

Romero-Lorca, A.; de la Calle, L.; Novillo, A.; Fernández-Santander, A.; Blanco, M.A.; Rodelgo, T.; Andreu-Vázquez, C.; Gaibar, M. (2022) Artistic Swimming in Girls: Anthropometrics, Genotype And Athletic Performance. Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte vol. 22 (85) pp. 215-229  
<http://cdeporte.rediris.es/revista/revista85/artnatacion1323.htm>  
DOI: <https://doi.org/10.15366/rimcafd2022.85.014>

## ORIGINAL

### NATACIÓN ARTÍSTICA EN NIÑAS: ANTROPOMETRÍA, GENOTIPO Y RENDIMIENTO DEPORTIVO

### ARTISTIC SWIMMING IN GIRLS: ANTHROPOMETRICS, GENOTYPE AND ATHLETIC PERFORMANCE

**Romero-Lorca, A.<sup>1</sup>; de la Calle, L.<sup>2</sup>; Novillo, A.<sup>3</sup>; Fernández-Santander, A.<sup>4</sup>;  
Blanco, M.A.<sup>5</sup>; Rodelgo, T.<sup>6</sup>; Andreu-Vázquez, C.<sup>7</sup> y Gaibar, M.<sup>8</sup>**

<sup>1</sup> Dra. Ciencias Biológicas, Catedrática de Bioquímica y Biología Molecular, Universidad Europea de Madrid, Facultad de Ciencias Biomédicas y de la Salud, Madrid (España) ORCID 0000-0002-1920-034X [alicia.romero@universidadeuropea.es](mailto:alicia.romero@universidadeuropea.es)

<sup>2</sup> Dra. Ciencias de la Actividad Física y el Deporte, Profesora adjunta, Universidad Europea de Madrid, Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte, Madrid (España) [laura.delacalle@universidadeuropea.es](mailto:laura.delacalle@universidadeuropea.es)

<sup>3</sup> Dra. Ciencias Biológicas, Catedrática de Biología Celular y Genética, Universidad Europea de Madrid, Facultad de Ciencias Biomédicas y de la Salud, Madrid (España) ORCID 0000-0003-0902-0991 [apolonia.novillo@universidadeuropea.es](mailto:apolonia.novillo@universidadeuropea.es)

<sup>4</sup> Dra. Ciencias Biológicas, Catedrática de Genética, Universidad Europea de Madrid, Facultad de Ciencias Biomédicas y de la Salud, Madrid (España) ORCID 0000-0001-7545-1170 [ana.fernandez@universidadeuropea.es](mailto:ana.fernandez@universidadeuropea.es)

<sup>5</sup> Dra. Psicología. Profesora adjunta, Universidad Europea de Madrid, Facultad de Ciencias Biomédicas y de la Salud, Madrid (España) [ascension.blanco@universidadeuropea.es](mailto:ascension.blanco@universidadeuropea.es)

<sup>6</sup> Dr. Medicina, médico de familia y del Colegio Arcadia, Villanueva de la Cañada, Madrid (España) [gmedico@colegioarcadia.es](mailto:gmedico@colegioarcadia.es)

<sup>7</sup> Dra. Veterinaria, Profesora adjunta, Universidad Europea de Madrid, Facultad de Ciencias Biomédicas y de la Salud, Madrid (España) ORCID 0000-0002-7558-4325 [cristina.andreu@universidadeuropea.es](mailto:cristina.andreu@universidadeuropea.es)

<sup>8</sup> Dra. Ciencias Biológicas, Profesora contratada doctora, Universidad Francisco de Vitoria, Facultad de Ciencias Biomédicas y de la Salud, Madrid (España) [maria.gaibar@ufv.es](mailto:maria.gaibar@ufv.es)

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los clubes de natación Arcadia, Real Canoe y Agrupación Deportiva Sincro Retiro, a la Federación Madrileña de Natación y al colegio Arcadia su colaboración y a Ana María Campos Jiménez, Gabriel Andrés Campos y Sonia Gonzalo Cancelas su ayuda en la realización de las pruebas físicas. Esta investigación fue financiada por el proyecto 2016/UEM15 de la Universidad Europea de Madrid.

**Código UNESCO/UNESCO code:** 240903 Genética de Poblaciones, 5899 Otras especialidades pedagógicas (Educación Física y Deporte)/240903 Genetics of populations, 5899 Other pedagogic specialities (Physical Education and Sport).

**Clasificación Consejo de Europa / Council of Europe classification** 17 Otras (Rendimiento Deportivo)/17 Other (Athletic Performance).

**Recibido** 18 de diciembre de 2019 **Received** December 18, 2019

**Aceptado** 29 de febrero de 2020 **Accepted** February 29, 2020

## RESUMEN

En cada deporte es importante optimizar peso y composición corporal y la genética y los datos antropométricos pueden influir en rendimiento deportivo y salud, sobre todo en deportistas menores.

Este estudio analiza 60 nadadoras artísticas entre 9 y 17 años, divididas en tres grupos de edad:  $\leq 12$ , 13-15 y 16-17 años. Se realizó un análisis de medidas antropométricas, edad de menarquia, genotipo relacionado con rendimiento (gen *ACTN3*) y resultados deportivos, con objetivo de relacionar estos parámetros entre sí en los grupos de edad.

Las nadadoras de mayor edad mostraron tendencia a portar el genotipo heterocigoto RX de *ACTN3*. En este estudio, la práctica de este deporte podría tener impacto en índice de masa corporal, pliegue tricípital, peso y edad de menarquia. La mayor prevalencia del genotipo heterocigoto *ACTN3* R577X podría ofrecer una ventaja, pero el rendimiento en competición de las nadadoras artísticas tuvo poca relación con sus medidas antropométricas.

**PALABRAS CLAVE:** Gen *ACTN3*, medidas antropométricas, natación sincronizada, infancia.

## ABSTRACT

In sport, optimizing weight and body composition is important for performance although an excessive drive for thinness can lead to diminished performance and health problems. This is especially important in the youngest athletes.

This study examines 60 national competition-level Spanish artistic swimmers aged 9-17 years. Participants were divided into 3 categories: 12 years and under, 13-15 and 16-17 years. The data analysed were anthropometric measures, menarche age, genotype related to performance (gene *ACTN3*) and athletic performance. Relationships between athletic performance and anthropometric or genetic data were compared among the three age groups.

Swimmers showed a tendency to carry the heterozygous genotype RX of the *ACTN3* gene in the older age group. In this study, this sport could have an impact on body mass index, triceps skinfold, weight, menarche age, and selection of one genotype, but the performance in competition of the artistic swimmers had little linking to anthropometric measures.

**KEYWORDS:** *ACTN3* gene; anthropometric measures; synchronized swimming; youth.

## INTRODUCCIÓN

Diversos estudios evidencian que existe un peso y una composición corporal ideales para un rendimiento satisfactorio en cada deporte (1). La natación artística (NA, antes, natación sincronizada) tiene unos requisitos físicos que la convierten en un deporte único (2). La forma del cuerpo no es un elemento que puntúe, pero es un punto de interés para entrenadores y nadadores. Esto, sumado al intenso entrenamiento necesario para la NA, hace que las demandas nutricionales de los nadadores artísticos sean complejas y existen evidencias de que los practicantes de deportes estéticos tienen un mayor riesgo de sufrir una deficiencia energética relativa en el deporte (RED-S, 3).

Hasta la fecha se han dedicado muchos esfuerzos a investigar una posible relación directa entre genética y deporte. Estas investigaciones han examinado la influencia del perfil genético de un atleta en su rendimiento, tratando de identificar un genotipo óptimo para el ejercicio físico (4). Se ha descrito, por ejemplo, la influencia del gen de la  $\alpha$ -actinina-3, *ACTN3*, en algunos deportes de velocidad y de fuerza (5). Los resultados de estos trabajos han establecido una fuerte relación entre el genotipo *ACTN3* R577X y la adaptación al entrenamiento. La  $\alpha$ -actinina-3 juega un papel importante en la estabilización del aparato contráctil y se expresa casi exclusivamente en las fibras musculares rápidas (tipo II) produciendo contracciones potentes (6). Se ha descrito una relación entre el genotipo *ACTN3* RR y el rendimiento en deportes de fuerza, especialmente en mujeres (5, 7), por lo que el alelo R podría tener efectos beneficiosos sobre el rendimiento atlético en aquellas pruebas que sean de velocidad y fuerza. Por consiguiente, el alelo R se encuentra con mayor frecuencia en atletas especializados en deportes de velocidad y de fuerza. El alelo nulo X y el genotipo XX, en los que falta la proteína  $\alpha$ -actinina-3, son ligeramente más frecuentes en atletas de resistencia y menos frecuentes en deportes de velocidad y de fuerza (8). No se ha observado correlación entre el polimorfismo de *ACTN3* R577X y el rendimiento deportivo en nadadores no artísticos españoles de élite (9) y, hasta la fecha, no se ha realizado ningún estudio sobre este gen en nadadores artísticos, siendo un deporte clasificado como de fuerza dada la duración y naturaleza de las pruebas.

Debido a que la NA es un deporte minoritario, los datos sobre este tema son escasos en comparación con otros deportes y los pocos estudios existentes se han centrado en pequeños grupos de atletas adultos, generalmente de élite (10-13). Las investigaciones relacionadas con niños que practiquen deportes es aún más escasa (14, 15) y en la literatura existen muy pocos datos sobre los nadadores artísticos españoles menores de edad (16).

Por consiguiente, el presente estudio ha sido diseñado con el objetivo general de comprobar si los datos antropométricos y/o los factores genéticos afectan al rendimiento de nadadoras artísticas españolas menores de edad. Para ello, se recogió un conjunto de datos antropométricos de 60 nadadoras artísticas de competición entre 9 y 17 años, los resultados de pruebas físicas y de competiciones de figuras y se llevó a cabo el análisis del gen *ACTN3*.

Los objetivos específicos fueron: averiguar si la práctica de la NA tiene un efecto sobre los datos antropométricos de las menores, si una determinada forma corporal se asocia con mejor rendimiento en NA y si había una mayor prevalencia del alelo *ACTN3R*, más frecuente en deportes de fuerza, en nadadoras que mostraran un mejor rendimiento.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### PARTICIPANTES

Las participantes fueron 60 niñas de 9 a 17 años con al menos dos años de experiencia en NA, que pertenecían a uno de los tres clubes de la Comunidad de Madrid que competían a nivel nacional (representando el 70,6% de las niñas de natación artística de ese nivel en Madrid durante la temporada 2016-17). Previamente se obtuvo el consentimiento informado de los padres de todas las participantes, además del consentimiento de las propias niñas mayores de 12 años. El estudio fue aprobado por el Comité de Ética de la Comunidad de Madrid. Las participantes se dividieron en las tres categorías de edad definidas por la Federación Internacional de Natación (FINA):  $\leq 12$  años (15 nadadoras artísticas, de edad  $10,65 \pm 1,03$  años, media  $\pm$  desviación estándar); 13-15 años (31 nadadoras de edad  $13,68 \pm 0,83$  años) y 16-18 años (14 nadadoras de edad  $16,24 \pm 0,91$  años). Las horas de entrenamiento a la semana en cada grupo de edad fueron 14-18, 15-20 y 15-24 respectivamente, dependiendo de la fecha dentro de la temporada y del nivel de las nadadoras.

Se calculó el tamaño muestral necesario en cada grupo de individuos a comparar para detectar diferencias significativas en la media de puntuación de su rendimiento deportivo. Dicho cálculo se realizó considerando un nivel de confianza o seguridad del 95%, una potencia del estudio del 90%, una diferencia mínima a detectar de 5 puntos en dicha puntuación y una desviación típica de 2,18. El mínimo tamaño muestral en cada grupo de edad a comparar fue de 6 sujetos.

### DATOS ANTROPOMÉTRICOS

A todas las participantes se les efectuaron las siguientes medidas: altura, peso, pliegue tricípital y porcentaje de grasa corporal utilizando una báscula de impedancia bioeléctrica TANITA (Segmental Body Composition Monitor InnerScanV, model BC-545N). El índice de masa corporal (IMC) se categorizó en las 5 clases definidas por Carrascosa *et al.* (17) en la forma recomendada por Sánchez González *et al.* (18; desnutrición, riesgo de desnutrición, delgadez, normal, sobrepeso). A las participantes se les preguntó por el número de años de práctica de la NA y su edad de menarquia.

### ANÁLISIS GENÉTICO

Se tomó una muestra de epitelio de la mucosa bucal con un bastón de algodón y se purificó el ADN utilizando el kit de Qiagen QiAmp DNA blood mini kit.

El genotipado de *ACTN3 R577X* (rs1815739) se realizó mediante PCR cuantitativa utilizando los siguientes cebadores: directo 5'-CAGCGCACGATCAGTTC e inverso 5'-CCCTGGATGCCCATGA y las sondas 5'-CCTCGCTCTCGGTCAGCCTC (alelo R) marcada con FAM y 5'-CCTCGCTCTCAGTCAGCCTC (alelo X) marcada con HEX. La mezcla de reacción de 20  $\mu$ L contenía 10  $\mu$ L de Sso Advance Universal SyBr Green supermix (BioRad), 0,5  $\mu$ M de cada cebador, 0,2  $\mu$ M de cada sonda y 100 ng de ADN. Las condiciones de PCR fueron 98°C 2 min, 49 ciclos a 98°C 10 s, 67°C 20 s y una extensión final a 72°C 5 min.

## RENDIMIENTO DEPORTIVO

El rendimiento de las nadadoras se midió mediante pruebas físicas (lanzamiento de balón medicinal, nado de 25 m y *boost*) y a través de las puntuaciones individuales en competiciones de figuras. Estas pruebas físicas se seleccionaron puesto que las niñas estaban familiarizadas con ellas dado que formaban parte del programa de la Real Federación Española de Natación (<https://rfen.es/es/section/niveles>).

## LANZAMIENTO DE BALÓN MEDICINAL

A cada nadadora se le pidió realizar dos lanzamientos consecutivos de balón medicinal de 1 Kg de peso (62 cm de perímetro, Tremblay CT, Gleizé, France), quedando descartado para el análisis de datos el lanzamiento que alcanzó menor distancia. La posición que debía adoptar la nadadora para el lanzamiento del balón medicinal era con pies juntos, piernas extendidas en todo momento, evitando la flexión y extensión del tronco y lanzando el balón llevando los brazos por encima de la cabeza de atrás hacia delante, como indicaba la Real Federación Española de Natación. Si la nadadora no mantenía esta posición o rebasaba con los pies la línea marcada para el lanzamiento, se daba por nulo y se debía repetir. Previo a los dos lanzamientos, la nadadora realizaba uno de prueba para ajustarse a la posición del cuerpo requerida. Se colocó una cinta métrica de 20 m sujeta al suelo con cinta aislante. Se marcó una línea perpendicular a la cinta métrica en el comienzo de la misma para indicar la línea desde la que debían lanzar las nadadoras. Para una correcta medición de la distancia alcanzada por el balón tras el lanzamiento, éste se impregnó de magnesio (MgCrunchy) antes de cada lanzamiento con el objetivo de marcar su huella en el lugar de recepción en el suelo. Para registrar la distancia alcanzada se trazaba una línea recta desde el centro de la esfera de la huella del balón marcada en el suelo hasta la cinta métrica.

## NADO DE 25 M ESTILO CRAWL

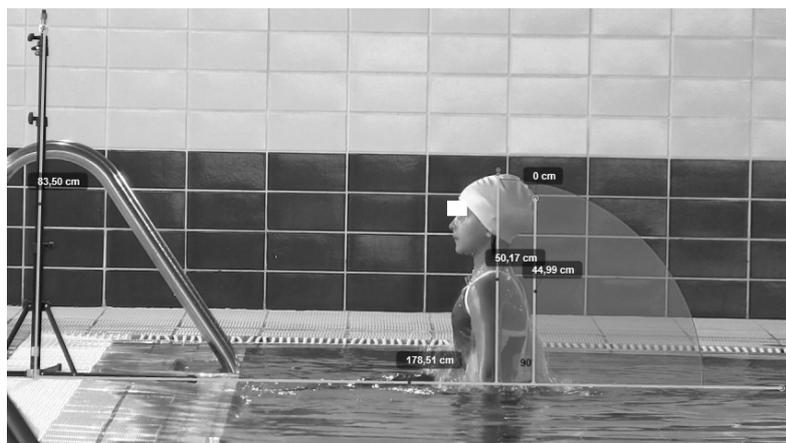
La prueba se realizó en piscinas de 25 metros de largo. A cada nadadora se le pidió que nadara una distancia de 25 metros a estilo *crawl* a la máxima velocidad posible, con salida desde el bordillo. La prueba fue grabada desde la salida hasta el momento de la llegada, siguiendo a la nadadora durante toda la fase de nado con una cámara digital híbrida (JVC Everio HDD, modelo GZ-MG135E, zoom óptico 34x, resolución 720p, JVC Kenwood, USA). La cámara estaba situada en el punto de llegada y con un plano móvil grababa hasta el contacto de las manos

con la pared en el punto de llegada. Como señal de salida para la nadadora y para un correcto análisis de los vídeos, una vez preparada la nadadora en posición de salida debía lanzarse al agua al escuchar la palmada tras la voz de “preparados, listos”. El análisis de las pruebas se realizó mediante el programa Kinovea 0.8.15 (Kinovea.org).

La fiabilidad intraobservador e interobservador de los tiempos tomados se confirmó comparando los tiempos recogidos por un observador y posteriormente de forma independiente por otros dos observadores.

### **BOOST**

La prueba se realizó en piscinas de 25 metros de largo y al menos de 2 m de profundidad. A cada nadadora se le pidió que ejecutara la figura *boost*, habitual en natación artística, en una de las calles laterales y en la parte más profunda de la piscina. En ningún momento la nadadora podía agarrarse al bordillo ni tocar el fondo de la piscina con los pies. La posición de inicio se marcó desde cabeza sumergida y debían mantener los brazos pegados al tronco durante la elevación del mismo (Figura 1). Cada nadadora realizó dos intentos consecutivos con unos segundos entre uno y otro que le permitiera colocarse correctamente en la posición de inicio.



**Figura 1.** Medición de la prueba de *boost*

Todas las nadadoras debían situarse exactamente en el mismo punto para realizar el movimiento pedido. Para ello se situó un lastre color rojo en el fondo de la piscina que indicaba el punto exacto en el que debían situarse, justo encima, y un trípode colocado sobre el bordillo para situarse en línea con él. Tanto el lastre como el trípode se utilizaron como referencias de medida para el posterior análisis de los vídeos (Figura 1). La prueba se grabó con la misma cámara que la prueba anterior por parte de un investigador, mientras otro observador controlaba la correcta postura de la nadadora.

La altura alcanzada por cada nadadora en la ejecución del *boost* se midió a través del programa Kinovea. De cada nadadora, se tomó la altura mayor conseguida en los dos intentos. Para obtener la altura en el *boost*, se trazó un eje vertical empleando como punto de referencia la parte superior de la cabeza tanto en el punto de partida, una vez que la cabeza rompiera la superficie del

agua, como en el punto de máxima altura alcanzado por la nadadora antes de iniciar el descenso.

El investigador principal realizó el análisis de los vídeos por duplicado para calcular la fiabilidad intraobservador de las medidas tomadas. Dos observadores más realizaron de forma independiente el análisis de las mismas grabaciones, para ser posteriormente comparadas con la primera observación del investigador principal, con el objetivo de calcular la fiabilidad interobservador de las medidas tomadas. Para los análisis estadísticos, el resultado del *boost* se normalizó frente a la altura de la nadadora mediante el cociente de ambos datos.

## CALIFICACIONES DE COMPETICIONES DE FIGURAS

Las calificaciones de cada nadadora se obtuvieron de las páginas web de la Federación Madrileña de Natación y de la Real Federación Española de Natación ([http://www.fmn.es/mar13/competicion\\_si.asp?Area=CZ](http://www.fmn.es/mar13/competicion_si.asp?Area=CZ) y <https://rfen.es/es/section/natacion-artistica-resultados>) como la media de las últimas 4 competiciones oficiales (temporadas 2015-16 y 2016-17).

## ANÁLISIS DE LOS DATOS

Las variables cuantitativas se dan como medianas y sus rangos intercuartiles o como media  $\pm$  desviación estándar dependiendo de su distribución (prueba Shapiro-Wilk para normalidad). Las variables cualitativas se expresaron como frecuencias absolutas y relativas en porcentajes. Para analizar las diferencias entre grupos de edad en las variables cualitativas se utilizó el test chi cuadrado. Las pruebas t de Student y test U Mann-Whitney se utilizaron para comparar entre grupos de edad las variables cuantitativas.

Para analizar las relaciones entre pruebas físicas y resultados de competiciones, medidas antropométricas y rendimiento deportivo (pruebas físicas y resultados de competiciones) y genotipo y rendimiento deportivo se calcularon coeficientes de correlación Spearman.

Todos los análisis estadísticos se realizaron mediante el paquete informático Stata IC, v. 14 (StataCorp LLC., Texas USA). La significancia se fijó en  $p < 0,05$ .

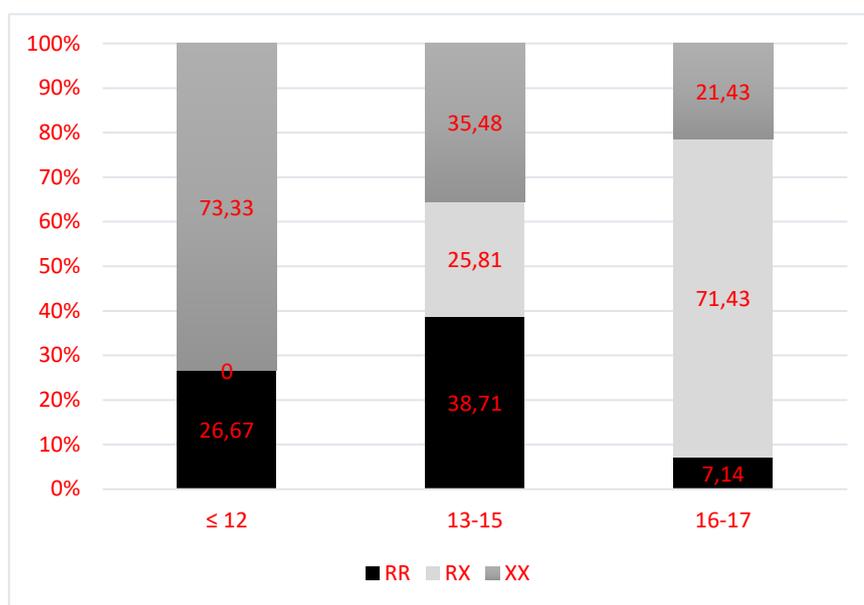
## RESULTADOS

Los resultados de las medidas antropométricas en las nadadoras artísticas se muestran en la Tabla 1. Ninguna de las niñas con edad  $\leq 12$  años había llegado a la menarquia. Ninguna de las niñas fue clasificada con sobrepeso y no se observaron diferencias significativas en el IMC entre los grupos de edad. La distribución de IMC obtenida en las niñas nadadoras no se corresponde con lo publicado para población general por la Organización Mundial de la Salud, que describe un 22% de sobrepeso en niñas con 9 años (19), y por Yáñez-Ortega *et al.* (20), que detectaron un 18,5% de sobrepeso en niñas de 14 años.

**Tabla 1:** Datos antropométricos de las nadadoras en los diferentes grupos de edad. Los datos se expresan como media  $\pm$  desviación estándar o como frecuencias absolutas y relativas. DN: desnutrición.

VARIABLE	GRUPOS DE EDAD		
	$\leq 12$ AÑOS (n=15)	13-15 AÑOS (n=31)	16-17 AÑOS (n=14)
Altura (cm)	144,7 $\pm$ 5,80	157,5 $\pm$ 6,50	163,1 $\pm$ 6,93
Peso (Kg)	34,9 $\pm$ 6,35	47,1 $\pm$ 7,17	53,2 $\pm$ 6,10
Índice de masa corporal (IMC)	16,57 $\pm$ 2,17	18,90 $\pm$ 1,97	19,95 $\pm$ 1,43
Clasificación de IMC:			
DN n (%)	2 (13,30)	0 (0,00)	0 (0,00)
Riesgo de DN, n (%)	1 (6,67)	2 (6,45)	1 (7,14)
Delgadez, n (%)	6 (40,00)	11 (35,48)	5 (35,71)
Normal, n (%)	6 (40,00)	18 (58,06)	8 (57,14)
Sobrepeso, n (%)	0 (0,00)	0 (0,00)	0 (0,00)
Grasa corporal %	22,68 $\pm$ 3,66	22,41 $\pm$ 2,18	23,69 $\pm$ 2,93
Pliegue tricútipital (mm)	13,4 $\pm$ 5,43	11,8 $\pm$ 3,23	12,8 $\pm$ 3,68
Edad de menarquia (años)	Sin menarquia	12,97 $\pm$ 0,93	14,05 $\pm$ 1,15

Los resultados del genotipado del gen *ACTN3* se muestran en la Figura 2. La distribución de los genotipos RR, RX y XX entre los grupos de edad presentó diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,001$ ), con un mayor porcentaje de presencia del genotipo RX en el grupo de nadadoras de mayor edad.



**Figura 2:** Porcentajes de prevalencia de genotipos *ACTN3* en los diferentes grupos de edad.  $p < 0,001$ .

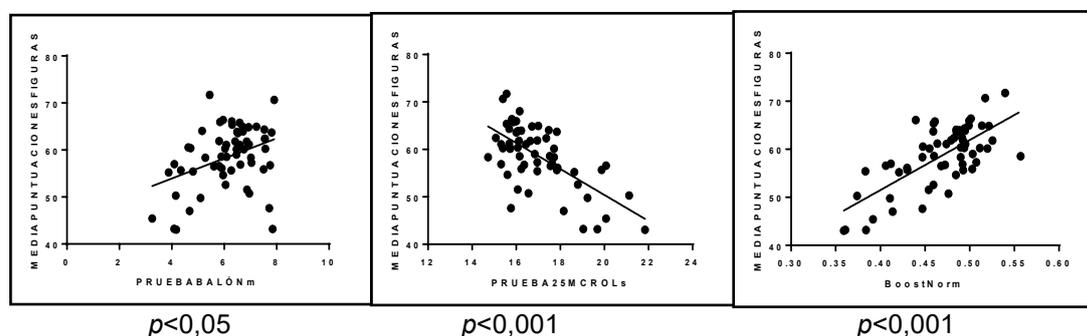
Los resultados sobre las correlaciones entre el genotipo *ACTN3* y el rendimiento atlético no revelaron diferencias estadísticamente significativas, tanto si se consideraba cada genotipo (RR, RX o XX) como el genotipo RR frente a los

genotipos RX y XX, con ninguna de las pruebas físicas o puntuaciones en competiciones de figuras (datos no mostrados en la tabla).

Con el fin de corroborar si las pruebas físicas realizadas a las niñas en este estudio son predictivas de su rendimiento deportivo, se realizó una correlación estadística entre los resultados de estas pruebas físicas y las puntuaciones obtenidas en competiciones oficiales de figuras. En la Tabla 2 se muestran estos resultados, observándose una correlación débil pero significativa en el caso del lanzamiento de la pelota, moderada en el caso de la prueba de nadar 25 m estilo *crawl* (correlación negativa), donde menor tiempo indica mejor rendimiento, y fuerte en la prueba de *boost* (Tabla 2 y Figura 3). Estos resultados indican por tanto que las pruebas físicas realizadas por las nadadoras son buenos indicadores de su rendimiento en NA.

**Tabla 2:** Correlaciones estadísticas entre puntuaciones de competiciones de figuras y pruebas físicas. Se indican los coeficientes de correlación de Spearman y el intervalo de confianza al 95%. Correlaciones entre variables estadísticamente significativas: \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$ .

Grupo de edad/Test	Lanzamiento de balón	25 m <i>crawl</i>	Boost normalizado
<b>Grupo total</b>	0,304* (0,053, 0,520)	-0,541*** (-0,670, -0,330)	0,603*** (0,411, 0,744)
≤ 12	0,261 (-0,290, 0,682)	-0,583* (-0,843, -0,100)	0,682** (0,261, 0,885)
13-15	-0,033 (-0,389, 0,331)	-0,183 (-0,509, 0,190)	0,261 (-0,111, 0,567)
16-17	-0,331 (-0,733, 0,241)	-0,046 (-0,563, 0,497)	0,371 (-0,198, 0,191)



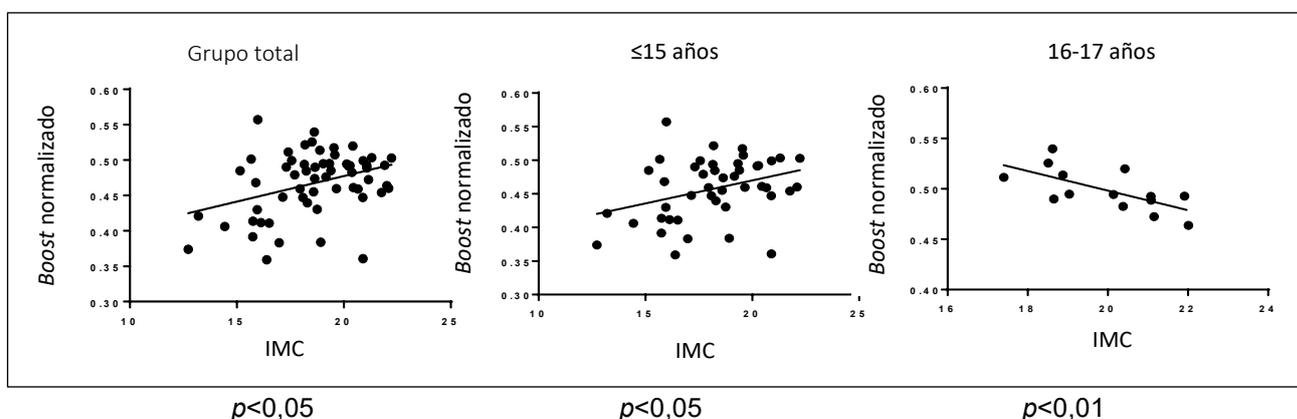
**Figura 3:** Representación gráfica de las correlaciones entre puntuaciones de figuras y pruebas físicas en el grupo total de nadadoras.

En cuanto a la evaluación de las correlaciones entre los datos antropométricos y los resultados de las pruebas físicas (Tabla 3), se detectó una correlación positiva entre algunos datos físicos y los resultados de la prueba de lanzamiento de pelota: porcentaje de grasa corporal (correlación débil o moderada) e IMC (correlación fuerte) tanto en el grupo de edad de 13 a 15 años como en el grupo completo de nadadoras. También se encontró una correlación negativa en el grupo de mayor edad en el caso del IMC y la prueba *boost*, que resultó positiva, pero débil, en el caso de todo el grupo.

**Tabla 3:** Correlación estadística entre los datos antropométricos y las pruebas físicas y las puntuaciones en competiciones de figuras. Se indican los coeficientes de correlación de Spearman y el intervalo de confianza al 95%. Correlaciones entre variables estadísticamente significativas: \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$ .

Variable	Grupo de edad/Test	Lanzamiento de balón	25 m Crawl	Boost Normalizado	Figuras
Grasa corporal %	Total	0,301* (0,049, 0,517)	-0,034 (-0,288, 0,224)	0,039 (-0,0219, 0,292)	-0,014 (-0,267, 0,241)
	≤ 12	0,314 (-0,236, 0,712)	0,018 (-0,499, 0,525)	-0,132 (-0,604, 0,408)	-0,132 (-0,604, 0,408)
	13-15	0,529** (0,208, 0,747)	-0,016 (-0,374, 0,346)	-0,128 (-0,466, 0,244)	-0,098 (-0,437, 0,266)
	16-17	-0,182 (-0,650, 0,385)	0,311 (-0,264, 0,722)	-0,284 (-0,708, 0,291)	-0,134 (-0,621, 0,427)
IMC	Total	0,658*** (0,483, 0,782)	-0,309 (-0,524, -0,058)	0,285* (0,032, 0,505)	0,135 (-0,123, 0,376)
	≤ 12	0,321 (-0,228, 0,716)	-0,163 (-0,623, 0,381)	-0,004 (-0,515, 0,510)	-0,154 (-0,617, 0,389)
	13-15	0,703*** (0,460, 0,849)	-0,093 (-0,439, 0,276)	0,043 (-0,322, 0,397)	-0,259 (-0,562, 0,105)
	16-17	0,112 (-0,445, 0,607)	0,481 (-0,068, 0,805)	-0,701** (-0,898, -0,272)	-0,367 (-0,751, 0,203)
Pliegue tricaptal	Total	0,096 (-0,164, 0,344)	0,125 (-0,136, 0,370)	-0,050 (-0,303, 0,284)	-0,103 (-0,347, 0,156)
	≤ 12	0,079 (-0,452, 0,568)	0,009 (-0,506, 0,519)	-0,309 (-0,709, 0,241)	-0,331 (-0,721, 0,218)
	13-15	0,229 (-0,143, 0,544)	0,061 (-0,306, 0,412)	-0,046 (-0,400, 0,319)	-0,117 (-0,452, 0,248)
	16-17	-0,053 (-0,568, 0,491)	0,385 (-0,183, 0,760)	-0,181 (-0,649, 0,387)	-0,236 (-0,681, 0,337)

En la Figura 4 se representan las correlaciones entre IMC y prueba de *boost* en todo el grupo de nadadoras, grupos ≤ 12 y 13-15 juntos (para corroborar la correlación positiva con el *boost* normalizado) y el grupo de mayor edad.



**Figura 4:** Representación gráfica de las correlaciones de la tabla 3 entre los resultados de la prueba de *boost* normalizado y el IMC en diferentes grupos de edad.

No se encontró ninguna correlación estadísticamente significativa entre los datos antropométricos y las puntuaciones de las competiciones de figuras (Tabla 3).

## DISCUSIÓN

Este estudio es un análisis descriptivo de nadadoras artísticas con edades entre 9 y 17 años. Las participantes representaban el 70,6% de las nadadoras artísticas de nivel nacional de la Comunidad de Madrid durante la temporada 2016-17. En España la NA es un deporte minoritario. Por ejemplo, durante la temporada 2016-17, menos de 700 niñas menores de 18 años practicaban NA a

nivel nacional, aunque es destacable que los resultados internacionales fueron excelentes, incluyendo una tercera posición en combinado libre en el Campeonato de Europa junior y primera posición en equipo libre y combinado libre en la Copa Mediterránea de la categoría de edad 13-15 años. Esto indica el alto nivel de los entrenamientos de las menores que practican NA en España.

Nuestros resultados antropométricos indican que la práctica de la NA no tiene asociación con la altura, como ya se ha descrito (14), y la distribución entre las categorías de IMC no cambian significativamente a lo largo de los años de práctica de NA. Esto puede explicarse como ausencia de selección de determinadas categorías de IMC o bien una selección en los primeros años de práctica del deporte perpetuada durante las categorías de edad. Sería interesante comparar los datos antropométricos de las nadadoras con niñas no nadadoras de la misma edad, para analizar el efecto de este deporte. A este respecto, Zugno *et al.*, analizaron la velocidad de crecimiento de niñas nadadoras de artística y sus datos muestran una velocidad de incremento de estatura y peso superior a la población general, aunque sus datos sugieren un retraso en el auge de incremento de peso y estatura (21), lo cual podría relacionarse con el retraso en la edad de menarquia y/o la prevalencia de delgadez determinados en nuestro estudio.

Las medidas antropométricas del grupo de mayor edad son similares a las descritas para otras nadadoras artísticas españolas de categoría junior (16, 22), para las que sí se han encontrado estudios, mientras que no se habían descrito anteriormente medidas similares en nadadoras de menor edad. La prevalencia de delgadez entre las nadadoras se ha asociado a una escasa ingesta de energía, especialmente durante el entrenamiento intensivo (23, 24). La diferencia entre gasto y consumo energéticos puede estar relacionada con la naturaleza intensa del ejercicio, que implica largos periodos de apnea y posición cabeza abajo. Sin embargo, también es cierto que los entrenadores y los propios nadadores buscan la delgadez (3) y esto podría explicar su baja ingesta de calorías. En efecto, en un trabajo realizado con nadadoras artísticas adultas, se determinó que las nadadoras de mayor peso eran aquellas que tendían a comer menos, lo que sugiere que esas mujeres buscaban la delgadez (23).

Un bajo contenido graso observado en las nadadoras podría estar relacionado con el retraso observado en la menarquia (25). Otros autores (26) han encontrado un retraso de 0,6 años en NA comparado con otros deportes, mientras que nosotros detectamos un retraso de 1 año (13,40 vs 12,43) en comparación con la población general española (27).

Con respecto al análisis genético, el grupo de mayor edad de nadadoras mostró un 71,43% del genotipo RX ( $\alpha$ -actinina 3, Figura 2). Las proporciones de los distintos genotipos en los grupos de edad fueron significativamente diferentes. Basándose en los cortos tiempo de las rutinas que implican ejercicios explosivos, la NA se considera un deporte de fuerza, aunque los largos tiempos de entrenamiento también implican ejercicio de alta resistencia. Esto sugeriría que el genotipo heterocigoto *ACTN3* RX representaría una ventaja en nadadoras artísticas, como sugirieron otros autores para la natación (28). Estos autores no detectaron una mayor prevalencia de heterocigosidad en nadadores no artísticos

españoles de élite (9), pero los resultados del presente estudio (Figura 2) de nuevo sugieren que, aunque no hubo correlación estadísticamente significativa entre genotipo y rendimiento deportivo, las portadoras del genotipo RX podrían resistir mejor los largos y duros entrenamientos y por eso encontramos una mayor prevalencia de este genotipo entre las nadadoras mayores.

Las correlaciones entre las diferentes pruebas físicas realizadas por las niñas y las puntuaciones de competiciones de figuras indican que las pruebas son predictivas del rendimiento en NA. La correlación más débil se encontró en el caso de la única prueba fuera del agua, el lanzamiento de balón, también la menos específica de NA, aunque era realizada por los nadadores artísticos en algunas pruebas de evaluación realizadas por la Real Federación Española de Natación. Peric *et al.* (12) encontraron una correlación similar entre la prueba del *boost*, aunque su sistema de medida fue diferente del nuestro, y otro elemento específico de NA y las puntuaciones en la rutina de “Solo” en nadadoras artísticas de 16 a 18 años y nuestro trabajo extiende la correlación a pruebas menos específicas y a más rangos de edad.

Por el contrario, encontramos pocas correlaciones entre las pruebas físicas y los datos antropométricos. La prueba menos específica, el lanzamiento de balón, se correlacionó positivamente con el IMC y el contenido graso en el grupo de 13 a 15 años y el grupo total de niñas, indicando que el IMC y el contenido graso favorecen la fuerza fuera del agua. La prueba de *boost* (normalizada) se correlacionó negativamente con el IMC en el grupo de mayor edad, de forma similar a lo descrito por Peric *et al.* (12), pero la correlación fue positiva (aunque débil) cuando se consideraba el grupo completo de nadadoras (Figura 4). Este resultado puede explicarse porque en el grupo de niñas más pequeñas un IMC mayor indica más fuerza para realizar el *boost*, pero en el caso de las niñas de 16-17 años, que tienen medidas de IMC y de *boost* más altas, un IMC “más ligero” podría ser una ventaja.

Al realizar el estudio estadístico de la correlación entre las medidas antropométricas y las puntuaciones en competición de figuras, no se encontraron diferencias significativas en las nadadoras analizadas en este estudio (de 9 a 17 años). Un resultado similar lo obtuvieron Salber *et al.* (15) con respecto a nadadoras artísticas de 15 a 17 años en el rendimiento en competiciones de figuras. Estos resultados indican que la práctica de seleccionar deportistas con rasgos físicos determinados (3) tiene un valor predictivo del rendimiento deportivo cuestionable. Este resultado es importante ya que tenerlo en cuenta ayudaría a evitar abandonos, RED-S y trastornos del comportamiento alimentario (23).

## CONCLUSIONES

La natación artística en los grupos de edad  $\leq 12$ , 13-15 y 16-17 años podría tener un impacto en el índice de masa corporal, pliegue tricípital, peso y edad de menarquia de las niñas nadadoras. En cuanto al genotipo *ACTN3* R577X, se observó una mayor prevalencia del genotipo heterocigoto RX en el grupo de mayor edad. Este genotipo podría dar una ventaja en un deporte de fuerza con

entrenamientos largos como la NA. Por otra parte, el rendimiento específico en este deporte ha mostrado poca asociación con las medidas antropométricas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 Hagmar M, Lindén Hirschberg A, Berglund L *et al.* Special Attention to the Weight-Control Strategies Employed by Olympic Athletes Striving for Leanness Is Required. *Clin J Sport Med*, 2008; 18, 5-9. <https://doi.org/10.1097/JSM.0b013e31804c77bd>
- 2 Mountjoy M. Injuries and medical issues in synchronized Olympic sports. *Curr Sports Med Reports*. 2009, 8, 255-261. <https://doi.org/10.1249/JSR.0b013e3181b84a09>
- 3 Robertson S & Mountjoy M. A review of prevention, diagnosis, and treatment of relative energy deficiency in sport in artistic (synchronized) swimming. *Int J Sport Nutrition and Exercise Metab*, 2018; 28, 375-384. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2017-0329>
- 4 Weyerstraß J, Stewart K, Wesselius A *et al.* Nine genetic polymorphisms associated with power athlete status - A Meta-Analysis. *J Sci Med Sport*. 2018; 21(2):213-220. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2017.06.012>.
- 5 Del Coso J, Hiam D, Houweling P *et al.* More than a 'speed gene': ACTN3 R577X genotype, trainability, muscle damage, and the risk for injuries. *Eur J Appl Physiol*. 2019; 119(1): 49-60. <https://doi.org/10.1007/s00421-018-4010-0>
- 6 Mills M, Yang N, Weinberger R *et al.* Differential expression of the actin-binding proteins, alpha-actinin-2 and -3, in different species: implications for the evolution of functional redundancy. *Hum Mol Genet*, 2001; 10, 1335-46. PMID:11440986. <https://doi.org/10.1093/hmg/10.13.1335>.
- 7 De la Calle L, Díaz Ureña G, & Muniesa CA. Genotipo de ACTN3 en nadadores españoles y su relación con la puntuación FINA como indicador de rendimiento. *Revista Internacional de Deportes Colectivos*, 2014; 19, 151-160. <hdl.handle.net/11268/4397>.
- 8 Chiu LL, Wu YF, Tang MT *et al.* ACTN3 genotype and swimming performance in Taiwan. *Int J Sports Med*, 2011; 32, 476–80. <https://doi.org/10.1055/s-0030-1263115>.
- 9 Ruiz JR, Santiago C, Yvert T *et al.* ACTN3 genotype in Spanish elite swimmers: No “heterozygous advantage”. *Scan J Med Sci Sports*, 2013; 23, e162-e167. <https://doi.org/10.1111/sms.12045>
- 10 Ferrand C, Magnan C, Rouveix M *et al.* Disordered eating, perfectionism and body esteem of elite synchronized swimmers. *Eur J Sport Sci*, 2007; 7, 223-230. <https://doi.org/10.1080/17461390701722168>.
- 11 Lundy B. Nutrition for Synchronized Swimming: A Review. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 2011; 21, 436-445. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.21.5.436>.
- 12 Peric M., Zenic N., Furjan-Mandić G *et al.* The Reliability, Validity and Applicability of Two Sport-Specific Power Tests in Synchronized Swimming. *Journal of Human Kinetics*. 2012; 32, 135-45. <https://doi.org/10.2478/v10078-012-0030-8>.
- 13 Ponciano K, Miranda MLJ, Homma M *et al.* Physiological responses during the practice of synchronized swimming: a systematic review. *Clin Physiol Funct Imaging*, 2018; 38, 163-175. <https://doi.org/10.1111/cpf.12412>.

- 14 Tanaka C, Homma M, Kawahara T *et al.* Characteristics of body height and proportion in elementary school synchronized swimmers. *Suiei Suichu Undo Kagaku*, 2004; 7, 35-40. <https://doi.org/10.2479/swex.7.35>.
- 15 Salber, D., Peric, M., Spasic, M *et al.* Sport-specific and anthropometric predictors of synchronised swimming performance. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 2013; 13, 23-37. <https://doi.org/10.1080/24748668.2013.11868629>.
- 16 Rodríguez-Zamora L, Iglesias X, Barrero A *et al.* Physiological Responses in Relation to Performance during Competition in Elite Synchronized Swimmers. *PLoS ONE*, 2012; 7, e49098. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0049098>.
- 17 Carrascosa A, Fernández JM, Fernández M *et al.* Estudios españoles de crecimiento 2010. *Rev Esp Endocrinol Pediatr*, 2010; 2, 59-62. doi: 10.3266.
- 18 Sánchez González E, Carrascosa Lezcano A, Fernández García JM *et al.* Growth Spanish studies: the current situation, their effectiveness and recommendations for their use. *An Pediatr (Barc)*, 2011; 74, 193. <https://doi.org/10.1016/j.anpedi.2010.10.005>.
- 19 World Health Organisation. Childhood obesity surveillance initiative: highlights 2015–2017 preliminary data. Copenhagen: WHO; 2018.
- 20 Yáñez-Ortega JL, Arrieta-Cerdán E, Lozano-Alonso JE, Gil Costa M, Gutiérrez-Araus AM, Cordero-Guevara JA, Vega Alonso T. Prevalence of overweight and obesity in child population. A study of a cohort in Castile and Leon, Spain. *Endocrinol Diabetes Nutr*. 2019; 66, 173-180. <https://doi.org/10.1016/j.endinu.2018.10.004>.
- 21 Zugno T, Martínez-de-Haro V, Lara MT & Sanz-Arribas I. Velocidad de crecimiento de deportistas adolescentes tecnificados de natación, waterpolo, saltos y natación sincronizada. *Retos: nuevas tendencias en educación física, deporte y recreación*, 2016, 30; 98-100. <https://doi.org/10.47197/retos.v0i30.49609>
- 22 Rodríguez-Zamora L, Iglesias X, Barrero A *et al.* Monitoring internal load parameters during competitive synchronized swimming duet routines in elite athletes. *J Strength Cond Res*, 2014; 28, 742–751. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182a20ee7>.
- 23 Carrasco M, Irurtia A, Rodríguez-Zamora L *et al.* Body composition and nutritional status in elite synchronized swimmers. *18<sup>th</sup> Annual Congress of the European College of Sport Science*. 2013; Barcelona.
- 24 Schaal K, Tiollier E, Le Meur Y *et al.* Elite synchronized swimmers display decreased energy availability during intensified training. *Scan. J. Sci. Sports*, 2017; 27, 925-934. <https://doi.org/10.1111/sms.12716>.
- 25 Kaplowitz PB. Link Between Body Fat and the Timing of Puberty. *Pediatrics*, 2008; 121, S208-S217. <https://doi.org/10.1542/peds.2007-1813F>.
- 26 Sambanis M, Kofotolis N; Kalogeropoulou E *et al.* A study on the effects on the ovarian cycle of athletic training in different sports. *J Sports Med Physical Fitness*, 2003; 43, 398-403. PMID: 14625523.
- 27 Marco Hernández M, Benítez R, Medranda I *et al.* Normal physiological variations of pubertal development: starting age of puberty, menarcheal age and size. *Anales de Pediatría* 2008;69(2), 103-245. <https://doi.org/10.1157/13124894>.

28 Ruiz JR, Arteta D, Buxens A *et al.* Can we identify a power-oriented polygenic profile? *J Appl Physiol*, 2010; 108, 561-6.  
<https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01242.2009>.

**Número de citas totales/Total references 28 (100%)**

**Número de citas propias de la revista/Journal's own references: 0 (0%).**