

LA NUEVA FRONTERA DE LA PREPARACIÓN DEPORTIVA, LA GENÉTICA Y EL POLIMORFISMO ACE I/D EN ATLETAS DE RESISTENCIA

THE NEW FRONTIER OF SPORTS PREPARATION, GENETIC AND THE POLIMORPHISM ACE I/D IN ENDURANCE ATHLETES

Wilson Arroyo-Moya¹; Alonso Rodríguez-Buitrago²
Alejandro Escarria-Moreno¹

¹Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales. Bogotá D.C.-Colombia. warroyo@udca.edu.co, alonrod@hotmail.com; pescarria@udca.edu.co

Cómo citar: Arroyo-Moya, W.; Rodríguez-Buitrago, A.; Escarria-Moreno, A. 2020. La nueva frontera de la preparación deportiva, la genética y el polimorfismo ACE I/D en atletas de resistencia. Revista Digital: Actividad Física Y Deporte. 6(2):100-117. <https://doi.org/10.31910/rdafd.v6.n2.2020.1571>

Artículo de acceso abierto publicado por: Revista Digital: Actividad Física y Deporte, bajo una licencia Creative Commons CC BY-NC 4.0.

Publicación oficial de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Institución de Educación Superior Acreditada de Alta Calidad por el Ministerio de Educación Nacional.

Recibido: 20 de marzo de 2020. **Aceptado:** 15 de abril de 2020. **Editado por:** Álvaro José Gracia Díaz

RESUMEN

Introducción: Se han identificado al menos 120 marcadores genéticos asociados al deporte, siendo el polimorfismo ACE I/D uno de los más estudiados y relacionados con el rendimiento en deportes de resistencia. **Objetivo:** Nuestro estudio buscó revisar la evidencia de la relación entre el polimorfismo ACE / ID y el rendimiento deportivo en deportistas de resistencia. **Metodología:** Se realizó una revisión de literatura en tres bases de datos (PubMed, SportDiscus y Scopus), utilizando los términos MESH y la ecuación de búsqueda [ACE I/D polymorphism and endurance athletes]. **Resultados:** Se encontró una mayor frecuencia del alelo I y el

genotipo ID en los estudios, la comparación entre grupos de atletas y controles sugiere una relación positiva entre el polimorfismo y el rendimiento, debido a los resultados de los atletas para el genotipo II. **Conclusiones:** En deportes de resistencia, el polimorfismo ACE I/D tiene una incidencia directa en el rendimiento de los atletas. Nuestros resultados observan que la combinación del alelo I y el genotipo ID serían las características genéticas a tener en cuenta, en un deportista con condiciones para estas pruebas. Este tipo de investigaciones representarían un paso importante en el desarrollo deportivo y en futuras líneas de investigación para nuestro país, y como lo

sugiere la literatura en la detección, selección y preparación de nuevos talentos deportivos.

Palabras clave: genética, polimorfismo ACE I/D, atletas de resistencia, selección deportiva.

ABSTRACT

Introduction: At least 120 genetic markers associated with sport are identified, with ACE I/D polymorphism being one of the most studied and performance-related in endurance sports. **Objective:** Our study sought to review the evidence of the relationship between ACE / ID polymorphism and sports performance in endurance athletes. **Methodology:** A literature review was carried out in three databases (PubMed, SportDiscus and Scopus) using the terms MESH and the search equation [ACE I/D polymorphism and endurance athletes]. **Results:** A higher frequency of allele I and genotype ID was found in the studies, the comparison between athlete groups and controls suggests a positive relationship between polymorphism and performance, due to the athletes' results for genotype II. **Conclusions:** In endurance sports, ACE I/D polymorphism has a direct impact on the performance of athletes. Our results show that the combination of allele I and genotype ID would be the genetic characteristics to be taken into account in an athlete with conditions for these tests. This type of research would represent an important step in the development of sports and in future lines of research for our country, and as the literature suggests in the detection, selection and preparation of new sporting talents.

Keywords: genetic, ACE I/D polymorphism, endurance athletes, sport selection.

INTRODUCCIÓN

El descubrimiento de los primeros marcadores genéticos, asociados con el rendimiento deportivo datan de principios del siglo XXI, y, debido a que, la genotipificación está cada vez más disponible, por eso, se han publicado una gran cantidad de estudios que evalúan variantes genéticas candidatas (Ahmetov & Fedotovskaya, 2015). Estas variantes genéticas han sido publicadas en el mapa del gen humano para los fenotipos de rendimiento y fitness relacionados con la salud (Sánchez *et al.* 2009).

El ACE I/D es uno de los polimorfismos genéticos más estudiados y ampliamente asociados, con el rendimiento deportivo en la última década (Sgourou *et al.* 2012). Esta variación se define por la presencia (inserción, alelo I) o la ausencia (delección, alelo D) de un fragmento de 287 pb, del cual se derivan tres variantes genotípicas II, ID y DD. El principal efecto de este polimorfismo se da en el sistema renina-angiotensina-aldosterona, debido a que, a través de su activación, la Angiotensina I se convierte en Angiotensina II (conocida por su potente función en la vasoconstricción) de igual manera, la ACE inactiva a la bradiquinina (conocida por su potencia vasodilatadora) (Moya *et al.* 2012). Es así que, el aumento de la actividad de la ACE impulsa respuestas hipertensivas y disminuye las respuestas hipotensoras, desempeñando así, un papel crucial en la regulación de la presión arterial humana y la homeóstasis de sal y agua (Puthuchery *et al.* 2011). El alelo I es asociado con una menor actividad enzimática, y ha sido, altamente relacionado al rendimiento en deportes de resistencia, mientras que, al alelo D se asocia con una mayor actividad enzimática, aumentando los niveles de

angiotensina II, y lo relacionan, con el rendimiento en deportes de fuerza/potencia (Jones *et al.* 2002; Eider *et al.* 2013).

En este orden de ideas, nuestro estudio busca revisar la evidencia de la relación entre el polimorfismo ACE/ID y el rendimiento deportivo en deportistas de resistencia, y observar, cuál es combinación alélica y genotípica que más destaca en esta población, esto con el fin, de utilizarlo como herramienta principal para guiar investigaciones futuras en nuestro país.

Es importante para nosotros, describir cuales son los posibles usos de la genética dentro del deporte, más específicamente, en el proceso de detección y selección de talentos deportivos y hacer un recuento histórico del uso de ésta a nivel deporte. Por eso, vemos preciso describir los siguientes aspectos dentro de la introducción.

La genética asociada al deporte

La estructura genética del ser humano no solo determina el color de ojos o del cabello de las personas, sino también, cada uno de los procesos metabólicos que se llevan a cabo dentro del cuerpo. Cuando se examinan estas predisposiciones, se llega a entender que: 1.- La edad, 2.- El género, 3.- Las características anatómicas y 4.- Fisiológicas, el sistema nervioso, en toda la estructura cardiovascular y las habilidades bio-motoras básicas y auxiliares, dependen del componente genético de cada individuo, lo que también, determinaría el rendimiento deportivo de los sujetos (Ozveren *et al.* 2014).

Múltiples investigaciones han buscado determinar: ¿Cuáles son los genes implicados en las diferentes características fenotípicas de

la condición física del ser humano? Cada uno de los genes hallados han sido publicados periódicamente, en el mapa del gen humano para los fenotipos de rendimiento y fitness relacionados con la salud (Sánchez *et al.* 2009). Las primeras investigaciones relacionadas con el rendimiento físico, iban encaminadas a conocer el porcentaje de heredabilidad de algunos fenotipos como: el VO₂ Max, fibras musculares, algunas estructuras del corazón, entre otras (Bouchard *et al.* 2011). "La heredabilidad es un índice que muestra, qué parte de la variación en un rasgo se debe a la variación en los factores genéticos, y que dichos valores, oscilan entre 0% (0,00) y 100% (1,00)" (Mikami *et al.* 2017). Por ejemplo, se ha estimado en un 66% (0,66) la heredabilidad del estado del atleta (Fang *et al.* 2013).

Uno de los estudios más importantes relacionados con la heredabilidad de fenotipos, realizado por: Bouchard *et al.* (1992), que tenía como principal objetivo, estudiar el papel del genotipo (hace referencia a todo el material genético del individuo) en las diferentes repuestas fisiológicas al ejercicio físico. Una de sus justificaciones era que se creía que los genes desempeñaban un papel importante, en la determinación de los beneficios generales y mejoras en el rendimiento. A partir de este proyecto, denominado: El HERITAGE family study, publicado en 1995, se han desarrollado más de 180 publicaciones (hasta 2018) que relacionan la actividad genética con el rendimiento deportivo y otras áreas de la salud. En uno de esos estudios se muestra el valor porcentual de heredabilidad, que tienen algunos fenotipos ligados al deporte (Tabla 1).

Por otra parte, Miyamoto-Mikami *et al.* (2017), realizaron una revisión sistemática y un meta-análisis sobre la heredabilidad de

varios fenotipos relacionados a la resistencia, en donde hallaron las medias ponderadas de la heredabilidad de los valores absolutos máximos de: VO₂ y los ajustados según el peso corporal y la masa libre de grasa de varios estudios, los resultados fueron: De 0,68 (IC 95%: 0,59-0,77), 0,56 (IC 95%: 0,47-0,65) y 0,44 (IC 95%: 0,13-0,75), respectivamente. Para los fenotipos de resistencia sub-máxima y el rendimiento de resistencia, la heredabilidad media ponderada fue: 0,49 (IC del 95%: 0,33 0,65) y 0,53 (IC del 95%: 0,27 a 0,78), respectivamente. Es decir, que una persona puede heredar de sus padres un porcentaje superior al 50% para el desempeño de la capacidad de resistir.

En otra línea de investigación los estudios de genética buscan la asociación de un gen candidato con los fenotipos de la condición física, y a partir de eso, se intenta estudiar las variaciones más comunes del gen (alelos) en número de sujetos (Muniesa, 2011).

En este sentido, Ahmetov & Fedotovskaya (2015), revelaron en una revisión literaria que al menos 120 marcadores genéticos (localizados dentro de 53 genes autosómicos, ADN mitocondrial, ADN mt y cromosoma Y) están vinculados a la condición del atleta de élite. Encontraron que varios de estos marcadores genéticos están relacionados con la potencia / fuerza: ACE D, ACTN3 Arg577, AMPD1 Gln12, HIF1A 582Ser, MTHFR rs1801131C, NOS3. rs2070744 T, PPARG 12Ala) y otros, relacionados con la resistencia: ACE I, ACTN3 R577X, PPARA rs4253778 G, PPARGC1A Gly482, todos estos mostrando asociaciones positivas con el rendimiento (Stucky, 2018). También, han sido relacionados varios genes (COL1A1, COL5A5, TNC, 5HTT, BDNF, UCP2) con el aparato tendinoso y capacidades psicológicas (Lippi *et al.* 2010).

Tabla 1. Porcentaje de Heredabilidad de Varios Fenotipos Ligados al Deporte. Adaptado de Bouchard *et al.* (2011).

Indicador/Capacidad	% Heredabilidad
Resistencia	50%
Consumo máximo oxígeno (Vo₂ Máx).	51%
Capacidad sub-máxima	Entre 29%-70%
Estructuras del corazón (Exceptuando diámetro ventrículo izquierdo).	Entre 29%-68%
Masa del ventrículo izquierdo.	39 % en hombres/ 69% en mujeres
Volumen sistólico/Gasto cardíaco.	49%
Resistencia muscular.	21%
Fuerza muscular.	30%
Fibras musculares tipo 1.	45%

La genética en la detección y selección del deportista

La importancia de poseer ciertas características y una predisposición para el deporte de rendimiento, es cada vez mayor; estas características unidas al adecuado proceso sistemático orientado al desarrollo de las habilidades y capacidades del deportista, permitirán alcanzar los máximos resultados en la competición deportiva. Ahora bien, ¿Cuál es el primer paso para encaminarse en ese proceso? En la literatura científica se evidencia un acuerdo en que la formación de los deportistas comienza con la detección/selección de ese sujeto especial, un proceso que ha representado, uno de los problemas más importantes de las distintas modalidades deportivas (Leiva, 2010). En ese orden de ideas, la detección de un talento deportivo, tiene como objetivo principal predecir si un joven podrá desarrollar el potencial de adaptación al entrenamiento y que su capacidad de aprendizaje técnico, será el ideal para emprender las posteriores etapas del entrenamiento (Leger, 1986 en Mahmoud & Fernández, 2009). Por otro lado, Platonov & Bulatova (2015), plantean que la selección deportiva, es un proceso de constante búsqueda de las personas mejor dotadas, capaces de lograr grandes resultados, en una disciplina deportiva concreta.

La eficacia de la selección deportiva se evidencia en el éxito o fracaso final, y en este sentido: Bompá, (2007) nos explica los dos caminos de selección de sujetos, que se pueden evidenciar en el inicio del proceso de preparación deportiva. Estos caminos son: **La selección natural y la selección científica**. La primera representa, lo que habitualmente, se evidencia en países en vía de desarrollo; un niño o joven, que se inscriben en un deporte

a causa de la tradición educacional, el deseo de los padres o la influencia del medio que los rodea. En este sentido, lo que el autor plantea, es que la evolución en el potencial y el aprendizaje, dependerá del hecho que el individuo posea o no, talento para ese deporte, lo que da como resultado, con mucha frecuencia, es que el proceso deportivo sea más lento y poco exitoso.

En cambio, la selección científica tiene en cuenta las observaciones de los científicos del deporte, que a través de valoraciones específicas, tales como: 1.- Evaluaciones genéticas, 2.- Antropométricas o los resultados obtenidos en baterías de test, 3.- Determinen que los deportistas seleccionados poseen las aptitudes y 4.- Características fundamentales para la práctica de un determinado deporte, lo que conlleva, a que el tiempo que requiere el individuo, para alcanzar el alto rendimiento, sea más corto, debido a que, se determinaron ciertas aptitudes importantes. En Colombia, por ejemplo, autores como: Leiva (2010) han planteado varias manifestaciones de la selección deportiva, clasificándolas así:

- I. Selección natural o tradicional: La cual se cumple de forma espontánea a largo tiempo, no posee un criterio claro. Esta requiere de una gran inversión de recursos, y en ella, no se garantiza la consecución de logros.
- II. Selección estructurada: Esta se plantea por etapas, posee tiempos determinados en que, se debe cumplir con ciertas tareas establecidas, dadas por los procesos de investigación.

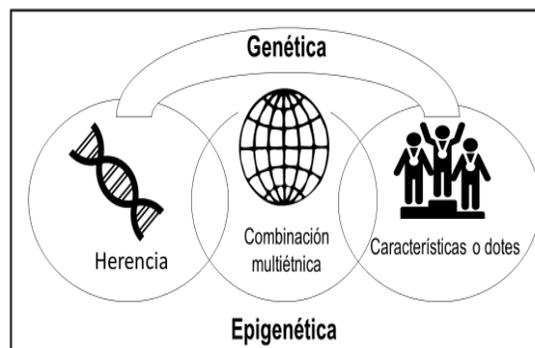
Diversos autores: Manso (1996); Bompá (2007); Rees *et al.* (2016): Proponen tener en cuenta, los siguientes criterios a la hora de seleccionar un deportista: El componente hereditario en primer lugar: La edad biológica

y edad óptima de selección, el estado de salud, los parámetros antropométricos, la composición muscular, el potencial de desarrollo de cualidades físicas y coordinativas, la predisposición al rendimiento, sus características psicológicas, las capacidades cognitivas, las características socioeconómicas y los antecedentes históricos. Es debido, a tal magnitud de criterios específicos, que la selección científica o estructurada, por su mayor acercamiento al éxito, representa el proceso adecuado y pertinente para llevar a cabo en la identificación de los deportistas.

Bajo la génesis de estos conceptos y en forma de resumen, se pueden identificar varios componentes constitutivos a tener cuenta, que conducen a la ubicación del deportista, como elemento de partida fundamental para garantizar la pertinencia del proceso de preparación deportiva. En primeras investigaciones, Ficher citado en Leiva (2010), estudió la talla en familiares de distinto grado de parentesco, y concluyó, que la herencia de la talla presenta una relación de $\frac{1}{4}$ con los abuelos, $\frac{1}{8}$ con los primos y $\frac{1}{2}$ con los padres, por eso, lo primero es establecer que las capacidades de heredabilidad manifestadas en el joven, por la transmisión de información proveniente de los progenitores, son de vital importancia, debido a que, los padres hacen parte del historial deportivo del sujeto, porque, tienen presencia de rasgos variados de dichos sujetos. Otro componente, obedece netamente a las características específicas y propias, del individuo frente a una actividad deportiva (Figura 1). Cabe resaltar que el estudio de factores hereditarios se está empleando mundialmente en la práctica de la Detección/selección deportiva, posibilitando así, la opción más adecuada para llevar a cabo procesos de especialización en el deporte,

con una perspectiva en la optimización del talento individual (Rolim, 2007).

Figura 1. Componentes participantes en la selección deportiva (elaborado por los autores).



MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño de investigación

Este es un estudio de tipo descriptivo propositivo y para su realización, se llevaron a cabo dos fases, una primera de revisión bibliográfica y una segunda fase de clasificación y análisis de la información.

Fase 1. Revisión bibliográfica: Se realizó una búsqueda detallada en las bases de datos: PubMed, Scopus y SportDiscus. Se usaron los títulos de términos médicos (Medical Subjects Headings) MESH y la ecuación de búsqueda [ACE I/D polymorphism and endurance athletes]. La búsqueda bibliográfica se limitó a los estudios desde el 1 de enero de 2009, hasta el 31 de diciembre de 2018, debido a que, este marco de tiempo permite capturar investigaciones más recientes. Los criterios de inclusión de los artículos fueron: Artículos donde los polimorfismos ACE I/D fuera objeto de estudio, estudios donde participarán deportistas profesionales o amateurs, se consideró cualquier tipo de diseño

investigativo, solo se incluyeron artículos en inglés y publicados en revistas percentil: Q1, Q2 y Q3 según la plataforma Schimago. Se excluyeron trabajos no publicados, actas de conferencias y resúmenes.

Fase 2. Clasificación de la información: Los artículos fueron clasificados de acuerdo a las siguientes temáticas: 1.- Frecuencias alélicas y genotípicas de los estudios, 2.- Análisis de frecuencias entre atletas y grupos control, y 3.- Un análisis por: Ubicación geográfica.

Análisis estadístico

Para este paso, se utilizó la herramienta Excel y la función promedio para obtener la media aritmética, para los resultados de frecuencias alélicas y genotípicas de cada uno de los estudios, y así, observar cual tiene mayor frecuencia.

RESULTADOS

La búsqueda inicial, concretó un total de quinientos ochenta artículos, que podrían ser potencialmente buenos para el estudio. Después excluir artículos, con base al: 1.- Título, 2.- Resumen y 3.- Eliminar los artículos duplicados, todo se redujo a un total de trece artículos funcionales y, potencialmente, buenos para este estudio (Tabla 2). Los resultados para las frecuencias alélicas indicaron un mayor promedio para el alelo ACE I, en comparación con el alelo D (Alelo I= 55% vs Alelo D= 45%) (Figura 2). En relación con las frecuencias genotípicas, los estudios indican una mayor actividad del genotipo ID, los promedios reportados para las frecuencias genotípicas fueron: (ID=46%; II=32%; DD=22%) (Figura 3).

Tabla 2. Artículos seleccionados

Autores	Fr alélicas %		Fr genotipo %			n	AR	Deporte
	I	D	%II	%ID	%DD			
Pauluaskas et al. (2009):	56%	44%	30%	50%	20%	255	81	Maratonistas
Shenoy et al. (2010):	85%	15%	48%	45%	7%	130	29	Triatletas
Tobina et al. (2010):	65%	35%	51%	27%	22%	370	37	Maratonistas
Holdys et al. (2011):	NR	NR	36%	42%	22%	239	50	Varios
Wang et al. (2013):	48%	52%	24.20%	47%	28.80%	519	68	Nadadores
Orysiak et al. (2013):	46%	54%	21%	50%	29%	66	66	Varios/Invierno
Shamoradi et al. (2014):	36%	64%	42.86%	51.02%	6.12%	156	37	Ciclistas
Grenda et al. (2014):	NR	NR	38%	35%	27%	196	49	Nadadores
Yusof et al. (2015):	56%	44%	15%	57%	28%	360	34	Nes
Znazen et al. (2015):	44%	56%	30.60%	53.70%	15.70%	493	149	Nes
Jastrzebski et al. (2014):	57%	43%	29.31%	53.44%	17.25%	236	121	Remeros
Magi et al. (2016):	NR	NR	31.60%	46.10%	22.30%	380	58	Esquiadores
Gronek et al. (2018):	55%	45%	16.22%	40.54%	43.24%	180	76*	M. Maratón

NR = No reportó, AR = Atletas Resistencia, Nes = No específica

Análisis de las frecuencias alélicas y genotípicas entre atletas y grupos control:

Ocho de los estudios reportaron las frecuencias alélicas para el grupo de atletas y los grupos controles. Al analizar estas, nos encontramos con una diferencia significativa en los promedios para el alelo I. En el grupo de atletas el promedio de la frecuencia reportada fue de un: 55%, mientras que, los grupos controles obtuvieron un promedio del: 49%. Cabe resaltar que el grupo de atletas participantes de estos estudios, eran: 1.- Maratonistas, 2.- Medio maratonistas, 3.- Triatletas y 4.- Remeros. Por otro lado, el alelo D obtuvo un mayor promedio de frecuencia para los grupos controles de los estudios, siendo esta: 51% y un: 45% para el grupo de atletas, respectivamente (Figura 4).

En cuanto a la comparación para las frecuencias genotípicas, los promedios arrojaron una paridad para el genotipo ID, siendo un poco mayor para los grupos control. Se encontraron diferencias significativas para el genotipo II, en donde los grupos de atletas fueron superiores a los grupos controles (33% vs 24%). Para el genotipo DD el grupo control obtuvo mayor

frecuencia, pero no muy significativa (figura 5).

Análisis de las frecuencias alélicas y genotípicas por continente

Para este caso, los promedios para cada una de las frecuencias fueron divididas por grupos dependiendo del país de origen de los atletas participantes. De los trece artículos, ocho de estos trabajaron con atletas de países europeos, cuatro con asiáticos y uno con africanos. El promedio de las frecuencias alélicas fue mayor para el alelo I, para el grupo de países europeos (53% vs 47%) y asiáticos, siendo este último, el que reportó la mayor frecuencia (60% vs 40%). En el único estudio africano se observó al alelo D con mayor porcentaje (56% vs 44%) (Figura 6).

El promedio de las frecuencias genotípicas reportó para Asia una mayor frecuencia para el genotipo II. En cuanto al grupo Europa, la frecuencia de mayor promedio fue el genotipo ID, al igual que, para el grupo África. Para el genotipo II, el grupo Asia obtuvo mayor promedio de los tres, mientras que, para el ID y el DD fue el grupo África (Figura 7).

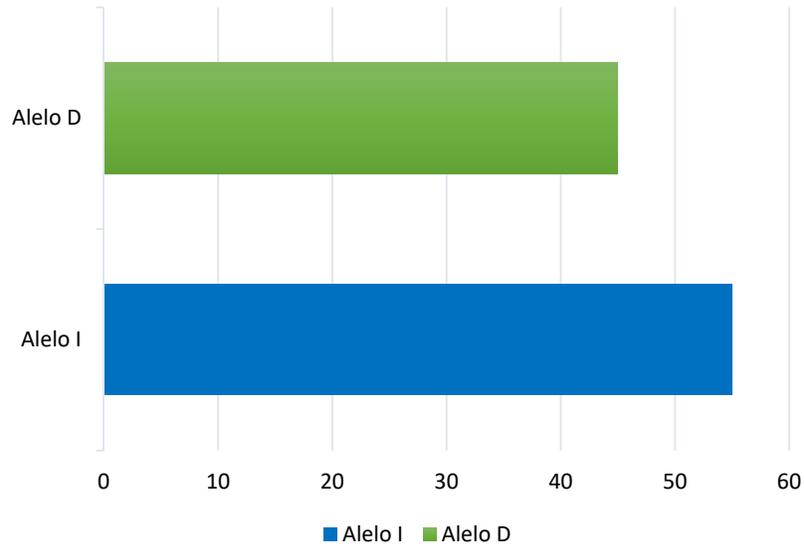


Figura 2. Promedio de las frecuencias alélicas reportadas en los estudios.

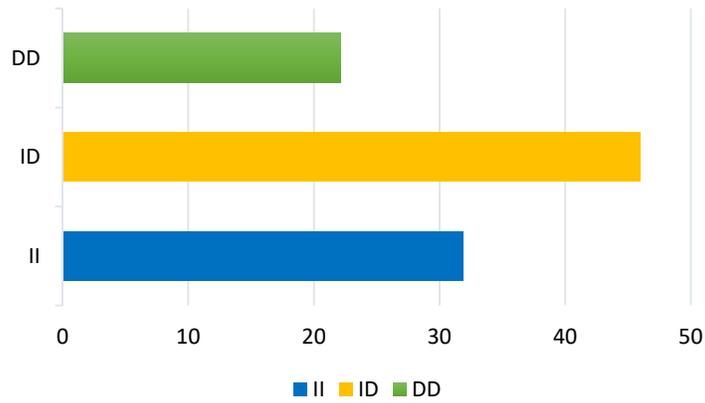


Figura 3. Promedio de las frecuencias genotípicas reportadas en los estudios.

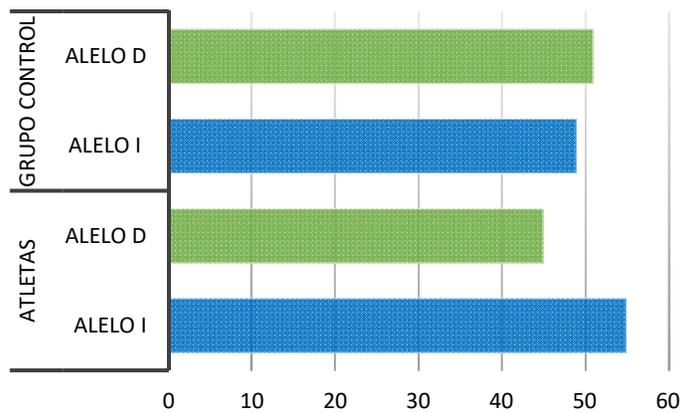


Figura 4. Promedios de las frecuencias alélicas de grupos de atletas y controles de los estudios.

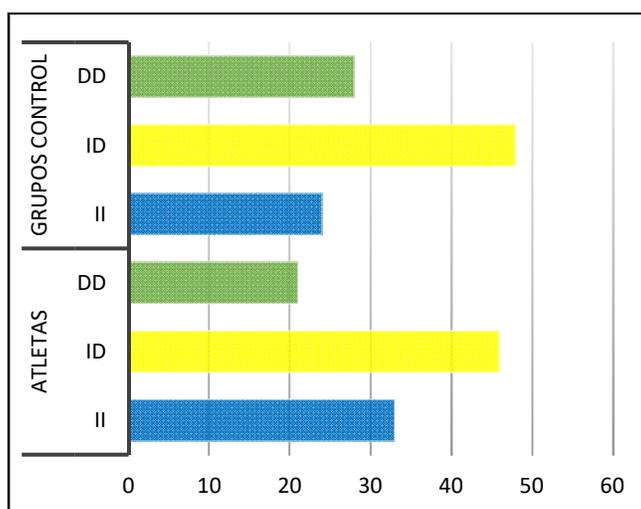


Figura 5. Promedios de las frecuencias genotípicas de grupos atletas y controles de los estudios

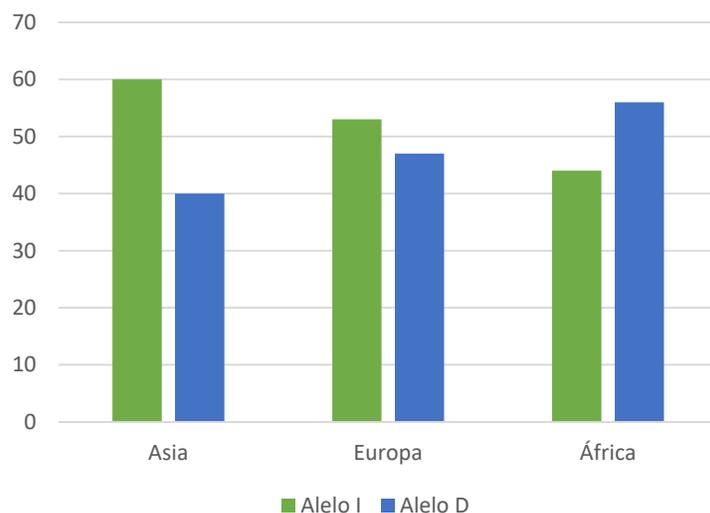


Figura 6. Promedio de frecuencia alélicas por continente.

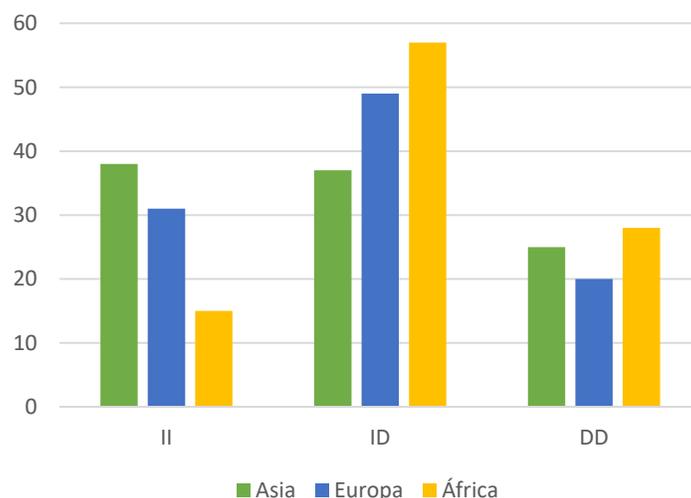


Figura 7. Promedio de frecuencias genotípicas por continente.

DISCUSIÓN

En estudios de genética deportiva, la resistencia sigue siendo el rasgo más estudiado, y en donde, se han revelado al menos 77 marcadores asociados con este fenotipo (Ahmetov & Fedotovskaya, 2015). En una revisión sistemática (Puthuchearu *et al.*

2011), se determinaron varias asociaciones del ACE I/D con algunas respuestas fisiológicas que están ligadas a la resistencia: El alelo I, se asocia con la respuesta de un crecimiento cardíaco más bajo, con el predominio de fibras musculares tipo I (resistentes a la fatiga), y también, con una mejor respuesta ventilatoria a la hipoxia

aguda, entre otras. En cuanto al alelo D, este se ha asociado con el crecimiento del ventrículo izquierdo y con una mayor fuerza del cuádriceps. En ese orden de ideas, nuestro estudio revisó la literatura reciente y buscó evidencia de relación entre el polimorfismo ACE I/D y el rendimiento en deportes de resistencia. Un total 13 estudios fueron elegidos para el desarrollo de este estudio, y en donde, se encontraron asociaciones significativas para el alelo I y el genotipo ID.

En este estudio se encontraron mayores frecuencias para el alelo I, en comparación con el alelo D. El promedio de los estudios registro 55%= Alelo I y 45% = Alelo D. Fisiológicamente se indica que la menor producción de angiotensina II, que resulta de la inhibición de la ACE (codificada por el alelo I) produce menos vasoconstricción, lo que a su vez conduce a una mayor entrega de sangre oxigenada a los músculos que trabajan. En contraste, la mayor producción de angiotensina II en los portadores de alelos D probablemente ayuda a la contracción muscular para obtener la máxima potencia (Yusof *et al.* 2015). Aunque existen estudios que no han encontrado relación entre el polimorfismo y el rendimiento en deportistas de resistencia (Scott *et al.* 2005) existe mucha más evidencia, que su participación mejora sustancialmente, la actividad aeróbica. Por otro lado, de las publicaciones revisadas en este estudio, se evidencian asociaciones entre el alelo D y el rendimiento en resistencia (Wang *et al.* 2013; Shamoradi *et al.* 2014), una posibilidad para que esto suceda, es que el alelo D está relacionado, con una mejor función cardíaca durante el ejercicio (Tobina *et al.* 2010; Puthuchearry *et al.* 2011).

Desde hace un tiempo atrás, se ha planteado que para deportes de resistencia el

genotipo II podría disponer un mejor rendimiento (Gayagay *et al.* 1998), pero, la evidencia es contradictoria en estos casos. Por ejemplo, nuestros resultados identificaron, que el genotipo ID fue el que obtuvo las mayores frecuencias, en nueve de los trece estudios totales. Por otro lado, tres estudios (Shenoy *et al.* 2010; Tobina *et al.* 2010; Yusof *et al.* 2015) fueron los únicos que reportaron mayor frecuencia del genotipo II, mientras que, tan solo un estudio (Shamoradi *et al.* 2014) obtuvo una mayor frecuencia para el genotipo DD, aunque no muy significativa. Puede que el genotipo DD, no esté ligado directamente a el rendimiento en pruebas de resistencia, esto, debido a que, en los estudios, obtuvo porcentajes menores al: 29%, llegando a ser: 6,12% el menor porcentaje reportado. En este orden de ideas, los resultados reflejados para los genotipos (46%=ID, 32%=II y 22%=DD), sugieren que el genotipo ID es la opción para tener en cuenta en el rendimiento en deportes de resistencia.

La gran mayoría de las investigaciones sobre el polimorfismo ACE I/D, deducen la relación positiva entre el polimorfismo con el estatus y el rendimiento deportivo, a partir de la comparación de las frecuencias genotípicas y alélicas, entre los grupos de atletas y los grupos controles. En este aspecto, concluyen que una mayor frecuencia del genotipo II y el alelo I en la población atleta, en relación con los grupos controles, es un indicador de la relación del polimorfismo con el rendimiento (en este caso con el fenotipo de la resistencia) (Holdys *et al.* 2011). Ahora bien, nuestros resultados coinciden con esta hipótesis. Se evidenció un mayor promedio de las frecuencias para el genotipo II en comparación con los grupos controles. Por ejemplo, en el estudio de: Yusof *et al.* (2015) el alelo I y el genotipo II fueron más frecuentes en el grupo de resistencia en comparación

con los grupos de fuerza/potencia e intermitentes, esto sugiere una relación positiva entre el polimorfismo y el rendimiento. Con relación a las frecuencias alélicas, el alelo I obtuvo un 55% en el grupo de atletas y un 49% en los grupos controles. Sin embargo, los resultados destacan una mayor participación de genotipo ID en la mayoría de los estudios.

El análisis de los resultados por ubicación geográfica (continente), nos brindó un panorama sobre la situación de las investigaciones de este tipo en nuestro país, debido a que, no se encontraron trabajos publicados con relación al polimorfismo ACE I/D en la población de atletas de resistencia. La mayoría de trabajos publicados que se encuentran son de: Europa, Asia y África.

Nuestros resultados indican que el grupo de países asiáticos, cuentan con la combinación alélica y genotípica que sugiere Gayagay *et al.* (1998), los promedios para ambas frecuencias fueron de: 60%= Alelo I y 38%= II, respectivamente. Aunque no hubo una diferencia significativa para las frecuencias genotípicas en este ítem de clasificación, el grupo de estudio asiáticos resaltó en los resultados. Es conveniente resaltar que los atletas participantes de estos estudios, eran atletas élites en maratón, ciclismo y triatlón. Por otro lado, el grupo de países europeos, obtuvo un mayor promedio para el alelo I, y aunque, la mayoría de estudios no reportaron las frecuencias alélicas, el promedio se obtuvo a partir de cinco estudios, y en donde, el genotipo ID obtuvo un mayor porcentaje, siendo significativamente mayor, que los otros dos genotipos (ID=49%, II=31%, DD=20). La combinación para este grupo, sugiere al alelo I y al genotipo ID como posibles determinantes del rendimiento. Los

resultados para el grupo África se obtuvieron a partir del estudio de Znazen *et al.* (2015). Para este caso, los resultados indicaron que el alelo D, será determinante para el rendimiento en deportes de resistencia, teniendo un genotipo ID. Aunque estos resultados se sacan de un solo artículo, se piensa que la población africana, es la mejor en pruebas resistencia. Cabe resaltar que el estudio no determinó el deporte que practicaban los atletas y el estudio se realizó en Túnez, un país que no se reconoce, por su potencial en estas disciplinas.

CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

En deportes de resistencia, el polimorfismo ACE I/D tiene una incidencia directa en el rendimiento de los atletas. Nuestros resultados permiten determinar que la combinación del alelo I y el genotipo ID, son las características genéticas, a tener en cuenta en un deportista con condiciones para estas pruebas. Aunque, la evidencia es contradictoria en estos casos, por la cantidad de variables que se utilizan en los estudios, se observó una relación directa con el rendimiento deportivo, debido a la comparación de los resultados entre los grupos de atletas y grupos control. Este ítem nos permitió observar una mayor actividad del alelo I y el genotipo II en la población de deportistas.

En Colombia son escasas las investigaciones de este tipo. Sería un paso importante en el desarrollo deportivo y en futuras líneas de investigación, debido a que, determinar las características genéticas de nuestros deportistas y para nuestro caso, los deportistas de élite en resistencia, integran un factor importante en la caracterización deportiva. En líneas generales, y como lo

sugiere la literatura, estas investigaciones podrían ser de ayuda en la detección, selección y preparación de nuevos talentos deportivos en el país, por parte de: 1.- Coldeportes Nacional, 2.- El Comité Olímpico Colombiano, 3.- Las federaciones deportivas nacionales, y 4.- Las demás organizaciones que hacen parte del sistema nacional del

deporte. Así se contribuirá, a mantener y mejorar los grandes logros deportivos conseguidos en los últimos años a nivel internacional.

REFERENCIAS

1. AHMETOV, I.; FEDOTOVSKAYA, O. 2015. Current Progress in Sports Genomics. *Advances in Clinical Chemistry*, 70:249-314.
<https://doi.org/10.1016/bs.acc.2015.03.003>
2. BOMPA, T. 2007. *Periodization. Theory and Methodology of training*. Hispano Europea S.A. Barcelona
3. BOUCHARD, C.; LEÓN, A.; RAO, D.; SKINNER, J.; WILMORE, J.; GAGNON, J. 1995. The HERITAGE Family Study: Aims, design, and measurement protocol. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 27(5):721-729.
4. BOUCHARD, C.; RANKINEN, T.; TIMMONS, J. 2011. Genomics and Genetics in the Biology of Adaptation to Exercise. *Compr Physiol.*, 1(3):1603-1648.
<https://doi.org/10.1002/cphy.c100059>
5. EIDER, J.; CIESZCZYK, P.; FICEK, K.; LEONSKA, A.; SAWCZUK, M.; MACIEJEWSKA, A.; ZAREBSKA, A. 2013. The association between D allele of the ACE gene and power performance in Polish elite athletes. *Science & Sports*, 28(6):325-330.
<https://doi.org/10.1016/j.scispo.2012.11.005>
6. GAYAGAY, G.; YU, B.; HAMBLY, B.; BOSTON, T.; HAHN, A.; CELERMAJER, D.; TRENT, R. 1998. Elite endurance athletes and the ACE I allele- the role of genes in athletic performance. *Hum. Genet.* 103:48-50.
<https://doi.org/10.1007/s004390050781>
7. GREUDA, A.; LEONSKA, A.; KACZMARCZYK, M.; FICEK, K.; KRÓL, P.; CIESSZCZYK, P.; ŻMIJEWSKI, P. 2014. Interaction Between ACE I/D and ACTN3 R557X Polymorphisms in Polish Competitive Swimmers. *Journal of Human Kinetics*. 42:127-136.
<https://dx.doi.org/10.2478%2Fhukin-2014-0067>
8. GRONEK, O.; GRONEK, J.; LULINSKA, E.; SPIESZNY, M.; NIEWCZAS, M.; KACZMARCZYK, M.; PETR, M.; FISCHEROVA, P.; AHMETOV, I.; ŻMIJEWSKI, P. 2018. Polygenic Study of Endurance

- Associated Genetic Markers NOS3 (Glu298Asp), BDKRB2 (9/+9), UCP2 (Ala55Val), AMPD1 (Gln45Ter) and ACE (I/D) in Polish Male Half Marathoners. *Journal of Human Kinetics*. 64:87-98.
<https://doi.org/10.1515/hukin-2017-0204>
9. HAGBERG, J.; MOORE, G.; FERRELL, R. 2001. Specific Genetic Markers of Endurance Performance and Vo2Max. *Sport Sci. Rev.* 29(1):15-19.
<https://doi.org/10.1097/00003677-200101000-00004>
 10. HOLDYS, J.; KRYSIAK, J.; STANISLAWSKI, D.; GRONEK, P. 2011. ACE I/D gene polymorphism in athletes of various sports disciplines. *Human Movement*. 12(3):223-231.
 11. JASTRZEBSKI, Z.; KOLBOWICZ, M.; LEONSKA, A.; TOMIAK, T. 2014. The angiotensin converting enzyme gene I/D polymorphism in Polish rowers. *Central European Journal of Sport Sciences and Medicine*. 5(1):77-82.
 12. JONES, A.; MONTGOMERY, H.; WOODS, D. 2002. Human Performance: A Role for the ACE Genotype? *Exerc. Sport Sci. Rev.* 30(4):184-190.
<https://doi.org/10.1097/00003677-200210000-00008>
 13. LEGER, L. 1986. Recerca de talents en esport. *Apunts*. 23(88):63-74.
 14. LEIVA, J. 2010. Selección y orientación de talentos deportivos. *Kinesis*. Armenia, Colombia.
 15. LIPPI, G.; LONGO, U.; MAFFULLI, N. 2010. Genetics and sports. *British Medical Bulletin*. 93(1):27-47.
<https://doi.org/10.1093/bmb/ldq001>
 16. 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://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0054685>
 17. MAGI, A.; UNT, E.; PRANS, E.; RAUS, L.; EHA, J.; VERAKSITS, A.; KINGO, K.; KÓKS, S. 2016. The Association Analysis between ACE and ACTN3 Genes Polymorphisms and Endurance Capacity in Young Cross-Country Skiers: Longitudinal Study. *Journal of Sports Science and Medicine*. 15(2):287-294.
 18. MAHMOUD, B.; FERNÁNDEZ, L. 2009. La selección de talentos: el otro dilema conceptual y práctico para la gimnasia artística masculina. *Efdeportes*. 14(138)
 19. MANSO, J. 1996. Selección de élites deportivos. En su planificación del entrenamiento. *Gymnos*. Madrid, España.

20. MIYAMOTO, E.; ZEMPO, H.; FUKU, N.; KIKUCHI, N.; MIYACHI, M.; MURAKAMI, H. 2018. Heritability estimates of endurance-related phenotypes: A systematic review and meta-analysis. *Scand J Med Sci Sports*. 28(3):834-845.
<https://doi.org/10.1111/sms.12958>
21. MONOTGOMERY, H.; CLARKSON, P.; DOLLERY, C.; PRASAD, K.; LOSI, M.; HEMINGWAY, H.; STATTERS, D.; JUBB, M.; GIRVAIN, M.; VARNAVA, A.; WORLD, M.; DEANFIELD, J.; TALMUD, P.; MCEWAN, J.; MCKENNA, W.; HUMPHRIES, S. 1997. Association of angiotensin-converting enzyme gene I/D polymorphism with change in left ventricular mass in response to physical training. *Circulation*. 96(3):741-747.
<https://doi.org/10.1161/01.CIR.96.3.741>
22. MOYA, D.; MADRIGAL, J.; SALAZAR, L. 2012. Angiotensin Converting Enzyme Insertion/Deletion Polymorphism and its Association with Complications in Patients with type 2 Diabetes Mellitus. *Act. Med. Costarricense*, 54(2):102-108.
23. MUNIESA, C. 2011. Polimorfismos genéticos en el remo de alto rendimiento: Categoría de peso ligero masculino. Universidad Europea de Madrid, Tesis doctoral. Disponible desde Internet en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=93387>
24. ORYSIAK, J.; ZMIJEWSKI, P.; KLUSIEWICZ, A., KALISZEWSKI, P., MALCZEWSKA, J., GAJEWSKI, J., POKGYWKA, A. 2013. The association between ace gene variation and aerobic capacity in winter endurance disciplines. *Biol. Sport*. 30(4):249-253.
<https://dx.doi.org/10.5604%2F20831862.1077549>
25. OZVEREN, Y.; OZCALDIRAN, B.; DURMAZ, B.; ORAL, O 2014. Talent selection and genetics in sport. *Turkish Journal of Sport and Exercise*. 16(2):1-8.
26. PAULAUSKAS, A.; DANILEVICIUTÉ, A.; POVILAITIS, T.; PODERIS, J. 2009. Genetic variability associated with angiotensin converting enzyme (ace) gene polymorphism in sportsmen pursuing different sports. *Proceedings of the latvian academy of sciences*. 63(1-2):9-13.
<https://doi.org/10.2478/v10046-009-0012-y>
27. PLATONOV, V.; BULATOVA, M. 2015. Preparación de los deportistas de alto rendimiento. U.D.C.A y UNIVALLE. Cali, Colombia.
28. PUTHUCHEARY, Z.; SKIPWORTH, J.; RAWAL, J.; LOOSEMORE, M.; VAN-SOMEREN, K.; MONTGOMERY, H. 2011. The ACE Gene and Human Performance 12 Years On. *Sports Med*. 41:433-448.
<https://doi.org/10.2165/11588720-000000000-00000>
29. REES, T.; HARDY, L.; GULLICH, A.; ABERNETHY, B.; COTE, J.; WOODMAN, T.; MONTGOMERY, H.; LAING, S.; WARR, C. 2016. The Great British Medalists Project: A Review of Current

- Knowledge on the Development of the World's Best Sporting Talent. *Sports Med.* 46:1041-1058.
<https://doi.org/10.1007/s40279-016-0476-2>
30. ROLIM, F. 2007. Identificação do perfil dermatoglífico e somatotípico de pentatletas modernos brasileiros alto rendimento. *Revista de Educação Física. Brasil.*
31. SÁNCHEZ, J.; CAMPUZANO, Ó.; IGLESIAS, A.; BRUGADA, R. 2009. *Genética y Deporte. Apunts Med Esport.* 86-97.
32. SCOTT, R.; MORÁN, C.; WILSON, R.; ONYWERA, V.; BOIT, M.; GOODWIN, W.; GOHLKE, P.; PAYNE, J.; MONTGOMERY, H.; PITSILADIS, Y. 2005. No association between Angiotensin Converting Enzyme (ACE) gene variation and endurance athlete status in Kenyans. *Comparative Biochemistry and Physiology.* 141(2):169-175.
<https://doi.org/10.1016/j.cbpb.2005.05.001>
33. SGOUROU, S.; FOTOPOULOS, V.; KONTOS, V.; PATRINOS, G.; PAPACHATZOPOULOU, A. 2012. Association of genome variations in the reninangiotensin system with physical performance. *Human Genomics.* 6(1):24.
<https://dx.doi.org/10.1186%2F1479-7364-6-24>
34. SHAHMORADI, S.; AHMADALIPOUR, A.; SALEHI, M. 2014. Evaluation of ACE gene I/D polymorphism in Iranian elite athletes. *Advanced Biomedical Research.* 207-212.
<https://doi.org/10.4103/2277-9175.143242>
35. SHENOY, S.; TANDON, S.; SANDHU, J.; BHANWER, A. 2010. Association of Angiotensin Converting Enzyme gene Polymorphism and Indian Army Triathletes Performance. *Asian Journal of Sports Medicine.* 1(3):143-150.
<https://dx.doi.org/10.5812%2Fasjasm.34855>
36. STUCKY, L. 2018. Análisis exploratorio de la relación entre el polimorfismo ACTN3 R577X y el rendimiento deportivo en levantadores de pesas colombianos. Trabajo de grado para optar al título de Profesional en Ciencias del Deporte. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A Bogotá, Colombia. Disponible desde Internet en: <https://repository.udca.edu.co/handle/11158/1056>
37. TOBINA, T.; MICHISHITA, R.; YAMASAWA, F.; ZHANG, B.; SASAKI, H.; TANAKA, T.; SAKU, K.; KIYONAGA, A. 2010. Association between the angiotensin I-converting enzyme gene insertion/deletion polymorphism and endurance running speed in Japanese runners. *J Physiol Sci,* 60(5):325-330.
<https://doi.org/10.1007/s12576-010-0100-4>
38. WANG, G.; MIKAMI, E.; CHIU, L.; PERINI, D.; DEASON, M.; FUKU, N.; MIYACHI, M.; KANEOKA, K.; MURAKAMI, H.; TANAKA, M.; HSIEH, L.; HSIEH, S.; CAPOROSSO, D.; PIGOZZI, F.; HILLEY, A.;

LEE, R.; GALLOWAY, D.; GULBIN, J.; ROGOZKIN, V.; AHMETOW, I.; YANG, N.; NORTH, K.; PLOUTARHOS, S.; MONTGOMERY, H.; BAILEY, E.; PITSILADIS, P. 2013. Association analysis of ACE and ACTN3 in elite Caucasian and East Asian swimmers. *Med Sci Sports Exerc.* 45(5):892-900.

<https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31827c501f>

39. YUSOF, H.; SINGH, R.; ZAINUDDIN, Z.; ROONEY, K.; MUHAMMED, A. 2015. The angiotensin I-converting enzyme I/D gene polymorphism in well-trained Malaysian athletes. *Sport Sci Health.* 11:187-193.

<https://doi.org/10.1007/s11332-015-0222-4>

40. ZNAZEN, H.; MEJRI, A.; TOUHAMI, I.; CHTARA, M.; SIALA, H.; LE GALLAIS, D.; AHMETOV, I.; MESSAOUD, T.; CHAMARI, K.; SOUSSI, N. 2015. Genetic advantageous predisposition of angiotensin converting enzyme id polymorphism in tunisian athletes. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness.* 56(6):724-730.