



UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

PROGRAMA DE POSGRADO EN ESPECIALIDADES MÉDICAS

**REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE NECROSIS AVASCULAR DE ASTRAGALO-
ARTRODESIS COMO MANEJO QUIRÚRGICO DEFINITIVO**

**Trabajo final de graduación sometido a la consideración del Comité de la
Especialidad en Ortopedia y Traumatología para optar por el grado de la
Especialidad de Ortopedia y Traumatología**

DR. ALEJANDRO FUENTES SALAZAR

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica

2024

Carta de aprobación del filólogo

Cartago, 19 de marzo de 2024

Los suscritos, Elena Redondo Camacho, mayor, casada, filóloga, incorporada a la Asociación Costarricense de Filólogos con el número de carné 0247, portadora de la cédula de identidad número 3-0447-0799 y, Daniel González Monge, mayor, casado, filólogo, incorporado a la Asociación Costarricense de Filólogos con el número de carné 0245, portador de la cédula de identidad número 1-1345-0416, ambos vecinos de Quebradilla de Cartago, revisamos el trabajo final de graduación que se titula: *REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE NECROSIS AVASCULAR DE ASTRAGALO-ARTRODESIS COMO MANEJO QUIRÚRGICO DEFINITIVO*, sustentado por Alejandro Fuentes Salazar.

Hacemos constar que se corrigieron aspectos de ortografía, redacción, estilo y otros vicios del lenguaje que se pudieron trasladar al texto. A pesar de esto, la originalidad y la validez del contenido son responsabilidad directa de la persona autora.

Esperamos que la participación de Filólogos Bórea Costa Rica satisfaga los requerimientos de la Universidad de Costa Rica.

X

Elena Redondo Camacho
Filóloga - Carné ACFIL n.º 0247

X

Daniel González Monge
Filólogo - Carné ACFIL n.º 0245

Agradecimientos

Agradezco al Sistema de Estudios de Posgrado de la Universidad de Costa Rica, por la oportunidad y privilegio de la especialidad.

A todos mis asistentes de ortopedia, que me impartieron conocimientos en el ámbito y sobre la vida a lo largo de este camino.

A mis compañeros de residencia a través de los años y a los colegas médicos generales con los que compartí y me guiaron, todos hicieron este proceso más ligero.

Dedicatoria

A mi abuela, Pacífica, pese a que ya no comparte físicamente con nosotros, siempre fue mi motivación para ser mejor y mi guía en todos los momentos difíciles.

A mi novia, Kiara, por su apoyo incondicional, por hacerme mejor a diario y recordarme respirar. Gracias por los sacrificios y la paciencia.



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA

SEP Sistema de
Estudios de Posgrado

Autorización para digitalización y comunicación pública de Trabajos Finales de Graduación del Sistema de Estudios de Posgrado en el Repositorio Institucional de la Universidad de Costa Rica.

Yo, Alejandro Fuentes Salazar, con cédula de identidad 206600536, en mi condición de autor del TFG titulado Revisión Bibliográfica de Necrosis Avascular de Astrágalo - Artrodesis como manejo quirúrgico definitivo

Autorizo a la Universidad de Costa Rica para digitalizar y hacer divulgación pública de forma gratuita de dicho TFG a través del Repositorio Institucional u otro medio electrónico, para ser puesto a disposición del público según lo que establezca el Sistema de Estudios de Posgrado. SI NO *

*En caso de la negativa favor indicar el tiempo de restricción: 0 año (s).

Este Trabajo Final de Graduación será publicado en formato PDF, o en el formato que en el momento se establezca, de tal forma que el acceso al mismo sea libre, con el fin de permitir la consulta e impresión, pero no su modificación.

Manifiesto que mi Trabajo Final de Graduación fue debidamente subido al sistema digital Kerwá y su contenido corresponde al documento original que sirvió para la obtención de mi título, y que su información no infringe ni violenta ningún derecho a terceros. El TFG además cuenta con el visto bueno de mi Director (a) de Tesis o Tutor (a) y cumplió con lo establecido en la revisión del Formato por parte del Sistema de Estudios de Posgrado.


FIRMA ESTUDIANTE

Nota: El presente documento constituye una declaración jurada, cuyos alcances aseguran a la Universidad, que su contenido sea tomado como cierto. Su importancia radica en que permite abreviar procedimientos administrativos, y al mismo tiempo genera una responsabilidad legal para que quien declare contrario a la verdad de lo que manifiesta, puede como consecuencia, enfrentar un proceso penal por delito de perjurio, tipificado en el artículo 318 de nuestro Código Penal. Lo anterior implica que el estudiante se vea forzado a realizar su mayor esfuerzo para que no sólo incluya información veraz en la Licencia de Publicación, sino que también realice diligentemente la gestión de subir el documento correcto en la plataforma digital Kerwá.


Este trabajo final de graduación fue aceptado por el comité de Programa de Estudios de Posgrado en Ortopedia y Traumatología de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar por el grado de Especialista en Ortopedia y Traumatología.

 10197

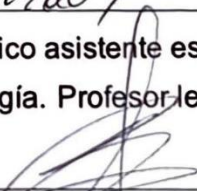
Dr. Roberto Ulloa González. Medico asistente especialista en Ortopedia y Traumatología. Profesor guía.



Dra. Rebeca Angulo Alvarado. Medico asistente especialista en Ortopedia y Traumatología. Profesor lector.

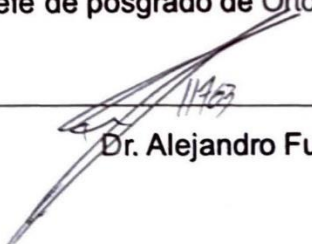
 14601

Dr. Gian Paolo Loo Fuchs. Medico asistente especialista en Ortopedia y Traumatología. Profesor lector.



Dr. Esteban Zamora Estrada. Medico asistente especialista en Ortopedia y Traumatología.

Jefe de posgrado de Ortopedia y Traumatología.

 11963

Dr. Alejandro Fuentes Salazar

Índice general

Introducción	9
Objetivos	10
Objetivo general	10
Objetivos específicos	10
Generalidades/antecedentes.....	10
Justificación	12
Delimitación periodo.....	13
Pregunta de investigación	13
Marco teórico	14
Definición	14
Historia natural de la necrosis avascular	17
Clínica y examen físico.....	22
Estudios radiológicos	24
Manejo.....	30
Manejo conservador.....	31
Manejo quirúrgico	34
Tratamientos quirúrgicos preservadores de articulaciones	35
Descompresión del núcleo	35
Injerto óseo vascularizado	37
Tratamientos quirúrgicos con sacrificio de articulaciones.....	39
Artroplastia de astrágalo total/parcial y artroplastia total de tobillo	39
Tratamiento de salvamento.....	42
Artrodesis.....	42
Ortobiológicos.....	47
Discusión	48
Conclusiones.....	51
Bibliografía.....	54

Lista de tablas

Tabla 1 Etapas de osteonecrosis de talo	28
Tabla 2 Clasificación de Hawkins de fracturas del cuello del talo.....	29

Resumen

La osteonecrosis avascular del talo es una enfermedad con una incidencia desconocida, que pese a que tiene causas traumáticas o atraumáticas el resultado resulta incapacitante. El manejo de la osteonecrosis a nivel del talo es complejo y toma múltiples variables en consideración. La artrodesis tibiotalocalcanea es una de las opciones quirúrgicas mejor estudiadas y cuyo objetivo es devolver función y recuperar calidad de vida al paciente.

Summary

The avascular osteonecrosis of the talus is a disease with an unknown real incidence, which despite having traumatic or atraumatic origins, the result is frankly disabling. The management of avascular osteonecrosis of the talus is a complex one and takes multiple factors into consideration. Tibiotalocalcaneal arthrodesis is one of the most studied surgical options and its objective is to return function and recover quality of life to the patient.

Introducción

La osteonecrosis avascular del astrágalo es una patología con múltiples etiologías, en algunos casos de aparición espontánea, sin embargo, aproximadamente 75 % de los casos son secundarios a lesiones traumáticas (Parekh y Kadakia, 2021). La necrosis avascular del astrágalo se presenta como una entidad compleja en su comportamiento, en su manejo y pese a no ser una patología frecuente implica una serie de complicaciones y limitaciones importantes a la vida del paciente con repercusiones en su vida diaria. Hasta el 75 % de los casos de necrosis avascular del astrágalo se presentan como secuelas de una lesión traumática, pero hasta un 25 % de los casos muestra etiología atraumática, lo que incluye el uso de esteroides, alcohol, hiperlipidemia, irradiación, trombofilia e idiopático (Gross *et al.*, 2016).

La necrosis avascular del talo ocurre en todo el cuerpo del talo y cuando este se presenta todo el cuerpo está extruido, pierde sus inserciones de tejido ligamentario o cuando su tratamiento se atrasa por tiempos prolongados (Martin Oliva y Viladot Voegeli, 2020). La incidencia de osteonecrosis avascular del talo después de fracturas del cuello del astrágalo es de 26 %, con un riesgo para osteonecrosis aun mayor conforme se presente mayor desplazamiento de la fractura.

La incidencia de la osteonecrosis del talo es de 0.1-2.5 % (Chou Loretta, 2014). En el ámbito nacional, dicha incidencia puede estar más elevada debido al aumento significativo en trauma de alta energía en miembros inferiores por accidentes de tránsito y caídas de altura a nivel personal y laboral.

Existen muchas opciones para el manejo de necrosis avascular, desde manejos conservadores hasta abordajes tipo salvamento, las cuales consisten en manejo no quirúrgico, manejo quirúrgico conservando la articulación, manejo quirúrgico de salvamento y manejo quirúrgico sacrificando la articulación. No existe un consenso que defina uno superior al otro (Gross *et al.*, 2016).

Objetivos

Objetivo general

Realizar una revisión bibliográfica de los últimos 10 años de necrosis avascular de astrágalo y su manejo con énfasis en la artrodesis.

Objetivos específicos

1. Conocer la fisiopatología de la necrosis avascular de astrágalo traumática y atraumática.
2. Descubrir la clínica de la necrosis avascular y sus signos tempranos y tardíos en estudios radiológicos.
3. Determinar la historia natural de la necrosis avascular del astrágalo.
4. Valorar la mejor opción quirúrgica para el manejo de la necrosis avascular de astrágalo.

Generalidades/antecedentes

El astrágalo o talo es uno de los huesos del retropié que forma parte de los huesos del tarso del pie. Dentro de los huesos del tarso se tiene el astrágalo, el calcáneo, el navicular, el cuboides y tres cuñas. El astrágalo se articula con el peroné y tibia a nivel de tobillo y el calcáneo y navicular a nivel del pie. Está conformado de 5 superficies articulares y el 70 % de su superficie está cubierta por cartílago articular (Parekh y Kadakia, 2021).

El astrágalo tiene la peculiaridad de que es un hueso que no presenta ningún tipo de unión tendinosa ni muscular, lo único que presenta son inserciones ligamentarias. Debido a ser una estructura ósea con pocas inserciones de tejidos blandos presenta una irrigación sanguínea primaria extraósea. Dicha circulación lo predispone a sufrir necrosis si existen injurias a los vasos circundantes, ya sea por trauma o patología intrínseca que afecte el sistema circulatorio.

En el estudio de Gelberman y Mortensen sobre irrigación del astrágalo en 1983 se identificó que la irrigación sanguínea del astrágalo tiene contribuciones de

los tres principales vasos del miembro inferior (Parekh y Kadakia, 2021). El talo presenta irrigación sanguínea de la arteria tibial anterior, la arteria tibial posterior y la arteria peronea. La arteria tibial anterior provee seis ramas, la arteria tibial posterior, por otra parte, provee tres ramas, mientras que la arteria peronea suministra dos ramas para irrigar este hueso.

Entre las tres arterias y sus ramas se crea una red de anastomosis compleja, la cual rodea el talo. La arteria tibial posterior se puede considerar la principal arteria del astrágalo a través de una de sus ramas, la arteria del canal del tarso, la cual se anastomosa con la arteria del seno del tarso (Prasarn *et al.*, 2010). La arteria del canal del tarso irriga de manera directa dos tercios del cuerpo del astrágalo.

Existen pequeñas contribuciones a través de ramas deltoideas de la arteria tibial posterior que irrigan un tercio medial del cuerpo del talo mientras la arteria del seno del tarso irriga el borde lateral del cuerpo del talo. La porción anteromedial del astrágalo la irriga de manera principal la arteria tibial anterior (Parekh y Kadakia, 2021).

Los estudios de resonancia magnética con gadolinio para estudiar la irrigación sanguínea del talo han mejorado su valoración y entendimiento, llegando a consenso en sus análisis que hasta un 47 % de la irrigación sanguínea de talo lo suministra la arteria tibial posterior, en el 75 % de los pacientes se identificó una rama del cuello del talo medial (Prasarn *et al.*, 2010) mientras que la arteria tibial anterior se encarga de la porción anteromedial del astrágalo.

Las lesiones del tobillo o el retropié tienen el riesgo de llevar a osteonecrosis avascular del astrágalo, en especial lesiones como las fracturas del cuello del talo. Todas las irrigaciones del talo son vulnerables a interrupciones del flujo sanguíneo por lesiones arteriales traumáticas, fracturas o patología médica. Es común que una fractura al cuerpo del astrágalo o el cuello de este pueda provocar una interrupción del flujo sanguíneo del talo, en específico en casos de fracturas desplazadas, la incidencia general de necrosis en fracturas de cuello del talo es de 26 % (Zhang *et al.*, 2022) y el 75 % de los casos de necrosis son secundarios a una fractura del talo. El riesgo de necrosis avascular aumenta en fracturas del cuello del talo en

correlación con mayor desplazamiento de la fractura. Sin embargo, la severidad de la lesión no se correlaciona con los resultados clínicos de la necrosis avascular postraumática (Zhang *et al.*, 2022).

Justificación

La osteonecrosis avascular del astrágalo es una patología que es posible apreciar en múltiples contextos y se presenta en pacientes con condiciones médicas como el lupus eritematoso sistémico o que están en control con esteroides como pacientes con patología autoinmune o incluso trasplantados y en el contexto nacional se ve en pacientes después de una luxación del astrágalo o fractura de astrágalo como una complicación de esta. La necrosis avascular traumática puede ser una complicación por el grado de desplazamiento y afección a la red de anastomosis en la lesión inicial o incluso por el tiempo prolongado para manejarla.

Una discapacidad empieza a presentarse conforme avanza la enfermedad en su historia natural desarrollando una artritis que puede ser leve hasta severa. Una vez instaurada una artritis severa junto con el colapso del domo del astrágalo se presentan más limitaciones para los pacientes que muestran dolor por la artritis de tobillo, deformidad del retropié por el colapso del domo del talo, afección de los tejidos blandos con pinzamientos de ligamentos, cambio en los puntos de apoyo y alteración de la marcha.

Esta revisión con énfasis en los manejos de la necrosis avascular servirá como guía para abordar el manejo de la necrosis del paciente según la etapa de la patología donde se presenta y toma en cuenta la artrodesis como manejo definitivo sobre el resto de los manejos quirúrgicos presentes. El manejo conservador de la necrosis avascular del talo es de gran utilidad y exitoso, pero con la limitante que solo es útil en pacientes que están iniciando la patología y requiere de una sospecha clínica para identificar el paciente en sus etapas iniciales. Existen múltiples procedimientos quirúrgicos con tasas de éxito elevadas si se elige el manejo óptimo para la etapa de necrosis y las comorbilidades del paciente.

El manejo adecuado de una necrosis avascular del astrágalo consiste en mejorar el dolor del paciente de manera significativa y lograr una mejoría de las escalas funcionales con un manejo integral y educación del paciente. La artrodesis como manejo quirúrgico definitivo de salvamento logra, en ocasiones, optimizar el estado de un paciente que se encuentra en discapacidad a convertirse en un paciente funcional y rehabilitarse a la sociedad para sus funciones básicas y funcionales nuevamente.

Delimitación periodo

El estudio establece una revisión de artículos de necrosis avascular de astrágalo, anatomía, manejo y resultados para el periodo 2010-2023.

Pregunta de investigación

¿Es la artrodesis tibiotarso calcánea un manejo quirúrgico óptimo para pacientes con osteonecrosis avascular del talo en etapas avanzadas?

Marco teórico

Definición

La osteonecrosis se define como la muerte del hueso en cualquier parte del cuerpo. Se trata de osteonecrosis cuando la muerte del hueso se da en la epífisis o equivalentes y se denomina infarto medular cuando sucede en la diáfisis o metáfisis. La mayoría de las osteonecrosis resultarán en el colapso de una superficie articular y es el resultado de una injuria que resulta de la alteración del flujo sanguíneo al hueso afectado (Davis y Blankenbake, 2018).

La necrosis avascular del astrágalo es una patología que resulta de una interrupción temporal o permanente del flujo sanguíneo del talo que pasará por varias etapas de necrosis y eventual artrosis. A nivel del talo la necrosis avascular no es tan común como la necrosis avascular de la cabeza femoral, pero es una patología debilitante y dolorosa para los pacientes que sufren de esta. La etiología de la necrosis avascular suele ser idiopática, no obstante, hay factores de riesgo como el trauma, alcoholismo y el uso de esteroides (Zhang *et al.*, 2022).

La necrosis avascular del astrágalo puede resultar en un colapso estructural del retropié, artrosis tibiotalar o artrosis subtalar, pérdida de la función del tobillo y dolor crónico (Tenenbaum *et al.*, 2015). El retropié sufrirá cambios a nivel óseo por la pérdida de la estructura del talo, con su colapso del domo, junto con artrosis que degenera la articulación y modificaciones en el ámbito de piel conforme se deforma la estructura ósea, lo que genera cambios en el patrón de la marcha.

El astrágalo es irrigado por las tres arterias principales del miembro inferior. Además, tiene ramas de la arteria tibial anterior, arteria tibial posterior y la arteria peronea que forman una red de anastomosis compleja debido a que es un hueso que no presenta inserciones de tejidos blandos.

Las arterias tibiales anterior, tibial posterior y la arteria peronea son las ramas principales de la arteria poplítea, estas mismas son las que se encargan de suministrar el flujo sanguíneo al pie y tobillo. Cada una de estas arterias, por

consiguiente, proveerá múltiples ramas que formarán la red vascular perióstica e intraósea del astrágalo. La mayoría del astrágalo está conformado de cartílago, el suministro de sangre es limitado por ser una superficie articular, lo cual limita la entrada de vasos perforantes (Haskell, 2019). La mayor parte de la irrigación sanguínea entra a través de la región del cuello del astrágalo por medio del seno del tarso y el canal del tarso, pero también mediante la superficie medial por debajo del maléolo medial y la tuberosidad posterior (Prasarn *et al.*, 2010).

Al realizar una división del hueso del talo en cuatro cuadrantes, se puede apreciar que la arteria tibial posterior irriga como principal rama todos los cuadrantes excepto por la porción anteromedial que se ha visto que su irrigación principal proviene de una rama de la arteria tibial anterior (Miller *et al.*, 2011). La arteria tibial posterior es la principal arteria encargada de irrigar el talo por medio de la arteria del canal del tarso que alimenta hasta dos tercios del cuerpo de este. Los análisis recientes con base en imágenes de resonancia magnética muestran que el 47 % de todo el soporte vascular del talo está dado por esta arteria (Parekh y Kadakia, 2021).

La arteria tibial anterior al llegar al tobillo se convierte en la arteria dorsal pedia, lo que genera ramas proximales y distales. Incluso se observó que hay una rama que comunica con la arteria perforante peronea y seis ramas irrigan de manera directa el astrágalo.

La arteria tibial posterior, por otro lado, genera una irrigación directa de cuatro ramas al astrágalo, pero en estudios cadavéricos con gadolinio se evidenció que hay importante variabilidad con respecto a donde nace cada una de estas ramas (Prasarn *et al.*, 2010). Existe una red de anastomosis entre la arteria peronea y la arteria tibial posterior cerca de la tuberosidad posterior del talo, siendo de relevancia que la arteria del canal del tarso se una a la arteria del seno del tarso en el canal del tarso y penetra la estructura ósea del talo a dicho nivel.

Por otra parte, hay una red entre la arteria tibial posterior y anterior cerca del cuello del talo en el ámbito de la superficie medial y superior por medio de la arteria deltoidea y varias ramas mediales de la arteria tibial anterior. En estudios recientes

con resonancia magnética se evidencia que hay una rama de la arteria tibial posterior que directamente irrigará el cuello del talo medial (Prasarn *et al.*, 2010).

La arteria peronea, por otro lado, crea una red de anastomosis con la arteria tibial anterior y genera dos ramas mientras que múltiples pequeñas ramas posteriores se forman cerca de la tuberosidad posterior del talo, las cuales se anastomosan con las ramas de la arteria tibial posterior. La arteria peronea perforante crea un circuito con la arteria maleolar anterolateral y contribuye a la arteria del seno del tarso en la mayoría de los casos (Prasarn *et al.*, 2010).

La necrosis avascular del talo se produce cuando existe una interrupción del flujo sanguíneo al talo. Dicha osteonecrosis puede ser secundaria a múltiples etiologías, donde la característica más frecuente es encontrar un flujo sanguíneo precario o interrumpido que implica la muerte del hueso circundante. La mayoría de los pacientes en sus etapas iniciales/precolapso se encuentran asintomáticos y sin una sospecha muy elevada es difícil diagnosticarlos. La meta del manejo de la osteonecrosis es detener la progresión de la enfermedad o retrasar la artritis final.

La mayoría de los casos de osteonecrosis se relacionan con causas traumáticas, lo cual equivale a un 75 % de los casos de los cuales un 90 % está asociado a fracturas del cuello del talo (Parekh y Kadakia, 2021). Al tomar en consideración que la mayoría del trauma, hasta un 50 %, involucra su cuello (Gross *et al.*, 2016), esto genera que exista un riesgo elevado de necrosis avascular en estos pacientes y se requiere un monitoreo cercano.

El 25 % de los casos se debe a etiología atraumática que puede variar desde el uso de esteroides, alcoholismo, hiperlipidemia, irradiación en la zona anatómica, trombofilias, enfermedades inflamatorias sistémicas como el lupus eritematoso sistémico o enfermedades que afecten el flujo de la sangre como la anemia de células falciformes. Existe una porción de los casos no traumáticos donde no hay una causa clara o evidente, por lo que se consideran idiopáticos (Parekh y Kadakia, 2021).

Historia natural de la necrosis avascular

La historia natural de la necrosis avascular del astrágalo resulta útil de comprender para valorar en cuáles pacientes se puede prevenir una intervención innecesaria en alguien que puede mejorar o incluso prevenir un manejo conservador prolongado en un paciente que no tiene mejoría en dicho manejo. Por ende, es vital reconocer las consecuencias de la inacción para guiar las decisiones clínicas con base en los riesgos y beneficios de las intervenciones que hay de disponibilidad. La mayoría del tiempo los síntomas no se correlacionan con el estadiaje de la enfermedad (Haskell, 2019).

El estadiaje de la enfermedad se basa en la clasificación de Ficat y con frecuencia es un reflejo de la progresión de esta en cuanto a hallazgos patológicos y para guiar el manejo. La clasificación de Ficat es la que más se utiliza en el ámbito mundial y ha sido revisada a través de los años con el uso de modalidades de imágenes más nuevas. Su escala va de estadio 0, considerado preclínico, a estadio IV que es una franca osteoartrosis de la articulación.

La verdadera incidencia y prevalencia de la necrosis avascular de astrágalo se desconoce, en su mayor medida por la presentación tardía de los pacientes al consultar, lo cual es frecuente. La mayoría del tiempo los artículos se basan en casos clínicos y estudios con pocos pacientes.

La necrosis avascular del talo es una patología relativamente rara y consiste en menos del 2 % de todos los casos sintomáticos de necrosis avascular; la mayoría del tiempo clasificados en dos grupos, los casos traumáticos y los casos atraumáticos. Pese a que se identificaron factores de riesgo en casos no traumáticos, no hay evidencia de que ninguno sea exclusivamente causante y que su presencia sea prerrequisito para el desarrollo de la patología. En este caso desempeña un papel importante la predisposición genética del paciente, los factores de riesgo asociados y las condiciones médicas de base.

A nivel de la fisiopatología de la necrosis avascular se evidencia como resultado del proceso la muerte masiva de hueso en las zonas de necrosis. Sin

embargo, es posible encontrar zonas de necrosis de hueso en patologías como infecciones, osteoartritis, fracturas, osteocondritis disecantes y tumores. Por lo tanto, es importante reconocer los cambios y diferenciarlos de estas patologías por medio de observaciones microscópicas. Existe evidencia microscópica de avance de la necrosis cuando hay una conversión prematura de médula ósea a médula ósea amarilla, resorción ósea, reemplazo de tejido por tejido de granulación y edema en la médula y la esclerosis en los márgenes de hueso sano (Haskell, 2019).

El aumento de esclerosis y las regiones con mezclas de hueso lítico y esclerótico son características de necrosis ósea en el ámbito de radiográfico. Conforme la patología hace su progreso y eventual colapso de hueso estructural se hacen claras particularidades que indican esta progresión y se debe anotar y observar en los controles que se llevan a los casos de sospecha de necrosis. El colapso subcondral junto con el signo de luna creciente seguido de un colapso estructural evidente y poco después inicia los cambios de artritis en las articulaciones cercanas.

El signo de Hawkins es vital tenerlo presente al estar evolucionando casos de osteonecrosis avascular. El signo de Hawkins tiene una sensibilidad de 100 % al detectar irrigación vascular en el talo después de un trauma y sugiere restauración y viabilidad ósea, pero su ausencia no indica ni garantiza el desarrollo de osteonecrosis avascular. Además, consiste en la evidencia de una osteopenia subcondral en el domo del talo en las radiografías luego de un trauma, usualmente se hace presente a las 6 o 12 semanas después de una fractura de cuello del talo y se da por una osteopenia por desuso mediada por osteoclastos.

Existen dos grandes grupos mencionados, los casos de necrosis avascular postraumática y atraumáticos. La necrosis avascular de talo postraumática es la principal causante y forma hasta el 75 % de los casos. La lesión precursora más frecuente consiste en una fractura desplazada del cuello del talo, pero otras lesiones en la zona del retropié y tobillo pueden ser precursoras. No hay una correlación con edad, ya que suele ser variable y es más frecuente en hombres y de manera unilateral.

La clasificación de Hawkins de la cual se discute más en estudios radiológicos ayuda a guiar y tener un margen de riesgo de desarrollar una necrosis avascular. Esta escala asociada con el desplazamiento del hueso en fractura de cuello del talo y lesión de tejidos blandos circundantes da una escala de grados en aumento. Conforme aumenta el grado y el desplazamiento incrementa el riesgo de osteonecrosis. Cuando se tiene una lesión Hawkins I existe un riesgo de necrosis avascular de 0 % al 13 % y cuando hay una lesión grado III el riesgo se eleva de 50 %-91 % (Chen *et al.*, 2014).

El riesgo de osteonecrosis avascular del talo aumenta conforme incrementa el grado de desplazamiento y daño al tejido blando en el trauma que se correlaciona con el grado y tiempo de interrupción del flujo sanguíneo en el momento inicial del trauma. Actualmente, existe evidencia de que el tiempo de la reducción o la fijación quirúrgica no se relaciona con un riesgo elevado de necrosis avascular (Buckwalter *et al.*, 2017). La irrigación sanguínea del talo es limitada por tener parte de su superficie compuesta de cartílago limitando los vasos perforantes a la región del cuello del talo por medio del seno del tarso y el canal del tarso.

La severidad de la lesión no explica en su totalidad la historia natural de la necrosis avascular en procesos traumáticos. Incluso se desconoce por qué existen pacientes con grados similares de desplazamiento de lesión inicial, pero con resultados completamente diferentes.

La necrosis avascular del talo atraumática, por lo general, está asociada a alguna forma sistémica de osteonecrosis relacionada con varios medicamentos, alcoholismo o enfermedades sistémicas que aumentan el riesgo de osteonecrosis avascular no solo en el talo. El hueso más afectado suele ser la cabeza femoral en casos de osteonecrosis avascular y hay abundante evidencia y estudios con respecto a esta zona anatómica. La naturaleza sistémica de la lesión puede llevar a afectar múltiples articulaciones y puede ser bilateral incluso en un 54 % de los casos, lo que afecta más a mujeres que hombres en este caso (Haskell, 2019).

La patogénesis de la necrosis avascular atraumática no se entiende completamente, ya que puede ser multifactorial y tener múltiples caminos que

impliquen la pérdida de flujo sanguíneo. Existen muchas patologías que pueden asociar una necrosis avascular del talo, por lo que hay vasos que tienen la posibilidad de estar ocluidos por émbolos de grasa, eritrocitos falciformes, burbujas de nitrógeno, trombosis en estados de hipercoagulabilidad o compresión extrínseca por el aumento de presión de compartimento extraluminal.

Los esteroides orales están con frecuencia asociados a necrosis avascular, correlación con ambos sus dosis y duración, lo que aumenta el riesgo de necrosis. Al riesgo estar relacionado con la dosis y la duración del esteroide, lo que incrementa el riesgo y severidad de la osteonecrosis, implica que está asociada con el uso único del esteroide y el riesgo aumenta con cada uso por la frecuencia del uso del medicamento. Existe la teoría que puede haber una lesión en vías de reparación que se ve abrumada por el aumento de uso y dosis del esteroide.

Asimismo, existen muchas incertidumbres con respecto a la necrosis avascular atraumática, ya que hay casos de pacientes que hacen necrosis avascular con solo el uso de corticosteroides en los primeros 6 meses mientras algunos pueden utilizarlo por años sin cambios. Hay una correlación con el metabolismo de los lípidos y el uso de estatinas que produce un efecto protector en pacientes que usan esteroides. En el caso de pacientes de trastornos de coagulación puede verse disminuirse el riesgo de progresión de necrosis avascular con el uso de heparinas de bajo peso molecular (Haskell, 2019).

La necrosis avascular del talo no tiene una historia natural establecida debido a que su incidencia se considera rara, es una patología que no es frecuente y, en algunos casos, sin una sospecha clínica elevada es difícil de diagnosticar temprano. La patología puede ser mal diagnosticada en muchos casos o pasarse por alto, sin considerarla un diagnóstico diferencial. Existen pacientes considerados en un riesgo alto de progresión rápida de la patología (Choi *et al.*, 2024) y hay estudios que sugieren una relación cercana en la progresión de la necrosis entre la localización y el tamaño de la necrosis avascular.

En un estudio reciente de Choi *et al.* (2014) de la Universidad de Bundang en Seúl se diferenciaron los pacientes en grupo como aquellos que progresan en la

necrosis y los que no progresan en la necrosis avascular con base en la escala de Ficat durante el periodo de seguimiento. En el estudio se realizó una categorización de la zona de necrosis avascular en los sitios que se denominan los *hombros del talo* y el *centro del domo del talo*. Las lesiones en el centro del domo del talo se identificaron como lesiones necróticas en el centro del domo sin afectar los bordes, sin que la necrosis afectara el plafón de la tibia y manteniéndose en la articulación tibiotalar. Las lesiones consideradas en el hombro del talo eran necrosis avascular en los bordes u hombros medial y lateral del talo, afectando de excéntrica los bordes a los lados del talo y extendiéndose al domo (Choi *et al.*, 2024).

Durante el estudio, 22 pacientes progresaron en su patología mientras que 12 no lo hicieron. Mediante un análisis logístico de regresión multivariable se concluye que donde se localiza la lesión es el único factor determinante para demostrar un avance de la destrucción articular y progresión. La afectación de la necrosis en la zona del codo del talo es el único factor de riesgo para progresión a un colapso del talo y cambios de artritis subsecuentes (Choi *et al.*, 2024).

Anteriormente, se hizo hincapié sobre lo infrecuente que es la necrosis avascular, razón por la cual hace que sea difícil ofrecer un manejo único y los resultados, en muchas ocasiones, son inciertos. La historia natural desconocida y los factores agravantes de la patología hacen que valorar la eficacia del tratamiento en todos los casos sea difícil al desconocer cuál paciente está en riesgo de avanzar y cuál es probable que detenga la enfermedad con manejos conservadores o menos invasivos.

La injuria vascular con interrupción del flujo sanguíneo al talo se cree que es la causa principal de osteonecrosis avascular. Sin embargo, el factor inicial puede variar drásticamente y puede ser afectado por la predisposición genética, factores de riesgo asociados y condiciones médicas preexistentes. Existe una sospecha de que la localización específica de la lesión osteonecrótica en el talo sea el factor de riesgo más significativo para el avance de la necrosis (Choi *et al.*, 2024). Los factores como el trauma o comorbilidades médicas no se correlacionaron con progresión a colapso estructural y artrosis.

El flujo sanguíneo al centro de la porción del domo del talo es mayor que el flujo a los bordes medial y lateral del domo y correlaciona de manera directa por qué la mayoría de las lesiones de necrosis son en los bordes u hombros del talo. El mayor contacto de la articulación del tobillo es sobre los márgenes laterales del talo en lugar de la región central en el domo del talo. El contacto sobre los bordes laterales en la movilización del tobillo con la mayor afección del flujo siendo en los bordes laterales del talo corrobora que la mayoría de las lesiones en los hombros del talo progresa a colapso estructural y posterior artritis.

Clínica y examen físico

La clínica y el examen físico del paciente con osteonecrosis avascular del talo es variable, lo cual genera que dependa de la etapa de la enfermedad en la que se encuentra en ese momento. El primer paso requiere tener la sospecha de la patología, ya que en muchos casos puede pasar sin diagnosticarse. Los pacientes, por lo general, tienen una historia de dolor o molestias en la cara anterior de tobillo al apoyar (Parekh y Kadakia, 2021). La calidad del malestar y la localización deben identificarse siempre. Generalmente, el dolor que se presenta es crónico y empeora con el paso del tiempo. Al inicio de la patología tienen una marcha normal, sin embargo, en ocasiones esta se convierte en una marcha antiálgica y en casos más severos incluso se necesita el uso de aditamentos para asistir su marcha.

Durante la entrevista es vital valorar si existe una historia de trauma o de cirugías previas en la región de pie y tobillo. En caso de no existir historia de un trauma claro, también son importantes los antecedentes personales de patologías y medicamentos que esté utilizando, así como historia de medicamentos previos. Las patologías que aumentan los factores de riesgo de osteonecrosis como el lupus eritematoso sistémico, la anemia de células falciformes y el uso de esteroides son importantes detalles que tomar en consideración con la patología. Si existe una historia de dolor e impotencia funcional a lo largo de meses después de un trauma, esto guía más hacia una necrosis avascular (Gross *et al.*, 2016).

En el examen físico del paciente en el que se sospecha una osteonecrosis avascular debe valorarse bien el pie por cicatrices de incisiones previas por cirugías

anteriores. Al valorar el tobillo y pie es importante estimar los arcos de movilidad en especial de las articulaciones tibiotalar y subtalar del pie afectado y el contralateral sano. El hecho de realizar maniobras de provocación es necesario para el dolor en el arco de movilidad de esa articulación y si hay alguna restricción de movimiento cuando hay cambios de artritis (Gross *et al.*, 2014).

La exploración del estado neurovascular es esencial y siempre deben tomarse en cuenta datos sugestivos o signos que indiquen una vasculopatía o estasis venosa, además de la sensación. En muchos casos el pie solo presenta irrigación de un único vaso principal que genera un pobre flujo sanguíneo distal y como tal predice una cicatrización precaria y complicaciones de la herida quirúrgica.

Durante la exploración se debe anotar siempre la posición del pie. En los casos donde hay antecedente de trauma con fractura a nivel del cuello del talo se observa con frecuencia una mala unión del cuello del talo en varo. La marcha, por lo general, debe analizarse, ya que no solo existe una marcha antiálgica, sino la mecánica de la marcha está limitada si hay colapso o artrosis que limite los arcos de movilidad del tobillo.

Posteriormente, todo el tiempo valorar si hay una mala alineación del retropié en varo o valgo al ver el paciente de frente y por detrás en la consulta. La movilidad del retropié debe valorarse para guiar y determinar si es necesario tomar en cuenta la articulación subtalar (Parekh y Kadakia, 2021). Si existe algún tipo de deformidad de mal alineamiento del miembro afectado, esta debe valorarse para tener resultados óptimos con el manejo o igual que la discrepancia de miembros inferiores por el colapso del talo que no genera acortamiento de miembros.

La mayoría de las personas pacientes con osteonecrosis avascular del talo se presentan con dolor significativo y una limitación que según la lesión puede ser progresiva y afectar de manera negativa su vida diaria. Aproximadamente un 50 % de los casos pierde funciones de sus actividades de la vida diaria y hasta un 75 % pierde funciones que se relacionan con tareas deportivas (Sharma *et al.*, 2022), ya sea porque del todo no logran realizar actividades o estas se convierten en tareas con dificultad moderada o extrema. Además, existe hasta un 25 % de los pacientes

que incluso después del manejo de la enfermedad muestran problemas para desarrollar actividades tan simples como dormir y su cuidado personal (Sharma *et al.*, 2022).

Estudios radiológicos

Como respuesta a la privación de oxígeno en el talo después de que sucede una interrupción de flujo sanguíneo al mismo se sabe que el hueso afectado pasará a proceso de reparación por medio de reosificación y revascularización y absorción de hueso necrótico (Couturier y Gold, 2019). Este procedimiento se puede observar en las radiografías y se puede considerar un proceso predecible en casos de osteonecrosis avascular.

Todo paciente con datos de osteonecrosis requiere radiografías de tobillo con apoyo en múltiples incidencias. Durante el análisis de las radiografías se evidencian diferentes características que hacen sospechar de osteonecrosis como la esclerosis del astrágalo, una malunión, una no unión o datos de colapso del domo del astrágalo (Gross *et al.*, 2016). El examen de la articulación tibiotalar es requisito para definir el manejo, se debe valorar si existen datos de gradas articulares o sugestivos de artritis en la articulación. La exploración de articulaciones cercanas también es necesaria para precisar el manejo utilizando incidencias adicionales del pie y tobillo y ver si hay evidencia de cambios degenerativos o mal alineamiento de dichas articulaciones para tomar en consideración en el planeamiento quirúrgico.

La osteonecrosis avascular del astrágalo en radiografías iniciales de manera temprana tiende a ser radiológicamente oculta. En estudios tempranos la radiografía enseñará huesos con datos de radiopacidad similar. Se considera que los retrasos entre el daño vascular y la presencia de signos en las radiografías se correlaciona con la fisiopatología de la necrosis avascular debido a que la lesión inicial provocará una hiperemia en el hueso afectado que posteriormente lleva a resorción ósea y una osteopenia relativa.

La osteopenia en este caso se vuelve más evidente en el ámbito radiológico por la resorción que crea un mayor contraste con el hueso necrótico que se aprecia

denso y esclerótico. El hueso necrótico no puede ser reabsorbido por el flujo sanguíneo ineficiente y empieza un proceso de reosificación por debajo de las trabéculas del hueso necrótico creando una esclerosis típica de la necrosis avascular (Couturier y Gold, 2019) y un reborde radiolúcido en las zonas circunferenciales a la necrosis inicial.

En la mayoría de los casos, las radiografías subestiman el daño articular existente o la calidad del *stock* óseo disponible para trabajar. Se obtienen datos sobre la angulación en varo o acortamiento y extensión del cuello del astrágalo utilizando una incidencia oblicua del talo. El uso de estudios de tomografía axial computarizada debe ser rutinario para estudiar el talo en casos donde se ha colocado material de osteosíntesis y para evidenciar el trazo de la fractura, la calidad ósea y los cambios postraumáticos presentes en la superficie articular (Gross *et al.*, 2016).

La tomografía axial computarizada ayuda a identificar la extensión de la necrosis avascular y valorar zonas de colapso estructural temprano. En etapas iniciales de la osteonecrosis, el TAC no demostrará mayores cambios por las mismas razones discutidas previamente, pero la reabsorción de hueso sano se evidencia como imagen hipodensa y un descenso en las unidades de Hounsfield, mientras que el hueso de reosificación debajo de las trabéculas de hueso necrótico se ve como esclerosis y un aumento de unidades de Hounsfield (Couturier y Gold, 2019).

La resonancia magnética y el TAC se requieren para una evaluación extendida de la enfermedad y su proceso y hacer un planeamiento quirúrgico. En estudios de resonancia magnética es posible observar el nivel de afección y localización de afección del talo que lo que usualmente se puede lograr por medio de radiografías. La resonancia magnética nuclear debe considerarse en todo paciente en el que se tiene un riesgo elevado y una sospecha clínica elevada con radiografías sin evidencia de necrosis o incluso debe ser considerado realizarse en pacientes con historia de trauma y signo de Hawkins negativo (Haskell, 2019).

La resonancia magnética es una de las técnicas más sensibles para detección de osteonecrosis avascular y guía para cuantificar la extensión de la lesión. Asimismo, ofrece información esencial como el sitio de la lesión, el tamaño del segmento afectado, ayuda a valorar la presencia de fracturas asociadas y la integridad del cartílago de la superficie articular y hueso subcondral. Estos factores afectarán de manera subsecuente las decisiones de manejo de la necrosis avascular del talo, lo que incluye la viabilidad de efectuar una descompresión, injertos óseos, artrodesis o reemplazo articular. Al considerar una resonancia magnética en el pie, es necesario obtener imágenes del pie en el plano axial oblicuo paralelo al eje de los metatarsos y en el plano sagital oblicuo con el pie en 20° de flexión plantar (Couturier y Gold, 2019).

En una etapa inicial, cuando aún no hay cambios en las radiografías, por medio de resonancia magnética se observan vacuolas de lípidos en adipocitos de la médula ósea que persisten incluso después de la muerte celular. Existe evidencia de modificaciones escleróticas en los márgenes de la lesión, seguidos por el aumento de la señal de T2 en el borde interno de la lesión y disminución de la señal en su reborde, seguido de extensión de hiperintensidad en T2 de la lesión y, finalmente, una disminución de ambas señales que define mejor la lesión.

El edema de médula ósea es la primera señal valorable en la resonancia magnética y se valora como una imagen hipointensa en T1 e hiperintensa en T2. Aunque históricamente se correlaciona con la muerte isquémica de células sanguíneas, vasos capilares y adipocitos junto con el aumento de líquido extracelular dentro del hueso, existen muchas causas de edema en el hueso. La señal de edema medular es un hallazgo no específico y es importante hacer un diagnóstico diferencial antes de considerarlo un signo temprano de necrosis avascular. La presencia de edema de médula subcondral y subcortical se estabiliza alrededor de las 18 semanas después sin presentarse dolor o clínica sugestiva de patología (Pearce *et al.*, 2005), por lo que su interpretación debe tomarse con cuidado.

El uso de gadolinio intravenoso ayuda a tener una mejor evaluación de la extensión del hueso infartado. Sin embargo, no es necesaria excepto en casos donde hay una sospecha alta de complicación del material de osteosíntesis secundario a una infección (Couturier y Gold, 2019).

Al tratar con un paciente que ya tuvo material de osteosíntesis colocado, la resonancia magnética solo resulta de utilidad cuando se ha removido el material debido a la gran cantidad de artefacto que se puede generar por los implantes colocados. En situaciones donde retirar el material de osteosíntesis no es viable, aún se puede intentar disminuir el artefacto provocado por el material con el uso de secuencias de eco espín rápido y recuperación de inversión de tau corta (*fast spin echo* y *short tau inversion recovery*, conocida como STIR). Ambas secuencias disminuyen la cantidad de artefacto producido por material metálico en comparación con las secuencias de eco de gradiente y de saturación de grasa selectiva. En los casos con mucho material de osteosíntesis en lugar, se sugiere el uso de resonancia magnética multiespectral.

La necrosis avascular del talo se presenta en la resonancia entonces como imágenes en T1 hipointensas mientras que en T2 son variables según el contenido de la región afectada por la necrosis. La presencia del signo de la *doble línea*, considerado patognomónico de osteonecrosis avascular, es la representación de un borde entre hueso viable y no viable, pero no es un signo común (Zhang *et al.*, 2022). El signo de la doble línea se observa mejor en imágenes de T2 al tener un borde hipointenso externo consistente con esclerosis y fibrosis mientras el borde interno hiperintenso en correlación con tejido de granulación. Este signo, sin embargo, es más infrecuente encontrar en pie y tobillo en comparación con el humero o la cabeza del fémur.

La gammagrafía ósea se utiliza en el diagnóstico temprano, donde se evidencia un aumento de actividad osteoblástica y flujo sanguíneo aumentado en etapas iniciales. No obstante, conforme avanza la patología se ve disminución de actividad en el centro de zonas osteonecróticas (Haskell, 2019).

La osteonecrosis avascular del talo utiliza el sistema de estadiaje de Ficat para describir y clasificar las múltiples etapas de la osteonecrosis. Se basa en la misma clasificación de Ficat que se emplea para la osteonecrosis avascular de cabeza femoral utilizando estudios radiológicos. La clasificación de Ficat ayuda a apreciar lo severo de la enfermedad y determinar el manejo por seguir. La importancia del sistema de clasificación de Ficat radica en que ayuda a diferenciar entre osteonecrosis con o sin colapso del domo del talo (Parekh y Kadakia, 2021).

Tabla 1
Etapas de osteonecrosis de talo

Etapas	Hallazgos radiográficos	Hallazgos RMN
Etapa I	Normal	Edema leve óseo
Etapa II	Esclerosis y lesiones quísticas	Área definida de osteonecrosis
Etapa III	Signo medialuna con colapso subcondral	Edema difuso alrededor de osteonecrosis
Etapa IV	Cambios de artritis tibiotalar, disminución de espacio articular, formación osteofitos	Disminución/pérdida de cartílago y edema de plafón tibial

Nota. Clasificación de Ficat para osteonecrosis avascular de astrágalo.

El sistema de estadiaje consta de cuatro etapas, cada una relacionada con hallazgos en estudios radiológicos. En este caso, se toma en cuenta el uso de radiografías convencionales y resonancia magnética nuclear. En la etapa I se presenta una enfermedad temprana, sin datos sugestivos de lesiones en una radiografía simple, pero con evidencia de edema de hueso en una resonancia magnética. En la etapa II se observan datos de esclerosis o quistes en las radiografías, mientras que en la resonancia se puede apreciar un área ya definida de necrosis ósea. La etapa III se caracteriza por la presencia del signo de medialuna con colapso subcondral, mientras que la resonancia muestra edema difuso. En la etapa final, la IV, se encuentran datos de artritis tibiotalar y pérdida del espacio

articular en el tobillo, así como osteofitos. En la resonancia se observa pérdida de cartílago y edema del plafón tibial.

En cuanto a las lesiones traumáticas, al hablar de fracturas a nivel del cuello del astrágalo se debe tener en cuenta la clasificación de Hawkins, la cual describe el nivel de desplazamiento que existe en una fractura del cuello del talo y la luxación subsecuente. Una de las complicaciones más temidas al presentarse una fractura del cuello del talo es la necrosis avascular del talo. Se demuestra que la incidencia de desarrollar osteonecrosis se correlaciona con la cantidad de energía recibida en el trauma inicial, siendo incluso más relevante que el tiempo que la lesión estuvo desplazada y el tiempo de operación (Haskell, 2019).

Los riesgos de osteonecrosis pueden variar ligeramente según diferentes artículos, pero la asociación es clara con respecto a la clasificación de Hawkins (Ahmad y Raikin, 2006). Las fracturas Hawkins tipo I presentan un riesgo de necrosis del 0 % al 13 %, mientras que las de tipo II muestran un riesgo del 20 % al 50 % y las de tipo III y IV aumentan hasta el 100 % en algunos casos. Esto es importante para determinar el proceder y explicar al paciente los riesgos elevados de esta complicación. Las complicaciones después de una fractura del cuello del talo suelen ser del 6 % al 64 %, no obstante, la mayoría de los casos en los que se demuestra una mayor incidencia de osteonecrosis se encuentran en fracturas combinadas del cuello y cuerpo del talo, con un promedio general del 29 % desarrollando osteonecrosis (Wijers *et al.*, s. f.).

Tabla 2

Clasificación de Hawkins de fracturas del cuello del talo

Etapas	Descripción	Riesgo de osteonecrosis
Etapas I	No desplazada, fractura entra a articulación subtalar entre faceta media y posterior	0 % a 13 %

Etapa II	Desplazamiento de fractura con luxación de articulación subtalar	20 % a 50 %
Etapa III	Fractura asociada a luxación tibiotalar	75 % a 100 %
Etapa IV	Luxación de articulaciones subtalar, tibiotalar y talonavicular	100 %

Manejo

El manejo de la necrosis avascular del talo es complejo, por lo que se deben tomar en cuenta los síntomas del paciente, la edad, la duración de la osteonecrosis, datos sugestivos de artritis concomitante peritalar, si existe un grado establecido de discapacidad junto con la etapa de la enfermedad en la que se encuentra, el estado funcional actual y comorbilidades que se relacionan. La literatura actual no es concluyente en cuanto al mejor manejo para seguir y cuales factores deben guiarlo (Dhillon *et al.*, 2018).

El manejo de la necrosis avascular del talo no es igual en un paciente que presenta una enfermedad en etapa IV siendo un diabético descompensado con polineuropatía establecida de base y una capacidad funcional muy reservada en comparación con un paciente joven que se muestra en etapa IV de la enfermedad. No obstante, se puede beneficiar de una cirugía de salvamento o artroplastia que le puede recuperar su estadio funcional y permitirle laborar.

Por otro lado, un paciente sedentario con osteonecrosis en etapas iniciales y múltiples comorbilidades se puede beneficiar de darle un manejo conservador por mayor tiempo que en el caso de un paciente altamente funcional y sano. Es necesario ser conscientes de que en casos de manejo fallido o donde hay una deformidad muy severa, con compromiso severo de los tejidos blandos y una condición médica compleja de controlar, la mejor alternativa es realizar una amputación antes que una reconstrucción (Parekh y Kadakia, 2021).

En la actualidad, se tienen dos grandes grupos para clasificar el manejo de la necrosis avascular, los cuales consisten en el manejo conservador que incluye restricción de peso, ortesis de miembros inferiores y terapia de ondas de choque extracorporales. El manejo quirúrgico presenta tres grupos que es posible considerar donde se presentan opciones de conservación de articulación, cirugías de salvamento y cirugías con sacrificio de la articulación.

El manejo conservador de la articulación consiste en descompresión del núcleo, autoinjertos de hueso vascularizado y en algunos casos se habla de implantación de estimuladores de hueso. El manejo quirúrgico que sacrifica la articulación consiste en reemplazo total o parcial del talo o reemplazo total de tobillo con reemplazo del talo. Por último, la opción de salvamento consiste en la artrodesis. Pese a la cantidad de conocimiento que existe hoy los resultados pobres son comunes y la literatura es aún deficiente y con estudios dispares explorando múltiples manejos (Gross *et al.*, 2014).

Manejo conservador

El manejo conservador de una osteonecrosis avascular del talo consiste en el manejo de síntomas, ya que se tiene una lesión establecida en el cartílago articular y un área de necrosis establecida del hueso y no existe cómo determinar hasta el momento si tendrá retroceso o progresará a una lesión artrítica. Se reserva para casos diagnosticados de forma temprana con la intención de prevenir el colapso del domo del talo hasta tener una revascularización completa (Dhillon *et al.*, 2018).

El manejo inicial consiste en el control del dolor y la inflamación en curso. Por lo tanto, se inicia un manejo médico con el uso de antiinflamatorios no esteroides, infiltraciones y en algunos casos el uso de una ortesis o *brace* con refuerzo patelar para protección (Parekh y Kadakia, 2021).

La osteonecrosis avascular del talo implica cambios en la vida de las personas que la padecen. Por ende, se requiere modificar la actividad física, ciertos esfuerzos físicos moderados o intensos, movimientos y cargas que no tolerará, ya

que pueden desencadenar dolor o acelerar la etapa en la que se encuentra, lo que provoca un cambio a diferentes opciones terapéuticas.

El manejo conservador busca minimizar los síntomas clínicos, por lo que es importante ser conscientes de que no abordarán directamente ni revertirán la osteonecrosis de fondo. Hay series de estudios donde un tercio de los pacientes manejados de forma conservadora requirieron manejo quirúrgico (Zhang *et al.*, 2022).

Se recomienda iniciar seguimiento frecuente en pacientes que se encuentran asintomáticos, pero con lesiones características de enfermedad temprana cada 3 a 6 meses. La mayoría de los estudios sugieren un manejo conservador como prueba por al menos 3 meses antes de valorar el manejo quirúrgico, incluso en casos sintomáticos en enfermedad temprana (Dhillon *et al.*, 2018). Dentro de las opciones de manejo está el no apoyo estricto, apoyo protegido con ortesis y terapia de choque externa extracorpórea. La ortesis por utilizar es una ortesis de descarga de pie con apoyo del tendón rotuliano.

Existe evidencia de un manejo conservador con una tasa de éxito relativamente buena en pacientes que se presentaron con necrosis avascular del talo después de fracturas del cuello del talo. El manejo conservador consiste en no apoyar la extremidad por tiempos prolongados y dicho periodo, en promedio, consiste en hasta más de 9 meses en necrosis avascular traumática con resultados reportados como buenos o adecuados en hasta el 83 % de los casos (Parekh y Kadakia, 2021). Periodos mayores de 9 meses sin apoyo de la extremidad trajeron mejores resultados respecto al colapso del domo del astrágalo, con mejores o excelentes resultados en dolor, molestia y progresión (Zhang *et al.*, 2022).

Los casos en los que se realizó un manejo conservador sin apoyo durante periodos menores de 3 meses no tuvieron resultados tan favorables, con hasta un 63 % de casos con resultados pobres (Parekh y Kadakia, 2021). La mayoría de estos estudios con manejo conservador se encuentran desactualizados, con un promedio de 30-40 años de antigüedad. La mayoría de los casos de manejo conservador sin apoyo han presentado resultados buenos o aceptables en

aproximadamente la mitad de los casos, pero un 40 % a 45 % de los casos requirieron un eventual manejo quirúrgico (Gross *et al.*, 2016). Los riesgos de un manejo conservador parecen ser bajos, ya que no existe ningún reporte o estudio que sugiera que los pacientes con manejo conservador tengan un resultado peor cuando se requiera un manejo quirúrgico.

La terapia de ondas de choque extracorporales es una opción de manejo conservador disponible con resultados prometedores, ya que ha mostrado mejoría en cuanto al dolor subjetivo de los pacientes y ha mejorado los resultados en escalas funcionales de pie y tobillo en pacientes con osteonecrosis (Parekh y Kadakia, 2021). La terapia de ondas de choque extracorporales presentó mejoría en pacientes con escala de Ficat I y II. En resonancias magnéticas control realizadas a estos pacientes, se puede ver hasta más de un 50 % de mejoría en el área de necrosis y pueden beneficiarse de manejos conjuntos (Dhillon *et al.*, 2018).

La estimulación eléctrica del hueso por medio de estimuladores implantables se demuestra que provoca una reducción de la actividad osteoclástica del hueso. Hay casos en los que se han visto resultados beneficiosos con campos magnéticos eléctricos pulsados y corrientes en hueso, con evidencia clínica de mejoría de síntomas y disminución de la progresión de la necrosis en casos de necrosis avascular de cabeza femoral (Dhillon *et al.*, 2018).

El manejo conservador con infiltraciones de aspirados de médula ósea, la cual se aspira de la cresta iliaca en la mayoría de los casos, en pacientes con necrosis del talo postraumática, pero, sin colapso, ha retrasado la aparición del colapso del domo del astrágalo y disminuido la frecuencia con la que sucede el colapso del domo.

El manejo conservador de la necrosis avascular del talo levanta muchas preocupaciones y dudas pese a la literatura, en especial con respecto a la eficacia de este tipo de manejo. No existe un tiempo claro establecido o fragmentos de tiempos para la restricción de apoyo de la extremidad afectada. Tampoco, como se mencionó, existe claridad en si el manejo retrasa la progresión de la osteonecrosis o detiene por completo la enfermedad. Los tiempos prolongados sin apoyo de la

extremidad afectada aumentan el riesgo de discapacidad del paciente (Parekh y Kadakia, 2021), lo que lleva a complicaciones como osteopenia por desuso, trombosis venosa, embolismo pulmonar, atrofia y pérdida de fuerza, así como las consecuencias en el ámbito financiero que puede traer al paciente.

Continuar con el manejo conservador o cambiar de manejo se debe basar en un monitoreo constante de la progresión de la necrosis avascular. La progresión clínica o radiológica de la osteonecrosis o una resolución incompleta con ausencia de colapso del domo del talo insta a cambiar de manejo y optar por uno quirúrgico más conservador con técnicas que preserven la superficie articular (Dhillon *et al.*, 2018). La osteonecrosis avascular tiene potencial de mejorar y el talo puede pasar por una etapa de remodelación hasta 36 meses después del trauma inicial (Cuĵba *et al.*, 2023).

Al tratar un cuadro de osteonecrosis avascular no traumática se debe abordar y estabilizar la condición médica subyacente que provocó la osteonecrosis o suspender el medicamento que predispone al desarrollo de la osteonecrosis avascular, si es posible. Al considerar el manejo de estos pacientes, siempre es necesario tener en mente las comorbilidades subyacentes y las posibles consecuencias de un procedimiento quirúrgico agresivo o, por el contrario, del manejo conservador que puede llevar a una recuperación más rápida.

Manejo quirúrgico

El primer paso para definir el manejo quirúrgico de la osteonecrosis avascular del astrágalo es tener claro en qué etapa de la enfermedad se encuentra el paciente y cuál es la sintomatología. La etapa de la clasificación de Ficat en la que se encuentre el paciente es un factor crítico para precisar el manejo, junto con la localización de la osteonecrosis, el colapso del domo del talo y el grado de afección funcional al paciente. Un factor determinante para definir el manejo consiste en la afección de las articulaciones del talo. Según esto, se define si el manejo quirúrgico es apto para preservar la articulación o si requiere sacrificarla, por lo tanto, es necesario valorar las articulaciones, el estado del hueso subcondral y la presencia de colapso del domo del astrágalo.

Existen procedimientos quirúrgicos diseñados para preservar la articulación y salvar la articulación tibiotalar. Además, hay procesos que sacrifican la articulación dañada, la cual no se puede rescatar y es parte de la razón del dolor del paciente.

El manejo quirúrgico intencionado en salvar la articulación consiste en injertos óseos y la descompresión del núcleo. Ambos se utilizan para preservar la articulación y la anatomía del retropié en etapas iniciales de la enfermedad, cuando aún no se tienen datos de colapso del domo del talo y artritis.

El manejo quirúrgico que sacrifica la articulación, por otro lado, tiene el objetivo de eliminar la articulación tibiotalar dolorosa y se elige en casos donde la enfermedad se encuentra en etapas avanzadas, como artrodesis o talectomías. Debido a lo impredecible que es definir la progresión de la necrosis avascular y sus variaciones clínicas, es necesario valorar cada caso de manera individual y el manejo (Zhang *et al.*, 2022).

En el manejo actual, se ha podido incorporar en los procedimientos quirúrgicos para el tratamiento de la osteonecrosis la artroplastia en el talo, ya sea artroplastia total del talo o parcial y artroplastia total de tobillo y talo. Ambos manejos tienen indicaciones específicas y definidas.

Todos los estudios sobre tratamiento de osteonecrosis avascular en la literatura actual son de evidencia III o IV con grupos pequeños, heterogéneos y seguimientos cortos (Zhang *et al.*, 2022). No hay un consenso o un algoritmo establecido hasta el momento que se pueda seguir para el tratamiento de esta patología. Se necesitan muchos más estudios y revisiones para llegar a un consenso universal, lo cual en este instante se considera difícil debido a su incidencia y a lo impredecible de su historia natural.

Tratamientos quirúrgicos preservadores de articulaciones

Descompresión del núcleo

La descompresión del núcleo es un procedimiento que se utiliza en la osteonecrosis avascular en otras articulaciones como la cadera. Su propósito es

disminuir la presión intraósea en las etapas iniciales de la enfermedad y tienen resultados satisfactorios (Zhang *et al.*, 2022). Se recomienda en fases tempranas de la osteonecrosis, como una etapa de Ficat I o II, antes del colapso del domo del talo.

Existe evidencia de descompresiones de núcleo realizadas de manera percutánea en pacientes en etapas tempranas con mejoría de escalas funcionales (American Orthopaedic Foot and Ankle Society [Aofas]) de hasta el doble puntaje y disminución en la escala visual de dolor percibido de hasta 5 puntos, con un 83 % de los casos logrando detener la progresión (Parekh y Kadakia, 2021).

Los datos sugieren resultados excelentes y buenos en la mayoría de los casos. Con una selección adecuada de pacientes se logra tener una tasa de progresión baja de hasta un 11 % (Parekh y Kadakia, 2021) que requieren necesitar una artrodesis. Hasta menos de un tercio de los casos desarrollan colapso del domo o artritis (Gross *et al.*, 2016). La mayoría de los casos con estudios de descompresión de núcleo corresponden a casos de osteonecrosis avascular del talo atraumático.

La indicación quirúrgica para considerar una descompresión del núcleo corresponde a un paciente con osteonecrosis del talo en etapa Ficat I o II, aun sin colapso del domo. Cuando se presenta un caso de osteonecrosis Ficat etapa III inicial se puede valorar una descompresión del núcleo en pacientes en los que el colapso del domo del astrágalo es menor de 1 mm (Zhang *et al.*, 2022); sin embargo, no hay evidencia que apoye esto (Dhillon *et al.*, 2018).

Al considerar una descompresión del núcleo, se requiere una resonancia magnética prequirúrgica para valorar el sitio de descompresión, con la mayoría de los casos afectando el astrágalo en el ámbito posterolateral. La afección de todo el cuerpo del talo o de forma parcial se puede manejar con descompresión, por ende, se sugiere repetir la descompresión en casos de persistencia de los síntomas, aparición de nuevas lesiones, previa intervención con perforación en el sitio inadecuado y evidencia de revascularización incompleta (Dhillon *et al.*, 2018).

Injerto óseo vascularizado

El uso de injerto de hueso vascularizado o no vascularizado demuestra tener resultados beneficiosos en el manejo de la osteonecrosis avascular en otras partes anatómicas del cuerpo (Parekh y Kadakia, 2021). El injerto de hueso tiene entre sus ventajas la capacidad de dar un soporte estructural y se ha visto que induce la revascularización por medio de la sustitución de hueso avascular a través de hueso a su alrededor vascularizado.

El objetivo del injerto óseo es reemplazar la lesión necrótica por hueso sano vascularizado y, por este motivo, se han utilizado múltiples injertos de hueso vascularizado o injerto de periostio vascularizado (Zhang *et al.*, 2022). El injerto óseo vascularizado o no vascularizado ha mostrado resultados excelentes en cuanto a mejoría de escalas funcionales y escalas de dolor (Gross *et al.*, 2016).

El injerto vascularizado de hueso, así como la descompresión de núcleo, son técnicas que se utilizan en otros sitios anatómicos donde se ha presentado osteonecrosis. El procedimiento se ha logrado adaptar al astrágalo debido a los buenos resultados que ha presentado en otros sitios. Al igual que la descompresión, se utiliza en etapas tempranas, sin datos de colapso del domo, de la osteonecrosis. El uso de injerto vascularizado debe considerarse como opción si el injerto convencional falla (Kodama *et al.*, 2015).

El injerto óseo puede ser un injerto vascularizado corticoperióstico o un injerto de hueso sano completo. La cirugía requiere un planeamiento previo para encontrar un pedículo de hueso que se pueda aplicar y un cirujano con experiencia y conocimiento en cirugía microvascular para obtener buenos resultados (Zhang *et al.*, 2022).

El sitio de injerto no está estandarizado, hay series de casos utilizando diferentes sitios anatómicos. El uso de injerto óseo no vascularizado de la cresta iliaca junto con injerto vascularizado de alguna cuña del pie ha mostrado 90 % de casos con resultados excelentes o buenos en una serie (Gross *et al.*, 2016). El uso de un injerto del cuboides realizando una disección del cuboides en el que se toma

un injerto de 2 cm por 1 cm y un pedículo vascular de aproximadamente 4 cm de longitud mostró tener resultados buenos con revascularización del talo y evita la progresión y artritis tibiotalar o colapso del domo (Zhang *et al.*, 2022).

La toma de injerto de la región de la rodilla o de la cadera implica sus propios riesgos. Se ha logrado mapear e identificar varios sitios para obtener injertos vascularizados en el pie que son posibles rotar sobre un pedículo vascularizado. Entre estos sitios se presenta la distal del peroné, el cuboides, la cuña medial y la cuña lateral, todos con sus arterias nutrientes de manera consistente.

El uso de injerto vascularizado de hueso de la región supracondílea de fémur, utilizando como pedículo una rama de la arteria genicular descendente, presentó excelentes resultados y ningún paciente exhibió colapso del domo en controles subsecuentes (Dhillon *et al.*, 2018). El uso de injertos libres tomados del cóndilo medial del fémur también presentó mejoras de escalas funcionales de la Aofas de hasta 30 puntos y se evidenció una detención de la progresión de la osteonecrosis.

Por consiguiente, se recomienda el procedimiento solo a pacientes con mínimo colapso de hueso subcondral y que presenten menos del 60 % de necrosis en el talo, mostrado por resonancia magnética y que presenten un colapso articular de 1 milímetro.

El injerto de la tibia distal transportado al astrágalo enfermo utilizando el arco arterial perimaleolar como pedículo presenta mejorías de escalas funcionales relevantes, con una vascularización adecuada y se logra detener la progresión de la enfermedad, lo que evita el colapso del domo y la revascularización (Dhillon *et al.*, 2018). Algunos estudios cadavéricos han demostrado la existencia de arterias laterales perimaleolares y la arteria tibial anterior que hacen que un flap de tibia vascularizado sea seguro de utilizar para artrodesis o revascularizar el talo en osteoartrosis secundaria de necrosis vascular (Kodama *et al.*, 2015).

Los injertos vascularizados, al igual que todo procedimiento, pueden presentar complicaciones y dolor posoperatorio. En el caso de los injertos, hay un riesgo de morbilidad del sitio donador (Parekh y Kadakia, 2021). A diferencia de las

descompresiones, el uso de un injerto implica el hecho de heridas más grandes, disecciones más extensas y mayores tiempos quirúrgicos, con mayor riesgo de complicaciones como infección, necrosis de herida, lesión de estructuras cercanas, malestar y falla de intervención.

El manejo y el conocimiento de microcirugía son esenciales para este tipo de procedimiento, ya que los injertos están limitados por la movilidad del pedículo seleccionado y los tejidos circundantes, en especial en sitios con heridas previas o cicatrices contracturadas. Por ende, se requiere un conocimiento y maestría del sitio anatómico por trabajar y estudios previos para valorar el sitio de osteonecrosis. La presencia de datos de osteonecrosis localizada en la parte posterior del domo y cuerpo del talo confiere mayor complejidad al procedimiento al movilizar el pedículo del injerto (Parekh y Kadakia, 2021).

El uso de injertos vascularizados tiene resultados buenos y predecibles e incluso pueden utilizarse de manera combinada con artrodesis en casos de artritis y colapso para ayudar a la consolidación. Pese al éxito que se ha logrado con injertos, se requiere de más estudios y con mayor población para determinar cuál paciente tiene realmente mejor beneficio y el impacto que puede tener en procedimientos en el futuro (Gross *et al.*, 2014).

Tratamientos quirúrgicos con sacrificio de articulaciones

Artroplastia de astrágalo total/parcial y artroplastia total de tobillo

La artroplastia del astrágalo, ya sea total o parcial, tiene indicaciones muy específicas, de lo contrario, la cirugía de elección es la artrodesis como salvamento. Las indicaciones para realizar un reemplazo de talo consisten en presentar osteonecrosis avascular del talo en etapa Ficat III o IV con presencia de colapso subcondral que desee conservar movilidad, menos de cinco grados de deformidad o mal alineamiento coronal y sin cambios de artritis en la tibia distal. La presencia de infección activa es una contraindicación, así como las modificaciones de artritis en el plafón tibial (Zhang *et al.*, 2022).

La prótesis del talo inició hace aproximadamente 60 años con prótesis del domo del talo metálicas fijadas con cemento conservando la articulación talonavicular, con resultados satisfactorios en la mayoría de los casos (Dhillon *et al.*, 2018). Después, en Japón se utilizaron prótesis parciales del cuerpo del talo con resultados considerados buenos y excelentes en la mitad de una población de 22 pacientes. Estas prótesis parciales asocian aflojamiento y fractura del cuello y cabeza del talo, por lo tanto, se recomendó mejor el uso de una prótesis total del talo, con una tasa de falla de 25 %-29 % (Gross *et al.*, 2016). A pesar de resultados funcionales buenos, solo un 57 % de los pacientes con prótesis parciales reportan buenos o excelentes resultados (Parekh y Kadakia, 2021).

La prótesis total del talo presenta menor riesgo de fallo, mantiene mayor rango de movilidad subtalar y de tobillo y conserva la altura del tobillo. Asimismo, muestra resultados favorables y se considera un procedimiento útil en pacientes con necrosis avascular al mantener la función del tobillo (Dhillon *et al.*, 2018).

Con el reemplazo total del astrágalo, los pacientes conservan la movilidad de la articulación del tobillo que les permite deambular, subir gradas y hasta utilizar bicicleta estacionaria con resultados funcionales buenos y mejoría en rangos de movilidad y disminución de dolor (Parekh y Kadakia, 2021). Los pacientes pueden presentar mejoría de resultados funcionales y rangos de movilidad de dorsiflexión de tobillo de 0° a 5-20° y flexión plantar de 0° a 16-40° (Dhillon *et al.*, 2018).

Una artrodesis de tobillo presenta una opción buena para aliviar el dolor y manejar deformidades secuela del colapso del domo, sin embargo, aumenta la carga en las articulaciones y genera cambios en la dinámica de la marcha. El reemplazo total del talo ayuda a evitar esta carga y mantiene la alineación anatómica normal del retropié (Parekh y Kadakia, 2021). Esta es la mayor ventaja del reemplazo, ya que provee alivio y mantiene el rango de movilidad sin riesgos de no uniones como en el caso de la artrodesis.

Los reemplazos totales de tobillo ofrecen una opción válida también cuando la osteonecrosis avascular es limitada, pero se debe tomar en cuenta el hundimiento del componente talar por necrosis avanzada (Zhang *et al.*, 2022). El reemplazo total

del talo se personaliza al paciente utilizando un escaneo de tomografía axial del astrágalo contralateral sano y posterior impresión por medio de una impresora 3D de un talo personalizado.

El reemplazo total del astrágalo tiene la ventaja sobre el reemplazo total de tobillo en que remueve todo el hueso lesionado (Zhang *et al.*, 2022) y preserva la movilidad, restaura la altura del talo y el tilt talar, junto con una alineación normal con respecto a las articulaciones no afectadas. Al mismo tiempo, evita los principales inconvenientes de la artrodesis, como el acortamiento de la extremidad, la limitación de rangos de movilidad y la poca capacidad de absorción de choque (Leonetti *et al.*, 2023).

Existe la presencia de datos de esclerosis alrededor de la prótesis en la tibia en radiografías de control posquirúrgico, pero sin mayor molestia para sus actividades básicas y con conservada movilidad. La esclerosis alrededor de la tibia distal se presenta en un 44 % de los casos, un 9 % en el navicular y un 35 % en el calcáneo (Zhang *et al.*, 2022). La presencia de cambios de artritis, no solo de esclerosis, en articulaciones adyacentes representa una de las causas de falla de las prótesis de talo a largo plazo (Leonetti *et al.*, 2023).

El uso combinado de reemplazo total de tobillo y reemplazo total del astrágalo para artritis, artritis reumatoidea, luxación expuesta del talo, tumores del talo y como complicaciones de reemplazo total de tobillo aumentó presentando mejoría de rangos de movilidad, pero con una incidencia del 32 % de complicaciones (Zhang *et al.*, 2022). La falta de estudios en una técnica tan novedosa aún es necesaria, en especial en casos que se relacionan con osteonecrosis avascular. En el momento de considerarlo como manejo quirúrgico, se deben tomar en cuenta las consecuencias en la presencia de una artroplastia fallida por la pérdida significativa de hueso y el vacío que se presenta subsecuentemente.

Pese a resultados prometedores con evidencia de restauración de movilidad del tobillo, rápido alivio de dolor, preservación de longitud de la extremidad y menor

tiempo de inmovilización y reposo, está pendiente valorar la viabilidad a largo plazo de las prótesis y la carga que pueda traer a huesos adyacentes (Dhillon *et al.*, 2018).

Tratamiento de salvamento

Artrodesis

Los procedimientos de salvamento incluyen cirugías como la artrodesis con o sin talectomía total o parcial, talectomía, fusión subtalar y talonavicular y la artrodesis tibiotalar de Blair. Las cirugías de salvamento son la última línea de tratamiento, la única opción pendiente consiste en la amputación. La artrodesis es la última línea de manejo, en especial en pacientes jóvenes. El objetivo de la artrodesis es tener un pie plantígrado, sin dolor y con alineación adecuada (Dhillon *et al.*, 2018). Sin embargo, incluso con una artrodesis exitosa, la fusión es un procedimiento incapacitante, habrá alteración del patrón de la marcha y artritis secundaria de las articulaciones que soportan la rigidez impuesta.

El uso de clavo retrogrado intramedular y la fijación con placas y tornillos han reportado buenos y excelentes resultados con tasas de unión de 82 % a 100 % (Gross *et al.*, 2016) y múltiples estudios biomecánicos han mostrado un rendimiento similar con el uso de clavos y placas (Alexander *et al.*, 2020). Además, existen reportes de uso de fijación externa para artrodesis con unión del 100 %. El uso de fijación con clavo intramedular ha mostrado ser un salvamento efectivo en casos de necrosis avascular y artrosis postraumática (Tenenbaum *et al.*, 2015).

Según Gong *et al.* (2016), el uso de tornillos de compresión sin cabeza demuestra ser efectivo en la artrodesis subtalar y tibiotocalcánea con abordajes mínimamente invasivos y tiempos quirúrgicos cortos. La decisión sobre los implantes por utilizar y el abordaje se basa en la deformidad, la patología de fondo, cirugías previas y la comodidad y habilidad del cirujano. Por otro lado, Burns y Dunse (2017) señalan que el uso de clavos intramedulares ofrece una estabilidad rotacional alta con escaso daño al tejido blando.

Los principios de artrodesis son los mismos que en otras articulaciones del cuerpo: consiste en exposición adecuada y preparación de las superficies

articulares, coadaptación de las superficies, posicionamiento óptimo de la articulación y una fijación rígida de las superficies hasta la unión. Se debe procurar remover todo tejido fibroso, cartílago y cualquier otro tejido o material que evite la unión de las superficies óseas expuestas. La posición óptima para fijar el tobillo es con flexión plantar y dorsal neutra, retropié con valgo de 0° a 5° y una rotación externa de 5° a 10° (Burns y Dunse, 2017). Es esperable cierto acortamiento por el retiro de cartílago y fusión de 2 articulaciones.

La artrodesis es un procedimiento quirúrgico de salvamento para cuando ya está presente una enfermedad avanzada, ya sea una etapa de Ficat III o IV con colapso del domo del astrágalo o cambios de artritis evidentes. Estas lesiones son indicativas de colapsos estructurales óseos ya presentes, con cartílago destruido y pérdida ósea por la artritis que implica, en muchas ocasiones, a requerir de injerto de hueso estructural por un talo necrótico débil (Parekh y Kadakia, 2021). La artrodesis tibiototalcalcánea requiere de remover el hueso de astrágalo necrótico o realizar una talectomía total y colocar un aloinjerto de soporte.

Las indicaciones más importantes para considerar la artrodesis en el contexto de necrosis avascular consisten en necrosis avascular del astrágalo con afección de todo el astrágalo, colapso del astrágalo por osteonecrosis avascular y salvamento de extremidad (Zhang *et al.*, 2022). Este procedimiento corrige la deformidad provocada por el colapso del talo y alivia el dolor removiendo el hueso necrótico.

La artrodesis tibiototalcalcánea con aloinjerto se utiliza comúnmente para el manejo de la osteonecrosis avascular del astrágalo en etapas finales, ya que aborda los cambios artríticos en ambas articulaciones tibiotalar y subtalar (Parekh y Kadakia, 2021). En estudios previos, al realizar una artrodesis tibiototalcalcánea con aloinjerto de cabeza femoral, se logró la fusión radiológica en un 48 % a 50 % de los casos, con un rango del 16 % al 19 % que requirió amputación.

El uso de injerto óseo sirve para crear una aumentación a la artrodesis o restaurar defectos estructurales por pérdida de hueso necrótico al desbridar o por el colapso establecido. El uso de autoinjertos más común es del talo residual, tibia

distal local y la cresta iliaca y el uso de aloinjertos de bancos de hueso suele ser de cabeza femoral o del talo. El uso de un injerto voluminoso es ideal en casos donde se debe restaurar longitud a la extremidad o corregir defectos estructurales (Zhang *et al.*, 2022). La unión con injertos óseos varía de un 50% a un 93% y se ha mostrado que incluso con una fusión exitosa es común evidenciar algún grado de colapso (Lachman y Adams, 2019).

Existen múltiples retos con respecto al uso de aloinjerto de cabeza femoral como soporte, debido a que no es anatómico al retropié y tiene un riesgo de colapso. El uso de aloinjerto del cuerpo del talo se ha valorado fijando el aloinjerto al cuello del talo residual como parte del constructo de la artrodesis, con resultados clínicos buenos. Otra opción consiste en el uso de un aloinjerto localizado de peroné que ha mostrado mejorar la biología y la estabilidad mecánica, incluso con unión ósea en la mayoría de los casos a los 3 meses de la cirugía (Parekh y Kadakia, 2021).

El uso de injerto tiene poco efecto en la unión de las artrodesis tibiototalcalcánea, especialmente en pacientes diabéticos. En la población diabética se ha visto que la tasa de unión de una artrodesis con el uso de aloinjerto de cabeza femoral es inferior al 50 % (Zhang *et al.*, 2022). Por lo tanto, se optó por utilizar en combinación con concentrado autólogo de aspirado de médula ósea para mejorar el potencial de unión. La mayoría de las personas pacientes que no logran una unión radiológica pueden deambular con soporte o sin soporte y se considera una no unión estable que no requiere un nuevo procedimiento (Ramu *et al.*, 2021).

Se ha reportado el uso de aloinjerto de cabeza femoral o de talo suplementado con concentrado de aspirado de médula ósea de la cresta ilíaca con uniones radiológicas a los 6 meses y fusión completa a los 12 meses.

La artrodesis mínimamente invasiva por medio de artroscopía de tobillo con fijación tibiototalcalcánea se ha descrito, logrando mínima afección del tejido blando y protegiendo el ya tenue flujo sanguíneo del talo (Zhang *et al.*, 2022). La artrodesis de tobillo por artroscopía en pacientes con osteonecrosis sin colapso talar demostró fusión en todos los pacientes y concluyen que es un manejo adecuado para osteonecrosis avascular del talo avanzada. La mayoría de los casos tuvieron menos

complicaciones de herida quirúrgica y menos dolor posoperatorio (Zhang *et al.*, 2022).

La artrodesis tibiotalcalcánea sin utilización de injerto y realizando una fusión de la tibia directamente al calcáneo muestra una tasa de unión aceptable en todos los casos reportados, con mejorías en escalas de dolor, escalas funcionales y de vida diaria. Esta técnica se asemeja al procedimiento de Blair, que consiste en una escisión del hueso necrótico talar con artrodesis tibiocalcánea, usando como injerto el hueso de la tibia distal anterior para fusionarlo a la cabeza del talo (Parekh y Kadakia, 2021).

La artrodesis tibiotalcalcánea con fijación externa con un marco de Ilizarov logró corregir el acortamiento mediante una osteotomía tibial en tibia proximal y alargamiento, obteniendo fusión en el 100 % de los casos. Sin embargo, consistió en un estudio de 6 pacientes y todos desarrollaron sepsis del sitio de los pines. Además, se ha descrito el uso de un fijador externo circular con técnica híbrida utilizando un clavo intramedular y un espaciador para rellenar el defecto del talo (Zhang *et al.*, 2022).

El uso de implantes personalizados mediante tecnología de impresión tridimensional ha permitido ofrecer nuevas opciones quirúrgicas para aumentar las fijaciones en la artrodesis de retropié. La impresión de implantes ayuda a rellenar el defecto óseo causado por la necrosis del talo, sin el riesgo evidente de colapso que presentan los aloinjertos estructurales. La impresión de cajas de titanio personalizadas diseñadas para casos de defectos óseos en artrodesis se rellenan de injerto óseo y proporcionan un constructo mecánicamente más estable (Parekh y Kadakia, 2021). Clínicamente, el uso de implantes personalizados presenta tasas de unión exitosas de hasta un 87 %.

El uso de implantes personalizados por impresoras tridimensionales ha visto utilidad en esta patología. En un estudio se sugiere el uso de implantes de soporte en forma de piedra angular junto con clavo retrogrado de artrodesis utilizando aloinjerto de cabeza femoral en el implante para mitigar el colapso y hundimiento. Asimismo, se evidenció una ventaja con el uso de un implante en manera de piedra

angular al permitir preservar hueso y adaptarse de una forma natural al calcáneo, mejorando la estabilidad mecánica (Ramhamadany *et al.*, 2021).

La artrodesis es una opción quirúrgica aceptable para un paciente que es aún funcional y tiene potencial de rehabilitarse, sin embargo, hay que tomar en cuenta que siempre pueden existir complicaciones. Las complicaciones más comunes consisten en la no unión, pseudoartrosis estable, infecciones y reintervenciones hasta en un 10 % de los casos cuando se utiliza un clavo retrogrado (Gross *et al.*, 2016). La mayoría de las personas pacientes presentan satisfacción en términos de dolor y función en promedio a los 4 meses del procedimiento y logran un apoyo sin ningún soporte (Ramu *et al.*, 2021).

La artrodesis tibiotocalcánea es la cirugía con más frecuencia realizada en casos de osteonecrosis avascular avanzada en el talo, pero existe reporte de artrodesis subtalar o tibiotalar únicamente. Un procedimiento más selectivo requiere de casos específicos donde solo existen datos de artritis de la articulación que se fusionará. La conservación de la articulación subtalar es beneficiosa, en especial si la misma no tiene afección.

Se ha reportado la artrodesis tibiotalar aislada por medio de artroscopía, realizando una debridación artroscópica de hueso necrótico y fijación a través de tornillos sin el uso de injerto óseo. La artrodesis subtalar preserva la articulación tibiotalar y existe probabilidad de revascularización del talo por la fusión con el calcáneo. Todos los pacientes presentaron fusión de su artrodesis y otros casos para artrodesis subtalar aislada presentaron resultados óptimos en pacientes con causas atraumáticas, los casos traumáticos requirieron revisiones (Parekh y Kadakia, 2021).

La incidencia de complicaciones suele ser elevada en artrodesis de retropié, donde puede variar, desde infecciones de sitio de pines hasta la amputación transtibial. El acortamiento de la extremidad es común en muchos casos: infección en un 16 %, no unión en un 19 %, retraso de unión en un 32 % y las cirugías de revisión hasta en un 15 % (Gross *et al.*, 2016).

Pese a que la artrodesis es una opción confiable de manejo de osteonecrosis avascular, siempre existe un alto riesgo de complicaciones posoperatorias que pueden requerir nuevas intervenciones o amputación como manejo definitivo. La no unión o retraso de la unión se reporta como la complicación más frecuente, pero la mayoría de las personas pacientes presentan pseudoartrosis estables. Otro factor que se ha visto puede afectar la unión ha sido en pacientes con índices de masa corporal mayores de 30, incluso de 25 a 30 muestran riesgo de no unión (Love *et al.*, 2020).

Ortobiológicos

Los ortobiológicos o tratamiento biológico consiste en el uso de células, moléculas o tejidos con el propósito de ayudar al proceso de reparación musculoesquelético del cuerpo y recuperarse más rápido. Esta es un área nueva con avances en el ámbito de la ortopedia y que complementa los tratamientos quirúrgicos y conservadores en el pie y tobillo.

El uso de inyecciones de plasma rico en plaquetas o terapia de células madre se ha añadido a cirugías como la descompresión del núcleo para promover la sanación del hueso necrosado. Previamente, se comentó el uso de otra terapia biológica que se utiliza en las artrodesis: la inyección de aspirado de médula ósea autólogo (Zhang *et al.*, 2022). La mayoría del tiempo se obtiene de manera percutánea de la cresta ilíaca del paciente. El concentrado de aspirado de médula demuestra un atraso significativo en prevenir el colapso del domo y se ha visto que los pacientes inyectados con concentrados de médula tienen una mayor supervivencia antes del colapso o artrodesis que los casos control de solo osteonecrosis.

En casos de artrodesis también se utilizan terapias biológicas con la proteína morfogénica ósea recombinante-2, lo cual ha producido una consolidación de hasta el 96 % (Parekh y Kadakia, 2021). La meta es obtener un material que optimice el potencial de consolidación del hueso y ayude a tener un constructo estable y provea un ambiente que sea angiogénico, osteoconductor y osteoinductor (Lachman y Adams, 2019). La manera ideal de lograr dicho ambiente es preparar de forma

adecuada la articulación, con una fijación rígida y estable, control adecuado de tejidos blandos y suplementación con productos biológicos.

Discusión

La osteonecrosis avascular del astrágalo es una patología compleja y difícil de manejar. Tiene múltiples variables que se deben considerar en el momento de tomar la decisión de su manejo: desde su etiología y causa hasta la extensión de la lesión, los estudios de imágenes simples y avanzados e incluso la condición médica del paciente. Pese a que existe una cantidad relativamente grande de literatura, no hay suficiente evidencia para definir un manejo estandarizado, universal y único.

En la revisión de manejo de osteonecrosis avascular por Gross *et al.* (2016), se hace referencia a los estudios publicados de manejo y estudio de necrosis avascular y se demuestra que solo hay un estudio con nivel de evidencia I y un estudio con nivel de evidencia II y el resto consiste en casos pequeños con niveles de evidencia IV. Inicialmente, siempre se debe confirmar o descartar la presencia de osteonecrosis avascular. En caso de sospechas clínicas o radiográficas no concluyentes, es necesario iniciar estudios de mayor sensibilidad que permitan determinar la extensión, localización y confirmar el diagnóstico para poder clasificar el estadio de osteonecrosis.

Una historia clínica completa, historia de enfermedades de fondo, uso de ciertos medicamentos, antecedentes de trauma y cirugías previas o intervenciones son necesarias para determinar el manejo, al igual que las expectativas funcionales del paciente y su estado basal para definir la mejor opción. Lo anterior en pacientes que requieren manejo conservador por sus condiciones médicas de fondo, que no toleran un procedimiento extenso o cuyos tejidos no permitan un manejo más agresivo, así como aquel paciente que desee un manejo conservador inicial por un tiempo determinado antes de valorar opciones quirúrgicas.

Los pacientes con clínica de dolor, que se encuentran sintomáticos y con limitación funcional, requieren manejo más agresivo y se deben valorar opciones quirúrgicas. Durante las etapas I y II de Ficat, se puede estimar realizar procedimientos donde se conservan las superficies articulares, como la

descompresión del núcleo e injerto de hueso vascularizado o no vascularizado o la combinación de ellos.

Al presentarse un paciente en un estadio más avanzado en fases III y IV de Ficat y la presencia de colapso del domo astragalino, se tienen opciones que sacrifican la superficie articular, como una artrodesis tibiotarso-calcánea o una artrodesis subtalar o talonavicular ante la presencia de artritis en pacientes jóvenes y activos o un reemplazo total del astrágalo o de tobillo con talo en un paciente con menor demanda física que desea conservar la movilidad. La última opción quirúrgica en el arsenal consiste en la amputación ante la presencia de una extremidad con deformidad y compromiso severos del tejido.

Ante la presencia de necrosis avascular del talo, se debe clasificar inicialmente en la etapa de Ficat mediante radiografías y resonancia magnética nuclear para establecer la presencia de colapso o zonas escleróticas. Es importante determinar la etiología de la necrosis, ya sea traumática o atraumática, debido a que ciertos tratamientos son más efectivos en ciertos casos.

Los pacientes con enfermedad temprana, estadio Ficat I o II, antes del colapso deben iniciar con un manejo conservador que involucre el no apoyo de la extremidad o apoyo protegido y el uso de terapia de ondas de choque extracorporales. En casos de necrosis avascular traumática es necesario el no apoyo estricto hasta la unión de la fractura. Ante la presencia de un caso atraumático, idealmente se debe valorar un periodo corto de manejo conservador por 3 a 6 meses y después una descompresión de núcleo temprana. A diferencia de la necrosis traumática, donde la descompresión no ha producido resultados satisfactorios, se puede considerar un injerto vascularizado. Una falla de descompresión de núcleo en un caso atraumático puede ser seguida de un injerto vascularizado de hueso como última opción antes de considerar un manejo de salvamento o más agresivo.

Durante las etapas avanzadas de Ficat III y IV la presencia de un colapso requiere un manejo diferente. Un Ficat III con colapso menor de 1 milímetro puede beneficiarse de una descompresión o una artrodesis de una sola articulación. Un

reemplazo total de talo o de tobillo con talo es una opción para un paciente con un índice de masa corporal normal, sin datos de infección activa y que desee conservar movimiento, teniendo en cuenta que no está diseñado para realizar trabajo y cargas extenuantes. Ante un paciente con dolor importante y deformidad que presenta un mayor colapso, solo se tienen las opciones de salvamento tipo artrodesis. Aunque la artrodesis tibiotarso-calcánea es la más común, se puede considerar una artrodesis selectiva subtalar, tibiotalar o tibiocalcánea con talectomía como procedimiento principal o cuando todas las demás opciones de manejo fallan.

Conclusiones

La osteonecrosis avascular del astrágalo es una enfermedad que puede presentarse como secuela de un trauma o considerarse atraumática en caso de presentarse por condiciones médicas o uso de medicamentos. Su manejo requiere considerar las comorbilidades del paciente, la historia clínica, antecedentes quirúrgicos y de trauma, así como la medicación, en especial ante la sospecha de una osteonecrosis avascular, para diagnosticarla enfermedad a tiempo y evitar que progrese y las secuelas discapacitantes que implica.

La osteonecrosis avascular del talo es una condición clínica que progresa a una discapacidad severa con importante limitación funcional y dolor crónico de difícil manejo si se deja evolucionar a etapas avanzadas. Estas secuelas son devastadoras para los pacientes y limitan sus actividades diarias básicas e instrumentales. En pacientes jóvenes implica una relevante limitación para laborar y realizar tareas recreativas. Los procedimientos de preservación de la articulación alivian las molestias y retrasan el avance de la enfermedad, en algunos casos incluso detienen el progreso, aunque se tiene poco claro cuáles pacientes tienen este resultado. En fases avanzadas como las Ficat III o IV se requieren procesos donde sacrificar la articulación es la única opción viable, ya sea la articulación tibiotalar, la subtalar o ambas.

Para el manejo de la osteonecrosis avascular del talo se presentan múltiples opciones quirúrgicas y no quirúrgicas, con sus indicaciones y recomendaciones. Cada caso debe ser individualizado considerando la condición funcional del paciente antes de la lesión, su edad, las comorbilidades de fondo y el estado de estas, los tejidos blandos y cicatrices de procedimiento previos. Es importante valorar los estudios de imágenes, desde radiografías hasta resonancia magnética nuclear, para determinar dónde se localiza y extiende la lesión. Asimismo, es relevante aclarar dudas con el paciente, expectativas, resultados y posibles complicaciones de los manejos que se tengan a disposición.

La literatura actual y los múltiples estudios sobre tratamiento y manejo de osteonecrosis avascular del talo en estos momentos no proporcionan un nivel de evidencia fuerte para crear un algoritmo universal. La mayoría son estudios no aleatorizados, con poblaciones pequeñas y en algunos casos utilizando los conocimientos que se tiene de osteonecrosis avascular en otras partes del cuerpo para guiar el manejo en el talo. No se cuenta con estudios a mediano o largo plazo de ciertos procedimientos, por lo tanto, aún se desconocen los efectos o los resultados funcionales a largo plazo de ciertos procesos. Algunas técnicas quirúrgicas innovadoras como la artrodesis vía artroscópica y el uso de productos biológicos que logran acelerar o mejorar la incidencia de unión de artrodesis apenas se están estudiando.

Asimismo, existe una dificultad en los reportes de estudios debido a que la mayoría consiste en casos retrospectivos de series de casos con un enfoque heterogéneo y resultados funcionales en la mayoría de los casos subjetivos. Además, se observa un sesgo de no reportar casos con resultados negativos de ciertos procedimientos, lo que dificulta la realización de estrategias de manejo bajo un consenso.

En el medio aún se está deficiente en cuanto a ciertos procedimientos de salvamento, como el reemplazo total del talo personalizado o el reemplazo total de tobillo. Existe un déficit de compañías que cuenten con cajas o jaulas personalizadas de impresión 3D para adaptar a las artrodesis al presentar pérdidas óseas importantes con espacios vacíos significativos. Se desconoce la incidencia real de pacientes con osteonecrosis avascular del astrágalo actualmente en Costa Rica, sin embargo, es una patología muy incapacitante que requiere una sospecha clínica alta y un manejo oportuno para dar una calidad de vida decente a la persona paciente.

El uso de la artrodesis como manejo de la osteonecrosis avascular del talo es un manejo de salvamento ideal cuando se presenta un caso en etapas avanzadas o manejos más conservadores que fracasan. La artrodesis tiene como objetivos aliviar el dolor, corregir la deformidad, proveer estabilidad y mantener o

incluso restaurar la estabilidad del retropié. La artrodesis, incluso en ausencia de aloinjerto estructural con pérdida importante de hueso del cuerpo del talo, mostró una fusión exitosa con resultados funcionales y radiológicos buenos, lo cual lleva a esperar usualmente una mejoría del paciente tratado con artrodesis.

Bibliografía

- Ahmad, J. y Raikin, S. M. (2006). Current Concepts Review: Talar Fractures. *Foot & Ankle International*, 27(6), 475-482.
<https://doi.org/10.1177/107110070602700616>
- Alexander, B. K.; Argüello, A. M. y Shah, A. B. (2020). Tibiotalocalcaneal nail failure in a 60-year-old male: Case report and surgical technique. *Journal of Clinical Orthopaedics and Trauma*, 11(3), 482-486.
<https://doi.org/10.1016/j.jcot.2020.03.012>
- Buckwalter, V., J. A.; Westermann, R.; Mooers, B.; Karam, M. y Wolf, B. (2017). Timing of Surgical Reduction and Stabilization of Talus Fracture-Dislocations. *American Journal of Orthopedics (Belle Mead, N.J.)*, 46(6), E408-E413.
- Burns, P. R. y Dunse, A. (2017). Tibiotalocalcaneal Arthrodesis for Foot and Ankle Deformities. *Clinics in Podiatric Medicine and Surgery*, 34(3), 357-380.
<https://doi.org/10.1016/j.cpm.2017.02.007>
- Chen, H.; Liu, W.; Deng, L. y Song, W. (2014). The Prognostic Value of the Hawkins Sign and Diagnostic Value of MRI After Talar Neck Fractures. *Foot & Ankle International*, 35(12), 1255-1261.
<https://doi.org/10.1177/1071100714547219>
- Choi, Y. H.; Kwon, T. H.; Choi, J. H.; Lee, D. Y. y Lee, K. M. (2024). Natural course of talar avascular necrosis during short-term follow-up and factors associated with Disease progression. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 25(1), 85. <https://doi.org/10.1186/s12891-023-07136-9>
- Chou Loretta, B. (2014). *Orthopaedic Knowledge Update: Foot and Ankle 5* (5.^a ed.). Lippincott Williams & Wilkins.
- Couturier, S. y Gold, G. (2019). Imaging Features of Avascular Necrosis of the Foot and Ankle. *Foot and Ankle Clinics*, 24(1), 17-33.
<https://doi.org/10.1016/j.fcl.2018.10.002>

- Cujba, G.; Angan, N. y Dragusanu, M. (2023). Open Fracture Dislocation of the Talus With Partial Talar Extrusion: A Case Report. *Cureus*.
<https://doi.org/10.7759/cureus.40673>
- Davis, K. y Blankenbake, D. (2018). *Expertddx: Musculoskeletal* (Second Edition). Elsevier.
- Dhillon, M. S.; Rana, B.; Panda, I.; Patel, S. y Kumar, P. (2018). Management Options in Avascular Necrosis of Talus. *Indian Journal of Orthopaedics*, 52(3), 284-296. https://doi.org/10.4103/ortho.IJOrtho_608_17
- Gong, J. C.; Zhou, B. H.; Tao, X.; Yuan, C. S. y Tang, K. L. (2016). Tibiotalocalcaneal arthrodesis with headless compression screws. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, 11(1), 91.
<https://doi.org/10.1186/s13018-016-0425-7>
- Gross, C. E.; Haughom, B.; Chahal, J. y Holmes, G. B. (2014). Treatments for Avascular Necrosis of the Talus: A Systematic Review. *Foot & Ankle Specialist*, 7(5), 387-397. <https://doi.org/10.1177/1938640014521831>
- Gross, C. E.; Sershon, R. A.; Frank, J. M.; Easley, M. E. y Holmes, G. B. (2016). Treatment of Osteonecrosis of the Talus. *JBJS Reviews*, 4(7).
<https://doi.org/10.2106/JBJS.RVW.15.00087>
- Haskell, A. (2019). Natural History of Avascular Necrosis in the Talus. *Foot and Ankle Clinics*, 24(1), 35-45. <https://doi.org/10.1016/j.fcl.2018.09.002>
- Kodama, N.; Takemura, Y.; Ueba, H.; Imai, S. y Matsusue, Y. (2015). A new form of surgical treatment for patients with avascular necrosis of the talus and secondary osteoarthritis of the ankle. *The Bone & Joint Journal*, 97-B(6), 802-808. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.97B6.34750>
- Lachman, J. R. y Adams, S. B. (2019). Tibiotalocalcaneal Arthrodesis for Severe Talar Avascular Necrosis. *Foot and Ankle Clinics*, 24(1), 143-161.
<https://doi.org/10.1016/j.fcl.2018.11.002>

- Leonetti, D.; Basile, G. C.; Giuca, G.; Corso, E.; Fenga, D. y Sanzarello, I. (2023). Total Talar Prosthesis, Learning from Experience, Two Reports of Total Talar Prosthesis after Talar Extrusion and Literature Review. *Medicina*, 59(8), 1498. <https://doi.org/10.3390/medicina59081498>
- Love, B.; Alexander, B.; Ray, J.; Halstrom, J.; Barranco, H.; Solar, S.; Singh, M. y Shah, A. (2020). Outcomes of Tibiocalcaneal Arthrodesis in High-Risk Patients: An Institutional Cohort of 18 Patients. *Indian Journal of Orthopaedics*, 54(1), 14-21. <https://doi.org/10.1007/s43465-020-00048-z>
- Martin Oliva, X. y Viladot Voegeli, A. (2020). Aseptic (avascular) bone necrosis in the foot and ankle. *EFORT Open Reviews*, 5(10), 684-690. <https://doi.org/10.1302/2058-5241.5.200007>
- Miller, A. N.; Prasarn, M. L.; Dyke, J. P.; Helfet, D. L. y Lorich, D. G. (2011). Quantitative Assessment of the Vascularity of the Talus with Gadolinium-Enhanced Magnetic Resonance Imaging: *The Journal of Bone & Joint Surgery*, 93(12), 1116-1121. <https://doi.org/10.2106/JBJS.J.00693>
- Parekh, S. G. y Kadakia, R. J. (2021). Avascular Necrosis of the Talus. *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 29(6), e267-e278. <https://doi.org/10.5435/JAAOS-D-20-00418>
- Pearce, D. H.; Mongiardi, C. N.; Fornasier, V. L. y Daniels, T. R. (2005). Avascular Necrosis of the Talus: A Pictorial Essay. *RadioGraphics*, 25(2), 399-410. <https://doi.org/10.1148/rg.252045709>
- Prasarn, M. L.; Miller, A. N.; Dyke, J. P.; Helfet, D. L. y Lorich, D. G. (2010). Arterial Anatomy of the Talus: A Cadaver and Gadolinium-Enhanced MRI Study. *Foot & Ankle International*, 31(11), 987-993. <https://doi.org/10.3113/FAI.2010.0987>
- Ramhamadany, E.; Chadwick, C. y Davies, M. B. (2021). Treatment of Severe Avascular Necrosis of the Talus Using a Novel Keystone-Shaped 3D-

- Printed Titanium Truss Implant. *Foot & Ankle Orthopaedics*, 6(4), 24730114211043516. <https://doi.org/10.1177/24730114211043516>
- Ramu, T. K.; Bajuri, M. Y.; Hayyun, M. F. y Mazli, N. (2021). Outcome of Pantalar Fusion With Femoral Head Allograft in Avascular Necrosis of Talus. *Frontiers in Surgery*, 8, 658788. <https://doi.org/10.3389/fsurg.2021.658788>
- Sharma, A.; Patel, U. J.; Kadakia, R. J.; Chopra, A. y Parekh, S. (2022). Talus Avascular Necrosis: Demographics, Epidemiology, and Activity Level. *Journal of Foot and Ankle Surgery (Asia Pacific)*, 9(S1), S153-S156. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10040-1232>
- Tenenbaum, S.; Stockton, K. G.; Bariteau, J. T. y Brodsky, J. W. (2015). Salvage of Avascular Necrosis of the Talus by Combined Ankle and Hindfoot Arthrodesis Without Structural Bone Graft. *Foot & Ankle International*, 36(3), 282-287. <https://doi.org/10.1177/1071100714558506>
- Wijers, O.; Posthuma, J. J.; Engelmann, E. W. M. y Schepers, T. (s. f.). *And Body Fractures: A Systematic Review*.
- Zhang, H.; Fletcher, A. N.; Scott, D. J. y Nunley, J. (2022). Avascular Osteonecrosis of the Talus: Current Treatment Strategies. *Foot & Ankle International*, 43(2), 291-302. <https://doi.org/10.1177/10711007211051013>