

## **RELACIÓN ENTRE EL GEN ACTN3 Y EL RENDIMIENTO MUSCULAR EN DEPORTISTAS. REVISIÓN NARRATIVA DE LA LITERATURA**

### RELATIONSHIP BETWEEN THE ACTN3 GENE AND MUSCLE PERFORMANCE IN ATHLETES. NARRATIVE REVISION OF LITERATURE

<sup>1</sup>Carlos Miguel Entrena Yañez, <sup>2</sup>Natalia Jimena Rincón Bolívar, <sup>3</sup>Jose Javier García Flórez

<sup>1</sup>Fisioterapeuta de la Selección Colombia, Fisioterapeuta del Centro Médico Deportivo MET [entrenacarlos@yahoo.com](mailto:entrenacarlos@yahoo.com) <sup>2</sup> Fisioterapeuta del Centro Médico Deportivo MET, Maestrante en Ciencias del Deporte, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (UDCA) [nataliarincomb@hotmail.com](mailto:nataliarincomb@hotmail.com). <sup>3</sup> Fisioterapeuta en formación Universidad de La Sabana, Práctica de profundización Centro Médico Deportivo MET [josegafl@unisabana.edu.co](mailto:josegafl@unisabana.edu.co)

#### **RESUMEN**

En el presente artículo se describe mediante un estudio de tipo descripción de la literatura la relación existente entre el gen ACTN3 y sus polimorfismos en el rendimiento muscular de deportistas de alto rendimiento de diferentes disciplinas. Se han tenido en cuenta bases de datos como Science Direct, Pubmed, Proquest, Clinical Key, Medline y Springerlink y la búsqueda se ha hecho mediante los términos MeSH ACTN3, Sports, Muscle Strength, Power, Endurance y Injury. Se incluye en este artículo una tabla con la descripción de cada uno de los artículos escogidos con su calificación a través de Scimago.

**Palabras Clave:** ACTN3, Sports, Muscle Strength, Power, Endurance, Injury

#### **ABSTRACT**

In the present article, a description of the literature is described by the relationship between the ACTN3 gene and its polymorphisms in the muscular performance of high performance athletes of different disciplines. We have taken into account databases such as Science Direct, Pubmed, Proquest, Clinical Key, Medline and Springerlink and the search has been made through the terms MeSH ACTN3, Sports, Muscle Strength, Power, Endurance and Injury. Included in this article is a table with the description of each of the articles chosen with its rating through Scimago.

#### **Introducción**

El genoma humano contiene gran cantidad de información codificada que generalmente es exhibida en las capacidades físicas e intelectuales de las personas. En la actualidad, se pueden asociar mutaciones genéticas con cambios o

adaptaciones en diferentes sistemas orgánicos, entre ellos el musculoesquelético. Uno de los genes más estudiados en el campo médico-deportivo es el ACTN3, responsable de la decodificación de la proteína alfa actinina, encargada de la unión de la actina en los sarcómeros musculares. La presencia de un alelo de este gen (R577X) provee al deportista de una mayor velocidad de contracción muscular, lo que se expresa como mayor potencia. Por otro lado, la ausencia del gen (xx) le da al deportista mayor índice de resistencia muscular, lo que lo hace adecuado genéticamente para destacar en maratones. Diferentes estudios intentan corroborar esta información a través de pruebas genómicas a deportistas de alto rendimiento de diferentes disciplinas alrededor del mundo y estos se intentan resumir en este documento.

El objetivo principal de este artículo es describir la relación entre el gen ACTN3 y el desempeño muscular en deportistas de alto rendimiento reportada en la literatura. Como objetivos secundarios se encuentra: explorar la evidencia existente acerca del gen ACTN3 en relación a la fuerza en deportistas de alto rendimiento. Evaluar y clasificar la evidencia sobre el ACTN3 y la fuerza a través de Scimago y finalmente identificar las características de los artículos escogidos para el estudio.

## **LA GENÉTICA EN EL RENDIMIENTO MUSCULAR Y LA POTENCIA**

Con los años se han evidenciado los beneficios y diferentes adaptaciones que genera el ejercicio en los atletas. Recientemente, los biólogos moleculares han descubierto redes de vías de señalización y moléculas reguladoras que coordinan las respuestas de adaptación al ejercicio en el músculo esquelético debido a el rendimiento del ejercicio, las respuestas metabólicas y la regulación de la homeostasis metabólica (Egan & Zierath, 2013).

La actividad física origina la activación de señales proteicas y a su vez conduce a la activación de numerosos genes de respuesta temprana, factores de transcripción y maquinaria celular para dar inicio a la transcripción de RNAm específicos. La cantidad de proteína presente está dada por diversos mecanismos como la relación entre síntesis y degradación del RNAm, el nivel base de abundancia de cada proteína y los mecanismos adicionales de control de la traducción, que dan inicio a nivel molecular y de respuesta a los ejercicios endurance (resistencia o aeróbico) y de fuerza (sobrecarga o resistencia), entre ellos se encuentran (Saavedra, 2006).

El ejercicio de resistencia (o basadas en la fuerza) impone una demanda de baja frecuencia y alta resistencia. Por consiguiente, las respuestas metabólicas y moleculares a éste tipo de ejercicio son específicas y difieren de los ejercicios de endurance (aeróbico) (Egan & Zierath, 2013). Por tanto, el entrenamiento de fuerza mantiene de manera más efectiva la tasa metabólica basal, la masa muscular y la función física en las personas de la tercera edad (mayores) (Egan & Zierath, 2013).

Existen diferentes genes que controlan los procesos biológicos como la producción de músculo de la energía, la biogénesis de las mitocondrias, la formación ósea, la eritropoyesis, la angiogénesis, la vasodilatación, la

neurogénesis, etc. revela el perfil de ADN para atletas, es decir, las capacidades de un atleta para realizar esfuerzos físicos específicos están determinados por las variaciones genéticas que pueden estar asociadas con la capacidad de resistencia, el rendimiento muscular y potencia, la susceptibilidad a lesiones y aptitud psicológica.

Además, en la literatura se encuentran que más de 200 genes están siendo relacionados con el rendimiento físico. Por tal motivo, el genotipo de los atletas se está desarrollando como una herramienta para la formulación de entrenamiento personalizado y programas nutricionales para optimizar el entrenamiento deportivo así como para la predicción de lesiones relacionadas con el ejercicio (Pokrywka et al., 2013).

Hugh Montgomery en 1998 mencionado por (Pokrywka et al., 2013). fue el que descubrió el primer gen ligado a la aptitud humana, la enzima convertidora de angiotensina (ECA). Por otra parte, (Bray et al., 2009) diseñó un mapa de polimorfismos genéticos los cuales generan predisposición a la aptitud física y los resultados deportivos. En ellos identificó 239 genes de fitness: 214 en cromosomas autosómicos, 7 en cromosoma X y 18 en el ADN mitocondrial.

En cuanto al deporte de rendimiento, se puede determinar que el atleta está intrínsecamente predispuesto ya sea al rendimiento en sprint / potencia o eventos de resistencia. Por ello, las diferencias entre los individuos están relacionados con la variación genética (polimorfismo), es decir, la presencia de dos o más variantes de un determinado gen que difiere en un nucleótido (polimorfismo de un solo nucleótido, SNP), por ejemplo  $\alpha$ - actinina gen esquelético isoforma muscular 3 (ACTN3) (Pokrywka et al., 2013).

#### **Metodología:**

La presente investigación corresponde a un diseño de investigación descriptiva de tipo revisión de la literatura. En donde la población del estudio son artículos que se encuentran en las bases de datos, y la muestra estará conformada por los artículos que cumplen los criterios de inclusión y exclusión.

Esta revisión se realizó durante la práctica de profundización musculo esquelética ejecutada en el Centro Médico Deportivo MET; la búsqueda se ejecutó durante el periodo comprendido entre febrero y marzo de 2018 en el metabuscador de la Universidad de La Sabana (Eureka) focalizando la búsqueda en las bases de datos SCIENCE DIRECT, PUBMED, CLINICAL KEY, PROQUEST, MEDLINE y SPRINGERLINK. La búsqueda se realizará mediante el uso de los siguientes términos MeSH: ACTN3, Sports, Muscle Strength, Power, Endurance, Injury. Se tendrán en cuenta los derivados de estos términos para complementar la búsqueda.

#### **Criterios de Inclusión:**

- Ensayos controlados aleatorizados o cuasi-experimentales publicados en revistas indexadas
- Deportistas entre 14 a 50 años
- Estudios donde se incluya el gen ACTN3
- Idioma Español, Inglés y Portugués

- Estudios entre el año 2000 hasta el 2018
- >80% de los estudios seleccionados se encuentren en un ranking y tengan un índice de impacto dentro de las publicaciones científicas evaluadas por Scimago.

### Criterios de Exclusión:

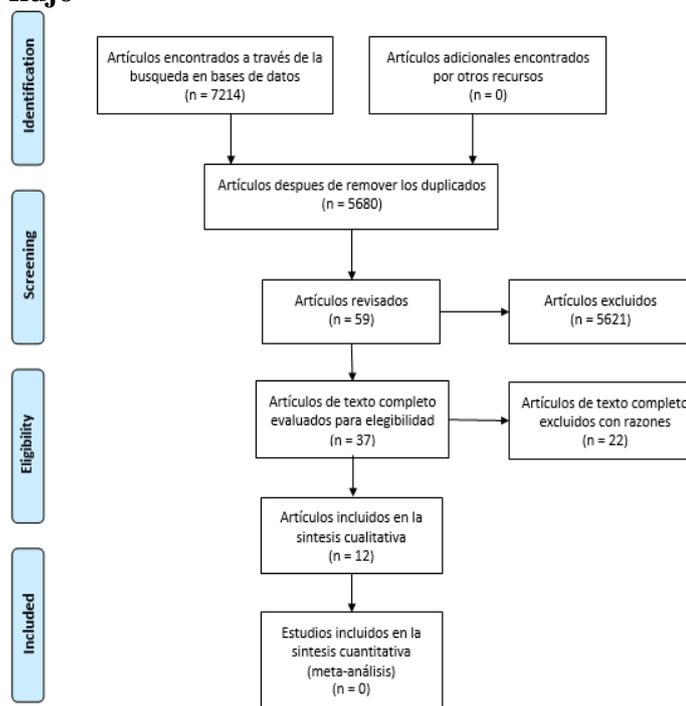
- Estudios donde la prioridad sea otro gen distinto al ACTN3
- Estudios donde no sea explícita la manera de obtención y análisis del genoma
- Estudios donde no sea explícito el deporte que practica la muestra.

### Resultados

En la presente revisión de literatura se encontraron 7214 artículos en las bases de datos SCIENCE DIRECT, PUBMED, CLINICAL KEY, PROQUEST, MEDLINE y SPRINGERLINK, luego de quitar los duplicados se obtuvieron 5680 artículos, posteriormente se aplicaron criterios de inclusión y de exclusión mencionados anteriormente. Se obtuvo un total de 59 artículos revisados y finalmente sólo 12 fueron incluidos en la síntesis cualitativa (ver diagrama de flujo).

Una vez los estudios fueron seleccionados se procedió a la extracción de los datos de mayor interés para la revisión. Se tuvo en cuenta el nombre del estudio, el país principal donde fue realizado, el número de participantes, cantidad de participantes en el grupo experimental y grupo control de haberlo, promedio de edad o en su defecto el rango de edad, genes involucrados en el estudio, método de obtención del genoma, deporte, función física involucrada, método por el cual se evaluó la función física.

### Diagrama de flujo



-	Estudio	País	Genes involucrados	Identificación de los genes	Población	N	Grupo control	Grupo experimental	Edades	Actividad/Deporte	Funciones involucradas	Método de evaluación de las funciones	Resultados	Scimago
1	Kim, J., & Jung, E. (2014). Genetic associations of body composition, flexibility and injury risk with ACE, ACTN3 and COL5A1 polymorphisms in Korean ballerinas. <i>Journal Of Exercise Nutrition And Biochemistry</i> , 18(2), 205-214. <a href="http://dx.doi.org/10.5717/jenb.2014.18.2.205">http://dx.doi.org/10.5717/jenb.2014.18.2.205</a>	Corea del sur	ACE, ACTN3, COL5A1	ADN genómico a través de muestras de sangre	Adolescentes, adultos	300	203	97	18-39	Ballet	Composición corporal, flexibilidad, riesgo de lesión en espalda baja, cintura, pelvis, rodilla y cuello de pie. *Riesgo de lesión: Prevalencia.	*Flexibilidad: Sit and reach, rango de movimiento pasivo. *Composición corporal: Grasa corporal, masa libre de grasa, índice de grasa corporal, índice de masa libre de grasa.	*Genotipo ACE DD en bailarinas estaba asociado a mayor índice de grasa corporal que los genotipos ACE II y ID. *El polimorfismo ACTN3 XX poseía menos índice de grasa corporal que los genotipos RR y RX. El sit and reach del ACTN3 XX fue menor que el RR y RX. Las lesiones de cuello de pie en el gen ACTN3 XX fueron significativamente más prevalentes que RR.	73 H In
2	Papadimitriou I, Lucia A. ACTN3 R577X and ACE I/D gene variants influence performance in elite sprinters: a multi-cohort study. <i>BMC Genomics</i> . 2016;17(1).	Australia	ACTN3 R577X, ACE ID	ADN genómico a través del epitelio bucal y muestras de sangre	Adultos (?)	346		Caucásicos: 255 Ascendencia africana: 91	No las referencia	Sprinters (100, 200, 400 m)	Desempeño en competencia de 100, 200 y 400 metros.	Tiempo registrado en las plataformas de las competencias olímpicas	Los polimorfismos genéticos de ACTN3 R577X y ACE ID modulan el fenotipo del sprinter e influencia el estado atlético del deportista. Mientras que el polimorfismo ACTN3 R577X se ve más involucrado en el desempeño de 200 metros, el polimorfismo ACE ID se adhiere de mejor manera en los deportistas con mejores tiempos en los 400 metros. El polimorfismo R577XX disminuye la capacidad de potencia del sujeto que lo posea.	123 H ind
3	Orysiak, J., & Sitkowski, D. (2015). Overrepresentation of the ACTN3 XX Genotype in Elite Canoe and Kayak Paddlers. <i>Journal Of Strength And Conditioning Research</i> , 29(4), 1107-1112. <a href="http://dx.doi.org/10.1519/jsc.00000000000000717">http://dx.doi.org/10.1519/jsc.00000000000000717</a>	Polonia	ACTN3 R577X	ADN Genómico a través de muestra de sangre venosa.	Adolescentes, Adultos	440	334	86 (Canoa=32) (Kayak=54)	19-34	Canoa y Kayak	Desempeño en competencia de 200 y 1000 metros	Tiempo registrado en las plataformas de las competencias internacionales	El polimorfismo ACTN3 R577X esta relacionado con ser exitoso en las pruebas de 1000 metros tanto en canoa como en kayak. El genotipo XX provee una ventaja en la resistencia en el momento de la competencia.	95 H ind
4	Yang, R., & Shen, X. (2017). ACTN3 R577X Gene Variant Is Associated With Muscle-Related Phenotypes in Elite Chinese Sprint/Power Athletes. <i>Journal Of Strength And Conditioning Research</i> , 31(4), 1107-1115. <a href="http://dx.doi.org/10.1519/jsc.00000000000001558">http://dx.doi.org/10.1519/jsc.00000000000001558</a>	Australia	ACTN3 R577X	ADN Genómico con muestras de saliva	Adultos	153	50	103 (Potencia=59) (Resistencia=44)	20-35	Corredores	Potencia	Standing Long Jump y Standing Vertical Jump	El genotipo XX disminuye el desempeño de potencia en los corredores. El genotipo R577X es el de mejor desempeño de potencia.	95 H ind

5	Li, Y., & Wang, L. (2017). ACTN3 R577X genotype and performance of elite middle-long distance swimmers in China. <i>Biology Of Sport</i> , 1, 39-43. <a href="http://dx.doi.org/10.5114/biolSport.2017.63731">http://dx.doi.org/10.5114/biolSport.2017.63731</a>	China	ACTN3 R577X	ADN a través de muestras de sangre venosa	Adultos	366	206	160	20	Nadadores	Desempeño en competencia	Distancia y tiempo	La frecuencia de la ACTN3 y en especial el alelo 577R fue mas alta que en nadadores de medianas y largas distancias que en la población normal. El polimorfismo del ACTN3 afecta el desempeño de los nadadores elites. La frecuencia de genotipos ACN3 R577X fue diferente entra la población general y los deportistas. Esto sugiere que este polomorfismo puede influir significativamente en el desempeño de los nadadores de mediana y larga distancia. Los nadadores con alelos RR son mas propensos a volverse profesionales. Los nadadores con los alelos RR tienen mas testosterona.	16 H Index
6	Santiago, C., & Gonzalez-Freire, M. (2007). ACTN3 genotype in professional soccer players. <i>British Journal Of Sports Medicine</i> , 42(1), 71-73. <a href="http://dx.doi.org/10.1136/bjism.2007.039172">http://dx.doi.org/10.1136/bjism.2007.039172</a>	España	ACTN3	ADN a través de muestras de sangre	Adolescentes, Adultos	235	123	112	17-50	Fútbol, correr	Potencia, resistencia	Deportes	El genotipo RR del gen ACTN3 estuvo presente en mayor medida en los futbolistas que en los atletas de resistencia y el grupo control	123 H Index
7	Orysiak, J., & Busko, K. (2014). Relationship between ACTN3 R577X polymorphism and maximal power output in elite Polish athletes. <i>Medicina</i> , 50(5), 303-308. <a href="http://dx.doi.org/10.1016/j.medic.2014.10.002">http://dx.doi.org/10.1016/j.medic.2014.10.002</a>	Polonia	ACTN3 R577X	ADN a través de muestras de sangre	Adolescentes	200		Canoa= 87 Hockey sobre hielo= 39 Nado=43 Voleibol=31	15-18	Canoa, Hockey, Nado, Voleibol	Potencia, Peso corporal	Alto de salto, medidas antropométricas	La distribución de los genotipos de ACTN3 no mostró diferencias significativas entre los grupos. Los deportistas con genotipo XX puntuaron menos en la prueba de salto largo. Alelos combinados de RR y RX demostraron mayor potencia muscular.	27 H Index
8	Ruiz, J., & Fernández del Valle, M. (2010). ACTN3 R577X polymorphism does not influence explosive leg muscle power in elite volleyball players. <i>Scandinavian Journal Of Medicine &amp; Science In Sports</i> , 21(6), e34-e41. <a href="http://dx.doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01134.x">http://dx.doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01134.x</a>	Suecia	ACTN3 R577X	ADN a través de muestras de saliva	Adolescentes y adultos	400	334	66	18-22	Voleibol	Potencia	Squat y Counter Movement Jump	No se observa asociación entre el genotipo polimórfico R577X y la potencia en jugadores elites de voleibol.	187 H Index

9	Lucía, A., & Gómez-Gallego, F. (2006). ACTN3 Genotype in Professional Endurance Cyclists. <i>International Journal Of Sports Medicine</i> , 27(11), 880-884. <a href="http://dx.doi.org/10.1055/s-2006-923862">http://dx.doi.org/10.1055/s-2006-923862</a>	España	ACTN3	ADN a través de muestras de sangre	Adultos	225	123	Ciclistas= 50 Corredores= 52	26	Ciclismo y corredores	Resistencia	Espirometria o ergoespirometria (VO2MAX)	El genotipo ACTN3 no está relacionada con la resistencia en deportistas de ciclismo y de atletismo.	84 H index
10	Rodríguez-Romo G, Yvert T, de Diego A. (2013). No Association Between ACTN3 R577X Polymorphism and Elite Judo Athletic Status. <i>International Journal of Sports Physiology and Performance</i> . 8, 579-581.	España	ACTN3 R577X	ADN genómico a través del epitelio bucal	Adultos	454	343	111	18-75	Judo	Desempeño deportivo	Logros deportivos	El genotipo de los judocas de elite es combinado, mas que el de otros atletas. Necesitan tanto resistencia como potencia para desempeñar su deporte de manera optima.	40 H index
11	Holdys, J., Knyściak, J., Stanislawski, D., & Gronek, P. (2011). Polymorphism of the α-ACTN3 gene in individuals practising different sports disciplines. <i>Biology of Sport</i> , 28(2), 101-106.	Polonia	ACTN3	ADN a través de muestras de sangre	Adultos	239	83	156	18-26	Carrera, salto, disco, hockey, tennis, rugby, futbol, voleibol, basquetbol, balonmano, canotaje, kickboxing, taekwondo	Potencia	Método directo espiroergómetro Oxycon Mobile (Jaeger). (FC) usando un pulsómetro (Polar)	No hay diferencia estadísticamente significativa en relacion al polimorfismo R577X ACTN3 y los valores del VO2 maximo. La predominancia del gen RR fue en el grupo de individuos que pertenecian a las disciplinas de potencia.	16 H index
12	Scott, R. A., Irving, R., Irwin, L., Morrison, E., Chariton, V., Austin, K., ... Pitsiladis, Y. P. (2010). ACTN3 and ACE genotypes in elite Jamaican and US sprinters. <i>Medicine and Science in Sports and Exercise</i> , 42(1), 107-112.	Reino Unido	ACE y ACTN3	ADN a través de muestras de saliva	Adultos (?)	JA; N = 116 US-A; N = 114	JC; N = 311 US-C; N = 191	230	No las referenciamos	Atleta sprint en los velocistas elite de Jamaica y los Estados Unidos	Velocidad	Distancia y tiempo	El gen ACE no es clave determinante e la obtención de logros deportivos en sprinters profesionales. Se elimina la posibilidad de encontrar asociación de el genotipo XX con atletas de velocidad en este tipo de población	187 H index

### Discusión y conclusiones:

En la última década, la genética está cada vez más inmersa en el campo deportivo, debido a que se ha intentado demostrar el vínculo de ciertos factores genéticos con el desempeño atlético. Este proceso se lleva a cabo en el momento que se descifra el ADN de cada atleta.

Estos hallazgos han sido tenidos en cuenta por los entrenadores y profesionales de la ciencia del deporte en la hora de la selección de los deportistas en cuanto al deporte o la disciplina deportiva en la cual se vayan a desempeñar el atleta en el alto rendimiento. A pesar que este tipo de investigaciones se evidencia en la literatura, aún existe un desconocimiento teórico por parte de

los profesionales de la salud (fisioterapeutas, entrenadores, kinesiólogos) que se encuentran inmersos en el área deportiva. Además, se han encontrado estudios con alto rigor metodológico han sido publicados con exhaustiva vehemencia, arrojando no siempre resultados coherentes unos con otros.

Esta investigación será útil para el personal encargado de seleccionar atletas para un deporte o disciplina deportiva y a los profesionales que de una u otra forma se encuentran involucrados en el área del deporte y que hacen parte de la planificación, entrenamiento deportivo y en procesos de recuperación o rehabilitación del atleta si es el caso. Este conocimiento específico en el gen ACTN3 relacionado con la fuerza y sus subtipos como la potencia y la fuerza, les darán herramientas necesarias para comprender la relación entre la genética, el rendimiento y el deportista.

Esta revisión bibliografía asociada al gen ACTN3 y sus polimorfismos evidencia los avances de la genética en la actualidad, por tanto, se afirma que hay una asociación positiva entre el gen ACTN3 y el rendimiento muscular en deportistas de alto rendimiento en diferentes disciplinas. Los deportistas en los que el alelo R está presente están mejor calificados para deportes que involucren la potencia muscular para la victoria. En cambio, deportistas donde el alelo R estaba ausente estaban mejor preparados biológicamente para disciplinas que involucren la resistencia muscular como principal método para lograr destacar.

#### Referencia bibliográfica:

1. Kim, J., & Jung, E. (2014). Genetic associations of body composition, flexibility and injury risk with ACE, ACTN3 and COL5A1 polymorphisms in Korean ballerinas. *Journal Of Exercise Nutrition And Biochemistry*, 18(2), 205-214.  
<http://dx.doi.org/10.5717/jenb.2014.18.2.205>
2. Papadimitriou I, Lucia A. ACTN3 R577X and ACE I/D gene variants influence performance in elite sprinters: a multi-cohort study. *BMC Genomics*. 2016;17(1).
3. Orysiak, J., & Sitkowski, D. (2015). Overrepresentation of the ACTN3 XX Genotype in Elite Canoe and Kayak Paddlers. *Journal Of Strength And Conditioning Research*, 29(4), 1107-1112.  
<http://dx.doi.org/10.1519/jsc.0000000000000717>
4. Yang, R., & Shen, X. (2017). ACTN3 R577X Gene Variant Is Associated With Muscle-Related Phenotypes in Elite Chinese Sprint/Power Athletes. *Journal Of Strength And Conditioning Research*, 31(4), 1107-1115.  
<http://dx.doi.org/10.1519/jsc.0000000000001558>
5. Li, Y., & Wang, L. (2017). ACTN3 R577X genotype and performance of elite middle-long distance swimmers in China. *Biology Of Sport*, 1, 39-43.

- <http://dx.doi.org/10.5114/biol-sport.2017.63731>
6. Santiago, C., & Gonzalez-Freire, M. (2007). ACTN3 genotype in professional soccer players. *British Journal Of Sports Medicine*, 42(1), 71-73. <http://dx.doi.org/10.1136/bjsm.2007.039172>
  7. Orysiak, J., & Busko, K. (2014). Relationship between ACTN3 R577X polymorphism and maximal power output in elite Polish athletes. *Medicina*, 50(5), 303-308. <http://dx.doi.org/10.1016/j.medici.2014.10.002>
  8. Ruiz, J., & Fernández del Valle, M. (2010). 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. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01134.x>
  9. Lucia, A., & Gómez-Gallego, F. (2006). ACTN3 Genotype in Professional Endurance Cyclists. *International Journal Of Sports Medicine*, 27(11), 880-884. <http://dx.doi.org/10.1055/s-2006-923862>
  10. Rodríguez-Romo G, Yvert T, de Diego A. (2013). No Association Between ACTN3 R577X Polymorphism and Elite Judo Athletic Status. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 8, 579-581.
  11. Holdys, J., Kryściak, J., Stanisławski, D., & Gronek, P. (2011). Polymorphism of the  $\alpha$ -ACTN3 gene in individuals practising different sports disciplines. *Biology of Sport*, 28(2), 101–106.
  12. 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.
  13. Egan, B., & Zierath, J. R. (2013). Exercise metabolism and the molecular regulation of skeletal muscle adaptation. *Cell Metabolism*, 17(2), 162–184.
  14. Saavedra, C. (2006). Actividad física, salud y rendimiento físico: bases moleculares. *Universidad Laval*.
  15. Pokrywka, A., Kaliszewski, P., Majorczyk, E., & Zembron-Lacny, Z. (2013). Genes in sport and doping. *Biology of Sport*, 30(3), 155–161.
  16. Bray, M. S., Hagberg, J. M., Pérusse, L., Rankinen, T., Roth, S. M., Wolfarth, B., & Bouchard, C. (2009). The human gene map for performance and health-

- related fitness phenotypes:  
The 2006-2007 update.  
*Medicine and Science in  
Sports and Exercise*, 41(1),  
34–72.
17. ACTN3 actinin alpha 3  
(gene/pseudogene) [Homo  
sapiens (human)] - Gene -  
NCBI [Internet].  
Ncbi.nlm.nih.gov. 2018  
[cited 23 March 2018].  
Available from:  
[https://www.ncbi.nlm.nih.gov  
/gene?cmd=Retrieve&dopt=f  
ull\\_report&list\\_uids=89](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene?cmd=Retrieve&dopt=full_report&list_uids=89)
18. Sports - MeSH - NCBI  
[Internet]. Ncbi.nlm.nih.gov.  
2018 [cited 23 March 2018].  
Available from:  
[https://www.ncbi.nlm.nih.gov  
/mesh/68013177](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/mesh/68013177)
19. Muscle Strength - MeSH -  
NCBI [Internet].  
Ncbi.nlm.nih.gov. 2018  
[cited 23 March 2018].  
Available from:  
[https://www.ncbi.nlm.nih.gov  
/mesh/68053580](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/mesh/68053580)
20. Sapega A, Drillings G. The  
Definition and Assessment of  
Muscular Power. *Journal of  
Orthopaedic & Sports  
Physical Therapy*.  
1983;5(1):7-9
21. Correa Bautista J, Corredor  
López D. Principios y  
métodos para el  
entrenamiento de la fuerza  
muscular. Bogotá  
(Colombia): Editorial  
Universidad del Rosario;  
2009