

Efecte de la intensitat del contramoviment sobre el rendiment del salt vertical

Effect on the Intensity of Countermovement on Vertical Jump Performance

MARCOS GUTIÉRREZ-DÁVILA
FRANCISCO JAVIER GILES GIRELA
CARMEN GONZÁLEZ ROPERO
DIEGO JESÚS GALLARDO ROMÁN
FRANCISCO JAVIER ROJAS RUIZ

Departament d'Educació Física i Esportiva
Universidad de Granada (Espanya)

Autor per a la correspondència

Francisco Javier Rojas Ruiz
fjrojas@ugr.es

Resum

El propòsit d'aquesta investigació ha estat comprovar l'efecte de la intensitat del contramoviment sobre el rendiment del salt vertical. Per al control de la intensitat s'han utilitzat tres protocols de salts verticals amb participació de braços: a) salts verticals partint des de la posició de dempeus (CMJ + S), b) partint d'un salt previ on l'alçada de caiguda estava regulada pel participant, (DJ-AR) i c) partint d'un salt previ màxim (DJ-M). Han participat 28 esportistes practicants de modalitats esportives on el salt vertical constitueix una habilitat bàsica. S'ha utilitzat una plataforma de força, operant a 500 Hz, sincronitzada temporalment a una càmera de vídeo, que registrava a 210 Hz el pla sagital dels salts executat sobre la plataforma. L'acceleració vertical del CM es va determinar a partir de la força neta vertical i la massa del saltador. A continuació, els successius registres de la velocitat vertical i les posicions de component vertical adoptades pel CM es van determinar mitjançant integració de les components verticals de les funcions d'acceleració-temps i velocitat-temps, respectivament. Les constants d'integració es van determinar mitjançant imatges de vídeo (2D). Els resultats han posat de manifest que, quan s'executen salts amb alçades de caiguda superiors a $0,39 \pm 0,05$ m, el pic de potència durant la fase propulsiva ($PP_{(PROPULSIVA)}$), l'impuls vertical de propulsió ($IV_{(PROPULSIÓ)}$), i l'alçada de salt (Y_{CM}^{vol}), es redueixen de manera significativa ($p < 0,001$), la qual cosa ens permet afirmar que es redueix el rendiment durant la fase propulsiva.

Paraules clau: biomecànica, força, impuls, salt vertical

Abstract

Effect on the Intensity of Countermovement on Vertical Jump Performance

The purpose of this research was to determine the effect of the intensity of countermovement on vertical jump performance. Three conditions of vertical jumps involving arms were used to control the countermovement's intensity: a) Vertical jumps starting from the upright position (CMJ + S), b) based on a previous jump where the drop height was regulated by the participant, (DJ- AR) and c) starting from a previous maximum jump (DJ- M). 28 athletes practicing different sports, where vertical jumping is a basic skill, were involved in this study. A force platform, operating at 500 Hz and temporally synchronised to a video camera which recorded the sagittal plane of the jumps on the platform at 210 Hz, were used. The vertical acceleration of the CM was determined from the net vertical force and the mass of the jumper. Successive vertical velocity and positions were calculated by integration of the vertical components of the acceleration-time and velocity-time functions respectively. The integration constants were determined by video images (2D). The results have shown that when jumps with drop heights exceeding 0.39 ± 0.05 m were performed, peak power during the propulsive phase, vertical impulse and jump height was significantly reduced ($p < 0.001$), which means that performance is reduced during the propulsive phase.

Keywords: biomechanics, force, impulse, vertical jump

Introducció

Se sap que, en els moviments on es requereix una gran acceleració, el contramoviment constitueix un factor que permet incrementar l'eficàcia mecànica i la potència durant l'activitat muscular concèntrica. L'explicació d'aquest fet pot tenir una base mecànica i una altra neurofisiològica. La base mecànica es fonamenta en el principi de força inicial (Hochmuth, 1967), on es constata que l'execució del contramoviment produeix un impuls de frenada que permet incrementar la força externa abans d'iniciar l'impuls d'acceleració. La conseqüència és que l'impuls total d'acceleració augmenta, sempre que la transició entre els impulsos es faci de manera fluida.

L'explicació neurofisiològica té els seus orígens en l'activació del reflex miotàtic d'estirada i les investigacions de Cavagna, Dusman i Margaria (1968), on es posa de manifest que l'estirada ràpida d'un múscul aïllat produeix un emmagatzemament d'energia elàstica que facilita l'increment de la seva potència durant la posterior contracció concèntrica, la qual cosa s'ha denominat com a cicle estirament-escurçament. Sense cap dubte, aquesta explicació neurofisiològica ha estat la que més interès ha despertat per part dels investigadors, encara que hi ha certes dificultats en generalitzar-la quan es tracta de moviments complexos. Coneixedors d'aquestes dificultats, la majoria dels protocols utilitzats per al salt vertical limiten la participació segmentària (acció de braços), tractant de reduir la cadena cinètica i focalitzar el contramoviment als músculs extensors del genoll.

Des de la perspectiva neurofisiològica, els protocols més habituals per als salts amb contramoviment, són els que s'executen sense participació dels braços i partint des de la posició de dempeus (*counter movement jumps*, CMJ) o partint des d'una certa alçada de caiguda (*drop jumps*, DJ). En els salts DJ, el treball negatiu i l'emmagatzemament de l'energia elàstica s'incrementa a mesura que augmenta l'alçada de caiguda, tot facilitant així un major alliberament d'energia elàstica durant la fase concèntrica. No obstant això, quan l'alçada prèvia és excessiva, el treball es dissipa en forma de calor en comptes d'emmagatzemar-se en forma d'energia elàstica (Moran & Wallace, 2007; Van Ingen Schenau, Bobbert, & Haan, 1997; Waller, Gersick, & Holman, 2013).

Encara que hi ha certes discrepàncies, els estudis previs semblen consensuar que l'alçada de caiguda, a partir de la qual no hi ha millora en el rendiment del salt, estaria compresa entre 0.3 i 0.4 m. En aquest sen-

tit, Bobbert, Huijing i Van Ingen Schenau, (1987) no van trobar diferències en el rendiment entre salts DJ sense acció de braços, amb alçades de caiguda entre 0,2, 0,4 i 0,6 m. Lee i Fahmi (1994), comparant salts verticals després de caiguda des d'alçades compreses entre 0,12 i 0,68 m sense acció de braços, van constatar que els salts amb caiguda des de 0,12 m, produeixen la major alçada de salt i potència vertical durant la fase concèntrica. Voigt, Simonsen, Dyhre-Poulsen i Klausenf (1995) han posat de manifest que els salts (CMJ) i DJ, amb caigudes inferiors a 0.30 m i sense acció de braços, produeixen rendiments superiors als salts DJ amb caigudes superiors a 0,60 m. Peng (2011), utilitzant el salt DJ amb caigudes de 0,2 m, 0,3 m, 0,4 m, 0,5 m i 0,6 m i sense acció de braços, suggereix que les caigudes superiors a 0,40 m no produeixen beneficis.

Walsh, Arampatzis, Schade i Bruggemann (2004), utilitzant un disseny bifactorial, on es comparen salts amb caiguda des de 0,2, 0,4 i 0,6 m i diferents temps de batuda sense acció de braços, no van trobar diferències significatives entre els salts DJ quan s'incrementava l'alçada de caiguda, sent el temps de batuda el factor que condicionava el rendiment del salt, independentment de l'alçada de caiguda. D'aquesta manera, s'introdueix un nou factor de rendiment que estaria relacionat amb la tècnica d'execució. En aquest sentit, Waller et al. (2013) consideren que el temps d'acoblament entre les fases pot variar en funció dels objectius pretesos, encara que, en la fase final del contramoviment, ha d'existir una ràpida contracció muscular que permeti la propulsió vertical. Aquests resultats ens permeten considerar que utilitzant protocols sense restricció segmentària (amb acció de braços), la intensitat òptima del contramoviment podria variar. És sabut que la participació segmentària en els salts verticals, incrementa el temps de batuda i la velocitat d'enlairament del centre de massa (CM) (Aragón-Vargas, 2000; Hara, Shibayama, Takeshita, & Fukushima, 2006; Gutiérrez-Dávila, Gutiérrez-Cruz, Garrido, Giles i Rojas, 2012), la qual cosa ens suggereix que un increment del temps d'aplicació de forces podria modificar l'impuls vertical i, conseqüentment, el rendiment del salt, independentment de l'alçada prèvia de caiguda.

Un altre aspecte crític que cal considerar sobre les investigacions precedents, fa referència al protocol utilitzat per als salts DJ, on les alçades de caiguda se solen bloquejar a uns valors determinats (0,20, 0,30, 0,40, 0,50 m, etc.), sense considerar les

característiques individuals com: el nivell de coordinació, la força màxima, la massa desplaçada o la potència màxima que desenvolupa cada participant. En aquest estudi pretenem modificar els protocols DJ, fent que sigui el propi participant el que consideri l'alçada de caiguda òptima que li permeti desenvolupar el màxim rendiment en el salt, mitjançant l'execució d'un salt previ autoregulat (DJ-AR) i un salt previ màxim que permeti aconseguir una alçada de caiguda posterior condicionada per les característiques individuals de cada participant (DJ-M). Aquest tipus de protocol amb salt previ, ha estat considerat com un del més apropiats per a l'anàlisi d'activitats pliomètriques que impliquen el cicle estirament-escurçament (Wallace et al., 2010).

D'altra banda, és necessari considerar que, durant els salts verticals, la massa dels segments superiors està subjecta a certes acceleracions verticals (força inercial) que redueixen les forces comprensives durant el període de contramoviment i les incrementa durant la propulsió vertical, la qual cosa contribuiria a incrementar la velocitat d'estirada de la musculatura extensora dels membres inferiors, així com a reduir la seva posterior velocitat d'escurçada (Dapena & Chung, 1988). Dues condicions que augmentaria la tensió muscular (Komi, 1984). En aquest sentit, Lee, Vanrenterghem i De Clercq (2004) consideren que l'acció de braços facilitaria el retorn d'una energia elàstica muscular que hauria estat emmagatzemada prèviament per l'increment de la tensió produïda durant l'acceleració vertical dels braços. Així, a partir de les forces inercials desenvolupades pels segments lliures superiors, seria possible incrementar el treball negatiu i l'acumulació d'energia elàstica, a partir d'alçades inferiors a les reportades pels investigadors que han utilitzat protocols amb restricció segmentària.

El propòsit d'aquesta investigació ha estat comprovar l'efecte que té la intensitat del contramoviment, sobre l'impuls vertical d'acceleració ($IV_{(A)}$), el pic de potència durant la propulsió (PP) i l'alçada de salt. Utilitzant per a això tres protocols de salts verticals amb participació de braços i nivells d'intensitat del contramoviment ajustats a les característiques físiques individuals dels participants. Encara que no tenim dades concloents que ens permetin predir l'efecte que té la intensitat del contramoviment utilitzant protocols amb participació lliure dels segments, es proposa com a hipòtesi que l'alçada de salt, l' $IV_{(A)}$ i el PP, seran més reduïts quan s'utilitzen salts previs màxims (DJ-M).

Mètode

Participants

Han participat 28 estudiants masculins de la Facultat de Ciències de l'Activitat Física i de l'Esport de la Universitat de Granada (edat = $21,4 \pm 2,1$ anys; talla = $1,79 \pm 0,05$ m; massa = $71,2 \pm 6,9$ kg; IMC = $22,3 \pm 1,8$ kgm⁻²), i per a la seva selecció s'ha utilitzat el criteri d'haver participat de manera regular en activitats esportives on el salt vertical constitueix una habilitat bàsica (voleibol, basquetbol, handbol, futbol, gimnàstica i atletisme). A tots els participants se'ls va informar i sol·licitar el seu consentiment per participar en aquest estudi seguint les directrius de la Comissió Ètica de la Universitat.

Material i procediments

S'ha utilitzat una plataforma de força de $0,6 \times 0,37$ m, Dinascan/IBV, operant a 500 Hz, sincronitzada temporalment a una càmera de vídeo Casio EX - FH20, que registrava a 210 Hz el pla sagital dels salts executats sobre la plataforma. Després d'un escalfament normalitzat de quinze minuts, els participants havien de fer tres tipus de salts amb intensitats de contramoviment diferents: a) els participants havien d'executar un salt vertical màxim partint des de la posició de dempeus i amb acció lliure dels braços (CMJ+S), b) en aquest protocol, els participants havien d'executar dos salts consecutius amb lliure acció dels braços i intentant aconseguir la màxima alçada en el segon, mentre que l'alçada del primer estaria regulada lliurement pel participant, encara que era obligatori enlairar-se de la plataforma en el salt previ (DJ-AR) i c) finalment, per a aquest protocol es va sol·licitar als participants que executessin dos salts consecutius màxims (DJ-M). A la *figura 1* es presenten els tres tipus de salts.

Abans de començar les sessions de registre, es va fer un procés d'aprenentatge del model de salt, així com d'adaptació als sistemes de registre. Seguint Schmidt i Lee (2011), aquest procés d'aprenentatge va acabar quan s'aconseguia una estabilitat en el temps de batuda. Es va dur a terme una sessió de cinc salts vàlids per a cada tipus de salt, amb una recuperació de 2 minuts entre assaig i de 10 minuts entre sessió. Només es va analitzar l'assaig que tenia un registre de temps de vol mitjà d'entre els cinc assajos registrats en cada sessió. L'ordre dels tres tipus de salts proposats per a cada sessió va ser alterat entre els subjectes.

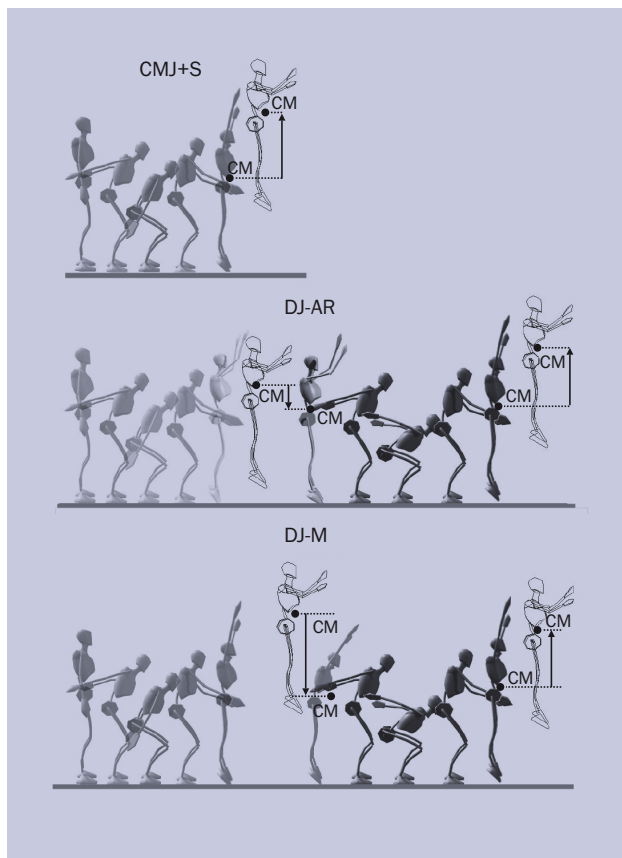


Figura 1. Representació gràfica dels tres tipus de salt

Anàlisi de dades

Per a cada assaig, es va determinar el possible error sistemàtic procedent de la plataforma de forces a partir de la mitjana de la força vertical (F_y) de 20 registres successius després de l'enlairament. Després de restar el possible error sistemàtic i el pes del subjecte, en cada tipus de salt (CMJ + S; DJ-AR i DJ-M), es va determinar l'acceleració vertical del CM, a partir de F_y i la massa del saltador. Finalment, els successius registres de la velocitat vertical i les posicions de component vertical adoptades pel CM ($v_{(y)CM}$ i Y_{CM} , respectivament), es van determinar mitjançant integració dels components verticals de les funcions d'acceleració-temps i velocitat-temps, respectivament, usant per a això el mètode trapezoidal amb un increment temporal de 0.002 s. Les constants d'integració es van determinar mitjançant imatges de vídeo (2D). Per a CMJ + S i els salts previs de DJ-AR i DJ-M, es va utilitzar l'alçada del CM en la posició inicial de cada participant i velocitat zero. Per

a la determinació de les constants d'integració dels salts DJ-AR i DJ-M, es va utilitzar l'alçada i la velocitat vertical del CM en l'instant de prendre contacte amb la plataforma.

Per determinar la posició inicial del CMJ+S i del salt previ de DJ-AR i DJ-M, es va digitalitzar manualment una imatge de vídeo abans d'iniciar-se el moviment, utilitzant per a això el model i paràmetres inercials proposats per Zatsiorsky i Seluyanov (1983) i adaptats per de Leva, (1996). Per determinar la posició del CM en la presa de contacte dels salts DJ-AR i DJ-M, es van digitalitzar dotze imatges consecutives durant la recepció, on la sisena imatge corresponia a la presa de contacte amb la plataforma. Així, el contacte es produeix durant l'interval comprès entre la 5a i 6a imatge (un interval de 0,0047 s). Les coordenades planes de les dotze imatges van ser suavitzades mitjançant un filtre digital de pas baix, a 8 Hz (Winter, 1990). Les posicions del CM per a cada imatge es van determinar utilitzant el mateix model i paràmetres inercials utilitzats per al salt CMJ+S. Finalment, la posició inicial del CM va ser el valor mitjà de les posicions del CM corresponents a la 5a i 6a imatge. La velocitat vertical instantània del CM es va determinar mitjançant la primera derivada de la posició vertical del CM, respecte al temps (meitat de l'interval ens la 5a i 6a imatge), utilitzant per a això les funcions quintic splines amb suavitzat zero (Wood & Jennings, 1979). Per a la conversió de les coordenades digitals en dades reals, es va filmar un sistema de referència consistent en un cub de $2 \times 2 \times 0,5$ m.

L'anàlisi temporal dels salts s'ha dividit en tres fases, seguint la metodologia proposada per Feltner, Bishop i Pérez, (2004): a) *Contramoviment*, que comprèn des de l'inici del moviment fins que la velocitat vertical del CM adquireix un el seu valor més pròxim a zero (t_{0Y}); b) *Propulsió* ($t_{(PROPULSIÓ)}$), que comprèn un període temporal entre t_{0Y} i l'instant en què la velocitat vertical del CM aconsegueix el seu màxim valor (t_{MV}) i c) *Prèvia a l'enlairament* ($t_{(PRÈVIA-ENLAIRAMENT)}$), compresa entre t_{MV} i l'instant d'enlairament (t_{DE}). Per a una anàlisi més detallada de la fase de contramoviment, aquesta s'ha dividit en dos períodes temporals: a_1 : Període de *contramoviment inicial*, que comprèn des de l'inici del moviment fins a l'instant on la velocitat vertical del CM aconsegueix el seu màxim valor negatiu (t_{NV}) i a_2 : Període de *contramoviment final*, ($t_{(CONTRAM.-FINAL)}$) que comprèn des de t_{NV} fins a t_{0Y} . A la figura 2 es representen els instants que defineixen aquestes fases per als salts CMJ+S (a) i els

executats des d'alçades prèvies (CMJ-AR i CMJ-M) (b), juntament amb els registres de la força vertical ($F_{(y)}$) i la potència desenvolupada durant la fase de propulsió, normalitzades respecte al pes corporal, així com el component vertical de la velocitat del CM ($v_{(y)}$), per a un dels subjectes analitzats.

El desplaçament vertical del CM durant el vol i l'alçada de caiguda del CM, per als salts DJ-AR i DJ-M, s'ha considerat com el màxim desplaçament vertical del CM durant el vol de cada tipus de salt i del salt previ ($Y_{CM \text{ vol}}$ i $Y_{CM \text{ caiguda}}$, respectivament), utilitzant per a això la velocitat vertical instantània d'enlairament (meitat de l'interval de les dues imatges en què es produeix l'enlairament). L'impuls vertical desenvolupat en cada fase, ($Iv_{(CONTRAM.-INI.)}$, $Iv_{(CONTRAM.-FIN.)}$, $Iv_{(CONTRAM.-INI.)}$ y $Iv_{(PROP.+PREVI-ENLAIRAMENT.)}$, respectivament), s'han determinat mitjançant la integració de la funció $F_{(y)}$ respecte al temps que duren les respectives fases, i per a això es va usar el mètode trapezoidal amb un increment temporal de 0,002 s. La força registrada abans de començar la fase de propulsió ($Fv_{(PRÈVIA-PROPULSIÓ)}$), s'ha normalitzat respecte al pes dels participants. El pic màxim de potència durant la fase de propulsió ($PP_{(PROPULSIÓ)}$), s'ha considerat com el màxim valor del producte de la força neta i la velocitat vertical durant la fase de propulsió.

Anàlisi estadística

Per avaluar la fiabilitat de les proves, s'ha aplicat una anàlisi de variància de mesures repetides a tots els assajos en les tres condicions experimentals (cinc assajos per a cada condició), prenent com a variable dependent el temps de batuda, no havent-hi diferències significatives entre els assajos. El coeficient de correlació intraclasse per a aquesta mateixa variable, ha estat de 0,967 ($p < 0,001$) per a CMJ + S, de 0,985 ($p < 0,001$) per al DJ-AR i de 0,977 ($p < 0,001$) per a DJ-M.

S'han calculat la mitjana i la desviació típica per a cada variable en cada situació experimental, i s'ha determinat les diferències entre les mitjanes dels tres nivells de la variable (CMJ+S; DJ-AR; DJ-M), mitjançant una anàlisi de variància de mesures repetides (ANOVA). Una anàlisi múltiple de contrastos posterior va determinar entre quins grups es trobaven les diferències. El nivell de significació s'ha establert en $p < 0,05$. S'ha utilitzat el paquet estadístic Statgraphic Plus 5.1 per a Windows.

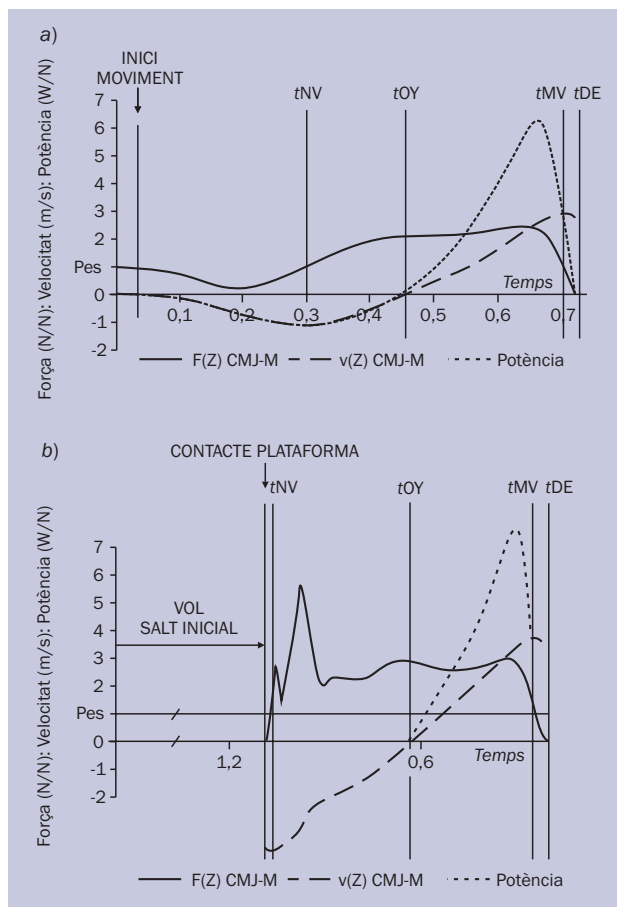


Figura 2. Representació gràfica dels instants que defineixen les fases per als salts CMJ+S (a) i els executats des d'alçades prèvies (CMJ-AR i CMJ-M) (b)

Resultats

A la taula 1 es presenten les dades de tendència central i nivell de significació, relatius a les diferents alçades de caiguda i els temps que fan referència a les fases i períodes temporals en què s'han dividit els tres tipus de salts. Com s'esperava, segons els protocols proposats per a cada salt, hi ha hagut clares diferències en l'alçada de caiguda ($Y_{CM \text{ caiguda}}$) entre totes les condicions de salt. Un fet semblant ocorre amb el temps de contramoviment inicial ($t_{(CONTRAM.-INI.)}$), destacant que, a més de les diferències obligades degudes al protocol CMJ+S, també hi ha hagut diferències significatives entre els salts DJ-AR i DJ-M, i és significativament superior ($p < 0,001$), quan l'alçada del salt previ ha estat regulada pel propi participant (DJ-AR). El temps de contramoviment final ($t_{(CONTRAM.-FIN.)}$), ha estat superior per a la condició DJ-M, respecte als altres dos ($p < 0,001$), mentre

Variables	CMJ+S	DJ-AR	DJ-M	F
Y_{CG} caiguda (m)	0,00 ± 0,00	0,141 ± 0,06	0,39 ^{1,2} ± 0,05	470,7***
$t_{(CONTRAM.-INI.)}$ (s)	0,461 ± 0,129	0,0441 ± 0,022	0,011 ^{1,2} ± 0,010*	303,4***
$t_{(CONTRAM.-FIN.)}$ (s)	0,190 ± 0,056	0,198 ± 0,078	0,286 ^{1,2} ± 0,086*	16,3***
$t_{(CONTRAMOVIMIENTO)}$ (s)	0,652 ± 0,145	0,2421 ± 0,084	0,297 ^{1,2} ± 0,086	173,5***
$t_{(PROPULSIÓ)}$ (s)	0,279 ± 0,050	0,2391 ± 0,065	0,269 ² ± 0,054	7,8**
$t_{(PREVI-ENLAIRAMENT)}$ (s)	0,024 ± 0,004	0,025 ± 0,004	0,025 ± 0,004	3,23

*** $p < 0,001$; ** $p < 0,01$; * $p < 0,05$; ^{1,2} indica diferències significatives entre els grups ($p < 0,05$).

Taula 1. Estadística descriptiva i anàlisi de variància multifactorial (ANOVA de mesures repetides), per a l'alçada de caiguda (Y_{CG} caiguda) i els valors temporals de les fases en què s'han dividit tres condicions de salt (CMJ+S, DJ-AR i DJ-M)

que no hi ha hagut diferència entre les condicions CMJ + S i DJ-AR. Respecte al temps utilitzat durant la fase de propulsió ($t_{(PROPULSIÓ)}$), només hi ha hagut diferències estadísticament significatives entre la condició DJ-AR, respecte a les resta condicions de salt ($p < 0,01$). No hi ha hagut diferències significatives entre els temps utilitzats en la fase prèvia a l'enlairament per a les tres condicions de salt ni comparant per parells les diferents condicions.

A la taula 2 es presenten les dades de tendència central i nivell de significació de les variables cinemàtiques i dinàmiques més significatives. Hi ha hagut clares diferències estadístiques en la posició del CM en l'instant de la recepció (Y_{CM} recepció) entre els tres tipus de salt ($p < 0,001$). Com s'esperava segons les diferències proposada en el protocol, el Y_{CM} recepció, ha estat inferior en la condició CMJ+S respecte a les altres dues condicions, encara que també hi ha clares diferències entre les dues condicions restants, i és major en la condició DJ-M. La velocitat vertical del CM en l'instant de prendre contacte amb la plataforma de força ($v_{(Y)}_{CM}$ recepció) ha estat superior per a la condició DJ-M, respecte a DJ-AR ($p < 0,001$). En ser zero la velocitat en la condició CMJ+S, segons el protocol, no s'ha considerat per a aquesta estadística. La màxima alçada aconseguida pel CM durant el vol, (Y_{CM} vol), ha estat significativament menor per a la condició DJ-M, respecte a les altres dues condicions ($p < 0,001$). La prova de contrastos aplicada a aquesta variable, posa de manifest que no hi ha diferències estadísticament significatives quan comparen les alçades mitjanes aconseguides entre les condicions CMJ+S i DJ-AR. No s'han trobat diferències estadísticament significatives en l'alçada del CM en l'instant de l'enlairament (Y_{CM} enlairament). S'han trobat certes diferències en l'alçada mínima aconseguida pel CM durant la batuda (Y_{CM} mínima), i la po-

sició més alta és l'aconseguida en la condició DJ-AR, respecte als altres dos. La prova de contrastos indica que no hi ha diferències entre les condicions CMJ+S i DJ-M.

Respecte als impulsos verticals desenvolupats per a cadascuna de les fases en què s'han dividit els tres tipus de salts, l'impuls vertical desenvolupat durant el període de contramoviment inicial ($Iv_{(CONTRAM.-INI.)}$), ha estat significativament diferent entre les tres condicions proposades ($p < 0,001$), i és major per a la condició CMJ+S i inferior per a la condició DJ-M. Tot al contrari que ocorre amb l'impuls vertical desenvolupat durant el període de contramoviment final ($Iv_{(CONTRAM.-FIN.)}$), i el valor mitjà més alt és el registrat en la condició DJ-M i el més reduït en la condició CMJ + S. També hi ha hagut clares diferències entre els valors mitjans de l'impuls vertical de propulsió ($Iv_{(PROPULSIÓ)}$), encara que la prova de contrastos posa de manifest que només hi ha diferències estadísticament significatives quan es comparen les dades obtingudes en la condició DJ-M, respecte als altres dos. No s'han trobat diferències estadísticament significatives per a l'impuls vertical desenvolupat durant la fase prèvia a l'enlairament ($Iv_{(PREVI-ENLAIRAMENT.)}$).

A la taula 2 també es presenta la força vertical aconseguida en l'instant de començar la fase de propulsió, expressada respecte al pes de cada participant (F_{Y} (PRÈVIA-PROPULSIÓ)). Les dades posen de manifest que hi ha clares diferències ens les mitjanes ($p < 0,001$), encara que la prova de contrastos només ens permet afirmar que hi ha diferències entre els valors obtinguts en la condició DJ-AR respecte a les altres dues condicions. Finalment, respecte al pic de potència aconseguït durant la fase propulsiva ($PP_{(PROPULSIVA)}$), només hi ha hagut diferències estadísticament significatives entre els valors registrats per a la condició DJ-M, respecte als altres dos tipus de salts ($p < 0,01$).

Variables	CMJ	DJ-AR	DJ-M	F
Y_{CM} recepció (m)	1,09 ± 0,038	1,131 ± 0,061	1,201,2 ± 0,074	47,87***
$v_{(Y)CM}$ recepció (m)	–	-1,920 ± 0,350	-2,882 ± 0,22	292,7***
Y_{CM} vol (m)	0,40 ± 0,05	0,39 ± 0,06	0,361,2 ± 0,05*	12,20***
Y_{CM} enlairament (m)	1,23 ± 0,04	1,22 ± 0,07	1,22 ± 0,07	0,15
Y_{CM} mínima (m)	0,76 ± 0,07	0,801 ± 0,09	0,772 ± 0,08	5,00*
$Iv_{(CONTRAM.-INI.)}$ (Ns)	-79,1 ± 22,7	-15,31 ± 8,4	-2,91,2 ± 2,6	203,4***
$Iv_{(CONTRAM.-FIN.)}$ (Ns)	75,1 ± 22,1	146,51 ± 25,4	202,51,2 ± 24,6	463,9***
$Iv_{(PROPULSIÓ)}$ (Ns)	212,3 ± 26,8	208,3 ± 29,6	199,41,2 ± 27,5*	11,9***
$Iv_{(PREVI-ENLAIRAMENT)}$ (Ns)	7,7 ± 2,6	8,5 ± 2,0	8,1 ± 2,7	0,94
$Fv_{(PREVIA-PROPULSIÓ)}$ (N/N)	2,08 ± 0,22	2,581 ± 0,49*	1,232 ± 0,37	18,34***
$PP_{(PROPULSIÓ)}$ (W)	4195 ± 674	4176 ± 959	38691,2 ± 633	6,03**

*** $p < 0,001$; ** $p < 0,01$; * $p < 0,05$; ^{1,2} indica diferències significatives entre els grups ($p < 0,05$).

Taula 2. Estadística descriptiva i anàlisi de variància multifactorial (ANOVA de mesures repetides), per a les variables biomecàniques en les tres condicions de contramoviment (CMJ, DJ-AR i DJ-M)

Discussió

Segons els resultats exposats, quan s'executen salts amb alçades de caiguda superiors a $0,39 \pm 0,05$ m, el pic de potència durant la fase propulsiva ($PP_{(PROPULSIVA)}$), l'impuls vertical de propulsió ($Iv_{(PROPULSIÓ)}$), i l'alçada de salt (Y_{CM} vol), es redueixen de manera significativa, la qual cosa ens permet afirmar que es redueix el rendiment durant la fase propulsiva. Aquests resultats són coincidents amb els exposats per Lee i Fahmi (1994), Voigt, Simonsen, Dyhre-Poulsen i Klausenf (1995) i Peng (2011). No obstant això, són contradictoris amb les aportacions de Bobbert, Huijing, i Van Ingen Schenau (1987), al no trobar diferències en el rendiment entre salts DJ amb alçades de caiguda entre 0,2, 0,4 i 0,6 m, encara que, com exposa Peng (2011), aquestes discrepàncies poden obeir al nombre reduït de la mostra (sis participants). Les dades també posen de manifest que el rendiment no varia quan es comparen les situacions CMJ+S i DJ-AR, és a dir quan el moviment previ està autoregulat, amb independència de la intensitat del contramoviment, la qual cosa és coincident amb les aportacions d'Ebben, Blackard i Jensen (1999) en considerar que, per obtenir el màxim rendiment en els salts amb contramoviment, ha d'existir un llinard d'intensitat, que s'ha descrit com a tensió excèntrica essencial mínima.

Des de la perspectiva neurofisiològica, l'explicació a la reducció del rendiment quan les alçades de caiguda sobrepassen certs valors, estaria relacionada amb la transformació del treball excèntric en calor, en

comptes d'emmagatzemar-se com a energia elàstica per ser reutilitzat durant la fase concèntrica (Van Ingen Schenau, Bobbert & Haan, 1997). A aquesta consideració, caldria afegir la possible inhibició neural i possible despreniment dels ponts creuats davant una força excèntrica excessiva, per sobre de la força màxima excèntrica (Sousa, Ishikawa, Vilas-Boas, & Komi (2007). Les nostres dades reforcen aquesta explicació neurofisiològica, en constatar-se que, en la condició DJ-M, la velocitat vertical i la posició del CM, en l'instant de la recepció, registren les dades més elevades, mentre que el temps de contramoviment inicial és el més reduït (vegeu *taules 1 i 2*). Així, el ritme de força excèntrica desenvolupat durant l'aterratge (primer pic registrat per les forces de reacció dividit pel temps que tarda a produir-se, descrit per Jensen & Ebben, 2007), seria més elevat de les tres condicions, la qual cosa ens permet considerar que el temps entre la presa de contacte i el posterior suport del taló, tendeix a reduir-se quan s'utilitza el salt DJ-M. Un fet que ens suggereix una falta d'esmoreïment en els primers instants de la recepció i un major risc de lesions (Granata, Wilson, & Pàdua, 2002).

Des de la perspectiva mecànica, els resultats posen de manifest que a partir d'una certa intensitat de l'impuls de frenada ($Iv_{(CONTRAM.-FIN.)}$), l'impuls d'acceleració ($Iv_{(PROPULSIÓ)}$) es manté en nivells relativament alts (CMJ+S i DJ-AR). No obstant això, quan la intensitat supera certs valors (DJ-M), l'impuls d'acceleració ($Iv_{(PROPULSIÓ)}$) es redueix significativament

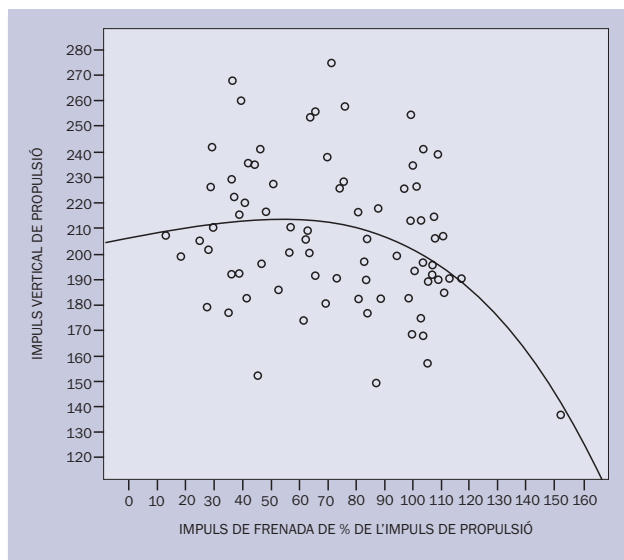


Figura 3. Relació polinomial de la distribució entre l'impuls de frenada, expressat en percentatges respecte a l'impuls d'acceleració ($Iv_{(CONTRAM.-FIN. \%)}$ i l'impuls d'acceleració ($Iv_{(PROPULSIÓ)}$)

(vegeu *taula 2*). Hem de recordar que en les situacions CMJ+S i DJ-AR, els protocols permetien que els participants controlessin la intensitat de l'impuls de frenada per obtenir el màxim impuls d'acceleració, mentre que en la condició DJ-M, l'alçada de caiguda està condicionada per la màxima capacitat de salt que pot desenvolupar cada participant. D'alguna manera, també podríem dir que l'impuls de frenada estaria controlat, encara que en aquest cas, en funció de la màxima capacitat individual de salt. Per comprovar la relació que té l'impuls de frenada, respecte a l'impuls d'acceleració, a la *figura 3*, es presenta la relació polinomial cúbica que millor s'ajusta a la distribució entre l'impuls de frenada, expressat en percentatges respecte a l'impuls d'acceleració ($Iv_{(CONTRAM.-FIN. \%)} = (Iv_{(CONTRAM.-FIN.)} / Iv_{(PROPULSIÓ)}) * 100$) i l'impuls d'acceleració ($Iv_{(PROPULSIÓ)}$), i es comprova que l'impuls d'acceleració tendeix a reduir-se quan l'impuls de frenada supera el 60 % de l'impuls d'acceleració. Les dades també reafirmen l'existència d'un llindar d'intensitat de contramoviment, a partir del qual és possible obtenir el màxim impuls d'acceleració amb independència del percentatge d'intensitat de l'impuls de frenada, el qual se situaria entre el 30 % i el 60 % de l'impuls d'acceleració (*fig. 3*).

Seguint amb aquesta concepció mecànica, el benefici del contramoviment estaria basat en la possibilitat d'aconseguir una força inicial prèvia a l'impuls d'acce-

leració, superior a la del propi cos, la qual cosa Hochmuth (1967) ha descrit com a principi de força inicial. Efectivament, en totes les condicions de salt, la força prèvia a la propulsió ($Fv_{(PRÈVIA-PROPULSIÓ)}$) supera com a mitjana, almenys en dues vegades, el pes del cos (vegeu *taula 2*). Tanmateix, els valors màxims s'aconsegueixen quan el salt previ s'executa amb intensitat autocontrolada (DJ-AR), respecte a les altres dues modalitats de salt. El fet que els salts CMJ+S obtinguin un impuls d'acceleració ($Iv_{(PROPULSIÓ)}$), similar al registrat en DJ-AR, partint d'una força prèvia significativament inferior, podria tenir la seva explicació en el temps de propulsió ($t_{(PROPULSIÓ)}$), el qual és major per als salts CMJ+S. Possiblement ajudat per un major desplaçament cap avall del CM durant la fase de contramoviment (Y_{CM} mínima) i, conseqüentment, una major distància d'acceleració vertical del CM. Un aspecte que confirma les aportacions de Walsh et al. (2004), quan indiquen que el temps de batuda és el factor que condiciona el rendiment del salt, independentment de l'alçada de caiguda. Quan es comparen els salts DJ-AR amb els realitzats després d'un salt màxim (DJ-M), la força mitjana registrada abans d'iniciar la fase propulsiva és inferior per a DJ-M, mentre que el temps de la fase de propulsió és significativament superior (vegeu *taula 2*). Resultat semblat al que s'ha exposat quan es comparava CJ-AR amb CMJ+S, encara que, aquest cas, totes les variables relacionades amb el rendiment del salt són inferiors per a DJ-M.

A la *figura 4* es presenten els registres de força neta vertical en relació amb el pes del participant (Fy) i la velocitat vertical del CM (Vy), en les condicions de salt DJ-AR i DJ-M, per a un dels participants com a representant de les dades numèriques de tendència presentats a la *taula 2*. En aquesta gràfica, també es presenten les dades temporals de les fases de contramoviment ($t_{(CONTRAMOVIMENT)}$) i propulsió ($t_{(PROPULSIÓ)}$).

El fet que el temps de la fase de contramoviment sigui superior per a DJ-M, és la conseqüència d'haver de frenar una major quantitat de moviment, adquirit durant la caiguda ($C = \int massa * dVy$). Així, quan C supera certs valors per sobre de la força màxima individual, la quantitat d'impuls vertical necessari per frenar aquesta quantitat de moviment s'obté mitjançant un increment excessiu del temps utilitzat per a l'impuls de frenada, la qual cosa produeix un major desplaçament cap avall del CM que podria situar les articulacions dels genolls en una situació poc avantatjosa per invertir el moviment de manera fluida. Aquesta explicació estaria fonamentada en les aportacions de Waller, Gersick i Holman (2013)

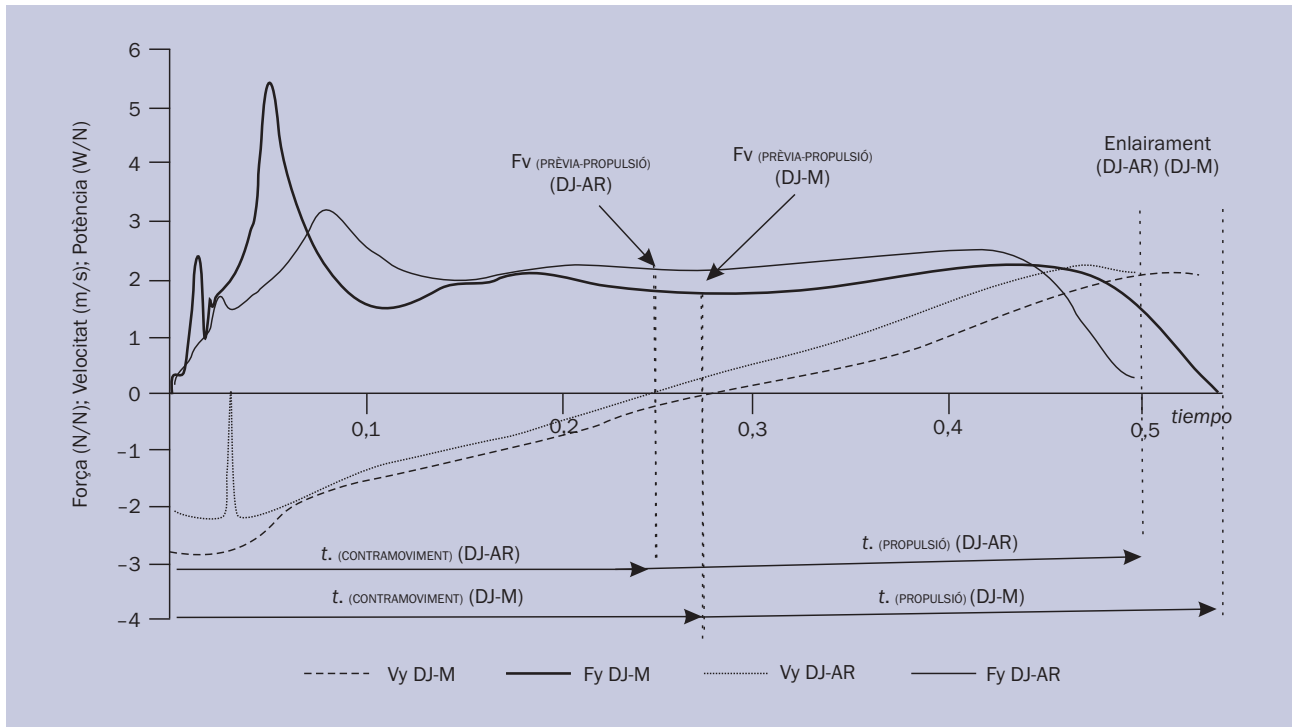


Figura 4. Figura 4. Força neta vertical (F_y) i velocitat vertical del CM (V_y), en les condicions de salt DJ-AR i DJ-M, per a un dels participants com a representants

en posar de manifest que, al final del contramoviment, ha d'existir una ràpida contracció muscular que permeti la propulsió vertical del CM. Per reafirmar aquesta teoria, el comportament de la força vertical per a les dues condicions (F_y DJ-M i F_y DJ-AR), representat a la figura 4, ens permet comprovar com F_y DJ-M, comença a descendir a partir de 0,190 s de la recepció, mentre que l'impuls d'acceleració comença en 0,270 s, fet que constitueix un període de pèrdua de 0,080 abans de començar la fase propulsiva. Al contrari, F_y DJ-AR, només aconseguix un període de pèrdua de 0,022 s, la qual cosa provoca que la força registrada abans d'iniciar la fase propulsiva sigui menor per a DJ-M ($F_{y \text{ (PRÈVIA-PROPULSIÓ)}}$) i ens permet pensar que aquesta demora pugui ser un factor relacionat amb la inversió fluida del moviment, un aspecte que hauria de ser comprovat empíricament en posteriors investigacions.

Conclusions i aplicació pràctica

Quan s'executen salts amb alçades de caiguda superiors a $0,39 \pm 0,05$ m, el pic de potència durant la fase propulsiva ($PP_{\text{(PROPULSIVA)}}$), l'impuls vertical de propulsió

($I_{v \text{ (PROPULSIÓ)}}$), i l'alçada de salt ($Y_{\text{CM vol}}$), es redueixen de manera significativa, la qual cosa ens permet afirmar que es redueix el rendiment del salt. No obstant això, el rendiment del salt no varia quan l'alçada de caiguda està autoregulada (compresa entre 0 i $0,14 \pm 0,06$ m). Considerem que és necessari tenir una certa cautela en generalitzar aquests resultats a altres poblacions amb característiques físiques diferents de les que s'utilitzen en aquesta investigació.

Generalitzant els resultats en funció de les característiques individuals dels participants, l'impuls d'acceleració tendeix a reduir-se quan l'impuls de frenada supera el 60 % de l'impuls d'acceleració. Les dades també reafirmen l'existència d'un llindar d'intensitat de contramoviment, a partir del qual és possible obtenir el màxim impuls d'acceleració amb independència del percentatge d'intensitat de l'impuls de frenada, el qual se situaria entre el 30 % i el 60 % de l'impuls d'acceleració.

Quan s'utilitzen alçades de caiguda superiors a 0,40 m o més, hi ha una falta d'esmoreïment en els primers instants de la recepció que podria implicar un major risc de lesions. Possiblement aquest escàs esmoreïment estaria motivat per una certa inhibició neural

deguda al desenvolupament d'una força excèntrica excessiva, per sobre de la força màxima excèntrica. Considerem que aquest aspecte hauria de ser objecte d'estudi en altres investigacions amb una orientació més específica.

Conflicte d'interessos

Els autors declaren no tenir cap conflicte d'interessos.

Referències

- Aragón-Vargas, L. F. (2000). Evaluation of four vertical jump tests: Methodology, reliability, validity and accuracy. *Measurement in Physical Education and Exercise Science*, 4(4), 215-228. doi:10.1207/S15327841MPEE0404_2
- Bobbert, M. F., Huijting, P., & Van Ingen Schenau, G. J. (1987). Drop jump II. The influence of dropping height on the biomechanics of jumping. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 19(4), 339-346.
- Cavagna, G. A., Dusman, B., & Margaria, R. (1968). Positive work done by a previously stretched muscle. *Journal of Applied Physiology*, 24(1), 21-32.
- Dapena, J., & Chung, C. S. (1988). Vertical and radial motions of the body during the take-off phase of high jumping. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 20(3), 290-302. doi:10.1249/00005768-198806000-00014
- Ebben, W. P., Blackard, D. O., & Jensen, R. L. (1999). Quantification of medicine ball vertical impact forces: Estimating effective training loads. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 13(3), 271-274.
- Felner, M. E., Bishop, E. J., & Pérez, C. M. (2004). Segmental and kinetic contributions in vertical jumps performed with and without an arm swing. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 75(3), 216-230. doi:10.1080/02701367.2004.10609155
- Granata, K. P., Wilson, S. E., & Padua, D. A. (2002). Gender differences in active musculoskeletal stiffness. Part I. Quantification in controlled measurements of knee joint dynamics. *Journal of Electromyographic & Kinesiology*, 12(2), 119-126. doi:10.1016/S1050-6411(02)00002-0
- Gutiérrez-Dávila, M., Gutiérrez Cruz, C., Garrido, J. M., Giles, F. J., & Rojas, F. J. (2012). Efecto de la restricción segmentaria en los test de salto vertical CMJ. *Archivos de Medicina del Deporte*, XXV(147), 527-535.
- Hara, M., Shibayama, A., Takeshita, D., & Fukashiro, S. (2006). The effect of arm swing on lower extremities in vertical jumping. *Journal of Biomechanics*, 39(13), 2503-2511. doi:10.1016/j.jbiomech.2005.07.030
- Hochmuth, G. (1967). *Biomechanik sportlicher bewegungen*. Berlin: Sportverlag.
- Jensen, R. L., & Ebben, W. P. (2007). Quantifying plyometric intensity via rate of force development, knee joint, and ground reaction forces. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(3), 763-767.
- Komi, P. V. (1984). Physiological and biomechanical correlates of muscle function: Effects of muscle structure and stretch-shortening cycle on force and speed. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 12, 81-121. doi:10.1249/00003677-198401000-00006
- Lees, A., & Fahmi, E. (1994). Optimal drop heights for plyometric training. *Ergonomics*, 37(1), 141-148. doi:10.1080/00140139408963632
- Lees, A., Vanrenterghem, J., & De Clercq, D. (2004). Understanding how an arm swing enhances performance in the vertical jump. *Journal of Biomechanics*, 37(12), 1929-1940. doi:10.1016/j.jbiomech.2004.02.021
- Leva, de, P. (1996). Adjustments to Zatsiorsky-Seluyanovs segment inertia parameters. *Journal of Biomechanics*, 29(9), 1223-1230.
- Moran, K. A., & Wallace, E. S. (2007). Eccentric loading and range of knee joint motion effects on performance enhancement in vertical jumping. *Human Movement Science*, 26(6), 824-840. doi:10.1016/j.humov.2007.05.001
- Peng, H.-T. (2011). Changes in Biomechanical properties during drop jumps of incremental height. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(9), 2510-2518. doi:10.1519/JSC.0b013e318201bcb3
- Schmidt R. A., & Lee, T. D. (2011). *Motor control and learning: A behavioral emphasis* (5a ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Sousa, F., Ishikawa, M., Vilas-Boas, J. P., & Komi, P. V. (2007). Intensity- and muscle-specific fascicle behavior during human drop jumps. *Journal of Applied Physiology*, 102(1), 382-389. doi:10.1152/jappphysiol.00274.2006
- Van Ingen Schenau, G. J., Bobbert, M. F., & Haan, A. (1997). Mechanics and energetics of the stretch-shortening cycle: A stimulating discussion. *Journal of Applied Biomechanics*, 13(4), 484-496.
- Voigt, M., Simonsen, E. B., Dyhre-Poulsen, P., & Klausenf, K. (1995). Mechanical and muscular factors influencing the performance in maximal vertical jumping after different prestretch loads. *Journal of Biomechanics*, 28(3), 293-307. doi:10.1016/0021-9290(94)00062-9
- Wallace, B. J., Kernozek, T. W., Write, J. M., Kline, D. E., Wright, G. A. Peng, H., & Huang, C. (2010). Quantification of vertical ground reaction forces of popular bilateral plyometric exercises. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(1), 207-212. doi:10.1519/JSC.0b013e3181c3b841
- Waller, M., Gersick, M., & Holman, D. (2013). Varius jump training styles for improvement of vertical jump performance. *Strength and Conditioning Journal*, 35(1), 82-89. doi:10.1519/SSC.0b013e318276c36e
- Walsh, M., Arampatzis, A., Schade, F., & Brüggemann, G. P. (2004). The effect of drop jump starting height and contact time on power, work performed, and moment of force. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18(3), 561-566.
- Winter, D. A. (1990). *Biomechanics and Motor Control of Human Movement* (2a ed.). New York: Wiley Interscience.
- Wood, G. A., & Jennings, L. S. (1979). On the use of spline functions for data smoothing. *Journal of Biomechanics*, 12(6), 477-479. doi:10.1016/0021-9290(79)90033-2
- Zatsiorsky, V. M., & Seluyanov, N. V. (1983). The mass and inertial characteristics of the main segments of the human body. En H. Matsui & K. Kobayashi (Eds.), *Biomechanics VIII-B* (pàg. 1152-1159). Champaign, IL: Human Kinetics.