



ORIGINAL
Artículo en español

Rev Esp Podol. 2023;34(2):74-81
DOI: <http://dx.doi.org/10.20986/revesppod.2023.1671/2023>

Limitación de la flexión dorsal del tobillo y del hallux en nadadores de categoría máster

Limitation of ankle dorsiflexion and hallux in master category swimmers

Cristina Jiménez-Braganza¹, Germán Monterrubio-Fernández² y Pedro V. Munuera-Martínez³

¹Área Clínica de Podología. Universidad de Sevilla. Sevilla, España. ²Departamento de Actividad Física y Deporte. Centro de Estudios Universitarios Cardenal Spínola CEU. Bormujos, Sevilla, España. ³Departamento de Podología. Universidad de Sevilla. Sevilla, España

Palabras clave:

Flexión dorsal de tobillo, test de Lunge, primer radio, presiones plantares, natación.

Keywords:

Ankle dorsiflexion, lunge test, first ray, plantar pressures, swimming.

Resumen

Objetivos: Los objetivos son observar qué variables de las estudiadas presentan diferencias al realizar comparación entre nadadores que presentan test de Lunge positivo, dolor en tríceps sural y musculatura plantar y los nadadores que no presentan dolor.

Pacientes y métodos: Se trata de un estudio observacional, descriptivo, de corte transversal que se ha realizado sobre una muestra de veinte nadadores de categoría máster (12 hombres y 8 mujeres) y que presentan de forma habitual dolor en pie (musculatura plantar) y pierna (tríceps sural) durante el nado.

Resultados: Los resultados han mostrado que las variables extensión de rodilla ($p = 0.020$), flexión dorsal de tobillo ($p = 0.006$) y ángulo poplíteo ($p = 0.003$) son las que mayores diferencias significativas tienen entre los nadadores con y sin dolor en tríceps sural y entre aquellos con test de Lunge positivo y negativo. Las variables de flexión dorsal de la primera articulación metatarsal (AMTF) ($p = 0.039$) y plantar flexión del primer radio ($p = 0.011$) son las que han presentado mayor diferencia estadística entre nadadores con test de Lunge positivo y negativo.

Conclusiones: Al comparar nadadores que presentan dolor en tríceps sural y musculatura plantar entre nadadores que no presentan dolor, los deportistas que sí presentan dolor, son aquellos cuyos valores de media en las variables flexión dorsal de tobillo, flexión dorsal de la primera AMF, extensión de rodilla y plantarflexión del primer radio, son menores en comparación con los que no presentan dolor, presentándose diferencias entre ambas extremidades.

Abstract

Objectives: The objectives are to observe which of the variables studied present differences when comparing swimmers who present a positive Lunge Test, pain in the triceps surae and plantar muscles and swimmers who do not present pain.

Patients and methods: This is an observational, descriptive, cross-sectional study that has been carried out on a sample of twenty master category swimmers (12 men and 8 women) who regularly present foot pain (plantar muscles) and leg (triceps surae) during swimming.

Results: The results have shown that the variables knee extension ($p = 0.020$), ankle dorsiflexion ($p = 0.006$) and popliteal angle ($p = 0.003$) are the ones with the greatest significant differences between swimmers with and without pain in the ankle, triceps surae and between those with positive and negative Lunge Test. The variables dorsiflexion of the first metatarsophalangeal (MTP), joint ($p = 0.039$) and plantar flexion of the first ray ($p = 0.011$) are those that have presented the greatest statistical difference between swimmers with a positive and negative Lunge test.

Conclusions: When comparing swimmers who present pain in the triceps surae and plantar muscles with swimmers who do not present pain, the athletes who do present pain are those whose average values in the variables ankle dorsiflexion, first MTP dorsiflexion, knee extension and plantar-flexion of the first ray are lower compared to those who do not present pain, with differences between both limbs.

Recibido: 20-07-2023

Aceptado: 03-11-2023



0210-1238 © Los autores. 2023.
Editorial: INSPIRA NETWORK GROUP S.L.
Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC Reconocimiento 4.0 Internacional
(www.creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Correspondencia:

Cristina Jiménez-Braganza
cjimenez8@us.es

Introducción

La biomecánica deportiva es una ciencia de reciente aparición en el ámbito científico, presentando un doble objetivo: por un lado, el estudio del rendimiento deportivo, y por otro la prevención de lesiones¹. Si a esto le añadimos que la locomoción humana en el agua es bastante ineficaz debido a las propiedades específicas del agua, aumenta la complejidad de estudio².

La Federación Internacional de Natación reconoce cuatro estilos principales: mariposa, espalda, braza y crol. Mariposa y braza son estilos en los que tanto el miembro inferior como superior realizan movimientos simultáneos, mientras que en los estilos de espalda y crol, el movimiento de las extremidades es alterno³. Los nadadores avanzan por las fuerzas propulsivas que producen sus extremidades, siendo mayor la velocidad cuando hay un buen rendimiento en el movimiento de piernas. El movimiento de las extremidades inferiores comienza en la cadera y va descendiendo por la rodilla hasta llegar a tobillo y pie⁴. Sin embargo, se ha encontrado poca bibliografía que se centre en los efectos que provoca este deporte en tobillo, siendo más frecuente encontrar investigaciones sobre dolor de espalda y hombro del nadador⁵.

El análisis del rendimiento tiene mucha relevancia en la medicina del deporte, en un intento por mejorar el rendimiento sin provocar lesiones⁶. El nivel competitivo es muy exigente y los nadadores se someten a tensión continua por encima de las limitaciones músculo-tendinosas, predisponiendo a las articulaciones a sufrir lesiones⁷. Debemos tener en cuenta, además, que la disminución de la movilidad en flexión dorsal del tobillo se encuentra asociada con dolor de pie y tobillo, con afectaciones neurológicas y otros desórdenes biomecánicos del miembro inferior⁸. La observación de la limitación de la flexión dorsal de tobillo a través del test de Lunge es un método muy utilizado para detectar posibles patologías del miembro inferior y disminución de movimientos, además de servir de ayuda para ir observando el progreso en procesos de rehabilitación⁹.

En la literatura científica no hemos encontrado apenas estudios donde se analice si la diferencia entre ambas extremidades inferiores puede afectar al rendimiento deportivo en natación. En la mayoría de los deportes, el pie se encuentra constantemente sometido al manejo de grandes pesos. Contrario a ello, la natación implica la pérdida aparente de carga durante su práctica, pero más importante aún, exige posiciones del pie no habituales con el propósito de generar una mayor propulsión¹⁰.

A través de este estudio, pretendemos comprobar si existe relación entre la limitación articular en el pie y las lesiones deportivas con materiales como son el goniómetro y el uso de test musculares, entre otros. El objetivo de este estudio fue analizar si la presencia de molestias musculares en el tríceps sural y musculatura plantar de los nadadores guarda relación con la disminución de la flexión dorsal de la articulación tibioperonea astragalina, la primera articulación metatarsalángica, primer radio y test de Lunge.

Pacientes y métodos

Se trata de un estudio observacional, descriptivo y de corte transversal de nadadores que sufren de forma habitual dolor y molestias en la musculatura del tríceps sural y musculatura plantar durante la

práctica deportiva de la natación. Los deportistas participantes que cumplieron los criterios de inclusión del estudio fueron informados de las características del mismo y, tras la aceptación de su participación voluntaria, recibieron una hoja de información escrita y detallada de las fases del estudio, así como el consentimiento informado.

Los participantes han sido seleccionados entre voluntarios que reunían los criterios de inclusión, después de poner en conocimiento en instalaciones deportivas municipales que se llevaría a cabo este estudio. La muestra de estudio estuvo compuesta por 20 nadadores, 12 hombres y 8 mujeres. Los criterios de inclusión fueron: tener más de 25 años (categoría máster), presentar molestias en la zona de gemelos, soleo, musculatura plantar o dedos durante la práctica deportiva de la natación y que pertenecieran a un grupo de competición o cursillistas. Quedaron excluidos los nadadores que realizaban triatlón, waterpolo o natación sincronizada, así como aquellos que hubieran sido operados o que hubieran tenido alguna fractura ósea en el miembro inferior; quedaron excluidos también los nadadores que presentaban alguna lesión traumática o enfermedad que alterase las características morfológicas del miembro inferior y mujeres embarazadas.

Para el cálculo del tamaño muestral se hizo uso del programa informático G*Power® (versión 3.1.9.7). De esta forma, se determinó que para poder conocer el tamaño muestral en un estudio con contraste bilateral con errores alfa 0.05 y beta de 0.20 y un tamaño del efecto medio (0.51) eran necesarios un mínimo de 20 participantes.

Para poder contrastar y conseguir los objetivos marcados ha sido necesario analizar las siguientes variables utilizando para ello un goniómetro de dos ramas, un medidor de primer radio, test musculares, plataforma de presiones además de algunos datos personales como edad, sexo, años de práctica de nado y presencia o no de molestias musculares en el miembro inferior durante la práctica de nado, recogidos durante la entrevista clínica:

- Flexo-extensión de rodilla. Medición con goniómetro. Flexión: el paciente colocado en decúbito dorsal con el miembro inferior en posición de 0°. El eje central del goniómetro se coloca en el cóndilo femoral externo. Un brazo fijo se alinea con la línea media longitudinal del muslo, tomando como referencia el trocánter mayor. El brazo móvil se alinea con la línea media longitudinal de la pierna tomando como referencia el maleolo externo. Extensión: paciente en decúbito ventral con el miembro inferior en posición 0° y el fémur estabilizado con una almohada colocada debajo de este. Eje del goniómetro sobre el cóndilo femoral externo. Un brazo fijo alineado con la línea media longitudinal del muslo tomando como referencia el trocánter mayor. Un brazo móvil alineado con la línea media longitudinal de la pierna tomando como referencia el maleolo externo¹¹.
- Flexión dorsal de la articulación tibioperonea astragalina (ATPA) con rodilla flexionada y extendida. Medición con goniómetro. El paciente se sitúa en decúbito supino con la rodilla en 0° y el tobillo en 90°. El miembro inferior estabilizado en camilla. Se coloca el eje del goniómetro sobre el maleolo externo. Un brazo fijo se alinea con la línea media longitudinal de la pierna tomando como referencia ósea la cabeza del peroné y un brazo móvil alineado con la línea media longitudinal del quinto metatarsiano. Se realiza el movimiento de flexión de tobillo con la rodilla flexionada para relajar la musculatura del tríceps

- sural y posteriormente con la rodilla extendida. El brazo del goniómetro tiene que acompañar al movimiento¹¹.
- Flexión dorsal de la primera articulación metatarsalángica (AMTF). Medición con goniómetro. El paciente se coloca en decúbito supino con el tobillo en 90° y la articulación metatarsalángica en 0°. Se coloca el centro del eje del goniómetro en la articulación. Un brazo fijo se apoya sobre la cara medial del primer metatarsiano y un brazo móvil sobre la falange proximal. Se sujeta sobre la falange proximal para desplazarla en flexión dorsal y conseguir su máximo movimiento mientras que se estabiliza con la otra mano la cabeza del primer metatarsiano para mantenerlo en posición neutra¹².
 - Movilidad en dorsal y plantar del primer radio. Medición con medidor de primer radio. Se trata de un dispositivo para medir la movilidad del primer radio hacia dorsal y plantar. El dispositivo lleva insertado una escala milimétrica¹³. Con el paciente en decúbito supino en la camilla, se coloca el medidor del primer radio en la cara dorsal del pie, situando la parte horizontal sobre la cabeza del primer y la otra parte de sobre la cabeza del segundo y tercer metatarsianos. A partir de ahí, el explorador sujeta con sus dedos índice y medio la parte horizontal, y con el pulgar de la misma mano la cara plantar del segundo metatarsiano. El explorador coloca el primer radio en posición neutra y es entonces cuando se debe mover el primer radio, primero en dorsal flexión y luego en plantarflexión, registrando los milímetros de movimiento hacia dorsal y hacia plantar que se ha producido.
 - Presencia o no de dolor, durante la práctica deportiva, en la musculatura del tríceps sural y en la musculatura plantar.
 - Test de Lunge: el test fue desarrollado con los deportistas descalzos. El protocolo de medida fue desarrollado con los participantes en posición de bipedestación, con los talones en el suelo, las rodillas alineadas con el eje de medio pie y el primer dedo a 10 cm de distancia desde la pared. Se solicitó a los sujetos mover las rodillas hacia la pared (manteniendo la alineación con el eje medio del pie) hasta que la rodilla tocara la pared sin levantar el talón del suelo. El test de Lunge es un protocolo exploratorio validado para observar la capacidad de movilidad de la articulación talocrural durante la flexión dorsal⁹.
 - Ángulo poplíteo: es una prueba utilizada en el ámbito clínico para valorar la flexibilidad isquiotibial¹⁴. Este ángulo se obtiene colocando al paciente en decúbito supino sobre la camilla, con cadera y rodilla flexionada y tobillo en posición neutra. El eje del goniómetro debe coincidir con el centro de la articulación de la rodilla por la zona lateral, una rama del goniómetro dirigida hacia maleolo peroneo y la otra hacia la zona media del muslo. Desde esa posición, el paciente extiende la rodilla manteniendo la cadera flexionada a 90°¹⁵.
 - Porcentaje de carga en el retropié y antepié: la toma de presiones en plataforma se realiza colocando al deportista de pie sobre la misma, manteniendo la posición en estática durante aproximadamente 20 segundos, que es el tiempo que tarda en capturar las presiones. Cuando los pies apoyan sobre la superficie de la misma, el ordenador hace un registro de la fuerza generada por el peso del cuerpo estimulando los sensores, mostrando así las zonas de reparto con las diferencias entre ambos pies. La plataforma de presiones utilizada para

este estudio fue el modelo T PLATE Medicapteurs France SAS (Balme, Francia) con visualización en tiempo real.

- Tipo de huella plantar: se clasificó el tipo de huella plantar según las mediciones obtenidas en huella plantar neutra, cava o plana.
- Sexo (femenino y masculino).

Resultados

La muestra de estudio estuvo compuesta por 20 nadadores: 12 hombres (60 %) y 8 mujeres (40 %), con una edad media de 44.1 (± 9.42). Las zonas que presentaban dolor durante la realización de ciertos gestos técnicos fueron el tríceps sural (35%) y la musculatura plantar (5%). En combinación, hay deportistas que acusaban molestias en varias zonas durante la misma sesión deportiva, como son en el tríceps y la musculatura plantar (25 %). De los deportistas analizados para la extremidad izquierda, 5 presentaban huella cava (25 %), 10 huella neutra (50 %) y 5 huella plana (25 %). Para la extremidad derecha, 4 deportistas presentaban huella cava (20 %), 12 huella neutra (60 %) y 4 huella plana (20 %). En la Tabla I se muestran los valores descriptivos para las variables analizadas.

Como podemos observar en la Tabla II, en la comparación entre nadadores con o sin dolor en el tríceps sural, se encontró que las variables extensión de rodilla, ángulo poplíteo, flexión dorsal de tobillo con rodilla flexionada, extendida y porcentaje de cargas, han presentado diferencias estadísticamente significativas entre los nadadores a quienes les dolía en tríceps sural y los que no.

En referencia a los nadadores, con y sin dolor en la musculatura plantar, podemos ver en la Tabla III, que las variables plantarflexión del primer radio y flexión dorsal de la primera AMTF han presentado diferencias estadísticamente significativas entre los nadadores a quienes les dolía la musculatura plantar y los que no.

En la comparación realizada entre nadadores con test de Lunge positivo y negativo, las variables que han presentado diferencias estadísticamente significativas son flexión dorsal de tobillo con rodilla flexionada y extendida, extensión de rodilla, ángulo poplíteo y plantarflexión del primer radio, pudiéndose observar, además, diferencias entre extremidad derecha e izquierda (Tabla IV).

Discusión

El objetivo principal de este trabajo ha sido determinar si existe relación entre los valores articulares de la ATPA, la primera AMTF, primer radio y el test de Lunge, con la aparición de molestias musculares en el tríceps sural y musculatura plantar durante la práctica deportiva de la natación. Como resultado, hemos podido observar que sí existe relación entre los valores articulares obtenidos en el grupo de nadadores evaluados y la aparición de molestias musculares en el tríceps sural y musculatura plantar.

Tras analizar las características y las comparaciones entre las variables, hemos observado que existen diferencias estadísticamente significativas entre nadadores que presenta dolor y los que no lo presentan en tríceps sural y musculatura plantar. También entre las comparaciones realizadas para aquellos nadadores con test de Lunge positivo y negativo hemos obtenido diferencias entre ambas extremidades.

Tabla I. Media y desviación típica de las variables incluidas en el estudio.

	Izquierdo		Derecho	
	Media	Desviación típica	Media	Desviación típica
Flexión rodilla (grados)	130.00	6.57	129.65	5.90
Extensión rodilla (grados)	8.25	1.77	8.75	1.58
Flexión dorsal tobillo rodilla extensión (grados)	8.10	2.80	8.45	2.64
Flexión dorsal tobillo rodilla flexión (grados)	15.20	4.72	16.20	4.84
Flexión dorsal 1.ª MTF (grados)	25.30	10.82	25.80	10.13
Movilidad 1.º radio plantar (mm)	4.10	1.02	4.00	1.25
Movilidad 1.º radio dorsal (mm)	4.35	1.34	4.30	1.38

Tabla II. Comparación entre el dolor en el tríceps sural y las variables estudiadas.

VARIABLES	Dolor tríceps sural					
	Derecha			Izquierda		
	Sí	No	p	Sí	No	p
	Media ± DT	Media ± DT		Media ± DT	Media ± DT	
FLEX_ROD	129.000 ± 5.657	129.929 ± 6.195	0.602 [#]	130.500 ± 6.370	129.667 ± 6.972	0.910 [#]
EXT_ROD	7.500 ± 1.761	9.286 ± 1.204	0.016 [#]	7.125 ± 1.727	9.000 ± 1.414	0.020 [#]
A_POPL	31.500 ± 7.064	29.429 ± 9.693	0.602 [*]	36.125 ± 8.823	27.500 ± 7.972	0.036 [*]
FD_RODEXT	6.667 ± 2.658	9.214 ± 2.326	0.044 [#]	6.125 ± 2.100	9.417 ± 2.466	0.006 [*]
FD_RODFLEX	13.667 ± 4.676	17.286 ± 4.648	0.153 [#]	11.500 ± 1.690	17.667 ± 4.479	0.002 [*]
FD_MTF	25.000 ± 13.784	26.143 ± 8.761	0.824 [*]	21.250 ± 5.970	28.000 ± 12.649	0.179 [*]
PF_1R	3.667 ± 1.633	4.143 ± 1.099	0.494 [#]	3.750 ± 1.165	4.333 ± 0.888	0.208 [#]
DF_1R	4.500 ± 1.643	4.214 ± 1.311	0.494 [#]	4.375 ± 1.598	4.333 ± 1.231	0.792 [#]
RETROPIE	60.000 ± 8.343	52.714 ± 9.482	0.121 [*]	65.875 ± 7.568	52.583 ± 8.681	0.007 [#]
ANTEPIE	40.000 ± 8.343	47.286 ± 9.482	0.121 [*]	34.125 ± 7.568	47.417 ± 8.681	0.007 [#]

*Prueba de t de Student para muestras independientes. [#]Prueba de la U de Mann-Whitney.

FLEX_ROD: flexión de rodilla. EXT_ROD: extensión de rodilla. A_POPL: ángulo poplíteo. FD_RODEXT: flexión dorsal de tobillo con rodilla extendida. FD_RODFLEX: flexión dorsal de tobillo con rodilla flexionada. FD_MTF: flexión dorsal de la primera articulación metatarsofalángica. PF_1R: plantar flexión del primer radio. DF_1R: dorsal flexión del primer radio. RETROPIE: porcentaje de cargas en retropié. ANTEPIE: porcentaje de cargas en antepié.

Para la toma de medidas articulares se utilizó el goniómetro simple, puesto que es una herramienta accesible y que disponemos en consulta normalmente. Como bien dice Taboadela, en 2013, hace falta experiencia en su uso para evitar errores en la toma de mediciones y colocar los brazos en los lugares adecuados, teniendo en cuenta las referencias anatómicas¹¹.

Las asimetrías corporales (tanto derecha-izquierda como anterior-posterior) pueden contribuir a diferencias entre equilibrio, fuerza y flexibilidad en las articulaciones que pueden limitar el rendimiento en los deportistas y a contribuir a la aparición de lesiones. Los humanos tienen tendencia de forma natural a utilizar con preferencia un

lado del cuerpo más que otro, es lo que llamamos “lateralización”. Aunque el deporte que se realice conlleve una técnica simétrica como natación o ciclismo, esa lateralización existe, pudiendo provocar diferencias entre las fuerzas aplicadas y la ejecución técnica¹⁶. Hemos intentado estudiar los motivos por los que se produce dolor en la musculatura del tríceps sural y la musculatura plantar durante la práctica deportiva.

Según Taboadela, los valores considerados normales para extensión de rodilla se encuentran entre los 0-10°¹¹. Analizando las características de nuestra muestra, hemos podido advertir que al posicionarse en bipedestación para la toma de presiones plantares

Tabla III. Comparación entre el dolor en la musculatura plantar y las variables estudiadas.

Variables	Dolor musculatura plantar					
	Derecha			Izquierda		
	Sí	No	p	Sí	No	p
Media ± DT	Media ± DT	Media ± DT		Media ± DT		
FLEX_ROD	130.000 ± 7.071	129.563 ± 5.842	0.750 [#]	131.556 ± 4.825	128.727 ± 7.721	0.710 [#]
EXT_ROD	8.750 ± 0.957	8.750 ± 1.732	0.682 [#]	7.444 ± 2.128	8.909 ± 1.136	0.131 [#]
A_POPL	29.000 ± 8.367	30.313 ± 9.214	0.799 [*]	35.111 ± 8.767	27.545 ± 8.383	0.067 [*]
FD_RODEXT	6.750 ± 1.893	8.875 ± 2.680	0.064 [#]	7.111 ± 2.977	8.909 ± 2.508	0.160 [*]
FD_RODFLEX	12.250 ± 3.202	17.188 ± 4.736	0.066 [*]	14.222 ± 5.167	16.000 ± 4.405	0.295 [#]
FD_MTF	16.250 ± 7.500	28.188 ± 9.411	0.039 [#]	22.556 ± 9.567	27.545 ± 11.716	0.261 [#]
PF_1R	2.500 ± 0.577	4.375 ± 1.088	0.011 [#]	3.556 ± 0.882	4.545 ± 0.934	0.038 [#]
DF_1R	4.750 ± 1.258	4.188 ± 1.424	0.494 [#]	4.222 ± 1.481	4.455 ± 1.293	0.882 [#]
RETROPIE	59.000 ± 5.831	53.875 ± 10.178	0.352 [*]	58.333 ± 9.631	57.545 ± 11.544	0.766 [#]
ANTEPIE	41.000 ± 5.831	46.125 ± 10.178	0.352 [*]	41.667 ± 9.631	42.455 ± 11.544	0.766 [#]

*Prueba de la t de Student para muestras independientes. [#]Prueba de la U de Mann-Whitney.

FLEX_ROD: flexión de rodilla. EXT_ROD: extensión de rodilla. A_POPL: ángulo poplíteo. FD_RODEXT: flexión dorsal de tobillo con rodilla extendida. FD_RODFLEX: flexión dorsal de tobillo con rodilla flexionada. FD_MTF: flexión dorsal de la primera articulación metatarsofalángica. PF_1R: plantar flexión del primer radio. DF_1R: dorsal flexión del primer radio. RETROPIE: porcentaje de cargas en retropié. ANTEPIE: porcentaje de cargas en antepié.

Tabla IV. Comparación entre el test de Lunge y las variables estudiadas.

Variables	Test de Lunge					
	Derecha			Izquierda		
	Positivo	Negativo	p	Positivo	Negativo	p
Media ± DT	Media ± DT	Media ± DT		Media ± DT		
FLEX_ROD	126.875 ± 7.019	131.500 ± 4.421	0.208 [#]	130.125 ± 5.939	129.917 ± 7.229	0.792 [#]
EXT_ROD	8.500 ± 1.309	8.917 ± 1.782	0.305 [#]	7.125 ± 1.727	9.000 ± 1.414	0.020 [#]
A_POPL	36.125 ± 6.707	26.000 ± 7.874	0.008 [*]	37.125 ± 8.476	26.833 ± 7.322	0.003 [#]
FD_RODEXT	6.625 ± 2.925	9.667 ± 1.614	0.025 [#]	6.250 ± 2.188	9.333 ± 2.535	0.012 [#]
FD_RODFLEX	13.375 ± 3.777	18.083 ± 4.660	0.039 [#]	11.875 ± 2.100	17.417 ± 4.719	0.005 [#]
FD_MTF	23.250 ± 7.942	27.500 ± 11.382	0.373 [*]	21.250 ± 5.970	28.000 ± 12.649	0.179 [*]
PF_1R	3.375 ± 1.302	4.417 ± 1.084	0.082 [#]	3.375 ± 0.744	4.583 ± 0.900	0.010 [#]
DF_1R	4.375 ± 1.506	4.250 ± 1.357	0.678 [#]	4.500 ± 1.604	4.250 ± 1.215	0.473 [#]
RETROPIE	59.000 ± 6.803	52.167 ± 10.408	0.120 [*]	63.000 ± 8.751	54.500 ± 10.423	0.115 [#]
ANTEPIE	41.000 ± 6.803	47.833 ± 10.408	0.120 [*]	37.000 ± 8.751	45.500 ± 10.423	0.115 [#]

*Prueba de la t de Student para muestras independientes. [#]Prueba de la U de Mann-Whitney.

FLEX_ROD: flexión de rodilla. EXT_ROD: extensión de rodilla. A_POPL: ángulo poplíteo. FD_RODEXT: flexión dorsal de tobillo con rodilla extendida. FD_RODFLEX: flexión dorsal de tobillo con rodilla flexionada. FD_MTF: flexión dorsal de la primera articulación metatarsofalángica. PF_1R: plantar flexión del primer radio. DF_1R: dorsal flexión del primer radio. RETROPIE: porcentaje de cargas en retropié. ANTEPIE: porcentaje de cargas en antepié.

advertimos una hiperextensión de la rodilla en la extremidad sintomática. La media de carga en retropié de la extremidad que presenta dolor es de 62.94 %. Aunque la extensión normal de rodilla

se corresponde con la posición anatómica y le damos el valor de 0° de extensión completa, Daguerre hace referencia, en su publicación sobre lesiones en natación, que los nadadores pueden presentar una

extensión mayor de rodilla, denominándolo *genu recurvatum*¹⁷. Esta característica no siempre se da bilateralmente en los deportistas analizados, sino que suele aparecer en aquellas extremidades sintomáticas que presentan, sobre todo dolor en tríceps sural durante la práctica deportiva.

El rango de movimiento articular de la ATPA que se entiende como fisiológico en flexión dorsal es entre 20 y 30° y de flexión plantar es de entre 40° y 50°¹⁸. Cuando con rodilla extendida la flexión dorsal de la articulación tibioperonea-astragalina no alcanza los 10°, se considera con movilidad articular limitada¹⁹. Los nadadores evaluados presentan una media para la flexión dorsal de tobillo con la rodilla flexionada de 15.7°, mientras que con la rodilla extendida los valores articulares son menores con una media de 8.2°.

Durante esta investigación se ha llevado a cabo una comparación entre aquellos nadadores que han presentado dolor en tríceps sural durante el nado y los que no. En los resultados obtenidos hemos observado que para la variable flexión dorsal de tobillo con rodilla extendida, cuya diferencia es estadísticamente significativa, aquellos nadadores que presentan dolor en el tríceps tienen como media valores de 6.66° para la extremidad derecha y 6.12° para la extremidad izquierda.

Según Ramírez y cols. en su artículo sobre flexibilidad en la natación, menciona que el poseer bajo grado de flexibilidad, no permite al nadador trabajar de forma eficaz, además de que el deportista tenga que realizar mayor esfuerzo muscular a costa de la utilización de las propiedades elásticas de los músculos y ligamentos²⁰.

Serra y cols. (2017) en su artículo sobre la importancia de la musculatura agonista y antagonista en entrenamientos de natación, sugiere que, si algo va mal, aparecerá dolor durante la realización del ejercicio y destaca que es importante mantener una buena amplitud articular y una buena coordinación muscular entre músculos agonistas y antagonistas²¹. Sin embargo, en este artículo también se hace referencia a que los nadadores con altos niveles de flexibilidad suelen presentar un número relevante de lesiones por desgaste articular. A través de nuestro análisis podemos corroborar que, a mayor flexibilidad muscular, mayor amplitud de movimiento, consiguiéndose así una buena coordinación intra e intermuscular con menor aparición de dolor.

Cuando se observa menor grado de flexión dorsal de ATPA, puede aparecer más sobrecarga en el antepié, según Baumbach y cols. Este aumento de carga sobre el antepié podría provocar una mayor sobresolicitación de la 1.ª AMTF con un progresivo desgaste articular y limitación articular consecuente²². Alfaro y cols. describen en su artículo que el HLF se caracteriza por no alcanzar los 20° de flexión dorsal en la cadena cinética cerrada, mientras que en cadena cinética abierta existe una flexión dorsal de unos 65°-75°⁹. Cuando esta no alcanza los 65-75° de flexión dorsal en descarga, se trata de un hallux limitus real o estructurado. Sin embargo, en el artículo analizado sobre hallux limitus y rigidus de Bueno, asegura que el hallux limitus se caracteriza por menos de 50° de flexión dorsal en descarga²³. Los valores articulares para la primera AMTF de nuestros deportistas tienen una media de 25,30° con valores mínimos y máximos respectivamente de entre 10° y 55°. Los valores medios de flexión dorsal de la primera AMTF encontrada en deportistas que presentan dolor en el tríceps sural es de 25° para la extremidad derecha y 21,25° para la extremidad izquierda, sin significación estadística, mientras que el valor medio de flexión dorsal para la primera AMTF en aquellos nadadores que presentan dolor en la musculatura plantar es para la extremidad

derecha de 16, 25° y para la extremidad izquierda de 22,25°. Por lo tanto, aunque se considere hallux limitus funcional cuando los valores de flexión dorsal no alcanzan entre 65°-75°, proponemos ampliar el estudio observando si por debajo de 55° aparece dolor, estando más de acuerdo con los datos aportados en el artículo de Bueno.

Observando los resultados de los valores analizados en nuestra muestra, podemos decir que estamos de acuerdo con la afirmación de que los autores especializados en la natación competitiva consideran que el desarrollo de la flexibilidad debería centrarse en los hombros y tobillos, debido a que la mejora de la amplitud de movimiento específica de estas articulaciones provocará un nado más eficiente⁵.

Vormittag y cols. ponen de manifiesto que las lesiones del pie y del tobillo en la natación son poco frecuentes²⁴. El movimiento explosivo realizado por el miembro inferior en las salidas y los giros somete al pie y al tobillo a una fuerza considerable, pudiéndose únicamente en este caso lesionarse el tendón de Aquiles por exceso de fuerza como en el resto de deportes y dañarse las articulaciones del pie por mala posición. Entre los nadadores evaluados, no hemos encontrado ninguna lesión correspondiente a lo expuesto por estos autores.

En la literatura consultada sobre biomecánica de natación y lesiones propias de este deporte, se hace referencia a la flexión plantar realizada por el pie en el gesto técnico. No hemos encontrado en la literatura consultada referencia alguna sobre movimiento contrario como es la flexión dorsal, que es tan necesaria para realizar el empuje y el avance. Mediante el análisis del movimiento articular, hemos podido comprobar que muchos de los orígenes de las molestias referidas en miembro inferior se deben al desequilibrio articular y muscular entre momentos articulares contrarios.

Gracia Sánchez y cols. en su artículo sobre diagnóstico y tratamiento de las patologías del pie, ponen de manifiesto que la limitación de movimiento a la flexión dorsal de tobillo presenta una sensibilidad del 100 % con la aparición de fascitis plantar²⁵. Nuestro estudio presenta que existen diferencias estadísticamente significativas para la variable de flexión dorsal de la primera AMTF en aquellos nadadores con dolor plantar, pero no podemos demostrar mediante los datos de nuestro estudio correlación directa.

Según Fowler, el dolor en pies y tobillos de los nadadores es debido a tendinitis de los músculos extensores de pie y de tobillo en cualquiera de los estilos de natación⁷. Después de realizar nuestro análisis de datos, discrepamos en esta causa, puesto que no solo debemos tener en cuenta la musculatura intrínseca y extrínseca del pie cuando este presenta dolor, sino que al ser un deporte donde el empuje y recobro acuático en la patada se realiza con un movimiento coordinado de todo el miembro inferior, es muy importante tener en cuenta también el rango o amplitud articular.

Sin embargo, Daguerre hace referencia a que los flexores de tobillo y pie se encuentran en sobreuso, lo que puede ser condicionante para sufrir molestias en esta zona¹⁷. Bueno, en su artículo sobre hallux limitus y rigidus, apoya nuestra hipótesis de relación entre la limitación de la AMTF y el dolor en la musculatura plantar, al realizar flexión dorsal de los dedos se produce un aumento del arco plantar provocando tensión fascial²³. Esto puede ser debido a que ciertas estructuras de tejidos blandos pueden determinar el movimiento de la 1ª AMTF, pudiendo restringirlo.

Algunos investigadores sugieren que disponer de pies planos puede proteger contra lesiones y que los deportistas con arcos más pronunciados poseen un mayor riesgo¹⁰. Argumentan que pies con

poco arco absorben más energía mientras que los más arqueados son tan rígidos que transmiten mayor tensión muscular. Sin embargo, factores como la flexo-extensión de rodilla y prono-supinación de la articulación subastragalina tiene mayor relación en la transmisión de las fuerzas e impactos¹⁰.

Avangina nos muestra que las plataformas baropodométricas constituyen un método fiable para el estudio de la marcha humana, sin embargo, por sí mismo no representa un método para establecer un diagnóstico clínico²⁶. Gracia y cols. confirman que la presión plantar es mayor en el antepié que en el retropié en aquellos deportistas que presentan una limitación de la flexión dorsal²⁵. Sin embargo, al realizar comparaciones entre los nadadores analizados que presentan dolor en musculatura plantar, hemos observado que el porcentaje de cargas es mayor en el retropié que en el antepié, aunque la variable de presión plantar no ha mostrado significación estadística en las comparaciones realizadas en nuestro estudio.

Dentro de las limitaciones del estudio, no hemos encontrado apenas bibliografía que relacione dicha disciplina deportiva con la podología. Las publicaciones e investigaciones analizadas corresponden de forma separada por una parte a estudios biomecánicos puramente deportivos y por otro, estudios biomecánicos podológicos sin encontrar publicaciones que unan las dos ramas de investigación. Se ha encontrado muy poca bibliografía que hable sobre los efectos que provoca el entrenamiento de la natación sobre la flexibilidad de las articulaciones que no están directamente relacionadas con el rendimiento. El desarrollo específico de la flexibilidad en tobillos podría ir ligado a una escasez o pérdida de flexibilidad de las articulaciones en las que no se entrena esta capacidad. Por lo tanto, es posible que el desarrollo asimétrico de la flexibilidad en los nadadores pueda estar relacionado con la aparición de lesiones, dolores y/o problemas articulares en otras partes del cuerpo⁵. Consideramos que el tamaño de la muestra es pequeño y la sintomatología no es frecuente, por lo que solo podemos mostrar con nuestro estudio que los resultados nos dirigen hacia una posible relación entre la disminución de amplitud articular en rodilla, ATPA y la primera AMTF con la presencia de dolor en tríceps sural y musculatura plantar en algunos nadadores. Pretendemos continuar el estudio con un mayor tamaño muestral y seguir indagando en la relación de las lesiones del miembro inferior en la natación.

En conclusión, según los datos encontrados en el presente estudio, los nadadores que presentaron más dolor en el tríceps sural eran los que ofrecían menos grados de flexión dorsal de tobillo y menor grado en extensión de rodilla. En cuanto a la presencia de dolor en la musculatura plantar, aquellos nadadores que tenían menor capacidad de plantar flexión del primer radio son los que presentaban dolor durante la práctica de nado. En relación al test de Lunge, los nadadores que mostraban un test con resultado negativo, son aquellos con menor valor de flexión dorsal de tobillo y menor ángulo poplíteo. Entre todas las variables estudiadas, existen diferencias entre la extremidad derecha y la izquierda.

Declaración ética

Este estudio fue aprobado por el Comité de Ética de la Investigación de la Universidad de Sevilla cuyo código de estudio es 250522.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no presentan ningún conflicto de intereses relevante en este artículo.

Fuentes de financiación

No existen fuentes de financiación públicas o privadas en la realización del presente estudio.

Contribución de los autores

Concepción y diseño del estudio: P. V. M. M.

Recogida de datos: C. J. B.

Análisis e interpretación de los resultados: P. V. M. M.

Creación, redacción y preparación del boceto inicial de trabajo: C. J. B.

Revisión final (revisión crítica y comentarios) y aceptación final: G. M. F.

Bibliografía

1. Llana Belloch S. El análisis biomecánico en natación. *Fac la Act Física y el Deport Univ Val*. 2016;31. Available from: <http://kimerius.com/app/download/5780666631/El+análisis+biomecánico+en+natación.pdf>
2. Llana-Belloch S, Lucas-Cuevas A, Pérez-Sorinayo P, Priego-Quesada J. Original Article Human body flotation and organic responses to water immersion. *J Phys Educ Sport*. 2013;13(3):354-61.
3. Pérez Merino S. Bases anatómicas de la natación [Tesis Doctoral]. Universidad de Salamanca; 1997. Disponible en: https://gredos.usal.es/bitstream/handle/10366/75324/TG_PerezMerino_Sonsoles_BasesAnat%F3micas-Nataci%F3n.PDF?sequence=1
4. Matsuda Y, Hirano M, Yamada Y, Ikuta Y, Nomura T, Tanaka H, et al. Lower muscle co-contraction in flutter kicking for competitive swimmers. *Hum Mov Sci*. 2016;45:40-52. DOI: 10.1016/j.humov.2015.11.001.
5. Sanz Arribas I, Martínez De Haro V, Cid Yagüe L. ¿Influye la especialización en los estilos de natación sobre la extensibilidad isquiosural? *Rev Int Med Ciencias Act Fis Deport*. 2016;16(61):55-68.
6. da Silva JKF, Enes AAN, Sotomaior BB, Ruy Barbosa MA, de Souza RO, Osiecki R. Analysis of the performance of finalist swimming athletes in Olympic games: Reaction time, partial time, speed, and final time. *J Phys Educ Sport*. 2020;20(2):539-45.
7. Fowler PJ. Lesiones en la natación. En: *Prácticas clínicas sobre asistencia y prevención de lesiones deportivas*. prácticas clín; 1999. p. 577-84.
8. Romero Morales C, Calvo Lobo C, Rodríguez Sanz D, Sosa Marín C, de la Cueva Reguera M, Fernández Martínez S. A correlation study: ankle dorsiflexion assessment in older adults. *Eur J Pod*. 2015;1(1):8-13. DOI: 10.17979/ejpod.2015.1.1.1466.
9. Alfaro Santafé JJ, Gómez Bernal A, Lanuza Cerzócimo C, Sempere Bonet C, Barniol Mercade A, Alfaro Santafé JV. Resultados del test de Lunge en pacientes con hallux limitus funcional: estudio transversal de casos y controles. *Rev Esp Podol*. 2017;28(2):87-92. DOI: 10.1016/j.repod.2017.10.001.
10. Gómez Salazar L, Franco Álvarez JM, Nathy Portilla JJ, Valencia Esguerra EA, Vargas Bonilla DV, Jiménez Hernández L. Características de la huella plantar en deportistas colombianos. *Entramado*. 2010;6(2):158-67.
11. Taboadela CIH. Goniometría. Una herramienta para la evaluación de las incapacidades laborales. *J Chem Inform Modeling*. 2013;53:1689-99.
12. Sánchez-Gómez R, Becerro-de-Bengoa-Vallejo R, Losa-Iglesias ME, Calvo-Lobo C, Navarro-Flores E, Palomo-López P, et al. Reliability Study of Diagnostic Tests for Functional Hallux Limitus. *Foot Ankle Int*. 2020;41(4):457-62. DOI: 10.1177/1071100719901116.
13. Munuera Martínez PV. Dispositivo de metacrilato con escala milimetrada para medir la movilidad del primer y quinto radios del pie en carga y descarga [Internet]. Gobierno de España; 2015. p. 1-17. Disponible en: <https://patentimages.storage.googleapis.com/b8/30/8f/964b0016c94c15/ES2607252A1.pdf>
14. Ayala F, Sainz De Baranda P, Cejudo A, Santonja F. Angular tests for estimating hamstring flexibility: Reliability and validity analysis. *Rev Andaluza Med del Deport*. 2012;5(2):67-74. DOI: 10.1016/S1888-7546(12)70011-4.
15. Ayala F, Sainz De Baranda P, Cejudo A, Santonja F. Angular tests for estimating hamstring flexibility: Description of their measurement method and reference values. *Rev Andaluza Med del Deport*. 2013;6(3):120-8. DOI: 10.1016/S1888-7546(13)70046-7.

16. Sanders RH, Thow J, Fairweather M. Asymmetries in Swimming: Where Do They Come from? *J Swim Res.* 2011;18:1-11.
17. Daguerre J. Lesiones más frecuentes en natación. *Comunicaciones técnicas.* 2003;4:45-8.
18. Pérez ES. Evaluación de la rigidez de tobillo en pacientes diabéticos con amputaciones distales atípicas [Tesis Doctoral]. Universidad de Extremadura; 2019.
19. García Vidal JA, Piñero Palazón JG, Baño Alcaraz A, Sánchez Martínez MP, Medina i Mirapeix F. Valor del Test de Silfverskiöld para el diagnóstico de la fascitis plantar. *Rev Int Ciencias Podol.* 2019;13(1):41-6. DOI: 10.5209/RICP.62343.
20. Ramírez E, Cancela JM. La flexibilidad en la natación: Bases teóricas. *Comun técnicas RFEN.* 2002;(1):65-73.
21. Serra N, Carvalho DD, Fernandes RJ. The importance of agonistic, antagonist and synergistic muscles coordination on swimming dry land training. *Trends Sport Sci.* 2017;3(24):101-4.
22. Baumbach SF, Braunstein M, Seeliger F, Borgmann L, Böcker W, Polzer H. Ankle dorsiflexion: what is normal? Development of a decision pathway for diagnosing impaired ankle dorsiflexion and M. gastrocnemius tightness. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2016;136(9):1203-11. DOI: 10.1007/s00402-016-2513-x.
23. Bueno Feroso R. Hallux limitus. *Reduca Ser Ses clínicas Podol.* 2011;3(1):38-47.
24. Vormittag K, Calonje R, Briner WW. Foot and ankle injuries in the barefoot sports. *Curr Sports Med Rep.* 2009;8(5):262-6. DOI: 10.1249/JSR.0b013e-3181b9e3be.
25. Gracia Sánchez A, Madrugada Armada Ó, Molinés Barroso RJ, Sánchez-Lancha López F, García Mendoza D, Orejana García ÁM. Medición de flexión dorsal de tobillo como herramienta de screening en pacientes con dolores unilaterales en el pie. *Rev Esp Podol.* 2018;29(Supl. 1):12-3.
26. Avagnina L. El examen biomecánico mediante plataformas baropodométricas. *Rev Int Ciencias Podol.* 2007;1(1):45-8.