

Validesa comparativa i fiabilitat de dos mètodes per valorar la força del salt vertical

Validez comparativa y fiabilidad de dos métodos para la valoración de la fuerza de salto vertical

N. Gusi; M. Marina; J. Nogués; A. Valenzuela; S. Nácher; F.A. Rodríguez
Institut Nacional d'Educació Física de Catalunya (INEF), Barcelona

RESUM

La força explosiva del tren inferior es pot valorar mitjançant la prova de salt vertical, mesurant: 1) l'abast de la mà durant el salt (Dma), o 2) el temps de vol mesurat en una plataforma de contactes, per avaluar l'elevació del centre de gravetat (Dcg). Els objectius de l'estudi són establir la validesa comparativa entre els dos mètodes de mesurament i la seva fiabilitat, així com relacionar matemàticament els resultats de tots dos mètodes a través d'una equació de regressió.

Van ser estudiats 65 adults sans (35 homes i 30 dones; 46 ± 8 anys d'edat), els quals van fer tres intents de prova de salt vertical en què es van mesurar les dues variables de salt (Dma i Dcg) i es va seleccionar el millor intent (Dma_{màx} i Dcg_{màx}). El Dma_{màx} (40 ± 11 cm) va ser significativament superior que no el Dcg_{màx} (31 ± 8 cm). Així mateix, la fiabilitat de Dma ($r=0,97$; coeficient de variació=5%) va ser superior que la de Dcg ($r=0,93$; c.v.=6%). Es va determinar l'equació: Dma_{màx} = $1,06$ Dcg_{màx} + $0,11$ pes - $0,80$ ($n=59$; $r_m=0,95$; $r^2=0,90$; SE=3,3 cm).

Es pot concloure que: 1) tots dos mètodes de mesurament de la prova de salt vertical són molt fiables, sobretot en valorar Dma segons la tècnica descrita; 2) la valoració del Dma, comparada amb la del Dcg, resulta comparativament vàlida, més fiable, més senzilla i més econòmica, raó per la qual conclouem que la seva aplicabilitat en estudis de camp en adults és superior.

Paraules clau

Salt vertical, condició física, força explosiva.

RESUMEN

La fuerza explosiva del tren inferior puede estimarse mediante la prueba de salto vertical midiendo 1) el alcance de la mano en el salto (Dma), o 2) el tiempo de vuelo medido en una plataforma de contactos para estimar la elevación del centro de gravedad (Dcg). Los objetivos del estudio son establecer la validez comparativa entre ambos métodos de medición y su fiabilidad, y así como relacionar matemáticamente los resultados de ambos métodos mediante una ecuación de regresión.

Se estudiaron 65 adultos sanos (35 hombres y 30 mujeres; 46 ± 8 años de edad) que efectuaron tres intentos de la prueba de salto vertical en los que se midieron ambas variables del salto (Dma y Dcg) seleccionándose el mejor intento (Dma_{máx} y Dcg_{máx}). Dma_{máx} (40 ± 11 cm) fue significativamente mayor que Dcg_{máx} (31 ± 8 cm). Asimismo, la fiabilidad de Dma ($r=0,97$; Coeficiente de Variación=5%) fue mayor que la de Dcg ($r=0,93$; C.V.=6%). Se determinó la ecuación: Dma_{máx} = $1,06$ Dcg_{máx} + $0,11$ PESO - $0,80$ ($n=59$; $r_m=0,95$; $r^2=0,90$; SE=3,3 cm).

En conclusión, 1) los dos métodos de medición de la prueba de salto vertical son muy fiables, sobretodo al valorar Dma según la técnica descrita; 2) la valoración del Dma, comparada con la de la Dcg resulta comparativamente válida, más fiable, más sencilla y más económica, por lo que concluimos que su aplicabilidad en estudios de campo en adultos es mayor.

Palabras clave

Salto vertical, condición física, fuerza explosiva.

Aquest estudi ha estat cofinançat per l'INEFC i la Direcció General de l'Esport de la Generalitat de Catalunya, i per la Fundació Barcelona Olímpica. Desitgem expressar el nostre agraïment als voluntaris de l'estudi, així com a José Antonio Sancha de Prada, Carlos Cardemil, Maribel Pujabet, Maite Bermejo i Gabriel Tarducci per la seva inestimable col·laboració.

Este estudio ha sido cofinanciado por el INEFC y la Dirección General de l'Esport de la Generalitat de Catalunya, y por la Fundació Barcelona Olímpica. Deseamos expresar nuestro agradecimiento a los voluntarios del estudio, así como a José Antonio Sancha de Prada, Carlos Cardemil, Maribel Pujabet, Maite Bermejo y Gabriel Tarducci por su inestimable colaboración.

Introducció

La força muscular del tren inferior és un dels factors que condicionen la capacitat dels individus per desenvolupar les activitats diàries (domèstiques, laborals, esportives, etc.), i incideixen tant en la salut com en el rendiment quan es practiquen esports. Les proves per valorar aquest factor poden fer-se al camp o al laboratori. L'elecció d'un o altre tipus de prova sol dependre del cost econòmic, de la sofisticació del material usat, de la necessitat de controlar amb precisió els factors externs, així com de la validesa, fiabilitat i aplicabilitat de les diferents proves.

La força muscular del tren inferior es pot mesurar al laboratori amb proves vàlides i específiques, però sovint aquestes proves requereixen un utilatge sofisticat i costós (com ara la plataforma dinamomètrica o la dinamometria isocinètica). Així, les proves de laboratori solen requerir un espai amb una infraestructura específica, un control superior sobre la manera de fer les proves i un major entrenament dels examinadors. En canvi, les proves de camp poden ser aplicades en espais polivalents (gimnasos, pistes d'atletisme, poliesportis, etc.) i no demanen un examinador tan entrenat. Des d'aquesta perspectiva, les proves de camp més aconsellables són aquelles que siguin més simples i que requereixin menys material, un menor entrenament de l'examinador i menys aprenentatge previ de l'examinat.

Aquests últims anys la bibliografia especialitzada ha aplegat un gran nombre d'estudis en què es mesura la força muscular màxima de forma isomètrica o isocinètica.^{2, 9, 14} Tanmateix, per a una persona sedentària, desenvolupar la força explosiva o produir força anaeròbica per a unes poques repeticions pot ser més útil en la vida quotidiana.²³ Concretament, aquests autors van trobar una relació estadísticament significativa entre el nivell d'activitat física diària i la prova de salt vertical, mentre que, en canvi, no van establir cap relació amb la força isomètrica màxima. Així mateix, la prova de salt vertical saltar i arribar (jump and reach) és una de les proves de camp més senzilles i utilitzades per estudiar la força explosiva del tren inferior. Aquesta prova consisteix a saltar, després d'una flexió ràpida de les extremitats inferiors (contramoviment), fins a tocar amb la mà la màxima alçada possible amb coordinació corporal lliure. La prova es basa en la valoració de la força vertical d'impulsió, i se sol realitzar amb: 1) alguna de les variants del mètode proposat inicialment per Sargent el 1921,¹⁶ amidant l'abast o el desplaçament vertical de la mà, o 2) el mètode proposat per Bosco i col.⁵ usant una plataforma de contactes.

Els objectius d'aquest estudi són establir la validesa comparativa entre ambdós mètodes i la seva fiabilitat, així com relacionar matemàticament els resultats de tots dos a través d'una equació de regressió.

Introducción

La fuerza muscular del tren inferior es uno de los factores que condicionan la capacidad de los individuos para desarrollar sus actividades diarias (domésticas, laborales, deportivas, etc.) incidiendo tanto en la salud^{6, 7} como en el rendimiento en numerosos deportes. Las pruebas para valorar dicho factor pueden administrarse en el campo o en el laboratorio. La elección de uno u otro tipo de prueba suele depender del coste económico, sofisticación del material usado y de la necesidad de precisión en el control sobre los factores externos,²⁰ así como de la validez, fiabilidad y aplicabilidad de las diferentes pruebas.

La fuerza muscular del tren inferior puede medirse en el laboratorio mediante pruebas válidas y específicas pero, a menudo, estas pruebas requieren un utilaje sofisticado y costoso (p.e.: plataforma dinamométrica o dinamometría isocinética). Así, las pruebas de laboratorio suelen requerir un espacio con una infraestructura específica, un mayor control sobre su administración y un mayor entrenamiento de los examinadores. En cambio, las pruebas de campo permiten la posibilidad de aplicarse en espacios polivalentes (gimnasios, pistas de atletismo, polideportivos, etc.) y requieren un menor entrenamiento del examinador. Desde esta perspectiva, las pruebas de campo más aconsejables son aquellas de más simplicidad y que requieren menos material, un menor entrenamiento del examinador y menos aprendizaje previo del examinado.

En los últimos años la literatura especializada ha recogido un gran número de estudios en los que se mide la fuerza muscular máxima de forma isométrica o isocinética.^{2, 9, 14} Sin embargo, para una persona sedentaria, el desarrollo de la fuerza explosiva o la producción de la fuerza anaeróbica para unas pocas repeticiones puede ser más útil en la vida cotidiana.²³ Concretamente, dichos autores hallaron una relación estadísticamente significativa entre el nivel de actividad física diaria y la prueba de salto vertical y, en cambio, no establecieron ninguna relación con la fuerza isométrica máxima. Asimismo, la prueba de salto vertical ("saltar y llegar" o "jump and reach") es una de las pruebas de campo más sencillas y utilizadas para estudiar la fuerza explosiva del tren inferior. Esta prueba consiste en saltar tras una flexión rápida de las extremidades inferiores (contramovimiento) y tocar con la mano a la máxima altura posible con coordinación corporal libre. Dicha prueba se basa en estimar la fuerza vertical de impulsión y suele realizarse mediante 1) alguna de las variantes del método propuesto inicialmente por Sargent en 1921,¹⁶ midiendo el alcance o desplazamiento vertical de la mano, o 2) el método propuesto por Bosco y col.,⁵ utilizando una plataforma de contactos.

Los objetivos del presente estudio son establecer la validez comparativa entre ambos métodos

Material i mètodes

Es van estudiar 65 adults sans (35 homes i 30 dones, de 36 ± 8 anys) (Taula I) que es van prestar voluntàriament a un examen complet de salut, un estudi antropomètric i una bateria de proves de condició física per a adults, que incloïa una prova de salt vertical.

GRUPO	♂	♀	TOTAL
Edad (años)	37 \pm 10	35 \pm 7	36 \pm 8
Talla (cm)	172 \pm 5	162 \pm 7	168 \pm 8
Peso (kg)	77 \pm 11	58 \pm 7	68 \pm 13
IMC (kg m ⁻²)	26,0 \pm 3,1	22,1 \pm 2,1	24,2 \pm 3,3

Taula I: Descripció de la mostra (\pm s).

Tabla I: Descripción de la muestra.

Els voluntaris, després de signar un formulari d'autorització amb coneixement de causa, van ser sotmesos a un examen de salut (qüestionari d'aptitud per a l'activitat física, exploració física i anàlítica de sang i orina) i un estudi antropomètric.

Posteriorment se'ls va aplicar la bateria de proves de condició física per a adults descrita per Rodríguez i col. (en premsa), que inclou la prova de salt vertical. En aquesta prova el subjecte, orientat lateralment cap a una pissarra amb cinta mètrica, intenta arribar a la màxima alçada possible amb la mà més acostada a la pissarra, a través d'un salt vertical amb contramoviment i coordinació corporal lliure.

En aquesta prova cada subjecte va fer tres intents de salt, en els quals es va determinar:

1. La distància vertical d'abast de la mà durant el salt (D_{ma}), que es determina calculant la diferència entre l'abast aconseguit amb les dues mans estant el subjecte de cara a la paret i l'alçada màxima aconseguida (Foto 1). Es va seleccionar aquesta variant metodològica de la prova de Sargent perquè és la més fiable.¹⁹
2. El temps de vol (T_v), avaluat mitjançant una plataforma de contactes (Ergo Jump Bosco/System, que inclou plataforma, microordinador PSION XP i interconnector), per determinar la distància d'elevació del centre de gravetat, amb la fórmula següent: $D_{cg} = T_v^2 \cdot g/8$ en què "g" expressa l'acceleració de la gravetat ($9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$).

La fiabilitat dels dos mètodes es va examinar mitjançant: a) la prova "test-retest", calculant els coeficients de correlació i determinació de Pearson (r ; r^2 ; $p < 0,01$), i b) el càlcul de l'"error del mètode" (ME) per a mesuraments repetits i coeficient de variació associat (CV).

També es va fer un estudi de regressió múltiples (mètode pas a pas o *stepwise*), per relacionar el desplaçament màxim obtingut per cada persona

de mesurament i su fiabilidad, así como relacionar matemáticamente los resultados de ambos métodos mediante una ecuación de regresión.

Material y métodos

Se estudiaron 65 adultos sanos (35 hombres y 30 mujeres; 36 ± 8 años de edad; rango: 60 - 24 años) (Tabla I) que se prestaron voluntariamente a un examen completo de salud, un estudio antropométrico y a una batería de pruebas de condición física para adultos, que incluía una prueba de salto vertical.

Los voluntarios, tras firmar un formulario de consentimiento con conocimiento de causa, fueron sometidos a un examen de salud (cuestionario de aptitud para la actividad física, exploración física y analítica de sangre y orina) y un estudio antropométrico.

Posteriormente, se aplicó la batería de pruebas de condición física para adultos descrita por Rodríguez y col. (en prensa) que incluye la prueba de salto vertical. En dicha prueba el sujeto, orientado lateralmente a una pizarra con cinta métrica, intenta alcanzar la máxima altura posible con la mano más cercana a la pizarra mediante un salto vertical con contramovimiento y coordinación corporal libre.

En dicha prueba, cada sujeto realizó tres intentos en los que se determinó:

1. La distancia vertical de alcance con la mano durante el salto (D_{ma}) calculada como la diferencia entre el alcance con ambas manos estando el sujeto de cara a la pared y la altura máxima alcanzada (Foto 1), seleccionándose esta variante metodológica de la prueba de Sargent por ser la más fiable.¹⁹
2. El tiempo de vuelo (T_v) mediante una plataforma de contactos (Ergo Jump Bosco/System que incluye la plataforma, un micro-ordenador PSION XP y un interconector entre ambos) para estimar la distancia de elevación del centro de gravedad (D_{cg}) mediante la fórmula siguiente: $D_{cg} = T_v^2 \cdot g/8$ donde "g" expresa la aceleración de la gravedad ($9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$).

La fiabilidad de ambos métodos se examinó mediante a) la prueba "test-retest" calculando los coeficientes de correlación y determinación de Pearson (r ; r^2 ; $p < 0,01$), y b) el cálculo del "error del método" (ME) para mediciones repetidas y coeficiente de variación asociado (CV).

Asimismo se realizó un estudio de regresión múltiple (método paso a paso o "stepwise") para relacionar el máximo desplazamiento obtenido por cada persona en los tres saltos mediante ambos métodos ($D_{ma_{máx.}}$, $D_{cg_{máx.}}$). En este estudio se incluyeron las variables siguientes: $D_{ma_{máx.}}$ (cm), $D_{cg_{máx.}}$ (cm), edad (años), peso (kg), altura (m) y el índice de Masa Corporal ($IMC = \text{peso}/\text{altura}^2$, $\text{Kg}\cdot\text{m}^{-2}$).

en els tres salts, a través de tots dos mètodes ($Dma_{m\grave{a}x.1}$ $Dcg_{m\grave{a}x.}$). En aquest estudi es van incloure les variables $Dma_{m\grave{a}x.}$ (cm), $Dcg_{m\grave{a}x.}$ (cm), edat (anys), pes (kg), alçada (m) i índex de massa corporal ($IMC = pes/alçada^2$, $Kg \cdot m^{-2}$).

Resultats

La Taula II mostra els resultats obtinguts en cada mesurament (Dcg_n , Dma_n) i els valors màxims registrats. La Dma mitjana va ser significativament superior que la Dcg en cada intent ($p < 0,001$), i la $Dma_{m\grave{a}x.}$ va ser 9 cm major ($p < 0,001$) que la $Dcg_{m\grave{a}x.}$

Variable	n	Media (cm)	s (cm)
Dcg_1	60	28,4	8,0
Dcg_2	59	29,4	8,2
Dcg_3	59	29,5	8,3
$Dcg_{m\grave{a}x}$	63	30,8	8,3
Dma_1	64	37,0	11,4
Dma_2	63	38,6	10,7
Dma_3	64	39,0	10,8
$Dma_{m\grave{a}x}$	64	39,8	10,8

Taula II: Abast de la mà (Dma_n) i elevació del centre de gravetat (Dcg_n) en cada intent i valors màxims ($Dma_{m\grave{a}x.}$; $Dcg_{m\grave{a}x.}$).

Tabla II: Alcance de la mano (Dma_n) y elevación del centro de gravedad (Dcg_n) en cada intento y valores máximos ($Dma_{m\grave{a}x.}$; $Dcg_{m\grave{a}x.}$).

La Taula III mostra els resultats estadístics calculats per estudiar la fiabilitat dels dos mètodes de mesurament. El coeficient de correlació de Pearson comparatiu indica que la fiabilitat de tots dos és excel·lent, sobretot la del mètode de l'abast de la mà (Dma ; $r = 0,97$). L'error del mètode ($ME \leq 2,0$) i el coeficient de variació ($CV (\%) = 4,1 - 7,0$) confirmen l'elevada fiabilitat de tots dos mètodes, tot i que la variabilitat de l'abast de la mà (Dma) és menor.

Després de confirmar la relació lineal existent entre $Dma_{m\grave{a}x.}$ i $Dcg_{m\grave{a}x.}$ mitjançant una anàlisi de regressió (Figura 2), l'estudi de validesa comparativa entre els dos mètodes va considerar els models matemàtics que es mostren a continuació, a través de les dues equacions de regressió següents:

a) $Dma_{m\grave{a}x.} = 4,16 + 1,14 Dcg_{m\grave{a}x.}$
 $n = 59$; $r_m = 0,94$; $r^2_{ajustat} = 0,88$; $SE = 3,51$ cm

b) $Dma_{m\grave{a}x.} = 1,06 Dcg_{m\grave{a}x.} + 0,11 PES - 0,80$
 $n = 59$; $r_m = 0,95$; $r^2_{ajustat} = 0,90$; $SE = 3,27$ cm

Es presenten totes dues equacions perquè representen models matemàtics que s'ajusten molt bé als resultats ($r^2 > 0,87$) i, si bé l'equació b) aporta més informació perquè introdueix el pes, la millora

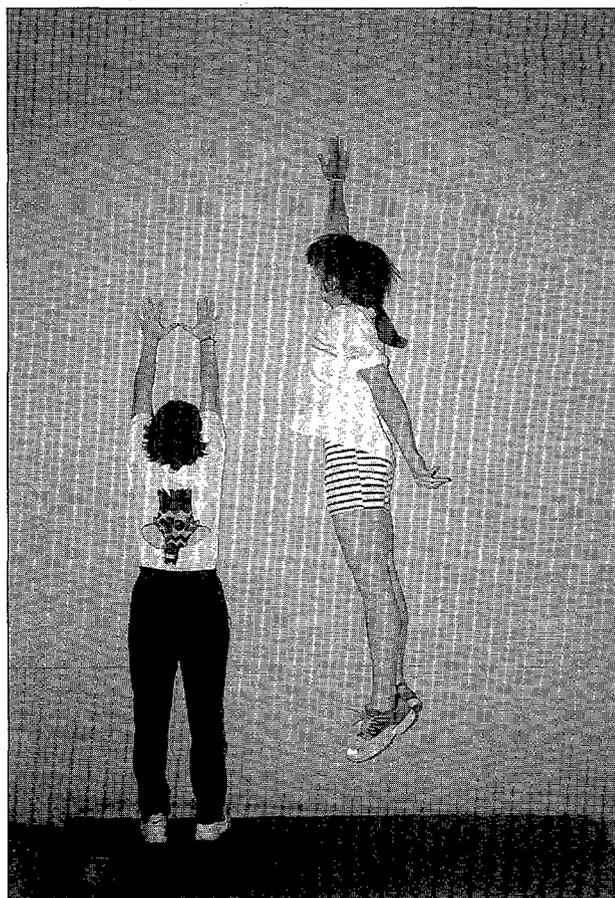


Foto 1. Execució de la prova de salt vertical amb abast de la mà.

Foto 1. Ejecución de la prueba de salto vertical con alcance de la mano.

Resultados

La Tabla II muestra los resultados obtenidos en cada medición (Dcg_n , Dma_n), así como los valores máximos registrados. La Dma media fue significativamente mayor que la Dcg en cada intento ($p < 0,001$) siendo la $Dma_{m\grave{a}x.}$ 9 cm mayor ($p < 0,001$) que la $Dcg_{m\grave{a}x.}$

La Tabla III muestra los estadísticos calculados para estudiar la fiabilidad de ambos métodos de medición. El coeficiente de correlación de Pearson comparativo indica que la fiabilidad de ambos métodos es excelente, sobretodo la del alcance de la mano (Dma ; $r = 0,97$). El error del método ($ME \leq 2,0$) y el coeficiente de variación ($CV (\%) = 4,1 - 7,0$) confirman la elevada fiabilidad de ambos métodos, aunque la variabilidad del alcance de la mano (Dma) es menor.

Tras confirmar la relación lineal existente entre $Dma_{m\grave{a}x.}$ y $Dcg_{m\grave{a}x.}$ mediante un análisis de regresión (Figura 2), el estudio de validez comparativa entre ambos métodos estimó los modelos mate-

de l'ajustament respecte a a) és moderada. D'altra banda, tant l'abast de la mà com l'elevació del centre de gravetat van registrar valors significativament menors en funció de l'edat ($p < 0,05$); amb tot, l'edat va ser exclosa del model matemàtic en introduir-se la Dcg o el pes. Així mateix, val a remarcar que les variables alçada i IMC no van entrar en el model.

màtics que se mostren a continuació mediante las dos ecuaciones de regresión lineal siguientes:

a) $Dma_{m\acute{a}x.} = 4,16 + 1,14 Dcg_{m\acute{a}x.}$
 $n = 59; r_m = 0,94; r^2_{ajustado} = 0,88; SE = 3,51 \text{ cm}$

b) $Dma_{m\acute{a}x.} = 1,06 Dcg_{m\acute{a}x.} + 0,11 \text{ PESO} - 0,80$
 $n = 59; r_m = 0,95; r^2_{ajustado} = 0,90; SE = 3,27 \text{ cm}$

Variables	n	r	t-ratio (p)	ME	V (%)
Dma ₂ - Dma ₁	63	0,97	0,26 (ns)	1,89	5,0
Dma ₃ - Dma ₁	64	0,97	0,18 (ns)	1,99	5,2
Dma ₃ - Dma ₂	63	0,97	0,45 (ns)	1,60	4,1
Dcg ₂ - Dcg ₁	57	0,93	0,28 (ns)	1,76	6,1
Dcg ₃ - Dcg ₁	56	0,94	0,30 (ns)	2,02	7,0
Dcg ₃ - Dcg ₂	56	0,85	0,40 (ns)	1,36	4,6

r: coeficient de correlació de Pearson; ME: error del mètode; CV: coeficient de variació; ns: diferència no significativa.
r: coeficiente de correlación de Pearson; ME: error del método; CV: coeficiente de variación; ns: diferencia no significativa.

Taula III: Índex de fiabilitat de la prova de salt vertical valorant l'abast de la mano (Dma_n) i l'elevació del centre de gravetat (Dcg_n).

Tabla III: Indices de fiabilidad de la prueba de salto vertical valorando el alcance con la mano (Dma_n) y la elevación del centro de gravedad (Dcg_n).

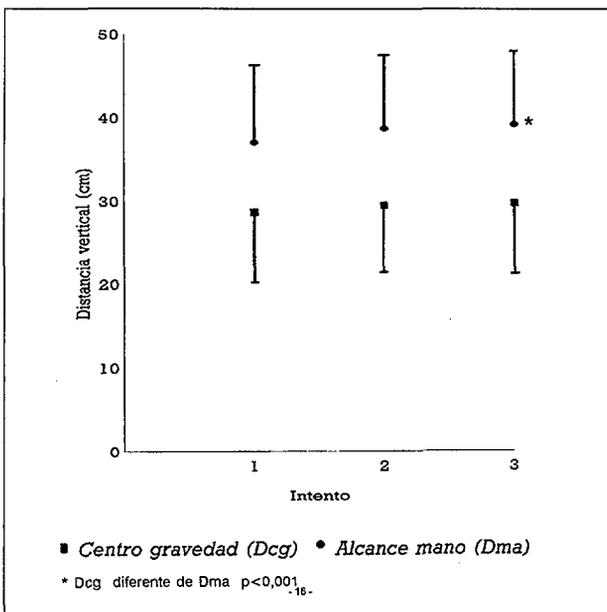


Figura 1: Comparació de la distància vertical aconseguida amb la mà (Dma) i l'elevació del centre de gravetat (Dcg) en cada intent. Dcg i Dma diferents significativament en cada intent ($p < 0,01$) i sense diferències significatives entre intents. Dades expressades gràficament com a mitjana i desviació estàndard.

Figura 1: Comparación de la distancia vertical alcanzada con la mano (Dma) y la elevación del centro de gravedad (Dcg) en cada intento. Dcg y Dma diferentes significativamente en cada intento ($p < 0,01$) y sin diferencias significativas entre intentos. Datos expresados gráficamente como media y desviación

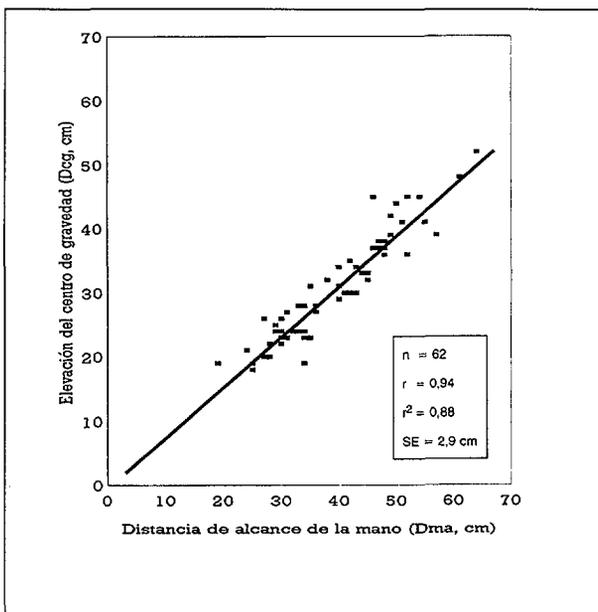


Figura 2: Anàlisi de regressió simple de la distància d'abast vertical amb la mà (Dma) sobre l'elevació del centre de gravetat (Dcg) en cm.

Figura 2: Análisis de regresión simple de la distancia de alcance vertical con la mano (Dma) sobre la elevación del centro de gravedad (Dcg) en cm.

Discussió

La força d'impulsió del tren inferior és avaluada sovint mitjançant l'aplicació de les proves de camp de salt horitzontal i vertical. D'un costat, la prova de salt horitzontal sobre un matalàs mostra una fiabilitat i objectivitat menors que no la prova de salt vertical.¹⁰ Igualment, Glencros¹¹ demostrà a través d'una anàlisi factorial que el salt vertical implica en menor mesura la coordinació (tècnica de salt) emprada amb el salt horitzontal. Això ens permet concloure que la prova de salt vertical és la prova elegida per valorar la força explosiva del tren inferior en adults.

D'altra banda, la prova de saltar i arribar és fàcilment d'executar i registrar, i requereix poc aprenentatge per part de l'examinat, la qual cosa es palesa en l'alta fiabilitat mostrada pels resultats obtinguts en aquest estudi. Així mateix, els índexs de fiabilitat obtinguts en el nostre estudi mitjançant la plataforma de contactes en l'aplicació de la prova de saltar i arribar ($r = 0,93$; $CV = 6\%$), són similars als que va calcular Viitasalo²¹ amb aquesta plataforma per als salts verticals parat (*Squat Jump*; SJ: $r = 0,93$; $CV = 4\%$) i amb contramoviment (*Counter Mouvement Jump*, CMJ: $r = 0,95$; $CV = 4\%$). Els mètodes emprats per valorar la prova de salt vertical han variat històricament a partir del protocol inicial proposat per Sargent; tanmateix, la màxima fiabilitat del mètode de mesurament mitjançant l'abast de la mà sols s'aconsegueix quan es mesura l'alçada del subjecte amb els dos braços per damunt del cap i de cara a la paret.¹⁹

Atesa l'elevada correlació obtinguda entre Dma i Dcg, podem concloure que el resultat d'aquesta prova s'explica fonamentalment per l'elevació del centre de gravetat, encara que la distància de l'abast no és equivalent a aquesta elevació, ja que hi ha una diferència mitjana de 9 cm que s'explica parcialment pels moviments articulars d'abducció escapulohumeral, rotació del braç i avantbraç, i elevació escapular del costat pertinent fins a arribar a la màxima alçada amb la mà.

Considerant que cap dels dos mètodes mesura directament la potència de salt, perquè no es registren les forces d'impulsió, l'acceleració del cos ni l'impuls mecànic ($I = \text{força} \times \text{temps d'impulsió}$), es basen en realitat en estimacions indirectes. La bibliografia mostra i discuteix diversos mètodes d'avaluació de la potència de salt,^{1, 4, 21} i utilitza sobretot la que es basa en el nomograma de Lewis.¹³

$$\text{Potència (kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}) = \sqrt{4,9 \cdot \text{pes} \cdot \sqrt{\text{Dma}}}$$

Aquest estudi ha determinat que l'alçada del salt vertical disminueix amb l'edat, però aquesta variable no aporta informació significativa al model matemàtic. El resultat esmentat és coherent amb els estudis previs, que indiquen que l'augment de

Se presentan ambas ecuaciones porque representan modelos matemáticos que se ajustan muy bien a los resultados ($r^2 > 0,87$) y, si bien la ecuación "b" aporta más información al introducir el peso, la mejora del ajuste respecto a la "a" es moderada. Por otro lado, tanto el alcance de la mano como la elevación del centro de gravedad registraron valores significativamente menores en función de la edad ($p < 0,05$), sin embargo la edad fue excluida del modelo matemático al introducirse la Dcg o el peso. Asimismo es remarcable que las variables altura y el IMC no entraran en el modelo.

Discusión

La fuerza de impulsión del tren inferior es estimada habitualmente mediante la aplicación de las pruebas de campo de salto horizontal y vertical. Por un lado, la prueba de salto horizontal sobre una colchoneta muestra una menor fiabilidad y objetividad que la prueba de salto vertical.¹⁰ Asimismo, Glencros¹¹ demostró a través de un análisis factorial que el salto vertical implica en menor medida la coordinación (técnica de salto) empleada con el salto horizontal, por lo que concluimos que la prueba de salto vertical es la prueba de elección para valorar la fuerza explosiva del tren inferior en adultos.

Por otro lado, la prueba de "saltar y llegar" es de fácil ejecución y registro requiriendo poco aprendizaje por parte del examinado, lo cual se manifiesta en la alta fiabilidad mostrada por los resultados obtenidos en este estudio. Asimismo, los índices de fiabilidad obtenidos mediante la plataforma de contactos en la aplicación de la prueba de "saltar y llegar" en nuestro estudio ($r = 0,93$; $CV = 6\%$) son similares a los calculados por Viitasalo²¹ con dicha plataforma para los saltos verticales de parado (*Squat Jump*; SJ: $r = 0,93$; $CV = 4\%$) y con contramovimiento (*Counter Mouvement Jump*, CMJ: $r = 0,95$; $CV = 4\%$). Los métodos utilizados para valorar la prueba de salto vertical han variado históricamente a partir del protocolo inicial propuesto por Sargent, sin embargo la máxima fiabilidad del método de medición mediante el alcance de la mano sólo se consigue cuando se mide la altura del sujeto con ambos brazos por encima de la cabeza y de cara a la paret.¹⁹

Dada la elevada correlación obtenida entre Dma y Dcg podemos concluir que, efectivamente, el resultado de esta prueba se explica fundamentalmente por la elevación del centro de gravedad, aunque la distancia de alcance no es equivalente a dicha elevación existiendo una diferencia media de 9 cm explicada parcialmente por los movimientos articulares de abducción escapulo humeral, rotación del brazo y antebrazo, y elevación escapular del lado pertinente para alcanzar la máxima altura con la mano.

l'edat es relaciona significativament amb descensos de la força muscular,²¹ el comportament elàstic del múscul i la potenciació reflexa. D'altra banda, l'alçada del salt vertical es relaciona significativament amb el percentatge de fibres musculars ràpides, i aquest percentatge amb els hàbits d'activitat física diaris (laborals, domèstics o de lleure).³ Igualment, es poden produir adaptacions neuromusculars al nivell i al tipus d'activitat física, convertint fibres ràpides en lentes.^{12, 18} En aquest sentit, Viljanen i col.²³ van determinar que la disminució de l'alçada del salt amb l'edat està fortament influïda pel nivell d'activitat física habitual del subjecte, i que aquesta disminueix significativament amb l'edat.⁸ Així doncs, l'estudi específic de la possible influència de l'edat en la prova de salt vertical requereix un disseny que controli la influència probable dels hàbits d'activitat física dels subjectes.

Finalment, cal remarcar que el mètode d'estimació de l'elevació del centre de gravetat mitjançant plataformes de contacte és més costós i menys aplicable (material, temps necessari i formació de l'examinador) que no pas la variant estudiada de la prova de Sargent a través del mesurament de l'abast de la mà.

Conclusions

1. Els dos mètodes de registre de la prova de salt vertical amb l'abast de la mà són molt fiables, sobretot quan valoren l'alçada de l'abast de la mà amb la tècnica descrita ($r = 0,97$).
2. El mesurament de l'abast de la mà (Dma), comparat amb el registre del temps de vol i l'estimació de l'elevació del centre de gravetat, resulta igualment vàlid, més fiable, més senzill i més econòmic, de manera que la seva aplicabilitat és superior en estudis de camp per valorar la força explosiva del tren inferior.

Dado que ninguno de los dos métodos mide directamente la potencia de salto, debido a que no se registran las fuerzas de impulsión ni la aceleración del cuerpo, ni el impulso mecánico ($I = \text{Fuerza} \times \text{Tiempo de impulsión}$), se basan en realidad en estimaciones indirectas. La literatura muestra y discute diversos métodos de estimación de la potencia de salto^{4, 21} siendo una de las más usadas la basada el nomograma de Lewis.¹³

$$\text{Potencia (kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}) = \sqrt{4,9 \cdot \text{peso} \cdot \sqrt{\text{Dma}}}$$

El presente estudio ha determinado que la altura del salto vertical disminuye con la edad pero esta variable no aporta información significativa al modelo matemático. Este resultado es consistente con los estudios previos que indican que el aumento de la edad se relaciona significativamente con descensos de la fuerza muscular²¹ y el comportamiento elástico del músculo y la potenciación refleja.⁴ Por otro lado, la altura del salto vertical se relaciona significativamente con el porcentaje de fibras musculares rápidas, y este porcentaje con los hábitos de actividad física diarios (laborales, domésticos o recreativos).³ Asimismo, pueden producirse adaptaciones neuromusculares al nivel y tipo de actividad física convirtiendo fibras rápidas en lentas.^{12, 18} En este sentido, Viljanen y col.²³ determinaron que la disminución de la altura de salto con la edad está fuertemente influida por el nivel de actividad física habitual del sujeto y que ésta disminuye significativamente con la edad.⁸ Así el estudio específico de la posible influencia de la edad en la prueba de salto vertical requiere un diseño que controle la probable influencia de los hábitos de actividad física de los sujetos.

Finalmente, es necesario remarcar que el método de estimación de la elevación del centro de gravedad mediante plataformas de contactos es más costoso y menos aplicable (material, tiempo necesario y formación del examinador) que la variante estudiada de la prueba de Sargent mediante la medición del alcance de la mano.

Conclusiones

1. Los dos métodos de registro de la prueba de salto vertical con alcance de la mano son muy fiables, sobretodo al valorar la altura del alcance de la mano según la técnica descrita ($r=0,97$).
2. La medición del alcance con la mano (Dma), comparada con el registro del tiempo de vuelo y estimación de la elevación del centro de gravedad, resulta igualmente válida, más fiable, más sencilla y más económica, por lo que concluimos que su aplicabilidad en estudios de campo para valorar la fuerza explosiva del tren inferior en adultos es mayor.

Bibliografía

1. ADAMSON, G.T.; WHITNEY, R.J.: Critical appraisal of jumping as a measure of human power. In: Vredendregt, J., Wartenweiler, J. (Eds.), *Medicine and sport: vol. 6 Biomechanics II*, pp: 208-211. Basel: Karger, 1971.
2. BEIMBORN, D.S.; MORRISSEY, M.C.: A review of the literature related to trunk muscle performance. *Spine*. 13 (6): 655-660, 1988.
3. BOSCO, C.; KOMI, P.V.: Mechanical characteristics and fiber composition of human leg extension muscle. *Eur. J. Appl. Physiol.* 41: 275-284, 1979.
4. BOSCO, C.; KOMI, P.V.: Influence of aging on the mechanical behavior of leg extensor muscles. *Eur. J. Appl. Physiol.* 45: 209-219, 1980.
5. BOSCO, C.; LUHTANEN, P.; KOMI, P.V.: A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *Eur. J. Appl. Physiol.* 50: 273-282, 1983.
6. BUCHNER, D.M.; BERESFORD, S.A.; LARSON, E.B.; LACROIX, A.Z.; WAGNER, E.H.: Effects of physical activity on health status in older adults II: Intervention studies. *Annu. Rev. Publ. Health.* 13: 469-488, 1992.
7. BUSKIRT, E.R.: Obesity. In Skinner, J.S., Ed.: *Exercise testing and exercise prescription for special cases*. Lea & Febiger. Philadelphia. pp: 149-174. 1987.
8. CANADA FITNESS SURVEY: Fitness and lifestyle in Canada. Government of Canada. *Fitness and Amateur Sport. Canada Fitness Survey*, Ottawa, 1983.
9. ERA, P.; LYYRA, A.L.; VIITASALO, J.T.; HEIKKINEN, E.: Determinants of isometric muscle strength in men of different ages. *Eur. J. Appl. Physiol.* 64: 84-91, 1992.
10. FETZ, F.; KORNEXL, E.: *Test deportivo motores*. Kapelus, Buenos Aires, 1976.
11. GLENCROS, D.J.: The nature of the vertical jump and the standing broad jump. *Res. Quart.* 37 (3): 353-359, 1966.
12. LARSSON, L.: Physical training effects on muscle morphology in sedentary males at different ages. *Med. Sci. Sports Exerc.* 14: 203-206, 1982.
13. McDOUGALL, J.P.; WEGNER, H.A.; GREEN, H.J. (Eds.): *Physiological testing of the high performance athlete*. Human Kinetics Books. Champaign, Illinois, 1991.
14. RATANEN, T.; SIPILÄ, S.; SUOMINEN, H.: Muscle strength and history of heavy manual work among elderly trained women and randomly chosen sample population. *Eur. J. Appl. Physiol.* 66: 514-517, 1993.
15. RODRÍGUEZ, F.A.; GUSI, N.; VALENZUELA, A.; NÁCHER, S.: Valoración de la condición física en adultos (III). Bateria AFISAL-INEFC. Apuntes: Educación Física y Deportes, en prensa.
16. SARGENT, D.A.: The physical test of a man. *Amer. Phys. Educ. Rev.*, 26 (4): 188-194, 1921.
17. SHEPHARD, R.J.; MONTELPARE, W.; PLYLEY, M.; McCRAKEN, D.; GOODE, R.C.: Handgrip dynamometry, Cybex measurements and lean mass as makers of the ageing of muscle function. *Br. J. Sp. Med.* 25 (4): 204-208, 1991.
18. SIMONEAU, J.A.; CORTIE, G.; BOULAY, M.R.; MARCOTTE, M.; THIBAUT, M.C.; BOUCHARD, C.: Human skeletal muscle fiber type alteration with high-intensity intermittent training. *Eur. J. Appl. Physiol.* 54: 250-253, 1985.
19. SIMRI, V.: Assessment procedures for human performance. In: Larson, L.A. (Ed.). *Fitness, health, and work capacity: International standards for assessment*. p. 369. Macmillan Publishers, New York, 1974.
20. SKINNER, J.S.; OJA, P.: Laboratory and field tests for assessing health-related fitness. In: Bouchard, C.; Shephard, R.J.; Stephens, T.: *Physical activity, fitness, and health. International proceedings and consensus statement*. Human Kinetics Publishers. Leeds, England. pp: 160-179, 1992.
21. VIITASALO, J.T.: Measurement of force-velocity characteristics for sportsmen in field conditions. In Winter, D.A., Norma, R.W., Wells, R.P., Hayer, K.C., Patla, A.E. (Eds.), *Biomechanics IX-A* pp: 96-101. Human Kinetics, Champaign, Illinois, 1985.
22. VIITASALO, J.T.; VILJANEN, T.; KUJALA, U.M.: Evaluation of vertical jumping tests. The XII International Congress of Biomechanics. 26-30 June, Los Angeles, USA. Available from the Department of Kinesiology, UCLA, California, USA, 1989.
23. VILJANEN, T.; VIITASALO, J.T.; KUJALA, U.M.: Strength characteristics of a healthy urban adult population. *Eur. J. Appl. Physiol.* 63: 43-47, 1991.