

GRADO EN CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y DEL DEPORTE

ESTUDIO DESCRIPTIVO DEL TIBIAL ANTERIOR EN ATLETAS DE MEDIO-FONDO Y SU ASOCIACIÓN CON EL RENDIMIENTO DEPORTIVO

TRABAJO DE FIN DE GRADO

2024/2025

Alumno: Oliver Baeza Martín

DNI: 42279333C

Trabajo tutorizado por Joaquín Sanchis Moysi

EL TUTOR:

**SANCHIS
MOYSI
JOAQUIN -
78403460W**

Firmado
digitalmente por
SANCHIS MOYSI
JOAQUIN -
78403460W
Fecha: 2025.06.03
13:07:39 +01'00'

EL ALUMNO:

**BAEZA MARTIN
OLIVER -
42279333C**

Firmado digitalmente por
BAEZA MARTIN OLIVER -
42279333C
Fecha: 2025.06.03 10:08:19
+01'00'

Universidad de Las Palmas de Gran Canaria a 5 de Junio del 2025

INDICE

RESUMEN	3
ABSTRACT	4
SUMMARY	5
INTRODUCCIÓN	19
OBJETIVOS.....	22
HIPÓTESIS.....	22
MATERIAL Y MÉTODOS.....	23
1. MATERIAL.....	23
1.1. Cuestionario	23
1.2. Ultrasonidos.....	24
2. METODOLOGÍA.....	27
2.1. Protocolo de recogida de datos del estudio.....	27
2.2. Fórmula	32
2.3. Test de Drop Jump (DJ).....	32
2.4. Estadística	34
RESULTADOS	35
1. Descripción de la arquitectura muscular	35
1.1. Comparativa general del vientre superficial y profundo	35
2. Análisis por género	36
2.1. Características generales diferenciadas entre chicos y chicas	36
2.2. Comparativa del vientre superficial y profundo en chicos	36
2.3. Comparativa del vientre superficial y profundo en chicas.....	36
2.4. Comparativa del vientre superficial entre chicos y chicas.....	37
2.5. Comparativa del vientre profundo entre chicos y chicas.....	37
3. Análisis bilateral del TA	38
3.1. Comparación bilateral de la arquitectura muscular del TA en todo el grupo conjunto	38
3.2. Análisis por género	38
4. Asociaciones con el rendimiento	39
4.1. Test de salto.....	39
4.2. Marca en 800 metros lisos	40
4.3. Marca de 1500 metros lisos	41
4.4. Marca de 3000 metros lisos	42
4.5. Análisis por genero	43
DISCUSIÓN	44
CONCLUSIONES.....	47
BIBLIOGRAFÍA.....	48

RESUMEN

OBJETIVOS: El principal objetivo de este estudio es describir, por primera vez, la arquitectura muscular del tibial anterior en corredores de medio fondo y determinar si este presenta asimetrías consecuentes por el entrenamiento en pista que tenga asociación con el rendimiento.

MÉTODOS: El tibial anterior (TA) fue medido en 10 jóvenes atletas de medio fondo de Las Palmas de Gran Canaria mediante ultrasonidos, de edades entre los 15 y 22 años. Para medir la potencia de este músculo se usó un test de salto vertical unilateral con caída desde un step, Drop Jump (DJ). La altura de vuelo durante el test se dio con la aplicación para móviles My Jump 2. Para analizar las imágenes obtenidas del TA con el equipo de ultrasonidos se empleó el software ImageJ (National Institutes of Health, Bethesda, MD, EE. UU.). Se midieron los valores de la arquitectura muscular (el grosor, ángulos de pennación y la longitud de los fascículos musculares) de los vientres superficial y profundo del TA en ambas piernas. El análisis de los datos se hizo comparando a los sujetos de forma conjunta, por grupos de género, bilateralmente distinguiendo una pierna con la otra y relacionando estas características con el rendimiento en el test de salto (DJ) y las pruebas del medio fondo en atletismo (800, 1500 y 3000 metros lisos).

RESULTADOS: En corredores de medio fondo, el vientre profundo del TA presenta mayor grosor y ángulos de pennación que el vientre superficial. No obstante, el vientre superficial muestra mayor longitud en sus fascículos. En la comparativa por grupos de género se observa que el grosor del vientre superficial es mayor en los hombres, mientras que el grosor y la longitud de los fascículos del vientre profundo es mayor en las mujeres. No se observaron diferencias bilaterales de la arquitectura muscular analizada conjuntamente. Asociado al rendimiento, se pudo apreciar que un mayor grosor del vientre profundo tenía relación positiva con la altura de salto en el DJ, y con la marca en 800 y 3000. Mientras que un mayor grosor del vientre superficial tenía una relación negativa con la marca en 1500.

CONCLUSIONES: El entrenamiento en pista no produce asimetrías bilaterales significativas en el TA de los corredores de medio fondo. Sin embargo, si se encontraron diferencias entre el vientre superficial y profundo. El vientre profundo tiene mayor grosor y ángulo de pennación que el vientre superficial, un mayor desarrollo de este contribuye a una asociación positiva con las marcas en 800 y 3000 m, quiere decir que a mayor vientre profundo peor marca. Por otro lado, el aumento del vientre superficial está asociado negativamente con la marca de 1500, por tanto, a mayor grosor del vientre superficial mejor marca.

PALABRAS CLAVE: Tibial anterior, atletismo, arquitectura muscular, ultrasonidos, altura de salto

ABSTRACT

PURPOSE: The main objective of this study is to describe, for the first time, the muscle structure of the tibialis anterior in the middle-distance runners and to find out if there are any asymmetries caused by track training, which could be related to performance.

METHODS: Using ultrasound the tibialis anterior (TA) was measured in 10 young middle-distance athletes from Las Palmas de Gran Canaria, aged between 15 and 22 years old. To measure the power of this muscle, a unilateral vertical jump test with a drop from a step, called Drop Jump (DJ), was used. The jump height during the test was measured using the mobile application My Jump 2. To analyze the images of the TA taken with the ultrasound device, the software ImageJ (National Institutes of Health, Bethesda, MD, USA) was used. Muscle architecture values (thickness, pennation angles and fascicle lengths) of the superficial and deep bellies of the TA were measured in both legs. Data analysis was done by comparing the subjects together, by gender groups, bilaterally by distinguishing one leg from the other, and relating these characteristics to performance in the jump test (DJ) and in middle-distance track events (800, 1500 and 3000 meters)

RESULTS: In middle-distance runners, the deep belly of the TA shows greater thickness and pennation angles than the superficial belly. However, the superficial belly shows longer fascicle length. When comparing by gender groups, it was found that the superficial belly is thicker in men, while the deep belly is thicker and has longer fascicles in women. No bilateral differences in muscle architecture were found when analyzed together. Regarding performance, a greater thickness of the deep belly was positively related to jump height in the DJ test and with to times in the 800 m and 3000 m events. On the other hand, a greater thickness of the superficial belly was negatively related to performance in the 1500 m events.

CONCLUSION: Track training does not cause significant bilateral asymmetries in the TA of middle-distance runners. However, differences were found between the superficial and the deep bellies. The deep belly has greater thickness and pennation angle than the superficial belly, and greater development of this positively associated with the performance in the 800 and 3000 meters, meaning that the greater the deep belly, the worse the time. On the other hand, the increase in the superficial belly is negatively associated with the 1500-meter performance, therefore, the greater the thickness of the superficial belly, the better the time.

KEYWORDS: Tibialis anterior, athletics, muscle architecture, ultrasound, jump height.

SUMMARY

1. INTRODUCTION

Athletics is one of the oldest sports in the world [11]. It is made up of a series of disciplines that have been culturally grouped under this name [12]. Running, jumping, and throwing are the basic disciplines of this sport and are part of the oldest movement patterns of the human being [12]. Running is a cyclical action where each parts of its structure is periodically repeated, representing a basic locomotion skill and a natural extension of walking [11]. Middle- and long-distance races involve an overload and muscular fatigue in the lower body, since during running, the foot constantly hits the ground, producing a vertical force of 2 to 3 times body weight (McKenzie, Clement, & Taunton, 1985) [2].

Because of these loads, it is useful to understand how the leg muscles react and adapt to running. This helps in preparing the athletes, with training programs that are adapted to their specific needs to improve performance and prevent injuries caused by overload.

The tibialis anterior (TA) is the largest muscle of the anterior compartment of the leg and represents more than 60% of the muscle volume of the ankle dorsiflexors. It shares functions with the extensor hallucis longus and the extensor digitorum longus (Keith et al., 2006). It is a bipennate (bipenniform) muscle, which means it has 2 differentiated muscle bellies, one deep and one superficial, with different orientations of their fascicles, which insert on opposite sides of the same tendon. Its main functions are dorsiflexion and inversion of the foot (Keith et al., 2006), which makes it a key factor in human locomotion. In addition, the tibialis anterior contributes to the maintenance of upright posture (Di Giulio et al., 2009) and plays a important role in absorbing energy during walking and running (Maharaj et al., 2019) [9].

Ultrasound (US) is a reliable tool for measure muscle architecture (thickness, cross-sectional area -CSA-, pennation angle, and muscle fascicle length), and well as intramuscular fat [3]. Muscle architecture provides information about morphological aspects of the muscle, and also, indirectly, about the strength that a muscle can produce [1]. Although magnetic resonance imaging (MRI) is the gold-standard method for these measurements, US has the advantage of being a cheaper, portable, and non-invasive method. It does not use ionizing radiation, and is accessible for studying the morphological and mechanical properties of muscles [8] [13].

US also make it possible to study muscle quality by measuring of echointensity, which gives information about intramuscular fat [7]. The amount of intramuscular fat has been inversely associated with the functionality of a muscle and its potential for greater performance [7]. Echointensity is based on the strength of the signal shown in a US image, which is created by sending an ultrasonic wave through the tissue [7].

Middle-distance runners are athletes who specialize in races between 800 and 3000 meters. For this type of athletes it is very common to do interval training

sessions on the track at least two times per week. Because the athletics track has two tight curves, foot strike during running becomes not fully symmetrical. Currently, there are few studies that have investigated how running on the track affects the development of muscular asymmetries, which could influence athletics performance and injury risk.

Because of the important role of the tibialis anterior in running performance, its study is of great interest. In the literature reviewed, no studies were found that describe the adaptations of this muscle in middle-distance runners due to track training. Therefore, this could be an important starting point for analyzing muscle asymmetries in the lower limb of different athletes competing in races longer than 100 meters, where training includes running on the curved parts of the track.

2. PURPOSE

- To describe, for the first time, the muscle architecture of the tibialis anterior in middle-distance runners
- To determine whether the tibialis anterior in middle-distance runners shows bilateral asymmetries as a consequence of track training
- To determine the association between the degree of asymmetry of the tibialis anterior and performance in middle-distance races
- To describe fat infiltration of the tibialis anterior in middle-distance runners

3. HYPOTHESIS

- The tibialis anterior is bilaterally asymmetric in middle-distance runners
- The bilateral asymmetry of the tibialis anterior in middle-distance runners is related to their sports performance
- Middle-distance runners with a higher degree of the tibialis anterior asymmetry have better race times

4. MATERIAL AND METHODS

Participants were 10 people (4 girls and 6 boys), young athletes who train and compete in middle-distance track events under the Gran Canaria Island Athletics Federation. The age range of the participants was between 15 and 22 years old. These participants were selected from among several runners from the province of Las Palmas de Gran Canaria, using as an inclusion criterion a higher number of hours spent training on the athletics track.

Table 1. General physical characteristics of the subjects (average $\pm$ SD)

Age (years)	16,2 $\pm$ 2,1
Size (m)	1,7 $\pm$ 0,1

Weight (kg)	58,4 ± 5,4
BMI	20,4 ± 1,0
Days they train per week	3,5 ± 1,0
Number of hours they train	4,9 ± 2,3

4.1. Material

4.1.1. Questionnaire

To collect information about the participants' dedication to middle-distance training, a questionnaire was created using Google Forms, which all participants were required to complete.

4.1.2. Ultrasounds

Muscle architecture characteristics of the TA were measured using images obtained with an ultrasound device from the brand Mindray, model M6, in two-dimensional mode with a grayscale display, in real time. To capture these images, a small linear array transducer or probe (L14-6) was used, which allows a frequency of 6–14 MHz, along with a specific ultrasound gel (Figure 4) used to facilitate the exposure of high-frequency sound waves to the body. This equipment works by emitting high-frequency sound waves, which are imperceptible to the human ear and propagate through tissues and the inside of our body.

4.2. Methodology

4.2.1. Study data collection protocol

For the ultrasound scans, the subjects were placed on a stretcher in a seated position with their feet hanging [10]. The procedure started from a specific anatomical point, the origin of the tibialis anterior at the lateral condyle of the tibia (outer part of the knee), and from that proximal point, the probe was moved downwards to a more distal and medial position relative to the muscle. The images were captured in two planes: longitudinal and transverse. In the longitudinal plane, the thickness of each muscle belly, the total muscle thickness, subcutaneous fat, pennation angles, and fascicle length were examined—the latter calculated using a formula from the study by Joaquin-Sanchis et al. (2023). In the transverse plane, the cross-sectional area (CSA) was observed, and the maximum and minimum echointensity values of the muscle were obtained.

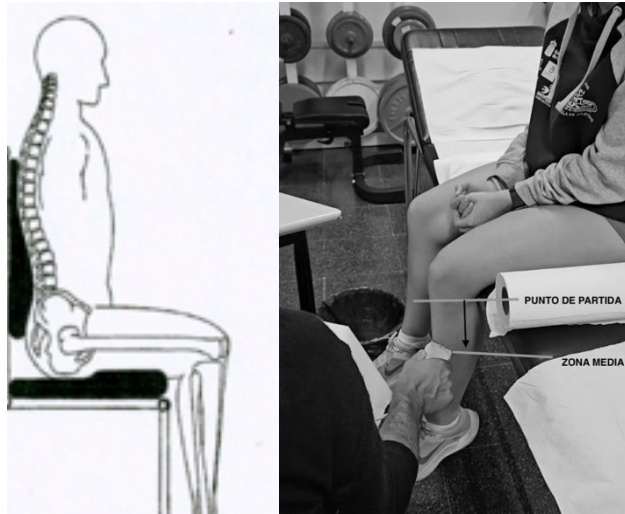


Figure 10. Ultrasound position and measurement points

Once all the necessary images were captured, they were analyzed and measured using the ImageJ software (National Institutes of Health, Bethesda, MD, USA), which allows digital image analysis. Before starting the measurements, the program was calibrated using the “Straight” tool by drawing a straight line over a visible numeric scale in the image (from 0 to 1, equivalent to 10 mm), and the scale was set in the “Analyse” and “Set Scale” section, checking the “Global” box to apply the same scale to all the images.



Figure 13. ImageJ toolbar with the “Straight” tool selected

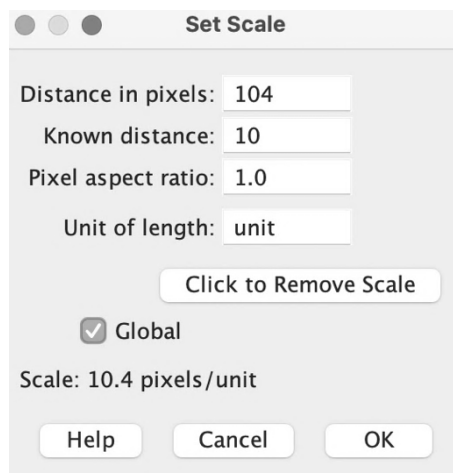


Figure 14. “Set Scale” from the “Analyse” section



Figure 15. ImageJ Calibration Process

With the software calibrated, the different segments of each ultrasound were measured. The thickness of each muscle belly, the total thickness of the TA, and the subcutaneous fat were measured using the “Straight” tool and the “Measure” function in the “Analyse” menu, which provided the values of the measured lengths. The pennation angle was calculated using the “Angle Tool,” which allows drawing two lines with a common intersection point to determine the angle. For the CSA, the “Polygon Selection” tool was used, which delimits the muscle area by points. This tool also allowed the analysis of the muscle echogenicity using a histogram generated with the “Histogram” function in the “Analyse” menu, showing the values in grayscale.

4.2.2. Formula

The formula used to obtain fascicle length was: $FL = MT / \sin(\theta)$

Where:

- FL is the fascicle length
- MT is the muscle thickness measured in the image
- θ is the pennation angle

4.2.3. Drop Jump Test (DJ)

After the ultrasounds, all participants performed the Drop Jump (DJ) test. In this test, subjects had to drop down from a box with one foot and, upon touching the ground, perform an immediate jump with maximum power. One of the objectives of the study was to see whether bilateral asymmetries in the tibialis anterior are associated with sports performance. For this, one of the variables observed was the power and height of the jump of each leg.

The test measurements were carried out using the mobile app *My Jump 2*, developed by Carlos Balsalobre and scientifically validated by the study by Stanon et al. (2017). Before the test, the procedure was explained in detail to the subjects. Each participant performed a total of 6 jumps: 3 with the left leg and 3 with the right. These jumps were recorded from approximately 1.5 meters using a mobile phone camera with the *My Jump 2* app. To obtain a more reliable value, the best of

the 3 jumps from each leg was used. In the analysis, the take-off and landing frames were selected separately, and the app calculated the flight time.

With these values, it was possible to determine the power and force transfer of the musculature in each leg, compare them with each other, and associate them with the muscle architecture characteristics obtained via ultrasound.

4.2.4. Statistics

The data were analyzed using Microsoft Excel version 2025. To compare bilateral differences in the ultrasound measurements, a Student's T-test was used for paired data. To analyze the relationship between the ultrasound variables and performance, Pearson's correlation coefficient was applied. The level of statistical significance was set at $p < 0.05$, and results are presented as mean $\pm$ standard deviation.

5. RESULTS

5.1. Description of muscle architecture

Tables 2 and 3 show the values obtained from the ultrasound assessments of muscle architecture, echointensity, and subcutaneous fat. In the comparison of muscle architecture between the superficial and deep bellies (Table 2), it was observed that, in terms of thickness and pennation angle, the values are higher in the deep belly, whereas fascicle length is greater in the superficial belly. In the assessment of echointensity and subcutaneous fat (Table 3), no major differences were observed between participants.

Table 2. Values of the muscle architecture of the TA in middle-distance runners (average $\pm$ SD)

		Average
Superficial Belly	Thickness	11.1 $\pm$ 2.4
	Angle	8.5 $\pm$ 1.4
	Longitude	78.4 $\pm$ 20.5
Deep Belly	Thickness	16 $\pm$ 2.6
	Angle	12.8 $\pm$ 2.6
	Longitude	75.6 $\pm$ 18.2
	Total thickness	28.3 $\pm$ 4.0

Table 3. Values of echointensity and subcutaneous fat of the BP in middle-distance runners (average $\pm$ SD)

	Average
Echointensity Mean	68.0 $\pm$ 11.0
Subcutaneous fat	3.7 $\pm$ 1.1

5.2. General comparison between superficial and deep belly

Table 4 shows the comparison of the values already seen in Table 2. It can be observed that there are statistically significant differences in thickness and pennation angle in favor of the deep belly, which presents higher measurements than the superficial belly, leading to a significant p-value.

Table 4. Values of the muscular architecture of the superficial and deep bellies of the TA in middle-distance runners

	Superficial Belly	Deep Belly	P
Thickness	11,1 ± 2,4	16,0 ± 2,6	0,000
Angle	8,5 ± 1,4	12,8 ± 2,6	0,000
Longitude	78,4 ± 20,5	75,6 ± 18,2	0,654

5.3. Gender-based analysis

5.3.1. General characteristics differentiated between boys and girls

Table 1 shows the general characteristics of the men and women who participated in this study. Breaking these values down by gender groups in Table 5, it is observed that the women in this study are shorter and weigh less than the men, which results in statistically significant differences.

Table 5. General physical characteristics of boys and girls and their comparison

	Men	Women	P
Age (years)	16,2 ± 2,1	15,3 ± 0,5	0,266
Size (m)	1,7 ± 0,05	1,6 ± 0,05	0,004
Weight (kg)	61,5 ± 4,2	53,8 ± 2,7	0,013
BMI	20,2 ± 0,7	20,7 ± 1,4	0,481
Days they train per week	3,3 ± 0,8	3,8 ± 1,2	0,539
Number of hours they train	4,5 ± 1,8	5,4 ± 3,1	0,580

5.3.2. Comparison of the superficial and deep belly in boys

When comparing the superficial and deep bellies of the TA in both legs in boys, it was observed that the thickness and pennation angle were greater in the deep belly than in the superficial one. However, fascicle length was greater in the superficial belly.

Table 6. Values of the muscular architecture of the superficial and deep belly of the TA in boys

	Superficial Belly	Deep Belly	P
Thickness	12,2 ± 1,9	15,3 ± 2,6	0,003
Angle	8,9 ± 1,5	13,4 ± 2,2	0,000

Longitude	82,8 ± 23,0	68,4 ± 14,9	0,082
-----------	-------------	-------------	-------

5.3.3. Comparison of superficial and deep belly in girls

When comparing the superficial and deep bellies of the TA in both legs in the girls, it was observed that all the characteristics of the muscle architecture, both the thickness, the angle of pennation and the length of the fascicles were greater in the deep belly.

Table 7. Values of the muscular architecture of the superficial and deep belly of the TA in girls

	Superficial Belly	Deep Belly	P
Thickness	9,5 ± 2,2	17,1 ± 2,3	0,000
Angle	7,8 ± 1,2	12,0 ± 3,2	0,004
Longitude	71,6 ± 15,0	86,3 ± 18,2	0,099

5.3.4. Comparison of the superficial belly between boys and girls

When comparing the characteristics of the muscular architecture of the superficial belly of the AT between boys and girls, statistically significant differences were observed in favor of boys in the thickness of the belly, since the latter presented greater measurements. And a trend was observed in the angle of pennation also in favor of children with higher values. When normalizing the comparison by height, it was observed that the differences remained in thickness and the other trends disappeared.

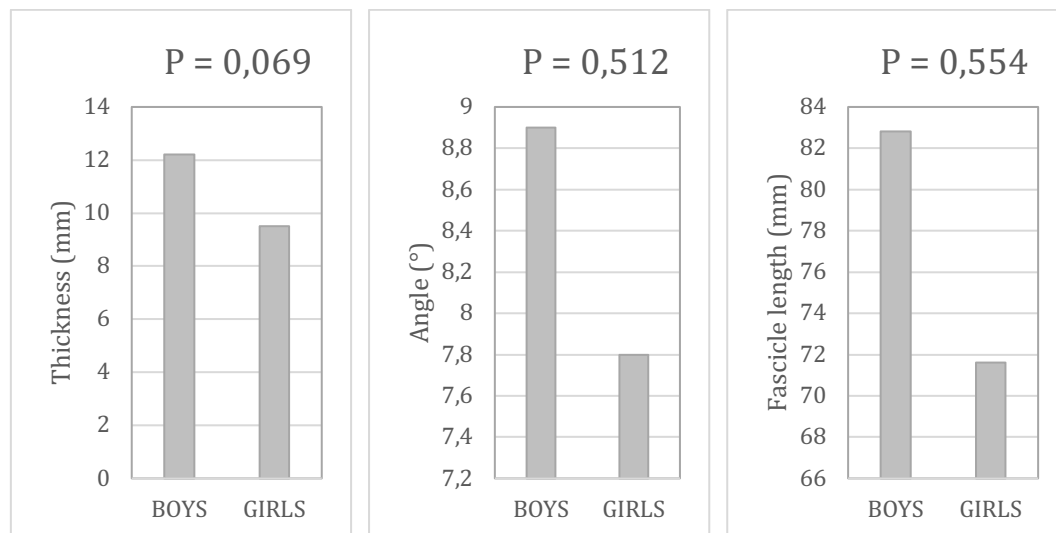


Figure 20. Values of muscle architecture in the superficial belly of the TA compared between boys and girls

5.3.5. Comparison of the deep belly between boys and girls

When comparing the characteristics of the muscular architecture of the deep abdomen of the ED between boys and girls, statistically significant differences were observed in the length of the fascicles in favor of girls, since they have a larger size than boys. The thickness of the belly is also greater in girls than in boys, while the angle of pennation is greater in boys. When normalizing the comparison by height, it was observed that the difference in length was maintained and another significant difference in thickness was also added.

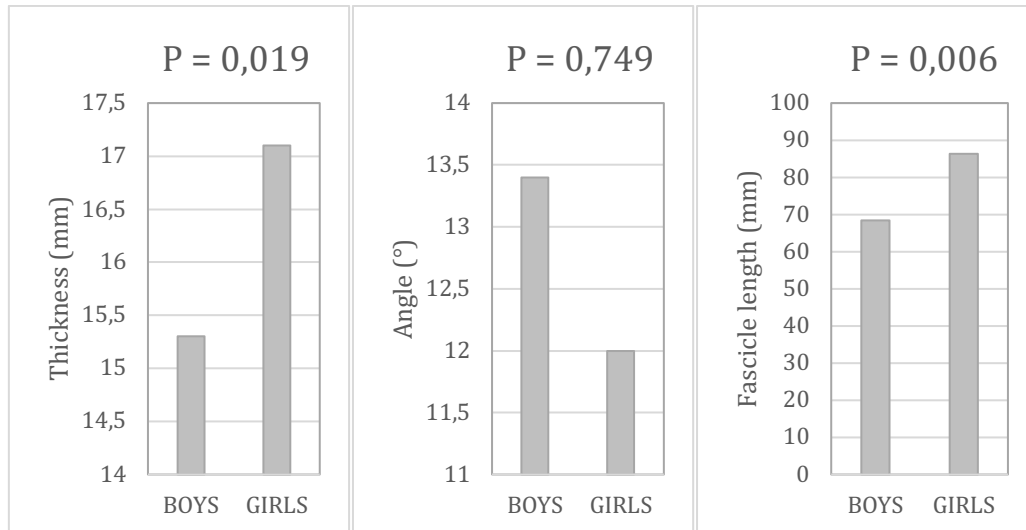


Figure 21. Values of muscle architecture in the deep belly of the TA compared between boys and girls

5.4. Bilateral analysis of AT

5.4.1. Bilateral comparison of AT muscle architecture across the pooled group

When comparing the left and right legs between boys and girls analyzed together, no significant differences were observed in any of the variables analyzed (*Superficial belly*: Thickness, $p=0.515$; Angle, $p=0.761$; Length, $p=0.993$ / *Deep belly*: Thickness, $p=0.301$; Angle, $p=0.109$; Length, $p=0.358$ / *Total thickness*, $p=0.581$ / *Subcutaneous fat*, $p=0.990$ / *Ecointensity*: Max, $p=0.729$; Mean, $p=0.530$).

5.5. Performance Partnerships

5.5.1. Marks in 800 meters

The thickness of the deep belly of the TA in the right leg is positively associated with the mark in the 800-meter dash (ml). This means that, the greater the thickness in the deep TA, the longer it takes to run the test, and therefore the worse the mark.

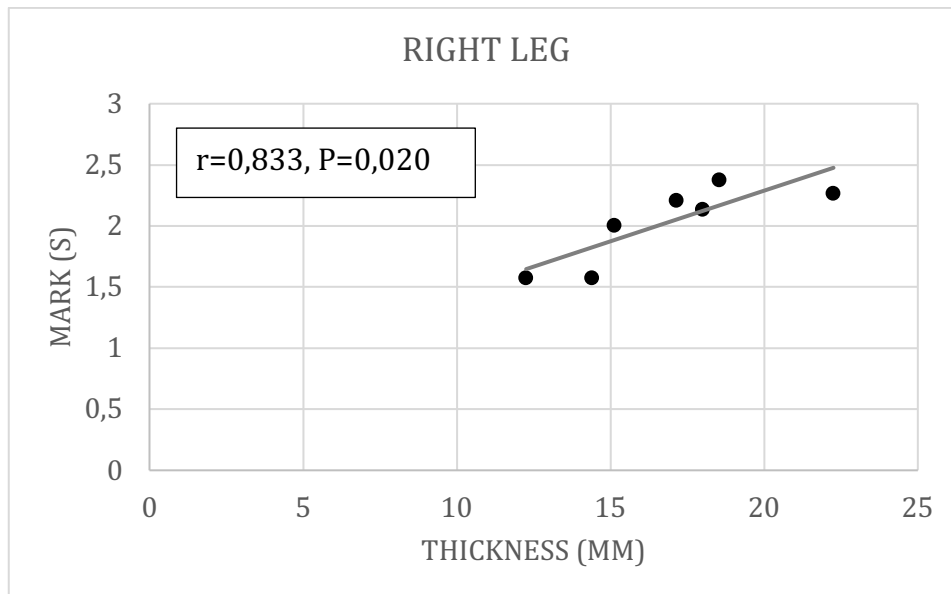


Figure 26. Correlation between the thickness of the deep belly of the TA and the mark in the 800 ml test.

5.5.2. Marks in 1500 meters

A negative association was observed between the superficial belly thickness of the AT in the right leg and the 1500 mL mark. This means that if the thickness of the belly increases, we get a shorter time in the test, which is an improvement of the mark.

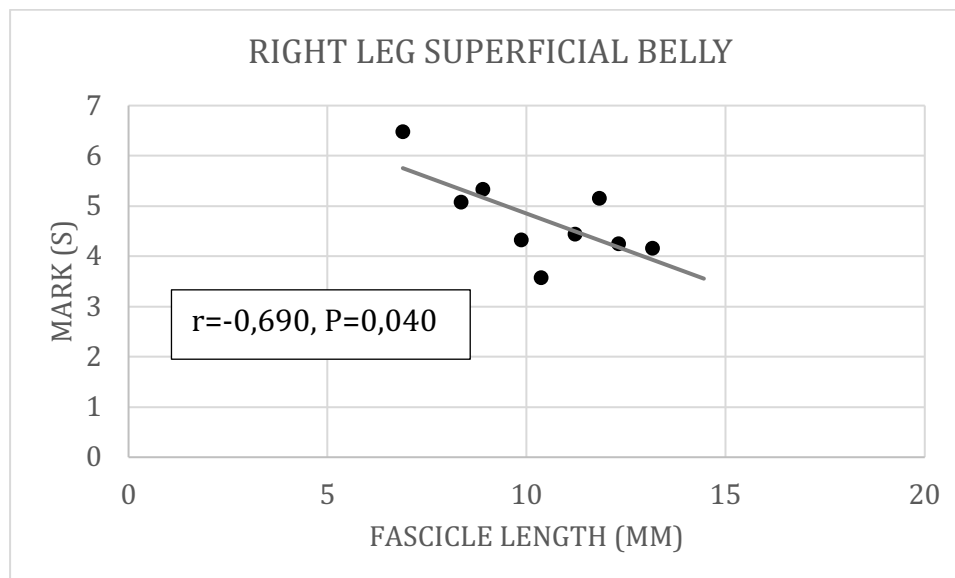


Figure 27. Correlation between the superficial belly thickness of the TA in the right leg and the mark on the 1500 ml test.

5.5.3. Marks in 3000 meters

A positive association was observed between the deep belly thickness of the TA in the right leg and the mark at 3000 ml. This means that, the thicker the deep TA, the longer it takes to run the test, which leads to a worse mark.

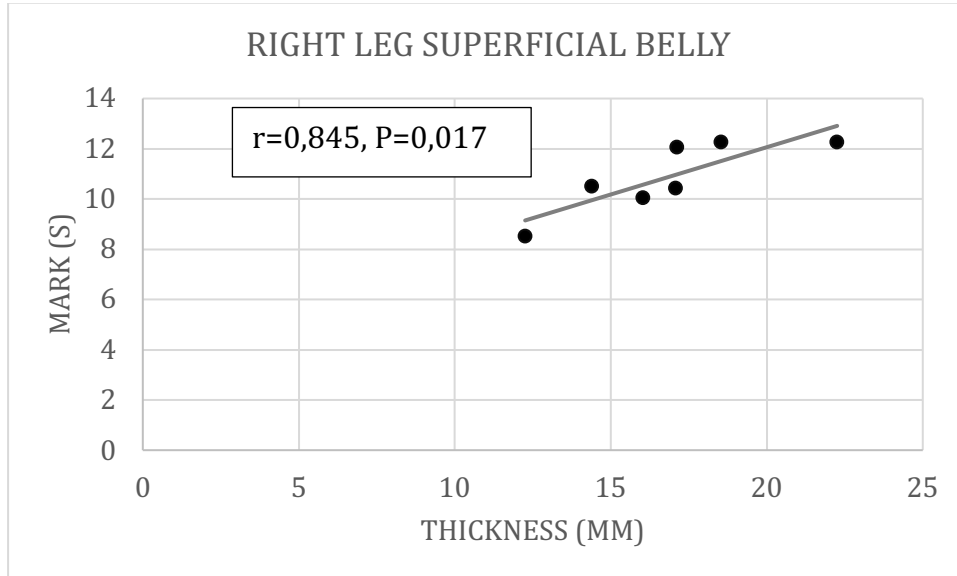


Figure 29. Correlation between the thickness of the deep belly of the right leg TA with the mark on the 3000 ml test.

6. DISCUSSION

This study mainly shows that the thickness and angle of pennation in both muscular bellies (deep and superficial) present significant differences in the general comparison, with the deep belly showing the highest average values. A greater thickness is associated with a higher maximum power output, and a more open pennation angle allows for a better ability to generate force. Therefore, it could be deduced that the deep belly of the ED is the one that has the most participation in the race, as it is the one that produces the most force and responds best to the stimuli of the tread.

In the comparison by gender, it is seen that these differences are maintained, and even trends appear in the length of the fascicles: in boys the fascicles are longer in the superficial belly, and in girls they are longer in the deep belly. This increased length is associated with a higher rate of contraction. Although these are not significant differences, increasing the sample could confirm or disappear these trends.

When analyzing each muscle belly separately, it was seen that in the superficial belly the differences that appeared disappeared when normalizing the values due to the difference in height between boys and girls, leaving only a slight trend in thickness. However, in the deep belly, a significant difference in the length of the fascicles was maintained after normalization, and another significant difference in

thickness also appeared. Looking at the average values, it is seen that in the superficial belly boys have higher values, but in the deep belly girls are the ones who predominate with greater measurements.

All this may indicate that middle-distance girls have a greater development of the deep belly of the AT than boys, and if we take into account what was said at the beginning, that this belly is the one that has the most involvement in the race, we could say that this greater development could be related to better performance (something that will be analyzed by seeing the results in marks).

It was also observed bilaterally that there is a positive correlation between the thickness of the superficial belly in both legs and the height reached in Drop Jump, that is, the greater the thickness of the muscle, the greater the jump height.

As for performance in middle-distance events, something to highlight is that the significant differences found were in the outside leg when running on the track (the right). In 800 ml, a positive correlation was found between the thickness of the deep belly and time, which means that the greater the thickness of the deep belly in the right leg, the worse the mark. At 1500 ml, the thickness of the superficial belly is negatively related to time, that is, the greater the thickness, the better the mark. In 3000 ml a positive correlation with the thickness of the deep belly appears again, also indicating a worse mark.

This may lead one to think that the development or hypertrophy of the deep abdomen of the AT in the right leg impairs performance in the middle distance, contradicting the data that related greater thickness with better jumping. And that, on the other hand, the development of the superficial belly can favor performance, at least in the 1500 ml.

A previous study had already analysed the muscle architecture of AT in young active non-athletes. Comparing their results with those of this study, it is seen that athletes have a greater thickness in the deep belly and in the total muscle, since the superficial muscle is similar in both groups. In addition, the angles of pennation in athletes are tighter, and the difference in fascicle length is quite large (10 times more in athletes). This suggests that training generates anatomical adaptations in the AT that help improve performance.

7. CONCLUSION

A main conclusion of the study is that in middle-distance runners, the tibialis anterior is not asymmetric. However, muscular differences were observed between the superficial and deep bellies. The deep belly is thicker than the superficial one. The pennation angles are greater in the deep belly. However, fascicle length is greater in the superficial belly, except in female athletes, who also show greater length in the deep belly. Regarding these characteristics, the study shows that performance in the 800m and 3000m flat races is positively associated with the thickness of the deep belly of the TA on the outer leg when running on a track. Therefore, the greater this thickness, the longer it takes to complete these events. On the other hand, the thickness of the superficial belly of the same leg was

negatively associated with performance in the 1500m, which means that the larger the superficial belly, the better the performance.

This study could contribute to improving training programs for the middle-distance athletes by placing greater emphasis on the tibialis anterior training to improve performance

8. BIBLIOGRAPHY

- [1] De la Cruz Torres, B., Alborno Cabello, M., Sánchez López, M.D. (2015). Análisis de la arquitectura muscular tras elongación muscular pasiva y elongación muscular eléctrica mediante ecografía. *Revista andaluza de medicina del deporte*, 8(4), 175-176. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ramd.2015.01.005>
- [2] Rodríguez del Campo, E. (2023) Análisis biomecánico de la carrera en corredores de medio-fondo y fondo: propuesta de protocolos de entrenamiento para corregir los desajustes observados. TFG, Universidad de León.
- [3] Mirón Mombiola, R., Borrás Blasco, C., Facal De Castro, F., & Moreno Granero, P. (2018). Correlación de la ecointensidad muscular con la fuerza muscular para el síndrome de fragilidad en el adulto mayor. *Seram*. <https://www.piper.espacio-seram.com/index.php/seram/article/view/1567>
- [4] Llanos-Lagos, C., Ramírez-Campillo, R., Moran, J. *et al*. Efecto de los programas de entrenamiento de fuerza en la economía de los corredores de media y larga distancia a diferentes velocidades de carrera: una revisión sistemática con metaanálisis. *Sports Med* **54**, 895–932 (2024). <https://doi-org.bibproxy.ulpgc.es/10.1007/s40279-023-01978-y>
- [5] Guerra García, M. (2023) *El síndrome de Estrés Tibial medial (periostitis) en corredores de fondo*, TFG, Universidad Miguel Hernández de Elche, Departamento de la UMH: ciencias del deporte. <https://hdl.handle.net/11000/29553>
- [6] Martin BJ, Serrano AM. Relación entre la infiltración grasa, el tamaño de rotura, el índice de Thomazeau y la distancia acromio-humeral en pacientes con rotura del manguito de los rotadores. *An Med Asoc Med Hosp ABC*. 2019;64(2):87-92.
- [7] Martin-Rodriguez, S., Gonzalez-Henriquez, J.J., Bautista, I.J., Sanchis-Moysi, J., Lopez-Calbet, J.A. Interplay of Muscle Architecture, Morphology, and Quality in Influencing Human Sprint Cycling Performance: A Systematic Review. *Sports Med - Open* **10**, 81 (2024). <https://doi.org/10.1186/s40798-024-00752-2>
- [8] Sarto, F., Spörri, J., Fitze, D.P. *et al*. Implementing Ultrasound Imaging for the Assessment of Muscle and Tendon Properties in Elite Sports: Practical Aspects, Methodological Considerations and Future Directions. *Sports Med* **51**, 1151–1170 (2021). <https://doi.org/10.1007/s40279-021-01436-7>
- [9] Martin-Rodriguez, S., Gonzalez-Henriquez, J.J., Galvan-Alvarez, V., Cruz-Ramírez, S., Calbet, J.A. & Sanchis-Moysi, J. (2023) Architectural anatomy of the human tibialis anterior presents morphological asymmetries between superficial and

deep unipennate regions. *Journal of Anatomy*, 00, 1–10.

<https://doi.org/10.1111/joa.13864>

[10] Pillen, S., Tak, R. O., Zwarts, M. J., Lammens, M. M., Verrijp, K. N., Arts, I. M., ... & Verrips, A. (2009). Skeletal muscle ultrasound: correlation between fibrous tissue and echo intensity. *Ultrasound in medicine & biology*, 35(3), 443-446.

<https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2008.09.016>

[11] Baz, I. H. (2000). *Atletismo* (Vol. 564). Inde

[12] Sant, J. R. (2005). *Metodología y técnicas de atletismo*. Editorial Paidotribo

[13] Viveros Carreño, J. M. (2018). Caracterización por ultrasonido de la tuberosidad tibial anterior e inserción del ligamento rotuliano en población pediátrica colombiana sin patologías musculoesqueléticas. Departamento de Imágenes Diagnósticas.

[14] Pérez, J.M.P., & Física, E. El crecimiento y el desarrollo durante la edad escolar

[15] Stanton, R., Wintour, S. A., & Kean, C. O. (2017). *Validity and intra-rater reliability of MyJump app on iPhone 6s in jump performance*. *Journal of science and medicine in sport*, 20(5), 518-523. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2016.09.016>

[16] May, S., Locke, S., & Kingsley, M. (2021). *Reliability of ultrasonographic measurement of muscle architecture of the gastrocnemius medialis and gastrocnemius lateralis*. *PLoS One*, 16(9), e0258014.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0258014>

INTRODUCCIÓN

Uno de los deportes más antiguos del mundo es el atletismo [11]. El atletismo está compuesto por una serie de especialidades que culturalmente se han agrupado bajo este nombre. [12] Correr, saltar y lanzar son las disciplinas básicas de este deporte que forman parte de los más antiguos patrones de movimiento del ser humano [12]. La carrera es una acción cíclica en la que se repite de forma periódica cada una de las partes que componen su estructura representando una habilidad básica de locomoción y prolongación natural del andar [11]. Las carreras de media y larga distancia suponen una sobrecarga y desgaste muscular en el tren inferior del cuerpo, puesto que, durante la carrera, el pie está constantemente impactando contra el suelo produciendo una fuerza vertical de entre 2 y 3 veces el peso corporal (McKenzie, Clement, & Taunton, 1985) [2].

Debido a estas cargas resulta útil conocer cómo reaccionan y se adaptan los músculos de la pierna a la carrera, para poder así, adaptar la preparación del atleta, con programas de entrenamiento adaptados a las necesidades específicas para mejorar el rendimiento y prevenir lesiones por sobrecargas.

El tibial anterior (TA) (Figura 1) es el músculo más grande del compartimento anterior de la pierna y representa más del 60% del volumen muscular de los dorsiflexores del tobillo, compartiendo funciones con el extensor largo del dedo gordo y el extensor largo de los dedos (Keith et al., 2006). Sus principales funciones son la dorsiflexión y la inversión del pie (Keith et al., 2006) por lo que es un factor fundamental en la locomoción humana. Además, el tibial anterior contribuye al mantenimiento de la postura erguida (Di Giulio et al., 2009) y desempeña un papel clave en la absorción de energía durante la marcha y la carrera (Maharaj et al., 2019) [9].

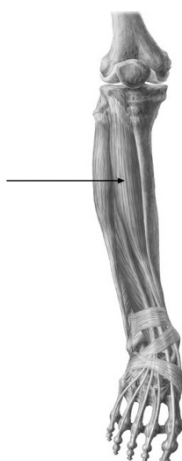


Figura 1. Anatomía del tibial anterior (TA).

Además, este es un músculo bipennado (de forma bipenniforme). Esto quiere decir que tiene 2 vientres musculares diferenciados, uno profundo y otro superficial, con diferente orientación de sus fascículos, que se insertan en lados opuestos de un

mismo tendón. Aunque anatómicamente es más correcto referirse a este como un músculo con 2 regiones unipennadas asimétricas (Figura 2) [9].



Figura 2. Músculo bipennado o bipenniforme.

Los ultrasonidos (US) son una herramienta fiable para medir la arquitectura muscular (grosor, sección transversal del área -CSA-, ángulo de penneación y longitud de los fascículos musculares) y también la grasa intramuscular [3]. La arquitectura muscular nos da información de aspectos morfológicos musculares, pero también, de forma indirecta, de la fuerza que es capaz de generar un músculo [1]. Los músculos con fibras más largas y mayores ángulos de penneación pueden producir más potencia, ya que las fibras más largas tienen más sarcómeros en serie, lo que permite velocidades de contracción más rápidas, mientras que un ángulo de penneación mayor refleja un mayor número de fibras musculares y/o un aumento en el área de sección transversal de las fibras individuales (y, por lo tanto, más sarcómeros en paralelo) con una mayor capacidad para generar fuerza [7]. Por otro lado, el tamaño muscular presenta una fuerte relación positiva con la fuerza muscular [7]. Cabe decir que, aunque la resonancia magnética (RM) es el método Gold-standard para realizar estas medidas, los US tienen la ventaja de que son un método más barato, portátil, no invasivo, con ausencia de radiación ionizante y accesible para examinar las propiedades morfológicas y mecánicas de músculos [8] [13].

Los US también permiten determinar la calidad muscular a través de la medición de la eointensidad, que nos da información de la grasa intramuscular [7]. La cantidad de grasa intramuscular se ha asociado inversamente a la funcionalidad de un músculo y en su potencial para un mayor rendimiento [7]. Más concretamente, la eointensidad es una medida que está relacionada con la fuerza de la señal observada en una imagen de US, que se obtiene al enviar una onda ultrasónica a través del tejido [7].

Los corredores de medio fondo son especialistas en distancias de entre los 800 y los 3000 metros. Son muy comunes las sesiones de entrenamiento de series en pista de mínimo 2 días en semana para este tipo de atletas. Dado que la pista de atletismo tiene dos curvas muy pronunciadas, la pisada durante la carrera deja de ser totalmente simétrica. En la actualidad hay pocos estudios que hayan investigado el impacto de correr en la pista de atletismo sobre el desarrollo de

asimetrías musculares, que podrían tener influencia en el rendimiento en este deporte, así como en el riesgo de lesión.

Entre la pubertad y la adolescencia, concretamente a partir de los 15-16 años se da un aumento de masa muscular considerable que juega un papel importante en su desarrollo[14]. A partir de esta edad es cuando se producen los cambios morfológicos más significativos en la musculatura de los jóvenes, y más concretamente en el de los atletas, por lo que es un buen momento para estudiarlo. Por ello en este estudio contaremos con jóvenes atletas mediofondistas

Debido al importante papel que tiene el tibial anterior en el rendimiento en la carrera, su estudio es de gran interés. En la literatura revisada no hemos encontrado estudios que hayan descrito las adaptaciones que se producen en este músculo en corredores de medio fondo por sus jornadas de entrenamiento en pista. Este estudio puede significar un inicio relevante al análisis de las asimetrías musculares de todo el miembro inferior en diferentes atletas, en las modalidades de carreras superiores a los 100 metros, que involucren en sus entrenamientos de series las curvas de la pista de atletismo.

OBJETIVOS

- Describir por primera vez la arquitectura muscular del tibial anterior en corredores de medio fondo
- Determinar si en corredores de medio fondo el tibial anterior presenta asimetrías bilaterales como consecuencia del entrenamiento en pista de atletismo.
- Determinar la asociación existente entre el grado de asimetría del tibial anterior y el rendimiento en carreras de medio fondo
- Describir infiltración grasa del tibial anterior en corredores de medio fondo

HIPÓTESIS

- El tibial anterior es asimétrico bilateralmente en corredores de medio fondo.
- La asimetría bilateral del tibial anterior en los corredores de medio fondo está relacionada con su rendimiento deportivo
- Los corredores de medio fondo que presentan un mayor grado de asimetría en el tibial anterior tienen mejores marcas

MATERIAL Y MÉTODOS

Participaron 10 personas (4 chicas y 6 chicos) jóvenes, atletas que entrenan y compiten en pruebas de medio-fondo en pista por la Federación Insular de Atletismo de Gran Canaria. La franja de edad de los participantes se encontraba entre los 15-22 años. Estos participantes fueron seleccionados de entre varios corredores de la provincia de Las Palmas de Gran Canaria, usando como criterio de inclusión un mayor rango de horas empleado en entrenamientos de carrera en la pista de atletismo.

Tabla 1. Características físicas generales de los sujetos (promedio $\pm$ DS)

Edad (años)	16,2 $\pm$ 2,1
Talla (m)	1,7 $\pm$ 0,1
Peso (kg)	58,4 $\pm$ 5,4
IMC	20,4 $\pm$ 1,0
Días que entrenan a la semana	3,5 $\pm$ 1,0
Nº de horas que entrenan	4,9 $\pm$ 2,3

Todos los sujetos y sus padres/madres/tutores legales fueron informados del propósito del estudio, las características de este, la privacidad y el anonimato de los datos obtenidos, así como de sus derechos y la posibilidad de retirarse del estudio si lo creían conveniente en cualquier circunstancia. Al ser menores de edad, todos los participantes y sus padres/madres/tutores legales firmaron el consentimiento para participar en el estudio que se adjuntó con el documento informativo.

1. MATERIAL

1.1. Cuestionario

Para obtener información sobre la dedicación de los sujetos al entrenamiento de medio fondo se elaboró un cuestionario a través de Google Forms que todos los participantes debían cumplimentar. Dicho cuestionario es el siguiente:

Pruebas ☐ 800 ☐ 1500 ☐ 3000 ☐ 800-1500 ☐ 1500-3000 ☐ Todas las anteriores	¿Desde cuándo practicas atletismo? Tu respuesta _____
--	---

¿Empezastes corriendo carreras de medio-fondo? ☐ Sí ☐ No	¿Cuanto tiempo llevas entrenando para medio-fondo? Tu respuesta _____
¿Cuántos días entrenas corriendo en pista a la semana? Tu respuesta _____	¿Cuántas horas entrenas corriendo en pista a la semana? (aproximadamente) Tu respuesta _____
¿Llevas mucho tiempo con esta frecuencia de entrenamientos? ¿Cuanto? Tu respuesta _____	¿Eres supinador, pronador o pisas plano? (que tipo de pisada tienes aproximadamente. Adjunto foto) TIPOS DE PISADA DEL CORREDOR  PRONADOR SUPINADOR NEUTRO ☐ Pronador ☐ Neutro ☐ Supinador
¿Prácticas algún otro deporte? En caso de que sí ¿Cual? Tu respuesta _____	

1.2. Ultrasonidos

Se midieron características de la arquitectura muscular del TA mediante imágenes obtenidas por un equipo de ultrasonidos de la marca Mindray, modelo M6 (Figura 2), en modo bidimensional con escala de grises, en tiempo real.



Figura 3. Equipo de ultrasonidos

Para captar dichas imágenes se emplea un pequeño transductor o sonda de matriz lineal L14-6 que permite una frecuencia de 6-14 MHz (Figura 3) y un gel específico de ultrasonidos (Figura 4) empleado para facilitar la exposición al cuerpo de las ondas acústicas de alta frecuencia.



Figura 4. Transductor lineal de 6-14 Mhz



Figura 5. Gel de ultrasonidos

El transductor contiene unos cristales piezoeléctricos que son los encargados de vibrar y generar las ondas sonoras una vez se les aplica electricidad (Figura 5).

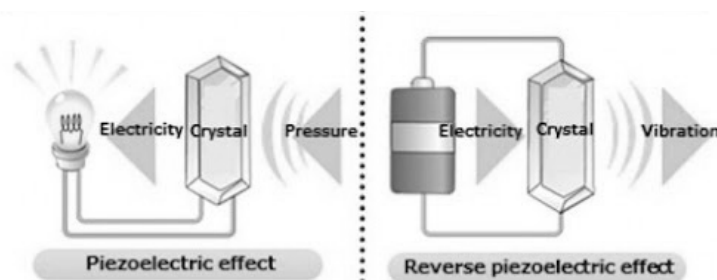


Figura 6. Cristales del transductor y efecto piezoeléctrico

Este equipo funciona emitiendo unas ondas sonoras de alta frecuencia, inapreciables para el oído humano, que se propagan por los tejidos y el interior de nuestro cuerpo.

Cada vez que estas ondas contactan con dichos tejidos o estructuras como órganos o músculos, se reflejan, absorben o dispersan. Dando lugar a los ecos, que regresan al equipo donde se procesa toda su información, midiendo sus intensidades, el lugar de la sonda a la que regresan y el tiempo que tarda en hacerlo, permitiendo así crear las imágenes que se muestran en pantalla en tiempo real (Figura 6). Las imágenes que emite el equipo de US son actualizadas de 20 a 40 veces por segundo lo que hace que esta imagen sea continua y se vea en tiempo real.

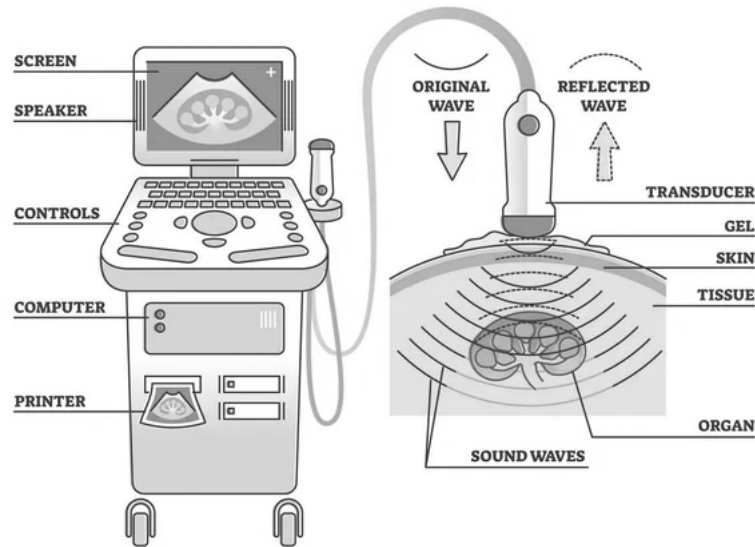


Figura 7. Función y estructura del equipo de ultrasonidos

En estas representaciones la posición vertical depende del tiempo de retorno o que tardan en volver las ondas, y la posición horizontal se basa en el punto de la sonda en el que se recibe el eco. La profundidad a la que puedan llegar estas ondas y la calidad de las imágenes que se muestren en el equipo van a depender de la cantidad de energía eléctrica empleada, las cualidades de los cristales que porte el transductor y las características o propiedades de los tejidos. (Whittaker & Stokes, 2011)

Por tanto, en estas imágenes nos encontramos con los diferentes tejidos ordenados desde los más superficiales, en el lado superior de la imagen, hasta los más profundos, en el lado inferior de la misma (Figura 7).

Otro aspecto importante es la composición de los tejidos, pues esta es la que establece la escala de grises y tonalidades en las ecografías. Muchos tejidos conectivos del cuerpo poseen colágeno, que es lo que hace que se refleje aún más el sonido, y que las imágenes de esa zona se vean más claras. Por tanto, la cantidad de colágeno que tenga un tejido va a hacer que este se vea más blanco en las ecografías, esto se conoce como apariencia hiperecoica. Por el contrario, todas aquellas estructuras que no reflejan el sonido porque carecen de colágeno, como los fluidos, serán imperceptibles ante los ultrasonidos de las ecografías y se verán de color negro, esto se conoce como una apariencia hipoecoica. (Whittaker & Stokes, 2011)

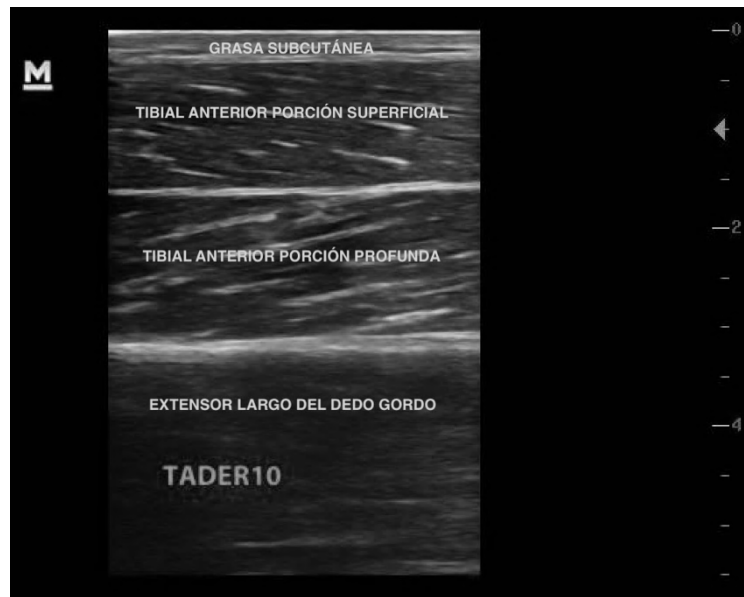


Figura 8. Ejemplo de cómo se ven las estructuras en una imagen ecográfica

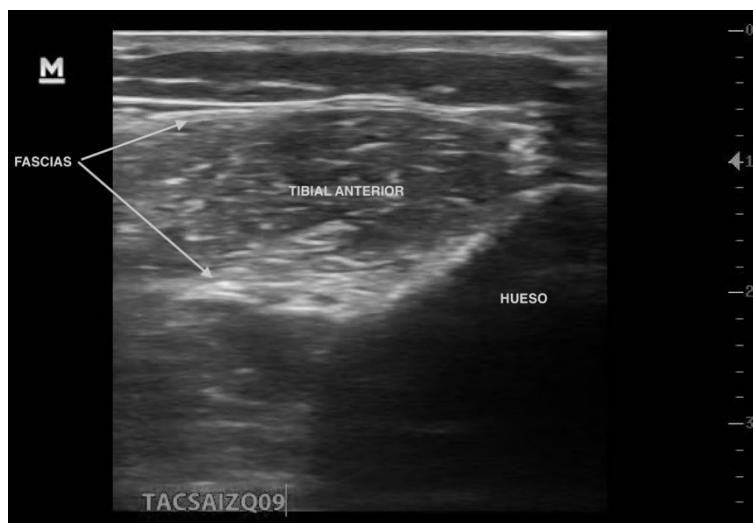


Figura 9. Ejemplo de CSA en TA. Las fascias más claritas (poseen más colágeno), el interior del músculo algo más oscuro, y el interior del hueso no se ve porque es una estructura más densa

Con este método no invasivo podemos apreciar la estructura muscular del tibial anterior de forma segura y efectiva.

2. METODOLOGÍA

2.1. Protocolo de recogida de datos del estudio

Para la realización de las ecografías se colocó a los sujetos en una camilla en posición de sedestación con los pies colgando (Figura 7). Para comenzar con el proceso se parte siempre desde un punto anatómico concreto de la pierna, que era desde el origen del tibial anterior, en la zona del cóndilo lateral de la tibia (Figura 8) (parte externa de la rodilla) y desde este punto más proximal se baja hasta una altura más distal sobre el musculo, llegando a una posición medial con respecto al

mismo. Estas imágenes se retrataron en 2 planos distintos, longitudinal y transversal. Con el plano longitudinal se pudo examinar el grosor de cada vientre muscular, así como el del musculo en su totalidad, la grasa subcutánea, los ángulos de pennacion de los fascículos y la longitud de los fascículos gracias a una formula aportada por el estudio previo de Joaquin-Sanchis et al. 2023. Mientras que en el plano transversal se pudo observar el área de sección transversal del músculo y a raíz de esta averiguar los niveles de ecointensidad máxima y mínima de este tejido.

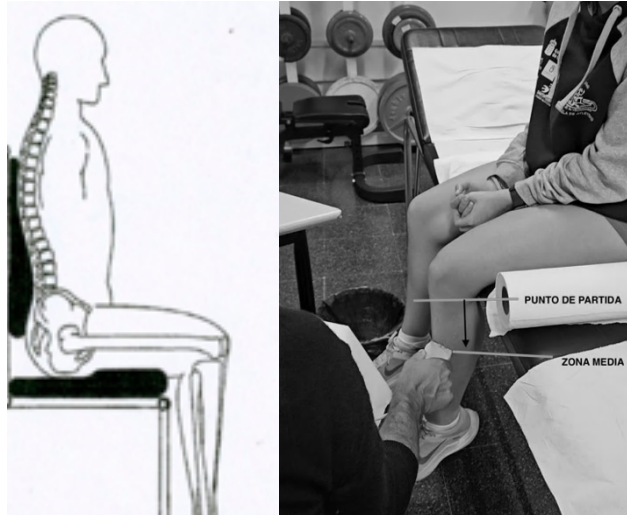


Figura 10. Posición para la realización de las ecografías, y puntos de medición



Figura 11. Origen del tibial anterior, cóndilo lateral de la tibia



Figura 12. Transductor en plano horizontal/ Transductor en plano vertical

Tras capturar todas las imágenes necesarias y cumplir así con la recogida de datos, pasaron a analizarse y medirse con el software ImageJ (National Institutes of Health, Bethesda, MD, EE. UU.). Este aporta una barra de herramientas que permiten analizar y medir imágenes digitales. (Figura 10).

Antes de empezar con el proceso de medidas y análisis había que calibrar la aplicación para tenerla ajustada posteriormente en cada ecografía. Para ello, previamente se abre la imagen que se va a examinar acudiendo al apartado de File y pulsando Open para seleccionar la imagen, y con la herramienta “Straight” (Figura 13) hacemos una línea recta en la parte superior derecha de la imagen (Figura 15), donde se aprecia una escala numérica, desde el 0 hasta el 1, que va a medir 10 mm. Una vez hecha la línea, con el apartado Analyse, y Set Scale (Figura 14) le indicaremos al programa que esa línea mide los 10 mm, le daremos al “Ok” y marcaremos la casilla de Global para indicarle al programa que todas las imágenes que se midan en ese momento siguen la misma escala de medición.

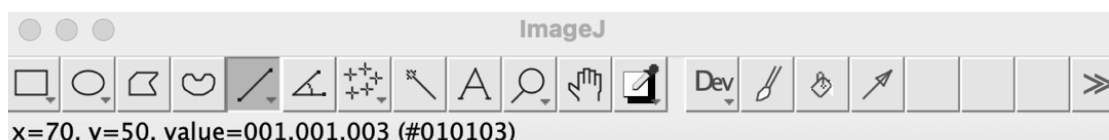


Figura 13. Barra de herramientas de ImageJ con la herramienta Straight seleccionada

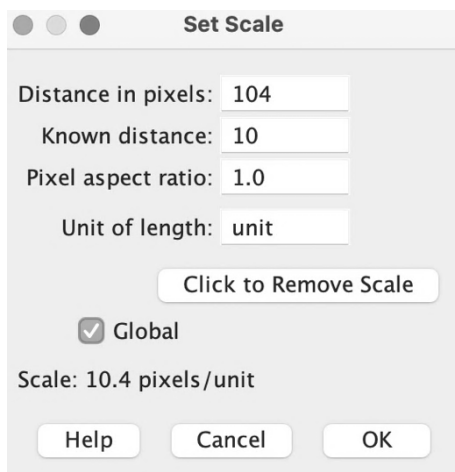


Figura 14. Set Scale del apartado Analyse



Figura 15. Proceso de Calibración de ImageJ

Una vez estaba calibrado el software se pasó a medir los diferentes segmentos de cada ecografía de la siguiente forma:

Para medir el *grosor* de cada uno de los vientres musculares, así como el grosor total del músculo y la cantidad de grasa subcutánea, se utilizó nuevamente la herramienta “Straight” que traza una línea recta sobre las imágenes ecográficas, para posteriormente hacer clic sobre el apartado “Analyse” y nuevamente sobre “Measure” para que se abriera otra pestaña con los datos de las longitudes medidas

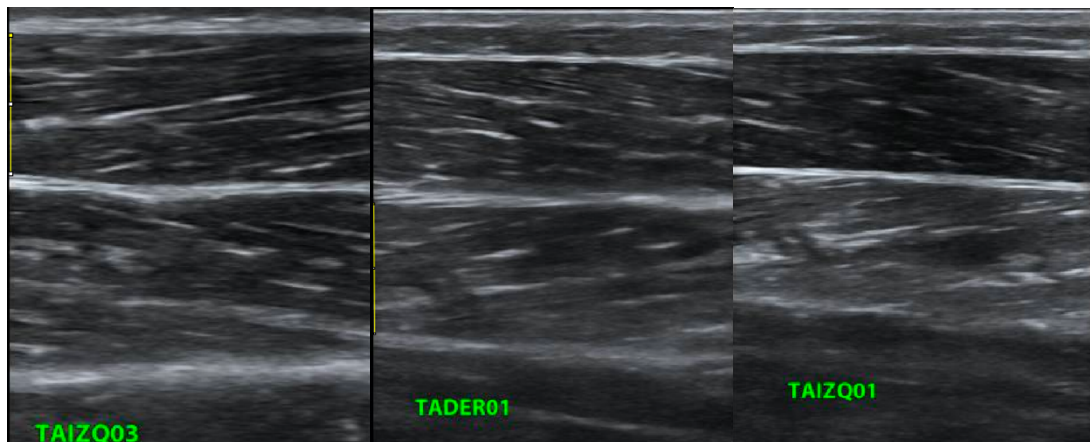


Figura 16. Porción superficial TA / Porción profunda TA / Grosor total TA

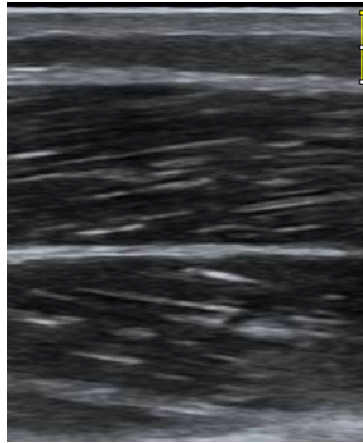


Figura 17. Porción de Grasa Subcutánea

Results						
	Area	Mean	Min	Max	Angle	Length
1	1.666	53.423	25.333	142.000	-90.000	13.537
2	1.591	38.143	15.333	103.667	-90.000	12.927

Figura 18. Recuadro de medidas que surge al pulsar “Measure” en el apartado “Analyse”

El ángulo de pennación se mide usando la herramienta “Angle tool” que permite trazar una línea y partirla en otra con una dirección diferente y un mismo punto intermedio, para averiguar el ángulo de esta



Figura 19. Barra de herramientas de ImageJ con la herramienta “Angle tool” seleccionada

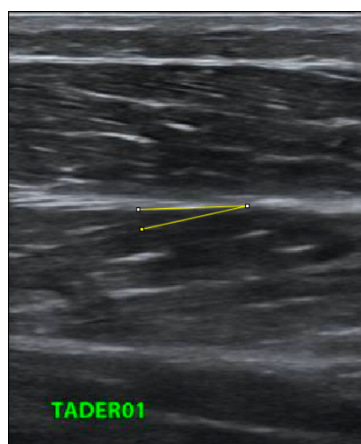


Figura 20. Angulo de Pennación

El CSA se mide utilizando la herramienta “Polygon Selection” que permite hacer una delimitación de área por puntos sobre la superficie del musculo. Con esta herramienta además podemos analizar la *ecointensidad* del músculo, valorada por un programa en una escala de intensidades de grises, que se refleja en un histograma, utilizando “Histogram” en el apartado “Analyze”, dando así la gráfica que muestra estos valores.

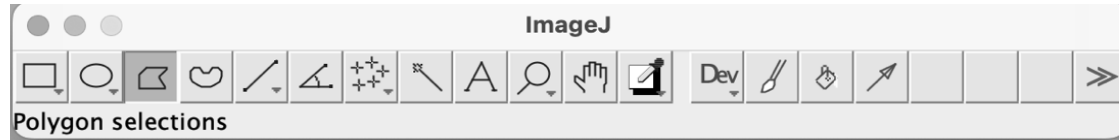


Figura 21. Barra de herramientas de ImageJ con la herramienta “Polygon selections” seleccionada

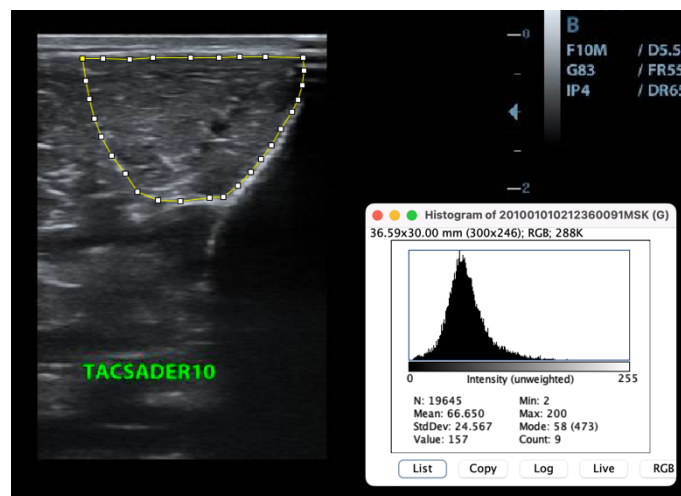


Figura 22. Porción de CSA e Histograma

2.2. Fórmula

Con respecto a la longitud de los fascículos se empleó una fórmula para poder averiguar estas debido a que no cabían completamente en las ecografías. Dicha fórmula es: $FL = MT / \sin(\theta)$

Donde:

- FL es la longitud del fascículo
- MT es el grosor del musculo medido en la imagen de ultrasonido
- θ es el Angulo de pennación

2.3. Test de Drop Jump (DJ)

Posteriormente a las ecografías se les realizó a todos los participantes la prueba de salto Drop Jump, un test en el que debían dejarse caer con un pie, desde un cajón a una altura determinada y preestablecida para todos igual, y seguidamente al contactar con el suelo realizar un salto inmediatamente con todas sus fuerzas. Uno

de los principales objetivos de este estudio es comprobar si las asimetrías bilaterales de ambos tibiales anteriores se asocian a la mejora del rendimiento. Para comprobar esto una de las variables posibles que muestran las diferencias entre una pierna y otra es la potencia y altura de salto. Con dichos valores y resultados podremos confirmar y asociar si las diferentes características de la arquitectura muscular influyen en el rendimiento competitivo de los atletas.

Para realizar las mediciones de los test se empleó la app para móviles My Jump 2 desarrollada por Carlos Balsalobre, que fue verificada y validada para esta finalidad en el estudio de Stanon et al., (2017) [15].

Antes de proceder a realizar los test de saltos se dieron a todos los sujetos las indicaciones de cómo se llevaba a cabo dicha prueba para asegurarse de tener una mayor validez en esta. Cada sujeto realizó un total de 6 saltos, 3 DJ con la pierna izquierda y 3 con la pierna derecha. Estos fueron grabados con la cámara de un móvil desde aproximadamente 1,5m usando la aplicación de My Jump 2. Con los 3 saltos se asegura tener una mayor aproximación a un resultado fiable, usando finalmente el mejor resultado de los 3 saltos. Durante el video la persona que analiza debe seleccionar de este, simplemente el fotograma en el que inicia el despegue y donde se produce el aterrizaje por separados, para que la aplicación calcule el tiempo de vuelo.

Con estos valores podríamos para comprobar la potencia y transferencia de fuerza de la musculatura de cada pierna y comparar estas para asociarla a los diferentes valores de su arquitectura muscular.

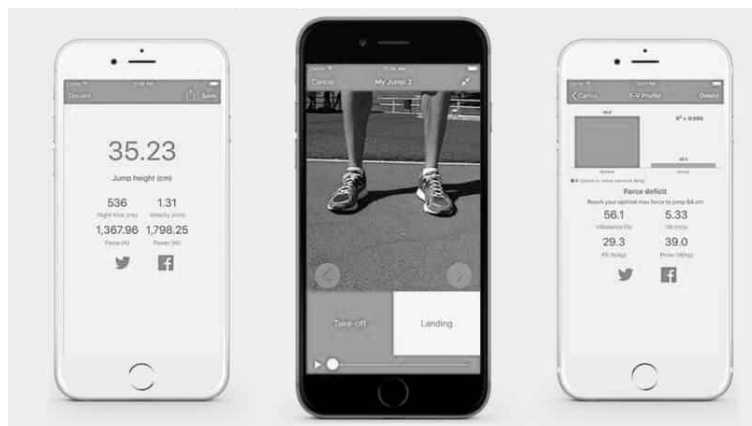


Figura 23. Interfaz de la aplicación My Jump



Figura 24. Proceso de medida con My Jump 2

2.4. Estadística

Los datos se analizaron a través del programa Microsoft Excel versión 2025. Para comparar las diferencias bilaterales en las medidas con ultrasonidos se realizó una prueba T-Student para datos apareados. Para determinar la relación entre las medidas con ultrasonido con el rendimiento, se utilizó el método paramétrico de correlación de Pearson. La significación estadística se estableció en una magnitud de $p < 0,05$. Los resultados se exponen como medias y desviación estándar.

RESULTADOS

1. Descripción de la arquitectura muscular

En las tablas 2 y 3 se muestran los valores obtenidos en las ecografías de la arquitectura muscular, la eointensidad y la grasa subcutánea. En la comparativa de la arquitectura muscular entre los vientres superficial y profundo (Tabla 2) se pudo ver que en cuanto a grosor y ángulo de pennación los valores son mayores en el vientre profundo, mientras que la longitud de los fascículos es mayor en el vientre superficial. En la valoración de la eointensidad y la grasa subcutánea (Tabla 3) no se apreció que tuvieran grandes diferencias entre los participantes.

Tabla 2. Valores de la arquitectura muscular del TA en corredores de medio fondo (promedio $\pm$ DS)

		Promedio
Ventre Superficial	Grosor	11,1 $\pm$ 2,4
	Angulo	8,5 $\pm$ 1,4
	Longitud	78,4 $\pm$ 20,5
Ventre Profundo	Grosor	16 $\pm$ 2,6
	Angulo	12,8 $\pm$ 2,6
	Longitud	75,6 $\pm$ 18,2
	Grosor total	28,3 $\pm$ 4,0

Tabla 3. Valores de la eointensidad y la grasa subcutánea del TA en corredores de medio fondo (promedio $\pm$ DS)

	Promedio
Eointensidad Mean	68,0 $\pm$ 11,0
Grasa subcutánea	3,7 $\pm$ 1,1

1.1. Comparativa general del vientre superficial y profundo

En la tabla 4 se muestra la comparación de los valores que ya se pudieron apreciar en la tabla 2. Se puede ver que existen diferencias a valores significativos entre el grosor y el ángulo de pennación en favor del vientre profundo que presenta medidas mayores que las del vientre superficial, lo que lleva a una p=valor significativa.

Tabla 4. Valores de la arquitectura muscular de los vientres superficial y profundo del TA en corredores de medio fondo

	Ventre Superficial	Ventre profundo	P
Grosor	11,1 $\pm$ 2,4	16,0 $\pm$ 2,6	0,000
Ángulo	8,5 $\pm$ 1,4	12,8 $\pm$ 2,6	0,000
Longitud	78,4 $\pm$ 20,5	75,6 $\pm$ 18,2	0,654

2. Análisis por género

2.1. Características generales diferenciadas entre chicos y chicas

La tabla 1 muestra las características generales de los hombres y las mujeres que participaron en este estudio. Desglosando esos valores por grupos de género en la tabla 5 se observa que las mujeres de este estudio son más bajas y pesan menos que los hombres, lo que lleva a valores de diferencia significativa.

Tabla 5. Características generales físicas de los chicos y chicas y su comparativa

	Hombres	Mujeres	P
Edad (años)	16,2 ± 2,1	15,3 ± 0,5	0,266
Talla (m)	1,7 ± 0,05	1,6 ± 0,05	0,004
Peso (kg)	61,5 ± 4,2	53,8 ± 2,7	0,013
IMC	20,2 ± 0,7	20,7 ± 1,4	0,481
Días que entrenan a la semana	3,3 ± 0,8	3,8 ± 1,2	0,539
Nº de horas que entrenan	4,5 ± 1,8	5,4 ± 3,1	0,580

2.2. Comparativa del vientre superficial y profundo en chicos

Al comparar los vientres superficial y profundo del TA en ambas piernas en los chicos, se observó que el grosor y el ángulo de pennación era mayor en el vientre profundo que en el superficial. Sin embargo, la longitud de los fascículos era mayor en el vientre superficial.

Tabla 6. Valores de la arquitectura muscular del vientre superficial y el profundo del TA en chicos

	Vientre Superficial	Vientre Profundo	P
Grosor	12,2 ± 1,9	15,3 ± 2,6	0,003
Ángulo	8,9 ± 1,5	13,4 ± 2,2	0,000
Longitud	82,8 ± 23,0	68,4 ± 14,9	0,082

2.3. Comparativa del vientre superficial y profundo en chicas

Al comparar los vientres superficial y profundo del TA en ambas piernas en las chicas, se observó que todas las características de la arquitectura muscular, tanto el grosor, el ángulo de pennación como la longitud de los fascículos eran mayores en el vientre profundo.

Tabla 7. Valores de la arquitectura muscular del vientre superficial y el profundo del TA en chicas

	Ventre Superficial	Ventre Profundo	P
Grosor	9,5 ± 2,2	17,1 ± 2,3	0,000
Ángulo	7,8 ± 1,2	12,0 ± 3,2	0,004
Longitud	71,6 ± 15,0	86,3 ± 18,2	0,099

2.4. Comparativa del vientre superficial entre chicos y chicas

Al comparar las características de la arquitectura muscular del vientre superficial del TA entre chicos y chicas, se observaron diferencias estadísticamente significativas en favor de los chicos en el grosor del vientre, puesto que el de estos presento medidas mayores. Y se apreció una tendencia en el ángulo de pennación también en favor de los chicos con valores superiores. Al normalizar la comparación por la altura, se observó que las diferencias se mantenían en el grosor y las demás tendencias desaparecían.

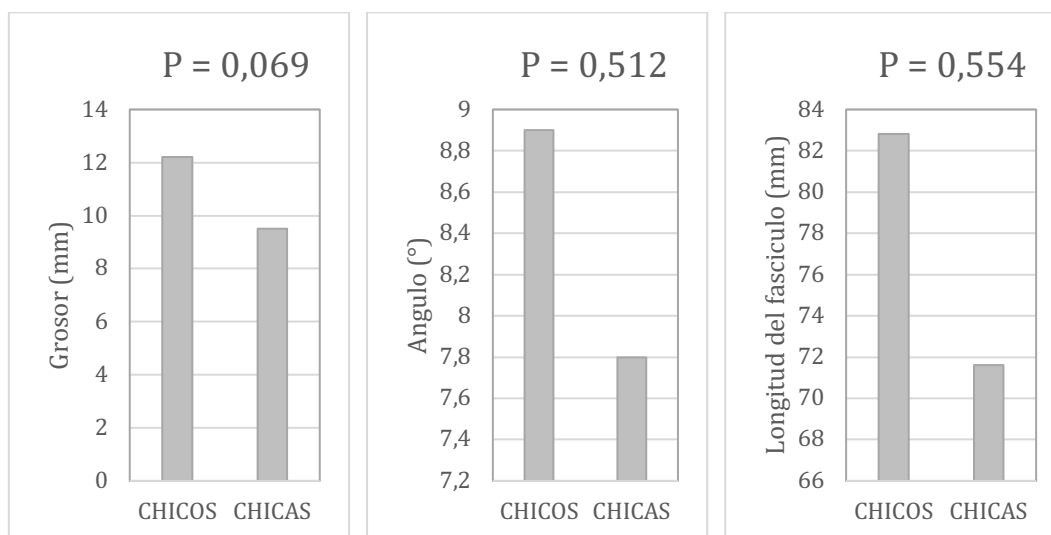


Figura 20. Valores de la arquitectura muscular en el vientre superficial del TA comparados entre chicos y chicas

2.5. Comparativa del vientre profundo entre chicos y chicas

Al comparar las características de la arquitectura muscular del vientre profundo del TA entre chicos y chicas, se observaron diferencias estadísticamente significativas en la longitud de los fascículos en favor de las chicas, puesto que tienen mayor medida que los chicos. El grosor del vientre también es mayor en las chicas que en chicos, mientras que, el ángulo de pennación es mayor en los chicos. Al normalizar la comparación por la altura, se observó que la diferencia en longitud se mantenía y además se añadía otra diferencia significativa en grosor.

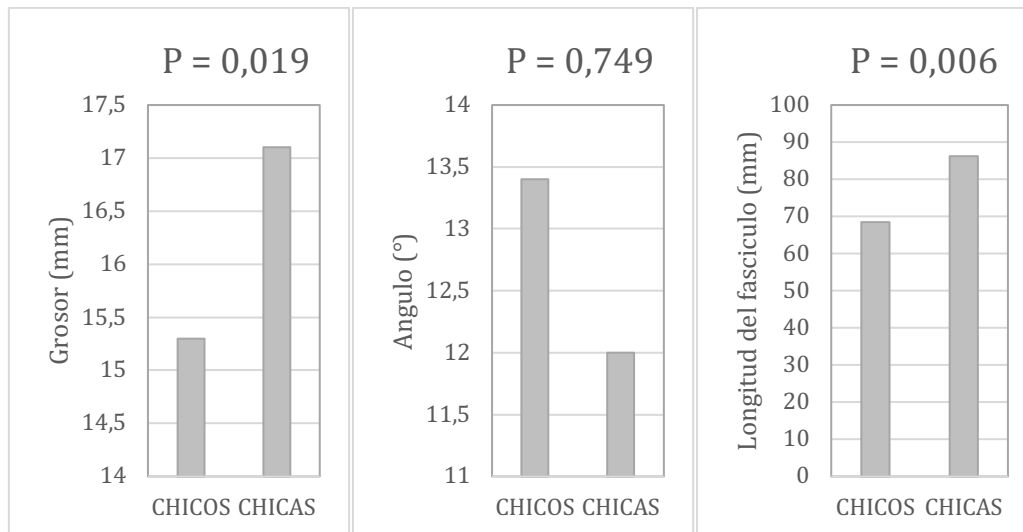


Figura 21. Valores de la arquitectura muscular en el vientre profundo del TA comparados entre chicos y chicas

3. Análisis bilateral del TA

3.1. Comparación bilateral de la arquitectura muscular del TA en todo el grupo conjunto

Al comparar la pierna izquierda con la derecha entre chicos y chicas analizados conjuntamente no se observaron diferencias significativas en ninguna de las variables analizadas (*Ventre superficial*: Grosor, $p=0,515$; Angulo, $p=0,761$; Longitud, $p=0,993$ / *Ventre profundo*: Grosor, $p=0,301$; Angulo, $p=0,109$; Longitud, $p=0,358$ / *Grosor total*, $p=0,581$ / *Grasa subcutánea*, $p=0,990$ / *Ecointensidad*: Max, $p=0,729$; Mean, $p=0,530$).

3.2. Análisis por género

3.2.1. Comparación bilateral en chicos

Se observó una tendencia a valores significativos en la ecointensidad promedio en favor de la pierna izquierda ($p = 0,05$). Por lo que el TA en la pierna izquierda presenta una mayor cantidad de colágeno y esto lo hace más hiperecoico que el derecho. No se observaron diferencias significativas en ninguna de las otras variables analizadas.

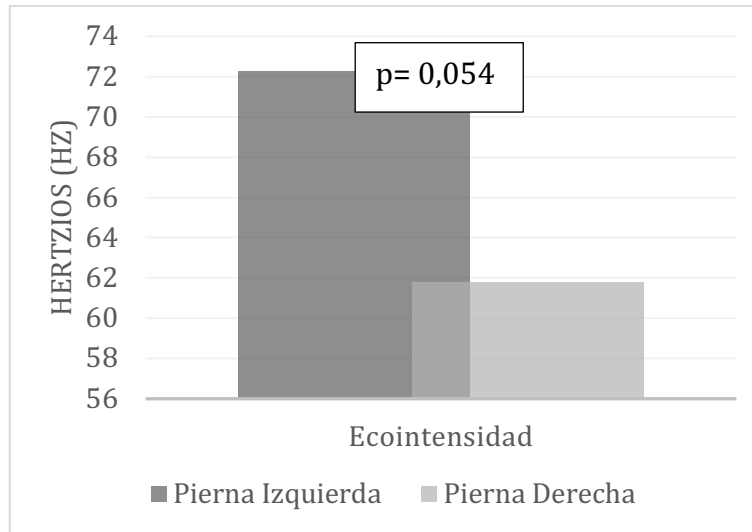


Figura 22. Valores de la econtensidad de las piernas derecha e izquierda

3.2.2. Comparación bilateral en chicas

Se observó una tendencia en el ángulo de pennación del vientre superficial en favor de la pierna izquierda ($p = 0,09$). Esto quiere decir que los ángulos de pennación presentan un mayor grado en la pierna izquierda que en la derecha. No se observaron diferencias significativas en ninguna de las otras variables analizadas.

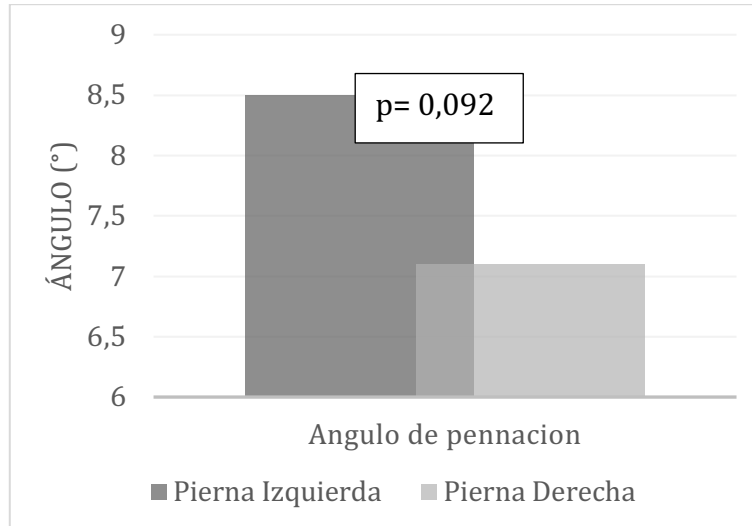


Figura 23. Valores de los ángulos de pennación de las piernas derecha e izquierda

4. Asociaciones con el rendimiento

4.1. Test de salto

La altura de salto en el Drop Jump se asoció positivamente con el grosor del vientre superficial del TA en la pierna derecha. Por lo tanto, a mayor grosor de este vientre mayor potencia de salto a 1 pierna.

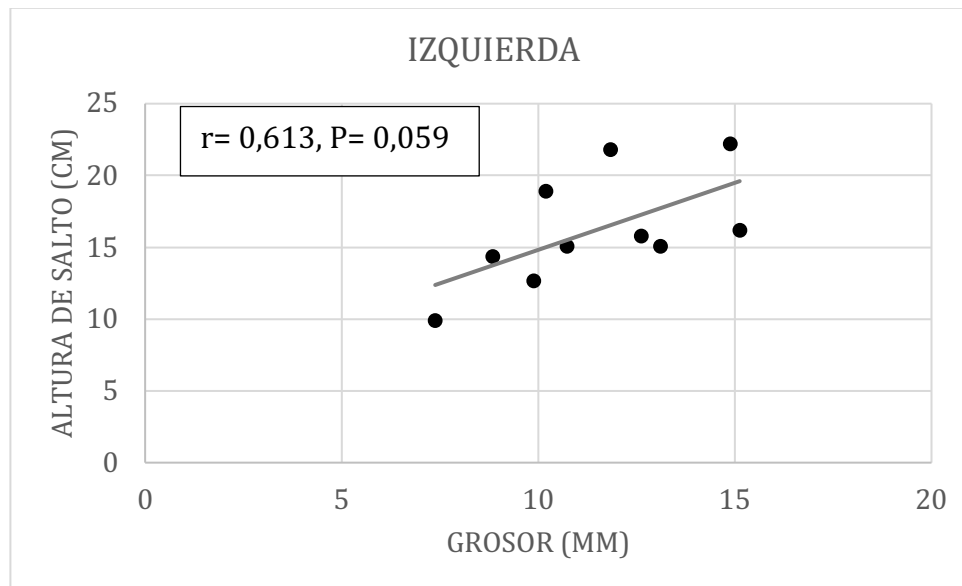


Figura 24. Correlación entre el grosor del vientre superficial del TA de la pierna izquierda y la altura de salto

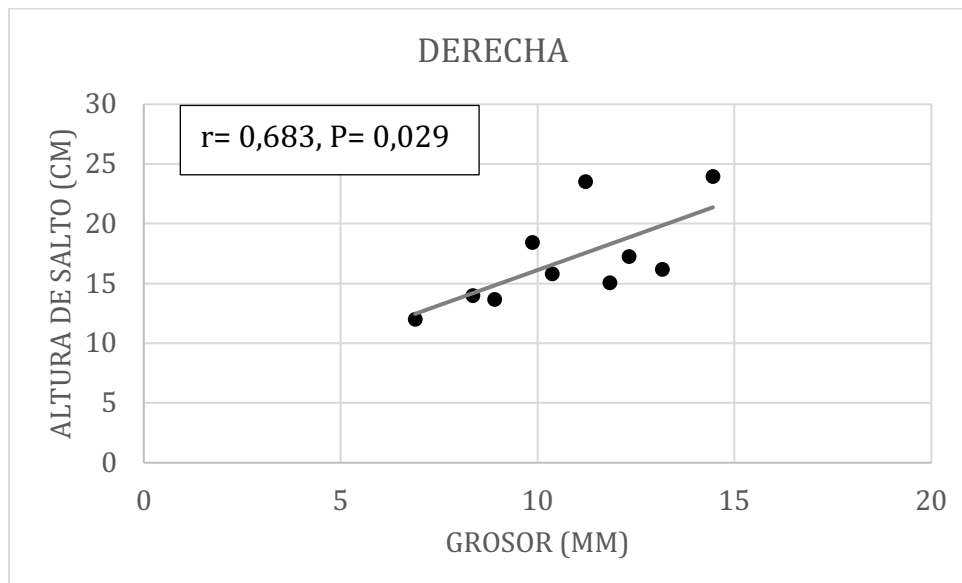


Figura 25. Correlación entre el grosor del vientre superficial del TA de la pierna derecha y la altura de salto

4.2. Marca en 800 metros lisos

El grosor del vientre profundo del TA en la pierna derecha se asocia positivamente con la marca en los 800 metros lisos (ml). Esto quiere decir que, a mayor grosor en

el TA profundo, más tiempo se tarda en ejecutar la prueba, y por tanto se hace peor marca.

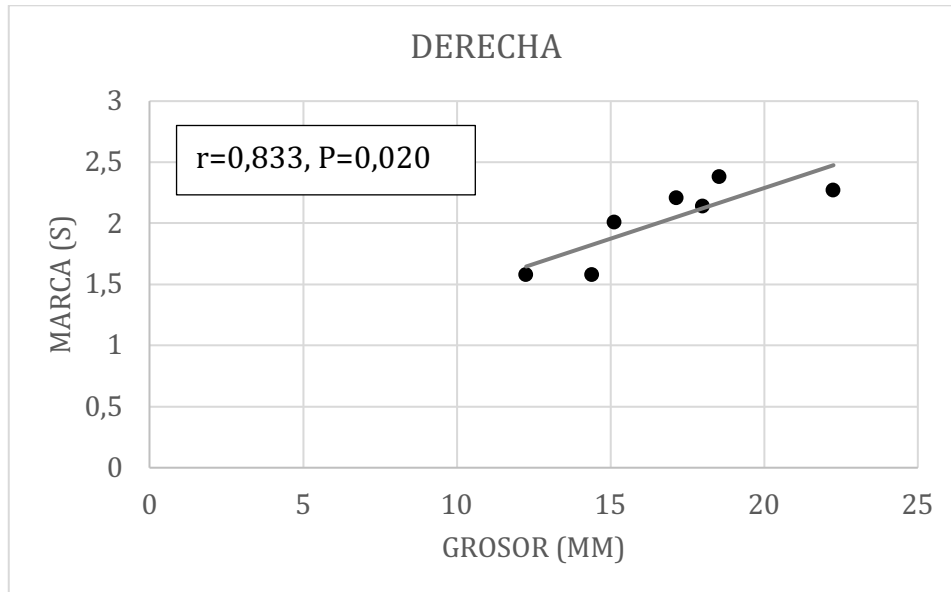


Figura 26. Correlación entre el grosor del vientre profundo del TA y la marca en la prueba de 800 ml.

4.3. Marca de 1500 metros lisos

Se observó una asociación negativa entre el grosor del vientre superficial del TA en la pierna derecha y la marca de 1500 ml. Esto quiere decir que si aumenta el grosor de dicho vientre conseguimos un tiempo menor en la prueba, que es una mejoría de la marca.

Casi se pudo apreciar una asociación positiva de la longitud de los fascículos del vientre profundo del TA en la pierna derecha con la marca, pero esta no obtuvo un valor de p significativo por tanto no existe relación entre ambas variables.

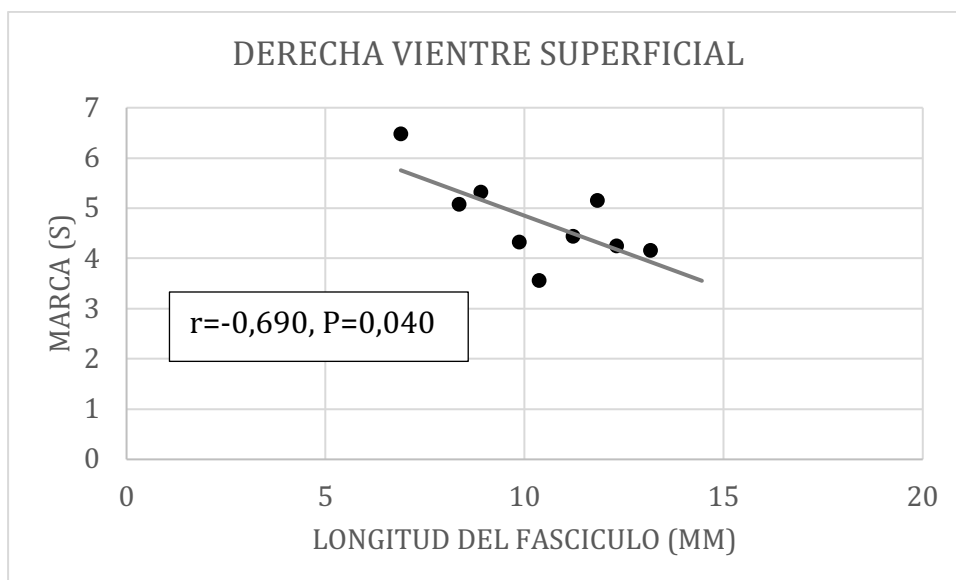


Figura 27. Correlación entre el grosor del vientre superficial del TA en la pierna derecha y la marca en la prueba de 1500 ml.

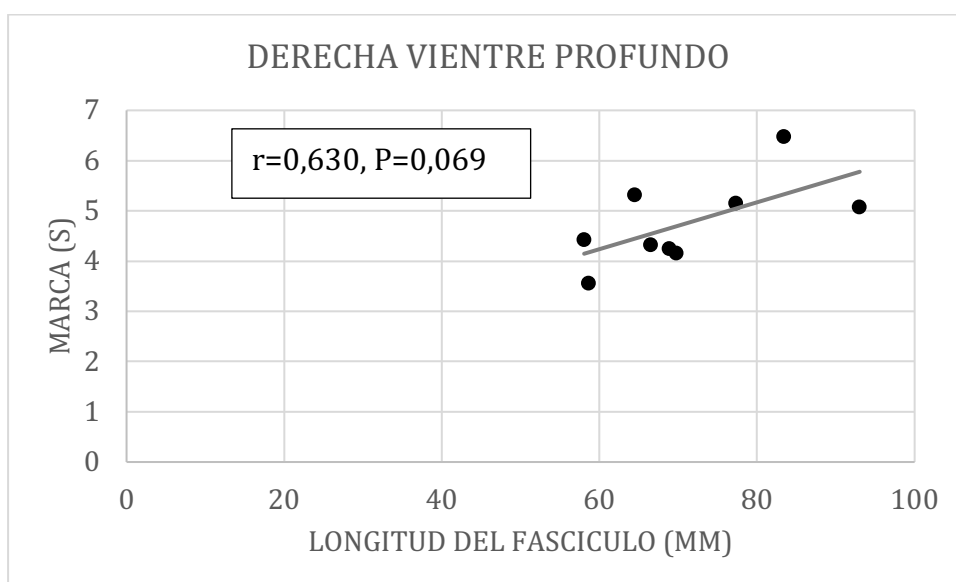


Figura 28. Correlación entre la longitud de los fascículos del vientre profundo del TA en la pierna derecha con la marca en la prueba de 1500 ml.

4.4. Marca de 3000 metros lisos

Se observó una asociación positiva entre el grosor del vientre profundo del TA en la pierna derecha con la marca en 3000 ml. Esto quiere decir que, a mayor grosor en el TA profundo, más tiempo se tarda en ejecutar la prueba, lo que lleva a hacer peor marca.

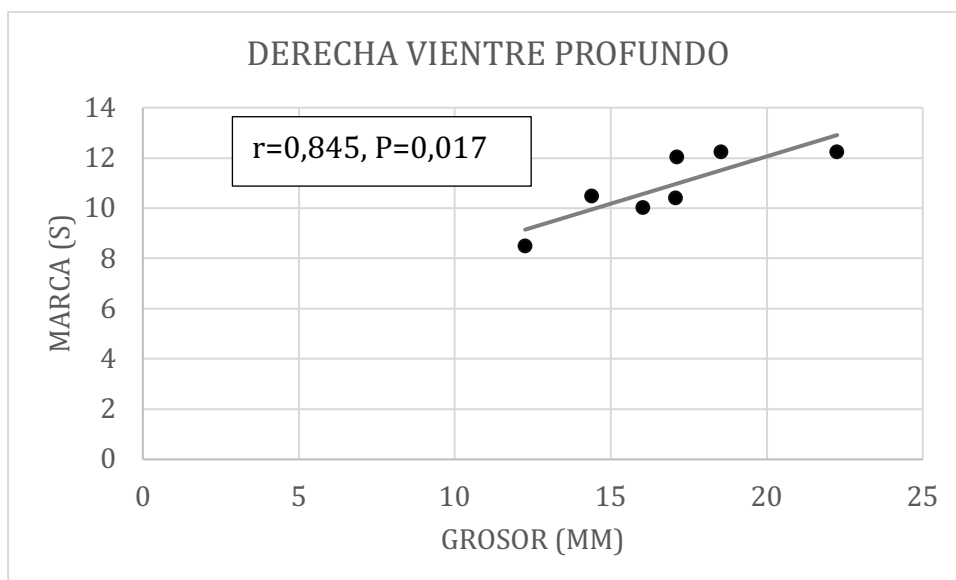


Figura 29. Correlación entre el grosor del vientre profundo del TA de la pierna derecha con la marca en la prueba de 3000 ml.

4.5. Análisis por genero

No se llevó a cabo este análisis de las muestras porque no se poseían suficientes marcas como para hacer las comparaciones por separado. La mayoría de atletas del estudio no tenían marca en todas las pruebas planteadas, debido a la especialización en una u otra distancia concreta.

DISCUSIÓN

El presente estudio muestra principalmente que, el grosor y el ángulo de pennación en ambos vientres musculares (profundo y superficial), tienen diferencias significativas en la comparación general, siendo que el vientre profundo tiene unos valores promedio superiores. Mayor grosor de los músculos indica una mayor producción de potencia máxima, y un mayor ángulo de pennación, ósea una mayor apertura de este, permite una mayor capacidad para generar fuerza [7]. Por tanto, se podría deducir con esto que el vientre profundo del TA es el que más implicación tenga en la carrera, al producir mayor fuerza y tener una mayor reacción a los estímulos de la pisada.

En la comparativa por géneros se muestra que estas diferencias se mantienen e incluso surgen tendencias en la longitud de los fascículos. Para los chicos se ve una mayor longitud de fascículos en el vientre superficial, mientras que para las chicas estos tienen mayor longitud en el vientre profundo. Mayor longitud en los fascículos musculares se asocia con una mayor velocidad de contracción [7]. Al ser tendencias no se puede confirmar nada, pero esto quiere decir que aumentando la muestra se podrían encontrar diferencias significativas en estos valores, o que por el contrario desapareciera la tendencia.

Analizando los vientres musculares por separado, se vio como en el vientre superficial existían unas diferencias que, al normalizar los valores aportados por la diferencia de altura entre chicas y chicos, desaparecían, y persiste solo una tendencia en cuanto al grosor del musculo, pero nada significativa. En cambio, en el vientre profundo se observó una diferencia significativa en la longitud de los fascículos que al normalizar los valores se mantenía, y además de esta surgía una nueva diferencia significativa también en el grosor del musculo. Atendiendo a los valores promedios en ambas comparativas se puede apreciar como en el vientre superficial los valores más altos de ambas características se encuentran en el grupo de los chicos. Mientras que para el vientre profundo predomina con mayor valor en las características mencionadas el grupo de las chicas.

Con todo esto, se puede decir que estos resultados podrían indicar que las chicas corredoras de medio fondo tienen mayor desarrollo en el vientre profundo del TA que los chicos. Y atendiendo a la primera comparativa donde se mencionaba que el vientre profundo del TA puede ser el que tenga mayor influencia en la carrera, se podría decir que el mayor desarrollo de este en chicas proporciona una mejora en su rendimiento.

Al hacer una comparación bilateral general de todas las características analizadas en el estudio, no se observaron diferencias significativas entre chicos y chicas. Pero al analizar las muestras por grupos de género, sí que se descubrió una diferencia a valores significativos en la ecointensidad media en el grupo de los chicos y una tendencia en el ángulo de pennación en el grupo de las chicas. Sin embargo, estos no fueron valores reseñables como para aportar demasiada información (enlaza sig. párrafo)

En cuanto a los datos obtenidos con respecto a la ecointensidad diversos factores pueden influir en los valores e interpretación de esta. La medición de la

ecointensidad tiene algunas limitaciones metodológicas que hay que tener en cuenta a la hora de obtener las imágenes, por ejemplo, corrección por grasa subcutánea e inclinación de la sonda), ejercicio previo (daño muscular), hidratación, distribución del agua entre los compartimentos intra y extracelular, edad, sexo, etnicidad, adiposidad, tamaño muscular, fuerza y tejido conectivo, entre otros [7].

Se probó bilateralmente además que, en pro de la mejora del rendimiento en términos generales, que entre el grosor del vientre superficial del músculo en ambas piernas y la altura de salto en Drop Jump hay una correlación positiva, por tanto, a mayor grosor del músculo mayor altitud de salto.

En cuanto al rendimiento en las pruebas de medio fondo, una aportación reseñable es el hecho de que, en un primer momento, todas las diferencias significativas de las características estudiadas se han dado en la pierna exterior cuando corremos en pista, la derecha. En 800 ml se da una correlación positiva entre el grosor del vientre profundo y la marca asociada, esto quiere decir que a mayor grosor del vientre profundo del TA en la pierna exterior se completa el 800 ml en más tiempo, por tanto, se hace peor marca. En 1500 ml el grosor del vientre superficial tiene una correlación negativa con la marca asociada, lo cual significa, que a mayor grosor del vientre superficial en ambas piernas, se tarda menos tiempo en completar el 1500 ml, se hace mejor marca. En 3000 ml vuelve a surgir una correlación positiva entre el grosor del vientre profundo y la marca asociada, lo que muestra que a mayor grosor del vientre profundo del TA se tarda más en realizar un 3000 ml, se hace peor marca.

Todo esto podría teorizar que la hipertrofia o el desarrollo del vientre profundo del TA en la pierna derecha desfavorece el rendimiento de los atletas en pruebas de medio fondo, contradiciendo los datos que nos aportaba la potencia de salto. Y que el desarrollo del vientre superficial favorece el rendimiento, aportando una mejor marca, al menos en la prueba de 1500 ml.

Pero ocurre que, al comprobar los datos y valores aportados, uno de los sujetos de la muestra tiene marcas muy diferenciales con las de los demás atletas. Por lo que, comprobando que pasaría si se comparan solo los 9 atletas restantes de la muestra, descartando a este (para que haya un nivel más regular), surgen cambios en las diferencias de las características en 1500 y 3000. En 3000 se pierde la correlación del grosor con la marca, por lo que no salen valores reseñables. Y en 1500, sí que aumenta la correlación negativa de la pierna derecha y surge una nueva correlación negativa del vientre superficial de la pierna izquierda. Con esto se comprueba que ajustando las muestras en un mismo nivel, el desarrollo del vientre superficial en ambas piernas es definitorio en cuanto a la marca en 1500. A mayor grosor de estos vientres menos tiempo se tarda en completar la prueba y por tanto mejor marca y resultado.

Un estudio hecho previamente ya había analizado las medidas de la arquitectura muscular del tibial anterior en otros grupos poblacionales. En este participaron sujetos sanos, físicamente activos, pero no deportistas. Comparando los resultados obtenidos por Martín-Rodríguez et al. en dicha investigación y los de este estudio

vemos que los valores varían bastante entre ambos grupos. En cuanto al grosor del musculo los atletas tienen un mayor grosor tanto del vientre profundo como en la totalidad del musculo, dado que el vientre superficial es igual en ambos grupos. Los ángulos de pennacion sin embargo son más cerrados en los atletas que en el otro grupo. Para la longitud de los fascículos es más grande la diferencia entre atletas y el resto de jóvenes, dado que tienen una longitud de fascículos 10 veces más grande. Con todo esto podemos deducir que el entrenamiento de los atletas genera unas adaptaciones anatómicas que producen un aumento de ciertos rasgos de la arquitectura muscular en el TA que llevan a una mejora del rendimiento en su disciplina.

El punto a favor de usar atletas jóvenes en este estudio es que como bien habíamos dicho anteriormente entre la pubertad y la adolescencia, concretamente a partir de los 15-16 años, se da un aumento de masa muscular considerable que juega un papel importante en su desarrollo.[14] A partir de esta edad es cuando se producen los cambios morfológicos más significativos en la musculatura de las personas, y más concretamente en el de los atletas, por lo que es un buen momento para estudiarlo. Así, pudimos obtener imágenes ecográficas con una arquitectura muscular reflejada de gran valor para analizar.

El presente estudio posee grandes limitaciones, puesto que, principalmente al tener una muestra muy reducida de atletas no podemos sacar unas diferencias o valores claros. Otro factor limitante es que las ecografías para este estudio se han realizado con ultrasonidos, que no es la herramienta Gold-Standard para este tipo de medidas, pero tiene una gran fiabilidad y poca variabilidad [16].

Este estudio puede dar pie a futuras investigaciones sobre posibles asimetrías producidas en la musculatura en general del tren inferior de los atletas, tanto mediofondistas, como velocistas y fondistas puros, que entrenen muy a menudo en pista. Y asociarlos a su rendimiento o incluso a la probabilidad de contraer lesiones.

CONCLUSIONES

Una conclusión principal del estudio es que, en atletas de medio fondo, el tibial anterior no es asimétrico. Sin embargo, se observaron diferencias musculares entre el vientre superficial y profundo. El vientre profundo es más grueso que el superficial. Los ángulos de pennación son mayores en el vientre profundo. Sin embargo, la longitud de los fascículos es superior en el vientre superficial, a excepción de las chicas, que poseen también mayor longitud en el vientre profundo. Con respecto a estas características, el estudio muestra que las marcas de 800 y 3000 metros lisos se asocian positivamente con el grosor del vientre profundo del TA de la pierna exterior cuando corres en pista. Por tanto, cuanto mayor es este, se tarda más tiempo en realizar dichas pruebas. Mientras que el grosor del vientre superficial de la misma pierna se asoció negativamente con la marca en 1500, lo que quiere decir que a mayor vientre superficial mejor marca.

Este estudio podría contribuir a mejorar los programas de entrenamiento en deportistas de medio fondo, haciendo más incidencia en entrenamientos del tibial anterior para aumentar su rendimiento.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] De la Cruz Torres, B., Albornoz Cabello, M., Sánchez López, M.D. (2015). Análisis de la arquitectura muscular tras elongación muscular pasiva y elongación muscular eléctrica mediante ecografía. *Revista andaluza de medicina del deporte*, 8(4), 175-176. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ramd.2015.01.005>
- [2] Rodríguez del Campo, E. (2023) Análisis biomecánico de la carrera en corredores de medio-fondo y fondo: propuesta de protocolos de entrenamiento para corregir los desajustes observados. TFG, Universidad de León.
- [3] Mirón Mombiela, R., Borrás Blasco, C., Facal De Castro, F., & Moreno Granero, P. (2018). Correlación de la ecointensidad muscular con la fuerza muscular para el síndrome de fragilidad en el adulto mayor. *Seram*. <https://www.piper.espacio-seram.com/index.php/seram/article/view/1567>
- [4] Llanos-Lagos, C., Ramírez-Campillo, R., Moran, J. *et al.* Efecto de los programas de entrenamiento de fuerza en la economía de los corredores de media y larga distancia a diferentes velocidades de carrera: una revisión sistemática con metaanálisis. *Sports Med* **54**, 895–932 (2024). <https://doi-org.bibproxy.ulpgc.es/10.1007/s40279-023-01978-y>
- [5] Guerra García, M. (2023) *El síndrome de Estrés Tibial medial (periostitis) en corredores de fondo*, TFG, Universidad Miguel Hernández de Elche, Departamento de la UMH: ciencias del deporte. <https://hdl.handle.net/11000/29553>
- [6] Martin BJ, Serrano AM. Relación entre la infiltración grasa, el tamaño de rotura, el índice de Thomazeau y la distancia acromio-humeral en pacientes con rotura del manguito de los rotadores. *An Med Asoc Med Hosp ABC*. 2019;64(2):87-92.
- [7] Martin-Rodriguez, S., Gonzalez-Henriquez, J.J., Bautista, I.J., Sanchis-Moysi, J., Lopez-Calbet, J.A. Interplay of Muscle Architecture, Morphology, and Quality in Influencing Human Sprint Cycling Performance: A Systematic Review. *Sports Med - Open* **10**, 81 (2024). <https://doi.org/10.1186/s40798-024-00752-2>
- [8] Sarto, F., Spörri, J., Fitze, D.P. *et al.* Implementing Ultrasound Imaging for the Assessment of Muscle and Tendon Properties in Elite Sports: Practical Aspects, Methodological Considerations and Future Directions. *Sports Med* **51**, 1151–1170 (2021). <https://doi.org/10.1007/s40279-021-01436-7>
- [9] Martin-Rodriguez, S., Gonzalez-Henriquez, J.J., Galvan-Alvarez, V., Cruz-Ramírez, S., Calbet, J.A. & Sanchis-Moysi, J. (2023) Architectural anatomy of the human tibialis anterior presents morphological asymmetries between superficial and deep unipennate regions. *Journal of Anatomy*, 00, 1–10. <https://doi.org/10.1111/joa.13864>
- [10] Pillen, S., Tak, R. O., Zwarts, M. J., Lammens, M. M., Verrijp, K. N., Arts, I. M., ... & Verrips, A. (2009). Skeletal muscle ultrasound: correlation between fibrous tissue and echo intensity. *Ultrasound in medicine & biology*, 35(3), 443-446. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2008.09.016>

- [11] Baz, I. H. (2000). *Atletismo* (Vol. 564). Inde
- [12] Sant, J. R. (2005). *Metodología y técnicas de atletismo*. Editorial Paidotribo
- [13] Viveros Carreño, J. M. (2018). Caracterización por ultrasonido de la tuberosidad tibial anterior e inserción del ligamento rotuliano en población pediátrica colombiana sin patologías musculoesqueléticas. Departamento de Imágenes Diagnósticas.
- [14] Pérez, J.M.P., & Física, E. El crecimiento y el desarrollo durante la edad escolar
- [15] Stanton, R., Wintour, S. A., & Kean, C. O. (2017). *Validity and intra-rater reliability of MyJump app on iPhone 6s in jump performance*. Journal of science and medicine in sport, 20(5), 518-523. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2016.09.016>
- [16] May, S., Locke, S., & Kingsley, M. (2021). *Reliability of ultrasonographic measurement of muscle architecture of the gastrocnemius medialis and gastrocnemius lateralis*. PLoS One, 16(9), e0258014. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0258014>