

Análisis de los polimorfismos ECA y ACTN3 con la agilidad en seleccionados nacionales de deportes de conjunto de Costa Rica. Estudio piloto

ACE and ACTN3 polymorphisms analysis on agility test in national players in team sports of Costa Rica. Pilot study

Análise dos polimorfismos ECA e ACTN3 com agilidade em jogadores esportivos selecionados da seleção costarriquenha. Estudo piloto

Rafael Carvajal-Espinoza
Universidad de Costa Rica, Costa Rica
rafael.carvajal@ucr.ac.cr

 <https://orcid.org/0000-0001-5223-1044>

Redalyc: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=237072359009>

José Trejos-Montoya
Universidad Nacional, Costa Rica
jtrejos@una.cr

 <https://orcid.org/0000-0002-2183-8633>


Emmanuel Herrera-González
Universidad Nacional, Costa Rica
emmanuel.herrera.gonzalez@una.cr

 <https://orcid.org/0000-0001-7672-3617>

Carolina Alemán-Ramírez
Universidad Nacional, Costa Rica
caroaleman@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-9408-2366>


Magally Márquez-Barquero
Universidad Nacional, Costa Rica
magally.marquez.barquero@una.ac.cr

 <https://orcid.org/0000-0002-1498-4798>

Jorge Cervantes-Sanabria
Universidad de Costa Rica, Costa Rica
jorge.cervantessanabria@ucr.ac.cr

 <https://orcid.org/0000-0002-8560-2902>

Tyrone Loria-Calderón
Universidad de Costa Rica, Costa Rica
tyrone.loriacalderon@ucr.ac.cr

 <https://orcid.org/0000-0002-1007-8237>

Guillermo Miranda-Benavides
Universidad Nacional, Costa Rica
guilleshvara@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-5099-4777>

Randall Gutiérrez-Vargas
Universidad Nacional, Costa Rica
randall.gutierrez.vargas@una.ac.cr

 <https://orcid.org/0000-0003-4187-3484>

Recepción: 18 Noviembre 2020
Aprobación: 02 Septiembre 2022

RESUMEN:

Objetivo: Analizar las diferencias de los polimorfismos de los genes ECA y ACTN3 en el rendimiento de una prueba de agilidad en jugadores élite de deportes colectivos pertenecientes a selecciones nacionales de Costa Rica.

Metodología: Se contó con una muestra de 33 jugadores hombres, de deportes colectivos (fútbol sala, rugby, voleibol y balonmano). Para la evaluación de la agilidad se utilizó el test de Illinois. Se realizaron dos visitas, en la primera se obtuvo muestras de células por medio de un enjuague y en la segunda se aplicó la prueba de agilidad. Se utilizó la prueba de Chi-cuadrado (X^2) para conocer las diferencias entre las frecuencias de los polimorfismos de los genes ECA y ACTN3 y el tipo de deporte.

Resultados: La mayor distribución de los polimorfismos del gen ECA, de jugadores de selecciones nacionales de deportes de conjunto, se encuentra en el ID ($X^2 = 6.87$, $p = .334$) y en ACTN3 el RX ($X^2 = 6.33$, $p = .388$). Además, tampoco se encontraron diferencias significativas entre el tiempo efectuado en el test de Illinois y los polimorfismos del gen ECA ($F = 2.150$, $p = .134$), de igual forma para los polimorfismos del gen ACTN3 ($F = .950$, $p = .339$).

Conclusiones: Los polimorfismos de los genes ECA y ACTN3 no se relacionaron estadísticamente con el tipo de deporte colectivo. La agilidad no se ve asociada por un tipo de polimorfismo, lo que indica que, de forma independiente al gen, esta cualidad física se puede entrenar y generar buenos resultados en la población en general.

PALABRAS CLAVE: deportes colectivos, gen ACTN3, gen ECA, genética.

ABSTRACT:

Objective: To analyze the differences in the polymorphisms of the ACE and ACTN3 genes on agility test performance in elite players of collective sports from National teams of Costa Rica.

Methods: a sample of 33 male team sports players (futsal, rugby, volleyball, and handball). All subjects were tested with the Illinois Agility Test. Two days of measurements were made; on the first day, cell samples were obtained and on the second day, the agility test was applied. The Chi-square test (x^2) was used to determine the differences between the frequencies of the polymorphisms of the ACE and ACTN3 genes and the type of sport.

Results: The highest distribution of polymorphisms of the ECA gene of players from national teams of collective sports was found in the ACE ID ($X^2 = 6.87$, $p = .334$), and in ACTN3 the RX ($X^2 = 6.33$, $p = .388$). Furthermore, no significant relationship was found between the Illinois test performance and the polymorphisms of the ECA gene ($F = 2.150$, $p = .134$).

Conclusions: The ACE and ACTN3 genes polymorphisms were not statistically related to the type of team sport. Agility is not associated with the type of polymorphism, which indicates that regardless of the gene, this physical quality can be trained and generate good results in the general population.

KEYWORDS: ACE gene, ACTN3 gene, genetics, team sports.

RESUMO:

Objetivo: analisar as diferenças dos polimorfismos dos genes ECA e ACTN3 na realização de um teste de agilidade em jogadores de elite de equipes esportivas pertencentes a equipes nacionais costarriquenhas.

Metodologia: foi utilizada uma amostra de 33 jogadores de futebol masculino (futsal, rúgbi, vôlei e handebol). O teste de Illinois foi usado para avaliar a agilidade. Foram feitas duas visitas; na primeira foram obtidas amostras de uma célula por lavagem e na segunda foi aplicado o teste de agilidade. O teste qui-quadrado (X^2) foi usado para determinar as diferenças entre as frequências dos polimorfismos dos genes ECA e ACTN3 e o tipo de esporte.

Resultados: A maior distribuição de polimorfismos do gene ECA em jogadores de equipes nacionais de esportes coletivos é encontrada no ID ($X^2 = 6,87$, $p = 0,334$) e no ACTN3 no RX ($X^2 = 6,33$, $p = 0,388$). Além disso, não foram encontradas diferenças significativas entre o tempo gasto no teste de Illinois e os polimorfismos do gene ECA ($F = 2,150$, $p = 0,134$), assim como para os polimorfismos do gene ACTN3 ($F = 0,950$, $p = 0,339$).

Conclusões: Os polimorfismos dos genes ECA e ACTN3 não estavam estatisticamente relacionados com o tipo de esporte coletivo. A agilidade não está associada pelo tipo de polimorfismo, indicando que, independentemente do gene, essa qualidade física pode ser treinada e gerar bons resultados na população em geral.

PALAVRAS-CHAVE: genética, gene ECA, gene ACTN3, esportes de equipe.

INTRODUCCIÓN

Un atleta de alto rendimiento debe presentar una gran gama de características físicas y psicológicas que deben expresarse al máximo para permitir competir al más alto nivel nacional e internacional (Macarthur & North, 2005). Esto ha generado una búsqueda constante de las mejores herramientas para el mejor conocimiento de prácticas que conlleven al aumento de las capacidades físicas de los atletas (Sheppard & Young, 2006).

Una de estas capacidades físicas, asociadas al rendimiento deportivo de equipo, es la agilidad, la cual se define como el cambio de dirección a la mayor velocidad de todo el cuerpo en respuesta a un estímulo (Sheppard & Young, 2006). Esta capacidad es un componente necesario en muchos deportes de conjunto, los cuales se caracterizan por la aceleración, el detenerse súbitamente y los cambios de direcciones, en distancias cortas y diferentes direcciones. Esta cualidad es muy importante en la identificación de talentos o al evaluar el rendimiento deportivo (Dawes, 2019).

Existen muchos componentes que intervienen en el rendimiento deportivo, como los factores ambientales, el entrenamiento y la nutrición, todos ellos esenciales para el desarrollo de un atleta de élite (Macarthur & North, 2005). A pesar de que estos elementos se controlen no son suficientes para alcanzar el máximo logro, sin importar lo fuerte que se entrene; es aquí donde existen otras variables como los factores genéticos que determinaran el resultado deportivo, debido a que se ha demostrado que los polimorfismos genéticos se encuentran asociados al rendimiento físico humano (Ma et al., 2013). Los estudios genéticos buscan determinar perfiles físicos y deportivos que contribuyan a la mejora del rendimiento de los atletas y, con ello, aportar información al cuerpo técnico que le permita tomar decisiones, tanto en los procesos de selección, como de planificación de entrenamiento (Ahmetov et al., 2016; Heffernan et al., 2016; Macarthur & North, 2005; Orysiak et al., 2018; Papadimitriou et al., 2016). Dentro del mapa del genoma humano, solo algunos genes se han asociado al rendimiento (Ma et al., 2013). Los investigadores se concentran en buscar perfiles genéticos exactos que contribuyan al rendimiento deportivo y determinar los mecanismos específicos involucrados (Heffernan et al., 2016; Macarthur & North, 2005; Orysiak et al., 2018; Papadimitriou et al., 2016). Estos perfiles incluyen los polimorfismos de cada gen, que son sus variaciones genotípicas, de acuerdo a sus alelos, ya sean homocigotos o heterocigotos (Arroyo, 2021).

Varias de las investigaciones son realizadas en torno a dos genes específicos: la enzima convertidora de angiotensina I (gen ECA) y la proteína α -actina-3 (gen ACTN3) (Ferreira et al., 2015). El gen de ECA inserción/eliminación (ECA ID, rs1799752), ha sido relacionado con mejoras en el rendimiento y la duración del ejercicio en variedad de poblaciones. El alelo I está asociado con bajo nivel de suero sanguíneo y de tejido por la actividad ECA y un mejor rendimiento en deportes de resistencia (Caló & Vona, 2008; Ma et al., 2013). Mientras que la forma, o alelo D, está asociado con un nivel de circulación alta y de tejido por la actividad de ECA, la cual mejora el rendimiento en deportes que requieren velocidad en series cortas de potencia (Ma et al., 2013; Orysiak et al., 2018; Papadimitriou et al., 2016).

El gen ACTN3, por su parte, codifica la proteína α -actina-3, que se encuentra en el citoesqueleto, proporciona una mejora en la velocidad de contracción muscular, indispensable para deportes de alta intensidad (Ferreira et al., 2015). El gen ACTN3 se puede manifestar de tres formas (XX, RX y RR), los que poseen el alelo X indican que procesa la proteína mencionada, y permite un mejor rendimiento en las cualidades físicas de fuerza, potencia y velocidad. El genotipo sin este alelo está relacionado con las actividades de resistencia aeróbica, el cual no procesa la proteína identificada para este gen (Barbosa et al., 2018). En este sentido, se han presentado investigaciones con el propósito de asociar este gen al rendimiento deportivo, es el caso del estudio de Orozco-Díaz et al., (2019), el cual analizó a estudiantes universitarios de Costa Rica y hallaron que el genotipo RX se asoció con la capacidad anaeróbica y aeróbica láctica y el genotipo RR mostró asociación con la potencia anaeróbica aláctica. Este artículo demuestra la relación entre un tipo de genotipo con el rendimiento deportivo. Por tanto, el gen ACTN3, se sugiere, puede ser uno de los que contribuyen a

la variación en la determinación de la composición del tipo de fibra muscular y, por ende, el estatus de atleta de élite (Gunel et al., 2014).

En consecuencia, muchas de las investigaciones han identificado los genes y su papel con el rendimiento deportivo en atletas de velocidad y de resistencia en deportes (Heffernan et al., 2016; Orysiak et al., 2018; Papadimitriou et al., 2016; Yang et al., 2003). Sin embargo, la mayoría de los estudios se ha enfocado en realizar estos análisis con sujetos de deportes individuales, de forma que se observa la necesidad de llevarlos a cabo con atletas de deportes colectivos. El propósito de este artículo es identificar y relacionar los genes ECA y ACTN3 con la agilidad, al ser esta un indicador de rendimiento deportivo de equipo, mediante el análisis en jugadores élite de deportes colectivos, pertenecientes a selecciones nacionales de Costa Rica.

METODOLOGÍA

Participantes

Se contó con una muestra no probabilística de 33 jugadores masculinos, procedentes de selecciones nacionales de deportes colectivos de Costa Rica (fútbol sala, rugby, voleibol y balonmano). La edad de la muestra fue de 22.7 años en promedio. Todos se entrenaban entre 2 a 3 veces por semana con la selección nacional correspondiente y otros 2 días más con sus respectivos clubes. También, se encontraban en periodo de competición y sostenían partidos los fines de semana de la temporada regular con sus clubes.

Instrumentos

Para la evaluación de la agilidad se utilizó el Test de Illinois, con una confiabilidad de $r = .70$, $p < .05$ (Stewart et al., 2014). Se les explicó la ejecución de la prueba y, después se aplicó. Para la medición de la agilidad se utilizó fotoceldas Smart Speed (Fusion Sport, Queensland, Australia), para tomar los tiempos de la ejecución de la prueba, las cuales poseen una precisión de 0.01 segundos.

Procedimientos

Se procedió a solicitar en primera instancia el consentimiento informado, una vez que se les detalló, a los participantes, en lo que consistía el estudio. Luego se procedió a realizar las evaluaciones al inicio de una sesión de entrenamiento del equipo de selección nacional. En primer lugar, se obtuvieron muestras de células bucales para el análisis genético, esto se hizo por medio de un enjuague bucal, utilizando una solución de sucrosa al 5 % (Aidar & Line, 2007). Las muestras se mantuvieron en refrigeración (0-4 °C) con la adición de buffer TNE (Tris/HCl, NaCl, EDTA, Etanol al 66 %) preparado, de forma previa, en el laboratorio. Luego de esto, se procedió a realizar el Test de Illinois; a los sujetos se les explicó en qué consistía la prueba, se les dio una demostración y se les permitió practicarla en dos ocasiones. Al finalizar las dos prácticas, se les solicitó que la realizaran dos veces con fines de registro, y se les tomó el mejor tiempo de ambos registros. Esta evaluación se realizó con un calentamiento previo de 5 minutos de trote y ejercicios de estiramiento dinámicos. Al inicio del estudio se le solicitó a cada participante que leyera y firmara el consentimiento informado.

Análisis genéticos

El aislamiento de ADN y su respectiva purificación se realizó utilizando el kit de extracción de ADN, DNA Blood and Tissue Mini kit (Qiagen, West Sussex, UK), según las instrucciones de manufactura. La

comprobación de la calidad del ADN extraído se verificó por medio de un gel de agarosa al 1 % y se cuantificó la cantidad por medio de un fluorómetro (Qubit 4, Thermo Fisher Scientific). Se seleccionaron los respectivos primers (para su posterior amplificación) de cada gen, de acuerdo con la bibliografía revisada (Gineviciene et al., 2016; Morales et al., 2016). El perfil térmico para cada uno de los genes fue de 30 ciclos en el termociclador con 95 °C por 5 minutos para la desnaturalización, la temperatura de alineamiento específica para cada uno de los genes de 59 °C y 60 °C por 30 segundos para ACTN-3 y ECA respectivamente, 40 segundos a 72 °C y una extensión final de 72 °C por 10 minutos. Para realizar la digestión enzimática se utilizaron las enzimas DdeI del fabricante Thermo Scientific, para el gen ACTN3. Se realizó el análisis de resultados basados en la visualización de productos de ADN amplificado (bandas), mediante la movilización electroforética de los productos de PCR (para los dos genes) y la digestión enzimática (para ACTN3), visualizados en un gel de agarosa al 3 % y teñido con Gel Red (Biotum).

Análisis estadístico

Se realizó un estudio descriptivo, transversal y comparativo. Se utilizó el promedio y la desviación estándar (DS) para elaborar el análisis descriptivo. Además, se realizó la prueba de Chi-cuadrado (X^2) para conocer las diferencias entre las frecuencias de los polimorfismos de los genes ECA y ACTN3 y el tipo de deporte. También, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de una vía de grupos independientes, para conocer si existen diferencias en los promedios de los puntajes del test de agilidad para cada grupo de genotipos de polimorfismos. Para estos análisis, se realizaron pruebas de normalidad de los datos, por medio de la prueba de “Kolmogórov-Smirnov” y de homogeneidad de varianza por medio de la prueba Levene. Se analizaron los datos en el paquete estadístico IBM “Statistical Package for the Social Sciences” (SPSS) en su versión en español número 24. Se estableció un nivel de confianza del 95 % ($p < .050$).

RESULTADOS

La mayor distribución del genotipo ECA, de jugadores de selecciones nacionales de deportes de conjunto, se encuentra en el ID ($X^2= 6.87$, $p= .334$) y en ACTN3 el RX ($X^2= 6.33$, $p= .388$), siendo no significativo estadísticamente. Con respecto a cada deporte, se evidenció que en el fútbol sala predomina el genotipo de ECA DD con un 50 % y de ACTN3 el RX con un 66.7 %, mientras que en el balonmano el predominio del ID con un 66.7 % y del RR con un 44.4 %. De manera similar, en el rugby se presentó un mayor porcentaje de jugadores con el genotipo gen ECA ID para un 57.1 %, pero en ACTN3 fue el RX con un 57.1 %. También, el voleibol presentó un predominio del ID y del RX con un 55.6 % y un 50 %, respectivamente (ver Tabla 1).

TABLA 1
 Frecuencias de genotipos ECA y ACTN3

Deporte	n	Polimorfismos de ECA						Polimorfismos de ACTN3						
		DD	%	ID	%	II	%	n	RR	%	RX	%	XX	%
Fútbol sala	8	4	50	3	37.5	1	12.5	6	1	16.7	4	66.7	1	16.7
Balonmano	9	2	22.2	6	66.7	1	11.1	9	4	44.4	3	33.3	2	22.2
Rugby	7	0	0	4	57.1	3	42.9	7	0	0	4	57.1	3	42.9
Voleibol	9	2	22.2	5	55.6	2	22.2	8	1	12.5	4	50	3	37.5
Total	33	8	24.2	18	54.5	7	21.2	30	6	20.0	15	50	9	30.0

Con respecto a la combinación de los polimorfismos y, según cada deporte, se denota que en el fútbol sala predomina el polimorfismo DD/XX al presentarlo un 40 % de los jugadores, mientras que en el balonmano el mayor porcentaje de los jugadores presentaron el polimorfismo ID/RX con un 33.3 %. El rugby no presentó un predominio, ya que los jugadores registraron un 28.6 % en los polimorfismos ID/XX, ID/RX e II/RX. Caso similar se presenta con el comportamiento de los jugadores de voleibol, donde su distribución fue muy pareja entre todas las combinaciones de los polimorfismos, siendo el ID/RX el que presentó mayor predominio con un 25 % de la muestra (ver Tablas 2, 3 y 4).

Promedios (\bar{X}), desviación estándar (DS) y muestra (n) de los genotipos de los polimorfismos ECA

TABLA 2
 Promedios (\bar{X}), desviación estándar (DS) y muestra (n) de los genotipos de los polimorfismos ECA

Polimorfismo			
ECA	n	\bar{X}	DS
DD	8	15.450	0.522
ID	18	15.983	0.936
II	7	16.306	0.737
Total	33	15.922	0.847

TABLA 3
 Promedios (\bar{X}), desviación estándar (DS) y muestra (n) de los genotipos de los polimorfismos ACTN3

Polimorfismo			
ACTN3	n	\bar{X}	DS
RR	6	15.563	0.941
RX	15	16.117	0.800
XX	9	16.085	0.919
Total	30	15.997	0.862

TABLA 4
 Frecuencias de la combinación de los genotipos de los polimorfismos ECA y ACTN3

Deporte	Combinación de genotipos y su porcentaje																	
	DD/XX	%	DD/RR	%	DD/RX	%	ID/RR	%	ID/XX	%	ID/RX	%	II/RR	%	II/XX	%	II/RX	%
Fútbol sala	2	40	0	0	1	20	1	20	0	0	1	20	0	0	0	0	0	0
Balonmano	1	11.1	1	11.1	0	0	2	22.2	1	11.1	3	33.3	1	11.1	0	0	0	0
Rugby	0	0	0	0	0	0	0	0	2	28.6	2	28.6	0	0	1	14.3	2	28.6
Voleibol	1	12.5	0	0	1	12.5	1	12.5	1	12.5	2	25.0	0	0	1	12.5	1	12.5

Al analizar la variable de agilidad no se encontraron diferencias significativas entre el tiempo ejecución (segundos) en el test de Illinois y los polimorfismos del gen ECA ($F= 2.150$, $p= .134$) y el gen ACTN3 ($F= .950$, $p= .339$), como se muestra en la Figura 1. Lo cual indica que ningún tipo del polimorfismo influyó en presentar un mejor rendimiento de la prueba de agilidad en los jugadores de selecciones nacionales de deportes de conjunto.

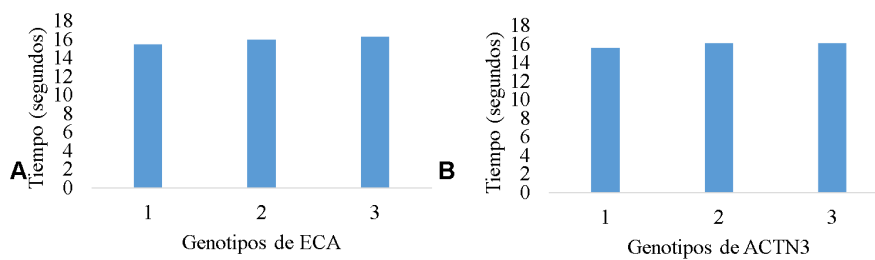


FIGURA 1
 Comparación de los polimorfismos del gen ECA (A) y ACTN3 (B) con el test de agilidad de Illinois. Fig A (1: DD 2:ID 3:II) Fig B (1:RR 2:RX 3:XX)

Con respecto a la combinación de los genes de ECA y ACTN3, tampoco se encontró diferencia estadísticamente significativa entre dicha combinación de los genes, con el resultado de la agilidad del test de agilidad ($F = 1.006$ $p = .102$), como se muestra en la Figura 2. Debido al tamaño de la muestra que se utilizó en este estudio se debe tomar con cautela estos resultados y se debe seguir investigando sobre estas variables.

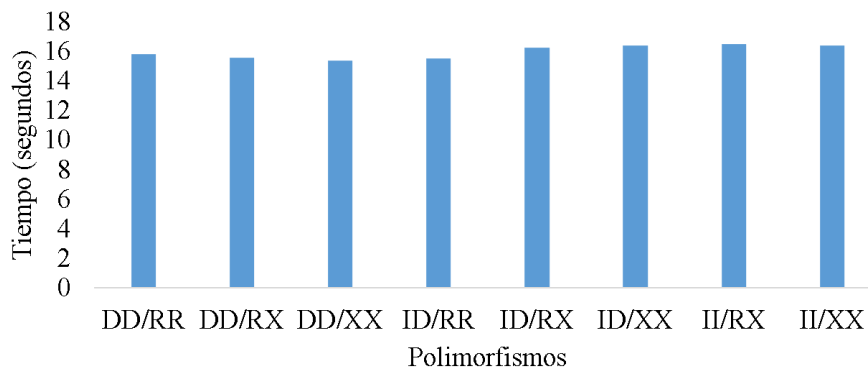


FIGURA 2
 Comparación de la combinación de los polimorfismos de los genes de ECA y ACTN3 con el test de agilidad de Illinois

DISCUSIÓN

El objetivo de este estudio fue analizar las diferencias entre el rendimiento en agilidad de los deportistas, de acuerdo a los polimorfismos de los genes ECA y ACTN3 presentes en cada sujeto. No se encontraron diferencias en las frecuencias de los polimorfismos o su asociación con la agilidad. La distribución mostró que el genotipo ID predomina en el polimorfismo del gen ECA con un 54.2 % y el RX en el gen de ACTN3 con un 50.0 %.

Lo anterior es congruente con lo observado en una muestra de futbolistas lituanos, donde el genotipo ID del gen ECA presenta un mayor porcentaje, en comparación con una población no atlética (Gineviciene et al., 2014). De manera contraria, se ha encontrado, en un grupo de futbolistas polacos, que el genotipo DD del gen ECA presentó una mayor frecuencia, en comparación con personas no atletas y atletas de resistencia de élite (Cieszczyk et al., 2016).

Respecto al gen ACTN3, de la misma forma que en este estudio, Barbosa et al., (2018) reportaron la misma incidencia del genotipo RX, en un grupo de futbolistas brasileños. Al igual que en otros estudios, se ha demostrado una similitud con los resultados encontrados en esta investigación (Dionísio et al., 2017; Eynon et al., 2014; Koku et al., 2019; Massidda et al., 2012). No obstante, existe literatura que indica que el

polimorfismo RR es el de mayor dominancia en atletas de deporte colectivo (Egorova et al., 2014; Galeandro et al., 2017; Santiago et al., 2008; Ulucan et al., 2015).

Independientemente del tipo de polimorfismos existentes en jugadores de deportes de conjunto, se puede generar un rendimiento óptimo en la agilidad, pero dado la heterogeneidad de los resultados y la variabilidad de la muestra, halladas en estudios previos, esta afirmación no es concluyente.

La literatura científica en ámbito genético y su relación con el rendimiento deportivo en cualidades físicas se ha enfocado, de forma particular, en deportes individuales. Esto se demuestra en un meta-análisis que buscó las asociaciones entre polimorfismo, la capacidad física y los fenotipos de antropometría en 17 835 deportistas europeos preadolescentes, adolescentes y adultos mayores, este evidenció que el genotipo RR es el más común entre atletas de velocidad o potencia (OR= 1.80), pero hubo poca evidencia para apoyar una asociación con ACTN3 R577X y la capacidad física (Alfred et al., 2011).

Además, se ha encontrado, en una población de gimnastas de Brasil y Japón, que el genotipo RX del ACTN3 presenta un mayor predominio y se asoció con deportes con mayor aplicación de fuerza y velocidad, mientras tanto los alelos ECA I y ACTN3 X están más presentes en deportes de velocidad (Ferreira et al., 2015). También, el genotipo ACTN3 XX y el RX han demostrado tener más influencia en deportes que requieren de mayor aplicación de fuerza explosiva (Gunel et al., 2014).

Existe evidencia sólida de una asociación entre el rendimiento deportivo en deportes individuales de resistencia y potencia con los polimorfismos ECA ID y ACTN3 RX (Ma et al., 2013). Directamente con la agilidad, este artículo muestra resultados similares con estudios donde se relacionan los polimorfismos de estos genes con la agilidad. El estudio de Jeremic et al., (2019) se efectuó con jugadoras de fútbol de la selección de Serbia, ellos no encontraron relación entre el genotipo de estos genes y la agilidad. La agilidad es una cualidad que parece no ser influenciada por el genotipo (ECA y ACTN3), presente en los participantes de deporte colectivo. Así también, lo muestra el estudio que buscó esta misma relación en una muestra de adultos mayores, estos autores reportan no hallar una relación significativa entre estos genes y la agilidad (Moraes et al., 2018).

Respecto a la combinación polimórfica, los resultados encontrados en este estudio concuerdan con estudios previos, donde se indica que tampoco se encontraron asociaciones significativas con el deporte colectivo, en comparación con el grupo de atletas de resistencia o del grupo control (Eynon et al., 2011, 2013).

De manera similar, no se encontró una relación entre la combinación del genotipo ECA ID y ACTN3 con el nivel de rendimiento (Eynon et al., 2009). Otro estudio, realizado con atletas de potencia, no observó ninguna asociación entre el polimorfismo ACTN3 y el nivel de competencia tanto en el nivel mundial como en el nivel nacional (Eynon et al., 2012).

Por otra parte, no se ha determinado la existencia de una relación entre los polimorfismos de ECA y ACTN3 con el rendimiento deportivo, dado que los genes ECA ID, ACTN3 y los genotipos R577X no parecen influir en el rendimiento en el sprint, la potencia y los deportes mixtos aerobio-anaerobio (Massidda et al., 2012). Los genotipos RR, RX, ACTN3 y ECA DD pueden beneficiar a los atletas en actividades que requieren fuerza y velocidad, mientras que el genotipo II ECA puede beneficiar a los atletas en actividades de resistencia (Massidda et al., 2012).

Existen interacciones ambientales que influyen en el desempeño de una cualidad física (Alfred et al., 2011), esto sugiere que los resultados encontrados pueden indicar que el predominio de un polimorfismo, presente en el gen ECA y ACTN3 de jugadores de deportes colectivos, no se asocia al rendimiento de la agilidad. Sin embargo, estos resultados hay que analizarlos con cautela, dado que los estudios previos encontrados se basan en atletas de deportes individuales, con cualidades físicas específicas. Este estudio referencia a la agilidad, la cual presenta un compendio de cualidades físicas como fuerza, potencia y velocidad, lo que hace su composición más compleja (Sheppard & Young, 2006).

CONCLUSIONES

La distribución de los polimorfismos de los genes ECA, ACTN3 y su combinación no se relacionaron estadísticamente con el tipo de deporte colectivo. También, la agilidad no se nota relacionada por ningún tipo de polimorfismo, lo que indica que, independientemente del gen, esta cualidad física se puede entrenar y generar buenos resultados sin depender de la manifestación del gen.

LIMITACIONES

El tamaño de la muestra para este estudio fue pequeño.

REFERENCIAS

- Ahmetov, I., Egorova, E., Gabdrakhmanova, L., & Fedotovskaya, O. (2016). Genes and Athletic Performance: An Update. *Medicine and Sport Science*, 61, 41-54. <https://doi.org/10.1159/000445240>
- Aidar, M., & Line, S. (2007). A simple and cost-effective protocol for DNA isolation from buccal epithelial cells. *Brazilian Dental Journal*, 18(2), 148-152. <https://doi.org/10.1590/S0103-64402007000200012>
- Alfred, T., Ben-Shlomo, Y., Cooper, R., Hardy, R., Cooper, C., Deary, I., Gunnell, D., Harris, S., Kumari, M., Martin, R., Moran, C., Pitsiladis, Y., Ring, S., Sayer, A., Smith, G., Starr, J., Kuh, D., & Day, I. (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. <https://doi.org/10.1002/humu.21526>
- Arroyo, W. (2021). Genética y fútbol: Asociación de los polimorfismos genéticos ACTN3 y ACE-I/D en jugadores de fútbol: Revisión literaria. *Retos*, 39. <https://doi.org/10.47197/retos.v0i39.79347>
- Barbosa, D., Mendoza, E., Cruz, I., Magalhães, B., Kappes, L., Cruz, E., Santos, M., & Silami, E. (2018). Evidence for a Role of ACTN3 R577X Polymorphism in Football Player's Career Progression. *International Journal of Sports Medicine*, 39(14), 1088-1093. <https://doi.org/10.1055/a-0753-4973>
- Caló, M., & Vona, G. (2008). Gene polymorphisms and elite athletic performance. *Journal of Anthropological Sciences = Rivista Di Antropologia#*: JASS, 86, 113-131.
- Cięszczyk, P., Leońska-Duniec, A., Maciejewska-Skrendo, A., Sawczuk, M., Leźnicka, K., Contrò, V., Trybek, G., & Lulińska-Kuklik, E. (2016). Variation in the ACE gene in elite Polish football players. *Human Movement*, 17(4), 237-241. <https://doi.org/10.1515/humo-2016-0032>
- Dawes, J. (2019). *Developing Agility and Quickness* (2nd Edition). Human Kinetics. <https://us.humankinetics.com/products/developing-agility-and-quickness-online-ce-course-2nd-edition>
- Dionísio, T., Thiengo, C., Brozoski, D., Dionísio, E., Talamoni, G., Silva, R., Garlet, G., Santos, C., & Amaral, S. (2017). The influence of genetic polymorphisms on performance and cardiac and hemodynamic parameters among Brazilian soccer players. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 42(6), 596-604. <https://doi.org/10.1139/apnm-2016-0608>
- Egorova, E., Borisova, A., Mustafina, L., Arkhipova, A., Gabbasov, R., Druzhevskaya, A., Astratenkova, I., & Ahmetov, I. (2014). The polygenic profile of Russian football players. *Journal of Sports Sciences*, 32(13), 1286-1293. <https://doi.org/10.1080/02640414.2014.898853>
- Eynon, N., Alves, A., Yamin, C., Sagiv, M., Duarte, J., Oliveira, J., Ayalon, M., Goldhammer, E., Sagiv, M., & Meckel, Y. (2009). Is there an ACE ID - ACTN3 R577X polymorphisms interaction that influences sprint performance? *International Journal of Sports Medicine*, 30(12), 888-891. <https://doi.org/10.1055/s-0029-1238291>
- Eynon, N., Banting, L., Ruiz, J., Cieszczyk, P., Dyatlov, D., Maciejewska-Karłowska, A., Sawczuk, M., Pushkarev, V., Kulikov, L., Pushkarev, E., Femia, P., Stepto, N., Bishop, D., & Lucia, A. (2013). ACTN3 R577X polymorphism and team-sport performance: A study involving three European cohorts. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 17(1), 102-106. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2013.02.005>

- Eynon, N., Ruiz, J., Femia, P., Pushkarev, V. P., Cieszczyk, P., Maciejewska-Karłowska, A., Sawczuk, M., Dyatlov, D., Lekontsev, E., Kulikov, L., Birk, R., Bishop, D., & Lucia, A. (2012). The ACTN3 R577X polymorphism across three groups of elite male European athletes. *PLoS One*, 7(8), e43132. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0043132>
- 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. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2011.207035>
- Ferreira, A., Caniunqueo, A., Hernández, C., da Silva, S., Izquierdo, M., Silva, H., Ramirez-Campillo, R., & Fernandes, J. (2015). Polimorfismo del Gen ACTN3 y ECA en Seleccionados de Gimnasia de Brasil y Japón. *International Journal of Morphology*, 33(1), 262-266. <https://doi.org/10.4067/S0717-95022015000100041>
- Galeandro, V., Notarnicola, A., Bianco, A., Tafuri, S., Russo, L., Pesce, V., Moretti, B., & Petruzzella, V. (2017). ACTN3/ACE genotypes and mitochondrial genome in professional soccer players' performance. *Journal of Biological Regulators and Homeostatic Agents*, 31(1), 207-213.
- Gineviciene, V., Jakaitiene, A., Aksenov, M., Aksenova, A., Druzhevskaya, A., Astratenkova, I., Egorova, E., Gabdrakhmanova, L., Tubelis, L., Kucinskas, V., & Utkus, A. (2016). Association analysis of ACE, ACTN3 and PPARGC1A gene polymorphisms in two cohorts of European strength and power athletes. *Biology of Sport*, 33(3), 199-206. <https://doi.org/10.5604/20831862.1201051>
- Gineviciene, V., Jakaitiene, A., Tubelis, L., & Kucinskas, V. (2014). Variation in the ACE, PPARGC1A and PPARA genes in Lithuanian football players. *European Journal of Sport Science*, 14(1), S289-295. <https://doi.org/10.1080/17461391.2012.691117>
- Gunel, T., Gumusoglu, E., Hosseini, M., Yilmazyildirim, E., Dolekcap, I., & Aydinli, K. (2014). Effect of angiotensin I-converting enzyme and α -actinin-3 gene polymorphisms on sport performance. *Molecular Medicine Reports*, 9(4), 1422-1426. <https://doi.org/10.3892/mmr.2014.1974>
- Heffernan, S., Kilduff, L., Erskine, R., Day, S., McPhee, J., McMahon, G., Stebbings, G., Neale, J., Lockey, S., Ribbans, W., Cook, C., Vance, B., Raleigh, S., Roberts, C., Bennett, M., Wang, G., Collins, M., Pitsiladis, Y., & Williams, A. (2016). Association of ACTN3 R577X but not ACE I/D gene variants with elite rugby union player status and playing position. *Physiological Genomics*, 48(3), 196-201. <https://doi.org/10.1152/physiolgenomics.00107.2015>
- Jeremic, D., Zivanovic, I., Vulovic, M., Stevanovic, J., Radovanovic, D., Varjadic, V., & Djordjevic, D. (2019). ACE/ACTN3 genetic polymorphisms and athletic performance of female soccer players'. *Revista Brasileira de Medicina Do Esporte*, 25(1), 35-39. <https://doi.org/10.1590/1517-869220192501187684>
- Koku, F., Karamızrak, S., Çiftçi, A. S., Taşlıdere, H., Durmaz, B., & Çoğulu, Ö. (2019). The relationship between ACTN3 R577X gene polymorphism and physical performance in amateur soccer players and sedentary individuals. *Biology of Sport*, 36(1), 9-16. <https://doi.org/10.5114/biolsport.2018.78900>
- 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. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0054685>
- Macarthur, D., & North, K. (2005). Genes and human elite athletic performance. *Human Genetics*, 116(5), 331-339. <https://doi.org/10.1007/s00439-005-1261-8>
- Massidda, M., Corrias, L., Scorcu, M., Vona, G., & Calò, M. (2012). ACTN-3 and ACE genotypes in elite male Italian athletes. *Anthropological Review*, 75(1), 51-59. <https://doi.org/10.2478/v10044-012-0004-4>
- Moraes, V. N., Trapé, A. A., Ferezin, L. P., Gonçalves, T. C. P., Monteiro, C. P., & Bueno, C. R. (2018). Association of ACE ID and ACTN3 C>T genetic polymorphisms with response to a multicomponent training program in physical performance in women from 50 to 70 years. *Science & Sports*, 33(5), 282-290. <https://doi.org/10.1016/j.scispo.2018.03.077>
- Morales, M., Sentchilo, V., Bertelli, C., Komljenovic, A., Kryuchkova-Mostacci, N., Bourdilloud, A., Linke, B., Goesmann, A., Harshman, K., Segers, F., Delapierre, F., Fiorucci, D., Seppey, M., Trofimenco, E., Berra, P., Taher, A. E., Loiseau, C., Roggero, D., Sulfiotti, M., Etienne, A., Ruiz, G., Pillard, L., Escoriza, A., Moritz, R., Schneider, C., Alfonso, E., Jeddou, F., Selmoni, O., Resch, G., Greub, G., Emery, O., Dubey, M., Pilonel, T.,

- Robinson-Rechavi, M. & van der Meer, J. R. (2016). The Genome of the Toluene-Degrading *Pseudomonas veronii* Strain 1YdBTEX2 and Its Differential Gene Expression in Contaminated Sand. *PLOS ONE*, 11(11), e0165850. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0165850>
- Orozco-Diaz, A., Moncada-Jiménez, J., & Leal, A. (2019). Allelic and genotypic frequencies of Actinin 3 gene (ACTN3) in the Costa Rican population and its association with physical fitness in college students. *Biology of Exercise*, 15(1), 1-12. <https://doi.org/10.4127/jbe.2019.0142>
- Orysiak, J., Mazur-Różycka, J., Busko, K., Gajewski, J., Szczepanska, B., & Malczewska-Lenczowska, J. (2018). Individual and Combined Influence of ACE and ACTN3 Genes on Muscle Phenotypes in Polish Athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(10), 2776-2782. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001839>
- Papadimitriou, I. D., Lucía, A., Pitsiladis, Y., Pushkarev, V., Dyatlov, D., Orekhov, E., Artioli, G., Guilherme, J., Lancha, A., Ginevičienė, V., Cieszczyk, P., Maciejewska-Karłowska, A., Sawczuk, M., Muniesa, C., Kouvatzi, A., Massidda, M., Calò, C., Garton, F., Houweling, P., Wang, G., Austin, K., Druzhevskaya, A., Astratenkova, I., Ahmetov, I., & Eynon, N. (2016). ACTN3 R577X and ACE I/D gene variants influence performance in elite sprinters: A multi-cohort study. *BMC Genomics*, 17, 285. <https://doi.org/10.1186/s12864-016-2462-3>
- Santiago, C., González-Freire, M., Serratos, L., Morate, F., Meyer, T., Gómez-Gallego, F., & Lucía, A. (2008). ACTN3 genotype in professional soccer players. *British Journal of Sports Medicine*, 42(1), 71-73. <https://doi.org/10.1136/bjism.2007.039172>
- Sheppard, J., & Young, W. (2006). Agility literature review: Classifications, training and testing. *Journal of Sports Sciences*, 24(9), 919-932. <https://doi.org/10.1080/02640410500457109>
- Stewart, P., Turner, A., & Miller, S. (2014). Reliability, factorial validity, and interrelationships of five commonly used change of direction speed tests. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 24(3), 500-506. <https://doi.org/10.1111/sms.12019>
- Ulucan, K., Sercan, C., & Biyikli, T. (2015). Distribution of Angiotensin-1 Converting Enzyme Insertion/Deletion and α -Actinin-3 Codon 577 Polymorphisms in Turkish Male Soccer Players. *Genetics & Epigenetics*, 7, 1-4. <https://doi.org/10.4137/GEG.S31479>
- Yang, N., MacArthur, D., Gulbin, J., Hahn, A., Beggs, A., Eastal, S., & North, K. (2003). ACTN3 genotype is associated with human elite athletic performance. *American Journal of Human Genetics*, 73(3), 627-631. <https://doi.org/10.1086/377590>