

¿POR QUÉ UNA ARTRODESIS TIBIOTALCALCÁNEA Y NO UNA TIBIOTALAR AISLADA?

M. Monteagudo de la Rosa^{1,2}, P. Martínez de Albornoz Torrente¹,
M. Cuervas-Mons Cantón^{1,3,4}, P. Aragonese López^{1,3}

¹ Unidad de Cirugía de Pie y Tobillo. Cirugía Ortopédica y Traumatología.
Hospital Universitario Quirónsalud Madrid

² Facultad de Medicina. Universidad Europea de Madrid

³ Hospital FREMAP Majadahonda. Madrid

⁴ Hospital General Universitario Gregorio Marañón. Madrid

Introducción

La artrodesis de tobillo (tibiotalar –TT–) es la técnica de elección en un paciente con artrosis avanzada cuando una artroplastia no está indicada (desaxación grave, rigidez, afectación grave de partes blandas). Aunque las osteotomías perimaleolares y las artroplastias han ampliado las indicaciones del tratamiento, la artrodesis TT sigue siendo hoy el patrón oro para conseguir eliminar el dolor y proporcionar estabilidad en la marcha^(1,2). Cuando la artrosis de tobillo afecta a la articulación TT y a la subastragalina, la indicación más frecuente es la realización de una artrodesis tibiotalcalcánea (TTC). En algunos pacientes seleccionados, puede funcionar también la artrodesis subastragalina combinada con una artroplastia de tobillo. Cuando la articulación subtalar (ST) no está radiológicamente afectada por artrosis, el procedimiento más universal es la fusión de la articulación TT de manera aislada⁽³⁾. La compresión del funcionamiento de la articulación ST después de una artrodesis TT aislada es importante para poder conocer si su preservación, en un proceso de artrodesis (TT aislada), añade algún beneficio o perjuicio en el dolor y en la función del paciente durante la evolución postoperatoria. Diferentes estudios mecánicos han demostrado que la articulación ST debería idealmente funcionar con unos 5° de valgo para permitir que las articulaciones mediotarsianas consigan compensar con el mayor arco de movilidad posible en el plano sagital^(4,5). En la experiencia de los autores, cuando no se artrodesa la articulación ST en el proceso de una artrodesis de tobillo, la acción mecánica del tríceps sural provoca que esta articulación se desplace lenta pero progresivamente en varo hasta bloquear el movimiento compensador en el plano sagital de las articulaciones mediotarsianas⁽⁶⁾. Los

7



<https://doi.org/10.24129/j.mact.1401.fs2205007>

© 2022 SEMCPT. Publicado por Imaidea Interactiva en FONDOSCIENCE® (www.fondoscience.com).

Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (www.creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

estudios comparativos entre artrodesis TT y TTC no muestran un resultado claramente favorable a una de las opciones⁽⁷⁻¹⁰⁾. De manera que cuando planifiquemos artrodesar un tobillo con artrosis avanzada incapacitante, podemos preguntarnos ¿deberíamos indicar una artrodesis TT aislada o una TTC?

El objetivo del presente capítulo de la monografía es brindar al lector los razonamientos mecánicos que nos hacen indicar una artrodesis TTC como un procedimiento potencialmente mejor que una artrodesis de tobillo aislada en la artrosis terminal de tobillo, tras el análisis de la patomecánica, las complicaciones, el análisis de la marcha y la satisfacción de los pacientes después de ambas técnicas.

Patomecánica de la artrodesis de tobillo (tibiotalar) aislada y de la artrodesis tibiotalcalcánea

Cualquier técnica quirúrgica que quiera tratar una artrosis terminal del tobillo debería procurar conseguir un tobillo no doloroso, la preservación de la mayor movilidad posible en el bloque tobillo-pie y unos parámetros de marcha lo más parecidos a una extremidad sana. El razonamiento para indicar una artroplastia frente a una artrodesis de tobillo en artrosis avanzada es la preservación del movimiento y la protección de las articulaciones vecinas frente al desarrollo de una artrosis secundaria a la falta de movilidad de la articulación fusionada. Sin embargo, los resultados clínicos de una artroplastia y una artrodesis de tobillo no parecen mostrar diferencias en los parámetros más importantes de evaluación, como el dolor, la movilidad global tobillo-pie, la marcha y la satisfacción del paciente⁽¹¹⁻¹³⁾. La mejora en los parámetros del dolor y la movilidad después de una artroplastia y de una artrodesis era muy significativa en comparación con los preoperatorios, pero ninguno de los grupos se acercaba a los parámetros de normalidad de una extremidad sana. La explicación de los buenos

resultados del grupo de las artrodesis de tobillo podría deberse a que el paciente experimenta de manera más notable la persistencia de movilidad tobillo-pie que la esperada rigidez postoperatoria. En los estudios que muestran una mejoría en el análisis de la marcha mayor después de una artroplastia que de una artrodesis, se observa que la ganancia se debe a un mayor movimiento global tobillo-pie en el plano sagital^(14,15). Estos cambios en el plano sagital apuntan directamente a la articulación ST y a las mediotarsianas como los factores contribuyentes. Después de una artrodesis aislada de tobillo, el tríceps ya no actuaría sobre la articulación TT, sino sobre la ST. Durante la parte de apoyo en el ciclo de la marcha, los inversores son casi invariablemente más potentes que los eversores. Con el tiempo, después de una artrodesis TT, la inversión continuada de la articulación ST haría cambiar su disposición pronadora-inversora (valgo normal) hacia supinadora-eversora (varo patológico), con las excepciones de los pacientes que tienen una coalición ósea talocalcánea o una artrosis ST avanzada^(6,16). La disposición en varo ST cambiará las propiedades amortiguadoras de la articulación hacia un modo rígido (**Figura 1**). El varo ST bloquea de manera



Figura 1. Artrodesis tibiotalar con 3 años de evolución. En esta proyección lateral de radiografía en carga se observan signos de varización subtalar: seno del tarso abierto, subastragalina posterior en proyección ortogonal, columna medial sobre columna lateral, supinación del antepié.

inexorable el movimiento en el plano sagital de las articulaciones mediotarsianas. El valgo ST maximiza el movimiento en el plano sagital de las articulaciones mediotarsianas. Este escenario patomecánico explicaría que los estudios con un seguimiento corto en artrodesis TT aislada en los que todavía quede movilidad ST muestren un aumento compensador de las articulaciones ST y de la columna medial del pie de unos 6°⁽¹⁷⁾. Cuando la ST se fija en un ligero valgo, las articulaciones mediotarsianas tardarán solo unos meses en adaptarse hasta alcanzar el mayor arco de movilidad posible en el plano sagital y compensar la pérdida de movimiento del complejo tobillo-ST. Esta disposición explicaría que los pacientes sometidos a una artrodesis TTC muestren una mayor movilidad y capacidad de carga en la región mediotarsiana⁽¹⁷⁾.

Aunque no existe evidencia directa que demuestre de manera inequívoca la progresiva báuscula hacia el varo de la articulación ST, tampoco existe evidencia sobre su destino mecánico y de movimiento después de una artrodesis TT aislada. Los datos son confusos y varían desde la hipermovilidad hasta la ausencia de movimiento^(3,17,18). Se asume que, después de una artrodesis TT aislada, la compensación del movimiento ST protegerá a las articulaciones vecinas (mediotarsianas) del desarrollo de una artropatía secundaria, pero no se ha probado con ningún estudio metodológicamente serio. Los estudios al respecto no consideran el funcionamiento del tríceps en cadena cinética cerrada (marcha normal). Algunos autores han mostrado que no se registra prácticamente ningún movimiento ST después de una artrodesis TT aislada^(15,18). En un estudio se demuestra que la presión de contacto y la transferencia de carga hacia la articulación ST después de una artrodesis TT están disminuidas durante las 3 fases de apoyo en la marcha⁽¹⁵⁾. Estos resultados permiten hipotetizar que la artrosis ST que aparece después de una artrodesis TT aislada no sería la consecuencia de una movilidad compensatoria anómala, sino de la progresión de una artropatía subclínica ya preexistente, que se pone de manifiesto en la mayoría de los pacientes que precisan de una artrodesis de tobillo⁽¹⁹⁾.

Un estudio sobre la relación entre artrosis de tobillo y ST mostraba que 68 de 70 pacientes con artrosis avanzada TT tenían también algún grado de artrosis ST⁽¹⁹⁾. En un estudio de Takakura, has-

ta el 32,5% de los pacientes que iban a operarse de una artrodesis de tobillo mostraban alteraciones artrósicas en sus articulaciones ST⁽¹⁰⁾. Incluso asumiendo que existiera un aumento de movilidad compensatoria en la ST tras una artrodesis TT aislada, la articulación ST no está “diseñada” para compensar de manera eficaz la pérdida de movilidad TT y lo haría de manera anómala provocando el desarrollo lento de una artrosis^(6,19). En las artrodesis TTC podemos, de manera electiva y eficaz, fijar la ST en un ligero valgo, con lo que favorecemos la adaptación de las articulaciones mediotarsianas para compensar la pérdida de movilidad con un aumento del arco de movilidad en el plano sagital.

Con este escenario patomecánico expuesto, ¿deberíamos considerar una artrodesis TTC en lugar de una TT en artrosis avanzada de tobillo con una articulación ST “radiológicamente” sana? Para poder contestar mejor esta pregunta, deberíamos revisar los resultados de un tipo y otro de artrodesis.

¿Por qué una artrodesis de tobillo (tibiotalar) aislada?

La artrodesis TT aislada ofrece buenos resultados en la literatura para el control del dolor y la mejoría de la función en la artrosis avanzada del tobillo⁽²⁰⁾. En los últimos años, la artrodesis TT artroscópica se ha hecho más popular que la abierta por la menor necesidad de hospitalización, el menor tiempo hasta conseguir la fusión y unos porcentajes de consolidación equivalentes a la artrodesis por vía abierta^(21,22). La artrodesis artroscópica muestra entre un 89 y un 100% de consolidación según diferentes estudios⁽²¹⁻²³⁾. Las complicaciones asociadas a esta técnica comprenden la lesión de los nervios en los portales artroscópicos y el desarrollo de fístulas articulares. Utilizando un abordaje abierto anterior y tornillos para fijación, Zwipp *et al.* presentaron un porcentaje de fusión del 99%, con un 5% de dehiscencias de la herida o necrosis de sus bordes, y un 3% de hematomas postoperatorios⁽²⁴⁾. En casos de gran pérdida ósea y mala calidad del hueso, los tornillos no serían un método de fijación de elección. En este contexto, Plaass *et al.* consiguieron un 100% de consolidación en 29 pacientes (incluyendo 16 con artrosis avanzada, 4 con ausencia de consolidación

de un intento previo de artrodesis y 9 con un fracaso de artroplastia de tobillo) tratados con una artrodesis TT por vía anterior utilizando una fijación con 2 placas y tornillos⁽²⁵⁾. La fijación externa se contempla en casos de deformidad grave, infección y problemas graves de partes blandas, y los porcentajes de consolidación oscilan entre un 80 y un 100%, según diferentes estudios^(26,27). Una indicación clásica para una artrodesis de tobillo era la artrosis bilateral avanzada, pero Vaughan *et al.* presentaron un alto grado de satisfacción y unos buenos resultados funcionales después de realizar artrodesis bilateral en un grupo de 8 personas⁽²⁸⁾.

¿Por qué una artrodesis tibiotalcálea?

Cuando se indica una artrodesis TT aislada debe prestarse atención al estado de la articulación ST. Una ST radiológicamente sana puede no estarlo en un estudio de tomografía. El escenario más habitual para indicar una artrodesis TTC en una artrosis avanzada de tobillo es la presencia de una artrosis ST concomitante, pero también está indicada cuando existe una gran pérdida de hueso, una alteración neurológica grave y/o un mal estado de las partes peritalares. El fracaso de una artroplastia de tobillo se asocia casi invariablemente con una afectación ST y una gran pérdida de hueso, con lo que la artrodesis TTC de rescate es una indicación habitual para estos pacientes.

Un peligroso argumento para indicar una artroplastia de tobillo frente a una artrodesis es la posibilidad de conversión a una artrodesis si fracasa la prótesis. Peligroso porque este planteamiento no es tan directo y se ha demostrado en varios estudios que la artrodesis de rescate de una artroplastia fracasada funciona peor que una artrodesis primaria^(29,30). La artrodesis TTC también puede indicarse cuando fracasa una artrodesis TT aislada, aumentando la estabilidad primaria de la TT y permitiendo añadir injertos para una mayor posibilidad de consolidación⁽³⁰⁾. Cuando existe un gran defecto óseo y se utiliza un aloinjerto de cabeza femoral para realizar una artrodesis TTC, el porcentaje de consolidación puede llegar a un discreto 50%^(31,32). La compresión en 2 planos que se obtiene con tornillos en un clavo intramedular de última generación ha permitido una mejora

en el porcentaje de consolidación. El tratamiento quirúrgico de un fracaso de artroplastia de tobillo mediante una artrodesis TTC es un reto técnico, pero también en lo que se refiere al resultado. Varios estudios han demostrado que el nivel de satisfacción y función de estos pacientes es considerablemente menor que con una artrodesis TTC primaria^(29,30,33). El porcentaje de complicaciones después de una artrodesis TTC llega a un 40% en algunas series, con ausencias de consolidación hasta en un 15,8%⁽³⁴⁾. Pero existe un sesgo importante en la selección de los pacientes, porque muchas de las indicaciones se realizan en pacientes de muy alto riesgo quirúrgico⁽³⁵⁾. Los pacientes con artrodesis TTC presentan mayores comorbilidades y factores de riesgo para el fracaso de la fusión que los pacientes de artrodesis TT aislada. La diabetes, una puntuación de la American Society of Anesthesiologists (ASA) > 2, la neuropatía diabética y la neuroartropatía de Charcot –presentes en bastantes pacientes con artrodesis TTC– fueron factores predictivos de ausencia de consolidación ST, TT o combinada⁽³⁴⁾. En diferentes estudios en los que la indicación de artrodesis TTC fue una artrosis avanzada combinada TT y ST, el porcentaje de consolidación se acercaba al 100%^(35,36). Las artrodesis TTC artroscópicas y mini-invasivas presentaban porcentajes de consolidación similares a las abiertas, con mucho menor porcentaje de infecciones⁽³⁷⁾. Carranza *et al.* presentaron un 86% de consolidación en 40 pacientes con artrodesis TTC por vía miniinvasiva⁽³⁸⁾.

La artrodesis TTC con un clavo intramedular se realiza de forma convencional con la preparación de las superficies articulares TT y ST. Algunos autores defienden que la preparación ST no es necesaria para conseguir un resultado satisfactorio y muestran unos parámetros de mejora del dolor y de la consolidación, junto con un menor tiempo de cirugía, comparados con la artrodesis, en la que sí se desbrida y prepara la articulación ST⁽³⁹⁾. Sin embargo, este argumento está discutido, porque otros autores han puesto de manifiesto el beneficio de trabajar la articulación ST para conseguir un mejor porcentaje de consolidación⁽⁴⁰⁾. Dujela *et al.* estudiaron el porcentaje de consolidación en 66 artrodesis (63 pacientes) TTC con clavo retrógrado⁽⁴¹⁾. La fusión radiológica de la TT y de la ST se consiguió en el 68,2% de los pacientes. Consiguieron una fusión del tobillo 11 casos, pero con ausencia de consolidación ST; en 6 ca-



Figura 2. Radiografías en proyección anteroposterior (A) y lateral (B) de ambos tobillos en carga, al año de la intervención por una artropatía postraumática tibiotalar y subtalar. La radiología parece mostrar una consolidación de ambas articulaciones, pero el paciente tenía dolor y limitación para la marcha. El estudio con tomografía (C) reveló la ausencia de consolidación subtalar, una de las complicaciones más frecuentes de este tipo de cirugía.

Los consolidó la ST pero no la TT y 4 casos acabaron con una ausencia de consolidación de ambas articulaciones. En total, un 22,8% de los casos presentaron una ausencia de consolidación ST, un porcentaje mucho mayor al de una artrodesis ST aislada⁽⁴¹⁾ (Figura 2).

Decidiendo entre artrodesis tibiotalar aislada y tibiotalcalcánea

El razonamiento para realizar una artrodesis TT aislada frente a una TTC es la preservación de las articulaciones vecinas, especialmente la ST, frente al desarrollo de una artrosis secundaria. El análisis de las complicaciones a corto plazo de la artrodesis TT aislada muestra que la cirugía secundaria más frecuente fue la artrodesis ST⁽⁴²⁾. En muchos casos, no pasaba mucho tiempo desde la artrodesis hasta que la ST desarrollaba una artrosis sintomática. En un estudio que comparaba la función y la satisfacción de los pacientes después de una artrodesis bilateral TT, 2 pacientes desarrollaron sintomatología ST importante que precisó de una artrodesis ST, uno a los 34 meses y el otro a los 89 meses desde la artrodesis TT⁽²⁸⁾. La fijación en valgo de la ST en la artrodesis TTC que permita una mayor movilidad mediotarsiana en el plano sagital puede ser responsable del alto grado de satisfacción de los pacientes después de una TTC. Si, en el contexto de una artrodesis TTC, dejamos un varo residual, el paciente experimentará la misma alteración

mecánica que cuando hacemos una artrodesis TT aislada (Figura 3).

La artrodesis TTC no está igual de estudiada que la TT aislada en análisis de la marcha. Intuitivamente, la alteración de la marcha debería ser mayor en la artrodesis TTC que en la TT aislada. Chopra y Crevoisier estudiaron la marcha comparando 12 artrodesis TT aisladas, 12 artrodesis TTC y 12 controles, para encontrar que ambas cirugías resultaban en cambios significativos en la marcha, pero que la artrodesis TTC no empeoraba los resultados⁽⁸⁾. El grupo de la artrodesis TT aislada presentó una alteración significativamente mayor de la marcha en comparación con los controles en la fuerza máxima de contacto y en la distribución de cargas, con una asimetría mayor en 29 de los 48 parámetros estudiados, pero sin grandes diferencias respecto de la TTC. Una explicación para esta paradoja es la maximización de la movilidad mediotarsiana en el plano sagital cuando la ST está fijada en valgo (factor no controlable en la artrodesis TT aislada). Un estudio que comparaba directamente artrodesis TT aislada y artrodesis TTC en artrosis avanzada de tobillo mostró resultados sorprendentes⁽⁹⁾. Ambos procedimientos se asociaron con buenos pronósticos funcionales y de satisfacción del paciente. No se encontraron diferencias en el dolor, en la satisfacción ni en la vuelta al trabajo. Menos pacientes con una artrodesis TT aislada consiguieron la satisfacción deseada antes de la cirugía, algo que podría explicarse porque los pacientes del grupo de la TTC tenían peor situación preoperatoria y porque sus

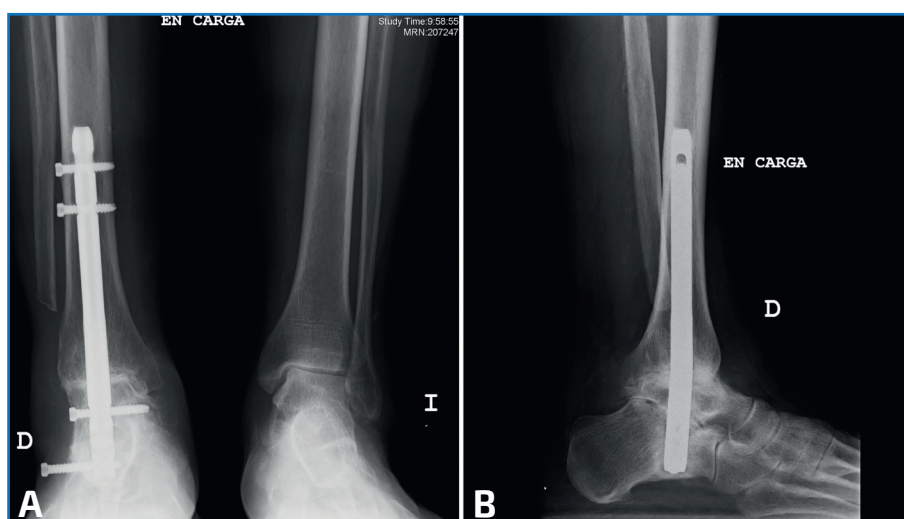


Figura 3. Radiografía en proyección anteroposterior de ambos tobillos en carga (A) que muestra una posición en varo de una artrodesis tibiotocalcánea. La proyección lateral (B) muestra los mismos signos de varización que se reseñaron en la Figura 1. El paciente manifestaba una rigidez importante en el conjunto tobillo-pie y una sobrecarga lateral con dolor en el quinto radio.

expectativas de mejora pudieran ser mayores. Un estudio reciente de Waly *et al.* ha encontrado que las mayores ganancias en dolor y función postoperatorios se consiguieron en los pacientes con peores situaciones basales (Ankle Osteoarthritis Scale –AOS–, Ankle Scoring Scale –AAS–, SF-36)⁽⁵⁾. Estos resultados con sesgo minimizan el papel atribuido a la ST en el éxito global después de una artrodesis de tobillo. La articulación ST no está preparada para compensar la pérdida de movilidad TT y se registra un pinzamiento articular en la región posterior de la faceta posterior de la ST que podría explicar la mayor incidencia de artrosis después de una artrodesis TT aislada⁽¹⁷⁾. Las articulaciones de Chopart sí están diseñadas para compensar esa falta de movilidad, porque el tríceps favorece su funcionamiento en el plano sagital. El factor de coherencia de los resultados presentados durante este capítulo reside en la movilidad sagital mediotarsiana, máxima tras una fijación ST en valgo y mínima con un desplazamiento de la ST en varo⁽⁶⁾. Otro parámetro indirecto de la traslación en varo de la ST tras una artrodesis TT aislada es el dolor por sobrecarga en el borde lateral del pie en el lado operado respecto del lado sano⁽⁴³⁾.

Otros factores para indicar una artrodesis TTC en lugar de una TT aislada en presencia de una

ST radiológicamente (que no funcionalmente) sana son: una técnica quirúrgica más fácil, menores complicaciones de heridas, mayores posibilidades en las vías de abordaje, carga postoperatoria más precoz, menor número de reintervenciones y la prevalencia de artropatía subclínica ST. Todo lo argumentado en este capítulo nos ha llevado a considerar en los últimos años la artrodesis TTC como nuestra técnica de elección frente a la artrodesis TT aislada en casos de artrosis avanzada de tobillo, independientemente del estado radiológico de la articulación ST.

Conclusiones

La artrodesis TT aislada es un buen tratamiento para la artrosis avanzada de tobillo sintomática que no mejora con tratamientos conservadores. Sin embargo, la progresión de la posición ST hacia el varo por acción del tríceps tras la artrodesis TT produce una alteración mecánica en la movilidad compensatoria mediotarsiana, llegando a bloquear el movimiento del mediopié en el plano sagital. Una ST en varo “radiológicamente sana” causa el bloqueo mediotarsiano, resultando en un pie rígido y menos funcional. Podemos evitar esta complicación mecánicamente indeseable mediante la fijación electiva y controlada de la ST en valgo simultáneamente a la artrodesis TT. La artrodesis TTC en buena posición permite el desarrollo de la mayor movilidad compensatoria en el plano sagital de las articulaciones mediotarsianas. Si asumimos esta situación mecánica, no sorprenden los mejores resultados en la función y en la marcha de los pacientes con una artrodesis TTC respecto de los pacientes con una TT aislada. Ninguno de los estudios presentados es concluyente de manera aislada sobre la superioridad de la TTC, pero todos juntos presentan

un marco atractivo para considerar a la artrodesis TTC superior a la TT aislada en pacientes con artrosis avanzada de tobillo, independientemente del estado radiológico de la ST.

Bibliografía

1. Ewalefo SO, Dombrowski M, Hirase T, Rocha JL, Weaver M, Kline A, et al. Management of Posttraumatic Ankle Arthritis: Literature Review. *Curr Rev Musculoskelet Med*. 2018 Dec;11(4):546-57.
2. Milstrey A, Domnick C, Garcia P, Raschke MJ, Evers J, Ochman S. Trends in arthrodeses and total joint replacements in Foot and Ankle surgery in Germany during the past decade-Back to the fusion? *Foot Ankle Surg*. 2021 Apr;27(3):301-4.
3. Coester LM, Saltzman CL, Leupold J, Pontarelli W. Long-term results following ankle arthrodesis for post-traumatic arthritis. *J Bone Joint Surg Am*. 2001 Feb;83(2):219-28.
4. Ling JS, Smyth NA, Fraser EJ, Hogan MV, Seaworth CM, Ross KA, Kennedy JG. Investigating the relationship between ankle arthrodesis and adjacent-joint arthritis in the hindfoot: a systematic review. *J Bone Joint Surg Am*. 2015 Mar 18;97(6):513-20. Erratum in: *J Bone Joint Surg Am*. 2015 May 6;97(9):e43.
5. Waly FJ, Yeo EMN, Wing KJ, Penner MJ, Veljkovic A, Younger ASE. Relationship of Preoperative Patient-Reported Outcome Measures (PROMs) to Postoperative Success in End-Stage Ankle Arthritis. *Foot Ankle Int*. 2020 Mar;41(3):253-8.
6. Maceira E, Monteagudo M. Subtalar anatomy and mechanics. *Foot Ankle Clin*. 2015 Jun;20(2):195-221.
7. Arno F, Roman F. The influence of footwear on functional outcome after total ankle replacement, ankle arthrodesis, and tibiototalcalcaneal arthrodesis. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2016 Feb;32:34-9. Erratum in: *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2016 Jun;35:132.
8. Chopra S, Crevoisier X. Bilateral gait asymmetry associated with tibiototalcalcaneal arthrodesis versus ankle arthrodesis. *Foot Ankle Surg*. 2021 Apr;27(3):332-8.
9. Ajis A, Tan KJ, Myerson MS. Ankle arthrodesis vs TTC arthrodesis: patient outcomes, satisfaction, and return to activity. *Foot Ankle Int*. 2013 May;34(5):657-65.
10. Takakura Y, Tanaka Y, Sugimoto K, Akiyama K, Tamai S. Long-term results of arthrodesis for osteoarthritis of the ankle. *Clin Orthop Relat Res*. 1999 Apr;(361):178-85.
11. Chan JJ, Chan JC, Poeran J, Zubizarreta N, Mazumdar M, Vulcano E. Surgeon Type and Outcomes After Inpatient Ankle Arthrodesis and Total Ankle Arthroplasty: A Retrospective Cohort Study Using the Nationwide Premier Healthcare Claims Database. *J Bone Joint Surg Am*. 2019 Jan 16;101(2):127-35.
12. Chopra S, Rouhani H, Assal M, Aminian K, Crevoisier X. Outcome of unilateral ankle arthrodesis and total ankle replacement in terms of bilateral gait mechanics. *J Orthop Res*. 2014 Mar;32(3):377-84.
13. Kim HJ, Suh DH, Yang JH, Lee JW, Kim HJ, Ahn HS, et al. Total ankle arthroplasty versus ankle arthrodesis for the treatment of end-stage ankle arthritis: a meta-analysis of comparative studies. *Int Orthop*. 2017 Jan;41(1):101-9.
14. Younger AS, Wing KJ, Glazebrook M, Daniels TR, Dryden PJ, Lalonde KA, et al. Patient expectation and satisfaction as measures of operative outcome in end-stage ankle arthritis: a prospective cohort study of total ankle replacement versus ankle fusion. *Foot Ankle Int*. 2015 Feb;36(2):123-34.
15. Wang Y, Li Z, Wong DW, Zhang M. Effects of Ankle Arthrodesis on Biomechanical Performance of the Entire Foot. *PLoS One*. 2015 Jul 29;10(7):e0134340.
16. Kirby KA. Methods for determination of positional variations in the subtalar joint axis. *J Am Podiatr Med Assoc*. 1987;77(5):228-34.
17. Sealey RJ, Myerson MS, Molloy A, Gamba C, Jeng C, Kalesan B. Sagittal plane motion of the hindfoot following ankle arthrodesis: a prospective analysis. *Foot Ankle Int*. 2009 Mar;30(3):187-96.
18. Morrey BF, Wiedeman GP Jr. Complications and long-term results of ankle arthrodeses following trauma. *J Bone Joint Surg Am*. 1980 Jul;62(5):777-84.
19. Sheridan BD, Robinson DE, Hubble MJ, Winson IG. Ankle arthrodesis and its relationship to ipsilateral arthritis of the hind- and mid-foot. *J Bone Joint Surg Br*. 2006 Feb;88(2):206-7.
20. Harrasser N, Gebhardt C, Südkamp NP, Schmal H, Walther M, Mehlhorn AT. Physical Performance and Quality of Life after Ankle Fusion. *Z Orthop Unfall*. 2020 Dec;158(6):611-7.
21. Glick JM, Morgan CD, Myerson MS, Sampson TG, Mann JA. Ankle arthrodesis using an arthroscopic method: long-term follow-up of 34 cases. *Arthroscopy*. 1996 Aug;12(4):428-34.
22. Vilá y Rico J, Mellado Romero MA, Iglesias Durán E. Arthrodesis artroscópica de tobillo. *Mon Act Soc Esp Med Cir Pie Tobillo*. 2014;6:25-31.
23. Winson IG, Robinson DE, Allen PE. Arthroscopic ankle arthrodesis. *J Bone Joint Surg Br*. 2005;87(3):343-7.
24. Zwipp H, Rammelt S, Endres T, Heineck J. High union rates and function scores at midterm followup with ankle arthrodesis using a four screw technique. *Clin Orthop Relat Res*. 2010 Apr;468(4):958-68.

25. Plaass C, Knupp M, Barg A, Hintermann B. Anterior double plating for rigid fixation of isolated tibiotalar arthrodesis. *Foot Ankle Int.* 2009 Jul;30(7):631-9.
26. Eylon S, Porat S, Bor N, Leibner ED. Outcome of Ilizarov ankle arthrodesis. *Foot Ankle Int.* 2007 Aug;28(8):873-9.
27. Salem KH, Kinzl L, Schmelz A. Ankle arthrodesis using Ilizarov ring fixators: a review of 22 cases. *Foot Ankle Int.* 2006;27(10):764-70.
28. Vaughan P, Gordon D, Goldberg A, Cullen N, Singh D. Patient satisfaction and function after bilateral ankle arthrodeses. *Foot Ankle Surg.* 2015 Sep;21(3):160-3.
29. Rahm S, Klammer G, Benninger E, Gerber F, Farshad M, Espinosa N. Inferior results of salvage arthrodesis after failed ankle replacement compared to primary arthrodesis. *Foot Ankle Int.* 2015 Apr;36(4):349-59.
30. Easley ME, Montijo HE, Wilson JB, Fitch RD, Nunley JA 2nd. Revision tibiotalar arthrodesis. *J Bone Joint Surg Am.* 2008 Jun;90(6):1212-23.
31. Levinson J, Reissig J, Schaheen E, Lee W, Park J. Complications and Radiographic Outcomes After Tibiotalocalcaneal Fusion With a Retrograde Intramedullary Nail. *Foot Ankle Spec.* 2021 Dec;14(6):521-7.
32. Patel S, Baker L, Perez J, Vulcano E, Kaplan J, Aiyyer A. Risk factors for nonunion following tibiotalocalcaneal arthrodesis: a systematic review and meta-analysis. *Foot Ankle Surg.* 2022 Jan;28(1):7-13.
33. Hopgood P, Kumar R, Wood PL. Ankle arthrodesis for failed total ankle replacement. *J Bone Joint Surg Br.* 2006 Aug;88(8):1032-8.
34. Kowalski C, Stauch C, Callahan R, Saloky K, Walley K, Aynardi M, Juliano P. Prognostic risk factors for complications associated with tibiotalocalcaneal arthrodesis with a nail. *Foot Ankle Surg.* 2020 Aug;26(6):708-11.
35. Lee BH, Fang C, Kunnasegaran R, Thevendran G. Tibiotalocalcaneal Arthrodesis With the Hindfoot Arthrodesis Nail: A Prospective Consecutive Series From a Single Institution. *J Foot Ankle Surg.* 2018 Jan-Feb;57(1):23-30.
36. Pitts C, Alexander B, Washington J, Barranco H, Patel R, McGwin G, Shah AB. Factors affecting the outcomes of tibiotalocalcaneal fusion. *Bone Joint J.* 2020 Mar;102-B(3):345-51.
37. Berson L, McGarvey WC, Clanton TO. Evaluation of compression in intramedullary hindfoot arthrodesis. *Foot Ankle Int.* 2002 Nov;23(11):992-5.
38. Carranza-Bencano A, Tejero S, Del Castillo-Blanco G, Fernández-Torres JJ, Alegrate-Parra A. Minimal incision surgery for tibiotalocalcaneal arthrodesis. *Foot Ankle Int.* 2014 Mar;35(3):272-84.
39. Mulhern JL, Protzman NM, Levene MJ, Martin SM, Fleming JJ, Clements JR, Brigido SA. Is Subtalar Joint Cartilage Resection Necessary for Tibiotalocalcaneal Arthrodesis via Intramedullary Nail? A Multicenter Evaluation. *J Foot Ankle Surg.* 2016 May-Jun;55(3):572-7.
40. Yoshimoto K, Fukushi JJ, Tsushima H, Kamura S, Miyahara HA, Mizu-Uchi H, et al. Does Preparation of the Subtalar Joint for Primary Union Affect Clinical Outcome in Patients Undergoing Intramedullary Nail for Rheumatoid Arthritis of the Hindfoot and Ankle? *J Foot Ankle Surg.* 2020 Sep-Oct;59(5):984-7.
41. Dujela M, Hyer CF, Berlet GC. Rate of Subtalar Joint Arthrodesis After Retrograde Tibiotalocalcaneal Arthrodesis with Intramedullary Nail Fixation: Evaluation of the RAIN Database. *Foot Ankle Spec.* 2018 Oct;11(5):410-5.
42. SooHoo NF, Zingmond DS, Ko CY. Comparison of reoperation rates following ankle arthrodesis and total ankle arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am.* 2007 Oct;89(10):2143-9.
43. Schuh R, Hofstaetter JG, Hofstaetter SG, Adams SB Jr, Kristen KH, Trnka HJ. Plantar pressure distribution after tibiotalar arthrodesis. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2011 Jul;26(6):620-5.