

ÍNDICE DE LONGITUD DIGITAL (2D:4D) EN LA DETECCIÓN DE TALENTOS DEPORTIVOS: ARTÍCULO DE REVISIÓN

DIGITAL LENGTH INDEX (2D:4D) IN SPORTS TALENTS DETECTION: REVISION ARTICLE

*Santiago Ramos Bermúdez¹,
Carlos Federico Ayala Zuluaga²,
Angélica María García García²,
Diego Alonso Alzate Salazar².*

¹Universidad Tecnológica del
Chocó.

²Universidad de Caldas.

Correspondencia:

santiago.ramos@ucaldas.edu.co

Recibido: mayo 11 de 2022

Aceptado: julio 15 de 2022

Conflicto de interés: Los autores
declaran no tener ningún conflicto de
interés

RESUMEN

El índice de longitud digital (2D:4D), presunto marcador de andrógenos prenatales, asociado negativamente con el rendimiento en algunas modalidades deportivas y con el desarrollo de algunas capacidades de la condición física, es sugerido de utilidad en la búsqueda de talentos deportivos. Con el objetivo sustentar esta tesis, fue revisada la

literatura científica publicada entre 2000 y 2020, disponible en las bases de datos Scopus, Web of Science, Science Direct y Pubmed, con los términos 2D:4D, índice de longitud digital, relación de dígitos y relación 2D:4D en inglés y español y literatura gris pertinente. De 128 registros iniciales, 35 relacionaron el 2D:4D con el rendimiento en algún deporte; 26 presentaron relación negativa con el rendimiento. En conclusión, se recomienda su utilización en la detección e identificación de talentos para los diferentes grupos de deportes.

Palabras clave: 2D:4D; talento deportivo; testosterona; desempeño físico.

ABSTRACT

The digital length index (2D: 4D), a presumed prenatal androgen marker, is negatively associated with performance in some sports modalities and with the development of some physical fitness capacities, which suggests its usefulness in talent search, for which was reviewed the scientific literature published between 2000 and 2020, available in the Scopus, Web of Science, Science Direct and Pubmed databases, with the terms 2D:4D, digital length index, digit ratio and 2D:4D ratio. Of 128 initial records, 35 related 2D:4D to performance in

some sport; 26 had a negative relationship with performance. In conclusion, its use in the detection and identification of talents for sports is recommended.

Key words

2D: 4D; sports talent; testosterone; physical performance.

INTRODUCCIÓN

Durante mucho tiempo los entrenadores y dirigentes plantean el futuro y desarrollo del deporte, mediante la exploración de talentos (DTAL), pues del nivel del talento depende en gran medida el éxito futuro en las competencias deportivas (Fisher y Borms, 1990; Zatsiorski, 1989). El proceso de búsqueda pasa por varias fases (Wolstencroft, 2002) Detección (descubrimiento de potenciales rendidores quienes aún no están vinculados en el deporte), Identificación (reconocimiento de practicantes con el potencial de llegar a la elite), Desarrollo (provisión a los deportistas de condiciones adecuadas de desarrollo) y Selección (proceso permanente de determinación en varios estadios de los individuos que demuestran los prerrequisitos para el rendimiento en una competencia concreta).

La DTAL surge de reconocer que para diferentes deportes y modalidades se requieren distintas capacidades, algunas de ellas con niveles muy por encima de lo normal, y determinadas genéticamente (Epstein, 2013, Hahn, 1988, Zatsiorski, 1989,). Se pasó de buscar sujetos normales para todas las modalidades hace algunas décadas, a la hiperespecialización de tipos corporales en la actualidad (Epstein, 2013). En los Juegos Olímpicos actuales se pueden

encontrar valores de talla (m) y masa corporal (kg) de <1,60/<60 en gimnastas, al lado de lanzadores de bala de +2,10/+150, así mismo, maratonistas con IMC y porcentaje de grasa por debajo de los valores considerados sanos; ninguno de estos especialistas podría ser exitoso en un deporte diferente al de su especialidad. Algunas características antropométricas y capacidades de la condición física tienen un componente genético claro, tales como estatura, envergadura, longitud de manos y pies, así como las capacidades de velocidad (tiempos de reacción, frecuencia de pasos, aceleración, velocidad cíclica máxima), y algunas características del sistema nervioso (fuerza-sensibilidad, temperamento) (Villamarín y Zaldívar, 2020). A la fecha se han encontrado más de 200 dimorfismos genéticos asociados al alto rendimiento en el deporte, haciendo de la alta competencia “un sitio especial para los pocos que son más rápidos, más fuertes y físicamente mejor dotados” (Sánchez et al. 2009).

Para Leiva (2010), la talla es una dependiente del genotipo, mientras Hawley y Burke (2000) plantean que, un elevado desarrollo de los músculos, palancas largas en las extremidades, gran cantidad de fibras rápidas en su contracción y reclamación (reclutar), tiempo de reacción rápida y con elevada potencia veloz y aeróbica moderada son requerimientos importantes para llegar a alcanzar altos niveles competitivos.

En el fútbol, ante la disparidad en la capacidad económica para pujar por los mejores jugadores, algunos de los clubes más pequeños han optado por dirigir su atención a la detección y desarrollo de jóvenes futbolistas que luego son vendidos con jugosas

ganancias para sus formadores (Sarmiento et al., 2020). En varios deportes se han estructurado programas, generalmente específicos y multidisciplinarios, tratando de aumentar la capacidad predictiva del proceso de DTAL. Suelen evaluarse características morfológicas, funcionales, psicológicas y técnico-coordinativas, especialmente.

En la conclusión de su revisión académica, Wolstencroft (2002, pag. 5) dice que "el talento parece depender de la genética, el entorno, las oportunidades, el estímulo y el efecto de estas variables en los rasgos físicos y psicológicos" y no suele responder a una sola característica, sino a la integración multiplicativa, ponderada y específica de los componentes innatos contribuyentes (Simonton, 1999).

METODOLOGÍA

Fue revisada la literatura científica publicada entre 2000 y 2020, disponible en las bases de datos Scopus, Web of Science, Science Direct y Pubmed, con los términos 2D:4D, índice de longitud digital, relación de dígitos y relación 2D:4D en inglés y español y literatura gris pertinente (tesis de grado de maestría o doctorado y algunos libros de referencia). Inicialmente fueron hallados 128 registros, de los cuales 35 relacionaron el 2D:4D con el rendimiento competitivo en uno o más deportes, tales como de resistencia, fuerza-velocidad, con pelota y similares y de combate, los cuales fueron presentados por Matveyev (1970), dejando por fuera los deportes de precisión y arte competitivo de los cuales se encontró muy poco material. Finalmente, 26 documentos presentaron relación negativa del 2D:4D con el rendimiento

competitivo, los cuales son presentados en los grupos de deportes mencionados.

RESULTADOS

Los primeros antecedentes se remontan al Siglo XIX, cuando Baker (1888) había mencionado que el 2D:4D era un rasgo sexual dimórfico, hallazgo reiterado posteriormente por George (1930) y Phelps (1952), cuando se encontró que los hombres tenían un 2D:4D inferior a las mujeres, diferenciación que está bajo el control de los genes Hox en unas proporciones de los dígitos que quedan determinadas en el útero alrededor de la semana 14 (Garn et al. 1975, Phelps, 1952, Manning, 1998), bajo el influjo de dos fuentes de hormonas, los testículos y las glándulas suprarrenales fetales, mientras que la principal fuente de estrógeno prenatal es la conversión de la testosterona (T) por la enzima aromatasa en las glándulas suprarrenales y la placenta (Morishima et al., 1995). Esta exposición prenatal a altos niveles de T y bajos niveles de estrógenos lleva entre otros efectos a una mejora en la fertilidad en los hombres, pero la reduce en las mujeres. El 2D:4D no es una característica genética sino ambiental, pues está determinada por la T proporcionada por la madre durante el embarazo.

El estado físico y el rendimiento deportivo han sido asociados con el dimorfismo 2D:4D (Lippa, 2003; Putz y Harris, 2004; Manning et al. 2000; Manning y Taylor, 2001); posteriormente muchos otros estudios han encontrado índices 2D:4D más bajos en hombres que en mujeres, en deportistas que en no deportistas, y en deportistas de elite que en los no elite en rugby de elite australiano (Bennet et al., 2010); en mujeres esgrimistas de nivel

mundial (Bescós, 2009) y en tenistas universitarios taiwaneses de elite (Cheng-Chen et al., 2015). También se ha relacionado el 2D:4D con la condición física, específicamente con la fuerza de prensión manual en diferentes grupos étnicos (Fink, 2005) o con la resistencia aeróbica (Manning et al., 2007), entre otros.

Las competencias deportivas separan hombres de mujeres, debido a la ventaja de los primeros dada su mayor estatura, masa corporal, fuerza muscular, masa de hemoglobina sanguínea y otras características morfológicas y funcionales que les dan ventaja en aquellos deportes y modalidades que dependen de estas variables, pero no en los deportes en los cuales son decisivas la flexibilidad o la coordinación. Estas diferencias se vuelven evidentes a partir de la pubertad porque los testículos producen 30 veces más T que antes de ella, con valores circulantes 15 veces superiores a los de las mujeres de cualquier edad (Handelsman et al., 2018), lo cual, dada la relación dosis-respuesta entre la T circulante y la masa muscular, fuerza y hemoglobina, representa una ventaja ergogénica al menos del 8 al 12 % a favor de los hombres.

Si bien el 2D:4D no refleja una condición genética sino intrauterina, es clara su relación con algunas características morfológicas y de la condición física relacionadas con el rendimiento deportivo, sin embargo, no es clara su utilidad en el proceso de DTAL para grupos diferentes de deportes, como los de resistencia aeróbica, fuerza-velocidad, de combate o de conjunto (con pelota).

2D:4D en deportes de resistencia aeróbica

El 2D:4D se viene estudiando como una técnica en la caracterización física y psicológica en humanos. Las diferencias en esta relación son relativamente estables, aunque en mujeres puede fluctuar debido a cambios en los tejidos a lo largo del ciclo menstrual. Aun con diferencias, en las mujeres la exposición a la T también afecta de manera positiva la capacidad atlética y resistencia física ya que promueve el desarrollo muscular, la masa de hemoglobina y el sistema cardiovascular.

Se hizo una relación entre el rendimiento y el 2D:4D en 569 mujeres de 12 a 30 años, participantes en un campeonato australiano de remo (Hull et al., 2015); las correlaciones negativas estuvieron entre débiles y moderadas entre el tiempo de carrera y el 2D:4D.

Fue investigada la asociación entre 2D:4D y desempeño en nadadores indios (Sudhakar et al., 2013) hombres y mujeres de nivel nacional y no deportistas como grupo control, encontrando diferencias significativas entre los hombres y su respectivo grupo control. Dado que los nadadores destacados estuvieron prenatalmente más expuestos a la T, sugieren utilizar este índice para establecer si tienen potencial para alcanzar logros deportivos.

Otro estudio en 21 hombres nadadores de elite (Perciavalle et al., 2014) con el objetivo de analizar el 2D:4D, funciones ejecutivas, estado de ánimo, alegría y su relación con la altura con el brazo extendido, concluyendo que se presentó fuerte asociación entre el 2D:4D y la mano derecha (2D:4Dd) con el rendimiento deportivo, con un ánimo elevado, pero sin correlación significativa entre el 2D:4D y la longitud del brazo y las funciones ejecutivas.

En otro estudio (Longman et al., 2015) encontraron algunas correlaciones del 2D:4D con el rendimiento en carreras de media maratón en 439 hombres y 103 mujeres. El 2D:4D se correlacionó significativa y negativamente con el tiempo en hombres y mujeres. Concluyen que este índice es importante para determinar rendimiento, especialmente en los hombres.

Fue encontrada una correlación entre 2D:4D y el tiempo en las carreras tipo Cross Country de 1,5 a 6,5 km tanto en hombres como mujeres (Manning et al., 2007). La velocidad depende de la exposición a la T prenatal; se determinó que la exposición a esta hormona es fundamental en el ejercicio de tipo aeróbico. En un artículo posterior (Manning, 2009), se afirma que la velocidad en las carreras de resistencia puede estar relacionada con el 2D:4D, pero el factor que determina esta condición no es del todo claro. Afirman que el 2D:4D es un predictor fuerte para la eficiencia en el ejercicio aeróbico.

Por otro lado (Hill et al., 2012) concluyeron que el 2D:4D predice mejor en aquellos deportes que dependen de un sistema y una función cardiovascular y que estaría relacionado con un VO₂max más alto. También se ha encontrado (Manning y Taylor, 2001) que, en competencias de carrera a pie, el sexo es un factor determinante en el tiempo gastado, dado que las mujeres, generalmente corren menos rápido que los hombres, característica asociada a la mayor exposición a la T en el periodo prenatal, sin que la edad contribuya a esta conclusión.

Sin embargo, otro estudio cuyo objetivo fue establecer la relación entre 2D: 4D con los parámetros fisiológicos relacionados con la aptitud cardiorrespiratoria en hombres y

mujeres jóvenes sedentarios y entrenados (Holzapfel et al., 2016) plantea que se han encontrado diferencias entre la relación del 2D:4D con el rendimiento en deportistas de resistencia, pero no establecen las causas. Concluyen que no existe relación con la economía de carrera, excepto cuando esta se relaciona con la masa libre de grasa. Para el umbral ventilatorio no hubo una correlación elevada. En la aptitud cardiorrespiratoria, el índice fue mejor predictor para mujeres corredoras y entrenadas, mediado por un alto umbral ventilatorio y una elevada proporción de fibras musculares tipo uno. Los autores concluyen que la T prenatal y el 2D:4D no ejercen efectos sobre el VO₂max, salvo el umbral ventilatorio. Se reiteró que el 2D:4D es más bajo en hombres que en mujeres.

En el mismo sentido fue relacionado el 2D:4D con el rendimiento en una carrera de milla en 27 hombres y mujeres (Lucas et al., 2016), concluyendo que las correlaciones entre estas dos variables fueron débiles y no significativas, sugiriendo la no existencia de una relación biológica entre ellas.

En resumen, de 10 estudios en modalidades de resistencia en natación y atletismo, ocho encontraron relaciones negativas significativas entre el 2D:4D y el rendimiento competitivo, uno encuentra relación solo con algunas variables y uno no encuentra relación.

2D:4D en deportes de fuerza –velocidad La fuerza y velocidad como capacidades de la condición física son importantes en una gran cantidad de deportes, pues tienen fuerte relación con los movimientos que precisan acciones rápidas (velocidad) y enérgicas (fuerza) o centradas en la potencia para impactar y/o aplicar fuerza a implementos o

elementos relacionados con el desarrollo del juego o la competición, así como a los cambios de ritmo y/o dirección (Acevedo, 2010; Lanier, 1997; Ramos et al., 2016), tales como en modalidades del atletismo como lanzamientos, saltos y carreras cortas de velocidad, hockey sobre césped y hielo, pruebas cortas del ciclismo de pista y natación, entre otros, aunque también se evidencian en acciones decisivas (golpes, ataques, remates, lanzamientos, etc.) en varios deportes que se ubican en otras categorías como los deportes de combate, precisión y arte competitivo y de conjunto o con pelota (Ramos et al., 2010, Ramos et al., 2017).

Otra característica de estos deportes que se desarrollan bajo el dominio de estas capacidades es que dependen en gran medida de características genéticas, del tamaño de la masa muscular, la capacidad metabólica y el control del Sistema Nervioso Central para activar las unidades motoras. En un estudio con 241 niños en edad escolar, mediante pruebas de carrera entre 20 y 50 m, (Manning y Hill, 2009) encontraron que niños con un bajo 2D:4D corren más rápido los 50 m. que aquellos con índices más elevados, independiente de la madurez, edad e IMC.

Por otra parte (Allen, 2015; Manning, 2009; Trivers, 2010) relacionaron el 2D:4D con el rendimiento deportivo, pero señalan que se necesitan mayores criterios para determinar la edad de máximo rendimiento y DTAL, específicamente en natación; también se evidenció que para el atletismo, la fuerza y velocidad en las carreras están fuertemente relacionadas con el 2D:4D. Adicionalmente Lombardo et al. (2018, Hsu et al. (2018) y Trivers et al. (2013) encontraron que la exposición prenatal a la T tiene influencia en la anatomía y la

fisiología, principalmente en las mujeres, lo que permite que los procesos de formación y desarrollo deportivo se orienten hacia el rendimiento deportivo en modalidades de velocidad, saltos y lanzamientos en el atletismo; también se evidenció la influencia del 2D:4D en acciones que, esencialmente, utilizan las extremidades superiores para generar lanzamientos y movimientos con velocidad, en deportes como balonmano, voleibol y tenis.

En otro estudio (Erkan et al., 2017) fue evaluado el 2D:4D en 30 mujeres y 35 hombres nadadores y 34 mujeres y 40 hombres sanos no deportistas, concluyendo que entre el 2D:4D de nadadores frente a no deportistas, pero sin diferencia significativa en la mano izquierda, hay una correlación negativa significativa. A su vez, presentaron diferencias significativas entre el 2D:4D de las nadadoras respecto a las no deportistas, confirmando que el 2D:4D es un predictor para el rendimiento de la natación, especialmente de velocidad. Se presentaron valores aún más bajos en nadadores de 100 m, por lo que sugieren utilizar el 2D:4D como un posible predictor de rendimiento en nadadores de velocidad.

Por su parte en otros estudios (Lombardo et al., 2018, Trivers et al., 2013, Yurdakul et al. 2018) del IMC, salto vertical y habilidad atlética, se encontró poca o nula correlación entre el 2D:4D, la potencia anaeróbica y el rendimiento deportivo, planteando que estos parámetros no parecen ser indicadores que puedan predecir el rendimiento físico y las habilidades atléticas de los jóvenes deportistas.

Con base en las investigaciones anteriores en deportes de fuerza-velocidad, de siete estudios, seis

encontraron relación negativa significativa, de donde se puede determinar que mediante el índice 2D:4D se puede predecir el talento, especialmente en mujeres deportistas.

2D:4D en deportes de conjunto

La descarga de T prenatal está relacionada con fuerza, velocidad y resistencia, las cuales sumadas con variables morfológicas (talla, envergadura, etc.) y variables técnico-tácticas, son decisivas para el rendimiento en los deportes de conjunto. En fútbol (Mailhos et al., 2013) fueron estudiados componentes relacionados con la dominancia social y agresividad. Se encontró una relación negativa entre la dominancia agresiva con un bajo 2D:4D; en el mismo sentido, otro estudio (Perciavalle et al., 2013) concluyó que el comportamiento agresivo en los jugadores profesionales de fútbol con el consiguiente aumento del riesgo de faltas durante el juego, es más probable en personas con altos niveles de T, es decir bajo 2D:4D; resultados idénticos encontraron (Di Corrado et al., 2013) mediante el suministro de un cuestionario de perfil de los estados de ánimo (POMS) a jugadoras de waterpolo de élite, entre quienes se encontró que un bajo 2D:4D está asociados con altos niveles de agresividad.

En relación con el desempeño físico de futbolistas, (Acar y Eler, 2018) encontraron que los promedios del 2D:4D de las dos manos en seleccionados nacionales eran más bajos que los aficionados; otros estudios (Hirose y Seki, 2016; Murr et al., 2018) coinciden con los anteriores resultados, encontrando que la velocidad de sprint tiene el potencial de ser un índice útil de identificación de talentos para jugadores para este deporte en categorías

juveniles, además de demostrar que la fuerza muscular y el cambio de dirección en la prueba 10x5m, están asociadas con una mayor descarga de T y un bajo 2D:4D, los cuales pueden cambiar durante el crecimiento, por lo que sugieren que estos parámetros no son útiles para la identificación del talento.

En el caso del baloncesto (Dyer et al., 2018) encontraron que las jugadoras con 2D:4D más bajos tendían a desempeñarse mejor en varios aspectos, en especial la posición defensiva y tenían más posibilidades de ser titulares.

Otro estudio (Frick et al., 2017) indicaron que el 2D:4D puede discriminar entre jugadores de baloncesto que compiten en diferentes categorías, pero no entre jugadores de baloncesto dentro de una sola categoría, utilizando estadísticas objetivas relacionadas con el juego. En este mismo sentido (Arede et al., 2019) fue evaluada la potencia a través del salto vertical de Abalakov, la cual está relacionada con un bajo 2D:4D y determinaron que podrían discriminar con éxito a los jugadores seleccionados de los no seleccionados.

De los nueve estudios analizados, ocho obtuvieron resultados que relacionan negativamente el 2D:4D con el rendimiento en deporte de conjunto, por lo que es evidente que el 2D:4D es útil para discriminar los mejores jugadores del resto y por tanto para identificar talentos para deportes de conjunto.

2D:4D en deportes de combate

En general los deportes de combate se caracterizan por acciones explosivas, de alta potencia muscular y corta duración, en las cuales una mayor agresividad enfocada al adversario, característica relacionada con la T, suele ser una ventaja competitiva (Widmeyer y Birch, 1984). En algunos deportes de combate

es decisiva la potencia de los golpes suele ser decisiva (boxeo, taekwondo), en otros los derribos, proyecciones, inmovilizaciones y sumisiones (lucha, judo), sacar al adversario de un área determinada (sumo) o tocar con la punta o la hoja del arma al adversario (esgrima). Las acciones explosivas demandan acelerar el cuerpo en un tiempo corto, lo cual es función de la fuerza muscular en relación con la masa corporal, por lo que se supone una relación inversa entre el desempeño competitivo y el 2D:4D.

En este sentido fue examinada la asociación entre el 2D:4D y las fracturas ocurridas en boxeadores de ambos sexos (Joyce et al., 2013), concluyendo que aquellos que presentaban lesiones relacionadas con la agresión, tenían un 2D:4D estadísticamente más pequeño en comparación con la población normal, es decir, reflejo de una mayor carga de T.

Además, se estudió la relación entre el 2D:4D y la habilidad en el Sumo como sucedáneo de la competitividad física masculina, en 142 sumotoris profesionales japoneses (Tamiya et al., 2012), encontrando unos 2D:4D más bajos en cuanto mejores escalafones y registros obtenían. Sin embargo, los tamaños de efecto relativamente pequeños que se evidenciaron en esta publicación implican, es que el 2D:4D alcanza a ser un predictor débil cuando se refiere a deportes de sollicitación de la potencia muscular explosiva, específicamente en los de resistencia cardiorrespiratoria.

En la esgrima fueron examinados 54 tiradores de torneos austriacos (Voracek et al., 2006), quienes arrojaron diferencias negativas del 2D:4D pero menos en la mano izquierda, en tanto mejor clasificación nacional obtenían.

Los sablistas tuvieron un índice aún menor en la mano derecha.

Posteriormente, examinaron las asociaciones entre 2D:4D y el rendimiento de 58 atletas masculinos y 41 femeninos activos en la esgrima austriaca (Voracek, 2010), encontrando en las mujeres un 2D:4D más bajo en relación con mejores clasificaciones nacionales. Los atletas activos en el arma más agresiva (sable) tenían un 2D:4D aún más bajo que los de espada o florete, concluyendo que el éxito deportivo en la vida adulta podría programarse en parte prenatalmente a través de los efectos extragenitales duraderos de la T.

Sin embargo, un estudio en 180 luchadores de elite (132 hombres) participantes en el campeonato español (de la Cruz et al., 2015), no pudo establecer diferencias en el éxito deportivo en función del 2D:4D de ninguna mano, mientras que tener una alta experiencia de entrenamiento supuso un aumento de hasta 4,38 veces más probabilidad de éxito, (I.C. 95 %. 1,70-11,01). Los resultados sugieren que el 2D:4D no puede predecir el éxito en la lucha libre, mientras que los antecedentes de entrenamiento son un buen predictor de la competitividad en luchadores altamente entrenados.

De los cinco estudios realizados en deportes de combate, en cuatro se halló dependencia negativa entre el 2D:4D y el rendimiento deportivo. Finalmente, se han encontrado diferencias en los resultados del 2D:4D en función de grupos étnicos Manning et al. 2007).

CONCLUSIONES

De 128 artículos registrados, fueron encontrados 31 que relacionaran el 2D:4D con el rendimiento en algún



deporte o modalidad. En 26 se encontró relación negativa entre el 2D:4D y el rendimiento deportivo, mientras en cinco no fue así.

Dado que el 2D:4D es una característica estable durante la vida, es evaluable con una técnica no invasiva, fácil de realizar y económica y que en general es útil para distinguir a deportistas elite de no elite y a estos de los no deportistas, se recomienda su uso en el proceso de DTAL, combinado con la evaluación de otras características morfológicas, de la condición física y psicológicas.

Por cuanto se han encontrado diferencias en los resultados del 2D:4D en función de grupos étnicos, no es posible establecer parámetros poblacionales con valor universal para detectar talentos para los diferentes deportes, sin embargo, los valores más bajos podrán marcar una mayor predisposición para las modalidades de resistencia aeróbica.

Agradecimientos

A la Universidad de Caldas, Manizales, Colombia, por la financiación del estudio. A los deportistas y entrenadores integrantes de la muestra.

Conflicto de interés

Los autores manifiestan no tener ningún conflicto de interés.

Participación de los autores

Todos los autores participaron en cada una de las fases del estudio y en la elaboración del manuscrito.

REFERENCIAS

Acar H, Eler N. The Relationship of Digit Ratio (2D:4D) With Cerebral Lateralization and Grip Strength in Elite Swimmers. *J. Educ. Train. Stud.* 2018;6(4):84.

Acevedo M. Técnicas Deportivas y su aplicación en las diferentes etapas de la

vida del deportista. Ed. Gobernación de Nariño. (Colombia); 2010.

Allen SV, Vandenberg TJ, Pyne DB, Hopkins WG, et al. Predicting a nation's olympic-qualifying swimmers. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 2015;10(4): 431-435.

Arede J, Esteves P, Ferreira AP, Sampaio J, Leite N, et al. Jump higher, run faster: effects of diversified sport participation on talent identification and selection in youth basketball. *J. Sports Sci.* 2019;37(19).

Baker F. Anthropological notes on the human hand. *Am. Anthropol.* 1888; 1: 51-76.

Bennett M, Manning JT, Cook CJ, Kilduff LP. Índice digital (2D:4D) y rendimiento en jugadores elite de rugby. *J. Sports Sci.* 2010; 28(13):415-421.

Bescós R, Esteve M, Porta J, Mateu M, Irurtia A, Voracek M. Prenatal programming of sporting success: Associations of digit ratio (2D:4D), a putative marker for prenatal androgen action, with world rankings in female fencers. *J. Sports Sci.* 2009;27(6):625-32.

Cheng-Chen H, Borcherng S, Nai-Wen K, Su-Ling L, Tsorng-Harn F, Chung-Pu C, Ching-Chyuan C, Mei-Chich H, et al. Elite collegiate tennis athletes have lower 2d:4d ratios than those of nonathlete controls. *J. Strength Condit. Res.* 2015; 29(3): 822-825.

De la Cruz-Sánchez E, García-Pallarés J, Torres-Bonete MD, López-Gullón JM. Can Our Fingers Alone Raise Us Up to the Sky? Analysis of the Digit Ratio Association with Success in Olympic



- Wrestling. Coll. Antropol. 2015;39(3):515-9.
- Di Corrado D, Perciavalle V. Digit ratio (2D:4D) and mood states in elite female water polo players. *Sport Sci. Health.* 2013;9(1):19-23.
- Dyer M, Short SE, Short M, Manning JT, Tomkinson GR. Relationships between the second to fourth digit ratio (2D:4D) and game-related statistics in semi-professional female basketball players. *Am. J. Hum. Biol.* 2018;30(1):1-8.
- Epstein D. El gen deportivo ¿Un atleta excelente nace o se hace? Barcelona: Urano; 2013
- Erkan G, Funda A, Aksel Ç, Mete E, Nuket GM. Digit ratio (2D:4D) comparison between competitive age group swimmers and non-athletes. *Palestrica Third Millenn. Civiliz. Sport.* 2017;18(4):206-9.
- Fink B, Grammer K, Mitteroecker P, Gunz P, Schaefer K, Bookstein FL, et al. Second to fourth digit ratio and face shape. *Proc. R. Soc. B. Biol. Sci.* 2005;272(1576):1995-2001.
- Fisher RJ y Borms J. The searching for sporting excellence. ICSSPE - Verlag Karl Hofmann. 1990.
- Frick NA, Hull MJ, Manning JT, Tomkinson GR. Relationships between digit ratio (2D:4D) and basketball performance in Australian men. *Am. J. Hum. Biol.* 2017;29(3):1-6.
- Garn SM, Burdi A, Babler WJ, Stinson S, et al. Early prenatal attainment of adult metacarpal-phalangeal rankings and proportions. *Am. J. Phys. Anthropol.* 1975; 43(3): 327-332.
- George R. Human finger types. *Anat. Res.* 1930; 46: 199-204.
- Hahn, E. El niño y el deporte. Barcelona: Martínez Roca; 1988
- Handelsman DJ, Hirschberg AL, Bermon S. La testosterona circulante como la base hormonal de las diferencias sexuales en el rendimiento deportivo. *Endocr. Rev.* 2018; 39(5): 803-829.
- Hawley, Burke. Rendimiento deportivo máximo. Barcelona: Paidotribo; 2000
- Hill R, Simpson B, Manning J, Kilduff L, et al. Right-left digit ratio (2D:4D) and maximal oxygen uptake. *J. Sports Sci.* 2012;30(2): 129-134.
- Hirose N, Seki T. Two-year changes in anthropometric and motor ability values as talent identification indexes in youth soccer players. *J. Sci. Med. Sport.* 2016;19(2): 158-162.
- Holzapfel SD, Chomentowski III PJ, Summers LAM, Sabin MJ. Running head: 2D:4D and Aerobic Fitness in Young Adults: The relationship between digit ratio (2D:4D), VO2MAX, ventilatory threshold, and running performance. *Intl. J. Sports Sci. Fitness.* 2016;6(1):1-30.
- Hsu CC, Fong TH, Chang HM, Su B, Chi CP, Kan NW, Hsu MC, et al. Low second-to-fourth digit ratio has high explosive power? A prepubertal study. *J. Strength Condit. Res.* 2018;32(7): 2091-2095.
- Hull MJ, Schranz NK, Manning JT, Tomkinson GR. Relationships between digit ratio (2D:4D) and female



competitive rowing performance. *Am. J. Hum. Biol.* 2015;27(2):157–63.

Joyce CW, Kelly JC, Chan JC, Colgan G, Curtin W, et al. Second to fourth digit ratio confirms aggressive tendencies in patients with boxers fractures. *Injury.* 2013;44(11): 1636-1639.

Lanier A. Introducción a la teoría y método del entrenamiento deportivo. Científico Técnica. 1997.

Leiva, JH. Selección y orientación de talentos deportivos. Armenia: Editorial Kinesis, programa editorial Universidad del Valle; 2010.

Lippa RA. Are 2D:4D Finger-Length Ratios Related to Sexual Orientation? Yes for Men, No for Women. *J. Pers. Soc. Psychol.* 2003;85(1):179–88.

Lombardo MP, Otieno S, Heiss A. College-aged women in the United States that play overhand throwing sports have masculine digit ratios. *PLoS One.* 2018;13(9): e0203685.

Longman D, Wells JCK, Stock JT. Can persistence hunting signal male quality? A test considering digit ratio in endurance athletes. *PLoS One.* 2015;10(4):1–13.

Lucas KF, Eric JH, James MS, et al. Digit Ratio Is Unrelated To One Mile Running Performance In Males And Females: 1679 Board #332 June 2, 8: 00 AM - 9: 30 AM. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2016;48(5S Suppl 1): 467.

Mailhos A, Bunnk AP, Arca D. La Relación 2D:4D Muestra Una Leve Correlación Positiva Con La Dominancia Agresiva, Pero No Con La Dominancia Social, En Jugadores De Fútbol De Categorías

Formativas De Un Equipo De Primera División En Uruguay. *Ciencias Psicológicas.* 2013;VII(2):143–50.

Manning JT, Barley L, Walton J, Lewis-Jones DI, Trivers RL, Singh D, et al. The 2nd:4th digit ratio, sexual dimorphism, population differences, and reproductive success: Evidence for sexually antagonistic genes? *Evol. Hum. Behav.* 2000;21(3):163–83.

Manning JT, Churchill AJG, Peters M. The effects of sex, ethnicity, and sexual orientation on self-measured digit ratio (2D:4D). *Arch. Sex. Behav.* 2007;36(2):223–33.

Manning JT, Hill MR. Digit ratio (2D:4D) and sprinting speed in boys. *Am. J. Hum. Biol.* 2009;21(2):210–3.

Manning JT, Morris L, Caswell N. Endurance Running and Digit Ratio (2D:4D): Implications for Fetal Testosterone Effects on Running Speed and Vascular Health. *Am. J. Hum. Biol.* 2007;19:416–421.

Manning JT, Scutt D, Wilson J, Lewis-Jones DI, et al. The ratio of 2nd to 4th digit length: A predictor of sperm numbers and concentration of testosterone, luteinizing hormone and estrogen. *Hum. Reproduct.* 1998; 13(11): 3000-3004.

Manning JT, Taylor RP. Second to fourth digit ratio and male ability in sport: Implications for sexual selection in humans. *Evol. Hum. Behav.* 2001;22(1):61–9.

Morishima A, Grumbach MM, Simpson ER, Fisher C, Quin K, et al. Aromatase deficiency in male and female siblings



caused by a novel mutation and the physiological role of estrogens. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 1995; 80(12): 3689-3698.

Murr D, Raabe J, Höner O. The prognostic value of physiological and physical characteristics in youth. *Eur. J. Sport Sci.* 2018;18(1).

Perciavalle V, Di Corrado D, Petralia MC, Gurrisi L, Massimino S, Coco M. The second-to-fourth digit ratio correlates with aggressive behavior in professional soccer players. *Mol. Med. Rep.* 2013;7(6):1733-8.

Perciavalle V, Di Corrado D, Scuto C, Perciavalle V, Coco M. Anthropometrics related to the performance of a sample of male swimmers. *Percept. Mot. Skills.* 2014;118(3):940-50.

Phelps VR. Relative index finger length as a sex-influenced trait in man. *Am. J. Hum. Genetics.* 1952; 4: 72-89.
Putz A, Harris M. Gender transitions. *Bio. Essays.* 2004; 26(9):1031-1033.

Ramos S, Ayala CF, Aguirre HH. Planificación del entrenamiento en Juegos Deportivos Suramericanos Medellín 2010: modelos, duración y criterios. *Actividad y Divulgación Científica UDCA.* 2012;67-76.

Ramos S, Ayala CF, García AM. Planificación del Entrenamiento Deportivo en Juegos Escolares Centroamericanos y del Caribe Armenia 2013. *Rev. Act. Fís. Des. Hum.* 2017; 8 (1).

Sánchez J, Campuzano O, Iglesias A, Brugada R, et al. *Genética y deporte.*

Apunts Sports Medicine. 2009; 44(162): 86-97.

Sarmiento H, Marques A, Field A, Martins J, Gouveia ÉR, Mondragón L, et al. Genetic influence on football performance: a systematic review. *Human Movement.* 2020;21(4):1-17.

Simonton DK. Talent and its development: An emergenic and epigenetic model. *Psyc. Rev.* 1999;106(3): 435-457.

Sudhakar HH, Veena Umesh B, Nadig TR. Digit ratio (2D: 4D) and performance in Indian swimmers. *Indian J. Physiol. Pharmacol.* 2013;57(1):72-6.

Tamiya R, Lee SY, Ohtake F. Second to fourth digit ratio and the sporting success of sumo wrestlers. *Evol. Hum. Behav.* [In. 2012;33(2):130-6.

Trivers R, Hopp R, Manning J. A longitudinal study of digit ratio (2D:4D) and its relationships with adult running speed in Jamaicans. *Hum. Biol.* 2013;85(4):623-5.

Villamarin S, Zaldivar B. Influencia de los factores genéticos y ambientales en la selección de talentos. *Acción.* 2020; 16:1-13.

Voracek M, Reimer B, Dressler SG. Digit ratio (2D:4D) predicts sporting success among female fencers independent from physical, experience, and personality factors. *Scand J. Med. Sci. Sport.* 2010;20(6):853-60.

Voracek M, Reimer B, Ertl C. Dressler SG. Digit ratio (2D:4D), lateral preferences, and performance in



fencing. Percept. Mot. Skills. 2006;103(2): 427-46.

Widmeyer WN, Birch JS. Aggression in professional ice hockey: A strategy for success or a reaction to failure? The J. Psych. 1984;117(1): 77-84.

Wolstencroft E. Talent Identification and Development: An Academic Review. Edinburgh: Sportscotland. 2002.

Yurdakul HÖ, Özen G, Koç H. The relationship between digit ratio (2D:4D), anaerobic power and athletic ability of young athletes. Univers. J. Educ. Res. 2018;6(12):2913–7.

Zatsiorski, VM. Metrología deportiva. 1ª ed. Moscú: Planeta; 1989