

Heretabilitat de la flexibilitat: un estudi fet amb germans bessons

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.

CORRESPONDÈNCIA:

Gil Rodas

Secretaria General de l'Esport

Av. Països 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 Hereditability 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: ANTECEDENTS: La flexibilitat (FL) definida com el rang d'amplitud de moviment d'una o varies articulacions, és un factor del rendiment esportiu que ve determinat per l'edat, el sexe, l'entrenament, per característiques antropomètriques i per factors genètics dels quals, s'ha estudiat molt poc. **MÈTODE:** Per esbrinar la importància relativa de la influència genètica i ambiental en la flexibilitat, hem estudiat el component genètic utilitzant l'índex d'heretabilitat (IH = un valor de 1.0 indica que el 100% de la variació seria deguda a variació genètica) a 24 subjectes barons i esportistes dividits en 12 parelles de germans bessons –6 monozygots i 6 dizigots –, que no presentaven diferències perinatals ni ambientals significatives. La zigositat es va determinar mitjançant l'anàlisi genètic del sistema antigènic humà leucocitari (HLA), específicament els locus de la classe I i II, i altres variants genètiques. Pel càlcul de la FL els subjectes vam realitzar un test flexomètric indirecte pel càlcul trigonomètric de l'angle d'obertura de les articulacions escàpulo humeral (FL, AEH) i coxofemoral (FL, ACF), aquesta darrera desglossada en el camp horitzontal i sagital, per moviments actius i passius forçats i per ambdues cames. **RESULTATS:** No trobem diferències significatives en l'edat i les mesures antropomètriques entre els dos grups (MZ i DZ). Els IH que van ser estadísticament significatius per $F_{6,6}$ (DZ/MZ-1) superior a 4, 2 i $P < 0.05$, són el FL, ACF en el pla transversal per cames obertes i moviment actiu (0.82) i passiu forçat (0.77) i en el pla sagital per la cama dreta en moviment actiu (0.78).

CONCLUSIONS: Nosaltres concluïm que la influència genètica de la flexibilitat és substancial, sobretot de l'articulació coxofemoral (75%) i preferentment de la cama dreta, i que al menys per la població que hem estudiat el nostre estudi corrobora els resultats anteriors fet amb estudis familiars.

PARAULES CLAU: Heretabilitat, Flexibilitat, Germans bessons.

INTRODUCCIÓ

L'heretabilitat de les característiques morfofuncionals que contribueixen a un alt rendiment esportiu ha estat àmpliament estudiat. La contribució del efecte genètic relatiu a la variabilitat del fenotip ha estat estudiat mitjançant estudis familiars, estudis amb germans bessons o per dades extenses de descendència o adopcions.¹

En els estudis amb germans bessons el procediment més utilitzat és el càlcul de l'índex d'heretabilitat (IH) que és un valor numèric que determina la proporció de la variació atribuïble a factor genètic, i així un valor de 1.0 indica que el 100% de la variació seria deguda a variació genètica. Aquest índex s'ha determinat per varis components del rendiment esportiu així com per factors salut-depenents mitjançant diferents procediments matemàtics^{2, 3, 4, 5} però els resultats han estat força contradictoris, probablement pel fet de treballar en mostres poc homogènies: sexes diferents, edats diferents, activitats física diferent, o per que el mètode estadístic per valorar el fenotip no ha estat el més adequat.⁶

La flexibilitat (FL) ha estat definida per el rang d'amplitud de moviment d'una o vàries articulacions,⁷ és a dir per moure's fins uns límits naturals. Aquests els constitueixen, la disposició òssia de l'articulació, els lligaments que el reforcen, la càpsula fibrosa, i els músculs i tendons que la creuen.⁸ Es un factor del rendiment esportiu que ve determinat per l'edat, el sexe, l'entrenament, per característiques antropomètriques i per factors genètics dels quals, s'ha estudiat molt poc.

Els únics estudis que hem trobat que han estudiat el component genètic de la FL han estat els realitzats per Devor and Crawford (1984),⁹ Perusse LC i cols (1988)¹⁰ i Maes H i cols (1996)¹¹ on determinen en estudis de correlacions familiars –i al darrer també amb germans bessons– uns valors d'heretabilitat de la FL moderadament alts, si bé força dispersos, de 0.35 a 0.85. Son estudis familiars que treballen principalment en mostres molt grans, amb ambdós sexes, en edats infantils, i utilitzant el test de flexió del tronc, el test *sit and reach* de la bateria Eurofit¹² com a valoració de la flexibilitat, i amb diferents anàlisis estadístics.

L'objectiu d'aquest estudi ha estat determinar la diferent contribució dels factors ambientals i genètics de la flexibilitat, seleccionant una mostra suficientment homogènia, un mètode de valoració actualitzat i fiable, i la utilització d'un procediment estadístic adequat. Amb aquest propòsit hem avaluat l'índex d'heretabilitat de la flexibilitat de l'articulació coxofemoral i escàpulo humeral, analitzant una mostra de bessons homes esportistes amb idèntics antecedents familiars i personals i d'edats entre 17 i 30 anys.

MATERIAL I MÈTODE

Un grup de 12 parelles de bessons homes sans, 6 monozygots (MZ) i 6 dizigots (DZ), tots ells esportistes sense diferències significatives en la seva activitat física, han estat d'acord a participar en aquest estudi. Tots els subjectes han practicat regularment exercici físic d'una forma amateur, el bàsquet o el futbol. Les seves principals característiques són (mitjana i DS), els MZ, edat: 22 (DS 2); pes: 76 (DS 7); talla: 174 (DS 6) i els DZ, edat: 22 (DS 3), pes: 73 (DS 8) i talla: 174 (DS 8), no havent diferències estadísticament significatives entre els dos grups.

Determinació de la zigositat

Es va determinar la zigositat mitjançant l'anàlisi genètica que segueix l'Hospital Clínic de Barcelona per l'estudi de la paternitat i que es el següent:

- 1) Tipatge serològic del sistema HLA, classe I mitjançant tècnica de microlinfocitotoxicitat, incloent 60 variants al·lèlics dels locus A, B and C.¹³
- 2) Sistemes antigènics eritrocitaris (ABO, Rh, MNSs, Duffy, Kidd Lutheran i sistema P), que van ser determinats mitjançant tècnica standard d'aglutinació i test d'antiglobulina.¹⁴ Tots els fenotips van ser duplicats i tractats per treballadors independents;
- 3) Polimorfisme proteic, que va ser determinat per les següents proteïnes plasmàtiques: transferrina (Tf), alfa-1 antitripsina (Pi), component de grup (Gc) i haptoglobina (Hp).^{15, 16, 17} La Isoelectrofocús en gels que va ser utilitzat seguint diferents rangs de amofilines per cada proteïna. Els gels van ser tenyits amb blau de coomassie R-250 per Pi, Tf and Hp. Les bandes del component de grup van ser llegides després d'una simple precipitació amb àcid sulfosalícic;
- 4) El polimorfisme enzimàtic: el fenotip dels subtipus de la fosfoglucomutasa 1 (PGM1) i fosfatasa àcida (AcP) van ser determinats per isoelectrofocús en gels de poliàcrilamide (T5 5%, C 3%) amb amfolines pH 5-8 o pH 5-7 per AcP i PGM1 respectivament. La visualització isoenzimàtica va ser realitzada d'acord a Sutton & Burgess (1978)¹⁸ per la PGM1 i Burdett & Whitehead (1977)¹⁹ per AcP. Els fenotips de la glyoxalasa (GLO) van ser determinats per electroforesi en un gel d'agarosa-starch mitjançant la tècnica descrita per Parr i cols (1977),²⁰ utilitzant tècnica d'activitat específica. Es va

considerar que els germans bessons eren MZ quan tots els marcadors antigènics eren idèntics, i DZ quan no. Els germans bessons DZ diferien almenys en dos sistemes polimòrfics.

Antropometria

Vam utilitzar una balança seca ajustada fins a 100 gr., un tallimetre i un antropòmetre (Atlantida, Barcelona), un bastó de fusta graduat de 0 a 120 cm i 25 mm de diàmetre i un flexòmetre (flexòmetre, Barcelona).

Test flexomètric

Si bé existeixen diferents formes de valorar la flexibilitat,^{21, 22} nosaltres vam utilitzar el test flexomètric de Moras i Torres (1989)²³ i Moras G (1992)²⁴ per ser actualment dels més vàlids i reproduïbles, i que es basa en el càlcul trigonomètric de l'angle d'obertura d'un segment corporal.

Per tal de ser molt precisos a l'hora de passar els tests els individus varen realitzar les proves sense escalfament previ específic, descalços, i es va tenir molta cura de que la roba no entorpis el moviment. Totes les mesures les va realitzar sempre la mateixa persona i al costat dret. Per a mesurar la llargada de la cama (Lc) i del braç (Lb) es va seguir la tècnica de Torres i Moras (1990)²⁵ i per les mesures del diàmetre biacromial (da) i diàmetre bitrocantèri (dt) la tècnica de Ross i cols (1978).²⁶

Càlcul de variables

Flexibilitat de l'articulació escapulohumeral (FL, AEH)

Consisteix amb un gir d'espatlles amb bastó (Fig. 1.1). El subjecte agafa amb les dues mans la pica i per assaig i error (procurar no fer més de cinc intents) es determina la mínima distància de separació de braços amb la qual es pot portar la pica des de la part anterior fins a la part posterior del cos, mantenint sempre els braços estirats.

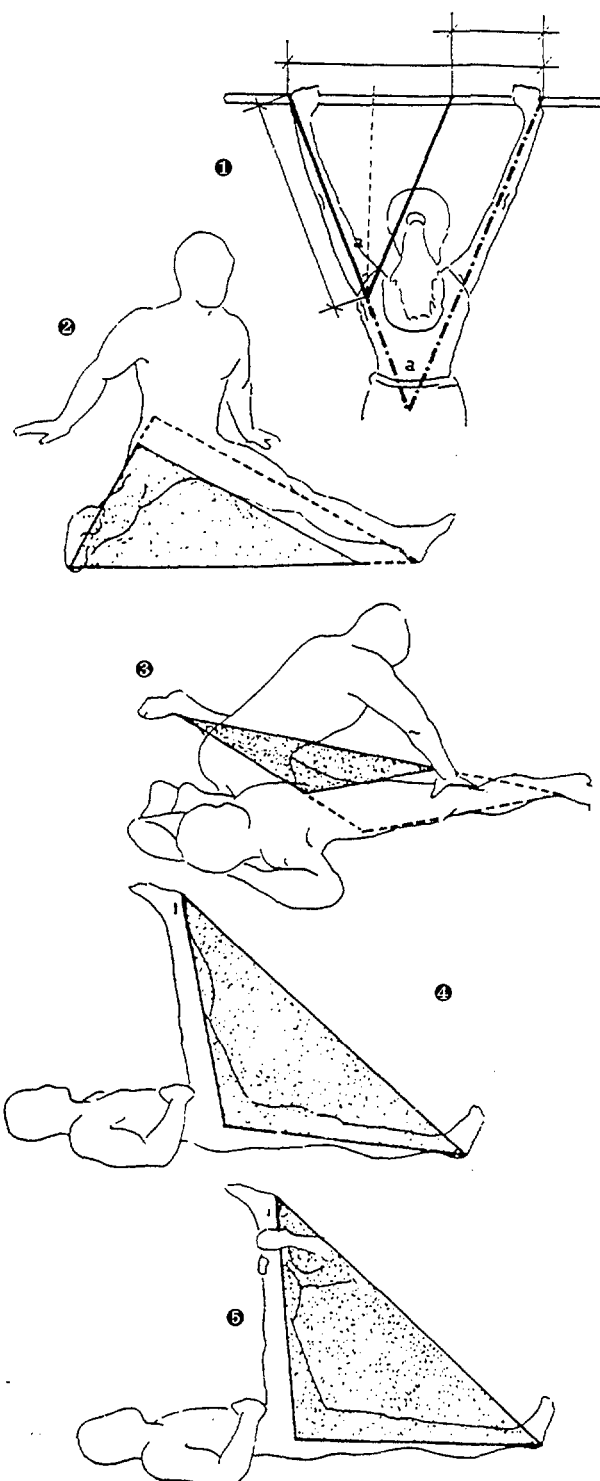
Cal que tots els dits de les mans no perdin contacte amb la pica al fer el moviment. Així mateix, es permet que el subjecte doblegui els braços per tornar a la posició inicial un cop realitzi el moviment. Es determina la distància de separació entre els dos cantons externs del cinquè metacarpia (ds) i es calcula la flexibilitat de l'articulació escapulohumeral mitjançant la fórmula: FL, AEH = $2\arcsin(ds-da)/2Lb$.

Flexibilitat de l'articulació coxofemoral (FL, ACF)

Consisteix amb l'abducció de les extremitats inferiors, en el pla transversal i sagital:

Figura 1

- ①: esquema de la posició per a la valoració de la flexibilitat de l'articulació escapulohumeral (FL, AEH).
- ②: per l'articulació coxofemoral (FL, ACF1) en cames obertes i moviment actiu;
- ③: FL, ACF2 en cames obertes passiu forçat;
- ④: FL, ACF3, 5 per cama dreta i esquerra actiu;
- ⑤: FL, ACF4, 6 : per cadascuna de les cames passiu i forçat.



- I. En el pla transversal es realitza la màxima separació de les cames en :

MOVIMENT ACTIU LLIURE: El subjecte, assegut al terra de manera perpendicular, intenta separar el màxim les cames en un sol moviment i sense rebots (Fig. 1.2). Determinen la distància de separació entre els dos cantons externs del calcani (ds). Així calculem el FL, $ACF1 = 2 \arcsin(ds-da)/2Lc$.

MOVIMENT PASSIU FORÇAT: El subjecte, amb l'esquena recolzada al sol i les cames rectes i perpendiculars al mateix, es relaxa al mateix temps que l'ajudant tracciona les dues cames, separant-les fins que l'executor arriba al límit articular no dolorós (Fig 1.3). Es determina la màxima distància de separació entre els dos cantons externs del calcani (ds). Així es calcula la flexibilitat de FL, $ACF2 = 2 \arcsin(ds-da)/2Lc$

- II. En el pla sagital, es realitza una anteversió de la cama des de decúbit supí.

MOVIMENT ACTIU LLIURE: El subjecte, en decúbit supí, intenta elevar al màxim una cama mantenint el cos i l'altra cama enganxada al sòl (Fig 1.4). Cal evitar moviments ràpids o balístics. Es determina la màxima distància assolida entre ambdós extrems externs dels calcanis (ds) i mitjançant la fórmula $= 2 \arcsin ds/2Lc$, calculem per la cama dreta (FL, ACF3) i l'esquerra (FL, ACF5).

MOVIMENT PASSIU FORÇAT: El subjecte en decúbit supí es relaxa al mateix temps que l'ajudant eleva al màxim una cama fins que l'executor arriba al límit articular no dolorós. En tot moment el subjecte ha de mantenir el cos i la cama no mobilitzada en contacte amb el sol (Fig. 1.5). Cal elevar la cama amb lentitud per evitar l'activació del reflex miotàtic. Es determina la màxima distància assolida entre ambdós extrems externs dels calcanis (ds) i mitjançant la fórmula $= 2 \arcsin ds/2Lc$, calculem per la cama dreta (FL, ACF4) i l'esquerra (FL, ACF6).

ANÀLISI ESTADÍSTICA

Les dades obtingudes han estat analitzades mitjançant models ANOVA en les quals s'han considerat com a variables observades les mesures de flexibilitat i com a causes de variació, el tipus genètic (MZ i DZ) i el factor parella (sis parelles dins de cada tipus genètic). Ens resulta doncs, un model ANOVA a dos factors on el factor parella està jerarquitzat en el factor tipus genètic. Com a resultat del mateix vàrem decidir si existien o no diferències entre els tipus genètics considerats, i si la variabilitat entre parelles resultava significativa estadísticament. En cas de no obtenir diferències globals entre

Taula 1

Mitjana i desviació estàndard de; Lc, longitud de cama; Lb, longitud de braç; Da, diàmetre biacromial; Dt, diàmetre bitrocantèri; FLAEH: Flexibilitat (FL) articulació escàpulo-humeral; FL, ACF1, FL articulació coxo-femoral (ACF) en cames obertes i moviment actiu; FL, ACF2, FL en cames obertes passiu forçat; FL, ACF3, FL cama dreta activa; FL, ACF4 de la cama dreta passiva forçada; FL, ACF5 de la cama esquerra activa; FL, ACF6, cama esquerra passiva i forçada. MZ: Monozigots, DZ: Dizigots; F ratio $DZ \cdot MZ^{-1} : F_{6, 6} > 4.2$ diferències significatives; IH: valor de l'Índex de heretabilitat; * significació estadística per $P < 0.05$.

	DZ Mitjana (DS)	MZ	IH Mitjana (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

els dos tipus genètics (no significació de l'ANOVA anteriorment descrit), es va dissenyar un model ANOVA per a cada tipus genètic, considerant com a única causa de variació el factor parella. La variància residual de cada un dels ANOVES anteriors serà l'estimació de la variabilitat pel tipus genètic considerat i per tant serà el valor utilitzat en el càlcul del índex d'heretabilitat. Aquest es pot entendre com el coeficient de les diferències entre la variància residual de DZ i MZ respecta la variància residual de DZ. Aquest paràmetre pot entendre's com el percentatge de la variabilitat intrínseca, dependent únicament del grup genètic considerat. Les diferències interparella entre MZ i DZ van ser considerades estadísticament significatives per $P < 0.05$, i la variabilitat del IH va ser considerat estadísticament significatiu quan $F_{6, 6}$ va ser superior a 4.3 i $P < 0.05$. L'objectiu d'aquesta metodologia es separar els components genètics i ambientals de l'error experimental de la mesura ja que la variància no controlada ha de ser similar en ambdós grups de bessons.

RESULTATS

En la taula I exposem les dades (mitjans i DS) de les mesures antropomètriques realitzades, els resultats de la FL segons els càlculs trigonomètrics i l'IH amb la seva significació estadística. No van existir diferències significatives ($P < 0.05$) de les mesures antropomètriques ni dels càlculs de la FL entre els dos grups (MZ i DZ).. Respecta els IH, vam considerar-los estadísticament significatius quan $F_{6,6} > 4.2$ i

$P < 0.05$. A més trobem que:

- I. La FL de l'articulació escapulohumeral presenta una menor heretabilitat que l'articulació coxofemoral, en el pla transversal amb un IH de 0.82 pel moviment actiu i 0.78 pel passiu i forçat, ambdós estadísticament significatius.
- II. Que en la articulació coxofemoral existeix un component genètic més determinant per la cama dreta (FL, ACF3 = 0.78 i FL, ACF4 = 0.58) que per la esquerra (FL, ACF5 = 0.49; FL, ACF6 = 0, 59), si bé tan sols és estadísticament significatiu el FL, ACF3.
- III. Que per l'articulació coxofemoral existeix una major heretabilitat per els moviments actius (FL, ACF 1, 3, 5) que pels passius forçats (FL, ACF 2, 4, 6).

DISCUSSIÓ

Després d'avaluar diferents procediments i tècniques comunment utilitzats per quantificar la contribució del factor genètic i ambiental en la variació d'una qualitat física vam trobar que els estudis de correlació familiar mitjançant models genètics de descendència d'un fenotip de pares a fills eren molt costosos i menys fiables que els realitzats en besons^{2, 3, 4, 5, 27, 28} que si bé han estat també criticats per alguns autors,^{29, 30, 31} segueixen sent un dels més efectius en diferenciar la importància relativa del component genètic respecte l'ambiental, i segueix sent la base d'importants estudis realitzats per importants grups de científics.^{32, 33, 34, 35, 36}

D'altra banda existeixen nombroses proves per tal de valorar la flexibilitat, si bé poques han estat correctament validades i acceptades.^{21, 22, 24} Nosaltres hem escollit un test que utilitza un flexòmetre, semblant el goniòmetre, que permet medir l'amplitud de qualsevol moviment articular i el càlcul trigonomètric de l'angle d'obertura.^{23, 24}

Els estudis fets fins ara per analitzar el component genètic de la flexibilitat^{10, 11, 12} han trobat una heretabilitat de moderada a alta (0.38-0.85) i per tant sembla ser una qualitat molt inherent i per tant no molt modificable per factors ambientals com l'entrenament. Altres qualitats com la potència

i la resistència aeròbica, si bé els estudis mostren una alta variabilitat, troben una heretabilitat inferior (< 0.50)^{6, 37} i en canvi per la força estàtica i explosiva sembla existir també una forta determinació genètica (0.60 i 0.90).^{27, 28}

El que és comú a tots els treballs que estudien la contribució de factors genètics en la FL,^{9, 10, 11} es generalitzar les conclusions per tots els segments corporals mitjançant l'estudi del càlcul de la flexibilitat del tronc amb el test de *sit and reach* de la Bateria Eurofit, que si bé és un test molt reproducible i senzill per realitzar a grans poblacions³⁸ creiem que presenta importants limitacions en la interpretació dels resultats ja que en la flexió del tronc intervien més factors com l'elasticitat de la musculatura isquiotibial, dels m. flexors del maluc, dels component càpsulol·ligamentós de l'articulació coxofemorall i lumbosacra etc.

Els valors de l'heretabilitat de la FL que troba Maes i cols (1996)⁹ mitjançant aquest test en un grup de germans besons, nois i noies de 10 anys és de 0.38 per nois i 0.50 en noies, i mitjançant l'estudi familiar amb pares i fills troba un 0.72 per homes i 0.51 per dones. Aquest valors son semblants (0.48 i 0.66) els que troben en els estudis familiars Devor i Crawford (1984) en ucraïans immigrants a Kansas i Perrusse i cols (1984) amb població canadenca. Aquests valors son lleugerament inferiors els valors que trobem nosaltres per l'articulació femoral, i semblants els que trobem per l'articulació escapulohumeral. Això pot explicar-se per varis factors:

- I. Pel test *sit and reach* que utilitzen ells, i que per tant no valora exactament l'articulació coxofemorall
- II. L'edat, en el cas del treball de Maes i cols (1986) son nens de 10 anys. i l'heretabilitat es baixa comparada a nosaltres, potser perquè les diferències de FL és fa més evidents després de la pubertad i per altre banda la flexibilitat es una qualitat involutiva que a partir dels 30 anys si no s'entrena es perd notablement, i per tant la valoració que es faci en els estudis familiars als pares pot també esta molt esbiaixada.
- III. Per altre banda sempre s'estudiat l' heretabilitat a partir del càlcul de la flexió del tronc, pero mai de cap altra articulació. Nosaltres estudiem la de l' articulació escapulohumeral i trobem valors per sota de la coxofemorall. Els valors més baixos que en la coxofemorall podrien ser atribuïble a que existeix un major procés d'entrenament de AEH (són jugadors de bàsquet i futbol), a més que és una articulació amb més graus de llibertat i menys limitacions estructurals. Per tant és lògic trobar valors mes baixos d' heretabilitat de l'articulació escapulohumeral, ja que el factor ambiental ha de haber influït més que en els nens dels anteriors estudis.

Respecte a les diferències que trobem en les diferents valoracions en moviments passiu i actiu i cama dreta i esquerra, podem dir que:

1. Tots els tests basats en moviments actius-lliures mostren una dispersió més petita perquè són més precisos en determinar el límit del moviment articular, ja que no depenen tant de les sensacions del dolor i dels reflexos corresponents. Per altra banda existeix una major heretabilitat per els moviments actius (FL, ACF 1, 3, 5) que pels passius forçats (FL, ACF 2, 4, 6) ja que en els forçats afegim un altre component al factor ambiental, en part incontrolable, com és el instructor que modifica l'amplitud de moviment.
2. Les diferències més grans trobades en manipular la cama esquerra poden explicar-se si pensem que totes les parelles explorades tenien com a cama dominant la dreta i, per això, podem pensar que l'esquerra disposa d'un pitjor control i regulació del moviment, el qual es reflecteix en tots els factors neuromusculars associats a aquest (reflex miotàtic, receptors del dolor, ...). Per altra banda veiem que existeix un component genètic més determinant per la cama dreta (FL, ACF3 = 0.78 i FL, ACF4 = 0.58) que per la esquerra (FL, ACF5 = 0.49; FL, ACF6 = 0, 59) - si bé tan sols és estadísticament significatiu el FL, ACF3 - pel fet que la cama esquerra és menys treballada generalment i la seva flexibilitat vindrà més determinada per l'entrenament específic que hagi realitzat cada subjecte.

En resum, la flexibilitat és una capacitat o qualitat que presenta un component heretable moderadament -alt, i especialment l'articulació coxofemoral, i per tal de mantenir uns nivells òptims, aquells esportistes que vulguin mantenir

un nivell òptim per tal de millorar el seu rendiment o disminuir les incidències lesionals que es poden derivar, haurà de seguir un programa d'entrenament periòdic i correcte. Quan naixem disposem d'uns valors elevats de flexibilitat, que s'aniran perdent progressivament si no es segueixen programes concrets de treball.

CONCLUSIONS

L'efecte del factor genètic pel que fa a la flexibilitat de l'home sembla ser força determinant. Això demostra que per aquelles disciplines esportives on la flexibilitat és fonamental, el genotip hi juga un paper molt important.

Tot i que la flexibilitat és una capacitat física que es pot desenvolupar força -en un sentit relatiu- mitjançant l'entrenament orientat, és clar que els esportistes que parteixin d'uns índexs més alts de la mateixa (potencial genètic), tant a nivell quantitatiu com qualitatiu, podran mantenir més fàcilment una flexibilitat elevada.

El problema de l'entrenament esportiu, pel que fa al factor flexibilitat, probablement no es troba només en el control de les càrregues, en els processos tècnics o tècnicotàctics, sinó en la limitació genètica amb la qual tothom neix, i que en molts casos pot impossibilitar assolir valors òptims per a la competició o provocar una major incidència de lesions esportistes.

AGRAÏMENTS:

Aquest treball s'ha dut a terme, en part, gràcies a un ajut de la Secretaria General de l'Esport (Generalitat de Catalunya). Agraïm la col·laboració d'Antoni Arcas per l'anàlisi estadística i de la Dra. Guadalupe Ercilla i del Dr. Hemili Huguet per la determinació de la zigositat.

Bibliografia

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 date. *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.

