

Heredabilidad de la flexibilidad: un estudio hecho con hermanos gemelos

GIL RODAS,¹

GERARD MORAS,²

ASSUMPTA ESTRUCH,¹

JOSEP LLUIS VENTURA³

¹ Secretaria General de l'Esport.
Generalitat de Catalunya

² Institut Nacional d'Educació Física
de Barcelona (INEFB).
Universitat de Barcelona.

³ Hospital Universitari "Prínceps
d'Espanya". Universitat de Barcelona.

CORRESPONDENCIA:

Gil Rodas

Secretaria General de l'Esport

Av. Paisos Catalans, 12

08950 Esplugues de Llobregat

(Barcelona) Spain

Tel: 93 480 49 00 - Fax: 93 480 49 10

ABSTRACT. Flexibility (FL) defined as the scope of movement of one or several joints is a factor of sport performance, which is determined by age, gender, training, anthropomorphic characteristics and genetic factors, of which very little has been studied. **METHOD:** To establish the relative importance of genetic and environmental influence on flexibility, we have studied the genetic component, using the Heredity Index (HI at a value of 1.0 indicates that 100% of the variation would be due to genetic variation) in 24 sportsmen split into 12 pairs of twin brothers (6 monozygotes and 6 dizygotes), who did not have any significant perinatal or environmental differences. Zygosity was determined by genetic analysis of the leukocyte human antigen system (LHA), especially the Class I and II loci, and other genetic variants. To calculate the FL, the subjects underwent an indirect flexometric test for the trigonometric calculation of the angle of aperture of the scapulohumeral (FL, SHA) and coxofemoral joints (FL, CFA), the latter broken down into the horizontal and sagittal fields, for active and forced passive movements and for both legs. **RESULTS:** We do not find significant differences in the age and anthropomorphic measurements between the two groups (MZ and DZ). The HIs which were statistically significant for $F_{6,6}$ (DZ MZ-1) over 4.2 and $P < 0.05$, are the FL, CFA in the transversal plane for open legs and active (0.82) and forced passive (0.77) movement, and in the sagittal plane for the right leg in active movement (0.78). **CONCLUSION:** We conclude that the genetic influence of flexibility is substantial, especially of the coxofemoral joint (75%) and mainly of the right leg, and our study corroborates the previous results yielded by family studies, at least for the target public of our research.

KEY WORDS: Heriditability, Flexibility, Twin Brothers.

RESUMEN: ANTECEDENTES: La flexibilidad (FL) definida como el rango de amplitud de movimiento de una o varias articulaciones es un factor del rendimiento deportivo que viene determinado por la edad, el sexo, el entrenamiento, por características antropométricas y por factores genéticos de los que se ha estudiado muy poco. **MÉTODO:** Para averiguar la importancia relativa de la influencia genética y ambiental en la flexibilidad, hemos estudiado el componente genético utilizando el índice de heredabilidad (IH = un valor de 1.0 indica que el 100% de la variación sería debida a variación genética) en 24 sujetos varones y deportistas divididos en 12 parejas de hermanos gemelos —6 monocigotos y 6 dicigotos— que no presentaban diferencias perinatales ni ambientales significativas. La cigosidad se determinó mediante el análisis genético del sistema antigénico humano leucocitario (HLA), específicamente los locus de la clase I y II, y otras variantes genéticas. Para el cálculo de la FL los sujetos realizaron un test flexométrico indirecto para el cálculo trigonométrico del ángulo de abertura de las articulaciones escapulohumeral (FL, AEH) y coxofemoral (FL, ACF), esta última desglosada en el campo horizontal y sagital para movimientos activos y pasivos forzados y para ambas piernas. **RESULTADOS:** No encontramos diferencias significativas en la edad y las medidas antropométricas entre los dos grupos (MZ y DZ). Los IH que fueron estadísticamente significativos para $F_{6,6}$ (DZ·MZ-1) superior a 4, 2 y $P < 0.05$ son el FL, ACF en el plano transversal para piernas abiertas y movimiento activo (0.82) y pasivo forzado (0.77) y en el plano sagital para la pierna derecha en movimiento activo (0.78). **CONCLUSIONES:** Nosotros concluimos que la influencia genética de la flexibilidad es sustancial, sobre todo de la articulación coxofemoral (75%) y preferentemente de la pierna derecha, y que al menos para la población que hemos estudiado nuestro estudio corrobora los resultados anteriores hechos con estudios familiares.

PALABRAS CLAVE: Heredabilidad, Flexibilidad, Hermanos Gemelos.

INTRODUCCIÓN

La heredabilidad de las características morfofuncionales que contribuyen a un alto rendimiento deportivo ha sido ampliamente estudiada. La contribución del efecto genético relativo a la variabilidad del fenotipo ha sido estudiada mediante estudios familiares, estudios con hermanos gemelos o por datos extensos de descendencia o adopciones.¹

En los estudios con hermanos gemelos el procedimiento más utilizado es el cálculo del índice de heredabilidad (IH) que es un valor numérico que determina la proporción de la variación atribuible a factor genético, y así un valor de 1.0 indica que el 100% de la variación sería debida a variación genética. Este índice se ha determinado por varios componentes del rendimiento deportivo, así como por factores dependientes de la salud mediante diferentes procedimientos matemáticos,^{2,3,4,5} pero los resultados han sido muy contradictorios, probablemente por el hecho de trabajar con muestras poco homogéneas: sexos diferentes, edades diferentes, actividades físicas diferentes, o porque el método estadístico para valorar el fenotipo no ha sido el más adecuado.⁶

La flexibilidad (FL) ha sido definida por el rango de amplitud de movimiento de una o varias articulaciones,⁷ es decir, por moverse hasta unos límites naturales. Éstos los constituyen la disposición ósea de la articulación, los ligamentos que la refuerzan, la cápsula fibrosa y los músculos y tendones que la cruzan.⁸ Es un factor del rendimiento deportivo que viene determinado por la edad, el sexo, el entrenamiento, por características antropométricas y por factores genéticos de los que se ha estudiado muy poco.

Los únicos estudios que hemos encontrado que han estudiado el componente genético de la FL han sido los realizados por Devor y Crawford (1984),⁹ Perusse LC *et al.* (1988),¹⁰ y Maes H y cols. (1996),¹¹ donde determinan en estudios de correlaciones familiares —y el último también con hermanos gemelos— unos valores de heredabilidad de la FL moderadamente altos, aunque bastante dispersos, de 0.35 a 0.85. Son estudios familiares que trabajan principalmente en muestras muy grandes, con ambos sexos, en edades infantiles, y utilizando el test de flexión del tronco, el test *sit and reach* de la batería Eurofit,¹² como valoración de la flexibilidad, y con diferentes análisis estadísticos.

El objetivo de este estudio ha sido determinar la diferente contribución de los factores ambientales y genéticos de la flexibilidad, seleccionando una muestra suficientemente homogénea, un método de valoración actualizado y fiable, y la utilización de un procedimiento estadístico adecuado. Con este propósito hemos evaluado el índice de heredabilidad de la flexibilidad de la articulación coxofemoral y escapulohu-

meral, analizando una muestra de gemelos varones deportistas con idénticos antecedentes familiares y personales y de edades entre 17 y 30 años.

MATERIAL Y MÉTODO

Un grupo de 12 parejas de gemelos varones sanos, 6 monocigotos (MZ) y 6 dicigotos (DZ), todos ellos deportistas sin diferencias significativas en su actividad física, han estado de acuerdo en participar en este estudio. Todos los sujetos han practicado regularmente ejercicio físico de forma amateur, baloncesto o fútbol. Sus principales características son (media y DS), los MZ, edad: 22 (DS 2); peso: 76 (DS 7); talla: 174 (DS 6) y los DZ, edad: 22 (DS 3), peso: 73 (DS 8) y talla: 174 (DS 8), no habiendo diferencias estadísticamente significativas entre los dos grupos.

Determinación de la cigosidad

Se determinó la cigosidad mediante el análisis genético que sigue el Hospital Clínic de Barcelona para el estudio de la paternidad y que es el siguiente:

- 1) Tipaje serológico del sistema HLA, clase I mediante técnica de microlinfocitotoxicidad, incluyendo 60 variantes alélicas de los locus A, B y C.¹³
- 2) Sistemas antigénicos eritrocitarios (ABO, Rh, MNSs, Duffy, Kidd Lutheran y sistema P), que se determinaron mediante técnica estándar de aglutinación y test de anti-globulina.¹⁴ Todos los fenotipos fueron duplicados y tratados por trabajadores independientes.
- 3) Polimorfismo proteico que fue determinado por las siguientes proteínas plasmáticas: transferrina (Tf), alfa-1 antitripsina (Pi), componente de grupo (Gc) y haptoglobina (Hp).^{15, 16, 17} La isoelectrofocús en gels fue utilizada siguiendo diferentes rangos de amofilinas para cada proteína. Los gels fueron teñidos con azul de coomassie R-250 para Pi, Tf y Hp. Las bandas del componente de grupo fueron leídas después de una simple precipitación con ácido sulfosalicílico.
- 4) El polimorfismo enzimático: el fenotipo de los subtipos de la fosfoglucomutasa 1 (PGM1) y fosfatasa ácida (AcP) fueron determinados por isoelectrofocusing en gels de poliacrilamida (T5 5%, C 3%) con anfolinas pH 5-8 o pH 5-7 para AcP y PGM1, respectivamente. La visualización isoenzimática fue realizada de acuerdo a Sutton y Burgess (1978),¹⁸ para la PGM1 y Burdett y Whitehead (1977),¹⁹ para AcP. Los fenotipos de la glicoxalasa (GLO) fueron determinados por electroforesis en un gel de aga-

rosa-starch mediante la técnica descrita por Parr et al. (1977),²⁰ utilizando técnica de actividad específica. Se consideró que los hermanos gemelos eran MZ cuando todos los marcadores antigénicos eran idénticos y DZ cuando no. Los hermanos gemelos DZ diferían al menos en dos sistemas polimórficos.

Antropometría

Utilizamos una balanza seca ajustada hasta los 100 g, un tallímetro y un antropómetro (Atlántida, Barcelona), un palo de madera graduado de 0 a 120 cm y 25 mm de diámetro y un flexómetro (flexómetro, Barcelona).

Test flexométrico

Aunque existen diferentes formas de valorar la flexibilidad,^{21, 22} nosotros utilizamos el test flexométrico de Moras y Torres (1989),²³ y Moras G. (1992),²⁴ por ser actualmente de los más válidos y reproducibles, y que se basa en el cálculo trigonométrico del ángulo de apertura de un segmento corporal.

Con el fin de ser muy precisos al pasar los tests, los individuos realizaron las pruebas sin calentamiento previo específico, descalzos, y se tuvo mucho cuidado de que la ropa no entorpeciera el movimiento. Todas las medidas las realizó siempre la misma persona y en el lado derecho. Para medir la longitud de la pierna (L_p) y del brazo (L_b) se siguió la técnica de Torres y Moras (1990),²⁵ y para las medidas del diámetro biacromial (da) y diámetro bitrocantero (dt), la técnica de Ross y cols. (1978),²⁶

Cálculo de variables

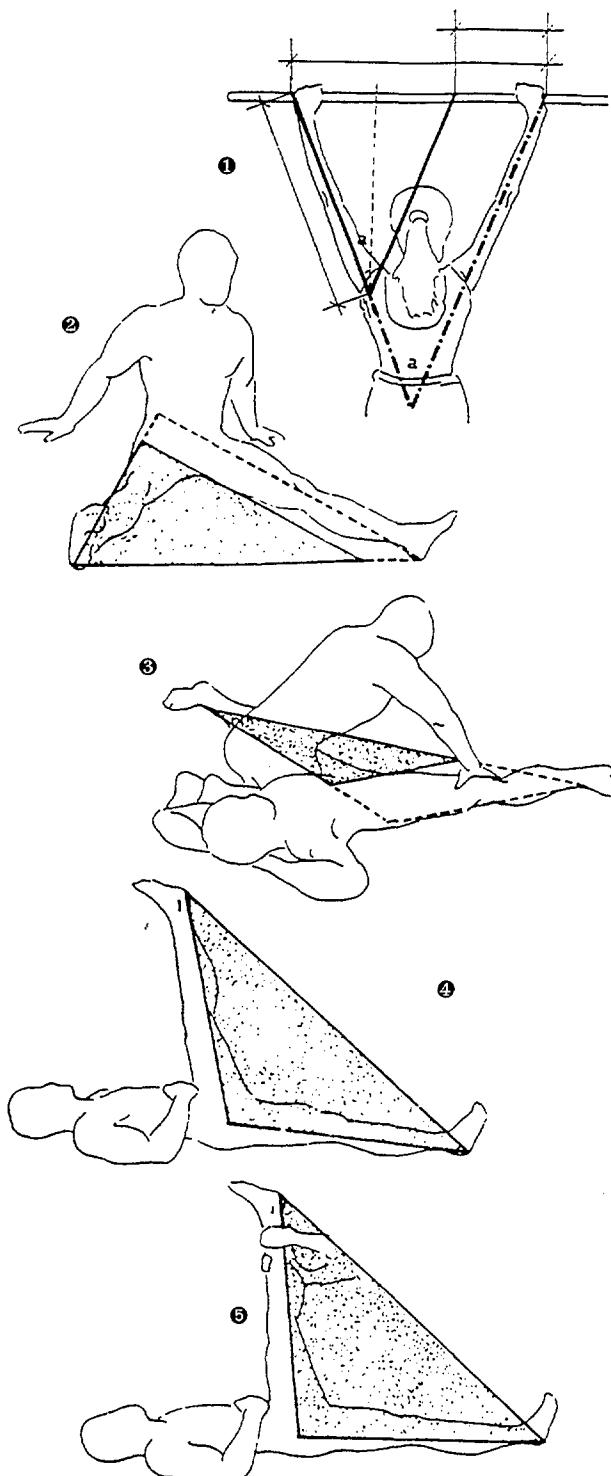
Flexibilidad de la articulación escapulo humeral (FL, AEH).

Consiste en un giro de hombros con palo (Fig.1.1). El sujeto coge con las dos manos la pica y por ensayo y error (intenta no hacer más de cinco intentos) se determina la mínima distancia de separación de brazos con la que se puede llevar la pica desde la parte anterior hasta la parte posterior del cuerpo, manteniendo siempre los brazos estirados.

Es necesario que todos los dedos de las manos no pierdan contacto con la pica al hacer el movimiento. Asimismo, se permite que el sujeto doble los brazos para volver a la posición inicial una vez realice el movimiento. Se determina la distancia de separación entre los dos lados externos del quinto metacarpiano (ds) y se calcula la flexibilidad de la articulación escapulo humeral mediante la fórmula: $FL, AEH = 2 \arcsin(ds-da) / 2Lb$.

Figura 1

- ①: esquema de la posición para la valoración de la flexibilidad de la articulación escapulo humeral (FL, AEH).
- ②: para la articulación coxofemoral (FL, ACF1) en piernas abiertas y movimiento activo;
- ③: FL, ACF2 en piernas abiertas pasivo forzado;
- ④: FL, ACF3, 5 para pierna derecha e izquierda activo;
- ⑤ FL, ACF4, 6 : para cada pierna pasivo y forzado.



Flexibilidad de la articulación coxofemoral (FL, ACF).

Consiste en la abducción de las extremidades inferiores, en el plano transversal y sagital:

I. En el plano transversal se realiza la máxima separación de las piernas en:

MOVIMIENTO ACTIVO LIBRE: El sujeto, sentado en el suelo de manera perpendicular, intenta separar al máximo las piernas en un solo movimiento y sin rebotes (Fig. 1.2). Determinan la distancia de separación entre los dos lados externos del calcáneo (ds). Así calculamos el FL, ACF1 = $2\arcsin(ds-da)/2Lp$.

MOVIMIENTO PASIVO FORZADO: El sujeto, con la espalda apoyada en el suelo y las piernas rectas y perpendiculares al mismo, se relaja al mismo tiempo que el ayudante tracciona las dos piernas, separándolas hasta que el ejecutor llega al límite articular no doloroso (Fig 1.3). Se determina la máxima distancia de separación entre los dos lados externos del calcáneo (ds). Así se calcula la flexibilidad de FL, ACF 2= $2\arcsin(ds-da)/2Lp$

II. En el plano sagital, se realiza una anteversión de la pierna desde decúbito supino.

MOVIMIENTO ACTIVO LIBRE: El sujeto, en decúbito supino, intenta elevar al máximo una pierna manteniendo el cuerpo y la otra pierna pegada al suelo (Fig 1.4). Es necesario evitar movimientos rápidos o balísticos. Se determina la máxima distancia lograda entre ambos extremos externos de los calcáneos (ds) y mediante la fórmula = $2\arcsin ds/2Lp$, calculamos para la pierna derecha (FL, ACF3) y la izquierda (FL, ACF5).

MOVIMIENTO PASIVO FORZADO: El sujeto en decúbito supino se relaja al mismo tiempo que el ayudante eleva al máximo una pierna hasta que el ejecutor llega al límite articular no doloroso. En todo momento el sujeto ha de mantener el cuerpo y la pierna no movilizadas en contacto con el suelo (Fig. 1.5). Es necesario elevar la pierna con lentitud para evitar la activación del reflejo miotático. Se determina la máxima distancia lograda entre ambos extremos externos de los calcáneos (ds) y mediante la fórmula = $2\arcsin ds/2Lp$, calculamos para la pierna derecha (FL, ACF4) y la izquierda (FL, ACF6).

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos obtenidos han sido analizados mediante modelos ANOVA en los que se han considerado como variables observadas las medidas de flexibilidad y como causas de variación, el tipo genético (MZ y DZ) y el factor pareja (seis parejas dentro de cada tipo genético). Nos resulta, pues, un

Tabla I

Media y desviación estándar de: Lp, longitud de pierna; Lb, longitud de brazo; Da, diámetro biacromial; Dt, diámetro bitrocantero; FLAEH: Flexibilidad (FL) articulación escapulohumeral; FL, ACF1, FL articulación coxofemoral (ACF) en piernas abiertas y movimiento activo; FL, ACF2, FL en piernas abiertas pasivo forzado; FL, ACF3, FL pierna derecha activa; FL, ACF4 de la pierna derecha pasiva forzada; FL, ACF5 de la pierna izquierda activa; FL, ACF6, pierna izquierda pasiva y forzada. MZ: Monocigotos, DZ: Dicigotos; F ratio $DZ \cdot MZ^{-1} : F_{6,6} > 4.2$ diferencias significativas; IH: valor del índice de heredabilidad; * significación estadística para $P < 0.05$.

	DZ Media (DS)	MZ Media (DS)	IH Media (DS)	F ratio DZ·MZ ⁻¹
Lc (cm)	90.7 (3)	92.1 (5)		
Lb (cm)	64.8 (3)	66.6 (3)		
Da (cm)	41.5 (2)	41.1 (1)		
Dt (cm)	34.1 (1)	33.8 (1)		
FL, AEH	57.1 (23)	56.2 (21)	0.54	2.21
FL, ACF1	75 (15)	73 (12)	0.82*	5.76
FL, ACF2	92.5 (11)	84.4 (13)	0.77*	4.35
FL, ACF3	82.5 (11)	84.4 (10)	0.78*	4.66
FL, ACF4	100.8 (20)	95 (13)	0.58	2.41
FL, ACF5	82.5 (11)	82.5 (10)	0.49	1.85
FL, ACF6	108 (17)	92 (12)	0.60	1.42

modelo ANOVA a dos factores donde el factor pareja está jerarquizado en el factor tipo genético. Como resultado del mismo decidimos si existían o no diferencias entre los tipos genéticos considerados y si la variabilidad entre parejas resultaba significativa estadísticamente. En caso de no obtener diferencias globales entre los dos tipos genéticos (no significación del ANOVA anteriormente descrito), se diseñó un modelo ANOVA para cada tipo genético, considerando como única causa de variación el factor pareja. La variancia residual de cada uno de los ANOVAS anteriores será la estimación de la variabilidad por el tipo genético considerado y por tanto será el valor utilizado en el cálculo del índice de heredabilidad. Éste se puede entender como el coeficiente de las diferencias entre la variancia residual de DZ y MZ respecto a la variancia residual de DZ. Este parámetro puede entenderse como el porcentaje de la variabilidad intrínseca, dependiendo únicamente del grupo genético considerado. Las diferencias interpareja entre MZ y DZ fueron consideradas estadísticamente significativas para $P < 0.05$, y la variabilidad del IH fue considerada estadísticamente significativa cuando $F_{6,6}$ fue superior a 4.3 y $P < 0.05$. El objetivo de esta metodología es separar los componentes genéticos y ambientales del error ex-

perimental de la medida ya que la variancia no controlada tiene que ser similar en ambos grupos de gemelos.

RESULTADOS

En la Tabla I exponemos los datos (medios y DS) de las medidas antropométricas realizadas, los resultados de la FL según los cálculos trigonométricos y el IH con su significación estadística. No existieron diferencias significativas ($P < 0.05$) de las medidas antropométricas ni de los cálculos de la FL entre los dos grupos (MZ y DZ). Respecto a los IH, los consideramos estadísticamente significativos cuando $F_{6, 6} > 4.2$ y $P < 0.05$. Además encontramos que:

- I. La FL de la articulación escapulohumeral presenta una menor heredabilidad que la articulación coxofemoral, en el plano transversal con un IH de 0.82 para el movimiento activo y 0.78 para el pasivo y forzado, ambos estadísticamente significativos.
- II. En la articulación coxofemoral existe un componente genético más determinante para la pierna derecha (FL, ACF3 = 0.78 y FL, ACF4 = 0.58) que para la izquierda (FL, ACF5 = 0.49; FL, ACF6 = 0, 59), aunque tan sólo es estadísticamente significativo el FL, ACF3.
- III. Que para la articulación coxofemoral existe una mayor heredabilidad para los movimientos activos (FL, ACF 1, 3, 5) que para los pasivos forzados (FL, ACF 2, 4, 6).

DISCUSIÓN

Después de evaluar diferentes procedimientos y técnicas comúnmente utilizados para cuantificar la contribución del factor genético y ambiental en la variación de una cualidad física encontramos que los estudios de correlación familiar mediante modelos genéticos de descendencia de un fenotipo de padres a hijos eran muy costosos y menos fiables que los realizados en gemelos,^{2, 3, 4, 5, 27, 28} que, aunque también han sido criticados por algunos autores,^{29, 30, 31} siguen siendo uno de los más efectivos al diferenciar la importancia relativa del componente genético respecto al ambiental, y sigue siendo la base de importantes estudios realizados por importantes grupos de científicos.^{32, 33, 34, 35, 36}

Por otro lado, existen numerosas pruebas para valorar la flexibilidad, aunque pocas han sido correctamente validadas y aceptadas.^{21, 22, 24} Nosotros hemos elegido un test que utiliza un flexómetro, parecido al goniómetro, que permite medir la amplitud de cualquier movimiento articular y el cálculo trigonométrico del ángulo de abertura.^{23, 24}

Los estudios hechos hasta ahora para analizar el componente genético de la flexibilidad,^{10, 11, 12} han hallado una here-

dabilidad de moderada a alta (0.38-0.85) y por tanto parece ser una cualidad muy inherente y por tanto no muy modificable por factores ambientales como el entrenamiento. Otras cualidades como la potencia y la resistencia aeróbica, aunque los estudios muestran una alta variabilidad, hallan una heredabilidad inferior (< 0.50),^{6, 37} y en cambio para la fuerza estática y explosiva parece existir también una fuerte determinación genética (0.60 i 0.90).^{27, 28}

Lo que es común a todos los trabajos que estudian la contribución de factores genéticos en la FL,^{9, 10, 11} es generalizar las conclusiones para todos los segmentos corporales mediante el estudio del cálculo de la flexibilidad del tronco con el test de "sit and reach" de la Batería Eurofit, que aunque es un test muy reproducible y sencillo para realizar en grandes poblaciones,³⁸ creemos que presenta importantes limitaciones en la interpretación de los resultados, ya que en la flexión del tronco intervienen más factores como la elasticidad de la musculatura isquiotibial, de los m. flexores de la cadera, del componente cápsuloligamentoso de la articulación coxofemoral y lumbosacra, etc.

Los valores de la heredabilidad de la FL que encuentra Maes y cols. (1996),⁹ mediante este test en un grupo de hermanos gemelos, chicos y chicas de 10 años, son de 0.38 para chicos y 0.50 en chicas, y mediante el estudio familiar con padres e hijos encuentra un 0.72 para hombres y 0.51 para mujeres. Estos valores son parecidos (0.48 y 0.66) a los que encuentran en los estudios familiares Devor y Crawford (1984) en ucranianos inmigrantes en Kansas y Perrusse y cols. 1988 con población canadiense. Estos valores son ligeramente inferiores a los valores que encontramos nosotros para la articulación femoral, y parecidos a los que encontramos para la articulación escapulohumeral. Esto puede explicarse por varios factores:

- I. Por el test *sit and reach* que utilizan ellos y que por tanto no valora exactamente la articulación coxofemoral.
- II. La edad, en el caso del trabajo de Maes y cols. (1986) son niños de 10 años y la heredabilidad es baja comparada con nosotros, posiblemente porque las diferencias de FL son más evidentes después de la pubertad y, por otro lado, la flexibilidad es una cualidad involutiva que a partir de los 30 años, si no se entrena, se pierde notablemente, y por tanto la valoración que se haga en los estudios familiares a los padres puede también estar muy sesgada.
- III. Por otro lado siempre se ha estudiado la heredabilidad a partir del cálculo de la flexión del tronco, pero nunca de ninguna otra articulación. Nosotros estudiamos la de la articulación escapulohumeral y encontramos valores por debajo de la coxofemoral. Los valores más bajos que en la

coxofemoral podrían ser atribuibles a que existe un mayor proceso de entrenamiento de AEH (son jugadores de baloncesto y fútbol), aparte que es una articulación con más grados de libertad y menos limitaciones estructurales. Por tanto es lógico encontrar valores más bajos de heredabilidad de la articulación escapulohumeral, ya que el factor ambiental tiene que haber influido más que en los niños de los anteriores estudios.

Respecto a las diferencias que encontramos en las diferentes valoraciones en movimientos pasivo y activo y pierna derecha e izquierda, podemos decir que:

1. Todos los tests basados en movimientos activos libres muestran una dispersión más pequeña porque es más preciso determinar el límite del movimiento articular, ya que no dependen tanto de las sensaciones del dolor y de los reflejos correspondientes. Por otro lado, existe una mayor heredabilidad para los movimientos activos (FL, ACF 1, 3, 5) que para los pasivos forzados (FL, ACF 2, 4, 6), ya que en los forzados añadimos otro componente al factor ambiental, en parte incontrolable, como es el instructor que modifica la amplitud de movimiento.
2. Las diferencias más grandes encontradas al manipular la pierna izquierda pueden explicarse si pensamos que todas las parejas exploradas tenían como pierna dominante la derecha y, por esto, podemos pensar que la izquierda dispone de un peor control y regulación del movimiento, el cual se refleja en todos los factores neuromusculares asociados a éste (reflejo miotático, receptores del dolor...). Por otro lado, vemos que existe un componente genético más determinante para la pierna derecha (FL, ACF3 = 0.78 y FL, ACF4 = 0.58) que para la izquierda (FL, ACF5 = 0.49; FL, ACF6 = 0, 59) —aunque tan sólo es estadísticamente significativo el FL, ACF3— por el hecho de que la pierna izquierda se trabaja menos generalmente y su flexibilidad estará más determinada por el entrenamiento específico que haya realizado cada sujeto.

En resumen, la flexibilidad es una capacidad o cualidad que presenta un componente heredable moderadamente alto, y especialmente la articulación coxofemoral, y con el fin de mantener unos niveles óptimos, aquellos deportistas que quieran mantener un nivel óptimo para mejorar su rendimiento o disminuir las incidencias lesionales que se pueden derivar, tendrán que seguir un programa de entrenamiento periódico y correcto. Cuando nacemos disponemos de unos valores elevados de flexibilidad, que se irán perdiendo progresivamente si no se siguen programas concretos de trabajo.

CONCLUSIONES

El efecto del factor genético en lo que se refiere a la flexibilidad del hombre parece ser bastante determinante. Esto demuestra que para aquellas disciplinas deportivas en las que la flexibilidad es fundamental, el genotipo juega un papel muy importante.

A pesar de que la flexibilidad es una capacidad física que se puede desarrollar bastante —en un sentido relativo— mediante el entrenamiento orientado, está claro que los deportistas que parten de unos índices más altos de la misma (potencial genético), tanto a nivel cuantitativo como cualitativo, podrán mantener más fácilmente una flexibilidad elevada.

El problema del entrenamiento deportivo, en lo que se refiere al factor flexibilidad, probablemente no se encuentra sólo en el control de las cargas, en los procesos técnicos o tecnicotáticos, sino en la limitación genética con la que todos nacemos, y que en muchos casos puede imposibilitar lograr valores óptimos para la competición o provocar una mayor incidencia de lesiones deportivas.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha llevado a cabo, en parte, gracias a una ayuda de la Secretaria General de l'Esport (Generalitat de Catalunya). Agradecemos la colaboración de Antoni Arcas por el análisis estadístico y de la Dra. Guadalupe Ercilla y del Dr. Hemili Huguet por la determinación de la cigosidad.

Bibliografía

1. BOUCHARD C, BOULAY MR, SIMONEAU JA, LORTIE G Y PÉRUSSE. Heredity and trainability of aerobic and anaerobic performances: An update. *Sport Med.* 1988;5:69-73.
2. HOLZINGER KJ. The relative effect of nature and nurture influences on twin differences. *The Journal of Educational Psychology* 1929; 4:241-248.
3. CLARK PJ. The Heritability of Certain Anthropometric Characters as Ascertained from Measurements of Twins. *Am J Hum Genet.* 1956; 8:49-54.
4. KLISSOURAS V. Heritability of adaptative variation *J Appl Physiol.* 1971; 31:338-344.
5. CHRISTIAN JC. Testing Twin Means and Estimating Genetic

- Variance. Basic Methodology for the Analysis of Quantitative Twin data. *Acta Genet Med Gemellol* 1979;28:35-40.
6. BOUCHARD C. Genetic determinants of endurance performance. En: *Endurance in sport. The encyclopedia of sports medicine*. Oxford: *Blackwell Scientific publications*, Reino Unido, 1992: 102.
 7. HASKELL WL Y VODAK P. Assessing the athletic potential of young athletes. En: *Committee on Sports Medicine 1979-1983*. Smith NJ (ed) *Sports medicine: Health care for young athletes*. *American Academy of Pediatrics*. Evanston, ILL 1983:32-58.
 8. ORTEGA Y SANCHEZ-PINILLA. La forma física y su mantenimiento. En *Medicina del Ejercicio físico y del deporte para la atención a la salud*. Editores, Díaz de Santos. Madrid 1992:43.
 9. DEVOR EJ I CRAWFORD MH. Family resemblance for neuromuscular performance in a Kansas Mennonite Community. *Am J Phys Anthropol*. 1984; 64:289-296.
 10. PERRUSSE L, LEBLANC C, BOUCHARD C. Inter-generation transmission of physical fitness in the Canadian population. *Am. J Sport Sci*. 1988; 13:8-14.
 11. MAES H, BEUNEN GASTON, VLIETINK R, NEALE M, THOMIS M, VENDEN EYNDE B, LYSSENS R, ET AL. Inheritance of physical fitness in 10-yr-old twins and their parents. *Med Sci Sports Exerc*. 1996; 12:1479-1491.
 12. La Bateria Eurofit en Catalunya. Secretaria General de l'Esport, Generalitat de Catalunya. Barcelona, 1993.
 13. TERASAKI PI, MC CLELLAND MD. Microdroplet assay of human serum cytotoxins. *Nature* (Londres) 1964; 204: 998-1000.
 14. AMERICAN ASSOCIATION BLOOD BANK. Technical Manual. Editores AABB, Arlington, Virginia (EE.UU.), 1990.
 15. CONSTANS J, VIAU M. Group-specific component:evidence for two-subtypes of Gc gene. *Science* 1977;198:1070.
 16. CONSTANS J, VIAU M, GOUILLARD C. PiM4: An additional PiM subtype. *Hum Genet* 1980;55:119-121.
 17. DYKES D Y POLESKY H. Transferrine (tf) subtypes on agarose: a new technique for isoelectric focusing. *Hum Genet* 1981; 59:365-366.
 18. SUTTON IG Y BURGESS R. Genetic evidence for four common alleles at PGM locus detectable by IEF. *Vox Sang* 1978; 34: 97-103.
 19. BURDETT PE Y WHITEHEAD PH. The separation of the phenotypes of PGM, AcP and some variants by isoelectricfocusing. *Anal Biochem* 1977;77:419-428.
 20. PARR CW, BAGSTER IA, WELCH SG. Human red cell glycoxalase I polymorphism. *Biochem Genet* 1977; 15: 109-113.
 21. RODRÍGUEZ FA Y ARAGONÉS MT. Valoración funcional de la capacidad de rendimiento físico. En: Javier Gonzalez Gallego, editores. *Fisiología de la actividad física y del deporte*. Madrid: Interamericana. McGraw-hill, 1992:269-271 .
 22. HOSHIZAKE TB Y BELL RD. Factors analysis of seventeen joint flexibility measures. *Journal of Sport Sciences* 1984, 2:97-103.
 23. MORAS, G Y TORRES, S. El flexómetro: nuevo test para medir la flexibilidad. *Revista del Entrenamiento Deportivo*. 1989:3: 14-20.
 24. MORAS, G. Anàlisi crítica dels actuals tests de flexibilitat. Correlació entre alguns dels tests actuals i diverses mesures antropomètriques, *Apunts. Educació Física i Esport* 1992; 24:127-137.
 25. TORRES, S Y MORAS, G. La flexibilidad. Teoría y práctica. *Revista del Entrenamiento Deportivo* 1990;6:20-25.
 26. ROSS WD, BROWN SR, HEBBELINCK M, FAULKNER RA. Kineanthropometry terminology and landmarks. En: Shepard E, Lavallée H, editores *Physical fitness assessment*. Charles Thomas, Springfield. 1978: 44-50.
 27. KOMI PV Y KARLSSON J. Physical performance, skeletal muscle enzyme activities, and fibre types in monozygous and dizygous twins of both sexes. *Acta Physiol Scan Suppl* 1979;462: 1-30.
 28. PIRNAY P Y CRIELAARD JM. Influence de l'hérédité sur les performances physiques. *Med du Sport* 1983;57:29-33.
 29. HRUBEC Z Y ROBINETTE CD. The study of human twins in Medical Research. *N Engl J Med* 1984;310;7:435-441.
 30. PHILLIPS DIW. Twin studies in medical research: can they tell us whether diseases are genetically determined? *The Lancet* 1993;341:1008-009.
 31. NEALE MC Y CARDON R. *Methodology for Genetics Studies of Twins and families*, Dordrecht, Países Bajos: Kluwer Academic publishers, 1992: 1-496.
 32. BOUCHARD C, TREMBLAY A, DESPRÉS J-P, NADEAU A, LUPIEN PJ, THÉRIAULT G, DUSSAULT J, MOORJANI S, PINAULT S Y FOURNIER G. The Response to long-term overfeeding in identical twins. *N Engl J Med* 1990;322;21:1477-82.
 33. STUNKARD AJ, HARRIS JR, PEDERSEN NL, MCCLEARN GE. The body-mass index of twins who have been reared apart. *N Engl J Med* 1990;322:1483-1487 .
 34. HELLER DA, FAIRE U, PEDERSEN NL, DAHLÉN G, MCCLEARN GE. Genetic environmental influences on serum lipid levels in twins. *N Engl J Med* 1993;328:1150-6.
 35. HOPPER JLL, SEEMAN E. The Bone density of female twins discordant for tobacco use. *N Eng J Med* 1994;330:387-92.
 36. MARENBERG ME, RISCH N, BERKMAN LF, FLODERUS B, DE FAIRE U. Genetic susceptibility to death from coronary heart disease in a study of twins. *N Engl J Med*. 1994 330:1041-6.
 37. PERRUSSE, L LORTIE G, LEBLANC G, TREMBLAY A, THERIAULT G, BOUCHARD C. Genetic and environmental sources of variation in physical fitness. *Am Hum Biol*, 1987:145:425-434.
 38. SHEPARD RJ, BERRIDGE M, MONTELPARE N. On the generality of the "sit and reach" test: an analysis of flexibility data for an aging population. *Research quarterly for exercise and sport*, 1990: 61:326-330.

