



CIENCIAS SOCIALES  
ARTÍCULO DE REVISIÓN

## Implicaciones éticas de la identificación del potencial atlético infantil mediante pruebas genéticas

## Ethical implications of the identification of children's athletic potential through genetic testing

Luis Alberto Sancesario Pérez <sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Dirección Municipal de Deportes de Buey Arriba. Granma, Cuba

\*Autor para la correspondencia: [lasancesariop@gmail.com](mailto:lasancesariop@gmail.com)

### Cómo citar este artículo

Sancesario Pérez LA. Implicaciones éticas de la identificación del potencial atlético infantil mediante pruebas genéticas. Rev haban cienc méd [Internet]. 2019 [citado ]; 18(6):957-968. Disponible en: <http://www.revhabanera.sld.cu/index.php/rhab/article/view/2582>

Recibido: 14 de diciembre del 2019.

Aprobado: 5 de diciembre del 2019.

### RESUMEN

**Introducción:** La irrupción de la investigación genética en la esfera del deporte ha permitido la localización en el genoma de un considerable número de genes implicados en el rendimiento

deportivo y, con ello, el desarrollo de tecnologías genéticas orientadas a la identificación del potencial atlético en niños, cuya aplicación, dada su relativa juventud, debe ser sometida al



escrutinio de la comunidad científica desde el prisma de la ética.

**Objetivo:** Evaluar, desde una perspectiva ética, el uso de tecnologías genéticas en la identificación del potencial atlético en niños.

**Material y métodos:** Para la elaboración de la presente revisión, además de la consulta de publicaciones no seriadas, se efectuó una pesquisa en la base de datos Scopus.

**Resultados:** En la actualidad se conocen más de 200 marcadores genéticos relacionados con la predisposición para la aptitud física y al menos 120 vinculados directamente con el rendimiento atlético de élite, información que ha sido utilizada por numerosas compañías para desarrollar los

llamados Tests Directos al Consumidor, que pretenden identificar el potencial atlético en niños a partir de su genotipo, sin necesidad de consultar a un especialista.

**Conclusiones:** El uso de tecnologías genéticas en la determinación del potencial atlético en niños no solo viola el espíritu del deporte, sino que también tiene el potencial de causar efectos nocivos en el individuo a nivel psicológico y social; razones por las que es éticamente inadmisibles su uso en futuros atletas.

**Palabras clave:** Análisis ético; rendimiento atlético; niño talentoso; marcadores genéticos; polimorfismo genético.

## ABSTRACT

**Introduction:** The emergence of genetic research in the field of sports has allowed the location of the genome of a considerable number of genes involved in sports performance and thus, the development of genetic technologies aimed at the identification of the athletic potential in children whose application, given its relative youth, should be subject to the review of the scientific community through the prism of ethics.

**Objective:** To evaluate, from an ethical perspective, the use of genetic technologies in the identification of the athletic potential in children.

**Materials and methods:** A search in Scopus database and the consultation of non-serial publications were carried out for the development of this review.

**Results:** Currently, there are more than 200 genetic markers related to the predisposition for

physical fitness and, at least, 120 of them are directly linked to elite athletic performance. This information has been used by many companies to develop the so-called Direct-to-Consumer Tests, which aim to identify the athletic potential in children from their genotype, without any need to consult a specialist.

**Conclusions:** The use of genetic technologies in the determination of athletic potential in children not only violates the spirit of sport, but also has the potential to cause harmful effects on the individual at psychological and social levels, reasons why their use is ethically inadmissible in future athletes.

**Key words:** Ethical analysis, athletic performance, gifted child, genetic markers, genetic polymorphism.



## INTRODUCCIÓN

En los últimos decenios, la identificación y desarrollo del potencial atlético en niños, ha sido un tema recurrente en la investigación científica aplicada al deporte, la cual, como todo fenómeno social, en constante cambio y evolución, se ha visto continuamente afectada por los adelantos científicos y tecnológicos operados en los diferentes campos del conocimiento de los cuales se nutre; por ejemplo, la genética.

Si bien durante una primera etapa de desarrollo se consideraron las características innatas fuente esencial de la variabilidad del rendimiento atlético, investigaciones posteriores hicieron que muchos académicos desviarán su mirada hacia los factores ambientales como la causa fundamental; específicamente, la práctica deliberada.

Tras la publicación de la secuenciación del genoma humano en el 2001,<sup>(1)</sup> se produjo un desarrollo vertiginoso en el campo de la

ingeniería genética, que condujo a la irrupción, en la esfera del deporte, de los estudios genéticos con la utilización de marcadores del ADN, los cuales han permitido la localización en el genoma de un considerable número de genes implicados en el rendimiento deportivo, esto atrajo nuevamente la atención de los investigadores hacia el papel de la herencia en la conformación de los fenotipos ligados al alto rendimiento deportivo; situación que ha originado un importante cúmulo de información y tecnologías asociadas a ello, las cuales, dada su relativa juventud, deben ser observadas con precaución, desde el prisma de la ética.

Es, en este contexto, que se decide elaborar el presente trabajo, con el **objetivo** de evaluar, desde una perspectiva ética, el uso de tecnologías genéticas en la identificación del potencial atlético en niños.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizó una revisión bibliográfica, donde además de la consulta de publicaciones no seriadas en la biblioteca de la Facultad de Cultura Física de la Universidad de Granma, Cuba, se efectuó una pesquisa en la base de datos Scopus, considerándose los criterios de búsqueda siguientes:

➤ Literatura publicada en los últimos 15 años (2003-2018).

- Idiomas: Español, Inglés, Ruso o Portugués.
- Términos de búsqueda:
  - ✓ (Talento <or> Potencial atlético) <and> Deporte <and> (Práctica deliberada <or> Genética <or> Polimorfismo <or> Gen)
  - ✓ (Talent <or> Athletic potential) <and> Sport <and> (Deliberate practice <or> Genetics <or> Polymorphism <or> Gen)



## DESARROLLO

### *Práctica deliberada versus factores genéticos*

Durante mucho tiempo, una de las polémicas más relevantes en el campo de la investigación del rendimiento humano, no solo en el deporte sino en cualquier actividad, ha sido la interrogante: *¿un experto nace o se hace?* Esta incógnita ha dividido a la comunidad académica en dos bandos esencialmente:

- ✓ Los que reconocen al entrenamiento como necesario para alcanzar un alto rendimiento, pero aseguran que las habilidades innatas son las que establecen los límites máximos alcanzables por una persona; es decir, los que defienden la idea de que el experto *nace*.
- ✓ Los que afirman que el experto *se hace* por medio de la práctica deliberada, que el talento, o no existe, o simplemente sus efectos sobre el rendimiento son opacados por el efecto del entrenamiento.

La primera corriente de pensamiento tuvo su origen en las ideas de Galton, fundador de la Genética Conductista, quien en 1869 basó sus afirmaciones en el hecho de que las personas eminentes en el campo de la ciencia, la música, el arte y los deportes tienden a agruparse en familias.<sup>(2)</sup>

La segunda, basada en las ideas de Watson, fundador del Conductismo, ha cobrado interés tras la aparición, en 1993, del influyente artículo *The role of deliberate practice in the acquisition of expert performance*, en el que Ericsson, Krampe y Tesch-Römer, a partir de un estudio efectuado con músicos de diferente nivel de éxito, a los que se les preguntó la cantidad de tiempo estimada que dedicaron semanalmente a

la práctica deliberada por cada año de su carrera musical, llegaron a la conclusión de que los más competentes, lo eran, porque habían dedicado mucho más tiempo a la práctica deliberada que los menos exitosos; o sea, que las diferencias interindividuales en el rendimiento final podían ser ampliamente explicadas por las cantidades diferenciales de los pasados y actuales niveles de práctica.<sup>(2)</sup>

Entiéndase como práctica deliberada al entrenamiento estructurado, atento, máximamente agobiante y sujeto a retroalimentación inmediata desde un coach, es decir, como actividad con los más altos valores de orientación hacia el rendimiento.<sup>(3,4)</sup>

El mencionado artículo de Ericsson, Krampe y Tesch-Römer generó de inmediato una importante oleada de investigaciones orientadas a confirmar que el rendimiento experto (talento) solo surge con la práctica sistemática y extensa, sin embargo, el continuo crecimiento de las evidencias a favor de lo innato apunta hacia el hecho de que, si bien sí es importante, la práctica deliberada no es tan absolutamente trascendental como aseguran Ericsson y sus seguidores.<sup>(3)</sup>

En consecuencia, recientemente fue desarrollado un meta-análisis relacionado con la influencia de la práctica deliberada sobre el rendimiento final en la música, los juegos, los deportes, las profesiones y la educación, en el que se evaluaron los resultados de los 88 estudios que cumplieron con los criterios de inclusión preestablecidos, de un total de 9 331 identificados inicialmente como potencialmente



relevantes. Los estudios seleccionados incluyeron 111 muestras independientes, 157 tamaños de efecto y una muestra total de 11135 individuos.<sup>(2)</sup> El meta-análisis reveló que la fuerza de la relación entre la práctica deliberada y el rendimiento varía según el campo: la práctica deliberada es capaz de explicar un 26 % de la varianza del rendimiento en los juegos, un 21 % en la música, un 18 % en los deportes, un 4 % en la educación y menos de 1 % en las profesiones.<sup>(2)</sup>

Algo llamativo fue el hecho de que en los estudios que emplearon métodos de registro prospectivos, los cuales presumiblemente producen estimaciones más válidas que los métodos retrospectivos, la varianza en el rendimiento explicada por el efecto de la práctica deliberada fue, de manera general, de solo un 5%.<sup>(2)</sup>

Todo lo antes expuesto apunta hacia la importante influencia que tienen, sobre el rendimiento deportivo final, las características innatas, es decir, los factores genéticos.

#### *Genes y heredabilidad de la aptitud*

El gen es considerado la unidad de almacenamiento de la información genética y de la herencia, al transmitir dicha información a la descendencia. El conjunto de genes de una especie se denomina genoma; la composición genética exacta de un individuo se conoce como genotipo,<sup>(5,6)</sup> en tanto, las características morfológicas, fisiológicas, bioquímicas y conductuales de dicho individuo se denomina fenotipo, por lo que este es el resultado de la interacción de los genes entre sí y con el ambiente.<sup>(5,6,7)</sup>

La porción heredable de un carácter cuantitativo continuo se calcula con la heredabilidad, es decir, con la parte de la información genética que se transmite de padres a hijos, para lo que se relaciona la variación del carácter debida al genotipo con la variación total. Georgiades y colaboradores aclaran que el cálculo de la heredabilidad “describe el grado en que la herencia afecta un atributo dado, en una población dada, expuesta a influencias ambientales comunes, en un mismo tiempo. Un atributo altamente heredable no significa que un fenotipo está totalmente predeterminado y que por tanto el ambiente no tiene efecto; solamente indica que las diferencias individuales observadas en el atributo dado obedecen a diferencias genéticas y son altamente predecibles”.<sup>(8)</sup>

Ante tales realidades, numerosos son los autores que han incursionado en el estudio de la heredabilidad de algunos de los indicadores fenotípicos relacionados con el rendimiento en el deporte, por considerar que ello aporta información sustancial sobre las posibilidades futuras de un individuo, aunque sin perder de vista el efecto del ambiente; lo que obedece a la máxima de que “el rendimiento físico es un fenotipo complejo, influido por factores tanto medioambientales como genéticos”.<sup>(9)</sup>

Las características hereditarias constituyen premisas fundamentales en la conformación del talento deportivo y, de conjunto con las condiciones ambientales que moldean el fenotipo, deben ser consideradas en el camino hacia su desarrollo, de ahí que en la actualidad los múltiples modelos existentes, de identificación y desarrollo de talentos,



reconozcan el importante papel que, en sus primeras etapas, desempeña la contribución genética.<sup>(10)</sup>

#### *Potencial atlético: el rol de los polimorfismos genéticos*

Los polimorfismos de nucleótido simple (SNP, por sus siglas en inglés) consisten en variaciones en la secuencia del ADN, que han sido lo suficientemente exitosas desde el punto de vista evolutivo como para fijarse en una parte significativa de una población, debiendo ser detectables en, al menos, el 1 % de los individuos de dicha población, de lo contrario se considera una mutación puntual.<sup>(6)</sup>

En estudios de ligamiento genético los polimorfismos del gen pueden ser estudiados estadísticamente para identificar su asociación con rasgos fenotípicos de interés. Tales estudios han facilitado la localización en el genoma de un considerable número de genes implicados en el rendimiento atlético, posibilitando con ello mostrar el componente genético de determinados comportamientos deportivos, al señalar las regiones cromosómicas en que se encuentran los genes implicados en ellos.<sup>(7,11,12,13,14,15,16,17,18)</sup>

Luego, dada su condición genética, ciertos individuos pueden tener posibilidades incrementadas de rendimiento en alguna manifestación deportiva,<sup>(19)</sup> debido a la presencia de polimorfismos específicos en su genotipo; fenómeno respaldado por numerosas investigaciones en las que se ha establecido, por ejemplo, su influencia sobre los mecanismos de adaptación de los sistemas circulatorio y respiratorio, los músculos esqueléticos y otros. Al

respecto, Pokrywka y colaboradores aseguran que “la efectividad de esos mecanismos está genéticamente determinada. La presencia de variantes específicas de genes determina la fuerza de rasgos físicos tales como la velocidad y la resistencia, la fuerza muscular y el control emocional”.<sup>(20)</sup>

Igualmente, otras investigaciones recientes han demostrado que el polimorfismo de determinados genes se asocia con la predisposición al rendimiento en actividades de resistencia, fuerza y velocidad, así como con la resistencia a la tensión psicológica y la manifestación de las emociones.<sup>(7,21,22,23,24,25,26,27)</sup>

Rees y colaboradores, citando otros estudios, reportan la relación entre el genotipo y la fuerza explosiva, la velocidad de movimiento de las extremidades, la velocidad de la carrera, el tiempo de reacción, la flexibilidad, el balance, la densidad ósea mineral, la masa muscular magra, la fuerza excéntrica del músculo flexor del brazo, la fuerza concéntrica del músculo flexor del brazo, el área de sección transversal del brazo, el cambio en la fuerza voluntaria máxima, la fuerza isométrica y el consumo máximo de oxígeno.<sup>(14)</sup>

Por su parte, Bray y colaboradores reportaron en 2009 un total de 239 genes relacionados con la predisposición para la aptitud física y más de 20 vinculados directamente con la condición de atleta de élite, los cuales aparecen resumidos en: *The Human Gene Map For Performance And Health-Related Fitness Phenotypes*.<sup>(28)</sup> Más recientemente, una revisión de investigaciones publicadas hasta el 2014, incrementó a 120 los marcadores genéticos relacionados con el estatus



de atleta élite; de ellos, 77 relacionados con la resistencia y 43 con fuerza/potencia.<sup>(29)</sup>

Junto a los polimorfismos de los genes del Receptor Alfa Activado por Proliferadores de Peroxisomas (PPARA) y de la Enzima Convertidora de la Angiotensina (ACE), uno de los objetivos más buscados en la investigación genética aplicada al deporte, específicamente de resistencia, lo constituye un polimorfismo de nucleótido simple en el gen ACTN3,<sup>(30,31)</sup> que codifica para la proteína sarcomérica  $\alpha$ -actinina-3, conduciendo a un prematuro codón de parada (X), en vez de a una arginina (R) en posición 577.<sup>(24,32,33)</sup>

La  $\alpha$ -actinina-3 está casi exclusivamente expresada en las fibras musculares responsables de la generación de contracciones energéticas rápidas durante actividades como correr a velocidad. La presencia de la variante 577XX conduce a una deficiencia de  $\alpha$ -actinina-3, lo que ocurre, según diferentes reportes, en un 16 %<sup>(24)</sup> a un 18-20 %<sup>(32,34)</sup> de la población mundial; situación que se asocia con variaciones en el rendimiento del músculo humano en actividades de larga duración. Luego, personas sin copias de esta variante deberían rendir más en deportes de fuerza rápida, como las carreras de velocidad o la lucha; sujetos con dos copias deberían destacarse en deportes de resistencia, en cambio, uno que posea una copia de cada variante estaría ubicado entre esos dos extremos.<sup>(33,35)</sup>

El papel de los polimorfismos de la Enzima Convertidora de la Angiotensina (ACE) y la  $\alpha$ -actinina-3 (ACTN3) es tal que un estudio multi-cohorte reciente, efectuado en 346 velocistas de élite de 100, 200 y 400 metros planos,

procedentes de diez países, tanto caucasianos como afrodescendientes, cuyos mejores tiempos no se alejan del récord mundial en más de un 15%, ha llegado a la conclusión de que la presencia del genotipo ACTN3 577R o del ACE D explica un por ciento sustancial de la varianza de los tiempos al nivel élite, lo que "(...) puede ser la diferencia entre un récord mundial y solamente llegar hasta la final de 16";<sup>(34)</sup> por otro lado, ningún estudio anterior ha podido identificar al menos un velocista de nivel olímpico con el genotipo 577XX, responsable de la carencia de  $\alpha$ -actinina-3.<sup>(34)</sup>

Si bien estos resultados son bastante llamativos, deben ser interpretados desde una óptica más abarcadora, pues, de igual forma, no todos los practicantes sistemáticos de la velocidad en el atletismo, que a su vez portan estos genes, llegan a la cúspide del rendimiento mundial; hecho que apunta una vez más hacia el carácter multifactorial del alto rendimiento deportivo, o sea, revela el papel de otros factores como la tradición, las condiciones socioeconómicas, la experticia del entrenador, el compromiso o la motivación del atleta, la práctica deliberada, y un sinnúmero más de condicionantes ambientales y socioculturales.

#### *Ética versus genética*

Ante los hechos, no son pocos los que han identificado en los exámenes genéticos una fuente potencialmente grande de ingresos. De tal forma, en laboratorios de alta tecnología se desarrollan pruebas destinadas a tal fin, carrera de la que han emergido los exámenes genéticos "Directos al Consumidor", o DTC según sus siglas en inglés (*Direct To Costumer*); accesibles sin



tener que tratarse con un profesional de la salud.<sup>(33,36)</sup> Ya en el 2016 fueron reportadas un mínimo de 38 compañías dedicadas a prestar este servicio en el campo del deporte.<sup>(37)</sup>

Ejemplo de estos tests es el aplicado por la compañía australiana *Genetic Technologies*, mediante el cual se busca la variante R577X del gen ACTN3, partiendo de la idea de que, al estar involucrada en la producción de la proteína  $\alpha$ -actinina-3, condiciona la producción de fibras musculares blancas, elementales en los deportes de fuerza-velocidad.<sup>(35)</sup>

El uso de pruebas genéticas puede ser sumamente útil para la prevención de lesiones relacionadas con el deporte,<sup>(33,38,39)</sup> en cambio, aquellas orientadas hacia la identificación de potencial atlético (incluso las consideradas no invasivas) encuentran hoy en día numerosos opositores, quienes, sobre todo por razones éticas, aseguran que tal identificación debe basarse en la primacía del fenotipo.<sup>(13,35,40,41,42,43,44)</sup>

Tales pruebas, particularmente en atletas jóvenes, representan un problema potencial, dado que sus resultados pueden ser malinterpretados<sup>(13)</sup> y con ello causar una elección incorrecta de las actividades de los niños, lo que a largo plazo conducirá a frustraciones que se traducirán en efectos nocivos a nivel psicológico y social.

La creencia ciega de que los fenotipos ligados al alto rendimiento deportivo están exclusivamente determinados por el genotipo de los individuos, conduce a un reduccionismo genético y con este a un determinismo biológico que menosprecia el

papel de otros factores no menos importantes, como los medioambientales y socioculturales.

Por otro lado, la práctica de buscar mediante pruebas genéticas a aquellos individuos genéticamente favorecidos, para encauzarlos hacia determinados deportes, implica otros riesgos como la discriminación, la eugenesia y el exceso de presión de los padres sobre el niño; fenómenos totalmente ajenos al espíritu del deporte.

Por todo ello, dado el carácter multifactorial del rendimiento atlético humano y la posibilidad de causar perjuicios al sujeto, es preciso un uso medido y bien fundamentado de la información obtenida de la investigación genética, la cual, de acuerdo con el criterio de Vlahovich y colaboradores, "(...) nunca debería ser empleada para decidir la inclusión o la exclusión en la identificación del talento".<sup>(33)</sup>

Las consideraciones derivadas del presente trabajo no solo develan la existencia de un fenómeno potencialmente dañino; también advierten la necesidad de continuar enriqueciendo el conocimiento en el campo de la ética del deporte y la genómica, pudiendo constituir un punto de partida para el desarrollo de nuevas investigaciones, así como la construcción de herramientas educativas, destinadas a sensibilizar tanto a los profesionales implicados en tales actividades, como a los padres de los futuros atletas.

La presente revisión, dada la relativa juventud de las tecnologías genéticas para la determinación del potencial atlético en niños, estuvo orientada, sobre todo, hacia la identificación de los daños que pueden ser causados eventualmente por su



uso y valoración desde el punto de vista ético, sin profundizar en el análisis de la información existente que pudiera revelar los daños ya causados a aquellos niños que han sido sometidos a tales pruebas, lo que constituye

### CONCLUSIONES

El uso de tecnologías genéticas en la determinación del potencial atlético en niños no solo viola el espíritu del deporte, sino que también tiene el potencial de causar efectos

quizás su principal *limitación*, por lo que el autor recomienda desarrollar nuevas pesquisas con tal objetivo.

nocivos en el individuo en lo psicológico y social; por tanto, existen razones suficientes para considerar éticamente inadmisibles su empleo en futuros atletas.

### RREFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Venter C, Adams MK, Myers EW, Li PW, Mural RJ, Sutton GG, et al. The Sequence of the Human Genome. *Science* [Internet]. 2001 [cited: 22/11/2018];291(5507):1304-51. Available from: <http://dx.doi.org/10.1126/science.1058040>
2. Macnamara BN, Hambrick DZ, Oswald FL. Deliberate Practice and Performance in Music, Games, Sports, Education, and Professions: A Meta-Analysis. *Psychol Sci* [Internet]. 2014 [cited: 22/11/2018];25(8):1608-18. Available from: <https://dx.doi.org/10.1177/0956797614535810>
3. Lombardo MP, Deaner RO. You can't teach speed: sprinters falsify the deliberate practice model of expertise. *Peer J* [Internet]. 2014 [cited: 22/11/2018];2:e445. Available from: <http://dx.doi.org/10.7717/peerj.445>
4. Sieghartsleitner R, Zuber C, Zibung M, Conzelmann A. "The Early Specialised Bird Catches the Worm!" – A Specialised Sampling Model in the Development of Football Talents. *Front Psychol* [Internet]. 2018 [cited: 22/11/2018];9(188):1-12. Available from: <http://dx.doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00188>
5. Berovides V. La vida en la tierra y en otros mundos. ¿Estamos solos en el universo? La Habana: Editorial Academia; 2014.
6. Camporesi S, McNamee M. Bioethics, genetics and sport. New York: Routledge; 2018.
7. Bertuzzi R, Pasqua LA, Bueno S, Lima-Silva AE, Matsuda M, Marquezini M, et al. Is the COL5A1rs12722 gene polymorphism associated with running economy? *PLoS ONE* [Internet]. 2014 [cited: 22/11/2018];9(9):e106581. Available from: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0106581>
8. Georgiades E, Klissouras V, Baulch J, Wang G, Pitsiladis Y. Why nature prevails over nurture in the making of the elite athlete. *BMC Genomics* [Internet]. 2017 [cited: 22/11/2018];18(Supl 8):59-66. Available from: <http://dx.doi.org/10.1186/s12864-017-4190-8>
9. Yu B, Chen W, Wang R, Qi Q, Li K, Zhang W, et al. Association of apolipoprotein E polymorphism with maximal oxygen uptake after exercise training: a study of Chinese young adult. *Lipids Health Dis* [Internet]. 2014 [cited: 22/11/2018];13:40. Available from: <http://dx.doi.org/10.1186/1476-511X-13-40>
10. Barreiros A, Côté J, Fonseca AM. Sobre o Desenvolvimento do Talento no Desporto: Um Contributo dos Modelos Teóricos do Desenvolvimento Desportivo. *Rev Psicol Desporte* [Internet]. 2013 [cited: 22/11/2018];22(2):489-94. Available from: <https://www.rpd->



[online.com/article/view/v22-n2-barreiros-cote-fonseca/962](http://online.com/article/view/v22-n2-barreiros-cote-fonseca/962)

11. Ginevičienė V, Jakaitienė A, Pranculis A, Milašius K, Tubelis L, Utkus A. AMPD1 rs17602729 is associated with physical performance of sprint and power in elite Lithuanian athletes. *BMC Genet* [Internet]. 2014 [cited: 22/11/2018];15:58. Available from: <http://dx.doi.org/10.1186/1471-2156-15-58>

12. Ben-Zaken S, Meckel Y, Nemet D, Kassem E, Eliakim A. Increased Prevalence of the IL-6 174C Genetic Polymorphism in Long Distance Swimmers. *J Hum Kinet* [Internet]. 2017 [cited: 22/11/2018];58:121-30. Available from: <http://dx.doi.org/10.1515/hukin-2017-0070>

13. Loland S. Against Genetic Tests for Athletic Talent: The Primacy of the Phenotype. *Sports Med* [Internet]. 2015 [cited: 22/11/2018];45(9):1229-33. Available from: <http://dx.doi.org/10.1007/s40279-015-0352-5>

14. Rees T, Hardy L, Güllich A, Abernethy B, Côté J, Woodman T, et al. The Great British Medalists Project A Review of Current Knowledge on the Development of the World's Best Sporting Talent. *Sports Med* [Internet]. 2016 [cited: 22/11/2018];46(8):1041-58. Available from: <http://dx.doi.org/10.1007/s40279-016-0476-2>

15. Szelid Z, Lux A, Kolossváry M, Tóth A, Vágó H, Lendvai Z, et al. Right Ventricular Adaptation Is Associated with the Glu298Asp Variant of the NOS3 Gene in Elite Athletes. *PLoS ONE* [Internet]. 2015 [cited: 22/11/2018];10(10):e0141680. Available from: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0141680>

16. Steinbacher P, Feichtinger RG, Kedenko L, Kedenko I, Reinhardt S, Schönauer AL, et al. The Single Nucleotide Polymorphism Gly482Ser in the PGC-1 $\alpha$  Gene Impairs Exercise-Induced Slow-Twitch Muscle Fibre Transformation in Humans. *PLoS ONE* [Internet]. 2015 [cited: 22/11/2018];10(14):e0123881. Available from: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0123881>

17. Petr M, S, Štátný P, Pecha O, Štefl M, Šeda O, et al. PPARA Intron Polymorphism Associated with Power Performance in 30-s Anaerobic Wingate Test. *PLoS ONE* [Internet]. 2014 [cited: 22/11/2018];9(9):e107171. Available from: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0107171>

18. Fedotovskaya ON, Mustafina LJ, Popov DV, Vinogradova OL, Ahmetov II. A common polymorphism of the MCT1 gene and athletic performance. *Int J Sports Physiol Perform* [Internet]. 2014 [cited: 22/11/2018];9(1):173-80. Available from: <http://dx.doi.org/10.1123/IJSP.2013-0026>

19. Suppiah HT, Low Y, Chia M. Detecting and developing youth athlete potential: different strokes for different folks are warranted. *Br J Sports Med* [Internet]. 2015 [cited: 22/11/2018];49(13):878-82. Available from: <http://dx.doi.org/10.1136/bjsports-2015-094648>

20. Pokrywka A, Kaliszewski P, Majorczyk E, Zembroń-Łacny A. Genes in sport and doping. *Biol Sport* [Internet]. 2013 [cited: 22/11/2018];30(3):155-61. Available from: <http://dx.doi.org/10.5604/20831862.1059606>

21. Ahmetov II, Kulemin NA, Popov DV, Naumov VA, Akimov EB, Bravy YR, et al. Genome-wide association study identifies three novel genetic markers associated with elite endurance performance. *Biol Sport* [Internet]. 2015 [cited: 22/11/2018];32:3-9. Available from: <http://dx.doi.org/10.5604/20831862.1124568>

22. Li J, Zhao Y, Li R, Broster LS, Zhou C, Yang S. Association of Oxytocin Receptor Gene (OXTR) rs53576 Polymorphism with Sociality: A Meta-Analysis. *PLoS ONE* [Internet]. 2015 [cited: 22/11/2018];10(6):e0131820. Available from: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0131820>

23. Ma F, Yang Y, Li X, Zhou F, Gao C, Li M, et al. The association of sport performance with ACE and ACTN3 genetic polymorphisms: a systematic review and



- meta-analysis. PLoS One [Internet]. 2013 [cited: 22/11/2018];8:e54685. Available from: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0054685>
24. Massidda M, Bachis V, Corrias L, Piras F, Scorcu M, Culigioni C, et al. ACTN3 R577X polymorphism is not associated with team sport athletic status in Italians. Sports Med - Open [Internet]. 2015 [cited: 22/11/2018];1:6. Available from: <http://dx.doi.org/10.1186/s40798-015-0008-x>
25. Mustafina LJ, Naumov VA, Cieszczyk P, Popov DV, Lyubaeva EV, Kostyukova ES, et al. AGTR2 gene polymorphism is associated with muscle fibre composition, athletic status and aerobic performance. Exp Physiol [Internet]. 2014 [cited: 22/11/2018];99(8):1042-52. Available from: <http://dx.doi.org/10.1113/expphysiol.2014.079335>
26. Voisin S, Cieszczyk P, Pushkarev VP, Dyatlov DA, Vashlyayev BE, Shumaylov VA, et al. EPAS1 gene variants are associated with sprint/ power athletic performance in two cohorts of European athletes. BMC Genomics [Internet]. 2014 [cited: 22/11/2018];15(382):1-11. Available from: <http://dx.doi.org/10.1186/1471-2164-15-382>
27. Shleptsova VA, Kulikova MA, Timofeeva MA, Shchegolkova JV, Maluchenko NV, Tonevitsky AG. Variation in neurotransmitters genes and aggression. Int J Psychophysiol [Internet]. 2008 [cited: 22/11/2018];69(3):190. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2008.05.508>
28. Bray MS, Hagberg JM, Pérusse L, Rankinen T, Roth SM, Wolfarth B, et al. The Human Gene Map for Performance and Health-Related Fitness Phenotypes: The 2006–2007 Update. Med Sci Sports Exerc [Internet]. 2009 [cited: 22/11/2018];41(1):35-73. Available from: <http://dx.doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181844179>
29. Ahmetov II, Fedotovskaya ON. Current Progress in Sports Genomics. En: Makowski GS, editor. Advances in Clinical Chemistry [Internet]. Amsterdam: Elsevier; 2015 [cited: 22/11/2018]. p. 247-314. Available from: <https://dx.doi.org/10.1016/bs.acc.2015.03.003>
30. Grealy R, Herruer J, Smith CLE, Hiller D, Haseler LJ, Griffiths LR. Evaluation of a 7-Gene Genetic Profile for Athletic Endurance Phenotype in Ironman Championship Triathletes. PLoS ONE [Internet]. 2015 [cited: 22/11/2018];10(12):e0145171. Available from: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0145171>
31. Lopez-Leon S, Tuvblad C, Forero DA. Sports genetics: the PPARA gene and athletes' high ability in endurance sports. Biol Sport [Internet]. 2016 [cited: 22/11/2018];33(1):3-6. Available from: <http://dx.doi.org/10.5604/20831862.1180170>
32. Deschamps CL, Connors KE, Klein MS, Johnsen VL, Shearer J, Vogel HJ, et al. The ACTN3 R577X Polymorphism Is Associated with Cardiometabolic Fitness in Healthy Young Adults. PLoS ONE [Internet]. 2015 [cited: 22/11/2018];10(6):e0130644. Available from: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0130644>
33. Vlahovich N, Fricker PA, Brown MA, Hughes D. Ethics of genetic testing and research in sport: a position statement from the Australian Institute of Sport. Br J Sports Med [Internet]. 2017 [cited: 22/11/2018];51:5-11. Available from: <http://dx.doi.org/10.1136/bjsports-2016-096661>
34. Papadimitriou ID, Lucia A, Pitsiladis YP, Pushkarev VP, Dyatlov DA, Orekhov EF, et al. ACTN3 R577X and ACE I/D gene variants influence performance in elite sprinters: a multi-cohort study. BMC Genomics [Internet]. 2016 [cited: 22/11/2018];17:285. Available from: <http://dx.doi.org/10.1186/s12864-016-2462-3>
35. Savulescu J, Foddy B. Comment: genetic test available for sports performance. Br J Sports Med [Internet]. 2005 [cited: 22/11/2018];39:472. Available from: <http://dx.doi.org/10.1136/bjism.2005.017954>
36. Karanikolou A, Wang G, Pitsiladis Y. Letter to the editor: A genetic-based algorithm for personalized resistance training. Biol Sport [Internet]. 2017 [cited:



- 22/11/2018];34(1):31-3. Available from: <http://dx.doi.org/10.5114/biolSport.2017.63385>
37. Phillips AM. Only a click away — DTC genetics for ancestry, health, love...and more: A view of the business and regulatory landscape. *Appl Transl Genomics* [Internet]. 2016 [cited: 22/11/2018];8:16-22. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.atg.2016.01.001>
38. Massidda M, Corrias L, Bachis V, Cugia P, Piras F, Scorcu M, et al. Vitamin D receptor gene polymorphisms and musculoskeletal injuries in professional football players. *Exp Ther Med* [Internet]. 2015 [cited: 22/11/2018];9:1974-8. Available from: <http://dx.doi.org/10.3892/etm.2015.2364>
39. Merchant-Borna K, Lee H, Wang D, Bogner V, Van Griensven M, Gill J, et al. Genome-Wide Changes in Peripheral Gene Expression following Sports-Related Concussion. *J Neurotrauma* [Internet]. 2016 [cited: 22/11/2018];33:1576-85. Available from: <http://dx.doi.org/10.1089/neu.2015.4191>
40. Breitbach S, Tug S, Simon P. Conventional and Genetic Talent Identification in Sports: Will Recent Developments Trace Talent?. *Sports Med* [Internet]. 2014 [cited: 22/11/2018];44(11):1489-503. Available from: <http://dx.doi.org/10.1007/s40279-014-0221-7>
41. Camporesi S. Bend it like Beckham! The ethics of genetically testing children for athletic potential. *Sport Ethics Philos* [Internet]. 2013 [cited: 22/11/2018];7(2):175-85. Available from: <http://dx.doi.org/10.1080/17511321.2013.780183>
42. Janvier A, Farlow B. Arrogance-based medicine: guidelines regarding genetic testing in children. *Am J Bioeth* [Internet]. 2014 [cited: 22/11/2018];14(3):15-6. Available from: <http://dx.doi.org/10.1080/15265161.2013.879951>
43. Vieira T. Doping Genético e Eugenia: Diálogos além do esporte. *Rev Latinoam Bioét* [Internet]. 2016 [cited: 22/11/2018];16(2):82-101. Available from: <http://dx.doi.org/10.18359/rlbi.1816>
44. Webborn N, Williams A, McNamee M, Bouchard C, Pitsiladis Y, Ahmetov I, et al. Direct-to-consumer genetic testing for predicting sports performance and talent identification: Consensus statement. *Br J Sports Med* [Internet]. 2015 [cited: 22/11/2018];49:1486-91. Available from: <http://dx.doi.org/10.1136/bjsports-2015-095343>

### Conflicto de intereses

El autor declara no tener ningún conflicto de intereses.

