

Rendimiento en el Deporte

# Evolución de la Capacidad de Salto Como Respuesta a un Entrenamiento Pliométrico en Función del Genotipo de ACTN3

## Evolution of Jumping Hability in Response to a Plyometric Training Depending on the ACTN3 Genotypes

Nadal Serrano, Carlos., Diez Vega, Ignacio., Molina Martín, Juan José., López Martínez, Eduardo., Cerdá Bejar, Joaquín.

*Universidad Europea de Madrid-España.*

Ignacio Diez Vega

[Ignacio.diez@uem.es](mailto:Ignacio.diez@uem.es)

Fecha de recepción: 29 de noviembre 2015

Fecha de aceptación: 9 de Diciembre de 2015

## RESUMEN

---

El objetivo del presente estudio fue analizar la respuesta muscular a un entrenamiento pliométrico en función del genotipo de ACTN3, mediante la valoración de la evolución de la capacidad de salto, en un grupo de personas físicamente activas. Se utilizó un diseño experimental con medidas pre-post. Se evaluaron 68 personas jóvenes ( $21,98 \pm 3,20$  años) en 4 momentos de tiempo a lo largo de 48 horas. Se analizaron los saltos verticales Squat Jump, Counter Movement Jump y Drop Jump. El análisis de resultados se realizó con un ANOVA mixto de 3x4. La distribución de los genotipos de ACTN3, fue estadísticamente diferente en comparación con la mostrada en estudios que evalúan deportistas de potencia/velocidad, pero no así con los estudios que evalúan a deportistas de resistencia o a no deportistas. En cuanto al análisis del efecto del entrenamiento pliométrico, no se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas ni de forma grupal ni de forma segregada en función del genotipo. En conclusión, los genotipos del gen ACTN3 no parecen modificar la altura alcanzada en los saltos tras realizar el entrenamiento pliométrico propuesto en el estudio.

**Palabras Clave:** ACTN3, capacidad de salto, entrenamiento pliométrico.

## ABSTRACT

---

The aim of this study was to analyze the muscular response to a plyometric training depending on the ACTN3 genotypes, by assessing the evolution of jump ability in a group of physically active people. An experimental design was used with pre-post measures. 68 young people ( $21.98 \pm 3.20$  years) were evaluated 4 times over 48 hours. The type of vertical jumps analyzed were Squat Jump, Counter Movement Jump and Drop Jump. The analysis of the results was performed using a mixed ANOVA 3x4. The distribution of ACTN3 genotypes was statistically different compared to the distribution shown in trials that evaluate athletes of power/speed, but not compared to studies that assess endurance athletes or non-athletes. Referring to the effect of plyometric training, no statistically significant results were obtained neither as a group or as a sexed form according to genotype. In conclusion, the ACTN3 genotypes does not seem to modify the height reached after performing the jumps in plyometric training proposed in the study.

**Keywords:** ACTN3, jump ability, plyometric training.

## INTRODUCCIÓN

---

Desde que se consiguió descifrar la secuencia completa del genoma humano en Abril de 2003, se han realizado muchos estudios que tratan de relacionar determinados genes con el rendimiento deportivo (Alfred et al., 2011; Ma et al., 2013; Loss et al., 2015). De entre los genes estudiados, uno de los que más interés ha despertado ha sido el ACTN3. Este gen codifica para la proteína  $\alpha$ -actinina-3, cuyo papel en la contracción muscular (North et al., 1999), y en la recuperación tras un esfuerzo intenso (Clarkson et al., 2005; Seto et al., 2011) parece ser determinante. Esta proteína junto con la  $\alpha$ -actinina-2, tienen una función estructural importante, ya que constituyen el componente predominante de la banda Z del sarcómero muscular, (Vincent et al., 2010), con la diferencia de que la  $\alpha$ -actinina-2 está presente en todas las fibras musculares mientras que la  $\alpha$ -actinina-3 únicamente se expresa en las fibras de contracción rápida (fibras tipo II, especialmente IIX) (Yang et al., 2003). Esta última actúa como punto de anclaje al conectar con las fibras de actina, otorgando estabilidad y coordinando la contracción muscular (Yang et al., 2003; MacArthur y North, 2004), permitiendo una mayor absorción de fuerzas y transmisión de las mismas (Mills et al., 2001). Además, también parece desempeñar un importante papel como protectora de las fibras rápidas en el ejercicio excéntrico, ya que mantiene la integridad estructural del sarcómero durante las contracciones musculares (Vincent et al., 2010).

En las primeras investigaciones, la relación entre el genotipo funcional del ACTN3 (RX y especialmente RR) y el rendimiento en deportes de potencia y velocidad parecía estar clara (Yang et al., 2003). Sin embargo, hoy en día existe cierta controversia (McCauley, Mastana, Hossack, Macdonald y Folland, 2009; McCauley, Mastana y Folland, 2010; Rodríguez-Romo et al., 2010; Hanson, Ludlow, Sheaff, Park y Roth, 2010; Massida et al., 2012), que es aún mayor cuando tratamos de asociar dicho genotipo a deportes de resistencia (Yang et al., 2005; Saunders et al., 2007; MacArthur et al., 2007; Ma et al., 2013). Otro aspecto a tener en cuenta es el perfil de la muestra utilizada en los estudios mencionados, siendo de máximo nivel competitivo (mundialistas u olímpicos) en aquellos que obtuvieron una correlación positiva con el rendimiento (Yang et al., 2003; Scott et al., 2010).

También cabe destacar la existencia de estudios que tratan de encontrar un perfil poligénico idóneo para determinar el potencial rendimiento, tanto en deportes de resistencia como de potencia/velocidad (Santiago et al., 2010; Massida, Scorcu y Calò, 2014). Pero a pesar de los progresos, definir un perfil fiable es muy complicado, puesto que a día de hoy aún desconocemos cuántos genes tienen relación con el deporte, y de qué forma interactúan entre ellos (Bray et al., 2009; Hagberg et al., 2010; Eynon et al., 2011; Loss et al., 2015).

Por último, hacer hincapié en la importancia de la función protectora que desempeña la  $\alpha$ -actinina-3, y destacar algunos trabajos que estudian esta idea; Seto et al. (2011), sostienen que un déficit de  $\alpha$ -actinina-3 cambia la composición de proteínas en el disco Z de las fibras de rápida contracción, alterando las propiedades elásticas y aumentando la susceptibilidad al daño generado por el ejercicio excéntrico. Siguiendo esta línea, Mendoça et al. (2012), compararon el daño muscular y la respuesta inflamatoria en futbolistas profesionales, tras realizar ejercicio excéntrico y observaron que el genotipo XX era más sensible a este tipo de ejercicio que los otros dos genotipos (RR y RX).

Debido a la necesidad de estudiar más detenidamente el rol que juega la  $\alpha$ -actinina-3 en la recuperación muscular, se planteó el presente estudio, cuyo objetivo fue analizar la respuesta muscular a un entrenamiento pliométrico en función del genotipo de ACTN3, mediante la valoración de la evolución de la capacidad de salto en las 48 h posteriores a la realización de dicho entrenamiento, en un grupo de personas físicamente activas.

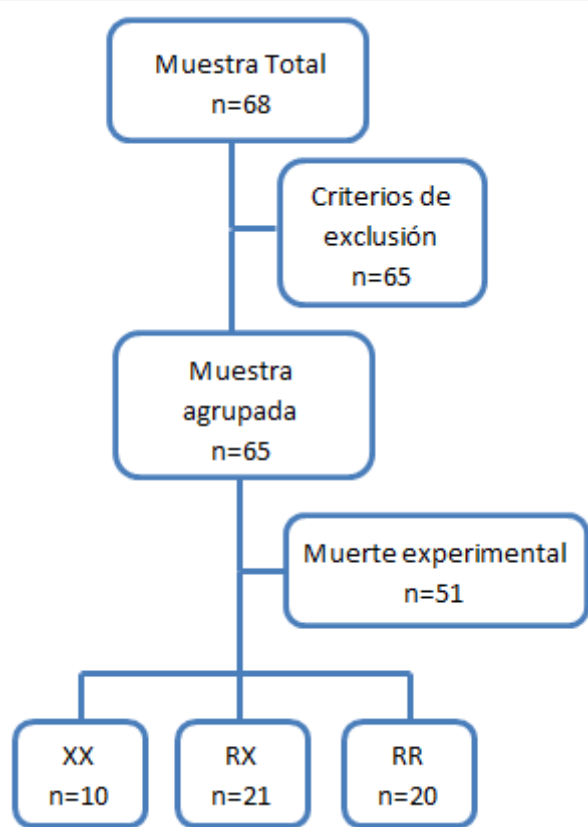
## MÉTODO

### Diseño

Se trata de un estudio experimental con medidas pre-post y comparación en función del genotipo de ACTN3. Todos los sujetos de la muestra firmaron un consentimiento informado que recibieron por escrito para participar en el estudio. Este estudio fue aprobado por el Comité Ético de Investigación Clínica Regional de la Comunidad de Madrid (CEIC-R: 2012 UEM 01).

### Muestra

La muestra total está compuesta por 68 estudiantes de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte. La elección de este tipo de población se debe a que es una población físicamente activa, que puede tolerar la carga de entrenamiento propuesta. Los criterios de inclusión fueron la edad (entre 18 y 30 años), el género (masculino) y el nivel de entrenamiento (entre 3 y 14 horas semanales), mientras que los criterios de exclusión de la muestra fueron el tipo de actividad practicada (sujetos que practican deportes con predominancia de los saltos a nivel federado) y la presencia de lesiones músculo-tendinosas importantes, Figura I.



**Figura 1.** Diagrama de flujo de la muestra.

En la tabla I se presentan estadísticos descriptivos que caracterizan a nivel general la muestra del estudio, tanto de forma agrupada como segregada en función del genotipo (XX, RX, RR).

**Tabla 1.** Estadístico descriptivo general de la muestra del estudio.

	XX	RX	RR	Valores agrupados
	(n=10)	(n=21)	(n=20)	(n=65)
Edad (años)	22,44 ± 5,13	21,60 ± 2,58	22,00 ± 2,93	21,98 ± 3,20
Altura (m)	1,78 ± 0,10	1,76 ± 0,09	1,79 ± 0,11	1,78 ± 0,10
Peso (Kg)	70,32 ± 5,19	73,77 ± 9,48	75,69 ± 11,50	74,87 ± 9,43
IMC (kg/m <sup>2</sup> )	22,38 ± 2,47	23,86 ± 2,58	23,79 ± 3,34	23,73 ± 2,90
N.E.S.	3,44 ± 2,01	3,70 ± 2,01	3,32 ± 1,34	3,46 ± 1,71

*Nota: Los valores recogidos en la tabla corresponden a Media ± Desviación Típica.*

*Abreviaturas: N.E.S número de entrenamientos semanales.*

## Variables

Como variable independiente se analizó el genotipo de ACTN3 en el laboratorio de biología molecular y genética de la Universidad Europea de Madrid. Para ello se recogieron dos muestras de la mucosa bucal a través de un frotis y se extrajo el ADN utilizando el kit de extracción ADN Quiagen. Después se procedió a analizar el gen de la  $\alpha$ -actinina-3 mediante la reacción en cadena de la polimerasa (PCR) cuantitativa. Los primers y sondas marcadas con fluoróforos permiten amplificar y genotipar un fragmento de 73 pares de bases (pb) donde se encuentra la secuencia diana. Esta PCR se realizó con un Termociclador a tiempo real Miniopticon de BIORAD, que permite completar el genotipado a la vez que se efectúa la PCR.

Las variables dependientes del estudio fueron la altura alcanzada en los test de saltos propuestos por Bosco, (1994), Squat Jump, Counter Movement Jump y Drop Jump. Los saltos verticales fueron medidos utilizando el sistema Optojump versión 3.01 (Microgate Italia).

## Procedimiento

En primer lugar se llevó a cabo una sesión de familiarización en la que los sujetos firmaron el consentimiento informado, se recogieron las dos muestras de la mucosa bucal y cumplimentaron un formulario con sus datos personales y antropométricos. También se les enseñó la técnica para ejecutar correctamente los distintos saltos de la batería de Bosco (1994). Por último, se calculó la altura óptima de caída para el Drop Jump. Para ello se pedía a los sujetos que realizaran un salto desde una altura de 20 cm. Se evaluaba la altura del salto y se incrementaba en 5 cm la altura de caída, repitiendo nuevamente este proceso hasta que el sujeto alcanzaba la máxima altura en el salto. La altura de caída desde la que realizó este último salto fue considerada la óptima.

En la segunda sesión los participantes realizaron un calentamiento, consistente en 5 minutos de carrera continua seguidos de estiramientos balísticos de cadera (10 lanzamientos frontales de pierna), 10 splits alternos y finalmente 10 multisaltos de tobillo y 10 CMJ. Posteriormente ejecutaron los saltos descritos: SJ, CMJ y DJ en este orden. Se hicieron dos tomas válidas de cada salto y se tomó el valor de la más alta, anotándolo en el formulario de recogida de datos. Se dejaron 30 segundos de descanso entre saltos del mismo tipo y 1 minuto 30 segundos entre saltos diferentes. Tras finalizar las mediciones se procedió a iniciar el entrenamiento pliométrico. Este entrenamiento consistió en realizar 5 series de 10 saltos Drop Jump desde la altura óptima de caída, buscando siempre la máxima intensidad y reactividad, dejando un descanso de 3 minutos entre series.

Finalmente en la tercera (6 h más tarde), cuarta (24 h después de la primera sesión) y quinta sesión (48 h después de la primera sesión), únicamente se llevó a cabo la valoración de los saltos, tras realizar el pertinente calentamiento, siguiendo el mismo procedimiento que en la sesión 2.

## Análisis estadístico

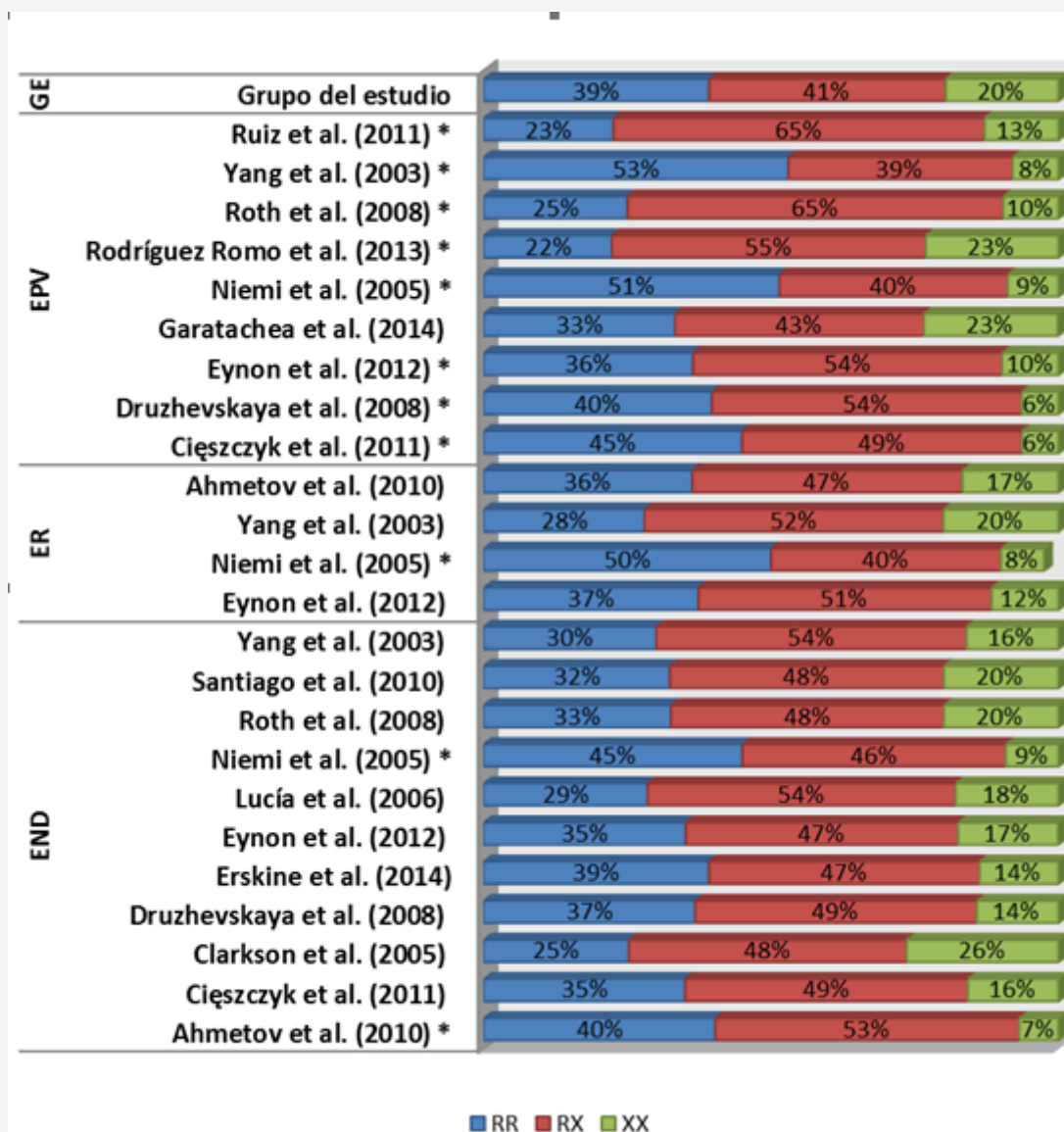
Los estadísticos descriptivos que se utilizan en este trabajo son la media y la desviación típica para informar de las variables cuantitativas y las frecuencias y porcentajes para informar de la distribución de las variables cualitativas. Para analizar si las distribuciones de los genotipos de ACTN3 eran estadísticamente diferentes en comparación a otros estudios publicados en la literatura se utilizó la prueba Chi-cuadrado de Pearson. El análisis inferencial se llevó a cabo mediante la prueba ANOVA mixto de 3x4 y se fijó el nivel de significación en  $\alpha=0,05$ . En el caso de encontrar diferencias inter o intra

sujeto, se utilizó la prueba post-hoc de comparaciones múltiples de Bonferroni. Todo el análisis estadístico se llevó a cabo con el paquete estadístico SPSS para Windows 19.0.

## RESULTADOS

La distribución de los genotipos del presente estudio fue de 39,2% RR, 41,2% RX y 19,6% XX (Figura II). En la misma figura se presenta una comparación de la distribución genotípica de este estudio con la de otros estudios publicados en la literatura científica.

Como se puede observar en la figura II, los estudios publicados con deportistas especializados en modalidades de potencia/velocidad difieren estadísticamente de la distribución genotípica encontrada en el presente trabajo, exceptuando el estudio de Garatachea et al. (2014). En comparación con las distribuciones genotípicas halladas en estudios que evalúan población no deportista o en deportistas de resistencia sólo se encontró un estudio con una distribución estadísticamente diferente (Niemi et al., 2005).



**Figura 2.** Prevalencia genotípica del gen ACTN3 y comparativa con la prevalencia encontrada en otros estudios.

*Nota: Existe una diferencia estadísticamente significativa entre la distribución genotípica de los estudios marcados con \* y la que se obtuvo en el presente trabajo ( $p < 0,05$ ).*

*Abreviaturas: GE Grupo del estudio; EPV Estudios con deportistas de potencia velocidad; ER Estudios con deportistas de resistencia; END Estudios con no deportistas.*

Para analizar el efecto del entrenamiento sobre las variables dependientes (SJ, CMJ, DJ, IE e IR) se utilizó un ANOVA mixto comprobando los factores intra-sujeto, inter-sujeto y la interacción entre ambos (tabla II). Como se puede observar en el análisis intra-sujeto, no se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas ( $p > 0,05$ ) en ninguna de las variables dependientes analizadas.

Tras analizar el efecto inter-sujeto, se puede observar que no existen diferencias estadísticamente significativas en las variables dependientes en función del genotipo de ACTN3. Es interesante destacar que los sujetos con genotipo RR consiguieron una altura de salto inicial menor que la de los grupos XX y RX. Analizando la interacción entre los factores intra e inter-sujeto no se observaron diferencias estadísticamente significativas en ninguna de las variables dependientes evaluadas.

**Tabla 2.** Análisis de medidas repetidas de las variables dependientes del estudio de forma agrupada y segregada en función del genotipo.

		N	Pre	Post 6h	Post 24h	Post 48h	Pintra	Pinter	Inter acc
	Agrupado	55	32,83 ± 4,65	32,72 ± 5,94	33,19 ± 4,28	33,82 ± 4,65			
SJ	XX	10	31,64 ± 4,16	33,21 ± 2,35	33,68 ± 3,14	33,31 ± 4,47	,181	,503	,155
	RX	18	34,28 ± 4,18	33,68 ± 3,78	33,35 ± 4,66	33,75 ± 5,00			
	RR	15	30,99 ± 4,63	30,71 ± 9,42	32,83 ± 3,89	33,37 ± 4,76			
	Agrupado	56	36,79 ± 5,20	36,55 ± 7,05	36,88 ± 5,05	36,22 ± 7,06			
CMJ	XX	10	36,42 ± 4,39	37,54 ± 4,48	37,67 ± 4,36	37,23 ± 4,40	,741	,389	,296
	RX	19	38,85 ± 4,92	37,91 ± 5,18	37,91 ± 5,62	35,12 ± 10,02			
	RR	15	34,79 ± 4,87	34,32 ± 10,53	35,51 ± 4,48	36,12 ± 5,28			
	Agrupado	27	35,15 ± 5,70	35,46 ± 4,40	35,36 ± 4,89	35,36 ± 4,71			
DJ (cm)	XX	4	34,33 ± 4,04	34,30 ± 4,25	35,05 ± 3,26	34,20 ± 3,36	,437	,895	,607
	RX	8	35,50 ± 5,53	35,43 ± 4,53	35,78 ± 5,45	35,99 ± 3,98			
	RR	9	34,23 ± 4,68	36,52 ± 4,88	36,19 ± 5,50	35,84 ± 5,95			
	Agrupado	21	0,42 ± 0,10	0,40 ± 0,09	0,40 ± 0,08	0,43 ± 0,08			

DJ (tc)	XX	3	0,49 ± 0,02	0,43 ± 0,07	0,31 ± 0,11	0,39 ± 0,11	,227	,311	,221
	RX	6	0,45 ± 0,10	0,41 ± 0,11	0,44 ± 0,05	0,42 ± 0,08			
	RR	7	0,36 ± 0,11	0,37 ± 0,11	0,36 ± 0,08	0,41 ± 0,07			
	Agrupado	50	12,45 ± 7,66	11,80 ± 7,86	11,08 ± 7,08	9,57 ± 7,47			
IE	XX	10	15,67 ± 10,45	13,20 ± 12,91	11,82 ± 7,03	12,30 ± 8,83	,059	,547	,571
	RX	16	13,09 ± 5,40	11,82 ± 7,28	13,25 ± 6,34	10,06 ± 5,41			
	RR	13	13,40 ± 8,33	12,80 ± 4,07	8,65 ± 4,34	8,83 ± 4,13			
	Agrupado	20	90,42 ± 29,90	94,47 ± 33,17	97,10 ± 35,11	85,86 ± 25,55			
IR	XX	3	68,18 ± 9,89	80,30 ± 18,41	124,61 ± 58,00	91,40 ± 34,24	,141	,603	,167
	RX	5	86,92 ± 17,43	96,57 ± 25,85	87,84 ± 17,71	90,93 ± 24,33			
	RR	7	105,87 ± 38,58	111,18 ± 46,81	109,60 ± 35,65	94,47 ± 28,03			

Nota: Los valores recogidos en la tabla corresponden a Media ± Desviación Típica.

Abreviaturas: Pintra P intrasujeto; Pinter P intersujeto; Interacc Interacción; SJ Squat Jump; CMJ Counter Movement Jump; DJ(cm) Drop Jump altura del salto en centímetros; DJ(tc) Drop Jump tiempo de contacto con el suelo en milisegundos; IE índice elástico; IR índice reflejo; Intcc Interacción.

## DISCUSIÓN

Las diferencias en cuanto a la distribución genotípica de ACTN3 halladas en este trabajo, en comparación con los estudios que evalúan deportistas de potencia/velocidad, se dan sobre todo en el genotipo XX, encontrando mayor prevalencia de XX en el presente trabajo respecto a dichos estudios. Esto puede deberse a que en la prevalencia genotípica en deportes de potencia/velocidad a nivel élite se aprecia un escaso número de deportistas con genotipo XX, tal y como proponen algunos estudios (Scott et al., 2010; Yang et al., 2003).

Ninguna de las variables dependientes en las que se evaluó el salto vertical presentaron diferencias entre los genotipos RR, RX y XX. Esto parece indicar que la ausencia de  $\alpha$ -actinina 3 en la musculatura de los portadores del genotipo XX no repercute negativamente en la altura del salto alcanzada, descartándose por ello el posible efecto protector de esta proteína. Otra posibilidad es que la influencia que tiene la ejecución técnica en la altura del salto sea mucho mayor que la que tiene el aspecto genético de la funcionalidad de la  $\alpha$ -actinina-3, de tal forma que el efecto que produce a nivel estructural la presencia de dicha proteína es muy escaso y no se aprecia en los resultados obtenidos. En este sentido cabe destacar que la biomecánica del salto vertical está muy condicionada, no sólo por factores musculares, sino también por la técnica de ejecución (Bosco, 1994; Smith, Roberts y Watson, 1992). Según Rodacki et al. (2002), la ejecución de esta habilidad depende de la coordinación entre los segmentos del cuerpo humano, los cuales están determinados por la interacción entre las fuerzas musculares y los momentos netos que tienen que ser generados alrededor de las articulaciones para llevar a cabo las demandas mecánicas del salto. En la misma línea, Fábrica, González-Rodríguez y Loss (2013), concluyeron que existe una coordinación que permite la transmisión proximal-distal de la potencia durante un CMJ, en la que los músculos biarticulares (Gastrocnemio medial y recto femoral) cumplen un papel fundamental.



Los resultados hallados en el estudio están condicionados por las siguientes limitaciones, que han de ser tenidas en cuenta a la hora de interpretar dichos resultados. La primera limitación que encontramos es el tamaño de la muestra, puesto que el hecho de segmentarla en 3 grupos (XX, RX y RR), implica que la muestra sea relativamente pequeña en alguna de las variables evaluadas, especialmente en el DJ. La segunda limitación es la heterogeneidad de la muestra en cuanto al nivel de entrenamiento y el tipo de actividad desarrollada, a pesar de haber cumplido los criterios de inclusión.

Finalmente, pese a que se realizó la pertinente familiarización con la batería de saltos del test de Bosco, puede que sea necesaria una mayor mecanización de este gesto deportivo para poder aislar esta variable y que no interfiera en los resultados.

De este modo, podemos concluir que, en función de la muestra analizada, el entrenamiento pliométrico no modifica la evolución de la capacidad de salto en función de los genotipos de ACTN3. De este modo, parece que el gen ACTN3 no juega un rol protector sobre la musculatura durante el desarrollo de una actividad deportiva de alta intensidad.

## AGRADECIMIENTOS

---

Este estudio estuvo financiado por los proyectos de investigación con financiación interna de la Universidad Europea (2012UEM01) y por las ayudas a la investigación de la Cátedra Real Madrid (2013 10 RM).

## REFERENCIAS

---

- Ahmetov, I. I., Druzhevskaya, A. M., Astratenkova, I. V., Popov, D. V., Vinogradova, O. L., & Rogozkin, V. A. (2010). The ACTN3 R577X polymorphism in russian endurance athletes. *British Journal of Sports Medicine*, 44(9), 649-652. doi:10.1136/bjism.2008.051540 [
- Alfred, T., Ben-Shlomo, Y., Cooper, R., Hardy, R., Cooper, C., Deary, I. J., Martin, R. M. (2011). ACTN3 genotype, athletic status, and life course physical capability: Meta-analysis of the published literature and findings from nine studies. *Human Mutation*, 32(9), 1008-1018.
- Bosco, C. (1994). La valoración de la fuerza con el test de bosco. *Barcelona: Paidotribo*.
- Bray, M., Hagberg, J., Perusse, L., Rankinen, T., Roth, S., Wolfarth, B., & Bouchard, C. (2009). The human gene map for performance and health-related fitness phenotypes: The 2006-2007 update. *Medicine Science in Sports Exercise*, 41(1), 35.
- Cięszczyk, P., Eider, J., Ostanek, M., Arczewska, A., Leońska-Duniec, A., Sawczyn, S., Krupecki, K. (2011). Association of the ACTN3 R577X polymorphism in polish power-orientated athletes. *Journal of Human Kinetics*, 28, 55-61.
- Clarkson, P. M., Devaney, J. M., Gordish-Dressman, H., Thompson, P. D., Hubal, M. J., Urso, M., Hoffman, E. P. (2005). ACTN3 genotype is associated with increases in muscle strength in response to resistance training in women. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 99(1), 154-163. doi:01139.2004 [pii]
- Clarkson, P. M., Hoffman, E. P., Zambraski, E., Gordish-Dressman, H., Kearns, A., Hubal, M., Devaney, J. M. (2005). ACTN3 and MLCK genotype associations with exertional muscle damage. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 99(2), 564-569. doi:00130.2005 [pii]
- Druzhevskaya, A. M., Ahmetov, I. I., Astratenkova, I. V., & Rogozkin, V. A. (2008). Association of the ACTN3 R577X polymorphism with power athlete status in russians. *European Journal of Applied Physiology*, 103(6), 631-634.
- Erskine, R., Williams, A., Jones, D., Stewart, C., & Degens, H. (2014). The individual and combined influence of ACE and ACTN3 genotypes on muscle phenotypes before and after strength training. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 24(4), 642-648.
- Eynon, N., Ruiz, J. R., Femia, P., Pushkarev, V. P., Cieszczyk, P., Maciejewska-Karłowska, A., Kulikov, L. M. (2012). The ACTN3 R577X polymorphism across three groups of elite male european athletes. *PloS One*, 7(8), e43132.
- Eynon, N., Ruiz, J. R., Oliveira, J., Duarte, J. A., Birk, R., & Lucia, A. (2011). Genes and elite athletes: A roadmap for future research. *The Journal of Physiology*, 589(13), 3063-3070.
- Fábrica, G., González-Rodríguez, P., & Loss, D. J. F. (2013). Cambios en el control neuromuscular de seis músculos de miembro inferior durante CMJ máximos realizados con fatiga. *Rev.Bras.Ciênc.Esporte*, 35(2), 389-407.
- Garatachea, N., Verde, Z., Santos-Lozano, A., Yvert, T., Rodríguez-Romo, G., Sarasa, F. J., Lucia, A. (2014). ACTN3 R577X polymorphism and explosive leg-muscle power in elite basketball players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(2), 226-232. doi:10.1123/ijsp.2012-0331 [
- Hagberg, J. M., Rankinen, T., Loos, R. J., Perusse, L., Roth, S. M., Wolfarth, B., & Bouchard, C. (2011). Advances in exercise, fitness, and performance genomics in 2010. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43(5), 743-752. doi:10.1249/MSS.0b013e3182155d21 [
- Hanson, E., Ludlow, A., Sheaff, A., Park, J., & Roth, S. (2010). ACTN3 genotype does not influence muscle power. *International Journal of Sports Medicine*, 31(11), 834.

- Loos, R. J., Hagberg, J. M., Pérusse, L., Roth, S. M., Sarzynski, M. A., Wolfarth, B., & Bouchard, C. (2015). Advances in exercise, fitness, and performance genomics in 2014. *Medicine and science in sports and exercise*, 47(6), 1105-1112.
- Lucia, A., Gomez-Gallego, F., Santiago, C., Bandres, F., Earnest, C., Rabadan, M., Villa, G. (2006). ACTN3 genotype in professional endurance cyclists. *International Journal of Sports Medicine*, 27(11), 880-884.
- Ma, F., Yang, Y., Li, X., Zhou, F., Gao, C., Li, M., & Gao, L. (2013). The association of sport performance with ACE and ACTN3 genetic polymorphisms: a systematic review and meta-analysis. *PLoS one*, 8(1), e54685.
- MacArthur, D. G., & North, K. N. (2004). A gene for speed? the evolution and function of  $\alpha$ -actinin-3. *Bioessays*, 26(7), 786-795.
- MacArthur, D. G., Seto, J. T., Raftery, J. M., Quinlan, K. G., Huttley, G. A., Hook, J. W., Berman, Y. (2007). Loss of ACTN3 gene function alters mouse muscle metabolism and shows evidence of positive selection in humans. *Nature Genetics*, 39(10), 1261-1265.
- Massidda, M., Corrias, L., Ibba, G., Scorcu, M., Vona, G., & Calo, C. M. (2012). Genetic markers and explosive leg-muscle strength in elite Italian soccer players. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 52(3), 328-334. doi:R40123559 [pii]
- Massidda, M., Scorcu, M., & Calo, C. M. (2014). New genetic model for predicting phenotype traits in sports. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(3), 554-560. doi:10.1123/ijsp.2012-0339 [
- McCauley, T., Mastana, S. S., & Folland, J. P. (2010). ACE I/D and ACTN3 R/X polymorphisms and muscle function and muscularity of older caucasian men. *European Journal of Applied Physiology*, 109(2), 269-277.
- McCauley, T., Mastana, S. S., Hossack, J., MacDonald, M., & Folland, J. P. (2009). Human angiotensin-converting enzyme I/D and  $\alpha$ -actinin 3 R577X genotypes and muscle functional and contractile properties. *Experimental Physiology*, 94(1), 81-89.
- Mendoça, E. P., Coelho, D. B., Cruz, I. R., Morandi, R. F., Veneroso, C. E., de Azambuja Pussieldi, G., Fernández, José Antonio De Paz. (2012). The ACTN3 genotype in soccer players in response to acute eccentric training. *European Journal of Applied Physiology*, 112(4), 1495-1503.
- Mills, M., Yang, N., Weinberger, R., Vander Woude, D. L., Beggs, A. H., Easteal, S., & North, K. (2001). Differential expression of the actin-binding proteins,  $\alpha$ -actinin-2 and -3, in different species: Implications for the evolution of functional redundancy. *Human Molecular Genetics*, 10(13), 1335-1346.
- Niemi, A., & Majamaa, K. (2005). Mitochondrial DNA and ACTN3 genotypes in Finnish elite endurance and sprint athletes. *European Journal of Human Genetics*, 13(8), 965-969.
- North, K.N., Yang, N., Wattanasirichaigoon, D., Mills, M., Easteal, S. y Beggs, A.H. (1999). A common nonsense mutation results in  $\alpha$ -actinin-3 deficiency in the general population. *Nature Genetics*, 21(4), 353-354.
- Rodacki, A. L., Fowler, N. E., & Bennett, S. J. (2002). Vertical jump coordination: Fatigue effects. *Med Sci Sports Exerc*, 34(1), 105-116.
- Rodríguez Romo, G., Yvert, T., Diego, A. d., Santiago Dorrego, C., Díaz de Durana, Alfonso L, Carratalá Deval, V., Lucía Mulas, A. (2013). No association between ACTN3 R577X polymorphism and elite judo athletic status.
- Rodríguez-Romo, G., Ruiz, J. R., Santiago, C., Fiuza-Luces, C., González-Freire, M., Gómez-Gallego, F., Lucia, A. (2010). Does the ACE I/D polymorphism, alone or in combination with the ACTN3 R577X polymorphism, influence muscle power phenotypes in young, non-athletic adults? *European Journal of Applied Physiology*, 110(6), 1099-1106.
- Roth, S. M., Walsh, S., Liu, D., Metter, E. J., Ferrucci, L., & Hurley, B. F. (2008). The ACTN3 R577X nonsense allele is under-represented in elite-level strength athletes. *European Journal of Human Genetics*, 16(3), 391-394.
- Ruiz, J. R., Fernández del Valle, M., Verde, Z., Díez-Vega, I., Santiago, C., Yvert, T., Lucia, A. (2011). ACTN3 R577X polymorphism does not influence explosive leg muscle power in elite volleyball players. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 21(6), e34-e41.
- Santiago, C., Rodríguez-Romo, G., Gómez-Gallego, F., González-Freire, M., Yvert, T., Verde, Z., Ruiz, J. R. (2010). Is there an association between ACTN3 R577X polymorphism and muscle power phenotypes in young, non-athletic adults? *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 20(5), 771-778.
- Santiago, C., Ruiz, J., Muniesa, C., González-Freire, M., Gómez-Gallego, F., & Lucia, A. (2010). Does the polygenic profile determine the potential for becoming a world-class athlete? insights from the sport of rowing. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 20(1), e188-e194.
- Saunders, C., September, A., Xenophontos, S., Cariolou, M., Anastassiades, L., Noakes, T., & Collins, M. (2007). No association of the ACTN3 gene R577X polymorphism with endurance performance in ironman triathlons. *Annals of Human Genetics*, 71(6), 777-781.
- Scott, R. A., Irving, R., Irwin, L., Morrison, E., Charlton, V., Austin, K., Pitsiladis, Y. P. (2010). ACTN3 and ACE genotypes in elite Jamaican and US sprinters. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 42(1), 107-112. doi:10.1249/MSS.0b013e3181ae2bc0 [
- Seto, J. T., Lek, M., Quinlan, K. G., Houweling, P. J., Zheng, X. F., Garton, F., North, K. N. (2011). Deficiency of  $\alpha$ -actinin-3 is associated with increased susceptibility to contraction-induced damage and skeletal muscle remodeling. *Human Molecular Genetics*, 20(15), 2914-2927. doi:10.1093/hmg/ddr196 [
- Smith, D. J., Roberts, D., & Watson, B. (1992). Physical, physiological and performance differences between Canadian national team and universiade volleyball players. *Journal of Sports Sciences*, 10(2), 131-138.
- Vincent, B., Windelinckx, A., Nielens, H., Ramaekers, M., Van Leemputte, M., Hespel, P., & Thomis, M. A. (2010). Protective role of  $\alpha$ -actinin-3 in the response to an acute eccentric exercise bout. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 109(2), 564-573. doi:10.1152/jap.01007.2009 [
- Yang, N., MacArthur, D. G., Gulbin, J. P., Hahn, A. G., Beggs, A. H., Easteal, S., & North, K. (2003). ACTN3 genotype is associated with human elite athletic performance. *The American Journal of Human Genetics*, 73(3), 627-631.
- Yang, N., MacArthur, D., Wolde, B., Onywera, V. O., Boit, M. K., Wilson, R. H., & North, K. (2005). Actn3 Genotype Is Not Associated With Elite Endurance Athlete Status In Ethiopians And Kenyans: 2469 3: 30 PM-3: 45 PM. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 37(5), S472.

## Versión Digital

<http://g-se.com/es/journals/kronos/articulos/evolucion-de-la-capacidad-de-salto-como-respuesta-a-un-entrenamiento- pliometrico-en-funcion-del-genotipo-de-actn3-1911>