía):	
Fecha de debut	<input type="text"/> / <input type="text"/> / <input type="text"/>	Fecha de debut	<input type="text"/> / <input type="text"/> / <input type="text"/>
Descripción:		Descripción:	
Tratamiento (Incluir fechas de cirugía):		Tratamiento (Incluir fechas de cirugía):	
Fecha de debut	<input type="text"/> / <input type="text"/> / <input type="text"/>	Fecha de debut	<input type="text"/> / <input type="text"/> / <input type="text"/>
Descripción:		Descripción:	
Tratamiento (Incluir fechas de cirugía):		Tratamiento (Incluir fechas de cirugía):	

Inicio de carga (si procede)	<input type="text"/>	/	<input type="text"/>	/	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Fecha de consolidación	<input type="text"/>	/	<input type="text"/>	/	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Último seguimiento	<input type="text"/>	/	<input type="text"/>	/	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Si <1 año justificar:							
RMO clavo: NO	<input type="checkbox"/>	SI	<input type="checkbox"/>	fecha:	<input type="text"/>	/	<input type="text"/>
Dolor al alta: SI	<input type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>				

Investigador:	Fecha de recogida	<input type="text"/> / <input type="text"/> / <input type="text"/>
---------------	-------------------	--

11.1.3. Anexo 3: Artículo sobre el trabajo publicado

González-Morgado D, Fabado-Tortajada P, Nomdedéu J, Teixidor-Serra J, Tomás-Hernández J, Joshi-Jubert N, Minguell-Monyart J, Andrés-Peiró JV. External fixation to intramedullary nailing for femoral and tibial fractures: an eleven-year cohort study at a level I trauma center. Eur J Orthop Surg Traumatol. Aceptado: 30 de marzo de 2025.

RESEARCH

**External fixation to intramedullary nailing for femoral and tibial fractures: an eleven-year cohort study at a level I trauma center**Diego González-Morgado^{1,2} · Paula Fabado-Tortajada² · Josep Nomdedéu^{1,2} · Jordi Teixidor-Serra^{1,2} ·
Jordi Tomàs-Hernández² · Nayana Joshi-Jubert^{1,2} · Joan Minguell-Monyart^{1,2} · José Vicente Andrés-Peiró^{1,2}

Received: 13 December 2024 / Accepted: 30 March 2025

© The Author(s), under exclusive licence to Springer-Verlag France SAS, part of Springer Nature 2025

Abstract**Purpose** To identify factors that contribute to the incidence of postoperative complications following staged treatment of femoral and tibial fractures with external fixation (EF) and intramedullary nailing (IMN).**Methods** This retrospective cohort study involved patients with tibial and/or femoral fractures temporarily immobilized using EF, followed by IMF. Patient characteristics, types of injury, treatments, and outcomes were recorded. Primary outcomes were pin tract infection (PTI) and fracture-related infection (FRI).**Results** The study had 103 patients involving 119 fractures: 73 tibial (61.3%) and 46 femoral (38.7%). Of these, 44.5% were open. 31.1% of the EFs were implanted by an orthopedic trauma (OT) specialist. In femoral fractures, OT specialists placed the pins a mean 78.2 mm from the fracture site, versus just 37.3 mm by non-OT surgeons ($p < 0.01$). This difference was not observed in the tibia. The average time of EF was 12.6 ± 7.8 days. PTI occurred in seven cases (5.9%), on average 14.9 ± 10.9 days after EF placement. FRI occurred in nine patients (7.6%): two in the femur (4.5%) and seven in the tibia (10.6%). All FRIs occurred in cases where the EF had been implanted by a surgeon without specialization in OT ($p = 0.03$). FRI was more frequent in patients with prior PTI than in those without (57.1% vs. 4.5%, respectively; $p < 0.01$).**Conclusion** PTI was a risk factor for FRI after IMN of tibial and femoral fractures. Surgeon specialization in OT was a protective factor against FRI, probably related to pin placement further from the fracture site.**Keywords** Intramedullary nailing · External fixation · Femur fracture · Tibia fracture · Pin tract infection · Fracture-related infection**Introduction**

Intramedullary nailing (IMN) is the standard treatment for diaphyseal fractures of the tibia and femur [1, 2]. These fractures often occur in polytrauma patients with life-threatening injuries or severe soft tissue damage. In such cases, a damage control orthopedics approach with external fixation (EF)

temporarily stabilizes the fractures while minimizing the burden of a more extensive surgical procedure [3, 4].

Infection following IMN is a devastating complication [5–7]. Although the use of previous EF has been shown to increase complication risk in several series [8–12], understanding of the factors that contribute to postoperative complications following this staged strategy is limited.

✉ José Vicente Andrés-Peiró
josevicente.andres@vallhebron.catDiego González-Morgado
diegoglezmorgado@gmail.comPaula Fabado-Tortajada
paula.fabado@gmail.comJosep Nomdedéu
nomdedeu7@gmail.comJordi Teixidor-Serra
jteixidorserra@gmail.comJordi Tomàs-Hernández
tomjordi@gmail.comNayana Joshi-Jubert
njoshijubert@gmail.comJoan Minguell-Monyart
minguell.traumatologia@gmail.com¹ Autonomous University of Barcelona, Cerdanyola del Vallès, Spain² Vall d'Hebron Hospital Universitari, Barcelona, Spain

The primary aim of this study was to identify factors that contribute to postoperative complications following staged treatment with EF and IMN for femoral and tibial fractures. We hypothesized that the development of pin tract infection (PTI) and a reduced pin-to-fracture site distance would increase the rate of fracture-related infection (FRI). Additionally, we examined the impact of the treating surgeon's training on treatment modalities and postoperative outcomes.

Methods

This retrospective cohort study (level of evidence III) examined patients treated at a single level I trauma center between March 2011 and November 2022. We recruited all skeletally-mature patients (age ≥ 15 years) with femoral and/or tibial fractures who underwent temporary EF followed by IMN. We excluded cases involving indications for EF or IMN other than acute fracture fixation, pathological fractures, refractures, and any history of infection or neoplasms around the femur or tibia or their adjacent joints. To directly assess the impact of medullary cavity instrumentation by the pins, we also excluded patients who experienced a latency period between removal of the fixator and the nailing ("pin holidays") and those in whom there was no overlap between the trajectories of the intramedullary implant and fixator pins. Institutional Review Board approval was obtained prior to study commencement (PR(AT)233/2022), and we adhered to the STROBE statement. Postoperative follow-up occurred over a one-year period.

All EFs were applied emergently as part of a damage control orthopedics approach, either local or systemic, by on-call orthopedic surgeons with varying levels of specialization in orthopedic trauma (OT). All definitive surgeries were conducted exclusively by OT surgeons. Open fracture management involved prompt antibiotic administration, debridement, and irrigation. When primary closure of wounds was infeasible, negative pressure wound therapy was utilized. The decision to use local antibiotics was made by attending surgeons. Open wound coverage was performed in collaboration with plastic surgeons. The EF pins underwent daily cleaning and antisepsis, per hospital guidelines. Conversion from EF to IMN was performed as soon as safely possible.

Fractures were classified using the AO/OTA system on emergency radiographs. The distance from the nearest EF pin to the closest fractured cortex on post-EF radiographs determined the pin-to-fracture distance. These same radiographs were used to measure the distance from the nearest pin to the center of rotation of the femoral head, the superior pole of the patella, or the center of the tibial eminence, and the talar articular surface, to assess the pin-to-hip, pin-to-knee, and pin-to-ankle distances, respectively. In

radiographs following IMN, the degree of overlap of the nail with the EF's pin trajectory was assessed. Each image was evaluated once by a single investigator blinded to outcomes.

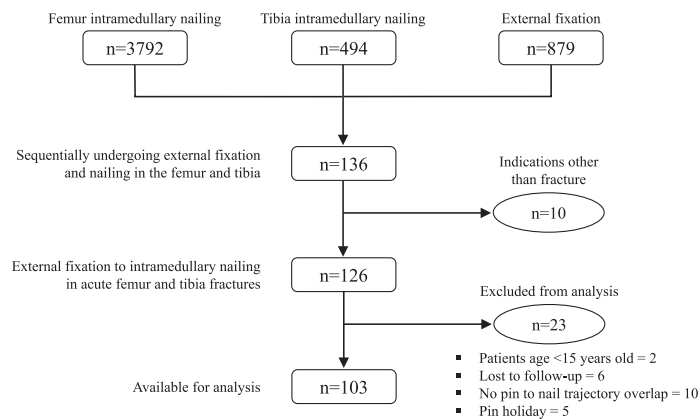
We collected data on patient characteristics, their injuries, treatment provided, radiological evaluation, and outcomes. The primary outcome was the diagnosis of PTI and/or FRI based on clinical, radiological, and laboratory criteria [13, 14]. Secondary outcomes included any other postoperative complication.

Statistical analysis was performed using Stata/IC 14.2 (StataCorp, College Station, TX, USA). Continuous variables were summarized using means and standard deviations or medians and interquartile ranges (IQR), as appropriate. Categorical variables were represented using counts and percentages (%). To assess differences between continuous variables, the Student's t-test or Wilcoxon-Mann-Whitney rank-sum test were used, depending on data distribution. For categorical variables, differences were evaluated using the Pearson chi-square or Fisher's exact test, as appropriate. All p -values < 0.05 were considered statistically significant.

Results

A total of 103 patients of mean age 41.3 ± 18.8 years, with 119 fractures, were included (Fig. 1). Most patients were male (68%) and were predominantly involved in a traffic accident (60.2%), with a median Injury Severity Score (ISS) of 18 (IQR = 34). Among the 119 fractures, 73 were tibial (61.3%) and 46 femoral fractures (38.7%). Four patients had bilateral femur fractures, and two had bilateral tibia fractures. Nine patients had a floating knee, one being bilateral. We identified 53 open fractures (44.6%), more commonly in the tibia (54.8% tibia vs. 28.3% femur; $p < 0.01$). Gustilo IIIB fractures were prevalent in the tibia, accounting for 30% of open fractures in that bone (12 cases). Seventeen open fractures had a bone defect (32.1%), deemed critical or subcritical in eight cases [15]. Compartment syndrome requiring fasciotomy occurred in four cases (3.4%), three for the femur and one the tibia. Blisters were observed in 16 (21.9%) of the 73 tibial fractures, occurring in patients with a lower ISS (8.9 vs. 24.1; $p < 0.01$). Table 1 summarizes the study participants and their injuries.

An orthopedic trauma (OT) specialist implanted 31.1% of the EFs. Roughly half (46.2%) the fixators were applied in a joint-spanning configuration. Spanning frames predominated in tibial over femoral fractures (61.6 vs. 21.7%; $p < 0.01$). In the tibia, spanning frames were used more frequently by OT surgeons (42.9% vs. 12.5% for non-OT specialists; $p < 0.02$). The average minimum pin-to-fracture distance was 63.3 ± 44.6 mm, being significantly longer for tibial than femoral fractures (71.8 vs. 49.7 mm; $p < 0.01$) and for spanning than sparing frames (92.9 vs. 37.8 mm; $p < 0.01$). For

Fig. 1 Flow diagram depicting patient selection process

femoral fractures, OT specialists placed the pins an average of 78.2 mm from the fracture site, compared to 37.3 mm by non-OT surgeons ($p < 0.01$). Such a difference was not observed in the tibia. The mean minimum distance from the pins to the femoral head was 131.9 ± 57.6 mm: 92.6 ± 42.6 mm to the knee (superior pole of the patella or the tibial eminence), and 66.6 ± 50.6 mm to the ankle. This distance was consistently greater with spanning configurations than sparing frames: 200.3 vs. 114.7 mm at the hip, 115.1 vs. 74.3 mm at the knee, and 92.4 vs. 49.4 mm at the ankle, respectively (all $p < 0.01$). No cases of septic arthritis were identified; therefore, no association was found between this complication and the proximity of pins to joints. The average time of EF was 12.6 ± 7.8 days, though appreciably longer in patients undergoing a fasciotomy (33.5 vs. 11.9 days; $p < 0.01$). In 11 of 53 open fractures, local antibiotics were used, mainly in cases involving bone defects (29.4%) and Gustilo III open fractures (36.3%). PTI occurred in 5.9% of the EFs. No association was identified between this adverse event and patient characteristics, injury specifics, pin or frame configuration, surgeon's profile or EF duration. PTIs appeared an average of 14.9 ± 10.9 days after EF. Diagnosis was primarily clinical, with microbiological confirmation in only three of seven cases (Table 2).

Diaphyseal fractures (AO/OTA 32 and 42) were the primary indication for IMN in both the femur (93.5%) and tibia (82.2%). Among these diaphyseal fractures, 44.2% in the femur and 34.2% in the tibia were classified as segmental fractures (AO/OTA 32 C and 42 C). Nineteen retrograde and 26 antegrade IMNs were implanted in the femur, 20 of the latter being cephalomedullary. In the tibia, 70 suprapatellar and three retrograde IMNs were implanted for tibiototalcanal fusion. Open reduction was required for 21.9% of fractures before nail insertion, more often in

the femur (37.0% vs. 12.3% for tibia; $p < 0.01$). On average, 3.1 ± 1.0 pinholes overlapped with the trajectory of the IMN. The number of pins that overlapped the nail was significantly greater in the femur than tibia (3.5 vs. 2.9; $p < 0.01$) and for non-spanning than spanning frames (3.9 vs. 2.2; $p < 0.01$). All Gustilo IIIB fractures were covered with a free flap, with 11 undergoing "fix and flap" within a median of nine days (IQR = 6). In the remaining three, coverage was initially performed on EF, followed by conversion to IMN. The three critical bone defects, one in the femur and two in the tibia, were managed using an induced membrane technique.

We identified nine FRIs (7.6% of fractures): two in the femur (4.5%) and seven in the tibia (10.6%) (Table 2). All FRIs occurred in cases where the EF had been implanted by a non-OT surgeon ($p = 0.03$). FRI was more frequent in patients with prior PTI than in those without (57.1% vs. 4.5%, respectively; $p < 0.01$). In two FRIs with a history of PTI, the microbiological diagnosis was the same for each (*E. cloacae*). In the tibia, the minimum distance from the pins to fracture site was shorter in cases with an FRI (42 mm vs. 74.9 mm); however, this difference was not statistically significant ($p = 0.07$). The presence of blisters was associated with an increased incidence of tibial FRI (57.1% vs. 18.2%, respectively; $p < 0.04$). Neither the presence of an open fracture nor the time to flap influenced the risk of FRI. FRIs appeared a median of 222 days after nailing (IQR = 221.5). In six of nine cases, treatment required removing the IMN. We found two aseptic non-unions caused by mechanical problems, one in the femur and one in the tibia, which needed revision of fixation surgery. All remaining fractures healed within the study period. Joint stiffness in the knee developed in seven cases, with four involving femoral and three tibial fractures.

Table 1 Patient's characteristics, injuries, treatments, and outcomes

		Femur	Tibia	Overall
Patients and injuries	Sex (male/female)	73.9/26.1	64.4/35.6	68.1/31.9
	Age (years)	33.7 ± 13.3	44.0 ± 19.7	41.3 ± 18.8
	CCI ^a	0.2 ± 0.9	0.9 ± 1.8	0.6 ± 1.5
	ISS ^b	43.8 ± 18.2	20.7 ± 20.1	29.6 ± 22.4
	Open fractures	28.3	54.8	44.5
	<i>Gustilo classification</i>			
	I	–	11.0	6.7
	II	–	19.2	11.8
	IIIA	26.1	6.9	14.3
	IIIB	2.2	16.4	10.9
	IIIC	–	1.4	0.8
	<i>Bone defect classification [13]</i>			
	D1	4.4	9.6	7.6
	D2	6.5	2.7	4.2
	D3	–	4.1	2.5
Surgical treatment	Compartment syndrome	6.5	1.4	3.4
	Spanning frame	21.7	61.6	46.2
	Hip	8.7	–	3.4
	Knee	15.2	13.7	14.3
	Ankle	–	49.3	30.3
	Pin-to-fracture distance (mm) ^c	49.7 ± 41.5	71.8 ± 44.7	63.3 ± 44.6
	<i>Pin-to-joint distance (mm)^d</i>			
	Hip	131.9 ± 57.6	–	131.9 ± 57.6
	Knee	77.0 ± 39.9	102.0 ± 41.7	92.6 ± 42.6
	Ankle	–	66.6 ± 50.6	66.6 ± 50.6
	Time of EF (days) ^e	12.3 ± 8.5	12.8 ± 7.3	12.6 ± 7.8
	Open reduction	37.0	12.3	21.9
	Pin-to-nail overlap ^f	3.5 ± 0.9	2.9 ± 1.1	3.1 ± 1
Outcomes	Pin-tract infection	4.4	6.9	5.9
	Fracture-related infection	4.4	9.6	7.6

Categorical variables are represented as percentages (%), and continuous variables as mean ± standard deviation

^aCharlson's Comorbidity Index

^bInjury Severity Score

^cDistance from the nearest EF pin to the closest fractured cortex on post-EF radiographs

^dDistance from the nearest pin to the center of rotation of the femoral head, the superior pole of the patella or the center of the tibial eminence, and the talar articular surface on post-EF radiographs

^eDays taken from external fixator application to intramedullary nailing

^fOverlap of the nail with the EF's pin trajectory on post-IMN radiographs

206 Discussion

207 In this study of 119 femoral and tibial fractures sequentially
 208 treated with EF and IMN, we observed a 5.9% incidence of
 209 PTI and 7.6% incidence of FRI, potentially highlighting a
 210 relationship between these complications. Notably, the use
 211 of EF by a surgeon specialized in orthopedic trauma (OT)
 212 was identified as a protective factor against infection.

213 Fractures of the tibia and femur that occur in polytrauma
 214 patients often require a damage control orthopedics strategy

with EF followed by IMN [3, 4]. The timing of conversion
 is influenced by several factors, including soft tissue condi-
 tion, need for further debridement, EF pin condition, and the
 patient's physiological state [16]. Delaying definitive surgery
 to the 6th to 8th day has been shown to decrease the inflam-
 matory response relative to earlier intervention [3]. In our
 study, the time to IMN conversion was longer than 6–8 days
 and quite variable, likely due to both significant trauma-
 related systemic involvement and local conditions in the
 affected extremity, as seen in the high rates of open fractures

Table 2 Clinical and microbiological profiles of pin-tract and fracture-related infections

Sex, age ^a	ISS ^b	AO/OTA ^c	Gustilo ^d	PTI	EF to PTI onset ^e	Clinical criteria	Laboratory	IMIN to FRI onset ^f	History and examination	Microbiology	Management ^h
M, 19	75	32B		9		Painful, purulent drainage	CoNS ^f + <i>E. coli</i>				
F, 35	48	31B		18		Persistent or increasing drainage					
M, 40	9	41 C	IIIA	34 (after EF removal)		Spreading erythema					
F, 71	9	42 C		8		Persistent or increasing drainage	<i>E. cloacae</i>	222	Fistula	<i>E. cloacae</i>	NR + RIA + AB IMIN + flap
F, 88	9	44B		6		Local pain		106	Clinical signs + elevated serum markers	<i>E. cloacae</i>	NR + RIA
M, 30	9	42 C		24		Painful, purulent drainage	<i>E. cloacae</i>	33	Clinical signs + elevated serum markers	<i>E. cloacae</i>	NR + RIA + circular frame
M, 32	75	43B		5		Spreading erythema		312	Radiological signs (non-union)	<i>C. acnes</i>	NR + RIA + AB IMIN
F, 46	43	42 C	II					315	Clinical signs + elevated serum markers	CoNS ^f	NR + RIA
M, 41	9	42 C						299	Clinical signs + elevated serum markers	<i>E. cloacae</i>	NR + RIA + AB IMIN
M, 34	75	32 A						217	Fistula	<i>E. coli</i>	DAIR
M, 16	18	32 A						62	Clinical signs + elevated serum markers	<i>C. acnes</i>	DAIR
M, 63	9	42 A	IIIB					241	Clinical signs + elevated serum markers	CoNS ^f	DAIR

^aShown as: M (male)/F (female), age (years)^bInjury Severity Score^cAO/OTA fracture classification^dGustilo classification for open fractures. Empty for closed injuries^eDays from EF application to PTI onset^fCoagulase-negative Staphylococci^gDays from IMN to FRI onset^hNR: nail removal; RIA: reamer irrigator aspirator debridement; AB IMN: antibiotic-coated IMN; DAIR: debridement and implant retention

and soft tissue damage. This highlights the heterogeneity of these patients and the need for an individualized approach when determining the optimal timing for definitive surgery.

Local infection attributed to EF is the most commonly argued downside of this staged treatment [17]. In most studies, PTI rates were between 5 and 25% [8, 17–19], consistent with our findings. Although the risk factors for PTI are not fully understood, it is recommended that surgeons carefully select their pin sites and avoid areas with soft tissue damage [19–22]. Prolonged EF duration can also contribute to PTI, as extended exposure increases the risk of bacterial colonization [19–22]. For instance, PTI and postoperative infection rates rise significantly when EF remains in place for more than 2 weeks [8, 9, 17, 23]. Our low PTI rate was likely due to early conversion to IMN, within two weeks in most cases, and strict adherence to a standardized pin-care protocol. Although proper pin care is likely crucial, there is currently no consensus on best practices [21, 22, 24, 25]. While additional preventative options for PTI, including pin coating, exist [19], further measures to prevent PTI remain necessary.

The incidence of FRI following IMN of the tibia and femur has ranged widely, from 1 to 23% [5–7], being higher after conversion from EF (6–67%) [8–12, 18], thereby aligning with our findings. Several factors contribute to FRI, including fracture type, open fractures, prior use of EF, and the need for soft tissue reconstruction [5, 6, 9, 10]. Similarly, we found an association between FRI and PTI, as well as soft tissue damage. Conversely, we failed to identify any association with the duration of EF, open fractures, or other injury characteristics.

Several strategies have been proposed to reduce FRI after EF [9, 12, 17, 18, 23–33]. While early conversion to IMN as a single procedure is generally recommended [9, 12, 26], some authors advocate for a two-stage conversion or “pin-holiday” approach [29, 31–33], especially when a PTI is present [10, 11, 18, 28]. Additional preventative measures include pin track debridement, soft tissue excision, over-drilling of bony pin holes, and administering antibiotics when PTI first becomes evident [9, 17, 27]. While we generally avoided two-stage conversions, we applied these additional measures during IMN conversion when PTI was suspected or when conversion occurred more than two weeks after external EF. Other authors have recommended performing systematic cultures of the IMN reaming and subsequent use of postoperative antibiotics based on final culture results [12]. However, their high number of contaminated samples raises concerns about the reliability of this practice [12]. We found that microbiological organism remained the same in two patients who developed FRI after PTI, agreeing with Bunzel et al.’s findings [9]. This highlights the risk of bacteria migrating from EF pin sites into the intramedullary canal, potentially

causing deep postoperative infections, emphasizing the need for careful patient selection when using EF in fractures likely to need IMN later.

While the principles for pin placement in EF for fracture stability are well established, research on how pin placement affects consolidation and infection is limited [16, 34]. Although it is generally recommended that surgeons avoid placing pins in areas of soft-tissue damage or fracture hematoma, how the distance from the pin to fracture site impacts outcomes has not been thoroughly investigated. We found that patients with tibial fractures who developed FRI had pins placed closer to the fracture site. Although this finding did not reach statistical significance, this may merely have been because of inadequate statistical power. Proximity to the injury or fracture hematoma can increase the risk of PTI due to higher contamination levels in these areas, particularly with open fractures. Additionally, pins placed too close to the fracture site may disrupt local soft tissue and periosteal blood supply, which are crucial for bone healing and infection resistance [35].

Previous studies on ankle and tibial plateau fractures have revealed that surgeon specialization does not influence EF placement or postoperative outcomes [36, 37]. Conversely, in our study, the use of EF by a surgeon specialized in OT was protective against infection, likely due to more refined surgical techniques and greater adherence to maintaining safe distances between pins and fracture sites, which was probably facilitated by the more frequent use of joint-spanning frames. Notably, all FRIs occurred in patients managed by non-OT surgeons. These findings emphasize the importance of advanced training in EF for orthopedic surgeons to ensure optimal temporary fracture stability while minimizing the risk of infectious complications.

We acknowledge several limitations of this study, including its retrospective design, the heterogeneity of the injuries (encompassing both femoral and tibial fractures, open and closed), and the diversity of treatment modalities employed. Despite these limitations, the study offers clinically relevant insights by demonstrating a strong association between prior pin tract infection and fracture-related infection, identifying surgeon specialization as a protective factor, and introducing pin-to-fracture distance as a potentially modifiable surgical variable. These findings are supported by an integrated analysis of radiological, microbiological, and surgical data from a large real-world cohort, enhancing the robustness and clinical value of our results.

In conclusion, prior pin-tract infection appears to significantly increase the risk of fracture-related infection after intramedullary nailing of tibial and femoral fractures. Conversely, specialization in orthopedic trauma may be protective against infections, likely due to more strategic pin-site selection.

Acknowledgements This work has been carried out within the framework of the PhD in Surgery and Morphological Sciences at Universitat Autònoma de Barcelona. No funding was received for conducting this study.

Author contributions All authors contributed to the study's conception and design. Material preparation, data collection, and analysis were performed by the research team. The first draft of the manuscript was written by two of the authors, and all authors reviewed and commented on previous versions. All authors read and approved the final manuscript.

Funding No funding was received for conducting this study.

Data availability No datasets were generated or analysed during the current study.

Declarations

Conflict of interest The authors declare financial conflicts of interest with Smith & Nephew, Zimmer-Biomet, Stryker, Link Orthopaedics, Arthrex, and MBA Surgical Empowerment.

Consent to participate This is a retrospective study, which did not involve any risk to participants, and all collected data were de-identified. Therefore, the IRB granted a full waiver of informed consent.

Ethical approval This study was approved by our institutional review board (reference number PR(ATR)121/2021).

References

- Bekos A, Sioutis S, Kostoglou A et al (2021) The history of intramedullary nailing. *Int Orthop* 45:1355–1361. <https://doi.org/10.1007/s00264-021-04973-y>
- Bong MR, Kummer FJ, Koval KJ, Egol KA (2007) Intramedullary nailing of the lower extremity: biomechanics and biology. *J Am Acad Orthop Surg* 15:97–106. <https://doi.org/10.5435/00124635-200702000-00004>
- Roberts CS, Pape H-C, Jones AL et al (2005) Damage control orthopaedics: evolving concepts in the treatment of patients who have sustained orthopaedic trauma. *Instr Course Lect* 54:447–462
- Hildebrand F, Giannoudis P, Krettek C, Pape H-C (2004) Damage control: extremities. *Injury* 35:678–689. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2004.03.004>
- Oliveira PR, Leonhardt MC, Carvalho VC et al (2018) Incidence and risk factors associated with infection after intramedullary nailing of femoral and tibial diaphyseal fractures: Prospective study. *Injury* 49:1905–1911. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2018.07.024>
- Metsemakers W-J, Handojo K, Reynders P et al (2015) Individual risk factors for deep infection and compromised fracture healing after intramedullary nailing of tibial shaft fractures: a single centre experience of 480 patients. *Injury* 46:740–745. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2014.12.018>
- Galvin JW, Dannenbaum JH, Tubb CC et al (2015) Infection rate of intramedullary nailing in closed fractures of the femoral diaphysis after temporizing external fixation in an austere environment. *J Orthop Trauma* 29:e316–320. <https://doi.org/10.1097/BOT.0000000000000327>
- Bhandari M, Zlowodzki M, Tornetta P et al (2005) Intramedullary nailing following external fixation in femoral and tibial shaft fractures. *J Orthop Trauma* 19:140–144. <https://doi.org/10.1097/00005131-200502000-00012>
- Bunzel EW, Wilkinson B, Rothberg D et al (2023) Conversion of external fixator to intramedullary nail in Tibial fractures. *J Am Acad Orthop Surg* 31:41–48. <https://doi.org/10.5435/JAAOS-D-21-00857>
- Yokoyama K, Itoman M, Uchino M et al (2008) Immediate versus delayed intramedullary nailing for open fractures of the tibial shaft: a multivariate analysis of factors affecting deep infection and fracture healing. *Indian J Orthop* 42:410–419. <https://doi.org/10.4103/0019-5413.43385>
- Pairon P, Ossendorf C, Kuhn S et al (2015) Intramedullary nailing after external fixation of the femur and tibia: a review of advantages and limits. *Eur J Trauma Emerg Surg* 41:25–38. <https://doi.org/10.1007/s00068-014-0448-x>
- Roussignol X, Sigonney G, Potage D et al (2015) Secondary nailing after external fixation for tibial shaft fracture: risk factors for union and infection. A 55 case series. *Orthop Traumatol Surg Res* 101:89–92. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2014.10.017>
- Frank FA, Stubbs D, Ferguson JY, McNally M (2024) A practical definition of pin site infection. *Injury* 55:111230. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2023.111230>
- Metsemakers WJ, Morgenstern M, McNally MA et al (2018) Fracture-related infection: a consensus on definition from an international expert group. *Injury* 49:505–510. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2017.08.040>
- Tetsworth KD, Burnand HG, Hohmann E, Glatt V (2021) Classification of bone defects: an extension of the orthopaedic trauma association open fracture classification. *J Orthop Trauma* 35:71. <https://doi.org/10.1097/BOT.0000000000001896>
- Bible JE, Mir HR (2015) External fixation: principles and applications. *J Am Acad Orthop Surg* 23:683–690. <https://doi.org/10.5435/JAAOS-D-14-00281>
- Harwood PJ, Giannoudis PV, Probst C et al (2006) The risk of local infective complications after damage control procedures for femoral shaft fracture. *J Orthop Trauma* 20:181–189. <https://doi.org/10.1097/00005131-200603000-00004>
- Yokoyama K, Uchino M, Nakamura K et al (2006) Risk factors for deep infection in secondary intramedullary nailing after external fixation for open tibial fractures. *Injury* 37:554–560. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2005.08.026>
- Parameswaran AD, Roberts CS, Seligson D, Voor M (2003) Pin tract infection with contemporary external fixation: how much of a problem? *J Orthop Trauma* 17:503–507. <https://doi.org/10.1097/00005131-200308000-00005>
- Mahan J, Seligson D, Henry SL et al (1991) Factors in pin tract infections. *Orthopedics* 14:305–308
- Ktistakis I, Guerado E, Giannoudis PV (2015) Pin-site care: can we reduce the incidence of infections? *Injury* 46(Suppl 3):S35–39. [https://doi.org/10.1016/S0020-1383\(15\)30009-7](https://doi.org/10.1016/S0020-1383(15)30009-7)
- Guerado E, Cano JR, Fernandez-Sanchez F (2019) Pin tract infection prophylaxis and treatment. *Injury* 50(Suppl 1):S45–S49. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2019.03.044>
- Ye Z, Zhao S, Zeng C et al (2021) Study on the relationship between the timing of conversion from external fixation to internal fixation and infection in the treatment of open fractures of extremities. *J Orthop Surg Res* 16:662. <https://doi.org/10.1186/s13018-021-02814-7>
- Ferguson D, Harwood P, Allgar V et al (2021) The PINS Trial: a prospective randomized clinical trial comparing a traditional versus an emollient skincare regimen for the care of pin-sites in patients with circular frames. *Bone Joint J* 103-B:279–285. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.103B2-BJJ-2020-0680.R1>
- Lethaby A, Temple J, Santy-Tomlinson J (2013) Pin site care for preventing infections associated with external bone fixators

11.2. Anexos Trabajo nº2

11.2.1. Anexo 4: Dictamen favorable del trabajo nº1 del Comité de Ética de Investigación con Medicamentos



Pg. Vall d'Hebron, 119-129
08035 Barcelona
Tel. 93 489 38 91
Fax 93 489 41 60
ceic@vhir.org

ID-RTF065

INFORME DEL COMITÉ DE ÉTICA DE INVESTIGACIÓN CON MEDICAMENTOS Y COMISIÓN DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN DEL HOSPITAL UNIVERSITARI VALL D'HEBRON

Sra. Mireia Navarro Sebastián, Secretaria del COMITÉ DE ÉTICA DE INVESTIGACIÓN
CON MEDICAMENTOS del Hospital Universitari Vall d'Hebron,

CERTIFICA

Que el Comité Ético de Investigación con Medicamentos del Hospital Universitario Vall d'Hebron, en el cual la Comisión de proyectos de investigación está integrada, se reunió en sesión ordinaria nº 318 el pasado 17/11/2017 y evaluó el proyecto de investigación PR(ATR)397/2017, con fecha 01/11/2017, titulado "*Factores predictores del resultado en el primer año de evolución tras cirugía de osteosíntesis en fractura maleolar del tobillo (equivalente bimalleolar, bimalleolar y trimaleolar)*" que tiene como investigador principal al Dr. José vicente Andres Peiro del Servicio de Cirugía Ortopédica y Trauma de nuestro Centro.

Versión de documentos:

- Solicitud de informe CEIC Versión 1, 25-10-17
- Memoria VERSIÓN 1. BARCELONA, 30-10-17.

El resultado de la evaluación fue el siguiente:

DICTAMEN FAVORABLE

El Comité tanto en su composición como en los PNT cumple con las normas de BPC (CPMP/ICH/135/95) y con el Real Decreto 1090/2015, y su composición actual es la siguiente:



Hospital Universitari Vall d'Hebron
Universitat Autònoma de Barcelona

ANEXOS



Presidenta: Gallego Melcón, Soledad. Médico
Vicepresidente: Segarra Sarries, Joan. Abogado
Secretaria: Navarro Sebastián, Mireia. Química
Vocales: Armadans Gil, Lluís. Médico
Azpiroz Vidaur, Fernando. Médico
Balasso, Valentina. Médico
Cucurull Folguera, Esther. Médico Farmacóloga
De Torres Ramírez, Inés M. Médico
Fernández Liz, Eladio. Farmacéutico de Atención Primaria
Fuentes Camps, Inmaculada. Médico Farmacóloga
Fuentelsaz Gallego, Carme. Enfermera
Guardia Massó, Jaume. Médico
Joshi Jubert, Nayana. Médico
Hortal Ibarra, Juan Carlos. Profesor de Universidad de Derecho
Iavecchia, María Luján. Médico Farmacólogo
Rodríguez Gallego, Alexis. Médico Farmacólogo
Sánchez Raya, Judith. Médico
Solé Orsola, Marta. Diplomada Enfermería
Suñé Martín, Pilar. Farmacéutica Hospital
Vargas Blasco, Víctor. Médico

En dicha reunión del Comité de Ética de Investigación con Medicamentos se cumplió el quórum preceptivo legalmente.

En el caso de que se evalúe algún proyecto del que un miembro sea investigador/colaborador, éste se ausentará de la reunión durante la discusión del proyecto.

Lo que firmo en Barcelona a 17 de noviembre de 2017

**MIREIA NAVARRO
SEBASTIAN**

Firmado digitalmente por MIREIA NAVARRO SEBASTIAN
Nombre de reconocimiento (DN): c=ES, ou=Serveis Publics de
www.catcat.cat/verdCAT (c=ES), ou=Serveis Publics de
Certificació CPUSA-2, sn=NAVARRO SEBASTIAN,
givenName=MIREIA, serialNumber=38121226Z, cn=MIREIA
NAVARRO SEBASTIAN
Fecha: 2017.11.17 15:07:53 +01'00'

Sra. Mireia Navarro
Secretaria del CEIm

11.2.2. Anexo 5: Artículo sobre el trabajo publicado

González-Morgado D, Bargalló-Granero J, Pujol O, Altayó-Carulla M, Castellanos-Alonso S, Reverté-Vinaixa MM, Nomdedéu J, Tomás-Hernández J, Joshi-Jubert N, Teixidor-Serra J, Minguell-Monyart J, Andrés-Peiró JV. Temporary immobilization methods for closed low-energy ankle fracture-dislocations: comparative analysis of a retrospective cohort. *Eur J Orthop Surg Traumatol*. 2024 Jul;34(5):2457-2464. doi: 10.1007/s00590-024-03966-y. PMID: 38796813.



Temporary immobilization methods for closed low-energy ankle fracture-dislocations: comparative analysis of a retrospective cohort

Diego González-Morgado^{1,2} · Júlia Bargalló-Granero² · Oriol Pujol^{2,3} · Marta Altayó-Carulla² · Sara Castellanos-Alonso⁴ · María Mercedes Reverté-Vinaixa^{1,2,3} · Josep Nomdedéu² · Jordi Tomás-Hernández^{2,3} · Nayana Joshi-Jubert^{1,2,3} · Jordi Teixidor-Serra^{1,2,3} · Joan Minguell-Monyart^{1,2,3} · José Vicente Andrés-Peiró^{1,2,3}

Received: 13 March 2024 / Accepted: 16 April 2024 / Published online: 26 May 2024
 © The Author(s), under exclusive licence to Springer-Verlag France SAS, part of Springer Nature 2024

Abstract

Purpose Ankle fracture-dislocations (AFD) often necessitate staged management involving temporary external fixation (EF) due to mechanical instability or blistering. However, limited literature exists on the optimal temporary immobilization method for low-energy closed AFD. This study compared baseline patient and fracture characteristics, along with clinical and radiological outcomes between AFD initially immobilized with EF versus splinting.

Methods A retrospective cohort study was conducted involving patients with AFD temporarily immobilized using EF or splinting, followed by definitive open reduction and internal fixation. Quality of reduction (QOR) was assessed for each patient post-initial immobilization and after the definitive surgery.

Results The study encompassed 194 patients: 138 treated with a splint (71.1%) and 56 (28.9%) with EF. Secondary loss of reduction had occurred in three patients who were splinted (2.2%). The mean ages in the EF and splint groups were 63.2 and 56.1 years, respectively ($p=0.01$). Posterior malleolus fracture (PMF) and blisters were more prevalent in EF patients (69.6% vs. 43.5% for PMF and 76.8% vs. 20.3% for blisters, respectively; $p=0.05$ and $p<0.01$). Postoperative complication rates were 8.9% for EF versus 10.9% for splinting ($p=0.69$). Satisfactory final QOR was attained in 79.8% of patients treated with a splint versus 64.3% with EF ($p=0.02$).

Conclusion Patients immobilized by EF presented with poorer baseline characteristics and had more unstable injuries. Nevertheless, postoperative complication rates were comparable. Thus, EF appears to be a valuable tool for standardizing outcomes in AFD patients with a less favorable prognosis.

Keywords Ankle fracture-dislocation · Staged treatment · External fixation · Posterior malleolus fracture · Complications · Quality of reduction

Introduction

Ankle fractures rank among the most prevalent fractures observed in adults [1]. Although the majority are suitable for immediate open reduction and internal fixation (ORIF), ankle fracture-dislocations (AFD) may require staged management due to mechanical instability or blistering, which preclude immediate definitive internal fixation [2]. In such scenarios, early dislocation reduction and temporary immobilization are essential to enable soft tissue healing [3]. Though using splints or casts for immobilization is a common practice with ankle fractures, loss of reduction (LOR) is commonly reported for AFD. This complication not only exacerbates soft tissue compromise but delays definitive surgery [4]. High-energy periarticular fractures or open

✉ José Vicente Andrés-Peiró
 josevicente.andres@vallhebron.cat

¹ Department of Surgery, Universitat Autònoma de Barcelona, Barcelona, Spain

² Department of Orthopaedic Surgery and Traumatology, Hospital Universitari Vall d'Hebron, Passeig Vall d'Hebron, 119-129, 08035 Barcelona, Spain

³ Department of Orthopaedic Surgery and Traumatology, Vall d'Hebron Institut de Recerca (VHIR), Barcelona, Spain

⁴ Department of Orthopaedic Surgery and Traumatology, Hospital Municipal de Badalona, Badalona, Spain

fractures in the lower limb, including ankle fractures, are commonly managed using temporary external fixation (EF) [5, 6]. Nevertheless, it is essential to consider potential complications associated with EF, such as pin tract infections, osteomyelitis, and iatrogenic fractures [7].

To date, little literature exists regarding the best temporary immobilization method for low-energy closed AFD [8–11]. We sought to compare patients' baseline and fracture characteristics and clinical and radiological outcomes between AFD initially immobilized with an EF versus a splint. We hypothesized that EF would be more frequently applied in patients with more comorbidities and more unstable injuries, or presenting with blisters, but also that no differences in clinical or radiological outcomes would be observed.

Materials and methods

Ours was a retrospective cohort study (level of evidence III) of patients consecutively operated on at a single level-I trauma center between 2009 and 2021. The study protocol was approved by our Institutional Review Board (PR (ATR) 397/2017) and we adhered to STROBE guidelines during the writing process. We included all skeletally-mature patients (age ≥ 15 years old) with an AFD (AO/OTA 44) definitively managed by ORIF, with AFD defined as $\geq 50\%$ displacement of the talus relative to the tibia in anteroposterior and/or lateral X-rays warranting emergent reduction. Patients were categorized into two groups based upon the initial immobilization method used: EF or plaster splint. Patients with prior ankle surgery, open fractures, infections or malignancies around the ankle, concomitant lower limb fractures, or fractures in a multi-trauma context (Injury Severity Score ≥ 16) were excluded. The primary outcome was the presence of any local postoperative complication. The secondary outcome was the quality of reduction on plain X-rays. Patients had to be followed for one year post-operatively.

All patients were admitted through our emergency department, where an assessment of soft tissue condition was conducted upon patient presentation. Ankle anteroposterior, lateral, mortise, and full-length tibia radiographs (X-rays) were obtained. Upon confirmation of AFD, immediate closed reduction was performed, followed by application of a posterior-below-the-knee splint. Post-reduction X-rays were taken to confirm the reduction's success.

EF was performed either emergently, delayed after LOR, or following the emergence of blisters. The decision to apply EF was made by senior on-call orthopedic surgeons based on findings from post-reduction X-rays, and their assessment of soft tissue condition and overall perceived joint instability. In cases where LOR was

suspected, prompt ankle radiographs were taken, and EF was implemented if confirmed. Surgeon discretion determined the use of a delta or quadrangular joint-spanning frame configuration. During EF, two proximal self-drilling half-pins were inserted along the anterior or anteromedial aspect of the tibia, along with a transfixation calcaneal pin, all guided by C-arm fluoroscopy. Post-operative ankle radiographs were obtained immediately after surgery.

After initial management, all patients were admitted to the hospital while awaiting definitive surgery. Blister management included unroofing, application of antibiotic cream (sulfadiazine or nitrofurantoin), and sterile dressings. Soft tissues and pin-tract care were performed every 48–72 h. Once soft tissue healing was achieved, ORIF was performed. Surgical approaches were chosen carefully to avoid blood-filled blisters.

Following definitive surgery, ankle immobilization with a posterior-below-the-knee splint was maintained for two weeks, with non-weight-bearing restrictions. All patients underwent regular clinical and radiological follow-up assessments for one-year post-definitive surgery.

Medical records were obtained from an institutional SAP database (SAP SE, Germany). All pertinent information regarding patients' baseline characteristics, injuries, treatment methods, outcomes, and complications were recorded in an anonymized Microsoft Excel database. Each radiological image was evaluated once by a designated investigator using RAIM Viewer software (Corporació Sanitària Parc Taulí, Spain). Fractures were classified according to the AO-OTA/Danis-Weber system. In cases where a posterior malleolar fracture (PMF) was visible on X-rays, its size ratio was determined based on a lateral ankle view (Fig. 1). Quality of reduction (QOR) for each patient was documented following the initial immobilization and again after definitive surgery. Calculation methods for QOR were based on publications by Benavides et al. and Chien et al. and are detailed in Figs. 1 and 2 [12, 13]. The initial QOR was considered "satisfactory" if the talar tilt ranged from 0° to 10° and the talar shift ratio was between 0 and 20%. Any values outside this range were classified "unsatisfactory". However, for the final assessment of QOR, "satisfactory" was redefined as a talar tilt range of 0° – 5° and a talar shift ratio of 0–10%. Any values surpassing these thresholds were designated "unsatisfactory".

Statistical analysis was performed using Stata 14.2 (StataCorp, USA). Continuous variables were reported as means with standard deviations (SD), while categorical variables were summarized as counts and percentages (%). The Shapiro-Wilk test was employed to assess the normal distribution of data. Comparison of continuous variables was conducted using either the Student's *t* test or



- 1. Posterior malleolus size ratio (PMSR):** Calculated by dividing the posterior malleolus anteroposterior size at its thickest point (x) by the total anteroposterior length of the tibia, including the posterior malleolus and the anterior intact tibia thickness parallel to the talocrural joint and starting at the fracture's midpoint (y):

$$\text{PMSR} = \frac{x}{x + y}$$

- 2. Talar tilt (TT):** Angle (α) formed between two lines touching the distal tibia's articular surface (a) and the proximal talus' articular surface (b) in an anteroposterior X-ray.

Fig. 1 Measurement of posterior malleolus size ratio and talar tilt

Mann–Whitney *U* test, depending on the results of normality testing. Categorical data were analyzed using Pearson's chi-square test or Fisher's exact test, as appropriate. Statistical significance was defined as a *p* value < 0.05.

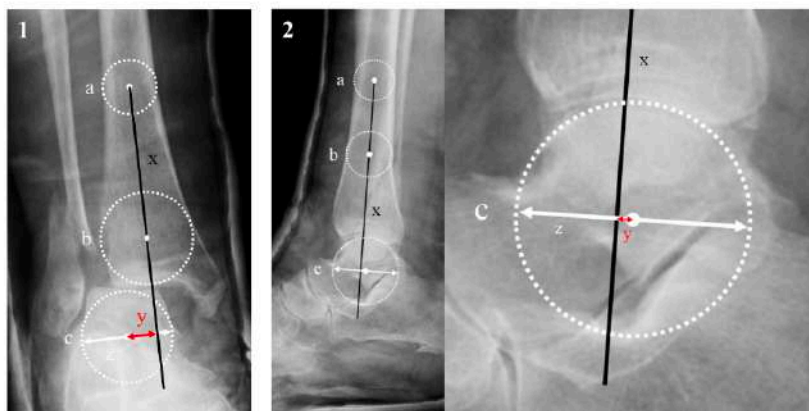
Results

During the study period, surgical interventions were performed on 962 AO-OTA 44 fractures, with 246 presenting as fracture-dislocations, for an incidence of 26.6%. After applying the eligibility criteria, 194 individuals remained available for analysis (Fig. 3). There were no cases of loss-to-follow-up or missing data. As summarized in Table 1, the sample was characterized by a predominance of relatively elderly patients with comorbidities who had sustained trans-syndesmotic fractures. Initial stabilization was performed with a plaster splint in 138 cases (71.1%), while EF was utilized to stabilize 56 (28.9%).

The indication for EF was blistering in 37 (66.1%) and mechanical instability in 19 cases (33.9%). LOR occurred in three patients (2.2%) initially treated with a splint. Patients presenting with blisters exhibited a poorer baseline profile and demonstrated higher rates of postoperative

complications than those without blisters (16.9 vs. 6.5%; $p = 0.02$) (Table 2). EF was performed emergently in 33 of 56 cases (58.9%). We found significant differences between the two treatment groups in the time from admission to definitive surgery (averaging 6 days for splinting and 15.1 for EF; $p < 0.01$). Only 20 of 56 EF procedures (35.7%) were performed by orthopedic trauma dedicated surgeons, but they definitively treated 40 of these fractures (71.4%), versus definitively treating just 55 of the 138 fractures (39.9%) initially immobilized with a splint ($p < 0.01$).

Patients in the EF group were, on average, older (mean age 63.2 vs. 56.1 years; $p = 0.01$), had a higher incidence of posterior malleolar fractures (PMF, 69.6 vs. 43.5%; $p < 0.01$), larger PMFs (average size 10.9 vs. 8.3 mm and average proportion of articular surface involved 25.8 vs. 12.7%; $p = 0.03$ and $p = 0.05$, respectively). They also experienced blisters more frequently than patients whose fractures were immobilized with splinting (76.8 vs. 20.3%; $p < 0.01$) (Table 1). Despite having a poorer baseline profile, individuals managed with EF tended to experience a slightly lower rate of postoperative complications than those immobilized with splints; though this difference was not statistically significant (8.9% vs. 10.9%; $p = 0.69$). We observed no instances of EF-related complications, like



- 1. Coronal talar shift ratio (CTSR):** The coronal distal axis of the tibia is defined by a line connecting the center of two circles touching the medial and lateral cortices of the tibia 10cm proximal to the joint line (a) and the three cortices of the distal tibial metaphysis (b). The center of the talus coincides with that of a circle touching the midpoint of the talar plateau and its lateral and medial walls. The CTSR is calculated by dividing the perpendicular distance from the distal axis of the tibia to the center of the talus (y) by the coronal diameter of the talus (z):

$$CTSR = \frac{y}{z}$$

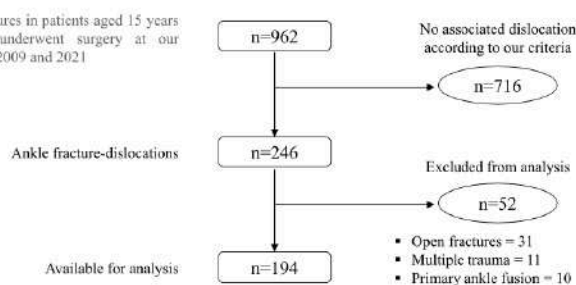
- 2. Sagittal talar shift ratio (STSR):** The sagittal distal axis of the tibia is defined by a line connecting the center of two circles touching the medial and lateral cortices of the tibia 10cm (a) and 5cm (b) proximal to the joint line. The center of the talus coincides with that of a circle adjusted to the talar dome (c). The STSR is calculated by dividing the perpendicular distance from the distal axis of the tibia to the center of the talus (y) by the coronal diameter of the talus (z):

$$STSR = \frac{y}{z}$$

Fig. 2 Measurement of linear parameters for quality of reduction assessment

Fig. 3 Flowchart depicting the patient selection process

AO/OTA 44 fractures in patients aged 15 years or older, who underwent surgery at our hospital between 2009 and 2021



pin-tract infection or pin loosening. Fracture-related infections occurred in 16 patients (8.3%), with five in the EF group (8.9%) and 11 in the splint group (8.0%). All infections were managed with debridement, hardware removal, and antibiotic therapy, with seven requiring additional soft tissue reconstruction. Mechanical complications were

observed in four patients, all within the splint group (2.9%), including one peri-implant fracture, two fixation failures, and one nonunion.

Initial satisfactory QOR was achieved in 125 patients (64.4%), with no statistically-significant difference observed between the two treatment groups (66.8%

Table 1 Descriptive comparative statistics; splint versus EF (external fixation) immobilization

	Global	Splint	EF	<i>p</i> value
Patients	194	138 (71.1)	56 (28.9)	
Age (years)	58.1 ± 18	56.1 ± 18.1	63.2 ± 17	0.01
ASA ^a (mean)	1.9 ± 1.8	1.8 ± 0.8	2 ± 0.7	0.16
Smokers	36 (18.6)	27 (19.6)	9 (16.1)	0.57
Diabetes	28 (14.4)	17 (12.3)	11 (19.6)	0.19
Arterial disease	6 (3.1)	4 (2.9)	2 (3.6)	0.56
Fracture classification ^b				0.60
A	5 (2.6)	3 (2.2)	2 (3.6)	
B	143 (73.7)	100 (72.5)	43 (76.8)	
C	46 (23.7)	35 (25.4)	11 (19.6)	
PMF ^c	99 (51)	60 (43.5)	39 (69.6)	< 0.01
PM ^d size (mm)	9.4 ± 5.8	8.3 ± 5.2	10.9 ± 6.2	0.03
PM ^d size (%)	22.6 ± 13.2	20.6 ± 12.7	25.8 ± 13.3	0.05
Blisters	71 (36.6)	28 (20.3)	43 (76.8)	< 0.01
Complications	20 (10.3)	15 (10.9)	5 (8.9)	0.69

Continuous variables as: mean ± SD; categorical variables as: count (percentage)

^aASA: american society of anesthesiologists physical status classification

^bAccording to Danis-Weber/AO-OTA

^cPMF: posterior malleolus fracture

^dPM: posterior malleolus

Table 2 Descriptive comparative statistics; patients without vs. with preoperative blisters

	No blisters	Blisters	<i>p</i> value
Patients	123 (63.4)	71 (36.6)	
Age (years)	54.2 ± 19	65 ± 13.9	< 0.01
ASA ^a (mean)	1.8 ± 0.7	2.1 ± 0.7	< 0.01
Smokers	21 (17.1)	15 (21.1)	0.48
Diabetes	12 (9.8)	16 (22.5)	0.02
Arterial disease	3 (2.4)	3 (4.2)	0.67
EF immobilization	13 (10.6)	43 (60.6)	< 0.01
PMF ^b	61 (49.6)	38 (53.5)	0.66
Complications	8 (6.5)	12 (16.9)	0.02

Continuous variables as: mean ± SD; categorical variables as: count (percentage)

^aASA: American society of anesthesiologists physical status classification

^bPMF: posterior malleolus fracture

for splinting vs. 58.9% for EF; $p = 0.31$). Most patients attained a satisfactory final QOR, though this was more common with splinting (79.8 vs. 64.3%; $p = 0.02$). There were no significant differences in initial or definitive QOR

based on surgeon specialization or timing of EF. Postoperative complications were found to be associated with poorer final QOR (20.8% of complications in patients with unsatisfactory QOR vs. 6.8% in those with satisfactory QOR; $p < 0.01$). Table 3 summarizes QOR outcomes.

Discussion

In our study of low-energy AFDs, 28.9% of patients were initially managed with EF, typically indicated for blister formation (66.1%). Patients treated with EF had a poorer baseline profile and suffered from more unstable injuries, which more frequently required management by orthopedic trauma specialists. Despite this, we failed to identify any significant difference in complication rates compared to patients immobilized with plaster splints. That said, the final QOR was poorer in those initially managed with EF, which we attribute to the greater complexity of injuries in this group.

The incidence of AFDs we found falls within the range of 6–32% of all ankle fractures previously reported [14, 15]. Although many of these fractures can be treated in one-stage procedures, dislocation often results in soft tissue damage that precludes immediate definitive surgery [14, 15]. AFDs underlie unstable fracture patterns that may lead to LOR, especially when splints are used, resulting in additional soft tissue damage that subsequently delays definitive treatment [9–11, 13, 15]. In such cases, staged management is often preferred, allowing soft tissue to heal before definitive surgery. The temporary use of EF extends beyond open fractures to closed periarticular fractures with significant soft tissue damage [5, 16], with reported usage ranging from 20 to 50% among all closed AFDs [8–11, 15]. While some authors consider soft tissue damage the primary reason to use EF [9, 11], others emphasize its role managing instability [8, 10]. In our study, both soft tissue damage and instability influenced the choice of EF over splinting. A threshold of 22.5% of PMF size has been suggested for considering temporary EF [10]. Consistent with this, our mean PMF size was above this threshold for patients undergoing EF and below it among patients receiving a splint. Although a higher LOR rate has been reported in patients with AFD initially immobilized with a splint versus an EF, only three patients in our splint group experienced LOR [8–11]. This might be attributed to our effective initial treatment decisions and low threshold for using EF. While we did not observe any complications related to EF, likely attributable to our standardized pin-care protocol, its utilization does entail increased costs, prolonged hospital stays, and potential complications like pin-tract infections and iatrogenic fractures [7, 17–19]. This underscores the importance of careful patient selection for EF application.

Table 3 Quality of reduction (QOR) outcomes

	Initial QOR			Final QOR		
	Satisfactory	Unsatisfactory		Satisfactory	Unsatisfactory	
<i>Immobilization</i>						
Cast	92 (66.7)	46 (33.3)	$p=0.31$	110 (79.8)	28 (20.2)	$p=0.02$
EF ^a	33 (58.9)	23 (41.1)		36 (64.3)	20 (35.7)	
<i>Surgeon specialization</i>						
Other	21 (58.4)	15 (41.6)	$p=0.66$	72 (72.7)	27 (27.3)	$p=0.40$
Orthopedic trauma	12 (61.1)	8 (38.9)		74 (77.9)	21 (22.1)	
<i>Timing of EF</i>						
≤24 h of admission	19 (57.6)	14 (42.4)	$p=0.78$	23 (69.7)	10 (30.3)	$p=0.51$
>24 h	14 (53.9)	9 (46.1)		13 (56.5)	10 (43.5)	
Postoperative complications	12 (9.6)	8 (12.3)	$p=0.56$	10 (6.8)	10 (20.8)	$p<0.01$

All cells containing categorical variables: count (percentage)

^aEF: external fixation

Relative to non-dislocated ankle fractures, AFDs increase the risk of postoperative complications by 2 to threefold, with reported rates ranging from 6 to 44% [14, 20]. In contrast, some recent studies have found no significant differences in infections or wound complications between AFDs and simple ankle fractures [15, 21]. Notably, in these studies a significant proportion of patients with AFDs underwent temporary EF. In our study, patients in the EF group presented with more complex fractures, as evidenced by the higher prevalence of a PMF and blisters. Patients presenting with blisters had a poorer baseline profile. This aligns with prior studies indicating that elderly and diabetic patients with ankle fractures are prone to soft tissue damage and postoperative complications [22, 23]. As reported by others, we found no significant differences in overall postoperative complication rates between our EF and splint groups [9, 11]. This suggests that utilizing EF for initial immobilization of AFDs may mitigate the negative impact on postoperative outcomes of poorer patient baseline characteristics and more complex fractures.

AFDs are associated with ankle mortise disruption and increased articular damage. These factors hinder proper fracture reduction, potentially leading to a higher risk of LOR and postoperative malreduction compared to simple fractures [15, 20, 21, 24]. Proper reduction and fracture alignment using a splint or EF are critical for avoiding LOR and enabling soft tissue healing before definitive fixation [5]. To our knowledge, our study is the first to directly compare the QOR achieved between AFDs initially immobilized with splints versus EF. Although we observed no significant differences in QOR between these two treatment approaches, it is crucial to acknowledge that the fractures treated with splints were generally less complex. Chien et al. [13] found no association between preoperative QOR and postoperative wound complications

in AFD cases. However, poorly-reduced ankles underwent surgery earlier as a protective measure against wound complications, in accordance with previous findings [19]. Similarly, we identified no difference in postoperative complication rate based on initial QOR. However, a higher complication rate was observed in the final “unsatisfactory” QOR group. The existing literature links malreduction to increased risks of wound and implant-related complications, long-term osteoarthritis, reduced range of motion, and poorer functional outcomes [25]. In our patients, patients immobilized with EF had a higher rate of unsatisfactory final QOR, probably related to the use of EF for more complex fractures. Some authors suggest that, to achieve better outcomes, these fractures must be managed by surgeons with extensive experience [24]. Interestingly, we found that most fractures initially immobilized with an EF were operated upon by trauma-dedicated orthopedic surgeons, compared to fractures that were splinted, which were mostly treated by non-trauma dedicated orthopedic surgeons. This suggests that the initial application of EF, irrespective of a surgeon's sub-specialization, influenced the homogenization of postoperative results in severe AFDs.

Our study has several limitations. Its retrospective nature raises concerns about the potential underreporting of complications. The radiological evaluation by a single observer prevented any assessment of interrater agreement. Using X-ray imaging to classify fractures and measure PMF has limitations relative to computed tomography. The participation of surgeons with varying sub-specialization in both treatment stages, along with differences in patients' characteristics and fracture patterns between the groups, may have contributed to heterogeneity. The relatively-short duration of follow-up also raises concerns about the potential underestimation of late-onset complications, like post-traumatic

osteoarthritis. The lack of standardized criteria to determine whether splinting or EF were indicated may have contributed to selection bias. Nonetheless, the ubiquity of these injuries in the practice of most orthopedic surgeons, the gap in the literature regarding the effect attributable to external fixation, and the considerable size of our patient sample all highlight the value of this study.

In conclusion, despite exhibiting poorer baseline characteristics and having more unstable injuries, patients immobilized with an EF demonstrated postoperative complication rates comparable to those immobilized with a splint. This suggests that EF can be a valuable tool for standardizing outcomes in the management of AFD patients with a less favorable prognosis.

Acknowledgements This work has been carried out within the framework of the PhD in Surgery and Morphological Sciences at Universitat Autònoma de Barcelona.

Author contributions All authors contributed to the study conception and design. Material preparation, data collection and analysis were performed by DGM, JBG, OP, MAC, SCA, MMRV and JVAP. The first draft of the manuscript was written by DGM and JVAP and all authors commented on previous versions of the manuscript. All authors read and approved the final manuscript.

Funding No funding was received for conducting this study.

Data availability The data that support the findings of this study are available from the corresponding author upon reasonable request.

Declarations

Conflict of interest The authors have financial conflicts of interest to declare with Smith & Nephew, Zimmer-Biomet, Stryker, Link Orthopaedics and MBA Surgical Empowerment.

Ethical approval This study was approved by our institutional review board under the code PR (ATR) 397/2017.

Consent to participate and publish This is a retrospective study. Its realization did not imply any risk for the participants and all the collected data were de-identified. Therefore, IRB approved a full waiver of informed consent.

References

- Court-Brown CM, Caesar B (2006) Epidemiology of adult fractures: a review. *Injury* 37:691–697. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2006.04.130>
- Konrath G, Karges D, Watson JT et al (1995) Early versus delayed treatment of severe ankle fractures: a comparison of results. *J Orthop Trauma* 9:377–380. <https://doi.org/10.1097/00005131-199505000-00003>
- Watson JA, Hollingdale JP (1992) Early management of displaced ankle fractures. *Injury* 23:87–88. [https://doi.org/10.1016/0020-1383\(92\)90038-4](https://doi.org/10.1016/0020-1383(92)90038-4)
- Matson A, Zura R, Green C, Hurwitz S (2017) Observations on closed reduction of ankle fracture-dislocations with subsequent operative treatment: predicting the need for early operative intervention based on clinical features of reduction. *Foot Ankle Stud* 1:1008
- Haidukewych GJ (2002) Temporary external fixation for the management of complex intra- and periarticular fractures of the lower extremity. *J Orthop Trauma* 16:678–685. <https://doi.org/10.1097/00005131-200210000-00012>
- Rammelt S, Endres T, Grass R, Zwipp H (2004) The role of external fixation in acute ankle trauma. *Foot Ankle Clin* 9:455–474. <https://doi.org/10.1016/j.fcl.2004.05.001>
- Bibbo C, Brueggeman J (2010) Prevention and management of complications arising from external fixation pin sites. *J Foot Ankle Surg Off Publ Am Coll Foot Ankle Surg* 49:87–92. <https://doi.org/10.1053/j.jfas.2009.07.026>
- Wawrosc RA, Grossman LS, Tagliaferro M et al (2020) Temporizing external fixation vs splinting following ankle fracture dislocation. *Foot Ankle Int* 41:177–182. <https://doi.org/10.1177/1071100719879431>
- Buyukkuscu MO, Basilgan S, Mollaomcoglu A et al (2022) Splinting vs temporary external fixation in the initial treatment of ankle fracture-dislocations. *Foot Ankle Surg Off J Eur Soc Foot Ankle Surg* 28:235–239. <https://doi.org/10.1016/j.fas.2021.03.018>
- Gerlach R, Toepfer A, Jaxsens M et al (2022) Temporizing cast immobilization is a safe alternative to external fixation in ankle fracture-dislocation while posterior malleolar fragment size predicts loss of reduction: a case control study. *BMC Musculoskelet Disord* 23:698. <https://doi.org/10.1186/s12891-022-05646-6>
- Mandelka E, Wikanardi BA, Beisemann N et al (2023) Comparing temporary immobilization using cast and external fixator in uni-malleolar ankle fracture dislocations: a retrospective case series. *J Clin Med* 12:748. <https://doi.org/10.3390/jcm12030748>
- Benevides PC, de Souza Nery CA, Godoy-Santos AL et al (2020) Study of the radiographic parameters of normal ankles: literature review and technical recommendations. *J Foot Ankle* 14:84–88. <https://doi.org/10.30795/jfootankle.2020.v14.1125>
- Chien BY, Stupay KL, Miller CP et al (2018) Does the quality of preoperative closed reduction of displaced ankle fractures affect wound complications after surgical fixation? *Injury* 49:1931–1935. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2018.07.013>
- Andrés-Peiró J-V, Pujol O, Altayó-Carulla M et al (2023) Predictors of first-year postoperative complications after fixation of low-energy ankle fractures: a single-center, retrospective cohort study of 663 consecutive fractures. *Rev Esp Cir Ortop Traumatol*. <https://doi.org/10.1016/j.recot.2023.11.027>
- Sculco PK, Lazaro LE, Little MM et al (2016) Dislocation is a risk factor for poor outcome after supination external rotation type ankle fractures. *Arch Orthop Trauma Surg* 136:9–15. <https://doi.org/10.1007/s00402-015-2353-0>
- Oleo-Taltavull R, Corró S, Tomás-Hernández J et al (2023) Staged treatment of bicondylar tibial plateau fractures: influence of frame configuration and quality of reduction on outcomes. *Eur J Trauma Emerg Surg Off Publ Eur Trauma Soc*. <https://doi.org/10.1007/s00068-023-02411-9>
- Okelana B, McMillan L, Huyke-Hernandez FA et al (2022) Cost variation in temporizing external fixation of tibial plateau and pilon fractures: Is there room to improve? *Injury* 53:2872–2879. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2022.06.016>
- Khair E, Charopoulos I, Dimitriou R et al (2012) The health economics of ankle fracture fixation. *Bull R Coll Surg Engl* 94:1–5. <https://doi.org/10.1308/147363512X13189526440717>
- Schepers T, De Vries MR, Van Lieshout EMM, Van der Elst M (2013) The timing of ankle fracture surgery and the effect on infectious complications: a case series and systematic review of the literature. *Int Orthop* 37:489–494. <https://doi.org/10.1007/s00264-012-1753-9>

20. Lühbeke A, Salvo D, Stern R et al (2012) Risk factors for post-traumatic osteoarthritis of the ankle: an eighteen year follow-up study. *Int Orthop* 36:1403–1410. <https://doi.org/10.1007/s00264-011-1472-7>
21. Warner SJ, Schottel PC, Hinds RM et al (2015) Fracture-dislocations demonstrate poorer postoperative functional outcomes among pronation external rotation IV ankle fractures. *Foot Ankle Int* 36:641–647. <https://doi.org/10.1177/1071100715572222>
22. Zaghloul A, Haddad B, Barksfield R, Davis B (2014) Early complications of surgery in operative treatment of ankle fractures in those over 60: a review of 186 cases. *Injury* 45:780–783. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2013.11.008>
23. Liu JW, Ahn J, Raspovic KM et al (2019) Increased rates of readmission, reoperation, and mortality following open reduction and internal fixation of ankle fractures are associated with diabetes mellitus. *J Foot Ankle Surg Off Publ Am Coll Foot Ankle Surg* 58:470–474. <https://doi.org/10.1053/j.jfas.2018.09.023>
24. Ovaska MT, Mäkinen TJ, Madanat R et al (2014) A comprehensive analysis of patients with malreduced ankle fractures undergoing re-operation. *Int Orthop* 38:83–88. <https://doi.org/10.1007/s00264-013-2168-y>
25. Smeeing DPJ, Briet JP, van Kessel CS et al (2018) Factors associated with wound—and implant-related complications after surgical treatment of ankle fractures. *J Foot Ankle Surg Off Publ Am Coll Foot Ankle Surg* 57:942–947. <https://doi.org/10.1053/j.jfas.2018.03.050>

Publisher's Note Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Springer Nature or its licensor (e.g. a society or other partner) holds exclusive rights to this article under a publishing agreement with the author(s) or other rightsholder(s); author self-archiving of the accepted manuscript version of this article is solely governed by the terms of such publishing agreement and applicable law.

