sports

MDPI

Informe de caso

Terapia con inyecciones de colágeno porcino en tendinopatía proximal de isquiotibiales: reducción del tiempo de retorno al deporte en atletas

Matteo Baldassarri [1,*], Sarino Ricciardello [1], Diego Ghinelli [2], Luca Perazzo [1] y Roberto Buda [3]

1 Hospital Clínico "Villa Laura", 40139 Bolonia, Italia; sarinoricciardello@gmail.com (S.R.); lucaperazzo@hotmail.it (L.P.)
2 Hospital Clínico "Villa Maria", 47921 Rímini, Italia; dghinelli@omniway.sm
3 Hospital Clínico privado "Gruppioni", 40036 Bolonia, Italia; buda.ior@gmail.com
* Correspondencia: dr.mbaldassarri@gmail.com; Tel.: +39-392-5826380

Resumen

Antecedentes: La tendinopatía proximal de isquiotibiales (PHT) es una lesión por sobreuso desafiante, particularmente en atletas, caracterizada por dolor glúteo profundo localizado en la tuberosidad isquiática y a menudo exacerbado por la actividad deportiva. Esta condición puede afectar el rendimiento y limitar la actividad atlética de alto nivel. El retorno al deporte (RTS) se convierte, por tanto, en una necesidad médica, física, deportiva y económica. Aunque se han explorado diversas terapias conservadoras e inyectables, la evidencia sobre la eficacia de las inyecciones de colágeno porcino sigue siendo limitada. Este estudio comparó inyecciones de colágeno porcino guiadas por ecografía frente a un programa de rehabilitación estructurado para reducir el tiempo de RTS y mejorar las puntuaciones VISA-H en atletas con PHT diagnosticada clínicamente. Los enfoques conservadores para PHT incluyen fisioterapia, corticosteroides, plasma rico en plaquetas, ondas de choque e inyección de colágeno. El colágeno se considera una opción válida en tendinopatías por su mecanismo de acción regenerativo y restaurador.

Métodos: Se recopilaron datos retrospectivos de 28 atletas con diagnóstico clínico de PHT, confirmado mediante pruebas de provocación del dolor (Puranen-Orava, rodilla flexionada y rodilla flexionada modificada), divididos en dos grupos: COL y REHAB. Se registraron los resultados VISA-H en todos los sujetos. El grupo COL recibió tres inyecciones de colágeno guiadas por ecografía en intervalos semanales, además de indicaciones de atención estándar. El grupo REHAB completó un programa progresivo de ejercicios dirigido a isquiotibiales y estabilización lumbopélvica. Los resultados primarios fueron el tiempo hasta RTS (días) y las puntuaciones VISA-H al inicio y a las 8 semanas. Se registraron efectos adversos.

Resultados: Los grupos fueron homogéneos y presentaron distribución paramétrica en condiciones biológicas y fisiopatológicas. No se reportaron eventos adversos. Los tiempos medios hasta RTS fueron 57 y 72 días para COL y REHAB, respectivamente ($p = 0.0083$). Los resultados VISA-H mostraron mayor mejoría en COL que en REHAB ($p < 0.0001$), y la prueba log-rank mostró un hazard ratio (HR) más alto para RTS, 5.35 ($p = 0.0008$), en atletas COL.

Conclusiones: Las inyecciones de colágeno porcino guiadas por ecografía, combinadas con atención estándar, redujeron significativamente el tiempo de RTS y mejoraron las puntuaciones VISA-H frente a rehabilitación sola en atletas con PHT. Sin embargo, se requiere una cohorte más amplia para obtener más información sobre este tratamiento conservador en la PHT.

Palabras clave: terapia de inyección con colágeno porcino; lesión de isquiotibiales; atletas; retorno al deporte; puntuación VISA-H; eficacia; seguridad

check for updates

Editor académico: Blanca de la Cruz-Torres

Recibido: 23 de julio de 2025
Revisado: 12 de septiembre de 2025
Aceptado: 16 de septiembre de 2025
Publicado: 10 de octubre de 2025

Cita:

Baldassarri, M.; Ricciardello, S.; Ghinelli, D.; Perazzo, L.; Buda, R. La terapia con inyecciones de colágeno porcino reduce el tiempo de retorno al deporte en atletas con tendinopatía proximal de isquiotibiales. Sports 2025, 13, 359. https://doi.org/10.3390/sports13100359

Copyright:

© 2025 por los autores. Licenciatario MDPI, Basilea, Suiza. Este artículo es de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Attribution (CC BY) (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

1. Introducción

La tendinopatía proximal de los isquiotibiales (PHT) es una lesión por sobreuso que compromete la inserción proximal de los tendones isquiotibiales en la tuberosidad isquiática [1,2]. Se caracteriza por dolor glúteo profundo, a veces irradiado hacia la cara posterior del muslo, que se exacerba con actividades como sprint, salto o sedestación prolongada [1]. El síntoma principal es el dolor glúteo inferior, especialmente al correr o permanecer sentado durante períodos prolongados [3-6].

Cuando los atletas presentan dolor agudo en la cara posterior del muslo tras un estímulo mecánico, a menudo súbito - típico de una lesión por distensión de isquiotibiales (HSI) -, la evaluación clínica suele centrarse en las necesidades de rehabilitación para el retorno al deporte (RTS), más que en la búsqueda del diagnóstico verdadero; esto puede generar problemas pronósticos y el denominado "síndrome de shock postraumático" del atleta [7-9]. A diferencia de las HSI, que son lesiones musculares agudas, la PHT corresponde a una tendinopatía crónica con cambios degenerativos. Por ello, el tratamiento debe orientarse específicamente a la PHT y no a la HSI [1,2].

Los atletas con dolor en la cara posterior del muslo requieren diagnóstico diferencial para confirmar o descartar patologías propias de esta región, como avulsión del tendón proximal de los isquiotibiales, tendinopatía proximal de isquiotibiales, radiculopatía lumbar y lesión del músculo aductor [7]. Las causas que desencadenan un episodio de PHT son controvertidas; con frecuencia no está claro si el evento traumático aparece tras daño microscópico muscular repetido y acumulativo o como respuesta a un evento único que excede los límites físico-mecánicos de la estructura músculo-tendinosa [10].

La PHT también puede resultar del desgaste progresivo de la integridad tisular asociado a daño repetido en el tiempo, lo que deja al atleta vulnerable a desencadenantes y, por tanto, a eventos deportivos lesivos. En otras palabras, la PHT puede ser causada por un evento único o macrotraumático (independiente de la integridad muscular previa del atleta, por ejemplo, flexión de cadera). Los mecanismos que conducen a una lesión tipo PHT probablemente combinan varios factores: (1) alta carga de fuerzas sobre la unidad músculo-tendinosa, (2) elongación excesiva en relación con su estructura y (3) ejecución de movimientos a alta velocidad, como sprints súbitos [6,11].

Existen varios sistemas médicos de clasificación para las lesiones musculares. Sin embargo, la mayoría tiene diez o más años de antigüedad (O'Donoghue, Jackson, Takebayashi, Peetrons, Ryan, Durey y Rodineau, Stoller, Cohen, Chan, entre otros) [12]; por ello, varios grupos expertos han desarrollado sistemas más recientes:

• La declaración de consenso de Múnich [13], que diferencia, dentro de las lesiones musculares indirectas, los trastornos funcionales (tipo 1a = trastornos funcionales inducidos por fatiga; tipo 1b = dolor muscular de aparición tardía, DOMS; tipos 2a y 2b = trastornos neuromusculares de origen central o periférico) y las lesiones estructurales (tipo 3a = lesión muscular parcial menor; tipo 3b = lesión parcial moderada; tipo 4 = roturas musculares y avulsiones tendinosas (sub)totales).

• La British Athletics Muscle Injury Classification (BAMIC) [14], que asocia la extensión de la lesión según cinco estadios progresivos basados en resonancia magnética (0 = DOMS; 1 = lesión mínima; 2 = lesión moderada; 3 = lesión extensa; 4 = lesión completa) con el sitio de lesión (a = miofascial; b = muscular/musculotendinoso; c = intratendinoso).

• La clasificación MLG-R, desarrollada por FC Barcelona y "Aspetar", considera cuatro aspectos: M, mecanismo de lesión (directo, indirecto tipo sprint o indirecto tipo estiramiento); L, localización (tercio proximal, medio o distal del músculo); G, grado (estadios 0 a 3); y R, número de recurrencias (0 = primer episodio; 1 = primera recurrencia) [15].

Un consenso Delphi reciente informó que los especialistas utilizan principalmente tres sistemas de clasificación para lesiones de isquiotibiales: BAMIC (58%), consenso de Múnich (12%) y consenso de Barcelona (6%) [16]. Sin embargo, ninguno se recomienda para monitorizar la progresión de la rehabilitación ni para evaluar la preparación para el retorno al deporte (RTS).

El diagnóstico es clínico y se basa en una historia característica y en hallazgos del examen físico, incluidas pruebas de provocación del dolor. Las tres pruebas más validadas son la prueba de Puranen-Orava, la prueba de estiramiento con rodilla flexionada y la prueba de estiramiento con rodilla flexionada modificada. El hallazgo positivo corresponde a dolor localizado en el origen de los isquiotibiales [17,18].

La opinión experta concluye que se necesita más investigación sobre la utilidad de los sistemas de clasificación para establecer pronóstico y guiar la toma de decisiones terapéuticas [16]. Los tratamientos tradicionales para la PHT son comparables a los de otras tendinopatías: reposo y hielo para aliviar síntomas en la fase inicial [19], reducción o pausa de la actividad deportiva [20], antiinflamatorios no esteroideos (AINEs) [21], fisioterapia y programas continuos de ejercicios domiciliarios centrados en fortalecimiento excéntrico progresivo de isquiotibiales y estabilización del core [7,20,22,23].

El abordaje quirúrgico también se contempla en trastornos por PHT [24-26]. No obstante, la cirugía suele reservarse para casos en que fracasan los enfoques conservadores, prolongando el tiempo hasta RTS hasta 12 meses [25]. Por ello, los tratamientos conservadores son recomendables y útiles siempre que sea posible [27].

En los últimos años se han reconocido enfoques terapéuticos novedosos, incluida la terapia con ondas de choque (SWT) [28], la terapia con ultrasonido (US) [29,30], las inyecciones de corticosteroides guiadas por ultrasonido [31,32], las inyecciones de plasma rico en plaquetas (PRP) [33-35] y las inyecciones de colágeno [36,37].

La inyección de corticosteroides guiada por US se utiliza en PHT [38]; sin embargo, se han descrito efectos perjudiciales como enlentecimiento de la curación tisular a largo plazo por inhibición de los enlaces de colágeno, cicatrización incompleta y lesión recurrente [39]. Además, los síntomas suelen reaparecer después de buenos resultados iniciales de corto plazo [10].

La SWT [28], la terapia US [29,30] y la inyección de PRP han mostrado efectos positivos con períodos de aplicación de 2 a 4 meses [33-35]. La tendinopatía es una enfermedad crónica y dolorosa del tendón, caracterizada por cambios histológicos como desorganización del colágeno (COL) [40]. Las propiedades mecánicas de los tendones dependen de la estructura y composición de la matriz extracelular (MEC), constituida principalmente por colágeno tipo I [41].

El contenido de fibras tipo I en los tendones cumple un papel clave en la remodelación de la MEC y en las características físicas del tendón. Los tenocitos sostienen la adaptación mecánica del tendón al responder a los estímulos de carga, influyendo en la homeostasis de la MEC. En conjunto, el colágeno tipo I actúa como un andamiaje mecánico y constituye una herramienta terapéutica y regenerativa para promover la curación tendinosa en tendinopatías [42].

Randelli et al. demostraron la eficacia del colágeno porcino en tenocitos in vitro: los tenocitos cultivados en un entorno de colágeno porcino mostraron mayor proliferación y potencial de migración hacia el sitio de lesión [41,43]. Además, evidencia reciente ha demostrado efectos positivos de las inyecciones de colágeno porcino en el ámbito ortopédico, incluido el síndrome de dolor trocantérico mayor (GTPS) [41,44]. Otros estudios han reportado eficacia de la terapia inyectable con colágeno en trastornos musculoesqueléticos en un plazo corto [37,45,46], así como efectos positivos del colágeno porcino en la reducción de tendinopatías [47-49] y el aumento de la fuerza muscular corporal [50].

Como se señaló, las aplicaciones de colágeno representan un enfoque biológico novedoso para tratar tendinopatías y reconstrucciones musculotendinosas [49]; también se consideran una solución rentable, fácil de usar, regenerativa y libre de dopaje [42,43,51].

El tiempo hasta RTS es el objetivo principal para los atletas y sus equipos médicos, ya que una prolongación excesiva afecta la conducta psicológica del deportista, su rendimiento y el impacto económico para los equipos deportivos [52].

El propósito del presente análisis de serie de casos fue comparar la eficacia del tratamiento con inyección de colágeno porcino guiada por ultrasonido, en deportistas profesionales afectados por PHT, frente a la fisioterapia sola.

2. Materiales y Métodos

2.1. Aspectos generales y criterios de elegibilidad

Los datos se obtuvieron durante el período de tratamiento. Fueron recopilados por los autores (S.R. y M.B.) para construir una base de datos ad hoc con información clínica y datos personales anonimizados. Al inicio de esta fase se creó un código cifrado, permitiendo mantener el anonimato de los pacientes. Para la recopilación de datos, los pacientes debían cumplir los siguientes criterios de elegibilidad:

• Diagnóstico clínico, confirmado por RM cuando existía incertidumbre diagnóstica, de tendinopatía proximal de isquiotibiales/PHT. Los criterios confirmatorios por RM incluyeron aumento del grosor anteroposterior del tendón, mayor señal T2 peritendinosa y edema de médula ósea del isquion.

• Edad entre 18 y 50 años. • Actividad deportiva competitiva o semicompetitiva. • Duración de síntomas menor de 3 meses (fase aguda). • Diagnóstico clínico confirmado por al menos dos pruebas de provocación positivas (Puranen-Orava, estiramiento con rodilla flexionada o estiramiento modificado con rodilla flexionada).

• Dolor localizado en la tuberosidad isquiática al examen. • Sujetos deportistas o atléticos. • Sin tratamientos quirúrgicos reconstructivos o conservadores previos. • Sin beneficio de tratamientos infiltrativos u otros tratamientos conservadores. • Sin otras patologías concomitantes dentro del cuadro de PHT. • Tratamiento completado con MD-Muscle (Guna spa, Milán, Italia).

Los criterios de exclusión fueron: roturas completas del tendón; cirugías previas; inyecciones locales o tratamientos regenerativos previos; comorbilidades reumatológicas o neurológicas; alergia conocida al colágeno o a los componentes del producto; negativa a firmar consentimiento o baja adherencia al seguimiento.

2.2. Evaluación de datos

Todos los procedimientos de datos se realizaron de acuerdo con las normas legales para el manejo de datos humanos según la Declaración de Helsinki de 1975, actualizada en 2000 y 2008. Los datos de pacientes utilizados para la evaluación clínica correspondieron a 2 visitas (T0 y T1). La visita T1 representó el punto final para la recopilación de resultados y luego se comparó con los datos basales (T0). Todos los pacientes incluidos firmaron consentimiento informado antes de realizar los tratamientos.

2.3. Tratamiento y procedimiento técnico

Esta serie de casos utilizó dos grupos de intervención:

(REHAB; grupo control) Los pacientes recibieron únicamente un programa de rehabilitación estructurado, progresivo y supervisado por un fisioterapeuta, centrado en fortalecimiento isométrico, concéntrico y excéntrico de isquiotibiales y estabilización lumbopélvica.

Programa de rehabilitación (grupo REHAB):
Fase 1 (semanas 0-2): ejercicios isométricos de isquiotibiales (5 x 45 s), estabilización lumbopélvica (plancha, plancha lateral, puentes), evitando posiciones que generaran compresión del tendón.
Fase 2 (semanas 3-6): fortalecimiento progresivo concéntrico y excéntrico, incluyendo curl nórdico de isquiotibiales y peso muerto rumano, con flexión de cadera combinada (~110 grados) y flexión de rodilla (45-90 grados).
Fase 3 (semanas 7-10): ejercicios pliométricos, carrera específica del deporte y retorno gradual a la carga de entrenamiento.

Los ejercicios incluyeron puentes de glúteo a una pierna, peso muerto rumano, hip thrust con flexión de cadera de 110 grados, ejercicios de isquiotibiales con flexión de rodilla de 45-90 grados, progresión desde peso corporal hasta 70% de 1RM, 3-4 series de 8-12 repeticiones, velocidad controlada e introducción de pliometría en la fase final.

(COL; colágeno) Los pacientes recibieron 3 inyecciones semanales guiadas por ecografía, de 4 mL cada una (MD-Muscle, colágeno porcino, GUNA), además de un programa de rehabilitación individualizado como el descrito. Todos los pacientes COL recibieron la inyección en la región proximal del tendón de isquiotibiales mediante guía ecográfica con aguja 22G (23 mm). Antes de la inyección, el área diana se desinfectó con alcohol u otra solución antiséptica. El tratamiento consistió en 1 administración de colágeno porcino (MD-Muscle 4 mL; 2 viales).

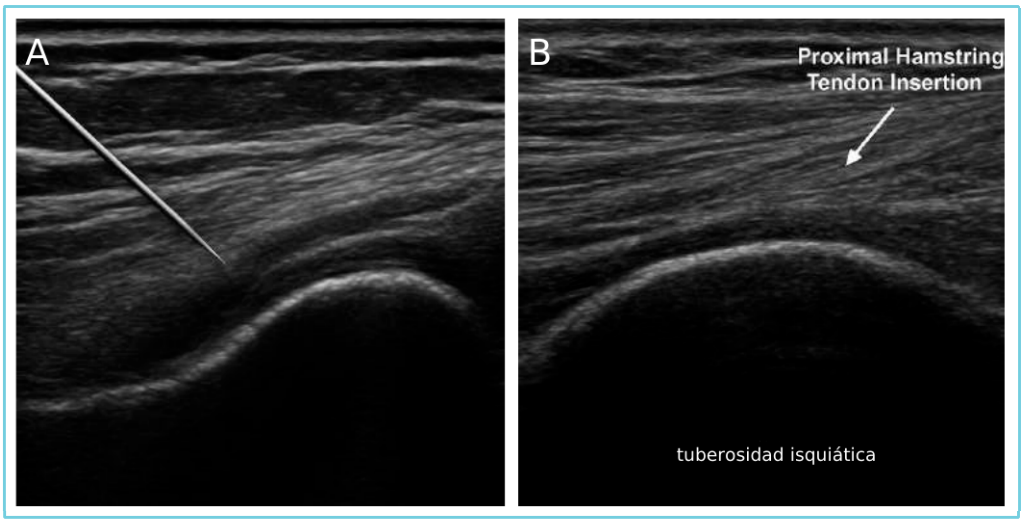


Figura 1. Inyección guiada por ecografía de MD-Muscle (colágeno porcino) en la región proximal de los isquiotibiales. (A) El médico utiliza una sonda de ultrasonido para guiar la aguja en tiempo real y asegurar una administración precisa en el tendón proximal de los isquiotibiales. (B) Ampliación de la imagen (A), que muestra la región PHT (flecha) y la tuberosidad isquiática (parte inferior de la figura). Las estructuras etiquetadas destacan el tejido muscular y el tendón isquiotibial. La imagen confirma la correcta posición de la aguja bajo guía ecográfica.

Atención concomitante: durante el período del estudio no se permitió ninguna otra terapia inyectable, terapia de ondas de choque ni uso de AINEs. Ambos grupos pudieron continuar actividades aeróbicas de baja carga (ciclismo, natación) si eran indoloras. Estas aclaraciones garantizan transparencia y confirman que ambos grupos recibieron un programa de rehabilitación basado en evidencia, con la única diferencia de la adición de la inyección de colágeno porcino en el grupo COL.

2.4. Seguimiento y evaluación de puntuación

El seguimiento se realizó hasta que el atleta fue considerado apto para el retorno al deporte (RTS). En todos los casos, la duración mínima del seguimiento se estableció en no menos de 56 días, es decir, 8 semanas. El estado clínico de los atletas se evaluó mediante el cuestionario Victorian Institute of Sport Assessment - Hamstring (VISA-H), una medida clínica autoinformada utilizada en pacientes con tendinopatía proximal de isquiotibiales (PHT) [18]. Consta de ocho preguntas que miden dominios de dolor, función en la vida diaria y actividades deportivas. Esta evaluación se efectuó al inicio, antes del tratamiento (T0), y al menos 8 semanas después del tratamiento. Semanalmente se monitorizaron parámetros biofísicos y clínicos: dolor, funcionalidad y condición general para RTS [5,29,53].

2.5. Procedimientos estadísticos

2.5.1. Metodología general

Todos los datos se listaron y ordenaron por género, población de análisis y tipo de deporte. Las tablas resumen de eficacia se estructuraron con una columna para cada objetivo y se anotó el tamaño total de la población relevante para cada tabla/tratamiento, incluidas observaciones faltantes. Las variables continuas se resumieron con estadística descriptiva: n, media, desviación estándar, mediana, máximo y mínimo. Para las variables categóricas se informaron frecuencia y porcentaje, calculados sobre el tamaño muestral no faltante.

Los datos generados en este estudio se registraron en un sistema electrónico específico, y las filas originales pueden estar disponibles bajo solicitud. Tras completar la entrada de datos y resolver todas las discrepancias, la base de datos se bloqueó para evitar modificaciones posteriores. Luego de los controles de calidad, se utilizó la base de datos en formato SAS para el análisis estadístico.

2.5.2. Variables del estudio

Para la documentación demográfica y clínica de los participantes se registraron: año de nacimiento, edad (años), género (masculino/femenino), peso, talla, cálculo de IMC, evaluación del dolor (puntuación VISA-H) y tiempo de retorno al deporte (RTS).

2.5.3. Aplicación de pruebas analíticas (ATA)

Para el análisis estadístico se utilizó GraphPad versión 8.0 para Apple Computer (PRISM, San Diego, CA, EE. UU.). Se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk para determinar si los datos presentaban distribución paramétrica; se calcularon valores W y p para todas las distribuciones. La prueba t de Student paramétrica y pareada se utilizó para comparar resultados entre las visitas T0 y T1. Estos análisis evaluaron la salida VISA-H en los tratamientos COL y REHAB. La prueba t paramétrica no pareada se utilizó para comparar los valores VISA-H en T0 entre ambos grupos y el tiempo hasta RTS.

Todos los parámetros medidos se evaluaron mediante estadística descriptiva clásica: media, SD, mínimo, máximo y frecuencias para variables cualitativas. La prueba log-rank se utilizó para evaluar resultados de tiempo hasta evento (hazard ratio; IC 95%). En los análisis cuantitativos, los resultados se consideraron significativos si $p < 0.05$.

3. Resultados

3.1. Distribución de atletas

En total se incluyeron 28 atletas en el estudio (Figura 2), distribuidos en 2 grupos de 14 atletas cada uno: COL y REHAB. Los atletas pertenecían a seis disciplinas deportivas: fútbol, baloncesto, ciclismo, triatlón, voleibol y Crossfit (Figura 2A). En total, 20 eran hombres y 8 mujeres (Figura 2B). Los dos grupos mostraron distribución paramétrica para edad (media 29.29 frente a 30.36; Figura 2C) y una distribución idéntica respecto al género global por tratamiento (Figura 2D) y al género según nivel de actividad deportiva (Figura 2E). Por tanto, los grupos de análisis COL y REHAB fueron homogéneos. Los resultados de la prueba de Shapiro-Wilk para la distribución paramétrica se presentan en la Figura 2F.

3.2. Puntuaciones del cuestionario VISA-H en la visita T0

Para comparar las diferencias estadísticas entre los dos grupos, se evaluaron las puntuaciones del cuestionario VISA-H en todos los atletas antes de iniciar el tratamiento, en la visita T0. Las puntuaciones de los grupos COL y REHAB fueron 43.50 ± 1.317 y 43.21 ± 1.219, respectivamente (Figura 3). Estas diferencias no fueron significativas mediante prueba t paramétrica no pareada ($p = 0.8728$). Por ello, los grupos se consideraron equivalentes en T0. Además, la prueba de Shapiro-Wilk indicó que ambos grupos tenían distribuciones paramétricas (Tabla 1).

Tabla 1. Resultados de la prueba de Shapiro-Wilk respecto a la Figura 2.

Tratamiento	Valor W	Valor p	Datos paramétricos
COL	0.9573	0.6787	SÍ
REHAB	0.9583	0.6952	SÍ

Nota. Los valores W y p se refieren a la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk.

3.3. Seguimiento

La duración del seguimiento (FU) de los atletas osciló entre 7 y 14 semanas. El FU máximo en el tratamiento COL fue de 65 días, mientras que el FU máximo en el protocolo REHAB fue de 95 días.

3.4. Resultados de retorno al deporte (RTS)

El tiempo hasta el retorno al deporte (RTS) es el parámetro más importante desde el punto de vista clínico y del atleta. Los análisis de RTS revelaron que los tratamientos COL y REHAB presentaron intervalos distintos para RTS después del tratamiento. El grupo COL tuvo un tiempo medio hasta RTS de 57 ± 5.588 días (aproximadamente 8 semanas), mientras que el grupo REHAB alcanzó una media de 72.50 ± 17.51 días. Los valores mínimo y máximo de tiempo hasta RTS fueron 47 y 95 días, respectivamente. Los intervalos de confianza (IC 95%) fueron 53.77-60.23 días para COL y 62.30-82.61 días para REHAB. Los análisis mostraron diferencias estadísticas entre los tratamientos ($p = 0.0083$) mediante prueba t paramétrica no pareada (Figura 4). La distribución paramétrica se presenta en la Tabla 2. Estos datos sugieren que COL mejora el tiempo hasta RTS frente a REHAB en todos los deportes.

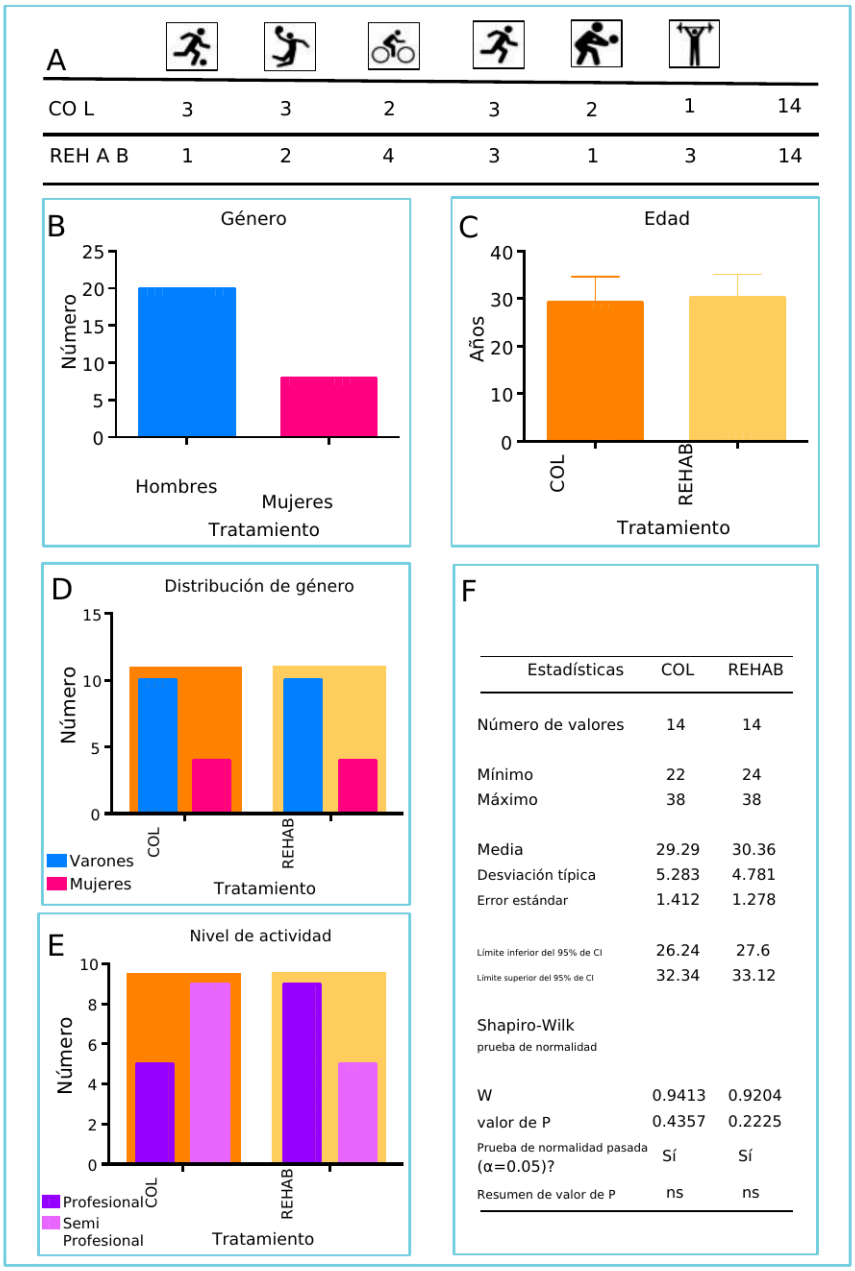


Figura 2. Representación de datos sobre la distribución de atletas. (A) Actividades deportivas; de izquierda a derecha: fútbol, baloncesto, ciclismo, triatlón, voleibol y Crossfit. (B) Edad media según tratamiento: COL (naranja) y REHAB (durazno). Distribución de género respecto a (C) distribución global; (D) tipo de tratamiento y (E) nivel de actividad deportiva. (F) Estadísticas sobre la distribución paramétrica de los atletas (edad).

Tabla 2. Resultados de la prueba de Shapiro-Wilk respecto a la Figura 4.

Tratamiento	Valor W	Valor p	Datos paramétricos
COL	0.9168	0.1974	SÍ
REHAB	0.9201	0.2268	SÍ

Nota. Los valores W y p se refieren a la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk.

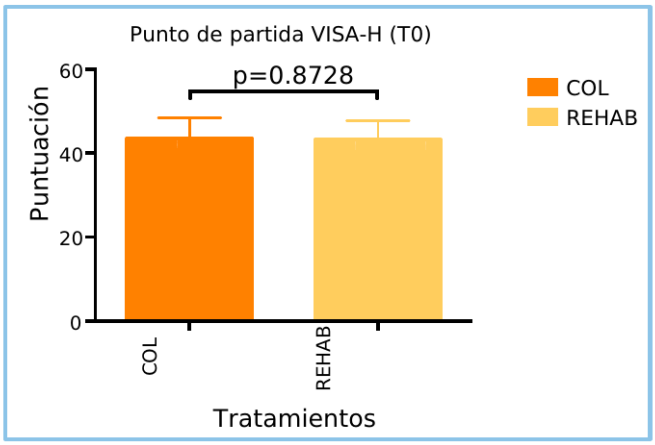


Figura 3. Resultados relativos a las puntuaciones VISA-H en el punto de partida (T0). Las diferencias no fueron estadísticamente significativas (p = 0.8728; análisis con prueba t; paramétrico; no pareado).

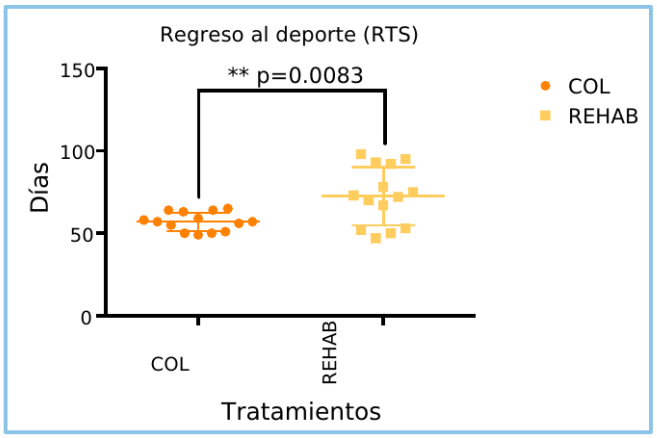


Figura 4. Resultados de retorno al deporte (RTS). Las diferencias entre COL y REHAB fueron estadísticamente significativas (** p = 0.0083; análisis con prueba t; paramétrico; no pareado).

3.5. Resultados de la puntuación VISA-H en el tratamiento COL

Las puntuaciones del cuestionario VISA-H se utilizaron para evaluar la condición clínica de todos los atletas del grupo COL durante el seguimiento hasta el momento del RTS. Las comparaciones entre el punto de partida (T0) y el punto final (T1) se realizaron por separado en ambos grupos de tratamiento (COL y REHAB). Las puntuaciones medias en el grupo COL fueron 43.50 ± 4.926 y 62.00 ± 3.305 en las visitas T0 y T1, respectivamente. Las puntuaciones VISA-H mostraron diferencias estadísticas mediante prueba t (paramétrica y pareada) (p = 0.0001; Figura 5).

El análisis de la distribución paramétrica de los datos se presenta en la Tabla 3. Estos análisis sugieren que el tratamiento COL mejora las puntuaciones VISA-H en la visita T1 (Figura 5).

Tabla 3. Resultados de la prueba de Shapiro-Wilk respecto a la Figura 5.

Tratamiento	Valor W	Valor p	Datos paramétricos
COL (T0)	0.9573	0.6787	SÍ
COL (T1)	0.9468	0.5123	SÍ

Nota. Los valores W y p se refieren a la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk.

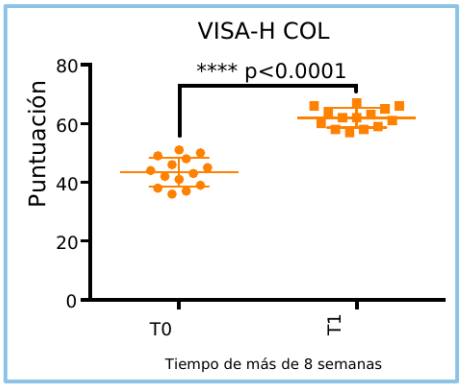


Figura 5. Puntuaciones VISA-H en el tratamiento COL. Las diferencias entre las visitas T0 y T1 fueron estadísticamente significativas (**** p < 0.0001; análisis con prueba t; paramétrico; pareado).

3.6. Resultados de la puntuación VISA-H en el tratamiento REHAB

Las puntuaciones del cuestionario VISA-H se utilizaron para evaluar la condición clínica de todos los atletas del tratamiento REHAB durante el seguimiento hasta el momento del RTS. Las puntuaciones medias del grupo REHAB fueron 43.21 ± 4.560 y 67.00 ± 4.057 en las visitas T0 y T1, respectivamente. Las puntuaciones VISA-H mostraron diferencias estadísticamente significativas mediante prueba t (paramétrica y pareada) (p = 0.0001; Figura 6). Los análisis de distribución paramétrica se presentan en la Tabla 4. Estos datos sugieren que el tratamiento REHAB mejora las puntuaciones VISA-H en la visita T1, como se observó para el tratamiento COL (Figura 6).

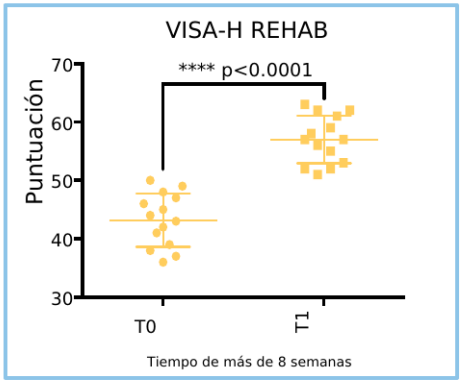


Figura 6. Puntuaciones VISA-H en el tratamiento REHAB. Las diferencias entre las visitas T0 y T1 fueron estadísticamente significativas (**** p < 0.0001; análisis con prueba t; paramétrico; pareado).

Tabla 4. Resultados de la prueba de Shapiro-Wilk respecto a la Figura 6.

Tratamiento	Valor W	Valor p	Datos paramétricos
REHAB (T0)	0.9583	0.6952	SÍ
REHAB (T1)	0.9371	0.3820	SÍ

Nota. Los valores W y p se refieren a la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk.

3.7. Análisis de VISA-H (evaluación del delta y la velocidad)

Para evaluar con mayor detalle si el tratamiento COL fue más eficaz que REHAB, se analizó la variación del VISA-H (delta) y su velocidad (aceleración; delta de puntos VISA-H por semana), utilizando los datos de la comparación entre las visitas T1 y T0 para ambos tratamientos. También se realizaron pruebas t (paramétricas no pareadas) para los análisis de delta y velocidad. Las variaciones medias de los puntos delta de VISA-H fueron 18.50 ± 0.4776 y 13.79 ± 1.692 para COL y REHAB, respectivamente (Figura 7, gráfico derecho).

Los valores medios de velocidad fueron 3.085 ± 0.0795 y 2.298 ± 0.388, respectivamente (Figura 7, gráfico derecho). Ambos análisis de la diferencia entre COL y REHAB revelaron diferencias estadísticamente significativas: delta VISA-H (p = 0.0171) y velocidad VISA-H (p = 0.0263). Estas diferencias indican un aumento positivo en el delta de puntuación VISA-H y en la velocidad VISA-H con el tratamiento COL respecto de REHAB (+34.24%), confirmando la reducción del delta VISA-H en la evaluación clínica (Figura 7).

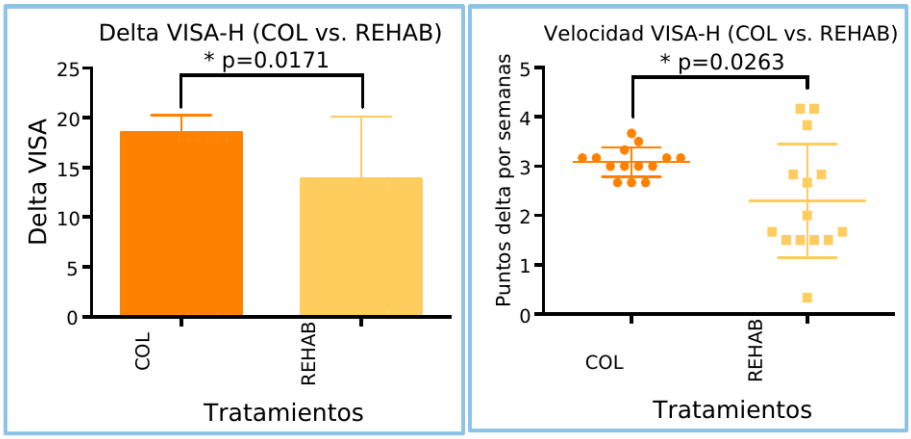


Figura 7. Resultados de los análisis del delta VISA-H (izquierda) y de la velocidad VISA-H (derecha).

3.8. Proporción y hazard ratio (HR) para RTS

Para evaluar si estas dos poblaciones diferían en términos de proporción de tratamiento, se realizó un análisis de Kaplan-Meier (KM) con prueba log-rank. Se asumió que el evento censurado se asociaba con el RTS; por tanto, la proporción reveló el porcentaje de atletas que aún permanecían en tratamiento. Los resultados mostraron diferencias estadísticamente significativas entre las poblaciones (COL frente a REHAB; p = 0.0008). El hazard ratio para retorno al deporte (RTS) en el tratamiento COL fue 5.359 (IC 95%: 2.004 a 14.330; Figura 8). Estos datos sugieren que COL aumentó cinco veces la probabilidad de RTS respecto al protocolo REHAB (Figura 8).

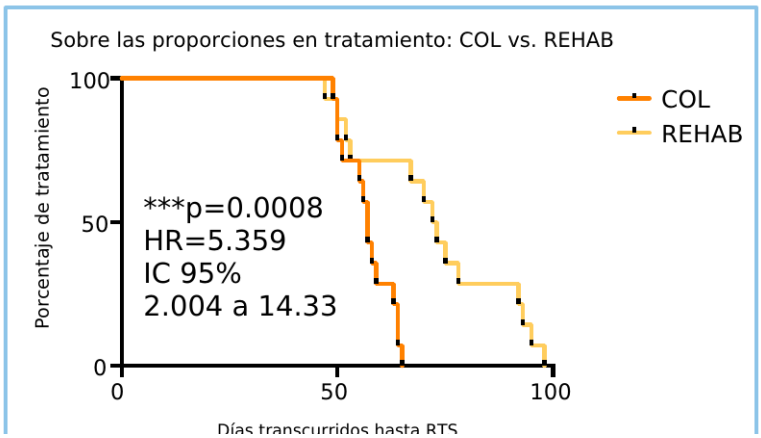


Figura 8. Proporción KM para las poblaciones COL y REHAB.

4. Discusión

Las lesiones de isquiotibiales (HIs) se encuentran entre las lesiones más frecuentes en atletas y personas deportistas [5,7,29,54]. A pesar de un manejo óptimo, incluido el diagnóstico [23,29] y el tratamiento [5,53,55], la causa de las lesiones musculares de isquiotibiales no está bien definida [29,39]. De hecho, a menudo se requieren diagnósticos diferenciales de las HSI [7].

Las principales patologías asociadas al diagnóstico de HSI incluyen la tendinopatía proximal de isquiotibiales (PHT) [56,57], la avulsión del tendón proximal de isquiotibiales (PHTA) [4], la radiculopatía lumbar (LSR) [7] y la lesión del músculo aductor (AMI). La manifestación de síntomas incluye dolor en la cara posterior del muslo, a veces acompañado de un chasquido audible o sensorial, lo que provoca la detención inmediata de la actividad [9]. El síntoma principal de la PHT es el dolor glúteo inferior, especialmente durante la carrera o la sedestación prolongada [57].

De acuerdo con las clasificaciones basadas en consensos sobre lesiones de isquiotibiales [16], se incluyeron 28 atletas afectados por PHT. Los sujetos fueron divididos en dos grupos asociados con dos tratamientos diferentes: uno con colágeno porcino (COL) y otro con un programa habitual de rehabilitación (REHAB) [39]. Los métodos tradicionales para PHT son comparables a los de otras tendinopatías: reposo e hielo para aliviar síntomas en la fase inicial, reducción o pausa de la actividad deportiva, AINEs, movilización de tejidos blandos, fisioterapia y programas de ejercicios domiciliarios centrados en fortalecimiento excéntrico progresivo de isquiotibiales y estabilización del core [58].

Los abordajes quirúrgicos se consideran cuando fracasan los procedimientos conservadores [24,25,59]. En esos casos, el tiempo hasta RTS puede prolongarse hasta 12 meses [24]. Por ello, los enfoques conservadores siguen siendo la primera elección siempre que sea posible [27]. Recientemente se han reconocido nuevos abordajes terapéuticos, como la SWT [28], la terapia US [30] y las inyecciones guiadas por ultrasonido de corticosteroides [31] y PRP [33]. La eficacia de la aplicación de colágeno en tendones fue propuesta inicialmente por Randelli et al., quienes reportaron eficacia del colágeno porcino en tenocitos humanos [42]; desde entonces otros estudios clínicos han informado eficacia del colágeno porcino en humanos [36,37,49,60].

El primer objetivo de todos los tratamientos mencionados es aumentar el beneficio para los atletas y reducir su tiempo hasta RTS. Los tiempos más rápidos parecen lograrse con inyecciones de corticosteroides (RTS = 1 mes). Sin embargo, diversos clínicos han reportado efectos secundarios asociados, incluida irritación local, despigmentación cutánea, supresión de la actividad de tenocitos y de la síntesis de colágeno, y avulsión tendinosa [29,61,62]. Las otras opciones ofrecen tiempos de RTS de 3 meses (SWT) o 4.5 meses (PRP). En particular, la relación eficacia-beneficio de las inyecciones de PRP es controvertida [29,63].

Las inyecciones de colágeno porcino (tratamiento COL) requieren la misma especialización que las inyecciones de corticosteroides y plasma, pero demostraron mejores resultados en términos de tiempo de RTS. En este estudio, el tiempo medio de RTS del grupo COL fue de 57 días, menos de dos meses. Los análisis también incluyeron evaluaciones clínicas mediante el cuestionario VISA-H, procedimiento bien documentado y utilizado en Europa para la evaluación de PHT en futbolistas [57,64]. En ese estudio [64], una puntuación VISA-H normal se estimó alrededor de 60.9 (valor medio). La evaluación VISA-H fue positiva en ambos grupos después del tratamiento (COL en T1 y REHAB en T1). Sin embargo, las puntuaciones VISA-H del grupo COL fueron mejores que las del grupo REHAB, con una media de 62.00. Estos datos concuerdan con la literatura.

El tratamiento COL demostró mejores resultados que REHAB en tiempo de RTS (57 frente a 72 días), delta VISA-H (18.50 frente a 13.79 puntos) y velocidad VISA-H (3.085 frente a 2.298 puntos/semana). Finalmente, la prueba log-rank reveló un valor p robusto ($p = 0.0008$) para la proporción de atletas que permanecían en tratamiento. Por tanto, los análisis mostraron un HR = 5.359 para el grupo COL respecto a REHAB en la reducción del tiempo hasta RTS.

Las explicaciones de por qué el colágeno puede tener un efecto positivo probablemente se encuentran en los mecanismos biológicos implicados en el proceso de reparación posterior a una lesión por distensión de isquiotibiales [39]. Se ha documentado un aumento significativo en la producción de colágeno tipo III al inicio del proceso de curación [65]. Este tipo de fibrilla presenta menor diámetro y, por tanto, menor resistencia a la tracción que las fibrillas de colágeno tipo I. Esto implica menor capacidad de carga respecto al tejido muscular sano, donde el porcentaje de colágeno tipo I es mucho más abundante [66,67]. Con el tiempo, la proporción de fibras de colágeno tipo I/III, es decir, la resistencia tensil del tejido reparado, aumenta de forma significativa [33,65,68].

Para proporcionar soporte mecánico y formar una fibra capaz de resistir estrés físico, las fibras de colágeno deben estar altamente entrecruzadas [65]. Cabe señalar que los tratamientos con corticosteroides parecen reducir el potencial de curación alrededor de los tenocitos [62]. Estos análisis demuestran que las dos poblaciones estudiadas fueron homogéneas y que la distribución fue paramétrica; por tanto, las diferencias estadísticas observadas no parecen estar condicionadas por los datos anagráficos ni por el nivel de actividad deportiva.

En el contexto de las terapias inyectables para PHT, el PRP ha sido el más estudiado, con evidencia que sugiere potenciales beneficios mediante la entrega de factores de crecimiento que estimulan la regeneración tisular. Varios ensayos controlados aleatorizados y metaanálisis han evaluado PRP en tendinopatía, aunque los resultados continúan siendo mixtos, con heterogeneidad metodológica y tiempos de seguimiento variables [20,27,69].

Las inyecciones de colágeno podrían ofrecer beneficios complementarios o alternativos al aportar directamente proteínas estructurales a la MEC, favoreciendo potencialmente la remodelación tendinosa y la restauración del equilibrio colágeno tipo I/III [66,69]. No obstante, los mecanismos precisos siguen siendo especulativos y requieren más investigación mecanística. Aun así, el enfoque COL demostró mejores resultados en términos de tiempos RTS y puntuaciones VISA-H. Las limitaciones incluyen el pequeño tamaño muestral (n = 14 por grupo), ausencia de grupo placebo o inyección simulada, falta de comparación con otras terapias inyectables como PRP o corticosteroides, ausencia de seguimiento a largo plazo más allá de seis meses y limitada heterogeneidad de deportes representados.

Cabe destacar que la infiltración con corticosteroides puede ser peligrosa para los tendones y, en términos generales, puede considerarse una acción dopante. Además, la ausencia de efectos adversos y la seguridad del tratamiento COL constituyen vías para continuar investigando y superar parte de estas limitaciones. En términos generales, las lesiones por PHT también representan un punto de inflexión económico en la disciplina profesional del atleta. Las lesiones generan pérdidas presupuestarias significativas en el deporte profesional, por lo que el tiempo de RTS se convierte en un requisito para la salud deportiva, la recuperación del rendimiento atlético, la reducción de gastos médicos y la protección de los ingresos.

5. Conclusiones

La tendinopatía proximal de isquiotibiales (PHT) es una patología relevante que afecta a atletas profesionales y a su rendimiento, obligándolos a detener sus actividades deportivas. El tiempo hasta el retorno al deporte (RTS) es un intervalo crítico que influye en el rendimiento del atleta y en el presupuesto de su equipo. Los enfoques conservadores, desde la rehabilitación hasta las terapias inyectables, buscan modificar los tiempos de RTS. Nuestros análisis de un nuevo tratamiento conservador (COL; MD-MUSCLE) parecen demostrar ventajas frente al protocolo de rehabilitación, incluyendo (1) reducción del tiempo de RTS, (2) mejora de las condiciones clínicas y (3) beneficios clínicos acelerados y resultados más uniformes tras el tratamiento. No obstante, persisten limitaciones como el bajo número de atletas y la ausencia de grupo placebo. Las inyecciones de colágeno porcino generaron un tiempo RTS más corto, posiblemente por su mecanismo regenerativo y reparador, en el cual la renovación entre fibras de colágeno tipo I y tipo III podría explicar la eficacia observada. Se requiere estudiar una cohorte más amplia para confirmar el beneficio clínico del tratamiento conservador con colágeno porcino en PHT.

Contribuciones de los autores: Conceptualización, M.B.; metodología, M.B.; software, S.R.; validación, S.R., D.G. y L.P.; análisis formal, S.R., D.G. y L.P.; investigación, S.R., D.G. y L.P.; recursos, R.B.; curación de datos, M.B.; redacción - preparación del borrador original, M.B.; redacción - revisión y edición, M.B. y S.R.; visualización, R.B.; supervisión, R.B.; administración del proyecto, S.R.; adquisición de financiación, R.B. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

Financiación: Esta investigación no recibió financiación externa; únicamente las tasas APC fueron financiadas por GUNA.

Declaración del Comité de Revisión Institucional: Para este estudio no fue necesaria la aprobación de un comité de ética, ya que corresponde a un análisis retrospectivo de datos anonimizados. Los datos utilizados fueron anonimizados; por tanto, no es posible identificar a los sujetos, incluso mediante operaciones informáticas posteriores. Este aspecto está regulado por la ley n.º 675/1996 del Garante de Privacidad en Italia, en cumplimiento del uso de datos personales con fines científicos. De acuerdo con las regulaciones italianas, el Reglamento Europeo (UE) 2016/679 (GDPR) y estándares éticos internacionales (Declaración de Helsinki, WMA 2013, art. 37), los estudios retrospectivos que no impliquen datos identificables ni alteren la trayectoria diagnóstico-terapéutica no requieren aprobación previa por comité de ética, siempre que se proteja la privacidad y confidencialidad del paciente.

Declaración de consentimiento informado: Se obtuvo consentimiento informado firmado de todos los sujetos incluidos en este estudio.

Declaración de disponibilidad de datos: Todos los datos obtenidos de este estudio están disponibles para consulta. El responsable de los datos es Matteo Baldassarri.

Conflictos de interés: Los autores declaran no tener conflictos de interés.

Referencias

1. Schroeter, S.; Heiss, R.; Hammer, C.M.; Best, R.; Brucker, P.; Hinterwimmer, S.; Grim, C.; Engelhardt, M.; Hotfiel, T. Pathogenesis and Diagnosis of Proximal Hamstring Tendinopathies. *Sportverletz. Sportschaden* **2024**, *38*, 31–39. [CrossRef] [PubMed]
2. Goom, T.S.H.; Malliaras, P.; Reiman, M.P.; Purdam, C.R. Proximal Hamstring Tendinopathy: Clinical Aspects of Assessment and Management. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* **2016**, *46*, 483–493. [CrossRef]
3. Roe, M.; Murphy, J.C.; Gissane, C.; Blake, C. Hamstring Injuries in Elite Gaelic Football: An 8-Year Investigation to Identify Injury Rates, Time-Loss Patterns and Players at Increased Risk. *Br. J. Sports Med.* **2018**, *52*, 982–988. [CrossRef]
4. Bertiche, P.; Mohtadi, N.; Chan, D.; Hölmich, P. Proximal Hamstring Tendon Avulsion: State of the Art. *J. ISAKOS* **2021**, *6*, 237–246. [CrossRef]
5. Biz, C.; Nicoletti, P.; Baldin, G.; Bragazzi, N.L.; Crimì, A.; Ruggieri, P. Hamstring Strain Injury (HSI) Prevention in Professional and Semi-Professional Football Teams: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2021**, *18*, 8272. [CrossRef] [PubMed]
6. Heiderscheit, B.C.; Hoerth, D.M.; Chumanov, E.S.; Swanson, S.C.; Thelen, B.J.; Thelen, D.G. Identifying the Time of Occurrence of a Hamstring Strain Injury during Treadmill Running: A Case Study. *Clin. Biomech.* **2005**, *20*, 1072–1078. [CrossRef]
7. Hickey, J.T.; Opar, D.A.; Weiss, L.J.; Heiderscheit, B.C. Hamstring Strain Injury Rehabilitation. *J. Athl. Train.* **2022**, *57*, 125–135. [CrossRef]
8. Whiteley, R.; Van Dyk, N.; Wangensteen, A.; Hansen, C. Clinical Implications from Daily Physiotherapy Examination of 131 Acute Hamstring Injuries and Their Association with Running Speed and Rehabilitation Progression. *Br. J. Sports Med.* **2018**, *52*, 303–310. [CrossRef]
9. Jacobsen, P.; Witvrouw, E.; Muxart, P.; Tol, J.L.; Whiteley, R. A Combination of Initial and Follow-up Physiotherapist Examination Predicts Physician-Determined Time to Return to Play after Hamstring Injury, with No Added Value of MRI. *Br. J. Sports Med.* **2016**, *50*, 431–439. [CrossRef]
10. Opar, D.A.; Williams, M.D.; Shield, A.J. Hamstring Strain Injuries: Factors That Lead to Injury and Re-Injury. *Sports Med.* **2012**, *42*, 209–226. [CrossRef] [PubMed]
11. Chumanov, E.S.; Heiderscheit, B.C.; Thelen, D.G. Hamstring Musculotendon Dynamics during Stance and Swing Phases of High-Speed Running. *Med. Sci. Sports Exerc.* **2011**, *43*, 525–532. [CrossRef]

12. Delvaux, F.; Croisier, J.-L.; Carling, C.; Orhant, E.; Kaux, J.-F. Hamstring muscle injury in football players—Part I: Epidemiology, risk factors, injury mechanisms and treatment. *Rev. Med. Liege* **2023**, *78*, 160–164.
13. Mueller-Wohlfahrt, H.-W.; Haensel, L.; Mithoefer, K.; Ekstrand, J.; English, B.; McNally, S.; Orchard, J.; Van Dijk, C.N.; Kerkhoffs, G.M.; Schamasch, P.; et al. Terminology and Classification of Muscle Injuries in Sport: The Munich Consensus Statement. *Br. J. Sports Med.* **2013**, *47*, 342–350. [CrossRef]
14. Pollock, N.; James, S.L.J.; Lee, J.C.; Chakraverty, R. British Athletics Muscle Injury Classification: A New Grading System. *Br. J. Sports Med.* **2014**, *48*, 1347–1351. [CrossRef]
15. Valle, X.; Alentorn-Geli, E.; Tol, J.L.; Hamilton, B.; Garrett, W.E.; Pruna, R.; Til, L.; Gutierrez, J.A.; Alomar, X.; Balius, R.; et al. Muscle Injuries in Sports: A New Evidence-Informed and Expert Consensus-Based Classification with Clinical Application. *Sports Med.* **2017**, *47*, 1241–1253. [CrossRef]
16. Paton, B.M.; Court, N.; Giakoumis, M.; Head, P.; Kayani, B.; Kelly, S.; Kerkhoffs, G.M.M.J.; Moore, J.; Moriarty, P.; Murphy, S.; et al. London International Consensus and Delphi Study on Hamstring Injuries Part 1: Classification. *Br. J. Sports Med.* **2023**, *57*, 254–265. [CrossRef]
17. Cacchio, A.; Borra, F.; Severini, G.; Foglia, A.; Musarra, F.; Taddio, N.; De Paulis, F. Reliability and Validity of Three Pain Provocation Tests Used for the Diagnosis of Chronic Proximal Hamstring Tendinopathy. *Br. J. Sports Med.* **2012**, *46*, 883–887. [CrossRef] [PubMed]
18. Cacchio, A.; De Paulis, F.; Maffulli, N. Development and Validation of a New Visa Questionnaire (VISA-H) for Patients with Proximal Hamstring Tendinopathy. *Br. J. Sports Med.* **2014**, *48*, 448–452. [CrossRef]
19. Pihl, E.; Laszlo, S.; Rosenlund, A.-M.; Kristoffersen, M.H.; Schilcher, J.; Hedbeck, C.J.; Skorpil, M.; Micoli, C.; Eklund, M.; Sköldenberg, O.; et al. Operative versus Nonoperative Treatment of Proximal Hamstring Avulsions. *NEJM Evid.* **2024**, *3*, EVIDoa2400056. [CrossRef]
20. Vermeulen, R.; Whiteley, R.; Van Der Made, A.D.; Van Dyk, N.; Almusa, E.; Geertsema, C.; Targett, S.; Farooq, A.; Bahr, R.; Tol, J.L.; et al. Early versus Delayed Lengthening Exercises for Acute Hamstring Injury in Male Athletes: A Randomised Controlled Clinical Trial. *Br. J. Sports Med.* **2022**, *56*, 792–800. [CrossRef] [PubMed]
21. Clanton, T.O.; Coupe, K.J. Hamstring Strains in Athletes: Diagnosis and Treatment. *J. Am. Acad. Orthop. Surg.* **1998**, *6*, 237–248. [CrossRef]
22. Jankaew, A.; Chen, J.-C.; Chamnongkich, S.; Lin, C.-F. Therapeutic Exercises and Modalities in Athletes with Acute Hamstring Injuries: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Health Multidiscip. Approach* **2023**, *15*, 497–511. [CrossRef]
23. Ishøi, L.; Krommes, K.; Husted, R.S.; Juhl, C.B.; Thorborg, K. Diagnosis, Prevention and Treatment of Common Lower Extremity Muscle Injuries in Sport—Grading the Evidence: A Statement Paper Commissioned by the Danish Society of Sports Physical Therapy (DSSF). *Br. J. Sports Med.* **2020**, *54*, 528–537. [CrossRef]
24. Benazzo, F.; Marullo, M.; Zanon, G.; Indino, C.; Pelillo, F. Surgical Management of Chronic Proximal Hamstring Tendinopathy in Athletes: A 2 to 11 Years of Follow-Up. *J. Orthop. Traumatol.* **2013**, *14*, 83–89. [CrossRef]
25. Lempainen, L.; Sarimo, J.; Mattila, K.; Vaittinen, S.; Orava, S. Proximal Hamstring Tendinopathy: Results of Surgical Management and Histopathologic Findings. *Am. J. Sports Med.* **2009**, *37*, 727–734. [CrossRef] [PubMed]
26. Bowman, K.F.; Cohen, S.B.; Bradley, J.P. Operative Management of Partial-Thickness Tears of the Proximal Hamstring Muscles in Athletes. *Am. J. Sports Med.* **2013**, *41*, 1363–1371. [CrossRef] [PubMed]
27. Dizon, P.; Jeanfavre, M.; Leff, G.; Norton, R. Comparison of Conservative Interventions for Proximal Hamstring Tendinopathy: A Systematic Review and Recommendations for Rehabilitation. *Sports* **2023**, *11*, 53. [CrossRef]
28. Schroeder, A.N.; Tenforde, A.S.; Jelsing, E.J. Extracorporeal Shockwave Therapy in the Management of Sports Medicine Injuries. *Curr. Sports Med. Rep.* **2021**, *20*, 298–305. [CrossRef] [PubMed]
29. Chu, S.K.; Rho, M.E. Hamstring Injuries in the Athlete: Diagnosis, Treatment, and Return to Play. *Curr. Sports Med. Rep.* **2016**, *15*, 184–190. [CrossRef]
30. Korakakis, V.; Whiteley, R.; Tzavara, A.; Malliaropoulos, N. The Effectiveness of Extracorporeal Shockwave Therapy in Common Lower Limb Conditions: A Systematic Review Including Quantification of Patient-Rated Pain Reduction. *Br. J. Sports Med.* **2018**, *52*, 387–407. [CrossRef]
31. Zissen, M.H.; Wallace, G.; Stevens, K.J.; Fredericson, M.; Beaulieu, C.F. High Hamstring Tendinopathy: MRI and Ultrasound Imaging and Therapeutic Efficacy of Percutaneous Corticosteroid Injection. *Am. J. Roentgenol.* **2010**, *195*, 993–998. [CrossRef]
32. Silvers-Granelli, H.J.; Cohen, M.; Espregueira-Mendes, J.; Mandelbaum, B. Hamstring Muscle Injury in the Athlete: State of the Art. *J. ISAKOS* **2021**, *6*, 170–181. [CrossRef]
33. Seow, D.; Shimozono, Y.; Tengku Yusof, T.N.B.; Yasui, Y.; Massey, A.; Kennedy, J.G. Platelet-Rich Plasma Injection for the Treatment of Hamstring Injuries: A Systematic Review and Meta-Analysis with Best-Worst Case Analysis. *Am. J. Sports Med.* **2021**, *49*, 529–537. [CrossRef] [PubMed]
34. Desouza, C.; Shetty, V. Efficacy of Platelet-Rich Plasma in Grade 2 Hamstring Muscle Injuries: Results from a Randomized Controlled Trial. *Eur. J. Orthop. Surg. Traumatol.* **2025**, *35*, 259. [CrossRef]

35. Poursalehian, M.; Lotfi, M.; Zafarmandi, S.; Arabzadeh Bahri, R.; Halabchi, F. Hamstring Injury Treatments and Management in Athletes: A Systematic Review of the Current Literature. *JBJS Rev.* **2023**, *11*, e23. [CrossRef]
36. Corrado, B.; Mazzuoccolo, G.; Liguori, L.; Chirico, V.A.; Costanzo, M.; Bonini, I.; Bove, G.; Curci, L. Treatment of Lateral Epicondylitis with Collagen Injections: A Pilot Study. *Muscle Ligaments Tendons J.* **2019**, *9*, 584. [CrossRef]
37. Godek, P.; Szczepanowska-Wolowiec, B.; Golicki, D. Collagen and PRP in Partial Thickness Rotator Cuff Injuries. Friends or Only Indifferent Neighbours? Randomized Controlled Trial. *Review* **2021**, *23*, 1109.
38. Park, P.Y.S.; Cai, C.; Bawa, P.; Kumaravel, M. Platelet-Rich Plasma vs. Steroid Injections for Hamstring Injury—Is There Really a Choice? *Skeletal Radiol.* **2019**, *48*, 577–582. [CrossRef]
39. Pieters, D.; Wezenbeek, E.; Schuermans, J.; Witvrouw, E. Return to Play After a Hamstring Strain Injury: It Is Time to Consider Natural Healing. *Sports Med.* **2021**, *51*, 2067–2077. [CrossRef]
40. Giai Via, A.; Papa, G.; Oliva, F.; Maffulli, N. Tendinopathy. *Curr. Phys. Med. Rehabil. Rep.* **2016**, *4*, 50–55. [CrossRef]
41. Koszela, K.; Woldańska-Okońska, M.; Słupiński, M.; Gasik, R. The Role of Injection Collagen Therapy in Greater Trochanter Pain Syndrome. A New Therapeutic Approach? *Rheumatology* **2025**, *63*, 131–137. [CrossRef]
42. Randelli, F.; Sartori, P.; Carlomagno, C.; Bedoni, M.; Menon, A.; Vezzoli, E.; Sommariva, M.; Gagliano, N. The Collagen-Based Medical Device MD-Tissue Acts as a Mechanical Scaffold Influencing Morpho-Functional Properties of Cultured Human Tenocytes. *Cells* **2020**, *9*, 2641. [CrossRef]
43. Randelli, F.; Menon, A.; Giai Via, A.; Mazzoleni, M.; Sciancalepore, F.; Brioschi, M.; Gagliano, N. Effect of a Collagen-Based Compound on Morpho-Functional Properties of Cultured Human Tenocytes. *Cells* **2018**, *7*, 246. [CrossRef]
44. Randelli, F.; Fioruzzi, A.; Mazzoleni, M.G.; Radaelli, A.; Rahali, L.; Verga, L.; Menon, A. Efficacy of Ultrasound-Guided Injections of Type I Collagen-Based Medical Device for Greater Trochanteric Pain Syndrome: A Pilot Study. *Life* **2025**, *15*, 366. [CrossRef] [PubMed]
45. Corrado, B.; Bonini, I.; Chirico, V.A.; Filippini, E.; Liguori, L.; Magliulo, G.; Mazzuoccolo, G.; Rosano, N.; Gisonni, P. Ultrasound-Guided Collagen Injections in the Treatment of Supraspinatus Tendinopathy: A Case Series Pilot Study. *J. Biol. Regul. Homeost. Agents* **2020**, *34*, 33–39. [PubMed]
46. De Pascalis, M.; Mulas, S.; Sgarbi, L. Combined Oxygen–Ozone and Porcine Injectable Collagen Therapies Boosting Efficacy in Low Back Pain and Disability. *Diagnostics* **2024**, *14*, 2411. [CrossRef]
47. Praet, S.F.E.; Purdam, C.R.; Welvaert, M.; Vlahovich, N.; Lovell, G.; Burke, L.M.; Gaida, J.E.; Manzanero, S.; Hughes, D.; Waddington, G. Oral Supplementation of Specific Collagen Peptides Combined with Calf-Strengthening Exercises Enhances Function and Reduces Pain in Achilles Tendinopathy Patients. *Nutrients* **2019**, *11*, 76. [CrossRef]
48. Jendricke, P.; Centner, C.; Zdzieblik, D.; Gollhofer, A.; König, D. Specific Collagen Peptides in Combination with Resistance Training Improve Body Composition and Regional Muscle Strength in Premenopausal Women: A Randomized Controlled Trial. *Nutrients* **2019**, *11*, 892. [CrossRef]
49. De Lucia, O.; Giarda, F.; Bernetti, A.; Ceccarelli, C.; Mauro, G.L.; Gervasoni, F.; Berti, L.; Robecchi Majnardi, A. Injectable Porcine Collagen in Musculoskeletal Disorders: A Delphi Consensus. *J. Clin. Med.* **2025**, *14*, 6058. [CrossRef]
50. Tarantino, D.; Mottola, R.; Palermi, S.; Sirico, F.; Corrado, B.; Gnasso, R. Intra-Articular Collagen Injections for Osteoarthritis: A Narrative Review. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2023**, *20*, 4390. [CrossRef]
51. Nieto Torrejón, L.; Martínez-Serrano, A.; Villalón, J.M.; Alcaraz, P.E. Economic Impact of Muscle Injury Rate and Hamstring Strain Injuries in Professional Football Clubs. Evidence from LaLiga. *PLoS ONE* **2024**, *19*, e0301498. [CrossRef]
52. Degen, R.M. Proximal Hamstring Injuries: Management of Tendinopathy and Avulsion Injuries. *Curr. Rev. Musculoskelet. Med.* **2019**, *12*, 138–146. [CrossRef]
53. Lauf, K.; Van Der Made, A.D.; Jaspers, R.; Tacken, R.; Maas, M.; Kerkhoffs, G. Successful Rapid Return to Performance Following Non-Operative Treatment of Proximal Hamstring Tendon Avulsion in Elite Athletes. *BMJ Open Sport Exerc. Med.* **2025**, *11*, e002468. [CrossRef]
54. Martin, R.L.; Cibulka, M.T.; Bolgla, L.A.; Koc, T.A.; Loudon, J.K.; Manske, R.C.; Weiss, L.; Christoforetti, J.J.; Heiderscheit, B.C. Hamstring Strain Injury in Athletes: Clinical Practice Guidelines Linked to the International Classification of Functioning, Disability and Health from the Academy of Orthopaedic Physical Therapy and the American Academy of Sports Physical Therapy of the American Physical Therapy Association. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* **2022**, *52*, CPG1–CPG44. [CrossRef]
55. Rich, A.; Cook, J.; Hahne, A.; Ford, J. Treatment of Proximal Hamstring Tendinopathy with Individualized Physiotherapy: A Clinical Commentary. *Int. J. Sports Phys. Ther.* **2025**, *20*, 892–910. [CrossRef]
56. Rich, A.L.F.; Cook, J.L.; Hahne, A.J.; Ford, J.J. A Pilot Randomised Trial Comparing Individualised Physiotherapy versus Shockwave Therapy for Proximal Hamstring Tendinopathy: A Protocol. *J. Exp. Orthop.* **2023**, *10*, 55. [CrossRef]
57. Afonso, J.; Olivares-Jabalera, J.; Fernandes, R.J.; Clemente, F.M.; Rocha-Rodrigues, S.; Claudino, J.G.; Ramirez-Campillo, R.; Valente, C.; Andrade, R.; Espregueira-Mendes, J. Effectiveness of Conservative Interventions After Acute Hamstrings Injuries in Athletes: A Living Systematic Review. *Sports Med.* **2023**, *53*, 615–635. [CrossRef] [PubMed]

58. Lempainen, L.; Banke, I.J.; Johansson, K.; Brucker, P.U.; Sarimo, J.; Orava, S.; Imhoff, A.B. Clinical Principles in the Management of Hamstring Injuries. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* **2015**, *23*, 2449–2456. [CrossRef] [PubMed]
59. Corrado, B.; Bonini, I.; Alessio Chirico, V.; Rosano, N.; Gisonni, P. Use of Injectable Collagen in Partial-Thickness Tears of the Supraspinatus Tendon: A Case Report. *Oxf. Med. Case Rep.* **2020**, *2020*, omaa103. [CrossRef] [PubMed]
60. Nicholson, L.T.; DiSegna, S.; Newman, J.S.; Miller, S.L. Fluoroscopically Guided Peritendinous Corticosteroid Injection for Proximal Hamstring Tendinopathy: A Retrospective Review. *Orthop. J. Sports Med.* **2014**, *2*, 2325967114526135. [CrossRef]
61. Scutt, N.; Rolf, C.G.; Scutt, A. Glucocorticoids Inhibit Tenocyte Proliferation and Tendon Progenitor Cell Recruitment. *J. Orthop. Res.* **2006**, *24*, 173–182. [CrossRef]
62. Hamilton, B.; Tol, J.L.; Almusa, E.; Boukarroum, S.; Eirale, C.; Farooq, A.; Whiteley, R.; Chalabi, H. Platelet-Rich Plasma Does Not Enhance Return to Play in Hamstring Injuries: A Randomised Controlled Trial. *Br. J. Sports Med.* **2015**, *49*, 943–950. [CrossRef]
63. Medina-Porqueres, I.; Rosado-Velazquez, D.; Moya-Torrecilla, F.; Orava, S.; Cacchio, A. Translation, Linguistic Validation, and Readability of the Spanish Version of VISA-H Scale in Elite Athletes. *Arch. Bone Jt. Surg.* **2021**, *10*, 683–694. [CrossRef]
64. Lehto, M.; Sims, T.J.; Bailey, A.J. Skeletal Muscle Injury—Molecular Changes in the Collagen during Healing. *Res. Exp. Med.* **1985**, *185*, 95–106. [CrossRef] [PubMed]
65. Wiedemann, H.; Fujii, T.; Kuhn, K.; Chung, E.; Miller, E.J. Comparative Electron-Microscope Studies on Type-III and Type-I Collagens. *Eur. J. Biochem.* **1975**, *51*, 363–368. [CrossRef] [PubMed]
66. Stauber, W.T.; Knack, K.K.; Miller, G.R.; Grimmett, J.G. Fibrosis and Intercellular Collagen Connections from Four Weeks of Muscle Strains. *Muscle Nerve* **1996**, *19*, 423–430. [CrossRef] [PubMed]
67. Järvinen, T.A.H.; Järvinen, T.L.N.; Kääriäinen, M.; Kalimo, H.; Järvinen, M. Muscle Injuries: Biology and Treatment. *Am. J. Sports Med.* **2005**, *33*, 745–764. [CrossRef]
68. Best, T.M.; Shehadeh, S.E.; Leverson, G.; Michel, J.T.; Corr, D.T.; Aeschlimann, D. Analysis of Changes in mRNA Levels of Myoblast- and Fibroblast-derived Gene Products in Healing Skeletal Muscle Using Quantitative Reverse Transcription-polymerase Chain Reaction. *J. Orthop. Res.* **2001**, *19*, 565–572. [CrossRef]
69. Singh, D.; Rai, V.; K Agrawal, D. Regulation of Collagen I and Collagen III in Tissue Injury and Regeneration. *Cardiol. Cardiovasc. Med.* **2023**, *7*, 5–16. [CrossRef]

Disclaimer/Publisher's Note: The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of MDPI and/or the editor(s). MDPI and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.