

La valoració de la força de l'extremitat inferior en el voleibol. Test de salt vertical i determinació d'asimetries

Xantal Borràs Boix

ADVERTIMENT. La consulta d'aquesta tesi queda condicionada a l'acceptació de les següents condicions d'ús: La difusió d'aquesta tesi per mitjà del servei TDX (www.tdx.cat) ha estat autoritzada pels titulars dels drets de propietat intel·lectual únicament per a usos privats emmarcats en activitats d'investigació i docència. No s'autoritza la seva reproducció amb finalitats de lucre ni la seva difusió i posada a disposició des d'un lloc aliè al servei TDX. No s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant al resum de presentació de la tesi com als seus continguts. En la utilització o cita de parts de la tesi és obligat indicar el nom de la persona autora.

ADVERTENCIA. La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del servicio TDR (www.tdx.cat) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual únicamente para usos privados enmarcados en actividades de investigación y docencia. No se autoriza su reproducción con finalidades de lucro ni su difusión y puesta a disposición desde un sitio ajeno al servicio TDR. No se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al resumen de presentación de la tesis como a sus contenidos. En la utilización o cita de partes de la tesis es obligado indicar el nombre de la persona autora.

WARNING. On having consulted this thesis you're accepting the following use conditions: Spreading this thesis by the TDX (www.tdx.cat) service has been authorized by the titular of the intellectual property rights only for private uses placed in investigation and teaching activities. Reproduction with lucrative aims is not authorized neither its spreading and availability from a site foreign to the TDX service. Introducing its content in a window or frame foreign to the TDX service is not authorized (framing). This rights affect to the presentation summary of the thesis as well as to its contents. In the using or citation of parts of the thesis it's obliged to indicate the name of the author.

UNIVERSITAT DE BARCELONA
Departament de Teoria i Història de l'Educació

INSTITUT NACIONAL D'EDUCACIÓ FÍSICA DE CATALUNYA
Centre de Barcelona

Programa de Doctorat
ACTIVITA FÍSICA I ESPORT
Bienni 1999-2001

LA VALORACIÓ DE LA FORÇA DE L'EXTREMITAT INFERIOR EN EL VOLEIBOL. TEST DE SALT VERTICAL I DETERMINACIÓ D'ASIMETRIES

Tesi doctoral presentada per
XANTAL BORRÀS BOIX

Per optar al títol de
Doctora per la Universitat de Barcelona

Dirigida per
DR. FRANCISCO DROBNIC MARTÍNEZ

Barcelona, 2010



Aquesta tesi ha estat subvencionada mitjançant la concessió d'una beca predoctoral dins de l'àmbit de l'educació física i l'esport i les ciències aplicades, destinada al Centre l'Alt Rendiment (CAR) atorgada conjuntament per l'Institut Nacional d'Educació Física, el Centre d'Alt Rendiment i el Consell Català de l'Esport (2005 – 2010), amb el suport de la Secretaria General de l'Esport i del Departament d'Innovació, Universitat i Empresa. S'emmarca dins del Projecte d'Investigació "Anàlisi de la dinàmica del gest esportiu per a la prevenció i tractament de la lesió" dirigit per Francisco Drobnic Martínez i Xavier Balius Matas.

BORRÀS, X. (2010). La valoració de la força de l'extremitat inferior en el voleibol. Test de salt vertical i determinació d'asimetries. Tesi Doctoral. Universitat de Barcelona, Institut Nacional d'Educació Física de Catalunya. Barcelona

Als meus pares

A la meva germana

A les meves nebodes

*“És el temps que has perdut amb la
rosa, que la fa tan important”*

*El Petit Príncep
Antoine de Saint-Exupéry*

AGRAÏMENTS

A en Franchek, director d'aquesta tesi, per guiar-me i redreçar-me quan tenia el cap fet un embolic, per fer senzill allò que se'm feia difícil, per transmetre'm els seus coneixements i per dedicar-me el seu temps.

A en Xavier, per confiar en mi des del principi, per empentar-me a realitzar aquesta tesi, per fer-me costat, per obrir-me les portes a la Biomecànica i per compartir els teus coneixements. Gràcies per tot el suport i ajut que he rebut durant tots els anys que fa que et conec.

A en Piu, pels inicis.

A l'Andreu i el Ventura, grans companys de departament i dels qui he après moltes coses. Gràcies també per l'ajuda. Amb vosaltres és fàcil treballar en equip i és fàcil riure, fins i tot, quan no en tens ganes.

A en Piero, per compartir els seus coneixements sobre estadística que m'han estat de gran utilitat.

A la resta de companys del CAR, pels consells, per les xerrades didàctiques, per fer-me un forat en la seva agenda quan els he demanat ajuda, pels dinars, pels "partidillos" de volei del migdia i per tantes i tantes vivències que he tingut amb vosaltres.

A en Francesc de Puig, director del CAR. Gràcies per l'acollida i ajut que he tingut durant tots aquests anys. Gràcies també per la beca predoctoral que m'ha estat concedida, sense ella m'hagués estat molt més difícil portar a terme la tesis.

A l'Andreu Camps, director de l'INEFC, per la beca predoctoral rebuda. Al Mario Lloret i al Jordi Solà, directors en el seu moment del centre de Barcelona, per haver-me donat la possibilitat de treballar com a professora de Biomecànica; va ser una gran experiència. Gràcies Maribel per facilitar tots els tràmits administratius i per revisar que tot estigués perfecte.

A l'Assumpta Fargas, actual rectora de la Universitat de Vic, i al Joan Arumí, coordinador de la Llicenciatura de Ciències de l'Activitat Física i l'Esport, perquè em van donar la possibilitat de treballar en l'àmbit de la docència universitària. A l'Agustí i el Francesc per ser grans companys d'assignatura.

Gràcies a tots els entrenadors i jugadors de la selecció de la Real Federación Española de Voleibol per col·laborar en aquesta tesi. Gràcies a en Juan i a en David per ajudar-me a

l'hora de planificar els tests i per fer d'intermediaris amb la resta de l'equip. Juan, gràcies també por los temas administrativos.

A tots els meus amics, en especial a l'Olga per les llargues xerrades existencials; a l'Àngela i la Bibi, per compartir amb mi el gran hobby de jugar a volei, per les excursions, per les festes, perquè amb vosaltres es pot parlar de tot i amb tota confiança; a la Mariona i el Cesc, per acollir-me a la seva casa de Batet i interessar-se per mi i els meus projectes; a l'Eva, perquè, com que ella ja és Doctora, és la que millor pot comprendre com m'he sentit durant aquest temps i també per les visites a Oxford, pels estius a Calella, pels sopars i per compartir amb mi els moments difícils; a en Román, perquè em va animar i em va acompanyar durant els primers anys d'aquest llarg projecte, perquè m'ha ajudat a créixer personalment i perquè m'ha fet adonar de quines són les meves prioritats.

Als meus pares, perquè sense ells no m'hagués estat possible renunciar a certes coses per tirar la tesi endavant. Gràcies per estar al meu costat, per aguantar-me tal com sóc, per preocupar-vos per mi, per confiar en mi i per tots els consells que m'heu donat. A la meva germana i a en Rafa pel gran suport emocional. A la Clara i la Maria, les meves dues nebodes, perquè quan estic amb elles desconnecto de les obligacions del dia a dia, perquè em transmeten felicitat i amor. A en Miquel, per aguantar-me i ajudar-me durant aquests mesos finals d'estrès, per intentar comprendre com sóc, per adaptar-te als meus plans, per sacrificar les teves vacances per les meves obligacions, per voler compartir amb mi el teu dia a dia... A tots, us estimo molt.

Moltíssimes gràcies a tots!!!

GLOSSARI

ABREVIATURES

2D	Dues Dimensions
3D	Tres Dimensions
a	Acceleració
BW	Pes Corporal
C	Central (posició de joc)
CCO	Cadena Cinètica Oberta
CCT	Cadena Cinètica Tancada
CM	Centre de Masses
CMJ	Salt amb Contramoviment
CMJb	Salt amb Contramoviment i utilització de braços
Co	Col·locador (posició de joc)
D	Dreta
d_{cm}	Amplitud del Contramoviment
DJb	Salt amb Cursa d'Aproximació
DS	Desviació Estàndard
d_s	Alçada en el moment de la sortida
d_{st}	Distància d'Estirament
E	Esquerra
F	Força
F_{max}	Força Màxima
F_{min}	Força Mínima
Fz	Força Vertical
g	Força de la Gravetat
hPC	Alçada mitjançant la Plataforma de Contactes
h_t	Alçada del salt calculada mitjançant el Temps de Vol
h_v	Alçada del salt calculada mitjançant la Velocitat de Sortida
h_x	Alçada del salt calculada mitjançant el Desplaçament del Centre de Masses
I	Impuls
I_a	Impuls d'Acceleració
IA	Índex d'Aproximació
IB	Índex d'Utilització de Braços
IE	Índex d'Elasticitat
I_f	Impuls de Frenada
IMC	Índex de Massa Corporal
I_n	Impuls Negatiu
I_{na}	Impuls Negatiu d'Ascens
I_{nd}	Impuls Negatiu de Descens
I_p	Impuls Positiu
IS	Índex de Simetria
I_t	Impuls Total
JJOO	Jocs Olímpics
k	Ratio de Consum Energètic

L	Líbero (posició de joc)
m	Massa
Op	Oposat (posició de joc)
P	Potència
p	Pendent entre Mínima i Màxima Força
P	Puntes, receptors o jugadors de 4 (posició de joc)
P _{av}	Potència Mitjana Positiva
PC	Plataforma de Contactes
PF	Plataforma de Forces
P _{max}	Pic de Potència Màxima
Q	Quantitat de Moviment
r	Ratio entre l'Impuls Negatiu i Positiu
RKJ	Salt Rocket
RM	Repetició Màxima
SJ	Squat Jump
t	Temps
t _c	Temps de Fase Concèntrica
t _E	Temps de Fase Excèntrica
t _{FF}	Temps entre la Força Màxima i el Moment de l'Enlairament
t _{Fmin-ts}	Temps Total d'Impulsió des de la Força Mínima
t _{PF}	Temps entre el Pic de Potència i el Moment de l'Enlairament
t _s	Temps de Sortida del Salt
t _{ST}	Temps d'Estirament
t _I	Temps Total d'Impulsió
t _v	Temps de vol
t _{vF}	Temps entre la Velocitat Màxima i el Moment de l'Enlairament
v	Velocitat
v _{max}	Velocitat Màxima
v _s	Velocitat en el Moment de la Sortida del Salt
χ	Coefficient d'Impuls
x	Desplaçament
x _{max}	Alçada màxima

ANOTACIÓ LINGÜÍSTICA

Actualment hi ha hagut una modificació en la normativa de l'apòstrof que diu que: "Si bé anteriorment l'article femení *la* no s'apostrofa davant dels mots començats pel prefix *a-* de negació o separació, actualment aquest article s'apostrofa d'acord amb les regles ortogràfiques que regulen l'apòstrof: *l'anormalitat, l'asèpsia, l'asimetria, l'amoralitat.*" El mateix succeeix amb la preposició *de*: *d'asimetria*. Font: Optimot (<http://optimot.gencat.cat>).

CONTINGUTS

INTRODUCCIÓ I JUSTIFICACIÓ DE LA TESI	17
HIPÒTESIS.....	19
OBJECTIUS.....	21
OBJECTIUS GENERALS	21
OBJECTIUS ESPECÍFICS	22
PART TEÒRICA.....	23
1. EL VOLEIBOL.....	25
1.1. Durada i rendiment de les accions de joc	26
1.2. Importància del salt vertical.....	27
2. LA VALORACIÓ FUNCIONAL DE LA FORÇA DE L'EXTREMITAT INFERIOR.	29
2.1. La valoració funcional en l'entrenament esportiu	30
2.1.1. Salt sense contramoviment.....	31
2.1.2. Salt amb contramoviment	34
2.1.3. Salt amb contramoviment i utilització de braços	40
2.1.4. Salt amb cursa d'aproximació.....	43
2.2. Valoració de l'asimetria de forces.....	47
2.2.1. Hi ha simetria entre extremitats ?	47
2.2.2. Nivell d'asimetria considerat arriscat	48
2.2.3. Detecció d'asimetries	49
2.3. La valoració funcional en el voleibol.....	52
3. INSTRUMENTS D'ANÀLISI PER A LA VALORACIÓ DE LA FORÇA	59
3.1. Plataforma de contactes.....	59
3.2. Plataforma de forces	61
3.2.1. Fiabilitat i validesa de l'instrument.....	62
3.2.2. Mètodes per al càlcul de l'alçada del salt	63
3.2.3. Comparació dels mètodes.....	64
3.2.4. Possibles errors en la determinació del salt vertical mitjançant el mètode la velocitat de sortida.	66

3.2.5.	Variables cinètiques i cinemàtiques relacionades amb l'alçada del salt i la funcionalitat del moviment.....	67
PART EXPERIMENTAL		69
4.	ESTUDI 1: Valoració del salt vertical en jugadors voleibol. Seguiment de tres temporades d'un equip d'alt nivell.....	71
4.1.	Introducció	71
4.2.	Objectius específics.....	72
4.3.	Subjectes.....	72
4.4.	Material i mètode.....	72
4.4.1.	Procediment	72
4.4.2.	Paràmetres de rendiment.....	74
4.4.3.	Anàlisi estadístic	75
4.5.	Resultats	75
4.5.1.	Comparació entre temporades.....	75
4.5.2.	Comparació valoracions temporada 2007	79
4.5.3.	Comparació per posicions de joc	80
4.6.	Discussió	82
4.6.1.	En relació als subjectes d'estudi.....	82
4.6.2.	En relació a l'evolució dels salts verticals	83
4.6.3.	En relació al moment de la temporada.....	84
4.6.4.	En relació a l'alçada dels salts per posicions de joc.	85
4.6.5.	En relació al mètode de valoració utilitzat	86
5.	ESTUDI 2: Valoració del salt vertical en jugadors de voleibol. Determinació de l'asimetria de forces.....	89
5.1.	Introducció	89
5.2.	Objectius específics.....	91
5.3.	Subjectes.....	91
5.4.	Material i mètode.....	91
5.4.1.	Instrumental	92
5.4.2.	Procediment.....	93
5.4.3.	Paràmetres de rendiment.....	95
5.4.4.	Paràmetres per a la detecció d'asimetries.....	98
5.4.5.	Anàlisi estadístic	98

5.5.	Resultats	99
5.5.1.	Diferències entre instruments i equacions per calcular l'alçada del salt.....	99
5.5.2.	Alçada dels salts avaluada mitjançant la plataforma de contactes	101
5.5.2.1.	Anàlisi del grup	101
5.5.2.2.	Anàlisi per posicions de joc.....	103
5.5.3.	Alçada dels salts avaluada mitjançant la plataforma de forces.....	104
5.5.3.1.	Anàlisi dels salts.....	104
5.5.3.2.	Variables determinades a partir de la corba de força – temps.....	107
5.5.3.3.	Relació de les variables de rendiment amb l'alçada del salt	111
5.5.4.	Asimetria entre extremitats.....	112
5.5.4.1.	Pes dels subjectes	113
5.5.4.2.	Força màxima.....	114
5.5.4.3.	Impuls.....	115
5.5.4.4.	Temps total des de la força mínima.....	119
5.6.	Discussió	120
5.6.1.	Respecte de les diferents maneres per calcular l'alçada del salt.....	120
5.6.2.	Respecte l'alçada dels salts avaluada mitjançant la plataforma de contactes	121
5.6.2.1.	Anàlisi del grup	121
5.6.2.2.	Anàlisi per posicions de joc	122
5.6.3.	Respecte l'alçada dels salts avaluada mitjançant la plataforma de forces	123
5.6.3.1.	Salt sense contramoviment.....	123
5.6.3.2.	Salt amb contramoviment	126
5.6.3.3.	Salt amb contramoviment i utilització de braços	128
5.6.3.4.	Variables que presenten relació amb l'alçada del salt.....	131
5.6.4.	Respecte la determinació de l'asimetria.....	132

CONCLUSIONS.....	135
6. ESTUDI 1: Valoració del salt vertical en jugadors voleibol. Seguiment de tres temporades d'un equip d'alt nivell.....	137
7. ESTUDI 2: Valoració del salt vertical en jugadors de voleibol. Determinació de l'asimetria de forces.....	139
PERSPECTIVES DE FUTUR	141
REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES.....	143
ANNEX.....	157
ANNEX 1. Càlcul de variables	159
ANNEX 2. Programa_TFR_Diva.....	169
INDEX DE FIGURES	171
INDEX DE TAULES	173

INTRODUCCIÓ I JUSTIFICACIÓ DE LA TESI

Si fa 20 anys m'haguessin dit que em dedicaria a la biomecànica esportiva no m'ho hagués pas cregut. M'agradava l'esport, però no en volia saber res de física!. El meu interès per aquesta disciplina va començar quan acabat INEF i, motivada pel rendiment esportiu i la fisiologia de l'esport, vaig demanar fer pràctiques al CAR. Aquestes pràctiques, en el departament de biomecànica, em van fer adonar de com d'important és la biomecànica per al rendiment esportiu. Vaig entendre que la tècnica esportiva es basa en les lleis mecàniques i que una bona tècnica permet incrementar el rendiment cuidant, al mateix temps, la salut física dels esportistes.

El meu interès per aquest tema va motivar que fa 4 anys demanés una beca per a la realització de la tesi doctoral, dins d'un projecte titulat "Anàlisi de la dinàmica del gest esportiu per a la prevenció i tractament de la lesió".

Una de les coses que vaig tenir clares de que em van concedir la beca és que estava interessada en orientar el meu treball a l'esport que he practicat gran part de la meua vida i del qual he estat entrenadora durant força anys: el voleibol.

Dins de l'entrenament del voleibol és comú realitzar proves per avaluar el rendiment dels esportistes. El test de salt vertical és una prova habitual perquè és un dels gestos més realitzats pels jugadors i, a més a més, perquè permet una valoració de la força i de la potència (Fox i Mathews, 1974¹; Bosco, 1983a).

Des de la meua experiència com a entrenadora i jugadora coneixia que el test de salt vertical permet discriminar l'estat de forma dels esportistes i detectar canvis després d'un període d'entrenament específic (Harman, 1991; Newton, 1999), però se m'escapava que aquest també està essent utilitzat en la vessant mèdica per determinar limitacions funcionals i per avaluar l'asimetria de força entre extremitats (Petsching, 1998; Newton, 2006).

¹ Nota: En les referències bibliogràfiques citades entre parèntesis al llarg del text només consta el nom del primer autor i l'any de publicació.

Llavors, podem desenvolupar un mètode de valoració del salt que permeti el seguiment de la condició física dels jugadors de voleibol? Si és així, pot ser un simple test de salt capaç d'agrupar dos grans móns tan equidistants com són el de l'esport de competició i el de la salut?

L'objectiu d'estudi de la tesi començava a estar definit. Calia desenvolupar un mètode que permetés avaluar funcionalment a l'esportista en les dues vessants esmentades.

Que la selecció espanyola de voleibol realitzi les seves concentracions a les instal·lacions del CAR va facilitar les coses, sobretot quan, des del primer any els entrenadors van demanar realitzar una valoració del salt vertical dels seus esportistes.

Durant les primeres temporades es va realitzar la valoració del salt vertical utilitzant una plataforma de contactes. Això va donar la possibilitat de conèixer i descriure les característiques, en relació al salt vertical, del grup.

Mentrestant, es va dissenyar el mètode per determinar l'alçada del salt vertical, mesurar la força i la potència directament i, al mateix temps, avaluar l'asimetria de forces entre les extremitats. També es va iniciar el projecte de soterrar i fixar correctament al terra les plataformes de forces i es va desenvolupar un software informàtic per tal de simplificar el tractament de les dades recollides.

L'estructura de la tesi consta de dues parts diferenciades. La primera part fa referència al marc teòric, la segona a la part experimental. Primer de tot, però, es citen els objectius que han permès la realització de tot el treball.

En el marc teòric es realitza una introducció a l'esport de referència, s'assenten les bases de la valoració funcional tant per al rendiment esportiu com per a la salut i s'expliquen els dos instruments d'anàlisi utilitzats en la part experimental.

La part experimental està dividida en dos estudis titulats:

- Estudi 1: "Valoració del salt vertical en jugadors voleibol. Seguiment de tres temporades d'un equip d'alt nivell".
- Estudi 2: "Valoració del salt vertical en jugadors de voleibol. Determinació de l'asimetria de forces".

Finalment, s'extreuen les conclusions i es detallen les línies de futur a la que els resultats dels estudis han conduït.

HIPÒTESIS

Podem definir un model de test de salt pràctic i repetible per al seguiment de la condició física dels jugadors de voleibol?

Pot la valoració del salt ajudar-nos a definir alteracions que en un futur determinin la aparició d'una lesió?

Tenen els jugadors de voleibol de la selecció espanyola un millor nivell físic temporada rere temporada?

OBJECTIUS

OBJECTIUS GENERALS

Aquesta tesi doctoral té un doble objectiu:

1. Realitzar una descripció de la força de l'extremitat inferior en jugadors de voleibol durant la realització del salt vertical.

Per tal de,

2. Desenvolupar un mètode per a la valoració de la força i la determinació de l'asimetria de força en les extremitats inferiors que pugui ser aplicable a altres esports.

OBJECTIUS ESPECÍFICS

De l'ESTUDI 1:

- Avaluar l'estat físic dels jugadors de la Selecció Espanyola de Voleibol per tal d'ajudar a l'entrenador i el preparador físic en la planificació del treball de la temporada.
- Determinar l'evolució de l'alçada dels salts durant tres temporades consecutives.

De l'ESTUDI 2:

- Desenvolupar un mètode per a la valoració funcional de la força de l'extremitat inferior que permeti avaluar el rendiment dels esportistes i determinar l'existència de l'asimetria de força entre les extremitats.
- Identificar aquells paràmetres que permetin una descripció precisa del rendiment del salt vertical.
- Identificar les variables per a la determinació d'asimetries en la força de les extremitats inferiors.
- Determinar la utilitat de la plataforma de contactes i de la plataforma de forces per a la valoració de la força de l'extremitat inferior.

PART TEÒRICA

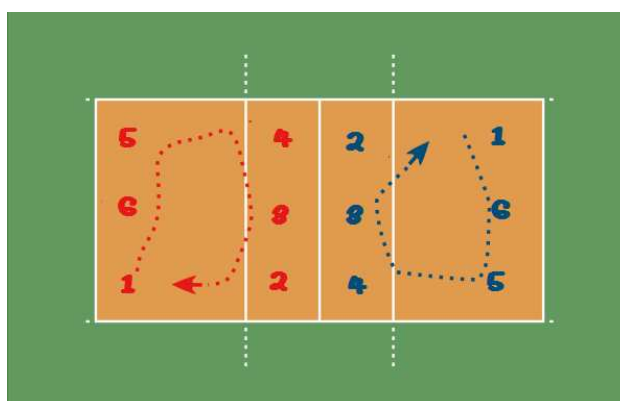
1. EL VOLEIBOL

El voleibol va néixer el 1895 als Estats Units i va arribar a Espanya en la segona dècada del segle XX en la seva versió platja. El primer campionat oficial es va crear el 1951 i dos anys més tard la selecció es va incorporar a la Federació Internacional de Voleibol. El 1964 es va fer esport Olímpic. El 1992 el voleiplatja es va estrenar en el Jocs Olímpics (JJOO) com esport d'exhibició i s'hi va consolidar 4 anys més tard.

El voleibol és un esport que es considera intermitent, és a dir, que combina fases actives de joc amb fases passives o de pausa. L'exercici que s'hi realitza està influenciat per diverses normes tècniques:

- Els equips estan compostats per 6 jugadors de camp i 6 jugadors suplents.
- Cada equip juga en una pista quadrada de 9 m².
- Els camps estan separats per una xarxa que, en jugadors sènior masculins, està a una alçada de 2.43 m.
- Es poden utilitzar un màxim de tres tocs per fer punt.
- Hi ha sis posicions de camp. Tots els jugadors passen per totes les posicions seguint la sageta de la Figura 1. Els tres jugadors davanters poden intercanviar posicions una vegada la pilota està en joc. El mateix passa amb els tres jugadors de segona línia.
- Els jugadors davanters poden atacar per davant de la línia de 3 m mentre que els jugadors de la segona línia només poden atacar per darrere de la línia de 3 metres.

Figura 1.- Posicions del camp i sentit de la rotació



El voleibol ha sofert nombrosos canvis de reglament al llarg de la història per tal de poder ser més vistós, dels quals destaquem:

- L'any 1998 s'introdueix la figura del jugador especialista en defensa o líbero. Aquest jugador només juga en les tres posicions posteriors. Els seus canvis són il·limitats. Acostuma a entrar pel jugador central quan l'equip perd el servei i surt quan aquest jugador torna a les posicions davanteres.
- L'any 2000 es passa a un mode de puntuació de "rally point" on cada jugada és un punt per un dels dos equips, independentment de qui tingui la possessió del servei.
- S'incrementen els sets fins a 25 punts, excepte el cinquè set o "tie-break" que és a 15 punts. En tots els sets s'ha de guanyar per diferència de 2 punts.

Els jugadors s'especialitzen en 5 posicions de joc:

1. Col·locadors: són els jugadors que tenen la responsabilitat de distribuir el segon toc de pilota. Excepte en la iniciació, només hi ha un col·locador en pista. Una vegada la pilota està en moviment, aquest jugador passa a ocupar les posicions 2 i 1 en funció de si està a la primera o a la segona línia.
2. Atacants de punta: També s'anomenen receptors o jugadors de 4 ja que quan estan en la primera línia i la pilota es posa en joc es desplacen cap a la posició 4. Quan estan en segona línia acostumen a ocupar la posició 6 del camp. Són els jugadors que tenen la responsabilitat de rebre i d'atacar, habitualment, pilotes altes.
3. Atacants centrals: són els jugadors que ocupen la posició 3 del camp quan la pilota es posa en joc. Estan especialitzats en el bloqueig i en els atacs ràpids (anomenats de primer i segon temps). Després de perdre el servei, acostumen a ser canviats pel líbero.
4. Atacants oposats: són aquells jugadors que ocupen la posició oposada al col·locador. Quan la pilota es posa en joc, també passen a ocupar les posicions 2 i 1, depenent de si estan davant o darrere. Estan especialitzats en l'atac, tant de primera com de segona línia (zagueros). No reben mai.
5. Líberos: són els jugadors especialistes en defensa i recepció.

1.1. Durada i rendiment de les accions de joc

L'anàlisi dels esforços que es produeixen durant la competició mostra que la durada de les fases actives del joc és d'entre 5.2 i 6.6 s (Fontani, 2000; Luna, 2002; Gómez-Carriñana, 2003) i que la durada de les fases passives o de transició és d'entre 13.8 i 18.8 s (Fontani,

2000; Gómez-Carriñana, 2003). El ratio de temps entre l'activitat i el temps de pausa és de 1:3 aproximadament (Gómez-Carriñana, 2003).

Un partit de voleibol pot durar de mitjana entre 47 i 70 min, en funció del número de sets (Fontani, 2000; Ureña, 2000) i el temps total corresponent a les fases actives és de 19.3 min (Fontani, 2000).

Això reflecteix la importància de desenvolupar la potència anaeròbica làctica en els jugadors, però també la capacitat aeròbica, ja que aquesta serà l'encarregada de restablir les reserves d'energia durant les fases de transició (Palao, 2000; Valadés, 2005).

En la fase activa es realitzen varies accions de joc. Valadés (2005) descriu com a terminals aquelles accions amb les que s'aconsegueix realitzar punts (servei, bloqueig i remat) i com a accions de transició a aquelles altres que es realitzen durant la construcció del joc (recepció, col·locació i defensa). Segons Iglesias (1994) les accions terminals són d'elevada intensitat i tenen un major consum energètic, mentre que les accions de transició generen un menor consum.

La Taula 1 presenta el percentatge de punts que cada una de les accions terminals aporta al total del partit. Els punts aconseguits amb el remat suposen aproximadament el 70% del total. Prou important són també els errors del contrari, que ascendeixen al 20%.

Així doncs, el remat és l'acció de joc amb la que es fan més punts, però també la que presenta una major correlació amb el resultat final del partit (Valadés, 2005).

Taula 1.- Percentatge de punts aconseguits amb les diferents accions de joc.

Competicions		Servei	Remat	Bloqueig	Errors oponent
Internacionals	JJO Sidney 2000	5.5	79.4	15.1	
	JJO Atenes 2004	8.1	76.8	15.0	
Nacionals	Lliga Italiana 01/02	6.2	77.8	16	
	Lliga Espanyola 03/04	7.5	77.3	15.2	
	CVL 1998	2.8	63.6	13	20.7

Adaptat de Valadés (2005)

1.2. Importància del salt vertical

Fontani i col·laboradors (2000) analitzen partits de la lliga Italiana (temporada 1999 – 2000) per tal d'avaluar el canvi físic que va suposar la modificació reglamentaria del "rally point". Observen que el rang de salts que es realitzen en un partit de 5 sets és ampli (entre 65 i 136 salts, sense diferenciar entre tipus de salts). De mitjana, els col·locadors són

els jugadors amb més quantitat de salts (136 salts), seguit pels centrals (97 salts), els oposats (88 salts) i els jugadors de 4 (65 salts).

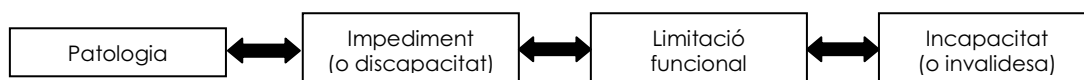
Més recentment, Sheppard i col·laboradors (2009) han analitzat la quantitat de salts verticals (diferenciant entre salts de remat, bloqueig, defensius i serveis) efectuats en 9 partits dels Jocs Olímpics del 2004 i 8 partits de nivell internacional. En aquest estudi els jugadors centrals són els que més quantitat de salts efectuen (uns 23 salts per set), seguits dels jugadors de punta (oposats i jugadors de 4 amb uns 17 salts per set) i els col·locadors (uns 12 salts per set). Quan es diferencia per activitat, el salt en el bloqueig és el més nombrós per a totes les posicions. En els rematadors, els salts de remat són els segons en volum, seguits de salts en el servei i salts defensius. En els col·locadors, el servei és l'activitat que major nombre de salts aporta després del bloqueig, però els autors no quantifiquen la quantitats de salts que realitzen aquests jugadors durant la col·locació.

2. LA VALORACIÓ FUNCIONAL DE LA FORÇA DE L'EXTREMITAT INFERIOR. TEST DE SALT VERTICAL

La valoració funcional es pot definir com l'avaluació objectiva de les capacitats funcionals dels subjectes per a la realització d'una tasca objectiva o comú. Representa un procés que requereix el registre i mesura d'una o més variables fisiològiques o físiques mitjançant la realització de tasques motrius o proves funcionals (Rodríguez i Aragonés, 1992).

Neix a partir del model de disfunció proposat per Nagi (1965, a Prentice, 2001) que hauria de permetre definir les habilitats funcionals d'un individu i poder discriminar entre normalitat o limitació (Figura 2).

Figura 2.- Model de disfunció de Nagi.



Com a punt de sortida del model tenim la patologia. Aquesta condueix a una incapacitat i posteriorment a una limitació funcional, que si no es corregeix, pot portar a patir incapacitat o invalidesa. La patologia significa la interrupció o la interferència amb el procés normal i l'esforç de l'organisme per tornar a aquest estat. L'impediment fa referència a la pèrdua de l'estructura o la funció fisiològica, psicològica o anatòmica a nivell dels òrgans o sistemes. La limitació funcional és la desviació respecte del comportament normal en la realització de tasques i activitats. La incapacitat és la limitació del rendiment definida dins de l'entorn social i físic (Prentice, 2001).

En l'àmbit esportiu la valoració funcional té dues vessants diferenciades, tot i que sovint, les tasques de valoració són les mateixes.

1. Entrenament esportiu: s'utilitza per mesurar l'estat de forma dels esportistes, per tal d'avaluar les qualitats físiques específiques de l'esport que es practica i per poder planificar i controlar l'entrenament. El que es busca és una similitud amb el gest tècnic de l'esport que es practica (Loudon, 2002).
2. Prevenició i rehabilitació de les lesions: la valoració funcional també s'utilitza en el control de la rehabilitació esportiva i en la prevenició de la lesió.

Segons Maulder i Cronin, (2005) els tests de valoració funcional donen un sentit global a la funció.

Durant molt de temps, s'han utilitzat exercicis de cadena cinètica oberta (CCO)² en la recuperació i la valoració funcional amb l'objectiu d'avaluar la força muscular (Greenberger i Paterno, 1995; Augustsson i Thomeé, 2000). Una de les principals desavantatges atribuïdes a la utilització dels exercicis de CCO és que la coordinació del moviment no es correspon amb la coordinació real d'un gest tècnic, habitualment molt més complex.

En l'actualitat, els exercicis de cadena cinètica tancada (CCT)³ estan substituint als de CCO en la valoració funcional perquè són considerats més funcionals (Stiene, 1996). En aquests exercicis la musculatura agonista i antagonista es contrau de manera sincronitzada produint el que es coneix com co-contracció o co-activació muscular (Renstrom, 1986; Johansson, 1989; Wilk, 1996).

Els exercicis de CCT avaluen la força, però també el control sensorimotor (Mattacola, 2004) i són útils quan es vol avaluar la interacció entre diferents grups musculars, però no quan es vol aïllar o avaluar la força d'una sola articulació (Ellenbecker i Davies, 2001). A més a més, quan hi ha una lesió en alguna de les articulacions hi ha una activitat compensatòria en les articulacions adjacents o pròximes. Quan l'exercici es desenvolupa bilateralment també hi pot haver compensació cap al costat sa (Salem, 2003). Tot i això, els exercicis de CCT són una alternativa per preparar i avaluar l'habilitat d'un pacient per retornar a un nivell funcional més elevat (Greenberger i Paterno, 1995; Mattacola, 2004).

El salt vertical és un exercici de cadena cinètica tancada i està essent utilitzat en la valoració funcional, tant en la vessant d'entrenament esportiu, com en la vessant mèdica.

2.1. La valoració funcional en l'entrenament esportiu

A nivell d'entrenament, el test de salt vertical és utilitzat per avaluar l'estat de forma dels esportistes (Harman, 1991; Bosco, 1994; Wilsoff, 1998) i detectar canvis després d'un

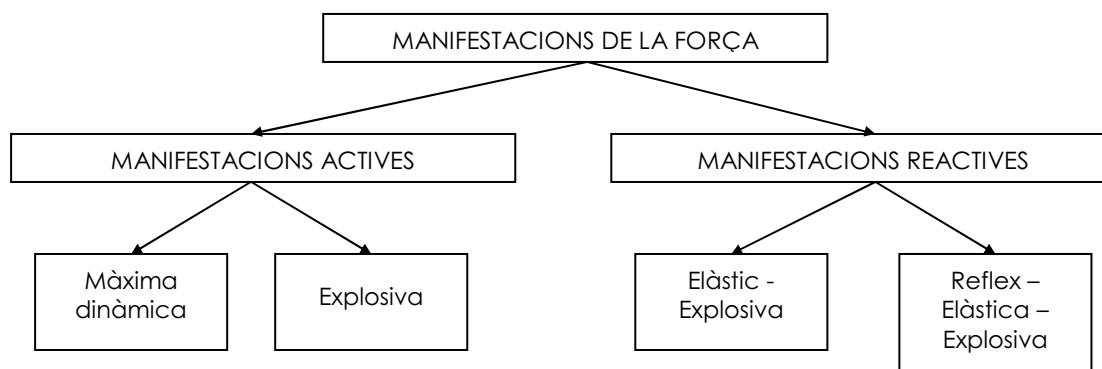
2 El cos és un sistema compost per varis segments que estan units mitjançant les articulacions formant cadenes cinètiques. L'exercici de cadena cinètica oberta és aquell on l'extrem distal de la cadena està lliure i es pot moure amb llibertat i independentment dels altres segments (exemple: rodillo de quàdriceps) (Kreighbaum i Barthles, 1996).

3 L'exercici de cadena cinètica tancada és aquell on l'extrem distal de la cadena s'oposa a una resistència considerable que limita el lliure moviment. El moviment d'un segment provoca el moviment dels altres segments (Kreighbaum i Barthles, 1996).

període d'entrenament específic (Newton, 1999; Kuhlmann, 2007; Nesser i Demchak, 2007).

Amb el test de salt vertical (Bosco, 1994) es pot avaluar, de manera indirecta, la força explosiva, així com identificar diferents manifestacions de la força (Vittori, 1990) (Figura 3).

Figura 3.- Manifestacions de la força (Vittori, 1990)



Les *manifestacions actives* fan referència a una activació muscular aïllada (excèntrica o concèntrica). La podem dividir en:

- *manifestació dinàmica màxima*: quan es desplaça la major càrrega possible en un sol moviment i sense límit de temps. Aquesta activitat representa la força base i avalua la capacitat contràctil del múscul.
- *manifestació explosiva* quan l'activació muscular és el més ràpida i potent possible des d'una posició de parat.

Les *manifestacions reactives* fan referència a una activació muscular que inclou el cicle d'estirament escurçament. La podem dividir en:

- *manifestació elàstic – explosiva*: quan l'acció és realitzada realitzant una fase excèntrica i una concèntrica.
- *manifestació reflex – elàstic – explosiva*: quan a més a més de realitzar el cicle d'estirament escurçament hi ha accions prèvies que activen el reflex d'estirament.

A més a més, es pot avaluar la potència mecànica de l'extremitat inferior (Bosco, 1983a). Aquesta es pot obtenir de manera indirecta a partir de l'alçada del salt, mitjançant diverses fórmules (Fox i Mathews, 1974; Harman, 1991; Sayers, 1999; Canavan i Vescovi, 2004) o derivada de la força vertical mesurada a partir d'una plataforma de forces (PF).

Per tal de realitzar aquestes valoracions el salt s'ha de controlar i estandarditzar (Bolgia i Keskula, 1997) i s'ha de buscar sempre la màxima alçada possible.

2.1.1. Salt sense contramoviment

Qualsevol tasca motriu, com llançar i saltar, s'inicia, de manera natural, amb un moviment contrari al que realment es vol fer. Aquest moviment previ s'anomena contramoviment.

En la bibliografia es descriuen dos tipus de salts on s'intenta eliminar per complert el contramoviment: l'squat jump (SJ) i el rocket jump (RKJ).

La intenció d'aquest tipus de salt és avaluar únicament la fase concèntrica del salt.

L'SJ inicia el moviment en posició de mig squat, amb els genolls flexionats 90°, amb les cames separades a l'alçada de les espatlles i les mans als malucs. Quan es comença l'ascens cal evitar qualsevol tipus de contramoviment o rebot, ja sigui amb les cames o l'esquena.

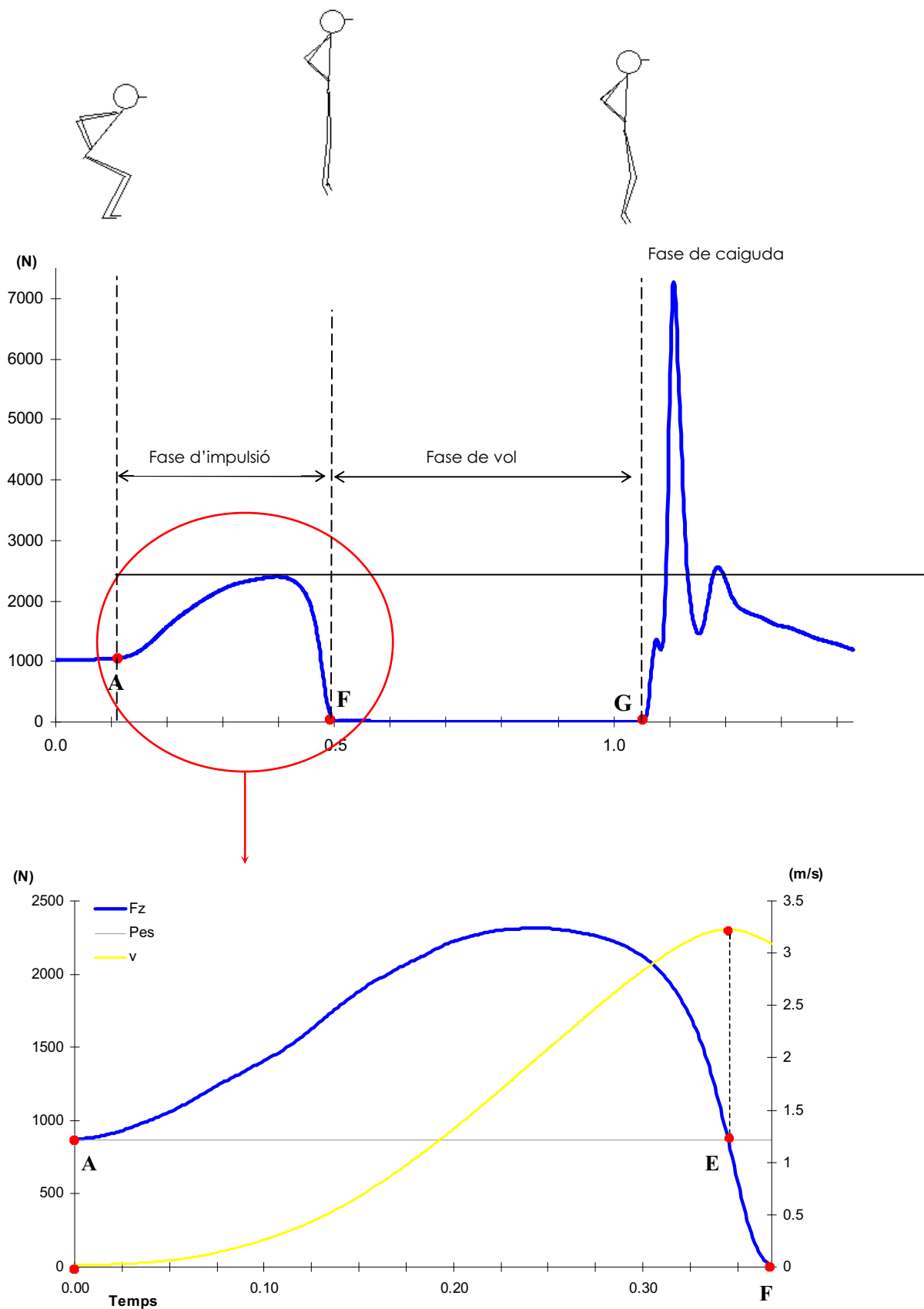
El RKJ es diferencia del SJ perquè la posició inicial és des de una flexió profunda de cames i perquè les mans s'agafen per darrere de l'esquena (Balsom, 1994).

La Figura 4 presenta el patró de la força vertical (F_z) i de la velocitat (v) d'un SJ. S'hi poden identificar una sèrie de punts i fases que ajuden a explicar, des del punt de vista mecànic, el moviment:

- Punt A: correspon a la posició inicial del salt. El valor de F_z és igual al pes corporal (BW) del subjecte. Durant el moviment, la força s'anirà incrementant fins arribar a l'extensió complerta de cames.
- Punt E: la F_z s'equilibra amb el pes corporal. L'acceleració (a) en aquest moment és zero i la velocitat màxima. En un SJ la velocitat resultant és sempre positiva i arriba al seu punt màxim instants abans de desenganxar els peus del terra.
- **Fase A-E:** els genolls, maluc i turmells realitzen el moviment d'extensió. L'impuls que s'aplica és sempre positiu i té l'objectiu d'accelerar el cos verticalment, és per això, que s'anomena també fase d'impuls d'acceleració (I_a) (Hochmuth, 1973). Segons Pandy i Zajac (1991) els individus que més salten són aquells que apliquen un major impuls vertical. La força màxima (F_{max}) es dona sovint ens els moments inicials d'aquesta fase.
- Punt F: és el moment on s'inicia la fase de vol del salt. La F_z aconsegueix valor zero.
- **Fase E-F:** La F_z baixa per sota el pes corporal i l'acceleració es torna negativa. El saltador encara presenta moviment ascendent, però comença a frenar degut a l'acció de la gravetat.
- Punt G: és el moment de caiguda de la fase de vol.
- **Fase F-G:** fase de vol.

Des del punt de vista fisiològic, se suposa que, al no existir la fase activa de flexió de cames (fase excèntrica del salt), no es produeix el cicle d'estirament escurçament muscular i per tant, no hi ha un emmagatzematge d'energia elàstica en el múscul (Komi i

Figura 4.- Representació gràfica del moviment de l'SJ i corbes de força – temps i velocitat – temps.



Bosco, 1978). El fet de limitar la flexió de genolls a 90° també redueix tant l'emmagatzematge potencial d'energia elàstica que s'hi pogués produir, com el temps en què els músculs poden estar desenvolupant força de manera activa (Anderson i Pandy, 1993; Feltner, 1999). Una bona coordinació intra i intermuscular és bàsica per obtenir salts elevats (Ugrinowitsch, 2007).

Hi ha la teoria que a nivell muscular, els músculs bi-articulars s'utilitzen per transportar l'energia generada des de la part proximal del cos a la part distal (Grégoire, 1984; Bobbert i Van Ingen Schenau, 1988). Si bé altres autors estan d'acord en que l'activació muscular es produeix de la zona distal a la zona proximal, discrepen en què el flux d'energia es desplaci en aquest sentit, ja que hi ha diversos grups musculars que són activats per tal d'accelerar el tronc verticalment (Pandi i Zajac, 1991). Segons aquests autors els músculs que major energia produeixen són els vast intern i extern del quàdriceps i el gluti major, seguits pels flexors uniarticulars del turmell (Pandi i Zajac, 1991).

Tenint en compte la valoració funcional, tant l'SJ com el RKJ valoren la manifestació explosiva de la força (Vittori, 1990). El factor avaluat és la capacitat de reclutament nerviós. En l'SJ, com que l'amplitud de moviment és igual per a tots els subjectes, l'acceleració que experimenta el cos és producte de la realització d'una gran força muscular durant un temps que sol ser d'entre 280 i 320ms (Bosco, 1994).

L'SJ és un salt de difícil execució ja que en les diferents tasques de llançar i saltar sempre hi ha preestirament muscular. Innocenti i col·laboradors (2006) avaluen l'SJ mitjançant accelerometria en esportistes experimentats i no experimentats i observen que gairebé tots ells realitzen algun tipus de contramoviment, bé sigui amb les cames o amb el tronc. Aquest és més accentuat en els esportistes poc experimentats. Es recomana, doncs, familiaritzar l'atleta amb el moviment per tal d'evitar errors per falta d'aprenentatge, tot i que hi ha autors que observen que no és necessari (Arteaga, 2000; Moir, 2004).

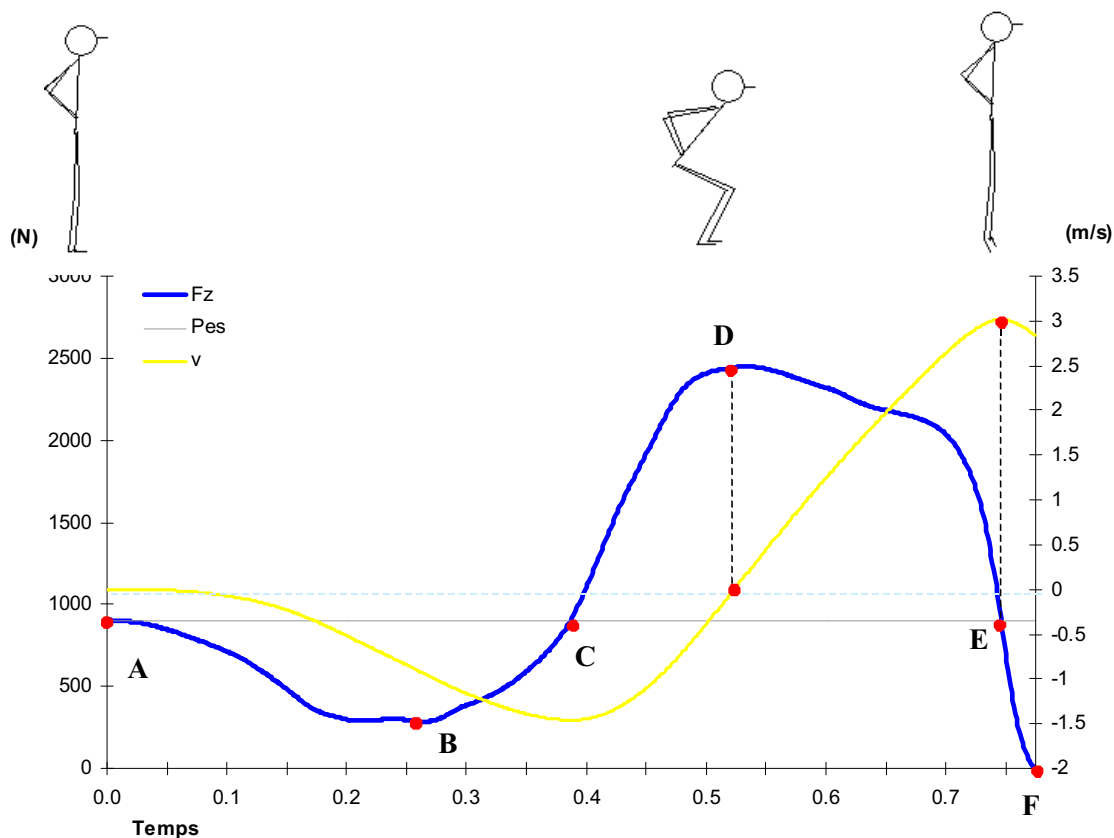
2.1.2. Salt amb contramoviment

El salt amb contramoviment (CMJ) avalua les fases excèntrica i concèntrica del múscul. S'inicia el moviment en posició vertical, amb les cames separades a l'alçada de les espatlles i les mans en els malucs. A continuació es realitza un moviment ràpid de flexió – extensió del genoll. Segons Bosco (1994) l'angle de genoll ha de ser de 90°.

La Figura 5 presenta el patró de la força vertical i de la velocitat d'un CMJ. En la corba es poden identificar varis instants que permeten definir diverses fases del moviment del salt (Linthorne, 2001; Innocenti, 2006):

- Punt A: correspon a la posició inicial del salt. El valor de F_z és igual al pes corporal del subjecte.

Figura 5.- Representació gràfica del moviment del CMJ i corbes de força – temps i velocitat – temps.



- Punt B: fa referència al pic de força mínim (F_{\min}).
- **Fase A-B**: el saltador comença el moviment de flexió de cames. La gravetat és la força que ajuda a la flexió en aquests primers moments, i hi ha relaxació muscular.
- Punt C: punt on Fz s'equilibra amb el pes corporal. En aquest moment l'acceleració del cos és nul·la i la velocitat de desplaçament mínima.
- **Fase A-C**: es coneix com a impuls negatiu de descens (I_{nd}) perquè la Fz està per sota del pes corporal (Lara, 2006b).
- **Fase B-C**: el saltador inicia l'activació muscular de les cames, però el desplaçament del cos encara segueix essent descendent.
- Punt D: coincideix amb el moment de màxima flexió de cames. La velocitat en aquest moment és igual a zero. És el moment de transició entre l'acció excèntrica i concèntrica del múscul. En aquest moment els músculs estan fortament activats i la Fz està pròxima al valor màxim.
- **Fase A-D**: correspon a la fase excèntrica del salt.

- **Fase C-D:** a l'inici d'aquesta fase la Fz es torna positiva; l'acceleració és ascendent, però el cos segueix movent-se en direcció descendent. Kibele (1998) l'anomena fase d'estirament i utilitza els paràmetres de durada de la fase i el desplaçament del centre de masses (CM) per estimar el comportament del cicle d'estirament escurçament en el sistema tendomuscular. També és anomenada fase d'impuls de frenada (I_f) (Hochmuth, 1973).
- Punt E: punt on Fz s'equilibra amb el pes corporal. L'acceleració en aquest moment és zero i la velocitat, màxima.
- **Fase C-E:** correspon a l'impuls positiu (I_p) del salt, ja que tot l'impuls està per sobre del pes corporal.
- **Fase D-E:** correspon a la fase d'empenta, on genolls, maluc i turmells comencen el moviment d'extensió. L'impuls aplicat en aquesta fase accelera el cos verticalment, és per això que s'anomena també fase d'impuls d'acceleració (Hochmuth, 1973). La força màxima es dona sovint ens els moments inicials d'aquesta fase.
- Punt F: és el moment on s'inicia la fase de vol del salt. La Fz aconsegueix valor zero.
- **Fase E-F:** La Fz baixa per sota el pes corporal i l'acceleració es torna negativa. El saltador encara presenta moviment ascendent, però comença a frenar degut a l'acció de la gravetat. També és anomenada fase d'impuls negatiu d'ascens (I_{nd}).
- Punt G: és el moment de caiguda de la fase de vol (no està detallat en la Figura 5, però es pot observar en la Figura 4).
- **Fase F-G:** fase de vol.

Pel que fa a la valoració funcional, aquest salt avalua la manifestació de força explosiva de les cames (Bosco, 1994), però també, com que l'acció de saltar es realitza amb l'ajuda del cicle d'estirament escurçament, s'avalua la reutilització de l'energia elàstica (Komi i Bosco, 1973), la capacitat de reclutament nerviós i la coordinació intra i intermuscular (Bosco, 1994).

L'alçada que s'aconsegueix en el CMJ és major que la que s'aconsegueix en l'SJ. Per exemple, Bobbert i col·laboradors (1996) obtenen un increment de 2.5 cm en l'execució del CMJ respecte de l'SJ, Maulder i Cronin (2005) i Young (1995) de 2.3 cm i 2.5 cm respectivament i Lian i col·laboradors (2003) obtenen millores en jugadors de voleibol d'entorn 4.7 cm.

Hi ha varies teories, mecàniques i fisiològiques, que expliquen perquè l'alçada del salt en el CMJ és major que en l'SJ:

a) Increment de l'impuls o temps disponible per a l'aplicació de forces.

L'impuls (I) es defineix com el producte de la força pel temps (Equació 1), i està representat gràficament per l'àrea existent sota la corba de força. La quantitat de moviment (Q) és el producte de la massa d'un cos (m) per la velocitat que aquest porta (Equació 2).

Quan s'aplica un impuls s'obté un canvi en la quantitat de moviment del cos (Equació 3). La massa del cos és constant i qualsevol variació de l'impuls afectarà a la velocitat de moviment. Com que l'alçada que s'aconsegueix en un salt depèn de la velocitat de sortida del CM, qualsevol variació de l'impuls afectarà també a la magnitud del salt.

$$I = F \cdot \Delta t \quad \text{Equació 1}$$

$$Q = m \cdot \Delta v \quad \text{Equació 2}$$

$$F \cdot \Delta t = m \cdot \Delta v \quad \text{Equació 3}$$

on: F = força, t = temps.

En el CMJ, la fase concèntrica del salt ve precedida per una fase excèntrica. Durant aquesta fase excèntrica s'aplica un impuls que té l'objectiu de frenar el moviment descendent del cos (Figura 5 entre C i D), però la força vertical que s'aplica té sentit ascendent. Aquest impuls de frenada permet incrementar l'impuls positiu i el temps disponible per aplicar força muscular (Equació 4).

$$I_p = I_f + I_a \quad \text{Equació 4}$$

Hochmuth (1973) explica aquest fet en el seu principi de la força inercial i enuncia que "si pretenem que un moviment corporal aconseguixi una elevada velocitat final és convenient que vagi precedit d'una fase de frenada abans de realitzar la fase d'acceleració". Segons l'autor també és necessari que l'impuls de frenada i el d'acceleració guardin una relació òptima, per això estableix un coeficient d'impuls (χ) que ha d'estar entre 0,3 i 0,4 (Equació 5). També aconsella que el pic màxim de força es produeixi en la fase d'acceleració, tot i que això pot ser difícil d'aconseguir ja que requereix una major potència muscular (Dowling, 1992).

$$\chi = \frac{I_f}{I_a}$$

Equació 5

A mode d'exemple, Linthorne (2001) obté, per a un únic saltador, un impuls total en SJ de 181 Ns. Això es tradueix en un salt de 33.7 cm. L'alçada del salt en CMJ és de 37.5 cm, i l'impuls aplicat és de 188 Ns.

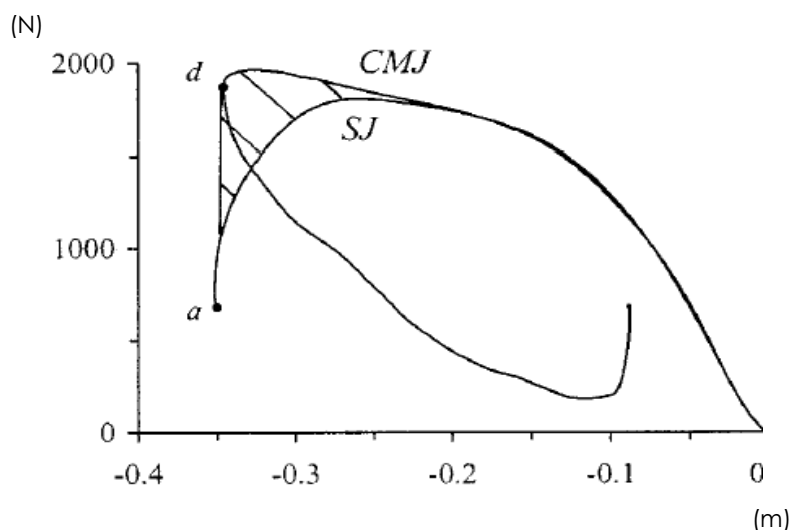
Segons Dowling i Vamos (1993) és important que hi hagi impuls negatiu (el que es dona per sota del pes corporal) en un salt, però que realitzar un impuls negatiu molt elevats no suposa una major alçada del salt

b) Increment de la força concèntrica inicial.

La força que s'obté a l'inici de la fase concèntrica del moviment en el CMJ i l'SJ és diferent. Si observem la Figura 4 i la Figura 5 es pot veure que la força inicial en la fase ascendent del SJ equival al pes del subjecte, mentre que en el CMJ és superior, ja que la musculatura s'activa i aplica força abans de l'escurçament muscular. Segons Bobbert i col·laboradors (1996) l'increment de la força és conseqüència d'un major moment de força a les articulacions de maluc, genoll i turmell.

Com que la força a l'inici de la fase concèntrica és major, la producció de treball⁴ també és major per als CMJ que per a l'SJ (Bobbert, 1996; Linthorne, 2001) (Figura 6).

Figura 6.- Gràfica de força – desplaçament per a un CMJ i un SJ.



L'àrea ratllada indica el major treball produït com a conseqüència del contramoviment. Els moments (a) i (d) corresponen a l'inici de la fase concèntrica (Linthorne, 2001).

⁴ Concepte que fa referència a l'aplicació de força realitzada durant un desplaçament.

c) Emmagatzematge d'energia en el múscul durant la fase de contramoviment.

Des del punt de vista mecànic podem diferenciar en el múscul 3 tipus de components: un *component contràctil*, compost per teixit de col·lagen i responsable de la contracció muscular, un *component elàstic en paral·lel*, compost per teixit connectiu que conté les membranes que envolten el múscul i el sarcolema i un *component elàstic en sèrie*, compost també per teixit connectiu i del qual formen part els tendons (Siff i Verkhoshansky, 2000).

Quan el múscul es pre-estira activament és capaç de realitzar una major contracció muscular (Komi i Bosco, 1973). Això és degut, en petita part, a l'energia mecànica emmagatzemada en el component elàstic en paral·lel i, en gran part, a l'energia elàstica emmagatzemada en el component elàstic en sèrie. Com major és la força d'estirament, major l'energia elàstica emmagatzemada. La capacitat d'utilitzar l'energia emmagatzemada depèn de la velocitat i durada de l'estirament i de la coordinació intermuscular entre la fase excèntrica i concèntrica (Siff i Verkhoshansky, 2000; Kreighbaum i Barthels, 1996). Així doncs, si el temps d'acoblament és molt llarg, l'energia elàstica es dispersa en forma de calor (Vélez, 1992).

També depèn de la càrrega d'estirament que es produeix en la fase excèntrica del moviment (Bobbert, 1996). En el CMJ hi ha un major emmagatzematge d'energia elàstica degut a que la força produïda pel múscul a l'inici de la fase concèntrica és major que en l'SJ. Amb el contramoviment s'incrementa l'eficiència de realitzar treball positiu, ja que l'energia elàstica emmagatzemada a l'inici de la fase concèntrica redueix la quantitat d'energia que ha de produir l'element contràctil del múscul (Linthorne, 2001).

Fent referència a aquesta explicació, es pot calcular un **índex d'elasticitat** (IE) muscular (Walshe, 1996). McGuigan i col·laboradors (2006) prefereixen anomenar-lo **ratio d'utilització excèntrica**, ja que d'aquesta manera no només es fa referència a la reutilització de l'energia elàstica sinó també al nivell d'activació muscular (Equació 6):

$$IE(\%) = \frac{CMJ - SJ}{SJ} \times 100 \quad \text{Equació 6}$$

Kubo i col·laboradors (1999) estudien les propietats elàstiques dels tendons durant l'execució del salt vertical i observen que la propietat elàstica del tendó millora el salt vertical amb contramoviment. Curiosament, l'índex d'elasticitat és millor en aquells subjectes que presenten tendons amb un valor de deformació més elevat que en els subjectes que presenten tendons més rígids.

d) Reflex d'estirament.

Bosco (1994) comenta que la millora del CMJ respecte del SJ es deu també a la utilització del reflex miotàtic. Segons l'estudi de Bobbert i col·laboradors (1996) no es pot afirmar que el reflex d'estirament incrementi l'estimulació muscular en el contramoviment. El reflex d'estirament s'activa quan el cicle d'estirament escurçament és ràpid i en un CMJ aquest cicle és lent (Schmidtbleicher, 1985) i per tant, no beneficia la fase ascendent del salt (Vélez, 1992).

e) Potenciació de la contracció muscular.

La musculatura aconsegueix un nivell més elevat d'activació quan hi ha contramoviment i permet l'aplicació de major força durant l'inici de la fase concèntrica (Bobbert, 1996; Van Ingen Schenau, 1997; Linthorne, 2001; Bobbert i Casius, 2005).

2.1.3. Salt amb contramoviment i utilització de braços

El salt amb contramoviment i utilització de braços (CMJb) s'inicia en posició vertical, amb les cames separades a l'alçada de les espatlles. A continuació es realitza un moviment ràpid de flexió – extensió del genoll portant els braços enrere i endavant de manera sincronitzada amb la flexió – extensió de cames. Segons Bosco (1994) la flexió de genoll ha de ser de 90°.

Aquest tipus de salt també s'anomena de manera genèrica salt Abalakov, tot i que aquest incorpora la seva pròpia metodologia d'anàlisi que consisteix en una cinta mètrica lligada a la cintura (Kotz i Xvilon, 1971).

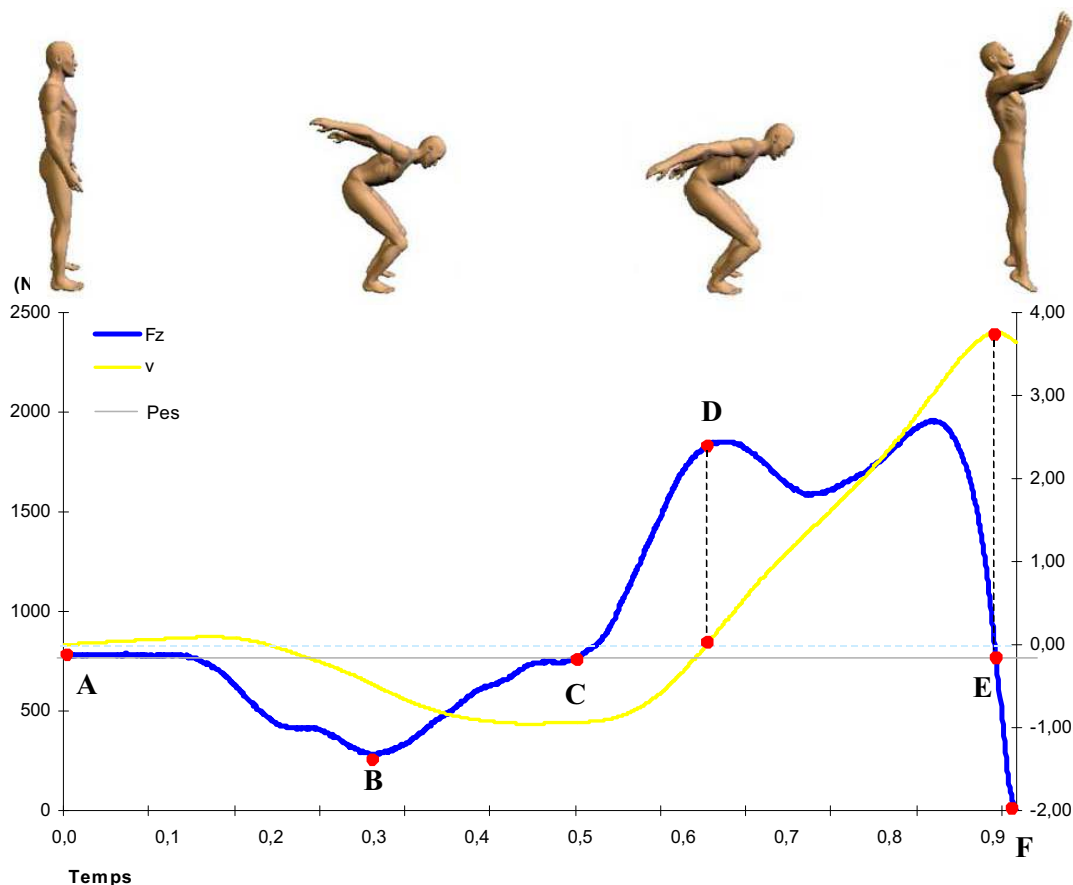
La Figura 7 presenta el patró de la força vertical i de la velocitat d'un CMJb. En la corba es poden identificar varis instants que ens permeten definir diverses fases. Aquests instants i fases són els mateixos que els explicats durant el CMJ (apartat 2.1.2) i que es poden veure en la Figura 5.

Amb el moviment de braços s'obtenen salts de major alçada perquè augmenta la velocitat de sortida del CM. Feltner i col·laboradors (2004) obtenen una millora de l'alçada del salt del 10.9% i un increment del 9.3% en la velocitat de sortida. Harman i col·laboradors (1990) i Shetty i Etnyre (1989) també troben una velocitat de sortida major per als CMJb, del 10% i del 6% respectivament.

A més a més, també es produeixen canvis en altres paràmetres: Shetty i Etnyre (1989) obtenen millores del 6% en la força màxima, del 14% en el treball i del 15% en la potència (P). Hara i col·laboradors (2006) observen que amb l'acció de braços hi ha un increment

del treball total del cos. De forma parcial, el treball correspon en un 34.1% als braços (degut al moviment d'ascens) i a un 65.9% a les cames.

Figura 7.- Representació gràfica del moviment del CMJb i corbes de força – temps i velocitat – temps.



Monos adaptats de Lees i col·laboradors (2004).

Però quin és el mecanisme que fa que la velocitat de sortida sigui més elevada?. Tres teories intenten explicar aquest fenomen:

a) Transmissió de forces.

Quan els braços s'acceleren amunt, en el moment final de la fase propulsiva, hi ha una força en sentit descendent sobre del cos que incrementa la força de reacció vertical i l'impuls provocant un augment de la velocitat. Això produeix un segon pic de força vertical en la part final del moviment (Payne, 1968).

Si bé Harman i col·laboradors (1990) observen un increment en el pic de força vertical quan el salt es realitza amb l'ajuda dels braços, consideren que aquesta teoria és molt simplista per explicar la contribució dels braços en el resultat. Altres autors, la rebutjen perquè observen que la força vertical que es produeix a les espatlles no es transfereix

de manera immediata i precisa en la força de reacció vertical (Lees, 2004; Cheng, 2008).

b) Augment del moment de força articular.

El moviment de braços crea una acceleració vertical en sentit ascendent que genera una força a les espatlles, en sentit descendent, cap a la resta del cos. Fins aquí, estem fent referència al que explica la teoria anterior. La diferència recau en què aquesta força descendent fa més lenta la contracció muscular en quàdriceps i glutis fent-los més aptes per generar forces majors (Harman, 1990).

Posteriorment, s'ha observat que l'acció de braços disminueix el moment de força extensor en maluc, genoll i turmell durant el primer terç de l'acció propulsora, però l'augmenta durant la fase final, just abans de la sortida (Feltner, 1999; Feltner, 2004; Hara, 2006).

Segons Lees i col·laboradors (2004) aquesta teoria pot ser rebutjada ja que, encara que durant l'acció de braços s'observa un increment del moment de força en les articulacions de les cames, la velocitat angular de les articulacions no és major. El que passa és que aquest major moment de força articular es produeix en la fase on es pot emmagatzemar energia, energia que sí podria millorar el rendiment del salt. En un estudi de Cheng i col·laboradors (2008) realitzat mitjançant simulació aquesta teoria es compleix exclusivament en l'articulació del maluc. Segons Feltner i col·laboradors (2004) l'alçada del salt també incrementa com a conseqüència de l'augment de l'impuls produït durant la fase propulsiva.

c) Estrebada de l'extremitat superior.

Durant la última part del salt els braços inicien una desacceleració. La elevada velocitat dels braços relativa al tronc permet que es produeixi una estrebada i una transferència d'energia des dels braços fins la resta del cos (Harman, 1990; Lees, 2004; Cheng, 2008).

Sembla ser, però, que cap d'aquestes teories explicaria per si sola la millora del resultat.

Comparant el CMJb amb el CMJ convencional es pot avaluar la contribució dels braços en el moviment. Per això també s'utilitza un índex, anomenat índex d'utilització de braços (IB) i que es detalla en l'Equació 7 (Vélez, 1992):

$$IB(\%) = \frac{CMJb - CMJ}{CMJ} \times 100$$

Equació 7

2.1.4. Salt amb cursa d'aproximació

El salt amb cursa d'aproximació (DJb) inclou contramoviment, acció de braços i un desplaçament inicial previ al salt. És el salt que més s'assimila al gest tècnic del remat de voleibol i és el que permet aconseguir una major alçada del centre de masses.

Una altra diferència respecte dels altres salts és que els peus es recolzen en instants diferents de temps. Aquest doble recolzament pot ser quasi simultanis o més successiu, amb el segon peu recolzat temporalment endarrerit respecte del primer.

Es poden definir dues fases en aquest salt, la fase de carrera i la fase de batuda.

1. Fase de carrera.

L'objectiu d'aquesta fase és la de preparar les condicions òptimes per la batuda.

La carrera finalitza en el moment en què es realitza el penúltim recolzament de tota la cursa i coincideix amb la cama del braç que colpeja la pilota. Consisteix en un desplaçament de dues a tres passes que permeten adquirir velocitat horitzontal (Gutiérrez, 1992; Coleman, 1993; Chen, 2008).

La carrera prèvia és un factor que determina la mecànica del salt posterior (Dapena, 1980). En el salt vertical amb cursa d'aproximació la velocitat del desplaçament incrementa de forma gradual (Abendroth-Smith i Kras, 1999) i sembla ser, que la velocitat vertical màxima en el moment del salt s'aconsegueix quan la velocitat horitzontal de la cursa d'aproximació és d'entre el 50 i el 60% de la velocitat màxima de l'sprint (Gutiérrez, 2006).

L'últim pas abans de la batuda és el que té una major amplitud, uns 1.74 ± 0.15 m (Wagner, 2009), la qual cosa permet endarrerir el CM i frenar el moviment horitzontal.

Aquesta fase no queda reflexada en la Figura 8, que només correspon a la fase de batuda.

2. Fase de batuda

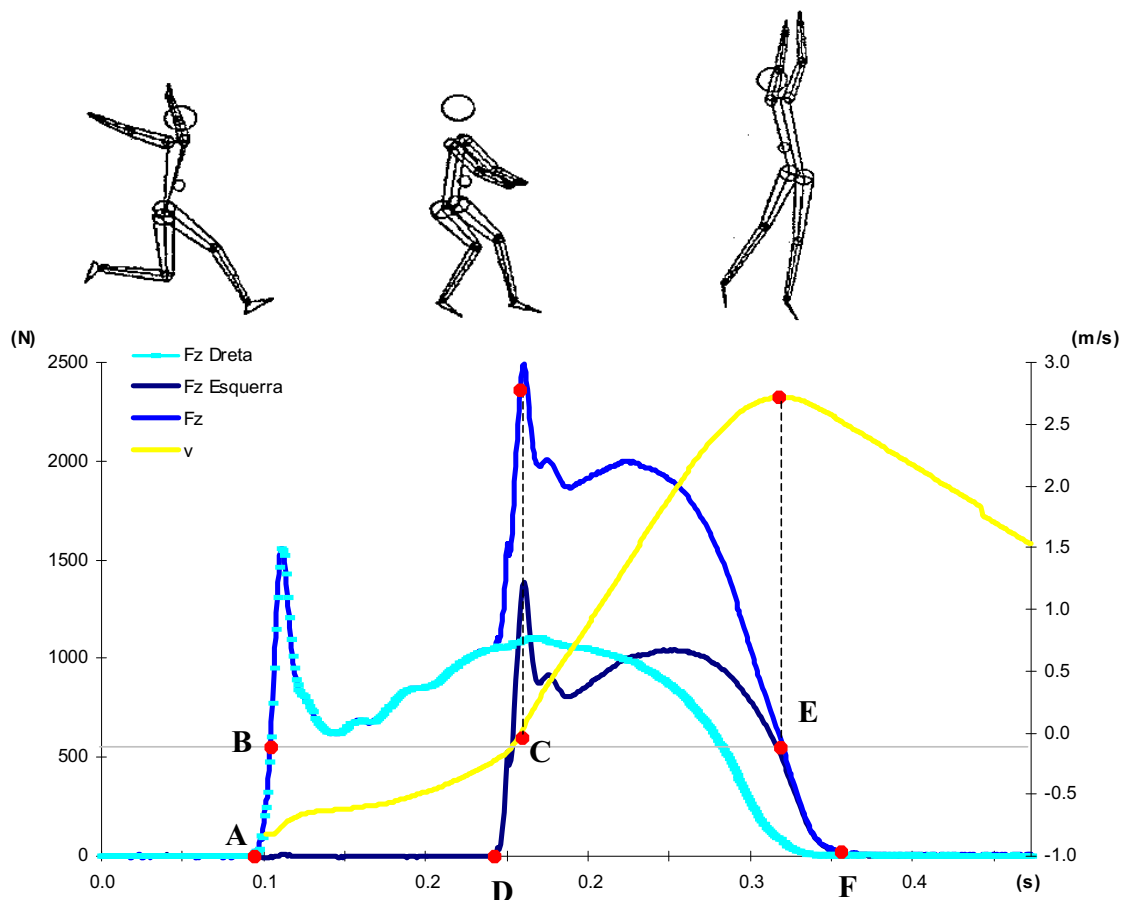
La batuda s'inicia en el penúltim recolzament del desplaçament i finalitza en el moment de l'enlairament. Consisteix en dos recolzaments, el primer amb la cama del braç que colpeja i el segon amb la cama contrària. L'objectiu és la de reconvertir la velocitat horitzontal aconseguida en la carrera en quantitat de moviment vertical.

Aquesta fase té, en jugadors masculins de voleibol, una durada d'entre 0.30 i 0.37s (Gutiérrez, 1992; Ciapponi, 1996).

En la Figura 8 es poden identificar varies subfases que permeten explicar el moviment:

- Punt A: correspon a l'instant del primer contacte. La força vertical està inicialment per sota del pes corporal, però incrementa ràpidament com a conseqüència de l'impacte.
- Punt B: instant on la força vertical s'equilibra amb el pes corporal. En un CMJ i en un CMJb, en aquest moment començaria l'activació muscular; en un DJb l'activació muscular està present des del principi del moviment degut a que s'està frenant la velocitat que porta el cos com a conseqüència del desplaçament horitzontal realitzat. La corba de velocitat de la Figura 8 reflexa el valor de velocitat vertical, que fins aquests instants ha estat nul·la, però que a partir d'ara incrementa fins, pràcticament, el moment d'iniciar la fase de vol del salt.
- Punt C: coincideix amb el moment de màxima flexió de cames. La velocitat en aquest moment és igual a zero. És el moment de transició entre l'acció excèntrica i concèntrica del múscul.

Figura 8.- Representació gràfica del DJb i corbes de força – temps i velocitat – temps.



Monos de Gutiérrez i col·laboradors (1992)

- **Subfase A-C** o impuls de frenada. Sol tenir una durada d'entre 0.17 i 0.19s. Comença en el moment del penúltim recolzament de la cursa i finalitza en el moment de màxima flexió de genolls i maluc (Valadés, 2004). L'objectiu és el de frenar el desplaçament horitzontal del CM.

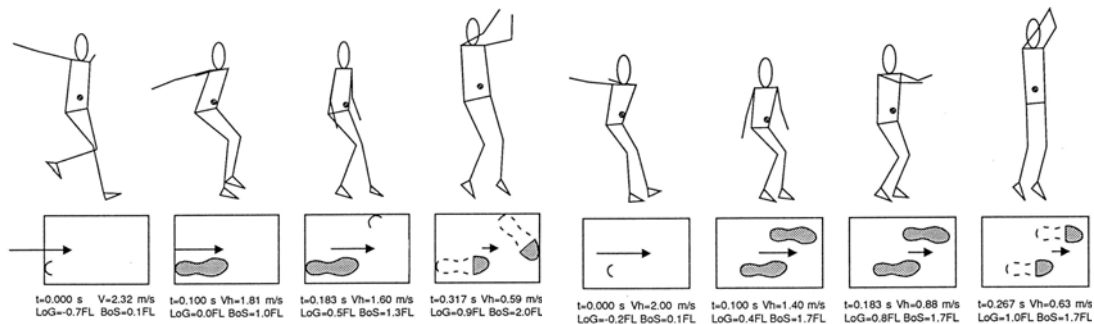
A l'inici de la batuda, i com a conseqüència de la major amplitud de l'últim pas de la carrera, el CM està per darrere dels talons i la cama pràcticament estirada. La progressiva flexió de la cama ofereix una resistència al moviment horitzontal del CM i, al mateix temps, un pre-estirament de la musculatura (Gutiérrez, 2006) amb activació del reflex miotàtic o reflex d'estirament (Komi i Bosco, 1978). La flexió de genolls màxima és d'uns 90-110° (Gutiérrez, 1992; Hernández, 1992), tot i que en jugadors principiants pot ser d'entre 110-130° (Hernández, 1992).

- Punt D: correspon al recolzament del segon peu. Aquest instant es pot anticipar o retardar respecte del punt C, ja que els recolzaments poden ser més simultanis o més alternatius.

Segons Coutts (1982) quan el recolzament dels dos peus és simultani es redueix el temps d'execució de la batuda i s'incrementa la magnitud de l'impuls de frenada degut a una major pretensió de la musculatura. Gutiérrez i col·laboradors (1992) observen que quan el temps de recolzament unilateral s'allarga 'es redueix la possibilitat de crear pretensió en la cama del segon recolzament' (p. 20). En un estudi posterior, Gutiérrez i col·laboradors (2006) també observen que quan es redueix el temps entre els recolzaments, el temps d'impuls de frenada en la fase de batuda es redueix, però que la velocitat horitzontal disminueix més quan s'augmenta el temps entre recolzaments. Segons els mateixos autors, no s'observen diferències en l'impuls d'acceleració, per tant, l'alçada del CM en el salt no es veuria afectada per la realització d'una tècnica o altra.

Segons Ciapponi i col·laboradors (1996) els jugadors inexperts realitzen una batuda més simultània i els jugadors experts una batuda amb recolzaments alternatius. La tècnica dels jugadors experts permet aconseguir una major velocitat horitzontal de desplaçament i una major reducció de la velocitat en el moment de la batuda degut a que porten el CM més endarrerit i tenen una major base de sustentació. L'increment de la base de sustentació s'obté per la posició del peu del segon recolzament. En els jugadors inexperts, els peus es col·loquen paral·lels, mentre que en els jugadors experts el segon peu es col·loca oblic al primer, amb la punta del peu orientada cap al centre del cos i formant un angle respecte de la línia longitudinal del primer peu (Figura 9)

Figura 9.- Posició dels peus en jugadors experimentats (esquerre) i novells (dreta) de voleibol.



LoG = línia de la gravetat; BoS = base de sustentació; FL = longitud del pas. Els jugadors inexperts tenen una velocitat horitzontal més baixa al inici de la batuda. Els jugadors experts redueixen més la velocitat horitzontal al final de la batuda. Els jugadors experts porten el CM més endarrerit i tenen una major base de sustentació (Ciapponi, 1996)

- Punt E: punt on l'Fz s'equilibra amb el pes corporal. L'acceleració en aquest moment és zero i la velocitat màxima.
- Punt F: és el moment on s'inicia la fase de vol del salt. La Fz aconseguix valor zero.
- **Subfase C-F** o impuls d'acceleració. Sol tenir una durada d'entre 0.13 i 0.18s. Comença en el moment de màxima flexió de genolls i finalitza quan s'inicia el salt (Valadés, 2004). L'objectiu és la d'aplicar forces en direcció vertical per tal d'accelerar el CM amunt i aconseguir la màxima velocitat vertical possible (Gutiérrez, 1992).

Es produeix una ràpida extensió de genolls i malucs, i els braços es porten endavant i amunt.

Segons Wagner i col·laboradors (2009), en aquesta fase, la primera cama de recolzament contribueix, predominantment, a accelerar verticalment el CM, mentre que la segona cama de recolzament serveix per estabilitzar el moviment horitzontal i ajudar convertir la velocitat horitzontal en vertical.

- Punt G: és el moment de caiguda de la fase de vol (no s'observa en la gràfica).
- **Fase F-G**: fase de vol (no s'observa en la gràfica).

L'índex d'aproximació (IA) permet estudiar la contribució de la batuda en el salt (Equació 8).

$$IA(\%) = \frac{DJb - CMJb}{CMJb} \times 100$$

Equació 8

2.2. Valoració de l'asimetria de forces

El salt vertical està essent utilitzat en la vessant mèdica per determinar limitacions funcionals, assessorar durant el procés de rehabilitació i determinar el retorn al nivell d'activitat pre-lesió. També s'està fent servir per avaluar l'asimetria de forces entre extremitats (Petsching, 1998; Newton, 2006; Impellizzeri, 2007; Reid, 2007).

La simetria s'ha definit com l'acord perfecte entre les accions de les extremitats inferiors i pot ser aplicada quan les dues extremitats es comporten idènticament (Sadeghi, 2000).

En general, es pressuposa que les dues extremitats actuen simètricament (Holder-Powell i Rutherford, 1999; Sadeghi, 2000; Loudon, 2002) i que la falta de balanç muscular entre extremitats, o entre grups musculars antagonistes en la mateixa extremitat, està associat a patir lesions esportives (Knapik, 1991; Rahnama, 2005; Newton, 2006; Carpes, 2008).

2.2.1. Hi ha simetria entre extremitats ?

Varis autors determinen que les extremitats inferiors es comporten simètricament en individus sans (Holder-Powell i Rutherford, 1999; Bennell, 1999; Siqueira, 2002; Bhering, 2007), mentre que altres observen asimetria en el moviment (Hamill, 1984; Herzog, 1989; Maupas, 2002) fins i tot en un exercici simètric, és a dir, en aquells exercicis on les dues extremitats realitzen la mateixa tasca simultàniament (Maines i Reiser, 2006).

En la població esportista, les activitats específiques de l'esport que es practica poden conduir a l'especialització de les extremitats. Aquesta especialització podria generar alteracions en la força muscular de les articulacions implicades. Segons Rahnama i col·laboradors (2005) l'entrenament de futbol produeix una dominància lateral que fa que hi hagi asimetries de força entre extremitats. En una revisió de literatura posterior, Barbieri i Gobbi (2009) conclouen que existeix asimetria lateral en jugadors de futbol i que això perjudica el rendiment de l'atleta durant el joc. Knapik i col·laboradors (1991) observen asimetria en la força específica i la flexibilitat en un grup d'atletes. Per contra, Barber i col·laboradors (1990) obtenen simetria independentment del nivell d'activitat física que es practica; Siqueira i col·laboradors (2002) observen que corredors i saltadors presenten una major simetria de força que subjectes que no practiquen cap activitat esportiva i Schiltz i col·laboradors (2009) no obtenen diferència de força entre la cama dominant i no dominant en jugadors de bàsquet.

Algunes contradiccions en els resultats dels estudis poden ser deguts a que no tots els autors comparen el mateix.

Hi ha articles que comparen cama *dominant* i *no dominant*, però hi ha autors defineixen dominància com "la cama que és hàbil per xutar la pilota" (Rahnama, 2005; Maulder i

Cronin, 2005; English, 2006), mentre que altres la defineixen com "la cama preferent quan es realitza un recolzament unilateral" (Chavet, 1997; Schiltz, 2009). Altres no descriuen què entenen per dominància (McCurdy i Langford, 2005). Hi ha autors que comparen l'asimetria entre la cama *dreta* i l'*esquerra* (Maines i Reiser, 2006; Newton, 2006). Altres que ho fan en relació a la cama *lesionada* i la *no lesionada* (Loudon, 2002; Reid, 2007; Schiltz, 2009). També s'ha comparat la cama *forta* i la cama *feble* (Newton, 2006; Impellizzeri, 2007).

L'absència d'asimetria de força quan es compara cama dominant amb no dominant, o cama dreta amb cama esquerra pot ser conseqüència de que no sempre la cama dreta / dominant és la que presenta millors valors de força, i aleshores, s'anul·len les possibles diferències de força que hi puguin haver (Newton, 2006).

Newton i col·laboradors (2006) comparen el pic i la mitjana de força vertical de les dues extremitats quan s'executa un salt vertical en jugadores de softbol. Quan comparen extremitat forta amb feble observen asimetria de força, però aquesta asimetria desapareix quan comparen cama dreta amb cama esquerra. El mateix sembla succeir en l'estudi de Schiltz i col·laboradors (2009) quan comparen els moments de força de flexió i extensió del genoll avaluats mitjançant dinamòmetre isocinètic. No s'obtenen diferències significatives quan es compara extremitat dominant i no dominant, però sí quan es comparen la cama amb història de lesió prèvia amb la sana.

2.2.2. Nivell d'asimetria considerat arriscat

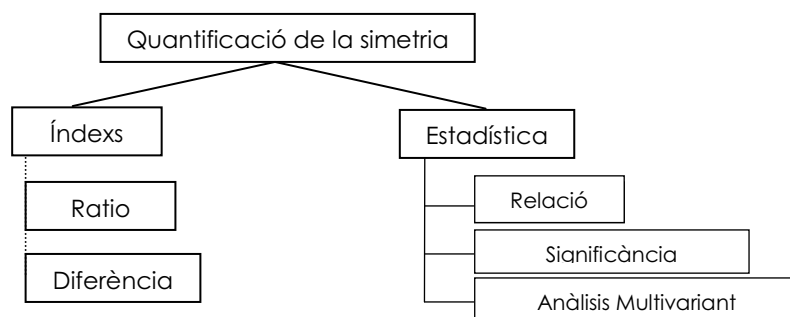
Com ja s'ha comentat anteriorment, s'ha observant una relació entre el nivell de simetria entre extremitats i la incidència de patir una lesió (Rahnama, 2005; Newton, 2006; Carpes, 2008). El problema recau en detectar quin és el nivell d'asimetria a partir del qual s'està més exposat a patir lesions.

Sembla ser que hi ha força consens, dins de l'àrea de Medicina de l'Esport, en identificar asimetria quan la diferència entre el valor de cadascuna de les extremitats supera el 15% (Barber, 1990; Knapik, 1991; Petsching, 1998; McCurdy i Langford, 2006). Segons Knapik i col·laboradors (1991) els jugadors amb una asimetria de força major al 15% tenen una possibilitat 2.6 vegades més gran de lesionar-se.

Altres estudis identifiquen asimetria quan la diferència entre les extremitats és superior al 10% (Wyatt i Edwards, 1981; Rahnama, 2005; Carpes, 2008; Loudon, 2002).

Però l'asimetria entre extremitats pot ser obtinguda de diverses maneres. Sadeghi i col·laboradors (2000) les divideixen en dues grans àrees: els índex de simetria (IS) i l'asimetria estadística (Figura 10):

Figura 10.- Formes de quantificar la simètrica



Adaptat de Sadeghi (2000)

Els estudis que determinen l'asimetria mitjançant índexs, acostumen a detallar el càlcul que han realitzat. S'han pogut identificar en la bibliografia 8 índexs diferents per calcular l'asimetria (Taula 2). Altres estudis, avaluen la simetria entre extremitats, però no descriuen l'índex utilitzat (Rahnama, 2005; Knapik, 1991; McCurdy i Langford, 2005; Menzel, 2006).

Els índex de simetria tenen certes limitacions (Sadeghi, 2000):

- Quan els paràmetres tenen valors elevats i les diferències entre extremitats són relativament petites els índex tenen tendència a reflexar simetria, en canvi, quan els paràmetres tenen valors baixos una petita diferència pot donar un valor d'asimetria elevat.
- En l'IS 3 les diferències s'obtenen a partir del valor de la mitjana (el divisor de l'equació) i aquesta no representa el rendiment de cap extremitat.

L'anàlisi estadístic també s'utilitza per determinar l'asimetria entre extremitats, independentment que es calculi un índex de simetria (Holder-Power i Rutherford, 1999; McCurdy i Langford, 2005; Maines i Reiser, 2005; Newton, 2006).

2.2.3. Detecció d'asimetries

Històricament, les asimetries en l'extremitat inferior s'han detectat mitjançant la combinació d'exercicis de cadena cinètica oberta i dinamòmetres isocinètics (Grace, 1984; Newton, 1991; Siqueira, 2002; Maupas, 2002). Els exercicis de valoració més utilitzats són els dels flexors i extensors del genoll, tant en moviments concèntrics com excèntrics i a velocitats que oscil·len entre els 30 °/s i els 240 °/s.

L'asimetria en la marxa també ha estat, i està essent estudiada, tant per observar si les extremitats es comporten simètricament durant una marxa normal, com per observar els efectes de la dominància d'una extremitat sobre una altra (Hamill, 1984; Herzog, 1989; Sadeghi, 2000; Bennell, 1999).

Taula 2.- índex de simetria trobats en la bibliografia.

Nom	Fórmula	Criteri	Referències	Comentaris
IS 1	$IS = \frac{X_1 - X_2}{X_{(1\&2)}} \times 100$	Valors pròxims a 0 indiquen simetria.	Newton (2006). Carpes (2008) Chavet (1997)	El valor de l'índex no és el mateix si el divisor canvia de X_1 a X_2 .
IS 2	$IS = \frac{X_1 - X_2}{X_{(\max 1,2)}} \times 100$	Valors pròxims a 0 indiquen simetria. Els signes (+) i (-) indiquen quina és l'extremitat amb valor major.	Vagenas i Hoshizaki (1992) Bhering (2007) Impellizzeri (2007)	
Ratio d'asimetria	$RA = \frac{X_1}{X_2} \times 100$	Valors pròxims al 100% indiquen simetria. Valors majors que 100 indiquen asimetria a favor de X_1 . Valors per sota de 100 asimetria a favor de X_2	Barber (1990) Reid (2007) O'Donnell (2006) Loudon (2002) Maulder i Cronin (2005) Ostenberg (1998) English (2006)	El valor de l'índex no és el mateix si el divisor canvia de X_1 a X_2 .
IS 3	$IS = \frac{X_1 - X_2}{(X_1 + X_2) \times \frac{1}{2}} \times 100$	Valors pròxims a 0 indiquen simetria. Els signes (+) i (-) indiquen quina és l'extremitat amb valor major.	White (1999) Stacoff (2005) Stacoff (2007) Robinson (1987) Herzog (1989) Becker (1995) Hsu Liu (1989) White (1999) Bennell (1999) Karamandis (2003)	Utilitzat sobretot en marxa i cursa
IS 4	$IS = \frac{X_1 - X_2}{X_1 + X_2} \times 100$	Valors pròxims a 0 indiquen simetria. Els signes (+) i (-) indiquen quina és l'extremitat amb valor major.	Smak (1999) Maines i Reiser (2005)	
Diferència aritmètica	$D = X_1 - X_2$	Valors pròxims a 0 indiquen poca diferència.	Maupas (2002) McCurdy i Langford (2005)	
IS 5	$IS = \frac{X_1}{X_2} - 1$	Els valors de l'índex no són en percentatge i es mouen entorn el 0	Hunt (2004)	El valor de l'índex no és el mateix si el divisor canvia de X_1 a X_2 .
IS 6	$IS = (1 - \frac{X_1}{X_2}) \times 100$	Valors pròxims a 0 indiquen simetria.	Schiltz (2009)	El valor de l'índex no és el mateix si el divisor canvia de X_1 a X_2 .

Nomenclatura: X és la variable que es compara i els subíndexs 1 i 2 són cadascuna de les extremitats.

Més recentment, s'estan utilitzant exercicis de cadena cinètica tancada per a la detecció d'asimetries. Cal destacar la utilització del salt vertical unipodal per tal de comparar els efectes de la rehabilitació després de la ruptura del lligament creuat anterior (Barber, 1990; Reid, 2007), tot i que també s'ha utilitzat el drop jump unilateral per determinar l'asimetria de força explosiva en jugadors de bàsquet (Schiltz, 2009) i el salt horitzontal unilateral per determinar deficiències en genolls amb ruptura de lligament creuat anterior (O'Donell, 2006).

S'ha observat que l'alçada del salt vertical a una cama té una bona correlació amb la valoració isocinètica de la força dels extensors del genoll (Valdes, 2001). Això suposa una avantatge respecte dels exercicis avaluats mitjançant màquines isocinètiques, ja que són moviments més específics i es poden dur a terme sense tenir un equipament tant sofisticat. Maulder i Cronin (2005) comparen diversos salts unilaterals en una mostra de 18 subjectes i observen que el salt vertical és més sensible per determinar asimetria de forces entre extremitats.

Alkjaer i col·laboradors (2002) utilitzen el lunge (o titora endavant) per detectar deficiències en el lligament creuat anterior. Loudon i col·laboradors (2002) també utilitzen el lunge en les seves valoracions i segons ells és un bon exercici per determinar l'asimetria en el dolor en pacients que pateixen tendinitis femororotuliana.

McCurdy i Langford (2005) utilitzen l'squat unilateral per determinar diferències en la força màxima (test de repetició màxima o1RM) entre la cama dominant i la no dominant en persones sanes.

Els exercicis monopodals són una bona eina per avaluar funcionalment l'asimetria entre extremitats, però no representen al 100% un moviment bipodal. S'ha observat que quan es realitza una valoració amb una sola cama, la suma del valor de les dues cames per separat és major que la avaluada amb les dues cames al mateix temps. És l'anomenat dèficit bilateral (Bobbert, 2006). A més a més, la falta d'equilibri pot condicionar la bona execució de l'exercici monopodal.

Recentment, alguns autors han utilitzat el salt vertical i el mig squat amb doble recolzament per a la detecció d'asimetries:

Newton i col·laboradors (2006) avaluen l'squat paral·lel amb sobrecàrrega (80% de l'RM) i el CMJb, tant a dos peus com monopodal. Mitjançant dues plataformes de forces, una sota de cada peu, es mesura la força vertical màxima i mitjana. Observen que l'asimetria detectada mitjançant el salt vertical monopodal és també detectada amb el salt vertical a dues cames i que l'asimetria detectada en els salts, es manté en l'squat paral·lel. Els autors detecten també una correlació entre l'asimetria obtinguda mitjançant el salt

vertical i l'squat i el moment de força del quàdriceps durant la flexió en màquina isocinètica.

Menzel i col·laboradors (2006) valoren l'asimetria bilateral de l'extremitat inferior en jugadors de futbol mitjançant dues plataformes de força. El jugador es situa amb un peu sobre cada plataforma i realitza tres CMJ. Els paràmetres comparats per determinar l'asimetria són la força vertical màxima, la potència màxima i l'impuls generat durant el moviment. Segons els autors, la potència màxima i l'impuls són més fiables per a la determinació d'asimetries. En un estudi posterior, Impellizzeri i col·laboradors (2007) avaluen, mitjançant una plataforma de forces, el pic de força vertical en jugadors de futbol. Tot i que el salt es duu a terme amb doble recolzament, només una extremitat està sobre la PF. La diferència entre extremitats l'obtenen canviant la cama avaluada, començant per la cama dreta o l'esquerra de forma aleatòria. Observen que aquesta valoració és vàlida i fiable (ICC = 0.91). A més a més, obtenen una elevada correlació entre el pic de força vertical i el moment de força, durant l'extensió de la cama, en dinamòmetre isocinètic.

Bhering i col·laboradors (2007) també avaluen el salt vertical en jugadors de futbol mitjançant dues plataformes de força, una sota de cada peu. Tot i no obtenir una asimetria significativa entre l'extremitat dominant i no dominant, conclouen que el salt vertical és un mètode adequat per a la determinació de diferències laterals.

Carpes i col·laboradors (2008) analitzen la força de les cames mitjançant plantilles instrumentades en un exercici de premsa de cames. Segons els autors, els subjectes entrenats tenen una major percepció de si estan realitzant més força amb una cama que amb l'altra.

2.3. La valoració funcional en el voleibol

L'avaluació del salt vertical centra la gran part de les valoracions funcionals que es fan en el voleibol. El salt vertical és un element bàsic en el remat, el bloqueig i en alguns serveis. A més a més, en el voleibol de nivell elevat, el salt és utilitzat pels col·locadors per tal d'incrementar la velocitat del joc. És necessari doncs, que el jugador tingui ben desenvolupada la potència muscular i la força explosiva i el salt vertical és un bon test per avaluar aquestes capacitats (Bosco, 1983a; Markovic, 2004; Hespanhol, 2007; Sheppard, 2008).

També està justificada per la valoració de desplaçaments ràpids, ja que existeix una alta correlació entre les curses ràpides o sprints i els salts verticals (Cronin i Hansen, 2005; Maulder i Cronin, 2005). Els desplaçaments ràpids i curts també són característics del voleibol. Si tenim en compte que la pilota triga entre 1.2 i 1.4 s en passar d'un costat del

camp a l'altre després de ser colpejada en el servei (Fontani, 2000), llavors és necessari que els jugadors es desplacin ràpidament tant en la recepció com en els moviments defensius (bloqueig i defensa de camp). També és important que el col·locador es desplaci ràpidament per poder guanyar la posició de la pilota abans de col·locar, i que l'atacant arribi amb la màxima comoditat per poder atacar una pilota després de rebre o defensar.

El salt en els jugadors de voleibol està àmpliament documentat. En la Taula 3 es presenten els resultats de les referències consultades i que avaluen el salt vertical en jugadors masculins de voleibol.

Podem observar que la determinació del salt vertical s'ha realitzat a través de varies metodologies:

1. El Vertec (o instrument similar) és un instrument àmpliament utilitzat per entrenadors de voleibol per la seva simplicitat. Consisteix en un suport metàl·lic amb una escala composta per varetes de diferents colors que es desplacen amb la mà quan es realitza el salt. L'alçada del salt es calcula realitzant la diferència entre l'alçada obtinguda en el salt i l'abast de l'esportista. La validesa i fiabilitat del sistema, han estat demostrades (Young, 1997; Leard, 2007).

Figura 11.- Vertec



2. La plataforma de contactes (PC) també és un sistema bastant utilitzat en la valoració. La majoria d'entrenadors el fan servir per determinar l'alçada en un SJ o un CMJ, però no per un CMJb i DJb. L'alçada del salt és calculada mitjançant el temps de vol.

3. La plataforma de forces s'utilitza en menor mesura pels entrenadors, tot i que és una metodologia utilitzada en 5 de les referències citades. L'alçada del salt pot ser calculada mitjançant el temps de vol (Komi i Bosco, 1987) o a partir de la velocitat de sortida del CM .
4. La videografia és un sistema utilitzat, bàsicament, per determinar l'alçada del remat durant la competició. L'alçada es calcula mitjançant la diferència de posicions del CM en el moment de la sortida del salt i el punt més alt del vol. Hem de tenir en compte que l'alçada del salt quan hi ha la presència de pilota no és tan alta com quan es realitza una valoració física (Coleman, 1993; Gutiérrez, 1992).

Només s'ha trobat un article en la bibliografia que avalua l'asimetria de forces entre extremitats durant un CMJb i un DJb (Lawson, 2006). L'objectiu d'aquest estudi va ser el de determinar diferències entre la primera i la segona cama de recolzament en un remat de voleibol, tant durant un DJb, com en un CMJb. Per dur a terme l'estudi van utilitzar dues plataformes de forces, una sota de cada peu, i un sistema òptic d'anàlisi 3D. Els autors no observen que existeixi asimetria en el pic de força vertical de les extremitats en cap dels dos salts, però detecten una diferència significativa en la força mitjana realitzada, així com en alguns paràmetres cinemàtics, entre la primera i la segona cama de recolzament en el DJb. Wagner i col·laboradors (2009) corroboren mitjançant paràmetres cinemàtics aquesta asimetria. Sembla lògic que existeixin diferències entre les dues extremitats si tenim en compte que la primera cama es recolza durant uns 800 ms i la segona uns 400 ms.

Taula 3.- Resultats dels salts verticals en jugadors masculins de voleibol.

Autor	# / Subjectes	SJ (cm)	CMJ	CMJb	DJb	Sistema utilitzat	Càlcul
Bobbert (1996)	6 / Divisió Honor	44.7 ± 4.2	48.1 ± 3.6			3D	Diferència CM la sortida i CM màx vol
Bosco (1983b)	12 / Selecció Nacional Italiana	37.4 ± 2.7	44.0 ± 2.6			Plataforma contactes	Temps de vol
Carvalho (2007)	10 / Selecció Nacional Portuguesa	41.1	43.5	68.8		Plataforma contactes	Temps de vol
Ciccarone (2005)*	42 / juniors Selecció Italiana	37.8 ± 3.8	42.5 ± 3.9	49.9 ± 4.9		Plataforma contactes	Temps de vol
Ciccarone (2008)*	36 / Lliga A i B Italiana	40.3 ± 3.1	45.7 ± 3.4	54.1 ± 4.3	74.1 ± 5.8	Vertec	Diferència CM la sortida i CM màx vol
Coleman (1993)	10 / nivell internacional i Universitada				74.1 ± 5.8	Vertec	Diferència abast i distancia de salt
Ferragut (2002)	21 / Divisió Honor i 1ª Divisió Espanyola	37.4	37.6		62 ± 2	3D Durant la competició	Diferència CM la sortida i CM màx vol
Gabbetti i Georgieff (2007)	14 / Nacionals Júnior			54.6 ± 2.2c	65.8 3.7	Plataforma forces Yardstick (Similar a Vertec)	Velocitat de sortida Diferència abast i distancia de salt i.
Gutiérrez (1992)*	7 / Selecció Nacional Espanya				66.7 ± 12.2	3D	Diferència CM la sortida i CM màx vol
Hasson (2002)	11 / NCAA Divisió I			70.1 ± 5.5	85.9 ± 8.1	Vertec	Diferència abast i distancia de salt
Hespanhol (2007)	10 /jugadors experimentats		47.0 ± 3.7			Plataforma contactes	Temps de vol

Valors de salt en cm.

3D = videografia tridimensional; 2D = Videografia bidimensional.

* Referències que citen el moment de la temporada en el que s'ha efectuat el test. Explicació en el document, pàgines 84 – 85.

Autor	# / Subjectes	SJ (cm)	CMJ	CMJb	DJb	Sistema utilitzat	Càlcul
Komi i Bosco (1978)	16 / Selecció Nacional Finesa	37.2 ± 3.7	43.4 ± 5.2			Plataforma forces	Temps de vol
Kuhlmann (2007)*	10 / Lliga Europea				63.7 ± 4.0	3D Durant la competició	
Lawson (2006)	11 / Jugadors recreacionals			56.4 ± 8.2	59.8 ± 8.0	Vertec	Diferència abast i distància de salt
Lian (2003)*	47 / Nivell elit	36.0 ± 4.0 36.2 ± 5.8	41.3 ± 6.5 40.3 ± 4.1			Plataforma contactes	Temps de vol
Mc Grow (1990)*	8 / Equip Olímpic USA 1984				83.6 ± 5.5 (1982) 93.6 ± 6.1 (1984)	Desconegut	
Marques (2004)*	11 / Jugadors elit		46.3 ± 4.7 49.1 ± 5.9			Plataforma contactes	Temps de vol
Marques (2009)*	35 / Jugadors professionals		41.9 ± 2.6 Op 42.9 ± 5.4 C 44.4 ± 1.0 L 46.7 ± 4.3 R 47.0 ± 3.4 Co			Plataforma contactes	Temps de vol
Newton (1999)*	16 / NCAA Divisió I			68.1 ± 7.0 71.5 ± 4.6	80.4 ± 6.2 83.0 ± 7.2	Vertec	Diferència abast i distància de salt
Oddsson i Thorstenson (1992)	12 / competidors elit	44.0 ± 3.0	51.0 ± 5.0			Plataforma Forces	Velocitat de sortida
Ravn (1999)	3 / Jugadors elit	33.7 ± 1.5	36.7 ± 2.5		52.0 ± 10.4	2D	Velocitat de sortida
Shan (2000)	5 / Jugadors Xinesos professionals			59.3 ± 3.3		Plataforma Forces	Desconegut

Valors en cm.

Op = oposat; C = Central; L = Liberos; P = Punters; R = receptors; Co = Col·locadors; 3D = videografia tridimensional; 2D = Videografia bidimensional.

* Referències que citen el moment de la temporada en el que s'ha efectuat el test. Explicació en el document, pàgines 84 – 85.

Autor	# / Subjectes	SJ (cm)	CMJ	CMJb	DJb	Sistema utilitzat	Càlcul
Sheppard (2008)	21 / Programa Nacional 10 jugadors als JJOO			67.6 ± 2.9	85.6 ± 9.1	Yardstick	Diferència abast i distància de salt
Sheppard (2009)*	142 jugadors equips nacionals			55.9 ± 8.7 C 54.4 ± 9.4 Co 57.4 ± 9.5 P	75.1 ± 7.8 C 73.9 ± 7.8 Co 79.1 ± 9.2 P		
	Sub-19 i sub-21			52.0 ± 6.8 C 49.4 ± 7.4 Co 53.7 ± 7.9 P	72.4 ± 7.5 C 80.8 ± 6.1 Co 76.4 ± 8.6 P	Yardstick	Diferència abast i distància de salt
	Selecció Nacional			62.0 ± 7.8 C 61.5 ± 7.3 Co 65.3 ± 7.5 P	79.4 ± 6.3 C 69.1 ± 5.1 Co 84.6 ± 7.9 P		
Stanganelli (2008)*	11 7 Selecció Sub-19 Brasil	40.5 ± 1.2 42.0 ± 2.3	42.8 ± 2.5 43.7 ± 2.4			Plataforma contactes	
Tompos (2003)*	11 / Joves nivell elevat		55 ± 6.2			Vertec	
Vanrenterghem (2004)	10 / Jugadors experimentats		46.0 ± 3.0			Plataforma Forces	
Wagner (2009)	16 / lligues 1 i 2 Austràlia	44 ± 5	47 ± 5			Plataforma de forces	Velocitat de sortida
					67 ± 7	3D (amb pilota penjada)	Velocitat de sortida

Valors en cm.

Op = oposat; C = Central; L = Liberos; P = Punters; Co = Col·locadors; 3D = videografia tridimensional; 2D = Videografia bidimensional.

* Referències que citen el moment de la temporada en el que s'ha efectuat el test. Explicació en el document, pàgines 84 – 85.

3. INSTRUMENTS D'ANÀLISI PER A LA VALORACIÓ DE LA FORÇA

Hi ha varis instruments per a la mesura de la força. Alguns d'ells es caracteritzen perquè mesuren la força de manera directa, com les galgues, les màquines isocinètiques i les plataformes de força. Altres instruments i màquines pretenen avaluar la força de manera indirecta, mitjançant la utilització d'altres paràmetres. Per exemple, la plataforma de contactes s'utilitza per avaluar la força explosiva de l'extremitat inferior a partir de la mesura del temps de vol i la potència muscular a partir d'equacions. L'encoder lineal avalua el desplaçament de la barra i calcula la potència a partir de la velocitat resultant i de la quantitat de càrrega que mobilitza l'esportista. Amb les màquines de peses es pot avaluar la força màxima a partir dels test de repeticions.

Durant la part experimental d'aquesta tesi, es van fer servir els dos instruments que es detallen a continuació.

3.1. Plataforma de contactes

La plataforma de contactes consisteix en una catifa instrumentada connectada a un cronòmetre digital de $\pm 0.001s$ de precisió (Figura 12). S'utilitza per a la valoració de l'alçada en el salt vertical a partir del càlcul del temps de vol utilitzant la següent fórmula (Bosco, 1983b):

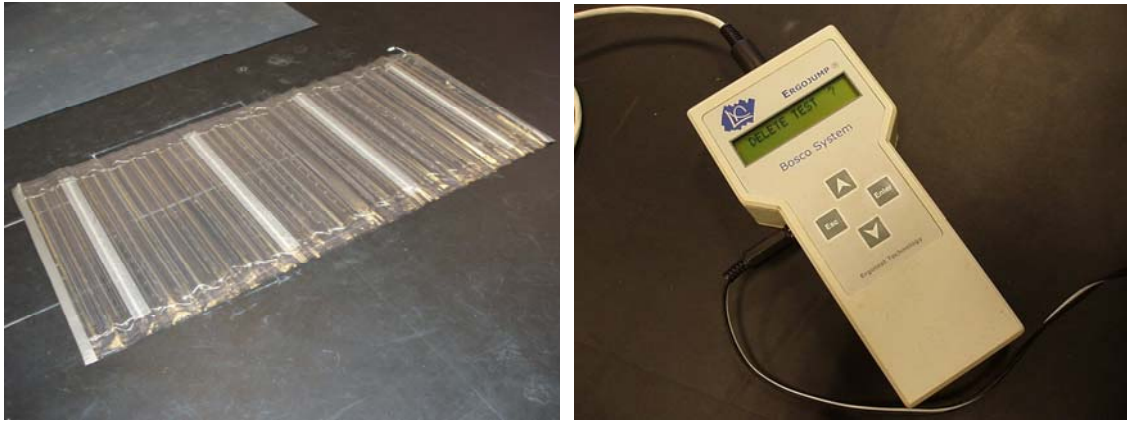
$$h_t = g \times \frac{t_v^2}{8} \quad \text{Equació 9}$$

on: h_t = alçada del salt, g = gravetat, t_v = temps de vol.

La catifa està construïda per parelles de varetes metàl·liques, paral·leles i equidistants, que funcionen per contacte; s'uneixen quan l'esportista està sobre elles i es separen en el cas contrari.

Totes les varetes estan unides a un circuit elèctric. Aquest circuit s'activa en el moment en què el subjecte es posa a sobre. El cronòmetre es posa en funcionament en l'instant que s'inicia el salt, quan es separen les varetes, i es tanca en el moment de la caiguda.

Figura 12.- Plataforma de contactes. (A) Catifa. (B) Microprocessador.



L'elevada correlació ($r = 0.88 - 0.98$) entre els resultats dels salts en dues sessions diferents, fan que aquest sistema es consideri fiable per a la mesura de l'alçada dels salts (Markovic, 2004; Szmuchrowski, 2007; Slinde, 2008; Moir, 2008a).

L'alçada del salt obtinguda a través del temps de vol produeix un error de mesura petit quan és comparat amb l'anàlisi de vídeo (Komi i Bosco, 1978). S'ha trobat que la correlació entre aquest dos sistemes és elevada ($r = 0.967$; $p < 0.01$) (Leard, 2007).

També s'ha detectat una bona correlació entre la PC i la PF quan l'alçada del salt vertical s'avalua mitjançant el temps de vol ($r = 0.84 - 0.984$; García-López, 2005; Maulder i Cronin, 2005; Szmuchrowski, 2007; Roig, 2008) indicant que és un mètode vàlid (Markovic, 2004).

És apropiat, tant en dones com en homes, utilitzar el millor salt quan s'han fet varies mesures (Moir, 2008a).

No obstant, s'ha d'anar en compte quan es comparen alçades amb el temps de vol pres mitjançant diverses metodologies. García-López i col·laboradors (2005) han observat que la PC sobreestima en 9.2 ms el temps de vol respecte del calculat mitjançant la PF. Això està recolzat per estudis d'altres autors (Lara, 2006b; Moir, 2008b; Roig, 2008). A més a més, Leard i col·laboradors (2007), tot i no obtenir diferències significatives entre els resultats, obtenen que el valor del salt és major en la PC que en la videografia (44.2 vs. 43.8 cm).

3.2. Plataforma de forces

La plataforma de forces és una superfície rectangular que mesura les forces de reacció del cos que s'hi recolza o del moviment que s'hi efectua a sobre.

El funcionament de les plataformes pot ser bàsicament de dos tipus:

- Mitjançant galgues extensiomètriques que detecten la pressió i capturen la deformació que es produeix en elles.
- Mitjançant sensors piezoelèctrics funcionen amb la propietat de certs cristalls que es carreguen elèctricament quan s'hi aplica una càrrega mecànica. Aquesta càrrega elèctrica és directament proporcional a la força que actua sobre el cristall (<http://www.kistler.com>)

Qualsevol força que s'apliqui sobre la plataforma produirà una senyal proporcional en cadascun dels sensors. Aquesta senyal serà amplificada electrònicament i convertida en valors de força quan s'aplica el coeficient de calibració corresponent a cadascun dels eixos. Cada sensor de mesura està associat a un canal, i la combinació dels diferents canals permet obtenir la força en els tres eixos: vertical, medial, anteroposterior.

Són instruments força sensibles, que permeten identificar forces dins d'un rang d'entre -10 kN i 20 kN, segons la plataforma.

Per tal d'aconseguir una mesura fiable és necessari que les plataformes estiguin ben muntades i fixades al terra, i per això, s'han de seguir diverses especificacions tècniques. Per evitar la influència de vibracions externes (màquines, moviment a l'entorn, cops al terra...) és recomanable aïllar les plataformes amb un encofrat de formigó. Per evitar vibracions internes, i que la plataforma mesuri amb la seva freqüència natural, s'han de fixar les plataformes en un bloc amb una massa 10 vegades superior. Les plataformes també han de quedar aïllades del terra pels laterals, assegurant que qualsevol registre de força obtingut pertany a la plataforma.

S'han seguit les recomanacions de Kistler (Kistler Instruction Manual⁵) per soterrar les plataformes de forces utilitzades en la part experimental d'aquesta tesi doctoral (Figura 13).

Les plataformes de força s'han estat utilitzat en l'estudi de la biomecànica des de fa ja diversos anys. La primera plataforma de forces coneguda va ser descrita per Marey

⁵ Kistler. Instruction Manual. Installation and Maintenance of all Types of Force Plates for Biomechanics. B06.017e - 01.99. Switzerland.

(1895) i els primers estudis sobre locomoció daten de la segona meitat del segle XX (Cavagna, 1975). Però les plataformes també s'han utilitzat per avaluar altres gestos com els salts verticals i els squats.

Sovint s'utilitzen combinant-les amb sistemes d'anàlisi del moviment per vídeo (Aragón-Vargas, 2000).

Figura 13-. Procés per soterrar les plataformes.



Es realitza un encofrat d'aproximadament 1m de profunditat i ple de formigó. En aquest formigó s'hi fixa una estructura de ferro anivellada que servirà per collar les plataformes. Les plataformes s'uneixen a l'estructura mitjançant cargols

3.2.1. Fiabilitat i validesa de l'instrument

S'ha observat que la plataforma de forces és un mètode fiable per a la detecció de la força.

Harman i col·laboradors (1990) avaluen la fiabilitat de la PF durant l'execució de diversos tipus de salts (SJ, CMJ i CMJb) i obtenen una elevada correlació en el valor de la força entre dues sessions ($r_{SJ} = 0.977$, $r_{CMJ} = 0.986$; $r_{CMJb} = 0.983$). En un estudi posterior, Cordova i Armstrong (1996) avaluen la fiabilitat durant l'execució del salt vertical unilateral i obtenen un coeficient de correlació entre sessions de 0.97, indicant que aquesta mesura és estable durant el temps i suggereixen que el pic de força vertical és un bon indicador de la força i funcionalitat de l'extremitat inferior. Els resultats d'Stearne i col·laboradors (2004) van en la mateixa línia, ja que obtenen una correlació de moderada a alta en el pic de força vertical durant l'execució de 5 tasques dinàmiques.

No està tant clar, però, que el valor de l'impuls es repeteixi entre sessions. Mentre Cordova i Armstrong (1996) obtenen una correlació test-retest baixa ($r = 0.22$), Harman i col·laboradors (1990) obtenen una correlació elevada entre sessions per als tres tipus de salt ($r_{SJ} = 0.994$, $r_{CMJ} = 0.995$; $r_{CMJb} = 0.996$).

Aragón-Vargas (2000) determina que la PF és un instrument fiable per a la valoració de l'alçada del salt ja que obtenen una correlació de 0.986 entre 5 CMJ efectuats en una mateixa sessió. En un estudi recent, Moir i col·laboradors (2009), confirmen aquesta fiabilitat.

Les plataformes de forces també són un instrument vàlid per a la mesura del salt vertical. S'ha observat una elevada correlació ($r = 0.88 - 0.924$) amb la videografia en dues (2D) i tres dimensions (3D) (Adamec, 1998; Aragón-Vargas, 2000).

3.2.2. Mètodes per al càlcul de l'alçada del salt

Quan es realitza un salt vertical sobre de la plataforma, l'alçada del salt pot ser calculada de tres maneres diferents:

1. Mitjançant el temps de vol: igual que en la PC, es pot calcular l'alçada del salt identificant en la corba de força el moment d'enlairament i el moment de caiguda. S'aplica també l'Equació 9.
2. Mitjançant la velocitat de sortida del CM en el moment del salt (h_v). També és anomenat mètode de l'impuls (Linthorne, 2001) o mètode de la integració numèrica (Kibele, 1998).

Per arribar a obtenir la velocitat s'han de processar les dades de la força vertical seguint els següents passos:

- A partir de les dades de la força vertical i de la massa del subjecte, podem calcular l'acceleració del moviment.

$$a = \frac{Fz}{m} \quad \text{Equació 10}$$

- Integrant els valors de l'acceleració en el temps som capaços d'obtenir els valors de velocitat.

$$v = \int a \times dt \quad \text{Equació 11}$$

- Aleshores és possible calcular l'alçada del salt aplicant l'Equació 12.

$$h_v = \frac{v_s^2}{2g} \quad \text{Equació 12}$$

on: v_s = velocitat en l'instant de sortida.

3. Mitjançant el desplaçament del CM (h_x). Linthorne (2001) l'anomena mètode del treball – energia i Lara i col·laboradors (2006b) de la doble integració.

Com en el punt anterior, s'ha d'obtenir el valor de la velocitat a partir de les dades de força de la plataforma. Aleshores, el desplaçament (x) del CM s'obté integrant els valors de velocitat en el temps (Equació 13) i l'alçada del salt correspondrà a la diferència entre l'alçada màxima (x_{\max}) aconseguida i l'alçada en el moment de la sortida (d_s) (Equació 14).

$$x = \int v \times dt \quad \text{Equació 13}$$

$$h_x = x_{\max} - d_s \quad \text{Equació 14}$$

3.2.3. Comparació dels mètodes

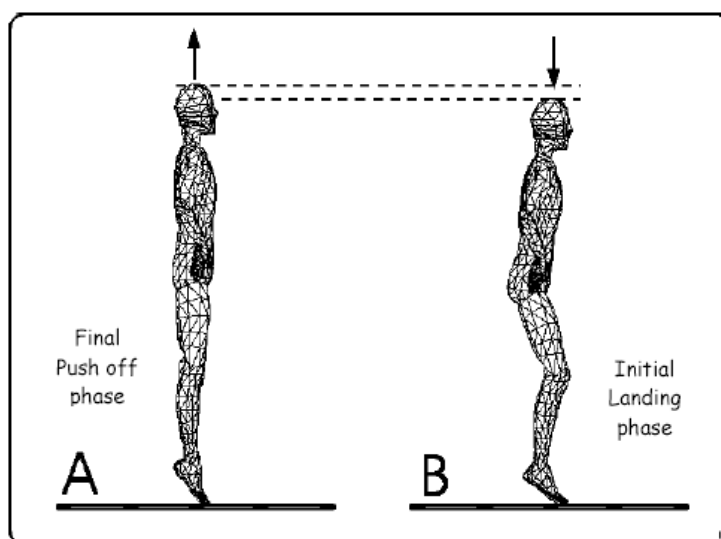
De les tres metodologies presentades, la més senzilla és la del càlcul de l'alçada mitjançant el temps de vol. És la que necessita menys processat i la que permet donar els resultats de forma més ràpida.

No obstant, el valor del salt mesurat amb el temps de vol és més elevat que el calculat mitjançant la velocitat de sortida del CM (Hatze, 1998; Kibele, 1998; Aragón-Vargas, 2000; Moir, 2008b). Quan es calcula l'alçada del salt mitjançant el temps de vol es parteix de la base que la posició en l'enlairament és la mateixa que en la caiguda (Bosco, 1983a) i això no és així (Aguado i González, 1995; Kibele, 1998; Hatze, 1998; Aragón-Vargas, 2000) (Figura 14). Durant l'enlairament tant genolls, com turmells, com malucs estan completament estirats, mentre que en la caiguda estan lleugerament flexionats.

Varis autors suggereixen caure amb les cames i el maluc en extensió per obtenir una mesura més precisa (Bosco, 1994; Markovic, 2004), però això incrementa l'impacte que la caiguda té sobre les articulacions (Briner i Kacmar, 1997).

L'alçada del salt mitjançant el desplaçament del CM s'ha utilitzat en varies ocasions (Lara, 2006a; Lara, 2006b; Canavan i Vescovi, 2004; William, 2008), però no s'han trobat articles que comparin aquest mètode de mesura amb els altres.

Figura 14.- Diferència entre la posició d'enlairament i la posició de caiguda en un salt vertical (Aguado i González, 1995)



La videografia també utilitza el desplaçament del CM per calcular l'alçada del salt (Aragón-Vargas, 1997a i 1997b; Adamec, 1998; Kibele, 1998). Varis autors, han observat que l'alçada obtinguda per la videografia és superior a l'obtinguda mitjançant la PF (Adamec, 1998; Kibele, 1998; Aragón-Vargas, 2000). Kibele (1998) ho atribueix, en part, a la manera de calcular el CM, que pressuposa que el tronc és un segment rígid.

Per aquest mateix autor (Kibele, 1998), l'alçada del salt es calcula realitzant la diferència entre l'alçada màxima, aconseguida en la fase de vol, i l'alçada del CM en el moment de la sortida (Equació 14), mentre que altres autors calculen l'alçada del salt realitzant la diferència entre l'alçada màxima i la posició del CM en la posició dempeus (Aragón-Vargas i Gross, 1997a i 1997b; Aragón-Vargas, 2000; Moir, 2008b). William (2008) les diferencia anomenant-les alçada de vol i alçada de salt, respectivament. Aquestes dues alçades són significativament diferents (Moir, 2008b). Segons Aragón-Vargas (2000), l'alçada de sortida (diferència entre posició del CM en el moment de la sortida i la posició dempeus) és d'uns 15.9 ± 0.7 cm i és molt similar en tots els subjectes.

3.2.4. Possibles errors en la determinació del salt vertical mitjançant el mètode la velocitat de sortida.

El primer que s'ha de tenir en compte per tal de minimitzar els possibles errors en l'obtenció de l'alçada del salt i les variables d'interès és determinar la freqüència de registre. Segons Street i col·laboradors (2001), freqüències de registre per sota de 1080 Hz sobreestimen l'alçada del salt. L'error és més gran com més baixa és la freqüència, i és mínim (0.1 %) quan aquesta és de 1000 Hz.

Un cop s'ha fet el registre de les dades, una altra possible font d'error per a la determinació correcta del salt vertical és el filtrat. Street i col·laboradors (2001) apliquen un filtrat Butterworth low-pass de segon ordre a diferents freqüències i observen que a freqüències baixes (6 Hz) es subestima l'alçada del salt entre un rang del 26-30%. Com més alta és la freqüència, menor l'error. Les freqüències que estan entre 27 i 130 Hz subestimen el resultat per sota de l'1.2 %.

A partir de les dades de força i de temps és possible determinar, mitjançant la integració numèrica, els valors de velocitat i de desplaçament (Equació 11 i Equació 13). Aquest mètode suposa un error sistemàtic molt petit ($\leq 0.3\%$) (Street, 2001). Tant Street i col·laboradors (2001), com Kibele (1998) recomanen la utilització de la integració per calcular tant l'alçada del salt, com la velocitat i desplaçament.

Prèviament a la integració, és necessari saber el pes del subjecte. Aquest es pot obtenir abans del registre mitjançant un pesatge en una bàscula, o es pot determinar a partir de la corba de força – temps calculant la diferència entre el nivell de força inicial i el nivell de força durant la fase de vol (Kibele, 1998; Street, 2001). D'aquesta manera es té el pes en les condicions en les que s'està efectuant el test (es té en compte el pes de la roba, el calçat i qualsevol sobrecàrrega que pugui existir). Segons Kibele (1998) el pes del subjecte varia molt poc entre intent i intent ($< 1\%$), tot i que l'error és major en l'SJ que en el CMJ.

Un altre error que es pot cometre és el de no identificar correctament el moment de l'inici del moviment, de l'enlairament i/o de l'instant de caiguda del salt. Kibele (1998) identifiquen un error menor o igual al 2 % quan el moment del salt és incorrecte, mentre que per Hatze (1998) aquest error és del 0.41 %. La precisió de detectar l'inici del moviment és menor que la de detectar l'enlairament (Hatze, 1998; Kibele 1998). Street i col·laboradors (2001) escullen diversos llindars de força a partir del qual es determina l'instant d'inici del salt. Quan aquest llindar és de 2 N l'error que es produeix és del 0.3 %, mentre que quan el llindar és de 10 N l'error s'amplia fins l'1.5 %. En tots els casos es sobreestima el valor del salt.

Per tal d'obtenir una mesura del salt acurada i disminuir al màxim els errors és necessari doncs tenir en compte les condicions esmentades.

3.2.5. *Variables cinètiques i cinemàtiques relacionades amb l'alçada del salt i la funcionalitat del moviment.*

A partir de la corba força – temps enregistrada per la PF és possible determinar altres variables com la velocitat el desplaçament i la potència.

Quan s'analitzen individualment aquestes corbes es pot observar que segueixen un patró similar i que se'n poden extreure paràmetres concrets. Aquests paràmetres estan descrits en l'Annex 1.

Varis autors han observat que el factor que major correlació presenta amb l'alçada del salt és el **pic de potència màxima** (P_{\max}) ($r = 0.93$; $p < 0.01$) (Dowling i Vamos, 1993; Aragón-Vargas i Gross, 1997a i 1997b; Lara, 2006b), mentre que la **potència mitjana positiva** (P_{av}) presenta una correlació moderada amb l'alçada del salt ($r = 0.54$; $p < 0.01$) (Harman, 1990).

El **temps de potència màxima** també presenta una correlació moderada però significativa amb l'alçada del salt ($r = 0.68$; $p < 0.01$) (Harman, 1990). Lara i col·laboradors (2004) han observat que en jugadores de voleibol el pic de potència es dona en diferents moments en funció del salt, donant-se en el 86% del temps d'impulsió en el CMJb, en el 68% del temps en el CMJ i en el 75% del temps en l'SJ. També s'ha observat que l'alçada presenta una correlació moderada i significativa amb el **temps entre el pic de potència i el moment de l'enlairament** (t_{PF}) ($r = -0.41$; $p < 0.01$) (Dowling i Vamos, 1993)

La **força màxima** mostra una correlació moderada però significativa amb l'alçada del salt ($r = 0.49 - 0.52$; $p < 0.01$) (Harman, 1990; Dowling i Vamos, 1993). Si tenim en compte que aquest factor presenta una correlació test-retest elevada ($r = 0.94$), aleshores es pot considerar un bon indicador de la força muscular i pot ajudar a predir el rendiment funcional de l'extremitat inferior (Cordova i Armstrong, 1996).

Pel que fa a les variables derivades de l'impuls, Harman i col·laboradors (1990) obtenen una correlació elevada per a l'**impuls total** (I_t) ($r = 0.83$; $p < 0.001$), però moderada per a l'**impuls positiu** ($r = 0.51$; $p < 0.001$). Dowling i Vamos (1993) obté una correlació moderada ($r = -0.51$) en el **ratio entre l'impuls negatiu i positiu**⁶ (r). Com menor és aquest ratio, major és l'alçada del salt, amb el ratio òptim entorn el valor 0.27.

⁶ Ratio entre l'impuls negatiu i positiu (r): quocient entre l'impuls negatiu de descens i l'impuls positiu. Veure annex 1 per al càlcul.

Hochmuth (1973) descriu el **coeficient d'impuls**⁷. El valor òptim del coeficient ha d'estar entre 0.3 i 0.4.

Innocenti i col·laboradors (2006) generen un **ratio de consum energètic**⁸ (k), relacionant l'impuls negatiu de descens amb l'impuls de frenada. Aquest ratio mostra un coeficient de correlació intracicle de 0.89. Valors elevats de k indiquen una elevada contracció o poca relaxació muscular, mentre que valors baixos de k s'obtenen quan la fase de contracció és més baixa que la fase de relaxació.

Segons Kibele (1998) l'**amplitud del contramoviment** (d_{cm}), és a dir, el desplaçament del CM entre la posició dempeus i el moment de màxima flexió de cames, també és un indicador de rendiment. Segons l'autor, un contramoviment elevat sembla ser més beneficiós que un contramoviment curt. Gajewski i Wit (1998) observen que el contramoviment i la massa muscular expliquen casi el 90% de la variació en la potència màxima, però que l'alçada del salt no en depèn.

Per avaluar quantitativament el comportament del pre-estiament muscular s'ha fet servir el **temps d'estirament** (t_{st}) i la **distància d'estirament** (d_{st}) (Kibele, 1998). Ambdós fan referència a la fase existent entre la velocitat mínima de desplaçament i el moment de màxima flexió de cames, és a dir, a la fase d'impuls de frenada.

⁷ Coeficient d'impuls (λ): quocient entre l'impuls de frenada i l'impuls d'acceleració. Veure l'annex 1 per al càlcul.

⁸ Ratio de consum energètic (k): quocient entre l'impuls negatiu de descens i l'impuls de frenada. Veure annex 1 per al càlcul.

PART EXPERIMENTAL

4. ESTUDI 1: Valoració del salt vertical en jugadors voleibol. Seguiment de tres temporades d'un equip d'alt nivell.

4.1. Introducció

El salt vertical és una acció que està present en el voleibol. Forma part de la tècnica de remat, de bloqueig i dels serveis amb salt (tant el de potència, com el flotant). També és utilitzat per col·locadors per tal d'anticipar el contacte amb la pilota i incrementar la velocitat del joc. En el remat i el servei de potència, el salt s'efectua amb una carrera d'aproximació prèvia i amb un moviment de braços endavant i endarrera. En el bloqueig trobem dos tipus de salts, aquells acompanyats d'un desplaçament amb pas lateral o creuat i aquells sense desplaçament. En el bloqueig l'acció de braços està limitada a causa de la proximitat amb la xarxa; en els bloqueig sense desplaçament la posició inicial de les mans és a l'alçada del pit i des d'aquí es mouen enèrgicament amunt. Durant la col·locació, el salt s'efectua després d'un desplaçament que serveix per posicionar-se respecte de la pilota. Els braços contribueixen poc a la realització del salt, ja que estan preparats per realitzar el toc de dits.

El salt vertical és avaluat de manera quotidiana pels entrenadors de voleibol, ja que és considerat un indicador de rendiment (Sheppard, 2008); s'ha observat que avaluar el salt vertical és una manera d'avaluar indirectament la força explosiva de cames i la potència muscular (Bosco, 1994; Hespanhol 2007; Sheppard, 2008; Lara, 2006b).

En la Taula 3 (punt 2.3, pp. 55-57) es presenten els valors de diversos salts verticals (SJ, CMJ, CMJb i DJb) de jugadors masculins de voleibol. Només dos articles avaluen el salt vertical en jugadors Espanyols. Ferragut i col·laboradors (2002) avaluen l'SJ i el CMJ en 21 jugadors sènior de Divisió d'Honor i de 1ª Nacional. Gutiérrez i col·laboradors (1992) avaluen l'alçada del salt vertical durant un remat de voleibol en 7 jugadors de la Selecció Nacional.

Falta doncs informació sobre la capacitat de salt dels jugadors de voleibol Espanyols d'alt nivell. Aquests valors poden servir com a referència per a posteriors seleccions i per a altres equips de voleibol masculins.

4.2. Objectius específics

Aquest estudi té un doble objectiu:

- Avaluar l'estat físic dels jugadors de la Selecció Espanyola de Voleibol per tal d'ajudar a l'entrenador i el preparador físic en la planificació del treball de la temporada.
- Determinar l'evolució de l'alçada dels salts durant tres temporades consecutives.

4.3. Subjectes

Un equip de voleibol està compost per 12 jugadors, però quan es configura una selecció esportiva el nombre de jugadors varia en funció de cada una de les temporades i són escollits per l'entrenador corresponent. La Taula 4 mostra el nombre de subjectes que van participar cada temporada, així com l'edat i les seves característiques físiques.

Tots els jugadors van participar en aquest estudi de manera voluntària. L'estudi va tenir també el consentiment dels entrenadors corresponents i l'aprovació del Comitè d'Ètica del Consell Català de l'Esport.

Taula 4.- Nombre de jugadors, edat i característiques físiques per temporada.

	n	Edat (anys)	IMC (kg/m²)	Pes (kg)	Talla (cm)	Greix¹ (%)	Muscul² (%)
2006	23	24.6 ± 3.8	23.5 ± 1.7	88.9 ± 8.2	194.3 ± 7.7	10.3 ± 1.7	49.5 ± 1.7
2007	15	26.5 ± 4.1	23.4 ± 1.6	87.8 ± 9.9	193.3 ± 8.2	10.5 ± 2.1	49.6 ± 1.4
2008	13	26.7 ± 3.7	23.7 ± 1.7	87.2 ± 8.3	191.8 ± 7.7	10.5 ± 2.4	49.8 ± 2.4

IMC = Índex de massa corporal. (1) i (2) de Drinkwater i Ross (1980).

4.4. Material i mètode

4.4.1. Procediment

La temporada de la Selecció Nacional de voleibol comença entorn el mes de març, quan els clubs han acabat la Lliga, i finalitza a principis de setembre.

Durant els anys 2006-2008, l'equip nacional va disputar la Lliga de seleccions (Europea o Internacional). A més a més, durant la temporada 2007 va disputar la Copa d'Europa.

En aquestes tres temporades, es va dur a terme un protocol de salts verticals que va consistir en:

- Temporada 2006: la valoració es va realitzar mitjançant el RKJ i el CMJ.
- Temporades 2007 i 2008: es va portar a terme un protocol més complert que va consistir en l'SJ, el CMJ, el CMJb i el DJb.

Tots els salts han estat explicats anteriorment (punt 2.1), però estan resumits en la Taula 5. En tots ells es va deixar lliure la posició dels peus, ja que aquesta no interfereix en el resultat (Troubride, 2000).

Taula 5.- Descripció dels salts verticals realitzats

Tipus salt	Característiques	Posició inicial	Execució
Rocket Jump (RKJ)(Balsom, 1994)	Salt sense contramoviment.	Posició de squat profund amb el tronc el més vertical possible. Mans agafades a les esquenes, braços rectes.	Extensió de cames ràpida. Només les cames han de participar en l'impuls.
Squat Jump (SJ) (Bosco, 1994)	Salt sense contramoviment.	Posició de semi-squat. Genolls flexionats 90° i mans als malucs.	Després de 3 segons en semiflexió i seguint la instrucció "ja", iniciar el moviment ascendent.
Salt amb contramoviment (CMJ) Adaptat de Bosco, 1994)	Salt amb contramoviment de cames.	Des de la posició dempeus, amb les mans al maluc.	Flexió i extensió ràpida de cames. S'aconsella una flexió de genolls de 90° però es deixa escollir la flexió que es vulgui. Mans als malucs.
Salt amb contramoviment i acció de braços (CMJb)	Salt amb contramoviment de cames i moviment de braços.	Des de la posició dempeus, braços estirats al costat o davant del cos.	Els braços fan un moviment enèrgic enrere i endavant sincronitzats amb el moviment de flexió i extensió de les cames. Flexió de les cames lliure.
Salt amb batuda (DJb)	Salt amb contramoviment, acció de braços i desplaçament inicial.	Dempeus, amb els braços estirats i a una distància de 3 passos de la plataforma.	Es realitza un salt tres passos de la batuda simulant un remat de voleibol.

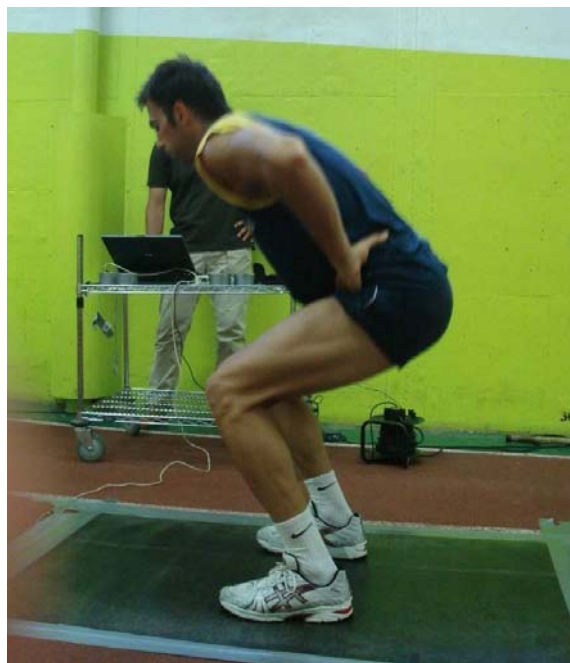
La valoració es va portar a terme la primera setmana de concentració i després d'haver disposat d'una setmana de descans. Es va realitzar durant el matí, just abans de l'entrenament de peses.

L'escalfament es va efectuar lliurement, però havia d'incloure carrera contínua, exercicis de mobilitat, estiraments dels principals grups musculars i salts submàxims. La seva durada va ser d'entre 10 i 15 minuts.

Per a la realització del protocol de test, es van formar grups de 4 o 5 jugadors. Els salts es van efectuar en forma de circuit fins a completar 3 salts de cada tipus (Figura 15). Aquesta manera d'avaluar permet la recuperació muscular completa i la preparació i disponibilitat per als salts següents, ja que el temps de pausa és d'entorn 1 minut. Al mateix temps, incrementa l'esperit competitiu i la motivació, cosa que assegura que tots els salts siguin màxims.

Tot i que Arteaga i col·laboradors (2000) hagin observat que no són necessàries sessions de familiarització per avaluar SJs i CMJs en persones actives, tots els jugadors coneixien el protocol del test i tots ells realitzen, de manera quotidiana, exercicis de salts en els entrenaments.

Figura 15.- Execució d'un CMJ per un jugador de la selecció.



L'instrument de mesura utilitzat va ser una plataforma de contactes connectada a un cronòmetre digital (precisió $\pm 0.001s$) (Ergojump System). Aquest sistema s'ha demostrat fiable per a la mesura del temps de vol (Markovic, 2004; Szmuchrowski, 2007).

4.4.2. Paràmetres de rendiment

El paràmetre de rendiment utilitzat és l'alçada del salt. Aquesta pot ser obtinguda mitjançant el temps de vol (Equació 9).

El millor dels tres salts s'utilitza per a l'anàlisi de rendiment, tal i com suggereixen Moir i col·laboradors (2008a).

La combinació dels diversos tipus de salts permet el càlcul de l'índex d'elasticitat (Equació 6), l'índex d'utilització de braços (Equació 7) i l'índex d'aproximació (Equació 8) amb els quals es poden avaluar diferents manifestacions de la força (Vittori, 1990).

4.4.3. Anàlisi estadístic

Es va calcular la mitjana i la desviació estàndard de l'equip tan per al valor de l'alçada del salt, com per als índex de rendiment. La comparació de les dades entre temporades es va realitzar mitjançant un anàlisi de la variança d'un factor (ANOVA). La comparació entre els dos tests efectuats durant l'any 2007 es va realitzar mitjançant una prova T de mesures repetides.

També es va calcular la mitjana dels salts per posicions de joc. Primer de tot, es va realitzar una mitjana de tots els salts efectuats per cada jugador, i després es va obtenir la mitjana entre tots els jugadors. Com que la mostra per posicions era molt petita, no es va poder realitzar una comparació estadística, però els resultats es van poder comparar amb altres referències bibliogràfiques.

Les dades es van analitzar estadísticament utilitzant el programa informàtic SPSS (Versió 15.0) i l'Excel (Microsoft)

4.5. Resultats

4.5.1. Comparació entre temporades

El resultat dels salts verticals de l'equip i l'evolució d'aquest al llarg de les temporades està representat en la Taula 6 i en la Figura 16. Es pot observar com tots els salts incrementen el seu resultat de temporada en temporada. L'anàlisi de la variança d'un factor mostra que la diferència en l'SJ i el DJb és significativa ($F_{SJ} = 5.4$; $F_{DJb} = 4.7$; $p < 0.05$), mentre la del CMJ i la del CMJb no ho és ($F_{CMJ} = 2.1$; $F_{CMJb} = 1.8$; $p > 0.05$).

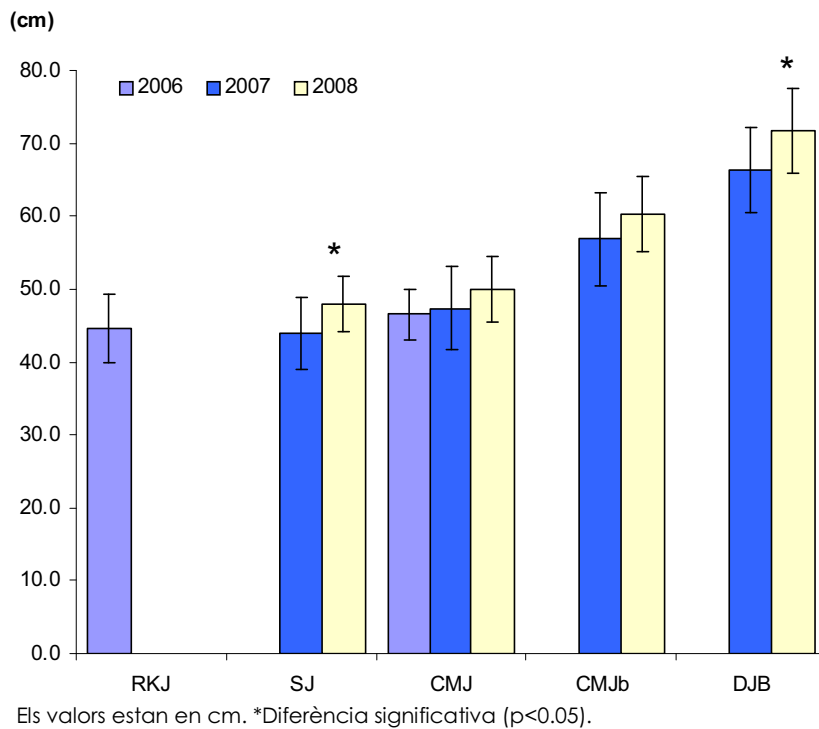
La variança dels diversos tipus de salts és estadísticament homogènia i es pot afirmar que el guany en l'alçada del salt és real (Estadístic de Levene: SJ = 0.32; CMJ = 1.28; CMJb = 0.67; DJb = 0.01; $p > 0.05$).

Taula 6.- Mitjana i desviació estàndard de l'alçada dels salts verticals.

	RKJ	SJ	CMJ	CMJb	DJB
2006	44.6 ± 4.7		46.5 ± 3.5		
2007		43.9 ± 5.0	47.3 ± 5.7	56.8 ± 6.4	66.3 ± 5.9
2008		47.9 ± 4.0	49.7 ± 4.6	59.8 ± 5.1	71.2 ± 5.8

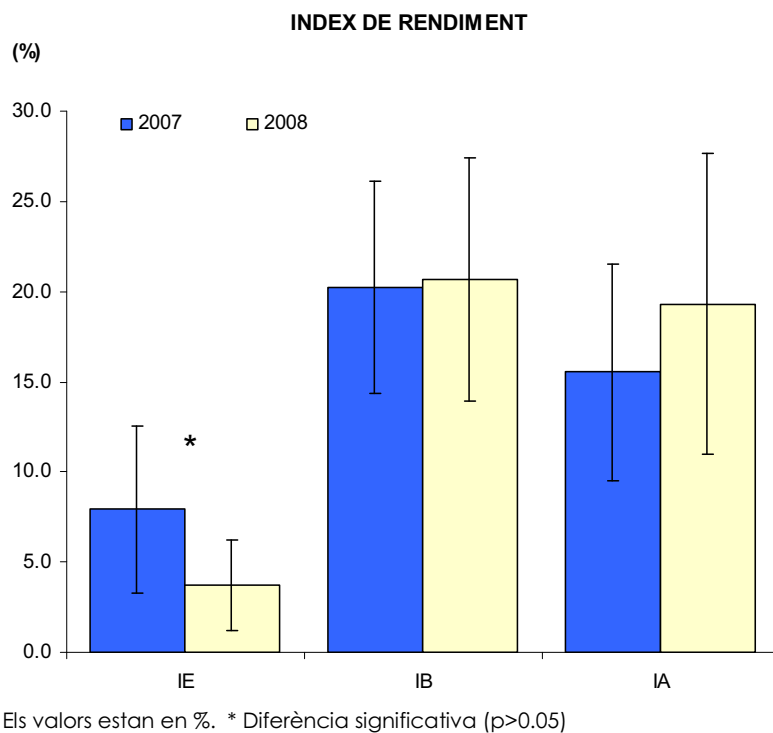
Valors en cm

Figura 16.- Mitjana i desviació estàndard de l'alçada dels salts de l'equip de cada temporada.



Els diversos índex per a l'any 2007 i el 2008 es mostren en la Figura 17 i la Taula 7. L'IE presenta una diferència estadísticament significativa del 3.6 % ($F = 8.5$; $p < 0.05$), disminuint el valor entre l'any 2007 i el 2008. Els índex d'utilització de braços i el d'aproximació mostren un increment que no és significatiu ($F_{AI} = 0.1$; $F_{Apl} = 1.8$; $p > 0.05$).

Figura 17.- Mitjana i desviació estàndard dels índex de rendiment de cada temporada.



Taula 7.- Mitjana i desviació estàndard dels índex de rendiment

	IE	IB	IA
2007	7.9 ± 4.6	20.2 ± 5.9	15.5 ± 6.0
2008	3.7 ± 2.5	20.7 ± 6.8	19.3 ± 8.4

Valors en %

A continuació, i per tenir-ne més detall, es presenten els valors dels salts de cada esportista durant les tres temporades (Taula 8, Taula 9 i Taula 10).

Taula 8.- Alçada dels salts de cada jugador en la temporada 2006.

Jugadors	RK (cm)	CMJ (cm)	IE_{RKJ} (%)
1	39.5	45.4	14.94
2	38.8	41.3	6.44
3	40.2	41.0	1.99
4	45.8	46.4	1.31
5	57.0	55.0	-3.51
6	44.2	42.9	-2.94
7	44.9	44.2	-1.56
8	43.5	44.6	2.53
9	41.6	45.5	9.38
10	44.8	47.5	6.03
11	45.6	46.0	0.88
12	46.6	48.6	4.29
13	34.7	43.0	23.92
14	50.3	51.1	1.59
15	40.7	42.3	3.93
16	49.5	48.9	-1.21
17	47.7	51.1	7.13
18	48.9	48.9	0.00
19	44.5	46.1	3.60
20	43.9	48.1	9.57
21	39.2	44.3	13.01
22	46.6	48.3	3.65
23	48.3	49.7	2.90
Mitjana	44.6	46.5	4.7
DS	4.7	3.5	6.3

Taula 9.- Alçada dels salts de cada jugador en la temporada 2007.

Jugadors	SJ (cm)		CMJ (cm)		ABK (cm)		DJB (cm)		IE (%)		IB (%)		IA (%)	
	Maig	Juliol	Maig	Juliol	Maig	Juliol	Maig	Juliol	Maig	Juliol	Maig	Juliol	Maig	Juliol
1	39,7	42,9	44,3	44,3	53,0	54,3	65,1	68,5	11,6	3,3	19,6	22,6	22,8	26,2
2	45,4	48,3	47,0	47,7	61,4	61,2	64,7	67,1	3,5	-1,2	30,6	28,3	5,4	9,6
3	45,8	44,9	46,3	48,3	57,1	58,5	65,3	69,5	1,1	7,6	23,3	21,1	14,4	18,8
4	43,8	46,0	46,1	46,1	53,8	56,0	62,4	61,8	5,3	0,2	16,7	21,5	16,0	10,4
5	41,3	44,5	47,0	47,8	55,5	58,8	67,6	73,8	13,8	7,4	18,1	23,0	21,8	25,5
6	43,6	43,9	49,2	48,1	57,6	58,1	68,0	70,6	12,8	9,6	17,1	20,8	18,1	21,5
7	41,6	42,7	43,8	42,6	51,4	52,4	57,3	53,7	5,3	-0,2	17,4	23,0	11,5	2,5
8	52,0	54,3	57,0	59,0	65,8	68,5	71,1	78,4	9,6	8,7	15,4	16,1	8,1	14,5
9	51,4	52,8	54,5	58,3	62,4	67,4	71,3	75,7	6,0	10,4	14,5	15,6	14,3	12,3
10	48,4	47,0	56,0	51,7	65,6	58,8	76,9	73,6	15,7	10,0	17,1	13,7	17,2	25,2
11	47,4	48,6	51,6	51,4	60,9	59,5	69,6	73,2	8,9	5,8	18,0	15,8	14,3	23,0
12	41,0	44,6	45,2	49,4	59,7	60,9	71,7	77,4	10,2	10,8	32,1	23,3	20,1	27,1
13	37,9		39,0		43,8		55,1		2,9		12,3		25,8	
14	45,4		46,1		58,0		62,6		1,5		25,8		7,9	
15	33,4		37,0		46,3				10,8		25,1			
16		49,5		50,5		58,3		65,6		2,0		15,4		12,5
Mirjana	43,9	46,9	47,3	49,6	56,8	59,4	66,3	69,9	7,9	5,7	20,2	20,0	15,5	17,6
DS	5,0	3,6	5,7	4,8	6,4	4,5	5,9	6,8	4,6	4,4	5,9	4,3	6,0	7,8

Taula 10.- Alçada dels salts de cada jugador en la temporada 2008.

Jugadors	SJ (cm)	CMJ (cm)	CMJb (cm)	DJB (cm)	IE (%)	IB (%)	IA (%)
1	45.1	47.4	58.1	68.5	5.1	22.6	17.9
2	41.4	43.2	56.6	61.2	4.3	31.0	8.1
3	44.9	45.1	57.8	64.2	0.4	28.2	11.1
4	46.3	48.0	56.0	64.4	3.7	16.7	15.0
5	44.5	45.7	53.2	72.1	2.7	16.4	35.5
6	46.7	48.1	57.3	68.4	3.0	19.1	19.4
7	55.6	59.8	72.3	78.6	7.6	20.9	8.7
8	52.5	52.4	67.3	74.9	-0.2	28.4	11.3
9	51.9	55.8	63.5	81.0	7.5	13.8	27.6
10	46.0	49.0	58.6	70.6	6.5	19.6	20.5
11	46.9	47.8	61.2	75.9	1.9	28.0	24.0
13	49.0	49.7	57.6	72.1	1.4	15.9	25.2
12	51.6	54.0	58.3	74.0	4.7	8.0	26.9
Mitjana	47.9	49.7	59.8	71.2	3.7	20.7	19.3
DS	4.0	4.6	5.1	5.8	2.5	6.8	8.4

4.5.2. Comparació valoracions temporada 2007

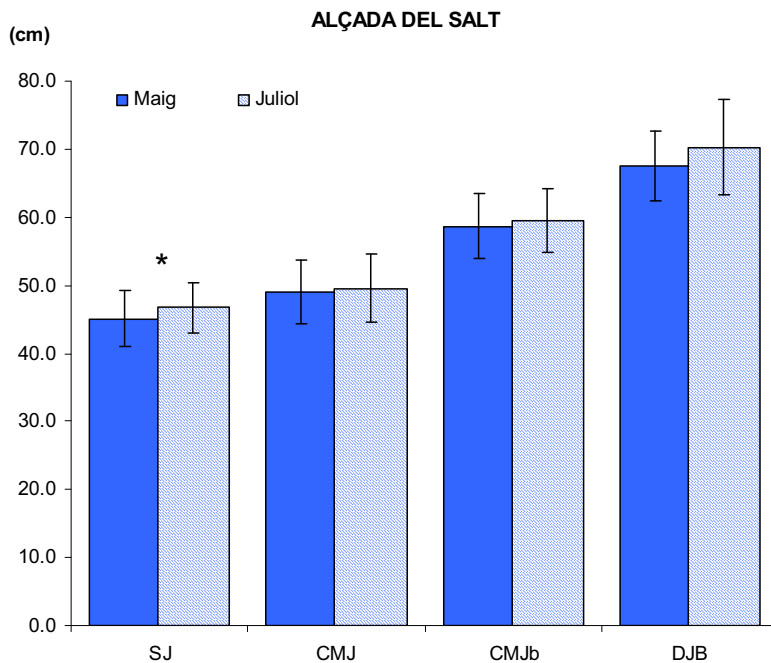
L'anàlisi de les dues avaluacions realitzades durant la temporada 2007 es va realitzar mitjançant una prova T de mesures repetides (Taula 11 i Figura 18). Degut a les lesions, tres atletes no van realitzar algun dels dos tests i van ser descartats de l'anàlisi. Els valors de l'SJ i el DJb incrementen i són significativament diferents ($T_{SJ} = -3.4$; $T_{DJB} = -2.7$; $p < 0.05$), mentre que els valors del CMJ i el CMJb incrementen amb el temps, però la seva diferència no és significativa.

Taula 11.- Mitjana i desviació estàndard de l'alçada dels salts en les dues avaluacions de la temporada 2007.

	SJ	CMJ	CMJb	DJB
Maig	45.1 ± 4.1	49.0 ± 4.6	58.7 ± 4.8	67.6 ± 5.1
Juliol	46.7 ± 3.7	49.6 ± 5.0	59.5 ± 4.7	70.3 ± 7.0

Valors en cm

Figura 18.- Mitjana i desviació estàndard del salt vertical en els dos tests efectuats durant la temporada 2007.



Els valors estan en cm. * Diferència significativa ($p > 0.05$)

4.5.3. Comparació per posicions de joc

Degut a la reduïda població de cadascuna de les posicions de joc (Taula 12) no es va poder extreure la significació estadística. No obstant, és possible observar que els líberos són els jugadors que tenen un valor de salt menor, seguit pels col·locadors que sempre presenten salts per sota de la mitjana del total de l'equip (Figura 19).

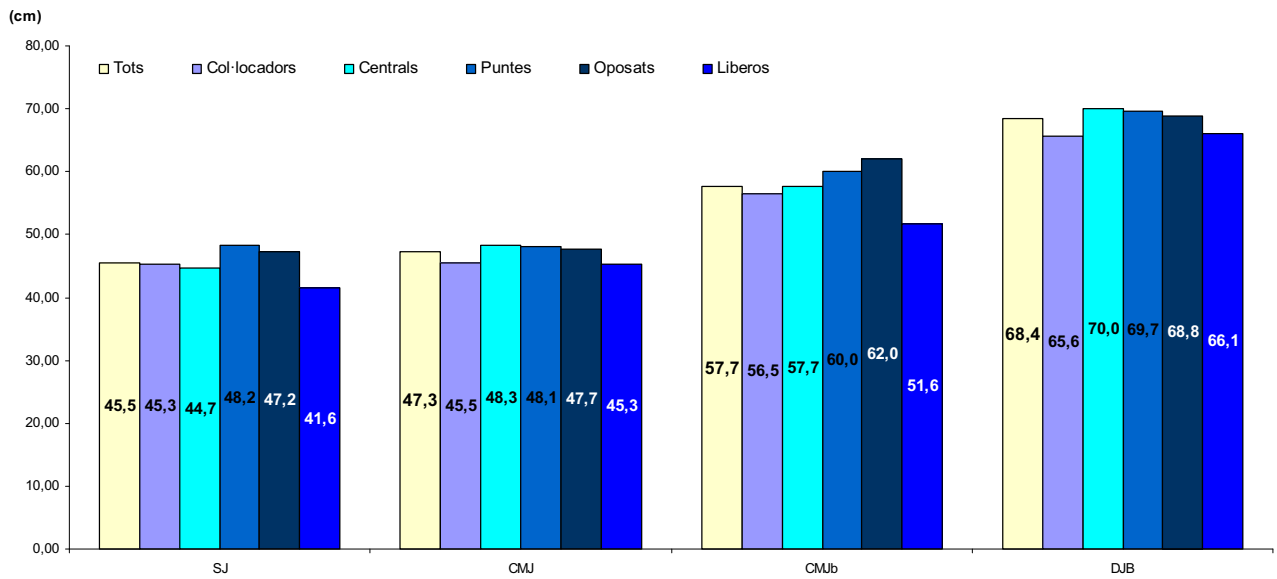
Taula 12.- Número de jugadors per posicions

Posicions	SJ	CMJ	CMJb	DJb
Col·locadors	3	4	3	3
Centrals	4	5	4	4
Receptors	4	10	4	4
Oposats	3	5	3	3
Líberos	3	4	3	1

Els jugadors centrals tenen un millor CMJ i DJb, mentre que els jugadors de punta són els més explosius i els oposats els que millor utilitzen els braços.

El DJb és el salt que presenta una major desviació estàndard ($DS = 7.35$ cm), mentre que el CMJ el que menys ($DS = 4.53$ cm), seguit de l'SJ ($DS = 4.99$ cm) i del CMJb ($DS = 5.61$ cm).

Figura 19.- Mitjana del valor de cadascun dels salts per posicions.



Els valors dels salts per posicions de durant cada temporada es presenten en les Figures 20, 21 i 22).

Figura 20.- Valor del salt per posicions durant la temporada 2006.

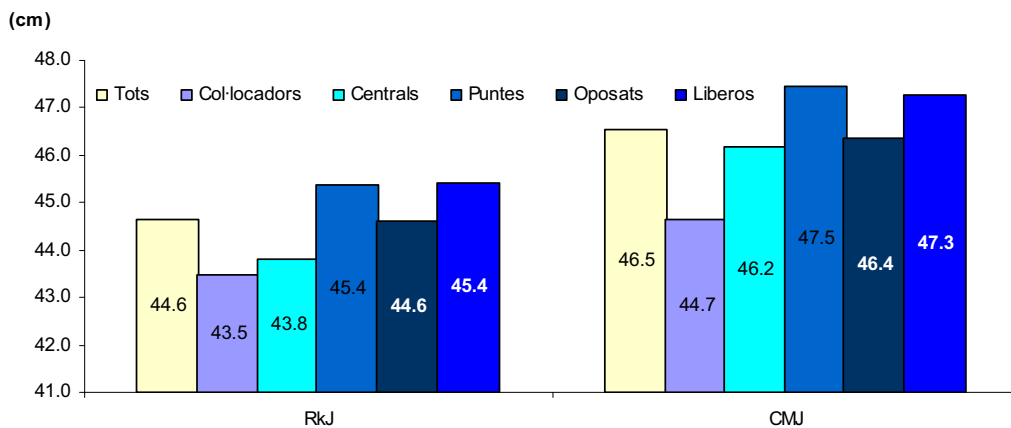


Figura 21.- Valor del salt per posicions durant la temporada 2007.

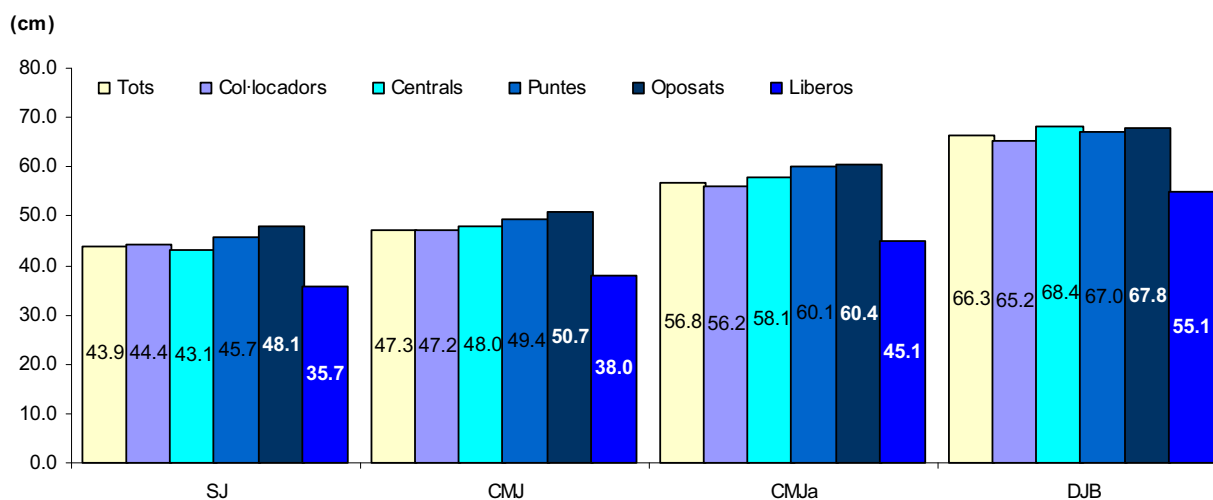
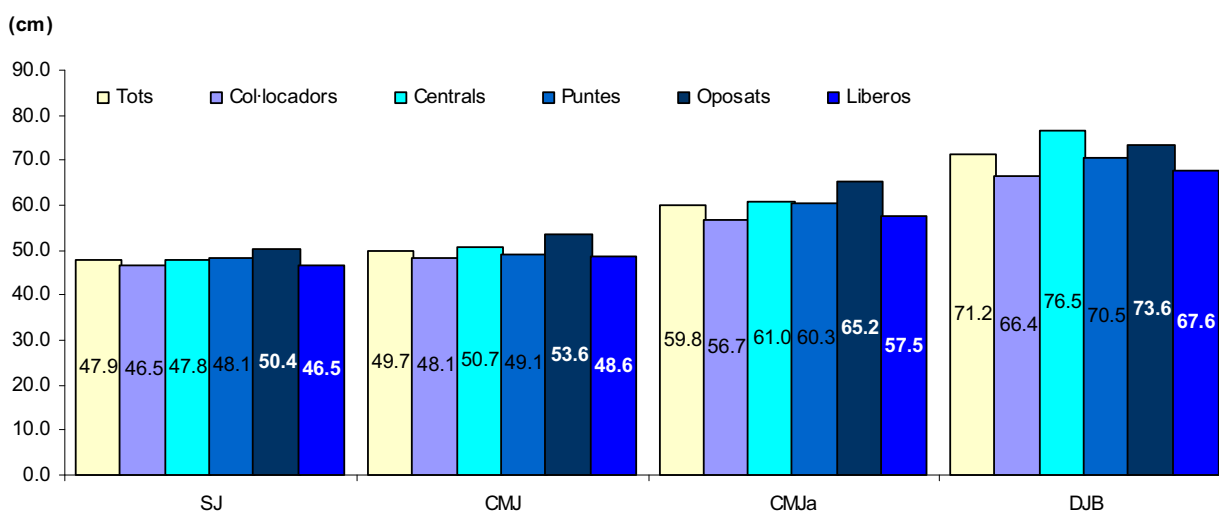


Figura 22.- Valor del salt per posicions durant la temporada 2008.



4.6. Discussió

4.6.1. En relació als subjectes d'estudi

Un equip de voleibol està compost per 12 jugadors. En el cas de la Selecció Espanyola, l'elecció dels jugadors depèn del primer entrenador i està basada en decisions de caire tècnic - estratègic (quina temporada s'està preparant, si hi ha una competició important o no, si es vol fer formació i relleu de jugadors...), del nivell de rendiment dels jugadors (estat físic i tècnic dels jugadors en aquella temporada, jugadors que més s'acoblen a les demandes de l'equip...) i de l'estat de possibles lesions (jugadors ja lesionats i lesions durant la temporada), que fan que jugadors saltin de la llista i se'n convoquin de nous.

Tot això fa que l'equip estigui format per més jugadors i que aquest número no sigui constant cada temporada. Pel que fa a les característiques físiques de la mostra, l'índex de massa corporal, el percentatge de greix i el percentatge muscular és similar en tots els anys. La principal variació està en l'edat ja que durant l'any 2006, el més allunyat de l'any Olímpic i del Mundial, els jugadors eren més joves que en les temporades següents.

4.6.2. En relació a l'evolució dels salts verticals

El RKJ i el SJ avaluen la contracció muscular concèntrica; com major és el valor del salt, major és la manifestació de la força explosiva (Vittori, 1990). El CMJ avalua tant la contracció concèntrica com l'excèntrica i el mecanisme d'estirament i escurçament muscular, que seguint la classificació de Vittori (1990) està relacionada amb la manifestació elàstic-explosiva de la força. El CMJb avalua tant la contracció excèntrica com la concèntrica, i, a més a més, la contribució del moviment de braços en el salt. En el salt amb aproximació s'activa el reflex d'estirament durant la fase excèntrica i fa possible la valoració de la manifestació reflex-elàstic-explosiva (Vittori, 1990).

Els resultats de l'avaluació mostren com l'alçada del salt millora durant les temporades. S'obté tant una millora de la força explosiva, com de la força elàstic-explosiva, la força reflex-elàstic-explosiva i es millora també la utilització dels braços en el salt.

El salt que s'aconsegueix en el CMJ és major que la que s'aconsegueix en el SJ i el RKJ (veure Taula 3, punt 2.3). Des del punt de vista fisiològic, i tal com s'ha explicat en el punt 2.1.2 (p. 39), la millora s'explica per l'emmagatzematge d'energia en el component elàstic del múscul durant la fase excèntrica (Bobbert, 1996). Una bona coordinació entre aquestes dues fases optimitza la utilització de l'energia elàstica. Des del punt de vista biomecànic, la millora s'explica per la suma de l'impuls mecànic produït en la fase excèntrica, que permet desenvolupar una major quantitat de força a l'inici de la fase concèntrica i incrementar el treball positiu (Hochmuth, 1973; Bobbert, 1996; Linthorne, 2001).

Entre les temporades 2007 i 2008 es pot observar una millora de l'alçada tant en l'SJ com el CMJ, però al mateix temps, un empitjorament de l'IE. Això fa indicar que els jugadors tenien la força explosiva millor, però la propietat elàstic-explosiva pitjor.

La millora en l'IB i l'IA indiquen un increment del valor dels salts que tenen una major relació amb els elements tècnics de l'atac i el servei (Stanganelli, 2008).

Encara que l'equip va obtenir majors valors de salt vertical en la temporada 2008, els millors resultats competitiu es van donar en el 2007, quan l'equip va guanyar per primera vegada la Copa d'Europa i va quedar en 5^a posició en la Copa del Món. Es fa

evident l'important paper que tenen també la tècnica, la tàctica individual i col·lectiva, l'estratègia de l'equip i l'anàlisi dels partits en el joc.

La Taula 3 presenta valors de salts verticals de diverses referències bibliogràfiques. Només s'ha trobat una referència del RKJ en jugadors de voleibol (Oddsson i Thorstensson, 1992) i el seu valor és menor que l'obtingut en els jugadors de la selecció espanyola (38.0 cm vs. 44.6 cm). La falta de bibliografia en relació a aquest salt, i la necessitat de comparar la informació amb altres jugadors i equips, va conduir-nos a substituir-lo per l'SJ després de la primera temporada.

Els valors de l'SJ del jugadors Espanyols (2007 = 43.9 cm i 2008 = 47.9 cm) són majors que els de les referències trobades que utilitzen la plataforma de contactes com a mètode de mesura (Bosco, 1983b; Lian, 2003; Carvalho, 2007; Ciccarone, 2008).

Pel que fa al CMJ, trobem valors que són similars als de la temporada 2006 (46.5 ± 3.5 cm) (Vanrenterghem, 2004; Hespanhol, 2007; Ciccarone, 2008; Marques, 2009), altres (Hespanhol, 2007) als de la temporada 2007 (47.3 ± 5.7 cm), però tots ells estan per sota dels resultants aconseguits en el 2008 (50.0 ± 4.6 cm).

En el CMJb només una de les referències (Ciccarone, 2008) utilitza la plataforma de contactes com a instrument d'avaluació i el resultat s'apropa a l'alçada del salt obtinguda l'any 2007 (56.8 ± 6.4 cm), encara que està per sota de l'obtinguda en el 2008 (60.3 ± 5.2 cm).

En el cas del DJb també hi ha una única referència (Carvalho, 2007) que utilitzi la plataforma de contactes com a sistema de mesura i el seu valor és lleugerament inferior a l'obtingut en la temporada 2007 (66.3 ± 5.9 cm) i lleugerament superior al de la 2008 (71.6 ± 5.8 cm).

Ciccarone i col·laboradors (2005) i Stanganelli i col·laboradors (2008), avaluen el salt vertical, mitjançant plataforma de contactes, en jugadors júnior. Es pot observar, com tots els resultats dels jugadors joves es troben per sota dels valors de la selecció espanyola.

4.6.3. En relació al moment de la temporada

La comparació dels dos tests efectuats durant el 2007 mostra que l'alçada del salt canvia al llarg de la temporada i és més elevat durant el període competitiu que durant la pre-competició.

El salt vertical està directament relacionat amb el rendiment esportiu (Sheppard, 2008) i hauria de permetre distingir entre els estats de forma dels esportistes. De fet, s'ha observat que la valoració del salt vertical reconeix els canvis produïts després d'un

entrenament específic de força (Newton, 1998; Nesser i Demchak, 2007; Stanganelli, 2008). Aleshores, per poder comparar correctament les dades amb altres referències, s'ha de conèixer el període de la temporada on s'ha efectuat la mesura.

La valoració dels esportistes espanyols es va portar a terme els primers dies de la concentració, després de finalitzar la lliga regular amb els respectius clubs i d'uns dies de descans. Per tant, es pot considerar que, si bé els esportistes no estaven en el pic de forma, la seva condició física era apropiada, sobretot la dels jugadors que havien disputat els play-off per al títol de lliga. El 45% dels articles de la Taula 3 fan referència sobre el moment de la temporada en que s'ha efectuat l'estudi. Si tenim en compte aquells que utilitzen la plataforma de contactes per la valoració en jugadors de categoria absoluta, trobem que Ciccarone i col·laboradors (2008) i Marques i col·laboradors (2009) mesuren l'alçada del salt durant la pre-temporada, mentre que Lian i col·laboradors (2003) ho fan dos mesos després d'haver acabat el període competitiu; Marques i col·laboradors (2004) avaluen el salt durant la temporada. La diferència en els resultats, pot venir doncs a que les mesures s'han realitzat en períodes de temporada diferents.

4.6.4. En relació a l'alçada dels salts per posicions de joc.

Del total de jugadors que conformen un equip, es poden diferenciar 5 posicions de joc: col·locadors, centrals, oposats, puntes i líberos. Cada especialitat de joc té les seves funcions principals, per la qual cosa pot haver distincions en la seva condició física.

Tot i que la capacitat de salt es correlaciona amb els sprints i desplaçaments curts (Cronini i Hassen, 2005; Maulder i Cronin, 2005), els líberos presenten una alçada de salt inferior a la mitjana per a tots els salts. S'ha de tenir en compte però, que el nombre de la mostra és molt petit i que en el DJb només es comptabilitza el salt d'un dels jugadors. Aquest resultat concorda amb l'estudi de Ciccarone i col·laboradors (2008), ja que també observen que els líberos són els jugadors amb una capacitat de salt més baixa, però no amb l'estudi de Marques i col·laboradors (2009) que observen que el CMJ dels líberos està per sobre dels jugadors centrals i oposats.

S'ha observat que els col·locadors, després dels líberos, són els jugadors que menys capacitat de salt tenen; En l'SJ i el CMJb presenten un resultat més pròxim a la mitjana que en el CMJ i en DJb. Els resultats concorden amb els de Ciccarone i col·laboradors (2008) i Sheppard i col·laboradors (2009), però no amb els de Ciccarone i col·laboradors (2005) que observen que els col·locadors tenen un salt vertical major que els oposats en l'SJ, el CMJ i el CMJb, ni els de Marques i col·laboradors (2009) que troben que els col·locadors són els jugadors que més salten en el CMJ. Si tenim en compte que aquest

jugadors tendeixen a ser dels més baixos d'un equip (Ciccarone, 2005 i 2008; Sheppard, 2009; Marques, 2009) i que bloquegen als jugadors de punta de l'equip contrari, tenir una capacitat de salt més baixa els converteix en un punt feble de l'equip en la defensa de primera línia.

Els atacants centrals són els jugadors que tenen una capacitat de salt més alta en el DJb. Això pot ser lògic, ja que quasi tots els salts que realitzen aquests jugadors són amb desplaçament. La principal funció d'aquest jugador és bloquejar, i com que la majoria de remats s'efectuen per les bandes, la majoria de bloqueigs són amb desplaçament. Després dels líberos són els que menys explosivitat presenten en extensors de cama. Com ja hem comentat, aquests jugadors realitzen pocs salts des de parat, i quan ho fan, el moviment es limita força a extensors de turmell, ja que solen ser en atacs de primer temps, on realitzar un moviment de flexió extensió de cames seria massa lent i s'arribaria tard a bloquejar. Novament, observem contradiccions amb la bibliografia consultada: Ciccarone i col·laboradors (2005) observen que els jugadors centrals són els que presenten millor valor d'alçada en l'SJ, el CMJ i el CMJb, però Ciccarone i col·laboradors (2008) i Marques i col·laboradors (2009) obtenen que els centrals són dels que menys salten de l'equip i Sheppard i col·laboradors (2009) els situa per darrere del rematadors exteriors (punts i oposats). Cap d'aquests estudis, però, avalua el salt amb cursa d'aproximació.

Els oposats són els jugadors que millor aprofiten la contribució dels braços en el salt, però també presenten bones alçades en els altres tipus de salt. Els rematadors de punta són els que tenen un millor salt en l'SJ i estan en el segon millor lloc en CMJ, CMJb i DJB. Aquests, són els rematadors que fan més nombre d'accions tècniques, ja que, a diferència dels centrals i oposats, també reben.

Tant Sheppard i col·laboradors (2009), com Ciccarone i col·laboradors (2008) no diferencien entre jugadors de punta i oposats, i observen que els atacants exteriors són els que major alçada de salt tenen. Per Marques i col·laboradors (2009) i Ciccarone i col·laboradors (2005) els oposats són els que obtenen un valor de salt més baix en un CMJ i els de punta, el segon major valor.

4.6.5. En relació al mètode de valoració utilitzat

La metodologia utilitzada per a la valoració del salt vertical també pot ser la responsable de la diferència de les dades.

La plataforma de contactes és un instrument força utilitzat en l'entorn de l'entrenament esportiu per la seva alta fiabilitat i validesa en el càlcul del temps de vol (Markovic, 2004; Szmuchrowski, 2007). Nou de les referències citades a la Taula 3 avaluen el salt

vertical mitjançant aquest instrument, mentre que les altres referències fan servir sistemes de mesura diferents (videografia, plataforma de forces i vertec).

La videografia calcula l'alçada del salt a partir de la diferència d'alçades del centre de masses entre el moment de la sortida i la màxima alçada. Komi i Bosco (1978) observen que existeix un error molt petit quan es compara la PC amb l'anàlisi videogràfic. Aragón-Vargas (2000) considera la videografia com a l'estàndard d'or per avaluar el salt vertical ja que utilitza conceptes mecànics correctes, està ben calibrat i és fiable, però Kibele (1998) observa que la videografia sobreestima el valor del salt vertical i que l'error, quan s'utilitza el model de Dempster (1995) per al càlcul del centre de masses, pot ser més elevat que la precisió que es requereix per poder determinar petites millores de rendiment.

Sis de les referències citades en Taula 3 utilitzen la videografia com a instrument de mesura. Bobbert i col·laboradors (1996) obtenen uns resultats similars a la temporada 2007 per a l'SJ i el CMJ. Coleman i col·laboradors (1993) i Kuhlman i col·laboradors (2007) obtenen un resultat menor per al DJb, la qual cosa sembla lògica si tenim en compte que realitzen la valoració durant la competició i els jugadors estan pendents de la pilota. Els resultats més similars per al DJb són els de Gutiérrez (1992) realitzats en la selecció espanyola just abans dels JJOO. Wagner i col·laboradors (2009) també obtenen resultats similars. En aquest cas, l'alçada del salt va ser calculada mitjançant la velocitat de sortida del CM. Pel que fa a l'estudi de Ravn i col·laboradors (1999), l'alçada dels tres salts avaluats (SJ, CMJ i DJB) és molt menor, però la mesura es fa mitjançant un sistema de 2D i el càlcul de l'alçada també és a partir de la velocitat de sortida del CM.

Un altre sistema de mesura àmpliament utilitzat per la seva senzillesa i baix cost és el Vertec (o sistema similar). L'alçada del salt s'avalua realitzant la diferència entre l'alçada de la mà en el moment màxim del salt i l'abast de l'esportista. Es limita exclusivament als salts amb moviment de braços, és a dir, el CMJb i el DBJ que són els que més similitud tenen amb els gestos tècnics del remat i del bloqueig (Stanganelli, 2008). Deu de les referències de la Taula 3 utilitzen el vertec com a sistema de mesura i tots els resultats, excepte els dels esportistes júnior, són majors que els observats en els jugadors de la selecció espanyola.

Per últim, el salt vertical també és analitzat mitjançant la plataforma de forces. El seu ús no és tan habitual a nivell esportiu perquè té un cost elevat. Hi ha alguns autors que obtenen l'alçada del salt vertical a partir del temps de vol (Komi i Bosco, 1978) i altres autors que calculen l'alçada mitjançant la velocitat de sortida del CM obtinguda a partir de l'impuls (Oddson i Thorstensson, 1992; Ferragut, 2002; Vanrenterghem, 2004). S'ha observat que quan es mesura el salt a partir del temps de vol es sobreestima

l'alçada del salt entre 0.5 i 2 cm en relació al càlcul a partir de l'impuls (Kibele, 1998; Lara, 2006b; Moir, 2008b). Aguado i González (1995) ho expliquen per la diferència entre la posició inicial de sortida i la posició de caiguda del cos. Alguns autors proposen solventar el problema controlant la posició de caiguda donant instruccions: caure amb les cames completament estirades i amb les peus en hiperextensió (Aguado i González, 1995; Bosco, 1994). No obstant, flexionar les cames durant el salt és una mesura preventiva natural per reduir lesions ja que es dissipen les forces de reacció verticals (Briner i Kacmar, 1997).

Coincidint amb García-López i col·laboradors (2005), és necessari anar amb compte quan es comparen valors d'alçada de salts verticals. No es poden comparar resultats que provenen d'instruments que avaluen variables diferents, perquè el valor del salt és diferent. També s'ha d'anar en compte quan es comparen instruments que fan servir la mateixa variable, ja que s'ha observat que també donen valors de salts diferents (Roig, 2008).

5. ESTUDI 2: Valoració del salt vertical en jugadors de voleibol. Determinació de l'asimetria de forces.

5.1. Introducció

Els jugadors de voleibol efectuen d'entre 65 i 136 salts en un partit de 5 sets (Fontani, 2005; Sheppard, 2009). El salt s'utilitza principalment en el remat i el bloqueig, dues de les accions que més percentatge de punts aporten a un partit (Valadés 2005), però també en la col·locació i alguns serveis.

El salt vertical ha estat àmpliament avaluat en jugadors de voleibol (Taula 3, punt 2.3, pp. 55-57), però només dos articles (Gutiérrez, 1992; Ferragut, 2002) valoren el salt en jugadors espanyols. Gutiérrez i col·laboradors (1992) avaluen l'execució del salt del remat en jugadors de la selecció espanyola i Ferragut i col·laboradors (2002) avaluen l'SJ i el CMJ en jugadors sènior de Divisió d'Honor i de 1^a Nacional. Aquesta tesi doctoral (Estudi 1) presenta un protocol complet (SJ, CMJ, CMJb i DJb) de salt vertical en jugadors de voleibol espanyols d'alt nivell durant tres temporades seguides. Els millors valors els observem en la temporada 2008 (SJ = 47.9 ± 3.8 cm; CMJ = 49.7 ± 4.6 cm; CMJb = 59.8 ± 5.1 cm; DJb = 71.6 ± 5.8 cm).

S'ha observat que les diferències entre resultats poden ser donades per varies causes: (1) El període de la temporada afecta al valor de l'alçada del salt, és per això que s'utilitza per detectar canvis després d'un període d'entrenament específic (Newton, 1999; Kuhlmann, 2007; Nesser i Demchak, 2007) i és considerat un indicador de rendiment (Sheppard, 2008). (2) L'instrument de valoració utilitzat. S'ha observat que el valor del salt obtingut mitjançant videografia és major que el detectat mitjançant plataforma de forces (Adamec, 1998; Kibele, 1998; Aragón-Vargas, 2000), i també que el valor obtingut mitjançant la plataforma de contactes sobreestima l'alçada del salt quan es compara amb l'obtingut mitjançant la plataforma de forces (García-López, 2005; Roig, 2008). (3) El mètode de càlcul utilitzat, ja que diferents instruments poden donar resultats diferents com a conseqüència que utilitzen diferents mètodes de càlcul de l'alçada del salt. La

videografia, per exemple, calcula l'alçada del salt mitjançant la diferència del CM entre la posició de sortida i la màxima alçada (Aragón-Vargas, 1997a i 1997b; Kibele, 1998; Adamec, 1998), mentre que la plataforma de contactes utilitza el temps de vol (Bosco, 1983b). No obstant, un mateix sistema pot donar valors diferents quan utilitza mètodes de càlcul diferents. Per exemple, en la plataforma de forces el valor del salt mesurat amb el temps de vol és més elevat que amb el calculat mitjançant la velocitat de sortida del CM (Hatze, 1998; Kibele, 1998; Aragón-Vargas, 2000; Moir, 2008b).

El test de salt també està essent utilitzat en la vessant mèdica amb l'objectiu de determinar limitacions funcionals. Se sap que l'existència d'asimetria entre les extremitats incrementa la incidència a patir lesions (Knapik, 1991; Newton, 2006) i que el salt vertical és sensible per determinar aquesta asimetria (Maulder i Cronin, 2005). Alguns autors utilitzen el salt vertical monopodal (Barber, 1990; Newton, 2006; Reid, 2007), mentre que altres el salt vertical amb doble recolzament (Newton 2006; Menzel, 2006; Impellizzeri, 2007; Bhering, 2007). Sembla ser indiferent quin dels dos exercicis s'utilitzi, ja que l'asimetria detectada mitjançant el salt vertical monopodal ha estat també detectada mitjançant el salt vertical amb dues cames (Newton, 2006).

En el cas específic del voleibol, només s'ha trobat un article en la bibliografia que avalua l'asimetria de forces entre extremitats. Lawson i col·laboradors (2006) valoren les diferències existents entre les dues cames en el CMJb i en el salt del remat mitjançant dues plataformes de forces, una sota de cada peu, i un sistema òptic d'anàlisi 3D. Els autors no observen diferències en el pic de força de les dues extremitats ni en el CMJb, ni en el DJb. De totes maneres, degut al diferent comportament de les extremitats en el DJb, sí observa, en aquest salt, una diferència significativa en la força mitjana realitzada, així com en alguns paràmetres cinemàtics.

Com ja s'ha comentat, el test de salt s'utilitza per tal d'avaluar la força explosiva. Amb els sistemes més comunament utilitzats pels entrenadors (Vertec i PC), aquesta valoració es duu a terme de manera indirecta mitjançant l'alçada del salt. La PF, tot i ser un sistema menys utilitzat pel seu elevat cost i baixa transportabilitat, permet avaluar la força de manera directa i establir paràmetres de rendiment útils en l'entrenament esportiu com són l'impuls mecànic i la potència. A més a més, la utilització de dues plataformes de força al mateix temps, permet també avaluar l'asimetria de força entre les extremitats i establir un protocol de valoració de la força de l'extremitat inferior complet, tant en la vessant de rendiment com en la salut.

5.2. Objectius específics

Aquest estudi es planteja varis objectius:

- Desenvolupar un mètode per a la valoració funcional de la força de l'extremitat inferior que permeti avaluar el rendiment dels esportistes i determinar l'existència d'asimetria de força entre les extremitats.
- Identificar aquells paràmetres que permetin una descripció precisa del rendiment del salt vertical.
- Identificar les variables per a la determinació d'asimetries en la força de l'extremitat inferior.
- Determinar la utilitat de la plataforma de contactes i de la plataforma de forces per a la valoració de la força de l'extremitat inferior.

5.3. Subjectes

Van participar en l'estudi 16 jugadors de la selecció espanyola de voleibol. L'edat i les característiques físiques del grup es presenten en la Taula 13.

Cap dels jugadors presentava molèsties físiques que pogués limitar el rendiment en el test.

Taula 13.- Característiques dels participants del test de salt vertical.

n	Edat (anys)	IMC (kg/m ²)	Pes (kg)	Talla (cm)	Greix ¹ (%)	Muscul ² (%)
16	26.9 ± 3.5	23.5 ± 1.5	89.4 ± 8.1	195.0 ± 5.2	9.6 ± 1.3	48.9 ± 1.3

IMC = Índex de massa corporal. (1) i (2) de Drinkwater i Ross (1980).

Tots els jugadors van participar en aquest estudi de manera voluntària. L'estudi va tenir també el consentiment dels entrenadors corresponents i l'aprovació del Comitè d'Ètica del Consell Català de l'Esport.

5.4. Material i mètode

Durant la temporada 2009 els jugadors van sotmetre's a una valoració del salt vertical. Aquesta es va dur a terme a finals del mes de maig, però a diferència de les altres temporades, els jugadors ja portaven gairebé un mes concentrats i entrenant a les ordres de l'entrenador i l'equip tècnic.

5.4.1. Instrumental

La valoració dels salts va ser determinada simultàniament mitjançant una plataforma de contactes i dues plataformes de força.

Les **plataformes de força** (Kistler Instrument Corporation. Models 9281B i 9281C) es van utilitzar per determinar l'alçada del salt (després del processat de les dades) i per avaluar l'asimetria de força entre les extremitats. Diversos autors han determinat que és un instrument fiable per a la mesura del pic de força i per a la mesura del salt vertical (Harman, 1990; Cordova i Armstrong, 1996; Adamec, 1998; Aragón-Vargas, 2000).

Les plataformes de forces tenen una dimensió de 60 x 40 cm i estan situades de costat amb una separació de 0.4 cm (Figura 23). Cada plataforma està connectada a un amplificador de 8 canals (model 9865, Kistler) (Figura 24A). Des d'aquests es transmet la senyal analògica a una caixa de connexions (tipus 5606A, Kistler) (Figura 24B) que es connecta a les targetes A/D de l'ordinador on es fa la conversió d'analògic a la digital.

Figura 23.- Disposició de les plataformes

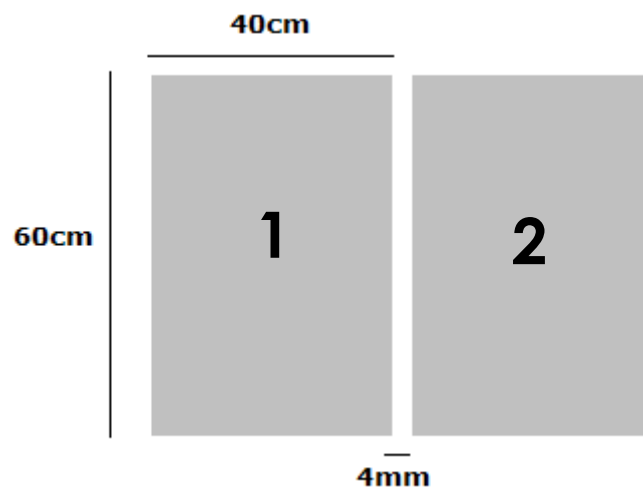


Figura 24.- (A) Amplificador Tipus 9865. (B) Caixa de connexions Tipus 5606A



Les plataformes es gestionen mitjançant el programa informàtic Bioware (Kistler. Versió 4.0).

La **plataforma de contactes** (Ergojump System) es va utilitzar per proporcionar de manera immediata el valor del salt vertical durant la realització del test. Aquesta està connectada a un cronòmetre digital i té una precisió de $\pm 0.001s$.

La PC estava col·locada sobre les plataformes de força. Per tal de permetre una bona posició del jugador, el perfil de les PF estava marcat amb guix sobre el protector de la PC (Figura 25).

Figura 25.- Disposició de la plataforma de contactes sobre de les plataformes de força.



5.4.2. Procediment

El protocol de salts verticals va incloure la valoració de l'SJ, el CMJ, el CMJb i el DJb. L'execució de tots els salts està descrita en la Taula 5 (p. 67). Tots els salts, excepte el DJb es van mesurar simultàniament amb la PC i amb la PF.

Degut a les reduïdes dimensions de la PF, el salt amb aproximació només es va mesurar amb la PC.

Es van formar grups de 4 o 5 jugadors. Els salts es van efectuar en forma de circuit fins a completar 3 salts de cada tipus. Aquesta manera d'avaluar permet la recuperació muscular completa i la preparació i disponibilitat per als salts següents, ja que el temps de pausa és d'entorn 1 minut. Al mateix temps, s'incrementa l'esperit competitiu i la motivació, cosa que assegura que tots els salts siguin màxims.

Com en l'estudi anterior, tots els jugadors estaven familiaritzats amb el protocol del test i tots ells realitzen, de manera quotidiana, exercicis de salts en els entrenaments.

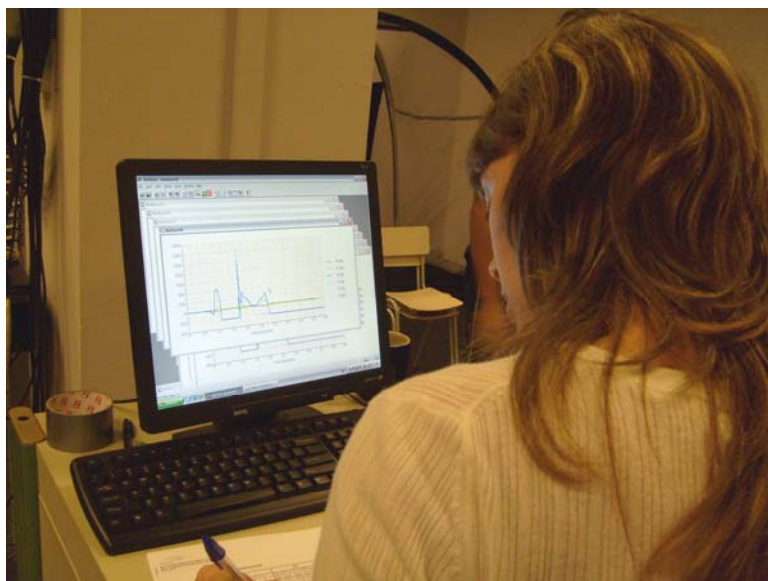
L'escalfament es va efectuar lliurement, però havia d'incloure carrera contínua, exercicis de mobilitat, estiraments dels principals grups musculars i salts submàxims. La seva durada va ser d'entre 10 i 15 minuts.

Es va demanar als esportistes que es col·loquessin dempeus amb un peu sobre cada plataforma; el peu esquerre sobre la plataforma 1 i el peu dret sobre la plataforma 2. Quan s'aconseguia la posició inicial es procedia a realitzar l'offset de les plataformes. Amb l'offset, la senyal elèctrica de les plataformes es posa a 0 volts i s'assegura que els canvis de força enregistrats són conseqüència del moviment corporal. Per tal de no afectar a la mesura de l'asimetria es demanava al jugador que fixés la mirada al front i que estigués el més quiet possible.

L'observador determinava, visualment, si el salt s'havia executat correctament. Això és important, sobretot en l'SJ, on no s'ha de percebre cap altre moviment que no sigui ascendent.

Per a la captura de les dades en la PF es va utilitzar una freqüència d'enregistrament de 1000 Hz. S'ha observat que aquesta freqüència sobreestima l'alçada del salt amb un error del 0.1% (Street, 2001) (Figura 26). Sobre les dades de força es va aplicar un filtrat Butterworth low-pass de 50 Hz, això suposa un error per al càlcul de l'alçada del salt inferior al 1.2% (Street, 2001). Aquesta freqüència de filtrat va ser deduïda a partir del punt d'estabilització de la corba de la Transformada de Fourier i coincideix amb el filtrat aplicat per Hewett i col·laboradors (2005).

Figura 26.- Captura dels salts verticals mitjançant les plataformes de força.



Per a l'anàlisi del rendiment s'utilitza el millor de tres salts (Moir, 2008a). Per a la mesura de simetria de forces s'utilitza la mitjana de tots els salts enregistrats. D'aquesta manera, s'evita atribuir a l'esportista desequilibris que no estan generalitzats en tots els salts. Això està d'acord amb Impellizzeri i col·laboradors (2007) que suggereixen que, en la pràctica clínica, s'aconsegueix una fiabilitat elevada amb només 3 salts quan aquests estan ben executats.

Per al processat de les dades es va desenvolupar, amb l'ajut de l'empresa DIVA Ingenieria, un programa específic (DIVA_TFR_Plataforma) (Veure Annex 2). Aquest programa permet optimitzar el processat de les dades, calcular diversos paràmetres i guardar la informació en una base de dades.

5.4.3. Paràmetres de rendiment

Els paràmetres avaluats mitjançant la PC van ser:

- L'**alçada** del salt (mesurada a partir del temps de vol) (s).
- Els **índexs** d'elasticitat, d'utilització de braços i d'aproximació (Equacions 6, 7 i 8).

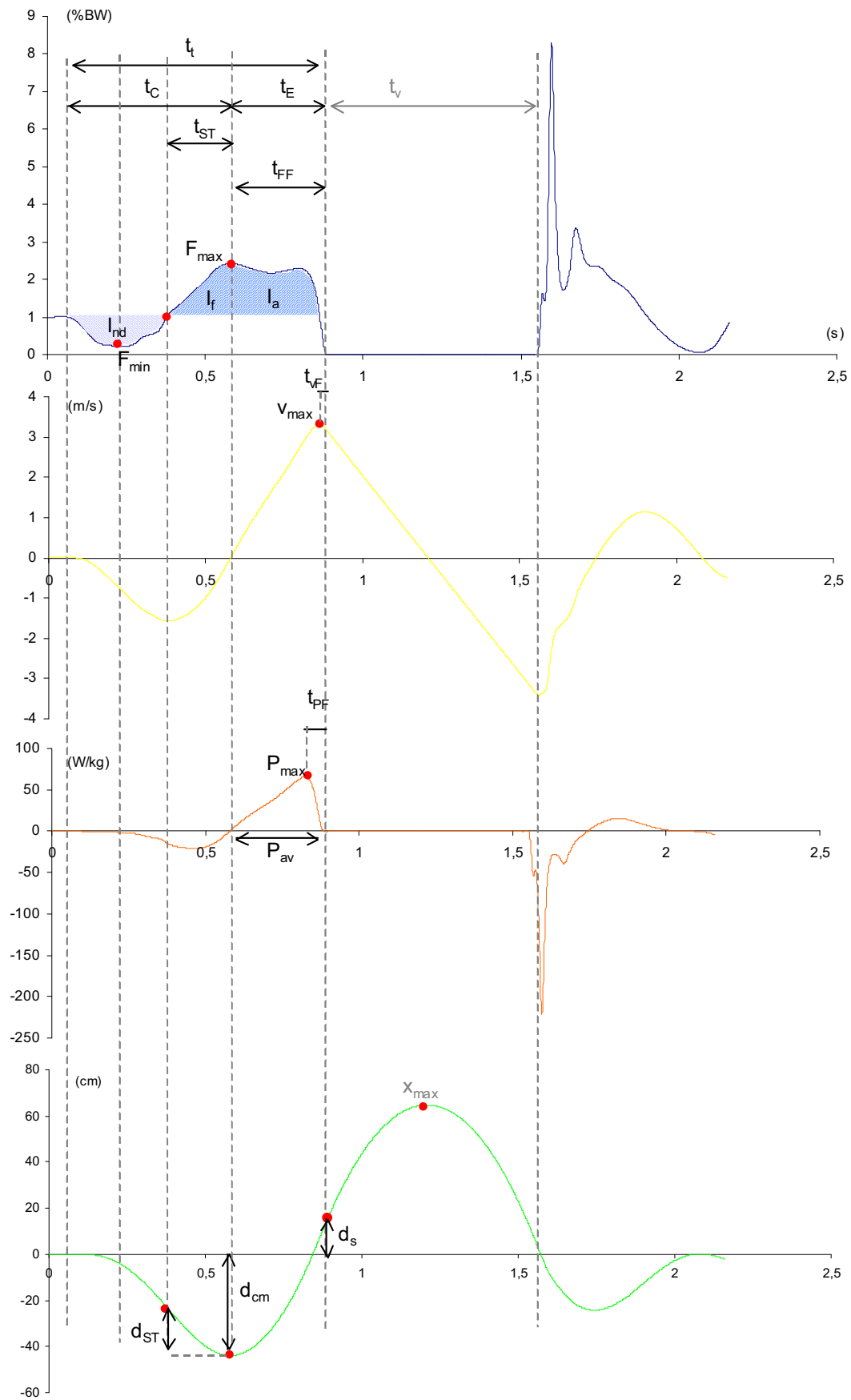
Els paràmetres avaluats mitjançant la PF van ser:

- L'**alçada** del salt a partir de:
 - h_t : el temps de vol (cm) (Bosco, 1983b) (Equació 9),
 - h_v : la velocitat de sortida del CM (cm) (Equació 12)
 - h_x : el desplaçament del CM (cm) (Equació 14).
- Els **índexs** d'elasticitat i d'utilització de braços calculats entre la diferència d'alçades obtingudes mitjançant la velocitat de sortida.

A més a més, per a cada tipus de salt, es van buscar d'altres variables que es poden extreure a partir de la corba de força (Figura 27). La manera de calcular cadascuna d'aquestes variables es mostra detallada en l'Annex 1.

- El **pic de força màxima** (N): s'ha observat una correlació moderada amb l'alçada del salt ($r = 0.519$; $p > 0.01$, Dowling i Vamos, 1993; $r = 0.49$, Harman, 1990), però constitueix una mesura directa de la plataforma de forces.
- El **pic de força mínim** (N).
- La pendent mitjana entre la força mínima i la força màxima (p) (N/s).

Figura 27.- Variables de rendiment derivades de la corba de força - temps.



- L'**Impuls total**, l'**Impuls negatiu de descens**, l'**Impuls de frenada** i l'**Impuls d'acceleració** (Ns).
- **Coefficient d'impuls**: Segons Hochmuth (1973) és necessari que l'impuls de frenada i el d'acceleració guardin una relació òptima, per això estableix un que ha d'estar entre 0.3 i 0.4.
- **Ratio entre l'impuls negatiu i positiu**: Presenta una correlació moderada ($r = -0.51$) amb l'alçada del salt. Com menor és aquest ratio, major és l'alçada del salt, amb el ratio òptim entorn el valor 0.27 (Dowling i Vamos, 1993).
- El **ratio de consum energètic** que estableix la relació entre l'impuls negatiu de descens i l'impuls de frenada (Innocenti, 2006).
- La **velocitat màxima** aconseguida en el moviment (m/s).
- La **potència màxima** del salt presenta una correlació estadísticament significativa amb l'alçada del salt ($r = 0.928$; $p > 0.01$; Dowling i Vamos, 1993; $r = 0.77$; Riggs i Sheppard, 2009) i sembla ser el millor paràmetre per predir el salt vertical (Aragon-Vargas i Gross, 1997) (W).
- La **potència mitjana positiva** presenta una correlació moderada amb l'alçada del salt ($r = 0.54$; $p < 0.01$) (Harman, 1990) (W).
- El **temps total** de la fase d'impuls (t_i). Correspon al temps existent entre l'instant d'inici del salt i l'instant d'enlairament. Tot i ésser calculat mitjançant un model matemàtic, la determinació d'aquest punt és més difícil que el pic de força mínima. És per això que William (2008) suggereix utilitzar l'instant de força mínima com a punt d'inici del salt vertical ($t_{Fmin-ts}$) (s).
- La durada de la **fase excèntrica** (t_E) i de la **fase concèntrica** (t_C) (s).
- La **durada d'estirament muscular**: Segons Kibele (1997) correspon a la durada del pre-estirament muscular, entenent el sistema tendomuscular com a una entitat. Només es dona amb els salts amb contramoviment (s).
- La **durada entre la força màxima i el moment de l'enlairament** (t_{FF}): Dowling i Vamos (1993) obtenen que la relació d'aquest factor amb l'alçada del salt és significativa tot i que la correlació és molt baixa ($r = -0.274$, $p > 0.01$) (s).
- La **durada entre la potència màxima i el moment de l'enlairament** (s).
- La **durada entre la velocitat màxima i el moment de l'enlairament** (t_{VF}) (s).
- Màxima **amplitud del contramoviment**. En el salt amb contramoviment correspon a la diferència entre l'alçada de sortida i l'alçada mínima. Només

es dona amb els salts amb contramoviment. En el SJ correspon a la diferència entre l'alçada inicial i l'alçada de sortida. (cm)

- **Distància d'estirament:** és el valor del contramoviment realitzat durant la fase d'impuls de frenada del cos, és a dir, la fase on hi ha contramoviment però el valor de força vertical està per sobre del pes corporal (Kibele, 1997). (cm)
- **Distància de sortida (d_s):** és la distància entre la posició inicial i la posició del CM en el moment de la sortida. S'ha observat que és similar en tots els subjectes i sol ser d'uns 15.9 ± 0.7 cm (Aragón-Vargas, 2000) (cm).

En l'SJ només es van calcular aquelles variables que es donen quan no hi ha contramoviment.

5.4.4. Paràmetres per a la detecció d'asimetries

En cadascuna de les extremitats s'extreuen els paràmetres següents:

- Pic de **força màxima:** Dowling i Vamos (1993) obtenen una relació significativa d'aquest factor amb l'alçada del salt tot i que la correlació és moderada ($r = 0.519$; $p > 0.01$) similar a Harman i col·laboradors (1990) que també obtenen una correlació moderada ($r = 0.49$).
- **Impuls total, Impuls positiu i Impuls negatiu de descens.**
- Diferència en el **total del temps des de la força mínima.** Seguin a Williams (2008), s'ha fet servir aquesta variable per comparar la durada de la fase d'impulsió.

5.4.5. Anàlisi estadístic

En la comparació de les diverses mesures, tant entre instruments, com entre les equacions de la plataforma de forces, es va establir el coeficient de correlació de Pearson. Es va calcular l'equació de regressió entre els valors de l'alçada de salt obtinguts mitjançant la velocitat de sortida i aquells calculats mitjançant la plataforma de contactes.

En l'anàlisi dels salts mitjançant la plataforma de contactes es va calcular la mitjana i la desviació estàndard del grup en cadascun dels salts i en els índex de rendiment. Aquestes dades es van contrastar amb els valors de la temporada 2008 (Estudi 1) mitjançant la prova T per a mostres independents.

Igual que en l'estudi anterior, es va dur a terme un anàlisi per posicions de joc, però no es va realitzar una comparació estadística degut a la baixa mostra de jugadors en cada posició. Els resultats es van contrastar amb els de la temporada 2008.

En l'anàlisi dels salts mitjançant la plataforma de forces es va extreure la mitjana i la desviació estàndard de l'alçada i dels índex de rendiment. Aquesta informació es va complementar amb les diverses variables relacionades amb el rendiment. A més a més, es va buscar la relació que aquests diversos paràmetres tenen amb l'alçada del salt (calculada mitjançant la velocitat de sortida). Per això es va establir el coeficient de correlació de Pearson de cada variable seleccionada amb l'alçada de cada tipus de salt.

En la determinació d'asimetries, es va calcular l'índex de simetria IS 2 (Taula 2, punt 2.2.3, p. 44) en diversos paràmetres derivats de la corba de força (Vagenas i Hoshizaki, 1992; Bhering, 2007; Impellizzeri, 2007).

$$IS = \frac{X_1 - X_2}{X_{(\max 1,2)}} \times 100 \quad \text{Equació 15}$$

Per determinar si l'asimetria era estadísticament significativa es va procedir a realitzar una prova T per a dades aparellades, tant entre l'extremitat dreta i esquerra, com entre la forta i la feble. En aquestes comparacions múltiples es va utilitzar utilitzat el mètode d'Everet (Curran-Everet, 2009) per tal que el nivell de significació es mantingués sempre per sota de 0.05.

Les dades es van analitzar estadísticament amb els programes SPSS (versió 15.0) i Excel 2007 (Microsoft).

5.5. Resultats

5.5.1. Diferències entre instruments i equacions per calcular l'alçada del salt

En la Taula 14 es pot observar la mitjana i la desviació estàndard dels salts verticals en cadascun del sistemes i equacions utilitzades. En el total de les dades, es pot veure que els valors del salt calculats mitjançant el temps de vol, tant en la plataforma de contactes, com en la plataforma de forces, són majors que els de la velocitat de sortida i el desplaçament del CM.

L'alçada del salt obtinguda mitjançant la PC mostra una bona correlació amb qualsevol de les tres maneres de calcular l'alçada mitjançant la PF (Taula 15), tot i que la correlació més elevada la trobem amb l'alçada calculada mitjançant el temps de vol.

Per a la PF, l'alçada calculada a través del temps de vol té una alta correlació amb la calculada mitjançant la velocitat de sortida, mentre que l'alçada obtinguda per la velocitat de sortida i el desplaçament del CM presenta una correlació d'1.

Taula 14.- Mitjana de l'alçada de tots els salts obtinguda mitjançant els diferents instruments i equacions.

		h_{PC}	h_{PF}		
			h_t	h_v	h_x
SJ	Mitjana	41.3	39.3	36.4	36.5
	DS	4.3	3.7	4.0	3.9
CMJ	Mitjana	47.0	45.5	42.1	42.1
	DS	5.0	4.7	4.5	4.4
CMJb	Mitjana	56.5	55.1	49.9	49.9
	DS	6.0	6.1	5.2	5.1
Total	Mitjana	48.1	46.6	42.9	43.0
	DS	8.1	8.1	7.2	7.1

Valors en cm

h_{PC} = alçada del salt en la PC; h_{PF} = alçada del salt en la PF

Taula 15.- Correlació entre les diverses maneres de calcular l'alçada del salt

	h_{PC}	h_{PF}		
		h_t	h_v	h_x
h_{PC}	1	0.998**	0.970**	0.971**
h_t	0.998**	1	0.971**	0.972**
h_v	0.970**	0.971**	1	1.000**
h_x	0.971**	0.972**	1.000**	1

* Correlació significativa $p < 0.001$

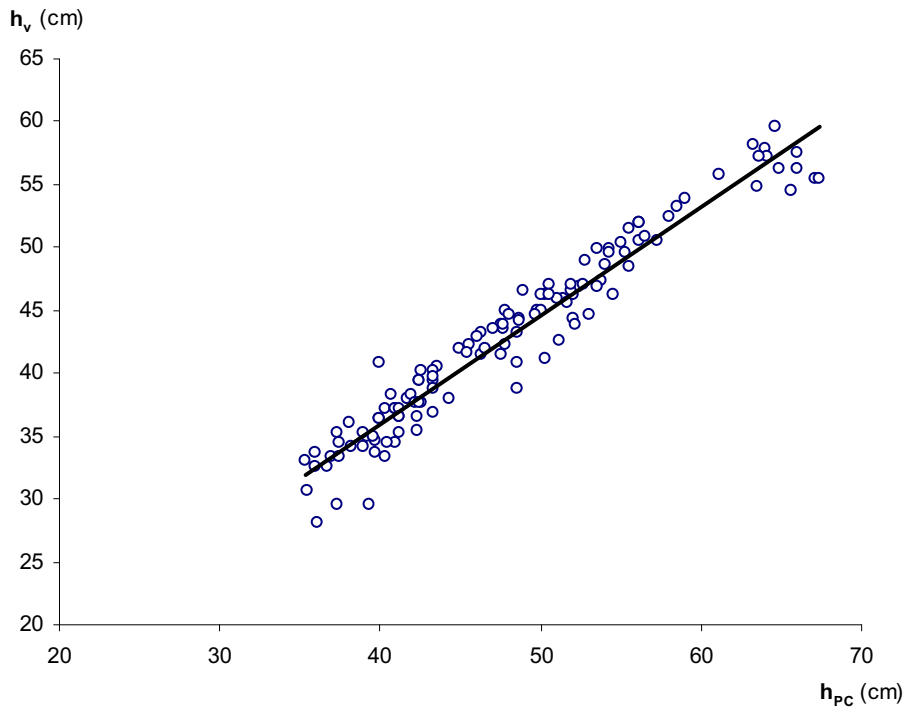
Es pot establir una regressió lineal entre l'alçada de la PC i l'alçada mitjançant la velocitat de sortida (Figura 28). L'equació de regressió que en resulta és:

$$h_v = 0.893 \cdot h_{PC}$$

Equació 16

L'error de predicció de l'equació és del 4.2 %. Aquest error és aleatori, ja que l'error que es pot atribuir al biaix és del 0.01%.

Figura 28.- Gràfic de dispersió i regressió lineal entre l'alçada calculada per el temps de vol i mitjançant la plataforma de forces.



5.5.2. Alçada dels salts avaluada mitjançant la plataforma de contactes

5.5.2.1. Anàlisi del grup

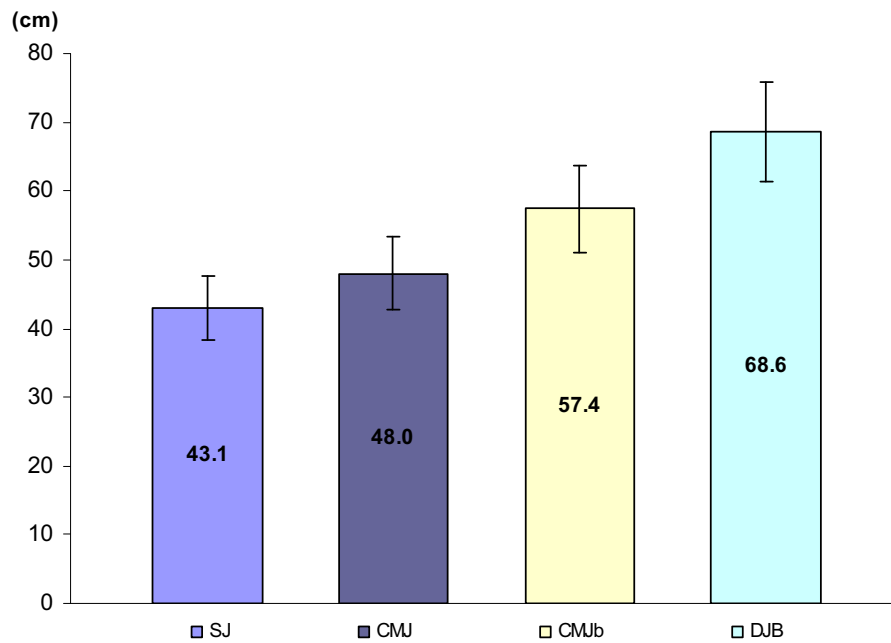
L'alçada dels salts verticals de la temporada 2009 està representada en la Taula 16 i la Figura 29.

Es pot observar que l'increment dels salts és progressiu, essent el SJ el salt més baix i el DJb el més elevat de tots. Els índex de rendiment (Figura 30) confirmen aquest creixement.

Respecte de la temporada 2008 s'observen un pitjor SJ, CMJ i CMJb, encara que la diferència respecte de la temporada actual no és significativa. Pel que fa al DJb, s'obtenen millors valors en la temporada 2009 i, en aquest cas, la diferència sí és significativa (Taula 17).

La variança dels diversos tipus de salts és estadísticament homogènia (Estadístic de Levene: SJ = 0.61; CMJ = 0.31; CMJb = 2.16; DJb = 1.74; $p > 0.05$).

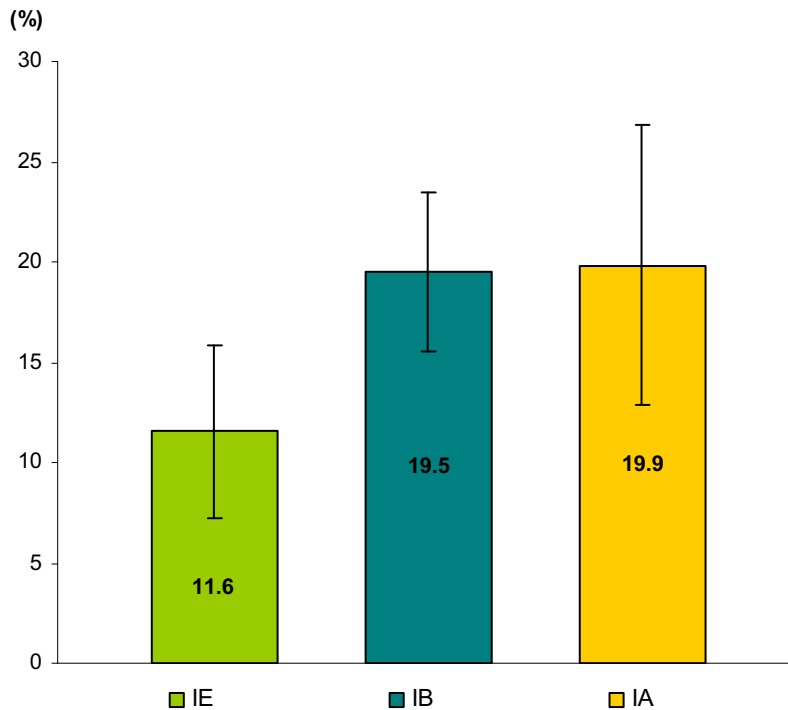
Figura 29.- Gràfic de l'alçada dels salts verticals de la temporada 2009.



Taula 16.- Alçada dels salts verticals i valor dels índex de rendiment per a cada jugador durant la temporada 2009.

	SJ (cm)	CMJ (cm)	CMJb (cm)	DJB (cm)	IE (%)	IB (%)	IA (%)
1	37.1	43.3	51.4	61.4	16.7	18.7	19.5
2	39.3	41.0	51.2	60.7	4.3	24.9	18.6
3	39.7	43.3	53.0	63.1	9.1	22.4	19.1
4	41.2	47.7	52.8	64.0	15.9	10.6	21.2
5	39.7	42.2	52.0	69.1	6.3	23.2	32.9
6	48.6	55.5	64.9	78.4	14.2	16.9	20.8
7	48.6	54.5	67.1	83.8	12.1	23.1	24.9
8	39.0	43.3	50.0	64.7	11.0	15.5	29.4
9	39.9	43.3	52.2	63.0	8.5	20.6	20.7
10	41.7	47.5	56.1	69.8	13.9	18.1	24.4
11	52.5	57.3	67.4	74.5	9.1	17.6	10.5
12	47.5	52.7	65.6	70.2	10.9	24.5	7.0
13	42.6	47.7	55.3	59.7	12.0	15.9	8.0
14	48.9	53.5	64.7	80.2	9.4	20.9	24.0
15	39.2	47.8	55.5	67.1	21.9	16.1	20.9
16	43.6	47.7	58.5	67.8	9.4	22.6	15.9
Mitjana	43.1	48.0	57.4	68.6	11.6	19.5	19.9
DS	4.6	5.2	6.4	7.3	4.3	4.0	7.0

Figura 30.- Índex de rendiment associats als salts verticals en la temporada 2009.



Taula 17.- Dades de salts verticals de les temporades 2008 i 2009.

Temporada	SJ	CMJ	CMJb	DJb
2008	47.9 ± 4.0	49.7 ± 4.6	59.8 ± 5.1	59.8 ± 5.1
2009	43.1 ± 4.6	48.0 ± 5.2	57.8 ± 6.4	68.6 ± 7.3
T	2.95	0.9	1.13	-3.66*

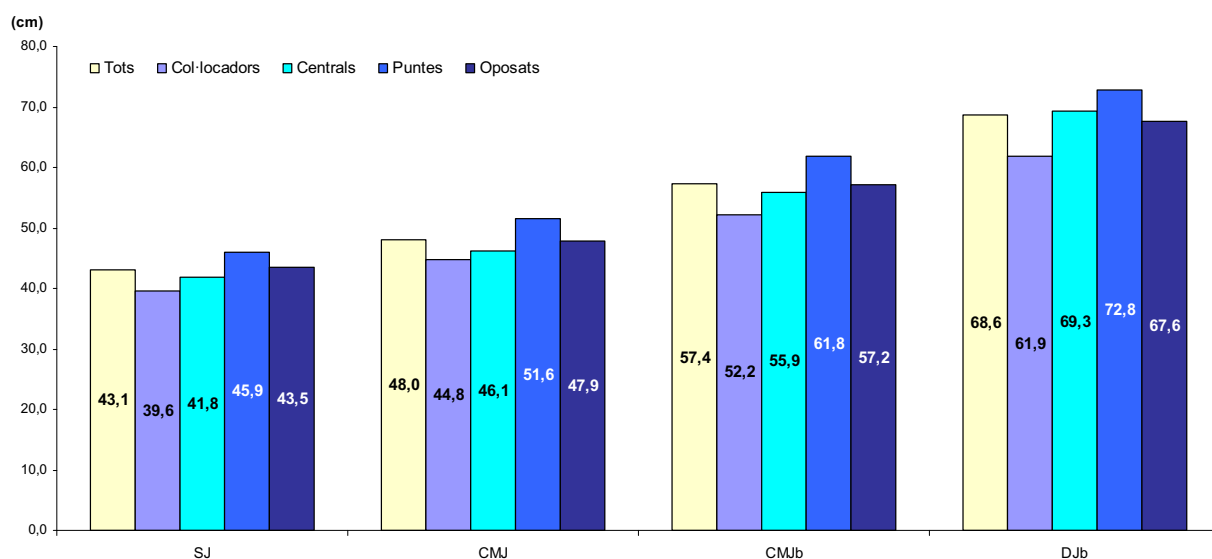
* Diferència significativa. $p < 0.05$

5.5.2.2. Anàlisi per posicions de joc

L'anàlisi per posicions de joc es pot observar en la Figura 31. Els jugadors de 4 o puntes són els que tenen una alçada del salt sempre per sobre del valor de la mitjana. Els oposats són el segon grup de jugadors amb més valor del salt, amb valors similars a la mitjana per tots els salts excepte en el DJb, on els valors són lleugerament inferiors.

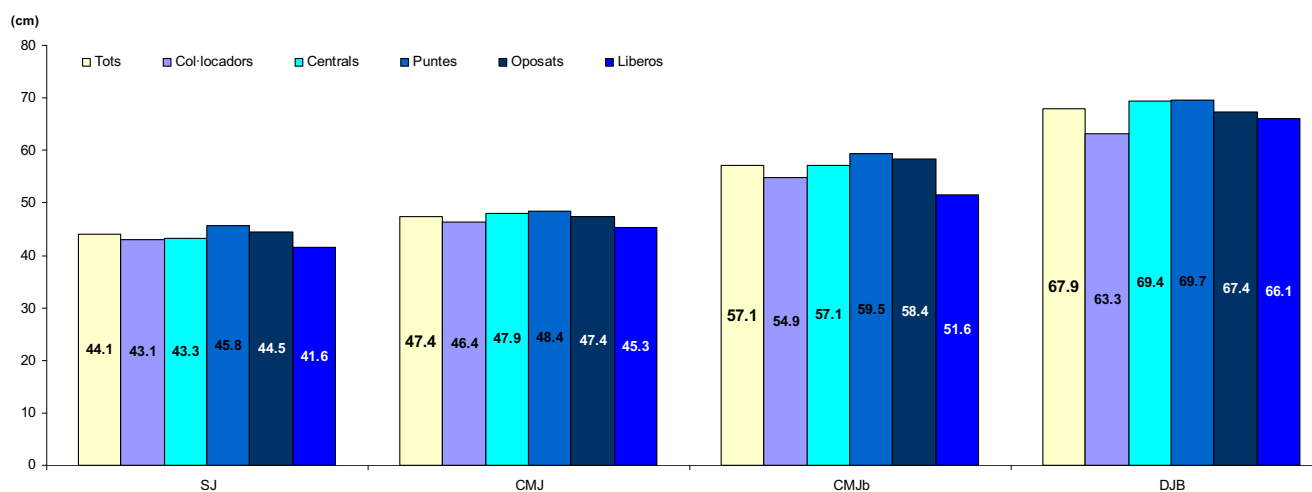
L'alçada dels salts dels jugadors centrals estan per sota de la mitjana en el SJ, CMJ i CMJb, però no en el DJb on presenten uns resultats lleugerament per sobre de la mitjana. Els col·locadors són els jugadors que menys salten de tot l'equip, amb el resultat de tots els salts sempre per sota de la mitjana. Durant aquesta temporada cap llibero va realitzar el test de salt.

Figura 31.- Alçada dels diferents salts per posicions de joc durant la temporada 2009



Quan es mesclen les dades de les tres temporades anteriors (Estudi 1, punt 4.5.3) amb aquesta, podem obtenir una gràfica de base, que confirma que els líbers són el grup de jugadors que mostren una menor capacitat de salt, seguit dels col·locadors. Els jugadors de punta són els que major capacitat de salt presenten. Els centrals són els segons que més salten en el CMJ i DJb, mentre que els oposats ho són en l'SJ i el CMJb (Figura 32).

Figura 32.- Alçada del salt per posicions de joc. Resultant de tots els anys.



5.5.3. Alçada dels salts avaluada mitjançant la plataforma de forces

5.5.3.1. Anàlisi dels salts

Com a conseqüència d'una errada a l'hora de guardar les dades, es van perdre tots els arxius de l'SJ d'un dels jugadors (jugador 11).

La Taula 18 presenta el valor individual, la mitjana i la desviació estàndard de l'alçada dels salts (a partir de la velocitat de sortida) i dels índex de rendiment obtinguts mitjançant la plataforma de forces. Les representacions gràfiques es mostren en la Figura 33 i la Figura 34.

Tal i com s'ha explicat en la part de procediment, s'escull el millor dels tres salts per explicar el rendiment del jugador. Això, és correcte en el cas del CMJ i CMJb, però en el cas de l'SJ pot suposar un problema. És per això que, en la Taula 18, es mostra l'alçada de l'SJ màxim i l'alçada de l'SJ considerat vàlid.

Mitjançant plataforma de forces és possible observar la forma de la corba de força i determinar el contramoviment realitzat durant l'execució del salt (Taula 19). Es pot veure com en l'SJ màxim el total dels jugadors realitzen un petit contramoviment d'entorn els 2.3 cm (± 2.4 cm) de mitjana. La desviació estàndard del grup és elevada degut a que 8 dels jugadors realitzen un contramoviment d'entre 1.2 i 7.7 cm. Però, l'SJ és un salt que no hauria de tenir contramoviment. S'ha considerat com a SJ "vàlid" aquell que s'ha realitzat amb el mínim moviment de descens, tot i així, quatre jugadors encara realitzen un contramoviment d'entre 1.0 i 4.2 cm.

Taula 18.- Valor dels salts verticals i índex de rendiment obtinguts mitjançant la plataforma de forces.

	SJ (vàlid)	SJ (max)	CMJ	CMJb	IE (vàlid)	IE (max)	IB
1	38.0	38.0	43.8	51.9	15.2	15.2	18.5
2	34.5	35.0	42.3	51.5	22.7	20.8	21.9
3	40.5	40.5	44.7	53.2	10.2	10.2	19.1
4	34.2	34.2	36.9	46.8	7.9	7.9	26.9
5	33.4	33.4	39.4	48.0	17.9	17.9	22.0
6	30.6	34.7	38.3	46.2	25.1	10.2	20.7
7	33.7	35.3	40.2	45.0	19.5	14.2	11.7
8	36.3	41.4	47.1	57.9	29.6	13.8	22.9
9	43.5	43.5	46.2	55.5	6.3	6.3	20.2
10	29.6	29.6	34.5	42.6	16.4	16.4	23.6
11			51.9	57.5			10.9
12	40.2	43.2	48.4	57.2	20.1	12.0	18.3
13	36.6	36.6	44.1	49.0	20.3	20.3	11.2
14	39.4	39.4	43.8	49.6	11.1	11.1	13.4
15	41.7	46.5	46.8	59.6	12.2	0.7	27.4
16	33.4	40.8	39.7	45.6	18.8	-2.8	14.9
Mitjana	36.4	38.1	43.0	51.1	16.9	11.6	19.0
SD	4.1	4.6	4.6	5.3	6.5	6.7	5.3

Valor de SJ, CMJ i CMJb en cm

Valor d'IE i IB en %

Figura 33.- Alçada salts mitjançant PF en temporada 2009

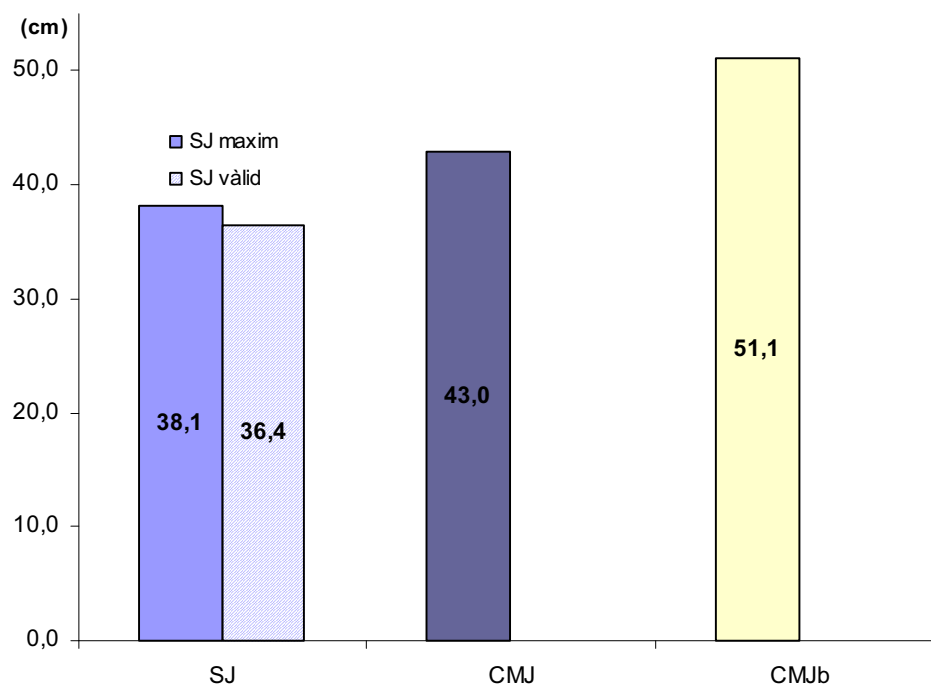
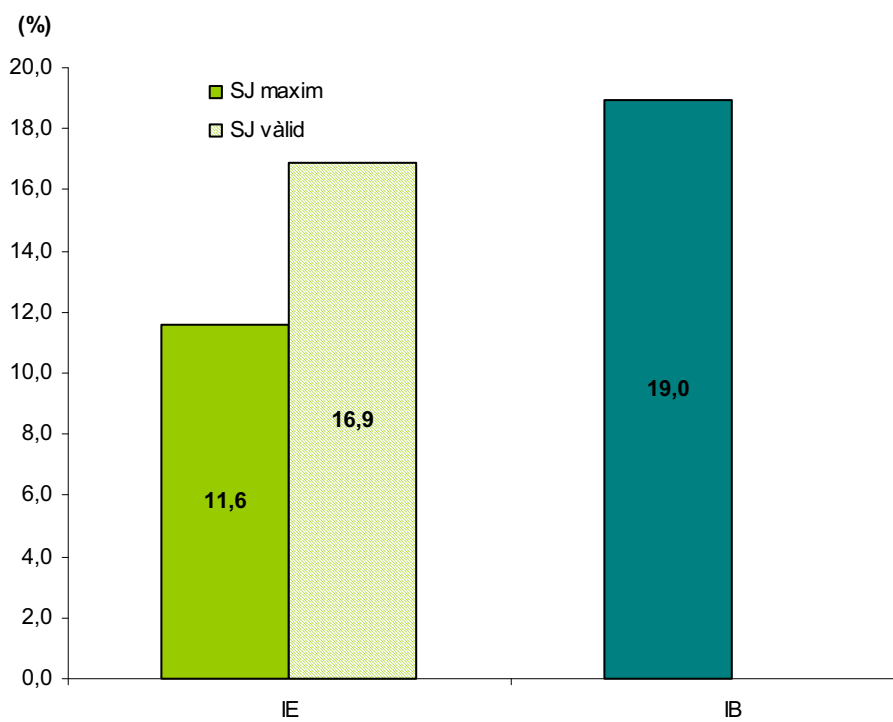


Figura 34.- Índex de rendiment temporada 2009



La mitjana dels SJ vàlids és menor que la dels SJ màxims. Quan s'aplica la prova T per a dades aparellades entre els salts màxims i "vàlids", es pot observar que aquesta diferència és estadísticament significativa ($T = 2.77$; $p < 0.05$).

Això condiciona també la determinació dels diversos índex de rendiment, ja que quan s'utilitza l'SJ màxim l'IE és més baix que quan s'utilitza l'SJ vàlid (Taula 18).

Taula 19.- Alçada de l'SJ màxim i "vàlid" i valor del contramoviment que es realitza en cada cas.

	SJ màxim		SJ vàlid	
	h_v	d_{cm}	h_v	d_{cm}
1	38.0	0.7	38.0	0.7
2	35.0	2.9	34.5	0.2
3	40.5	0.2	40.5	0.2
4	34.2	0.5	34.2	0.5
5	33.4	0.5	33.4	0.5
6	34.7	2.9	30.6	0.2
7	35.3	0.7	33.7	0.0
8	41.4	7.7	36.3	0.1
9	43.5	0.1	43.5	0.1
10	29.6	0.6	29.6	0.6
11	-		-	
12	43.2	4.0	40.2	0.4
13	36.6	1.2	36.6	1.2
14	39.4	4.2	39.4	4.2
15	46.5	6.3	41.7	3.8
16	40.8	1.6	33.4	1.0
Mitjana	38.1	2.3	36.4	0.9
SD	4.6	2.4	4.1	1.3

Valors en cm

5.5.3.2. Variables determinades a partir de la corba de força – temps

A partir de la corba força – temps s'han derivat la velocitat, la potència i el desplaçament i s'han seleccionat les variables descrites en punt 5.4.3.

La Taula 20 presenta les dades per jugador, la mitjana de l'equip i la desviació estàndard per a l'SJ. La Taula 21 presenta les mateixes dades per al CMJ i la Taula 22, per al CMJb.

Taula 20.- Variables de rendiment per a l'SJ

	h_v (cm)	F_{max}		p (N/s)	I_T (Ns)	I_p (Ns)	v_{max} (m/s)	P_{max}		P_{av} (W)
		(N)	(BW)					(W)	(W/kg)	
1	38.0	2260	2.3	3912	309	297	2.9	5551	55.5	2496
2	34.5	1987	2.4	5621	254	236	2.8	4580	54.5	2189
3	40.5	2261	2.5	4521	291	275	3.0	5655	62.1	2393
4	34.2	2402	2.3	4068	322	304	2.8	5594	51.6	2558
5	33.4	2399	2.6	6194	276	261	2.7	5040	53.8	2451
6	30.6	2042	2.2	3622	268	251	2.6	4515	47.8	1935
7	33.7	2073	3.0	8971	212	198	2.8	4341	60.8	2103
8	36.3	2202	2.5	4587	271	256	2.8	5241	58.7	2170
9	43.5	2343	2.8	9302	286	270	3.1	5672	65.4	2849
10	29.6	2697	2.7	8798	298	271	2.6	5243	52.3	2456
12	40.2	2411	2.7	6751	280	269	2.9	5770	64.4	2730
13	36.6	2400	2.6	6010	298	279	2.8	5407	56.4	2728
14	39.4	2235	2.6	6222	328	285	2.9	5403	62.4	2700
15	41.7	2602	3.1	13590	329	289	3.0	6037	70.0	3300
16	33.4	2385	2.6	8229	290	266	2.8	5068	54.6	2579
Mitjana	36.6	2308	2.6	6584	287	265	2.8	5289	58.3	2504
DS	4.2	201	0.3	2761	31	27	0.1	506	6.2	352

(BW) Indica vegades el pes corporal

	t_f (s)	$t_{Fmin-ts}$ (s)	t_E (s)	t_C (s)	t_{FF} (s)	t_{PF} (s)	t_{VF} (s)	d_{cm} (cm)	d_s (cm)
1	0.414	0.414	0.087	0.327	0.087	0.056	0.020	-0.7	44.5
2	0.418	0.347	0.131	0.287	0.133	0.067	0.029	-0.2	41.6
3	0.405	0.405	0.083	0.322	0.096	0.067	0.027	-0.2	45.7
4	0.438	0.438	0.111	0.327	0.102	0.062	0.025	-0.5	43.5
5	0.378	0.378	0.111	0.267	0.135	0.072	0.027	-0.5	37.7
6	0.427	0.427	0.071	0.356	0.119	0.067	0.029	-0.2	43.5
7	0.338	0.265	0.114	0.224	0.107	0.069	0.028	0.0	33.7
8	0.386	0.386	0.066	0.320	0.095	0.068	0.029	-0.1	42.6
9	0.383	0.313	0.125	0.258	0.146	0.072	0.025	-0.1	42.8
10	0.424	0.343	0.154	0.270	0.137	0.083	0.035	-0.6	37.0
12	0.330	0.330	0.079	0.251	0.100	0.057	0.020	-0.4	37.0
13	0.486	0.370	0.225	0.261	0.116	0.067	0.023	-1.2	38.0
14	0.546	0.367	0.294	0.252	0.098	0.063	0.025	-4.2	36.6
15	0.544	0.290	0.346	0.198	0.138	0.062	0.024	-3.8	31.9
16	0.418	0.336	0.158	0.260	0.145	0.076	0.031	-1.0	38.8
Mitjana	0.423	0.362	0.143	0.280	0.115	0.067	0.026	-0.9	39.7
DS	0.065	0.051	0.086	0.045	0.020	0.007	0.004	1.3	4.3

Taula 21.- Variabls rendiment CMJ

	h_v	F_{max}		F_{min}		p	l_f	l_{nd}	l_f	l_a	α	r	k	v_{max}
	(cm)	(N)	(BW)	(N)	(BW)	(N/s)	(Ns)	(Ns)	(Ns)	(Ns)				(m/s)
1	43.8	2266	2.3	224	0.2	5145	586	134	132	307	0.43	0.30	0.99	3.1
2	42.3	1976	2.4	312	0.4	5153	505	119	118	256	0.46	0.32	0.99	3.0
3	44.7	2323	2.6	59	0.1	9355	600	150	149	287	0.52	0.34	0.99	3.1
4	36.9	2430	2.3	298	0.3	7781	644	158	158	311	0.51	0.34	1.00	2.9
5	39.4	2136	2.3	126	0.1	6930	585	147	147	277	0.53	0.35	1.00	2.9
6	38.3	2499	2.7	129	0.1	9221	585	146	146	277	0.53	0.35	1.00	2.9
7	40.2	1690	2.4	252	0.4	4452	431	105	105	211	0.50	0.33	0.99	3.0
8	47.1	2242	2.6	86	0.1	6286	628	166	165	285	0.58	0.37	0.99	3.2
9	46.2	2457	2.9	168	0.2	8175	583	145	145	278	0.52	0.34	1.01	3.2
10	34.5	2207	2.2	57	0.1	5322	602	148	148	284	0.52	0.34	1.00	2.8
11	51.9	2180	2.4	199	0.2	5727	606	145	143	306	0.47	0.32	0.99	3.3
12	48.4	2383	2.7	154	0.2	7076	575	139	136	289	0.47	0.33	0.98	3.2
13	44.1	2436	2.6	113	0.1	7471	628	159	160	296	0.54	0.35	1.00	3.1
14	43.8	2045	2.4	148	0.2	5597	553	137	133	269	0.49	0.34	0.97	3.1
15	46.8	2293	2.7	216	0.3	5584	516	114	114	275	0.42	0.29	1.00	3.2
16	39.7	2577	2.8	96	0.1	8799	616	162	157	279	0.56	0.37	0.97	3.0
Mitjana	43.0	2259	2.5	165	0.2	6755	578	142	141	280	0.50	0.34	0.99	3.1
DS	4.6	224	0.2	79	0.1	1576	54	17	17	23	0.04	0.02	0.01	0.1

(BW) Indica vegades el pes corporal

	P_{max}		P_{av}	t_f	$t_{fmin-ts}$	t_E	t_C	t_{ST}	t_{FF}	t_{PF}	t_{VF}	d_{cm}	d_{ST}	d_s
	(W)	(W/kg)	(W)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(cm)	(cm)	(cm)
1	5728	57.3	3064	0.977	0.691	0.664	0.313	0.205	0.294	0.061	0.023	-38.2	-18.5	15.6
2	4813	57.2	2628	0.859	0.628	0.565	0.294	0.165	0.305	0.064	0.026	-38.6	-14.8	12.8
3	5723	62.7	3178	0.759	0.501	0.494	0.265	0.157	0.259	0.067	0.027	-36.1	-16.2	13.0
4	5786	53.3	3099	0.866	0.564	0.576	0.290	0.174	0.290	0.062	0.025	-36.8	-15.6	10.3
5	5047	53.7	2810	0.811	0.588	0.513	0.298	0.182	0.298	0.073	0.027	-39.2	-17.8	11.9
6	5205	55.1	3075	0.806	0.495	0.555	0.251	0.137	0.238	0.064	0.027	-33.0	-13.1	11.7
7	3922	55.1	2104	0.928	0.637	0.621	0.307	0.189	0.314	0.065	0.026	-42.3	-18.7	9.8
8	5175	57.9	2873	0.91	0.688	0.577	0.333	0.204	0.345	0.068	0.025	-51.9	-24.1	9.8
9	5354	61.4	3124	0.862	0.557	0.590	0.272	0.146	0.277	0.073	0.028	-41.8	-15.7	11.3
10	4874	48.6	2625	0.935	0.753	0.591	0.344	0.256	0.349	0.083	0.036	-45.9	-25.4	11.2
11	5992	65.3	3230	0.836	0.65	0.531	0.305	0.201	0.304	0.061	0.022	-44.1	-20.9	13.1
12	5824	65.0	3250	0.772	0.572	0.506	0.266	0.176	0.257	0.059	0.021	-38.2	-17.9	11.6
13	5573	58.3	3182	0.833	0.591	0.549	0.284	0.175	0.280	0.067	0.025	-42.3	-18.4	9.7
14	5249	60.6	2653	0.847	0.652	0.530	0.317	0.207	0.313	0.063	0.026	-43.5	-20.6	11.7
15	5999	69.5	3255	0.724	0.554	0.488	0.236	0.134	0.182	0.062	0.024	-31.1	-11.3	12.9
16	4813	52.0	2905	0.859	0.603	0.556	0.303	0.161	0.321	0.075	0.032	-43.2	-18.3	13.6
Mitjana	5317	58.3	2941	0.849	0.608	0.557	0.292	0.181	0.289	0.067	0.026	-40.4	-18.0	11.9
DS	551	5.5	315	0.067	0.070	0.047	0.029	0.032	0.041	0.006	0.004	5.1	3.7	1.6

Taula 22.- Variables de rendiment del CMJb

	h_v (cm)	F_{max} (N)	F_{min} (BW)	F_{min} (N)	F_{min} (BW)	p (N/s)	l_T (Ns)	l_{nd} (Ns)	l_f (Ns)	l_a (Ns)	α	r	k	v_{max} (m/s)
1	51.9	2530	2.6	303	0.3	4383	813	372	97	332	0.29	0.87	0.26	3.3
2	51.5	2122	2.6	382	0.5	3326	509	112	107	279	0.38	0.29	0.96	3.3
3	53.2	2415	2.7	265	0.3	3982	587	134	131	309	0.42	0.30	0.98	3.4
4	46.8	2835	2.7	141	0.1	5601	647	143	140	347	0.40	0.29	0.98	3.2
5	48.0	2247	2.4	129	0.1	3715	610	149	146	302	0.48	0.33	0.98	3.2
6	46.2	2436	2.6	233	0.3	5521	593	138	138	301	0.46	0.31	1.00	3.2
7	45.0	1722	2.5	293	0.4	2189	432	102	95	224	0.42	0.32	0.93	3.1
8	57.9	2457	2.8	273	0.3	4678	608	150	132	314	0.42	0.34	0.88	3.5
9	55.5	2420	2.8	203	0.2	4372	670	220	132	303	0.43	0.51	0.60	3.5
10	42.6	2322	2.4	174	0.2	7590	714	207	174	312	0.56	0.43	0.84	3.1
11	57.5	2272	2.5	297	0.3	3612	608	156	119	322	0.37	0.35	0.76	3.5
12	57.2	2530	2.9	202	0.2	4997	586	139	124	312	0.40	0.32	0.89	3.5
13	49.0	2300	2.5	468	0.5	3606	581	128	129	311	0.41	0.29	1.01	3.3
14	49.6	2189	2.6	329	0.4	3860	562	157	106	285	0.37	0.40	0.67	3.3
15	59.6	2757	3.3	312	0.4	6753	556	165	73	307	0.24	0.43	0.44	3.6
16	45.6	2278	2.5	317	0.3	2723	548	122	110	297	0.37	0.30	0.90	3.2
Mitjana	51.1	2365	2.6	270	0.3	4432	601	162	122	304	0.40	0.38	0.82	3.3
DS	5.30	257	0.2	89	0.1	1411	85	64	24	27	0.07	0.14	0.22	0.1

(BW) Indica vegades el pes corporal

	P_{max} (W)	P_{av} (W/kg)	P_{av} (W)	t_f (s)	$t_{fmin-ts}$ (s)	t_E (s)	t_C (s)	t_{ST} (s)	t_{FF} (s)	t_{PF} (s)	t_{VF} (s)	d_{cm} (cm)	d_{ST} (cm)	d_s (cm)
1	7078	70.7	3459	1.354	0.602	1.065	0.289	0.161	0.094	0.058	0.019	-35.0	-9.8	15.1
2	5962	70.9	2814	0.963	0.612	0.660	0.303	0.156	0.089	0.060	0.021	-35.0	-12.5	16.9
3	6602	72.4	3089	0.979	0.647	0.662	0.317	0.175	0.107	0.068	0.024	-39.0	-16.3	17.2
4	7315	67.2	3455	0.890	0.591	0.596	0.294	0.205	0.110	0.065	0.024	-33.4	-17.5	14.9
5	6107	65.0	2798	0.936	0.667	0.588	0.348	0.210	0.097	0.067	0.023	-41.6	-21.2	15.6
6	6097	64.6	3232	0.889	0.526	0.616	0.273	0.132	0.127	0.073	0.027	-32.7	-11.1	16.2
7	4662	65.5	2052	1.015	0.736	0.673	0.342	0.208	0.083	0.063	0.026	-42.1	-18.9	13.5
8	7126	79.9	3305	1.039	0.564	0.740	0.299	0.149	0.097	0.065	0.023	-39.4	-13.7	15.5
9	6852	78.5	3343	1.287	0.602	1.007	0.280	0.142	0.095	0.078	0.028	-40.2	-13.3	13.6
10	5602	55.9	2779	1.224	0.705	0.841	0.383	0.199	0.422	0.082	0.033	-49.4	-21.8	16.2
11	6722	73.5	3228	1.207	0.653	0.883	0.324	0.186	0.106	0.065	0.023	-41.1	-15.5	17.8
12	7258	80.9	3500	1.062	0.551	0.792	0.270	0.145	0.085	0.057	0.019	-34.9	-12.8	14.9
13	6195	64.9	3149	0.970	0.619	0.658	0.312	0.167	0.111	0.073	0.025	-40.8	-14.5	15.3
14	5907	68.3	2610	1.289	0.586	0.945	0.344	0.154	0.104	0.069	0.026	-41.5	-11.6	14.8
15	7957	92.4	3787	0.940	0.446	0.707	0.233	0.107	0.084	0.060	0.022	-25.2	-5.8	19.9
16	6032	65.1	2748	1.133	0.829	0.789	0.344	0.367	0.109	0.077	0.032	-42.5	-27.3	16
Mitjana	6467	71.0	3084	1.074	0.621	0.764	0.310	0.166	0.120	0.068	0.025	-38.4	-15.2	15.8
DS	804	8.7	429	0.154	0.089	0.148	0.037	0.030	0.081	0.007	0.004	5.5	5.2	1.59

5.5.3.3. Relació de les variables de rendiment amb l'alçada del salt

Seguint l'estudi de Dowling i Vamos (1993) s'ha buscat la relació dels diversos paràmetres derivats a partir de la corba de força - temps amb l'alçada del salt. En Taula 23, la Taula 24 i la Taula 25 es mostren, per a cada tipus de salt, aquells paràmetres que presenten una correlació significativa.

Cal destacar que tots els salts presenten una correlació significativa amb la velocitat màxima, la potència màxima i la potència mitjana positiva. En el cas de la potència màxima, aquesta presenta una millor correlació amb l'alçada del salt quan és relativa al pes corporal.

Taula 23.- Correlació entre els paràmetres derivats a partir de la força vertical i l'alçada del salt mitjançant la velocitat de sortida en el SJ.

	Coefficient correlació	Error típic de l'estimació
Impuls total	0.30*	3.9
Velocitat màxima	0.99**	0.7
Potència màxima	0.58**	3.3
Potència màxima relativa al pes corporal	0.87**	2.0
Potència mitjana positiva	0.30*	3.3
Amplada del contramoviment	-0.32*	3.9
Pendent entre mínima i màxima força	0.32*	3.9

* Correlació significativa $p < 0.05$

** Correlació significativa $p < 0.01$

Taula 24.- Correlació entre els paràmetres derivats a partir de la força vertical i l'alçada del salt mitjançant la velocitat de sortida en el CMJ.

	Coefficient correlació	Error típic de l'estimació
Temps potència màxima – instant de sortida	-0.51**	3.9
Temps velocitat màxima – instant de sortida	-0.56**	3.8
Velocitat màxima	0.99**	0.7
Potència màxima	0.47**	4.0
Potència màxima relativa al pes corporal	0.83**	2.5
Potència mitjana positiva	0.36*	4.3
Ratio de consum energètic	0.30*	4.4

* Correlació significativa $p < 0.05$

** Correlació significativa $p < 0.01$

Taula 25.- Correlació entre els paràmetres derivats a partir de la força vertical i l'alçada del salt mitjançant la velocitat de sortida en el CMJb.

	Coefficient de correlació	Error típic de l'estimació
Temps total des de força mínima	-0.56**	4.4
Temps fase concèntrica	-0.67**	3.9
Temps força màxima – instant de sortida	-0.36*	4.9
Temps potència màxima – instant de sortida	-0.55**	4.4
Temps velocitat màxima – instant de sortida	-0.70**	3.8
Temps d'estirament	-0.34*	5.0
Força màxima	0.43**	4.8
Força màxima en percentatge de pes corporal	0.73**	3.6
Velocitat màxima	0.97**	1.3
Potència màxima	0.73**	3.6
Potència màxima relativa al pes corporal	0.91**	2.2
Potència mitjana positiva	0.68**	3.9
Amplada del contramoviment	0.52**	4.5
Distància d'estirament	0.61**	4.2
Pendent entre mínima i màxima força	0.33*	5.0
Ratio de consum energètic	0.30*	5.0

* Correlació significativa $p < 0.05$

** Correlació significativa $p < 0.01$

5.5.4. Asimetria entre extremitats

La valoració del salt vertical mitjançant dues plataformes de força permet comparar els valors obtinguts en cadascuna de les extremitats. En les figures 35, 36 i 37 es mostren les corbes a partir dels quals s'extreuen els resultats.

Figura 35.- Corba de força – temps d'un dels jugadors de voleibol durant un SJ

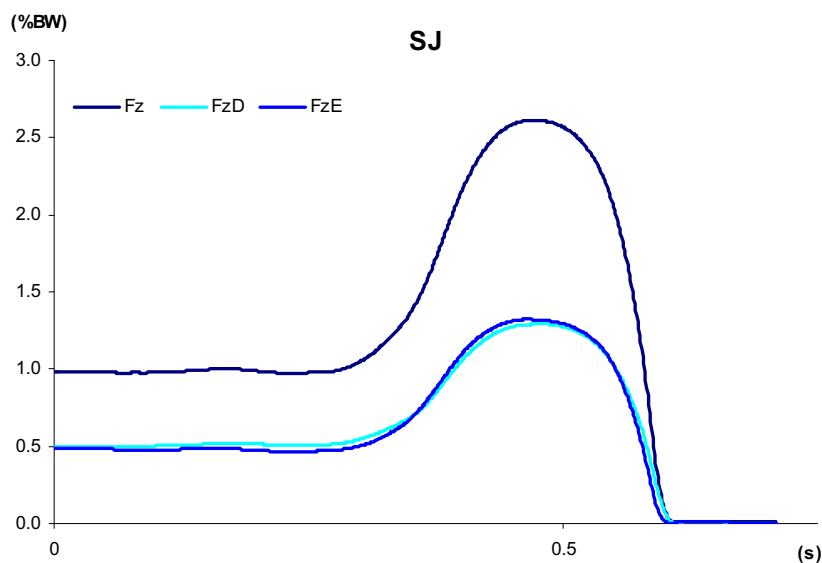


Figura 36.- Corba de força – temps d'un dels jugadors de voleibol durant un CMJ

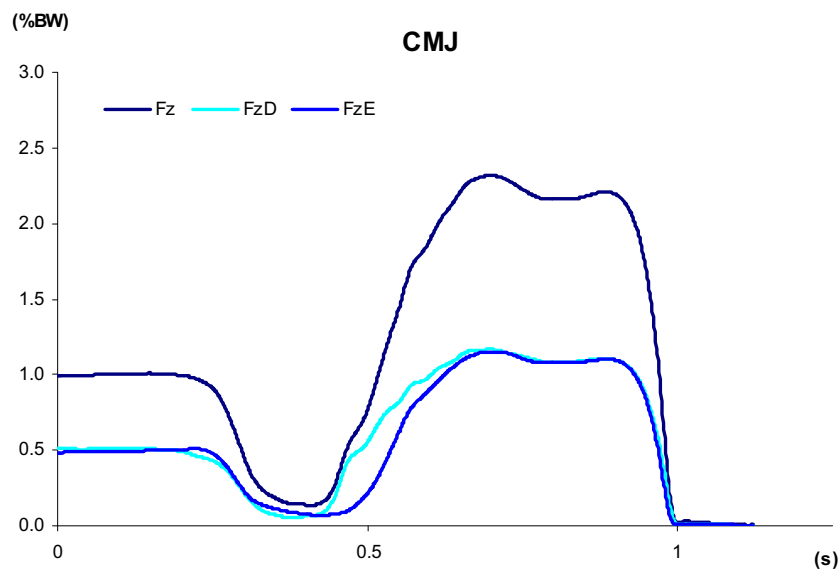
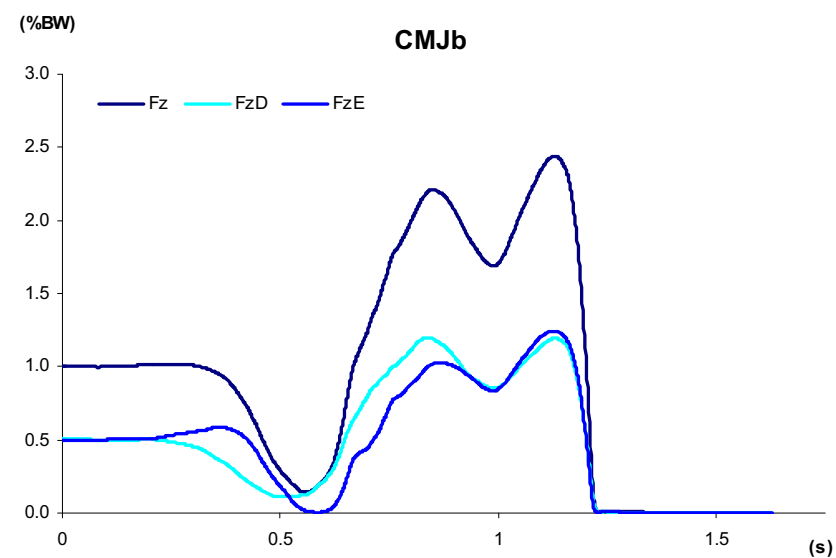


Figura 37.- Corba de força – temps d'un dels jugadors de voleibol durant un CMJb



5.5.4.1. Pes dels subjectes

Una de les possibilitats que ofereix la plataforma és la de poder observar si la posició dempeus dels jugadors és simètrica.

El pes dels esportistes i la repartició d'aquest entre cama dreta i cama esquerra es pot veure en la Taula 26. En general, s'observa que el pes està distribuït en un 50% en cada cama. Si tenim en compte l'IS, es pot veure que només un esportista sobrepassa el 10% de diferència en la distribució del pes. La majoria d'ells tendeix a carregar més la cama dreta que l'esquerra.

La prova T per a la comparació de mitjanes relacionades mostra que les diferències de pes entre cama dreta i cama esquerra no són significatives ($BW_D = 46.3 \pm 4.6$; $BW_E = 45.2 \pm 4.1$; $T = 1.62$; $p > 0.05$) i l'IS és del 2.5%. Quan es compara entre cama amb major recolzament i cama amb menor recolzament s'observa que la diferència és significativa ($BW_D = 46.9 \pm 4.5$; $BW_E = 44.5 \pm 3.8$; $T = 5.82$; $p < 0.01$). En aquest cas, l'IS és de 5.1%.

Taula 26.- Distribució del pes

	BW_T	BW_E	BW_D	IS		BW_T	BW_E	BW_D	IS
1	100.1 ± 0.1	48.3 ± 1.1	51.8 ± 1.1	6.7	9	87.3 ± 0.2	42.6 ± 1.3	44.6 ± 1.4	4.4
2	84.1 ± 0.1	41.0 ± 0.7	43.1 ± 0.7	5.0	10	100.3 ± 0.1	46.6 ± 1.3	53.8 ± 1.2	13.4
3	91.2 ± 0.1	46.8 ± 0.7	44.4 ± 0.7	-5.0	11	91.7 ± 0.1	45.0 ± 1.9	46.7 ± 1.8	3.6
4	108.7 ± 0.1	54.9 ± 1.3	53.8 ± 1.3	-1.9	12	89.7 ± 0.1	44.4 ± 2.1	45.3 ± 2.1	2.0
5	93.8 ± 0.2	46.2 ± 0.5	47.7 ± 0.5	3.1	13	95.8 ± 0.3	45.9 ± 1.4	49.9 ± 1.2	7.9
6	94.5 ± 0.1	46.2 ± 1.5	48.3 ± 1.5	4.4	14	86.6 ± 0.1	43.7 ± 1.2	42.8 ± 1.1	-2.0
7	71.3 ± 0.1	35.7 ± 2.6	35.6 ± 2.5	-0.1	15	86.2 ± 0.1	41.4 ± 0.7	44.8 ± 0.7	7.7
8	89.3 ± 0.2	46.0 ± 0.6	43.3 ± 0.6	-5.8	16	92.6 ± 0.4	47.9 ± 1.3	44.7 ± 1.1	-6.7

Valors en kg

BW_T = pes total; BW_D = pes cama dreta; BW_E = pes cama esquerra

5.5.4.2. Força màxima

Els valors de força màxima de cada extremitat, i per a cada tipus de salt, es poden veure en Taula 27.

De forma genèrica, la força màxima que cada extremitat fa és d'1.3 vegades el pes corporal. Això suposa el 50% de la força màxima total, que és 2.6 vegades el pes corporal.

Quan es compara cama forta amb cama feble, s'observa que la força màxima de cada extremitat és significativament diferent en cada tipus de salt. L'IS és d'entre el 4.0%, en l'SJ, i el 5.5%, en el CMJ.

Un mateix jugador (jugador número 7) supera el 10% de diferència en l'SJ, el CMJ i el CMJb, mentre que dos jugadors més (jugadors 2 i 14) el superen només en el CMJ.

Els valors de força màxima entre cama dreta (D) i cama esquerra (E), presenten una bona correlació en l'SJ i el CMJb ($r_{SJ} = 0.76$; $r_{CMJb} = 0.80$; $p < 0.05$), però una correlació moderada en el CMJ ($r_{CMJ} = 0.52$; $p < 0.05$) indicant un comportament diferenciat entre les dues extremitats. En canvi, la correlació és alta i estadísticament significativa quan es compara cama forta amb cama feble ($r_{SJ} = 0.90$; $r_{CMJ} = 0.86$; $r_{CMJb} = 0.93$; $p < 0.01$).

Taula 27.- Valors de força màxima per a cadascuna de les extremitats.

	SJ			CMJ			CMJb		
	D	E	IS	D	E	IS	D	E	IS
1	1.18	1.22	-2.9	1.21	1.14	6.1	1.30	1.26	2.6
2	1.19	1.18	0.6	1.16	1.36	-14.7	1.25	1.23	1.1
3	1.28	1.24	3.0	1.24	1.34	-7.2	1.38	1.35	2.2
4	1.23	1.20	3.1	1.19	1.10	7.2	1.37	1.30	5.4
5	1.28	1.31	-2.3	1.31	1.30	0.7	1.24	1.28	-2.8
6	1.14	1.10	3.5	1.29	1.31	-1.6	1.27	1.24	2.1
7	1.34	1.51	-10.9	1.15	1.29	-10.8	1.12	1.31	-14.5
8	1.29	1.31	-1.3	1.22	1.21	1.0	1.40	1.38	1.4
9	1.37	1.29	6.1	1.49	1.41	5.4	1.48	1.37	7.2
10	1.40	1.34	3.8	1.19	1.11	6.6	1.18	1.16	1.3
11				1.17	1.21	-3.0	1.22	1.30	-5.7
12	1.36	1.31	3.7	1.35	1.37	-0.8	1.48	1.44	2.9
13	1.29	1.28	1.3	1.34	1.38	-2.8	1.26	1.25	1.2
14	1.28	1.37	-6.5	1.13	1.25	-10.2	1.26	1.31	-3.6
15	1.47	1.46	1.0	1.33	1.37	-2.8	1.71	1.59	6.9
16	1.32	1.21	7.7	1.42	1.33	6.8	1.29	1.22	5.5
Mitjana	1.30	1.29	0.6	1.26	1.28	-1.3	1.33	1.31	1.0
DS	0.09	0.11		0.11	0.10		0.14	0.10	
	Força	Feble		Força	Feble		Força	Feble	
Mitjana	1.32	1.27	4.0**	1.31	1.24	5.5**	1.35	1.29	4.2**
DS	0.10	0.09		0.09	0.10		0.13	0.11	

** Diferència significativa, $p < 0.01$.

Els valors de força vertical estan en percentatge de pes corporal.

Valors negatius en IS indiquen que la cama forta és l'esquerra i positius la dreta.

Com a conseqüència d'una errada es van perdre els valors de l'SJ del subjecte 11

5.5.4.3. Impuls

Impuls total

Els valors de la Taula 28 mostren que la cama dreta i esquerra apliquen similar impuls total per al conjunt de jugadors. Quan comparem cama forta amb cama feble, s'observa que aquesta diferència en l'impuls total augmenta d'entre el 8.1 i el 11.9% i és estadísticament significativa.

Taula 28.- Valors d'impuls total per a cadascuna de les extremitats.

	SJ			CMJ			CMJb		
	D	E	IS	D	E	IS	D	E	IS
1	149.4	168.8	-11.5	317.9	316.0	0.6	423.5	353.4	16.6
2	114.8	144.2	-20.4	224.5	276.3	-18.7	232.2	281.9	-17.6
3	140.9	139.7	0.9	276.0	304.1	-9.2	298.7	275.6	7.7
4	183.0	163.5	10.7	328.7	302.4	8.0	338.1	300.4	11.2
5	134.2	139.9	-4.1	294.1	273.2	7.1	320.1	281.0	12.2
6	148.0	141.6	4.3	292.8	297.0	-1.4	283.5	298.9	-5.2
7	101.0	117.0	-13.7	183.8	248.9	-26.1	176.0	268.6	-34.5
8	156.4	147.9	5.4	318.5	286.6	10.0	343.0	312.3	9.0
9	144.4	136.8	5.3	308.3	286.9	6.9	360.7	344.7	4.4
10	158.8	146.8	7.6	286.2	309.6	-7.6	321.2	375.4	-14.5
11				295.0	310.8	-5.1	284.3	322.4	-11.8
12	150.2	149.8	0.3	278.0	276.2	0.7	298.7	271.5	9.1
13	150.1	150.2	-0.1	305.8	319.5	-4.3	298.5	302.7	-1.4
14	147.6	182.0	-18.9	249.4	307.7	-19.0	257.0	313.7	-18.1
15	162.5	178.0	-8.7	254.7	272.0	-6.3	283.2	273.3	3.5
16	161.1	148.8	7.6	322.7	279.3	13.5	312.8	266.7	14.7
Mitjana	146.8	150.3	-2.3	283.5	291.6	-2.8	302.0	302.6	-0.2
DS	19.5	16.8		39.1	19.7		55.3	32.8	
	Forta	Feble		Forta	Feble		Forta	Feble	
Mitjana	154.9	142.3	8.1**	300.9	274.3	8.8**	321.4	283.2	11.9**
DS	17.9	16.3		21.9	33.1		39.6	42.3	

** Diferència significativa, $p < 0.01$.

Els valors de l'impuls estan en Ns.

Com a conseqüència d'una errada es van perdre els valors de l'SJ del subjecte 11

Valors negatius en IS indiquen que la cama que aplica major impuls és l'esquerra i positius la dreta.

Si analitzem en detall, podem veure com hi ha 5 jugadors que apliquen un impuls superior al 10% durant l'SJ (jugadors 1, 2, 4, 7 i 14). En tots aquests casos, excepte un, el major impuls s'aplica amb la cama esquerra. L'asimetria es reproduïx en els jugadors 2, 7 i 14, per als altres dos salts.

El jugador 1 presenta un cas estrany, ja que mostra una desviació cap a l'esquerra en l'SJ, una igualtat d'impuls en el CMJ i una desviació cap la dreta en el CMJb. El jugador 16, mostra desviació en el CMJ i el CMJb, però no en el SJ.

La correlació de l'impuls total entre cama dreta i cama esquerra és moderada però significativa ($r_{SJ} = 0.62$; $r_{CMJ} = 0.56$; $r_{CMJb} = 0.56$; $p < 0.05$). Quan es compara cama forta amb cama feble aquesta correlació augmenta ($r_{SJ} = 0.83$; $r_{CMJ} = 0.83$; $r_{CMJb} = 0.84$; $p < 0.01$).

Impuls positiu

Novament, podem observar com l'extremitat dreta i esquerra presenta simetria en el conjunt dels jugadors, mentre que quan es compara cama forta amb cama feble, s'observa una asimetria estadísticament significativa, d'entre el 6.8 i el 17.8 % (Taula 29).

Per casos, podem veure que els jugadors 2, 7 i 14 presenten asimetria en l'impuls positiu en els tres tipus de salts.

El jugador 1 segueix presentant el cas estrany observat en l'impuls total. Mentre que els jugadors 4, 8 i 16 presenten asimetria per al CMJ i el CMJb, però no per a l'SJ.

La correlació en l'impuls positiu de les extremitats en l'SJ és moderada però estadísticament significativa ($r_{SJ} = 0.62$; $p < 0.05$). En canvi, l'impuls positiu de la cama dreta i l'esquerra no presenta cap tipus de correlació en el CMJ i el CMJb ($r_{CMJ} = 0.19$; $r_{CMJb} = -0.16$; $p > 0.05$) indicant que les dues extremitats es comporten diferent. Quan es compara cama forta amb cama feble, s'observa una major correlació en el cas de l'SJ i el CMJ, però en el CMJb, les dues extremitats es segueixen comportant de manera diferenciada ($r_{SJ} = 0.86$; $r_{CMJ} = 0.69$; $p < 0.01$; $r_{CMJb} = 0.33$; $p > 0.05$).

Impuls negatiu de descens

L'impuls negatiu només està present en el CMJ i en CMJb (Taula 30). Podem observar com hi ha una major disparitat entre cama dreta i cama esquerra, encara que les diferències que s'observen no són estadísticament significatives.

Quan es compara entre cama forta i cama feble, s'observa una diferència en l'impuls negatiu estadísticament significatiu. Aquesta diferència és molt major en el salt amb participació de braços.

El comportament de l'impuls negatiu en la cama dreta i esquerra és similar en el cas del CMJ ($r = 0.68$; $p < 0.01$), però diferent en el cas del CMJb ($r = 0.41$; $p > 0.05$). Quan comparem cama forta amb cama feble, aquest valor presenta una bona correlació ($r_{CMJ} = 0.81$; $r_{CMJb} = 0.64$; $p < 0.01$).

Taula 29.- Valors d'impuls positiu per a cadascuna de les extremitats en els jugadors de voleibol

	SJ			CMJ			CMJb		
	D	E	IS	D	E	IS	D	E	IS
1	142.7	154.5	-7.7	242.0	214.4	11.4	360.8	204.6	43.3
2	106.6	133.5	-20.2	164.3	207.7	-20.9	179.2	207.6	-13.7
3	133.9	131.3	2.0	201.2	223.5	-10.0	218.8	212.5	2.9
4	164.8	150.3	8.8	246.9	215.0	12.9	262.8	219.5	16.5
5	125.2	133.7	-6.3	216.1	196.8	8.9	235.4	201.5	14.4
6	134.2	131.5	2.0	209.0	214.7	-2.7	217.2	215.6	0.7
7	94.8	108.8	-12.9	128.8	188.4	-31.6	126.8	198.4	-36.1
8	142.6	134.0	6.1	236.4	200.5	15.2	240.8	205.7	14.6
9	137.1	128.6	6.2	221.3	208.7	5.7	216.7	202.9	6.4
10	139.0	137.1	1.3	209.0	220.8	-5.3	213.3	257.2	-17.1
11				218.8	229.7	-4.7	184.7	255.6	-27.8
12	141.8	139.3	1.8	211.2	201.9	4.4	232.4	197.9	14.8
13	139.9	139.9	0.0	215.6	234.5	-8.1	208.9	238.9	-12.6
14	132.3	152.2	-13.1	176.3	226.9	-22.3	180.7	216.7	-16.6
15	144.2	153.8	-6.2	193.8	200.4	-3.3	195.2	195.6	-0.2
16	146.2	135.2	7.5	236.3	193.8	18.0	244.4	174.2	28.7
Mitjana	135.0	137.6	-1.9	207.9	211.1	-1.5	219.9	212.8	3.2
DS	16.6	11.9		30.7	13.6		49.7	21.8	
	Forta	Feble		Forta	Feble		Forta	Feble	
Mitjana	141.1	131.5	6.8**	222.3	196.7	11.5**	237.4	195.2	17.8**
DS	12.9	14.2		15.7	23.2		38.7	22.8	

** Diferència significativa, $p < 0.01$.

Els valors de l'impuls estan en Ns.

Com a conseqüència d'una errada es van perdre els valors de l'SJ del subjecte 11

Valors negatius en IS indiquen que la cama que aplica major impuls és l'esquerra i positius la dreta.

Taula 30.- Valors d'impuls negatiu per a cadascuna de les extremitats en els jugadors de voleibol

	CMJ			CMJb		
	D	E	IS	D	E	IS
1	75.9	101.6	-25.3	62.7	148.9	57.9
2	60.3	68.6	-12.2	53.0	74.3	-28.6
3	74.9	80.6	-7.1	79.9	63.1	21.0
4	81.8	87.4	-6.4	75.4	81.0	-6.9
5	78.1	76.4	2.1	84.7	79.5	6.1
6	83.8	82.3	1.8	66.3	83.2	-20.3
7	55.1	60.5	-9.0	49.2	70.2	-29.9
8	82.1	86.1	-4.7	102.2	106.6	-4.1
9	87.0	78.2	10.1	144.0	141.8	1.5
10	77.1	88.7	-13.1	107.9	118.2	-8.8
11	76.2	81.1	-6.1	99.7	66.8	33.0
12	66.9	74.3	-10.0	66.3	73.6	-9.8
13	90.2	84.9	5.8	89.6	63.8	28.9
14	73.1	80.8	-9.5	76.3	97.0	-21.3
15	60.9	71.5	-14.9	88.0	77.6	11.7
16	86.4	85.5	1.1	68.4	92.5	-26.0
Mitjana	75.6	80.5	-6.14	82.1	89.9	-8.7
DS	10.2	9.4		23.6	26.5	
	Forta	Feble		Forta	Feble	
Mitjana	81.7	74.5	8.8**	95.7	76.3	20.3**
DS	9.7	9.2		23.5	23.3	

** Diferència significativa, p<0.01.

Els valors de l'impuls estan en Ns.

Com a conseqüència d'una errada es van perdre els valors de l'SJ del subjecte 11

Valors negatius en IS indiquen que la cama que aplica major impuls és

l'esquerra

5.5.4.4. Temps total des de la força mínima

En el cas del temps total d'impulsió des de la força mínima, es pot observar que la diferència entre la cama dreta i l'esquerra és mínima. En canvi, quan es compara entre cama forta i cama feble, es pot veure com la diferència de temps entre les extremitats oscil·la entre 13.2 i 47.6 ms. Aquesta diferència és estadísticament significativa.

Taula 31.- Valors de temps total d'impulsió des de la força mínima per a cadascuna de les extremitats en els jugadors de voleibol.

	SJ			CMJ			CMJb		
	D	E	Dif	D	E	Dif	D	E	Dif
1	413	426	-13	717	650	67	766	710	57
2	371	389	-18	575	601	-26	617	760	-144
3	386	399	-13	522	521	1	647	636	12
4	417	410	7	548	578	-30	568	592	-23
5	377	354	23	512	473	39	684	603	81
6	426	425	1	549	553	-4	534	603	-69
7	278	303	-25	623	646	-23	742	799	-57
8	390	379	11	707	694	13	572	541	31
9	338	321	17	527	560	-33	553	571	-19
10	362	349	13	688	664	24	693	694	-1
11				663	675	-12	648	655	-7
12	374	345	29	536	552	-16	570	545	25
13	450	454	-4	502	513	-11	545	627	-82
14	369	367	2	669	681	-12	605	600	5
15	350	357	-7	504	507	-3	437	447	-10
16	366	381	-15	611	609	2	874	735	139
Mitjana	377.8	377.3	0.5	590.8	592.2	-1.5	628.4	632.3	-3.9
DS	40.8	41.3		77.0	70.3		106.3	90.7	
	Força	Feble		Força	Feble		Força	Feble	
Mitjana	384.2	371.0	13.2**	601.4	581.6	19.8**	654.2	606.6	47.6**
DS	37.8	42.9		74.8	71.2		106.1	84.1	

** Diferència significativa, $p < 0.01$.

Els valors del temps i de la diferència en ms.

Valors negatius en IS indiquen que la cama amb major durada és l'esquerra i positius la dreta.

Com a conseqüència d'una errada es van perdre els valors de l'SJ del subjecte 11

5.6. Discussió

5.6.1. Respecte de les diferents maneres per calcular l'alçada del salt

La Taula 15 mostra la correlació existent entre les diverses maneres de calcular l'alçada del salt vertical.

Quan comparem els dos instruments utilitzats en la valoració, s'observa que la correlació més elevada de la PC és amb l'alçada de la PF calculada mitjançant el temps de vol. Aquesta correlació és de 0.998, i és similar a l'obtinguda per altres autors ($r = 0.984$ a García-López, 2005; $r = 0.95$ a Maulder i Cronin, 2005; $r = 0.959$ a Szmuchrowski, 2007; $r = 0.84$ a Roig, 2008). Que el valor de la PC tingui una millor correlació amb el del temps de

vol de la PF sembla lògic, ja que tots dos instruments utilitzen el mateix paràmetre (temps de vol) i la mateixa equació (Equació 9) per obtenir l'alçada del salt.

En aquesta mateixa taula podem observar com també existeix una correlació excel·lent entre les tres equacions utilitzades per un mateix instrument. La correlació entre l'alçada del salt obtinguda mitjançant la velocitat de sortida i el desplaçament del centre de masses és perfecte, la qual cosa, també és lògica si tenim en compte que el desplaçament del CM s'obté quan s'integren els valors de la velocitat.

A partir de la Taula 14 es pot observar com el càlcul de l'alçada mitjançant el temps de vol sobreestima el valor del salt quan es compara amb el mètode de la velocitat de sortida o el desplaçament del CM. Això està d'acord amb Kibele (1998), Lara i col·laboradors (2006b) i Moir (2008b). No obstant, aquests autors observen unes diferències d'entre 0.5 i 2 cm i els resultats de la Taula 14 mostren unes diferències majors (3.7 cm) sobretot quan s'utilitza la PC com a instrument d'anàlisi (5.2 cm).

Aquestes diferències han estat atribuïdes a que la posició del cos entre l'inici del salt i la caiguda canvia (Aguado i González, 1995). Abans de la caiguda, els jugadors flexionen lleugerament les cames per evitar part de l'impacte de caiguda (Briner i Kacmar, 1997).

Quan s'utilitza la velocitat de sortida per a determinar l'alçada del salt no es té en compte la posició del cos. La mesura és més estable (observar la major desviació estàndard de l' h_{PC} i l' h_f en la Taula 15) i assegura que depèn del moviment realitzat abans de la fase de vol del salt.

Com que es va trobar un valor del salt mitjançant la PC diferent de l'obtingut mitjançant la PF, es va establir una equació de regressió (Equació 16). Aquesta equació permet comparar els resultats d'altres temporades i d'altres autors, en el cas que la mesura sigui presa exclusivament mitjançant la velocitat de sortida. Per exemple, la plataforma de forces ofereix molt poca superfície per a poder realitzar un salt amb cursa d'aproximació, llavors, si utilitzem aquesta equació de regressió podem comparar les dades amb la de la resta de salts.

5.6.2. Respecte l'alçada dels salts avaluada mitjançant la plataforma de contactes

5.6.2.1. Anàlisi del grup

El període de la temporada en el qual es va portar a terme el test de salts va ser diferent que els de les temporades 2006-2008, tot i així, creiem convenient una comparació dels resultats amb els de les temporades anteriors.

Quan el test es duu a terme a l'inici de la temporada, s'avaluen les condicions dels jugadors després de deixar els seus respectius equips. D'aquesta manera, s'avalua l'estat dels jugadors quan ja porten un temps entrenant en les mateixes condicions i sota les mateixes directrius, i tot i que faltaria una avaluació inicial, es pot veure com afecta als jugadors l'entrenament realitzat.

Com és lògic, i coincidint amb altres referències (Taula 3) s'observa una evolució creixent de l'alçada del salt en cadascun dels salts. L'índex d'aproximació és el de major magnitud, però molt similar al d'utilització de braços. El valor de l'índex d'elasticitat és el més baix.

Quan es comparen les dades amb els valors de la temporada 2008 es percep una disminució en l'alçada del salt per al SJ (en 4.8 cm), el CMJ (en 1.7 cm) i el CMJb (en 2 cm), però un increment significatiu del DJb en 8.8 cm. Els valors dels salts són similars, però superiors, als obtinguts per Carvalho i col·laboradors (2007) i Ciccarone i col·laboradors (2008).

S'ha de tenir en compte que durant la temporada 2008 van formar part de la selecció 13 jugadors, mentre que en la temporada 2009 la selecció va estar composta per 16 jugadors. Sis jugadors van realitzar el test les dues temporades.

Els resultats doncs, poden dur a pensar que la condició física dels jugadors de la temporada 2009 és lleugerament millor al de les temporades anteriors, sobretot en aquell tipus de salt que té una major demanda en l'entrenament i els partits.

5.6.2.2. Anàlisi per posicions de joc

De manera similar a les temporades anteriors, la Figura 31 mostra com els col·locadors són els jugadors que presenten una menor capacitat de salt vertical. Això és així perquè durant aquesta temporada no es va passar el test a cap jugador lliero. S'ha observat com, en general, aquests jugadors són els que tenen una menor capacitat de salt entre tota la plantilla (Ciccarone, 2008; Marques, 2009 i Estudi 1).

Durant aquesta temporada, i coincidint amb Sheppard i col·laboradors (2009), els jugadors de punta són els que més capacitat de salt presenten. Els resultats suposen una variació respecte els de la Figura 19, on aquests jugadors són els que major salten únicament en l'SJ.

La diferència dels valors dels salts entre centrals i oposats és molt petita (d'entre 0.3 i 1.8 cm), i excepte en el DJb, els oposats presenten un valor major de salt.

La Figura 32 és una adaptació de la Figura 19, incorporant les dades de la temporada 2009. Es pot veure com hi ha una petita variació de les dades, aproximant la classificació

a l'obtinguda per Sheppard i col·laboradors (2009), on els jugadors exteriors són els que major capacitat de salt presenten, seguits pels centrals i pels col·locadors.

5.6.3. Respecte l'alçada dels salts avaluada mitjançant la plataforma de forces

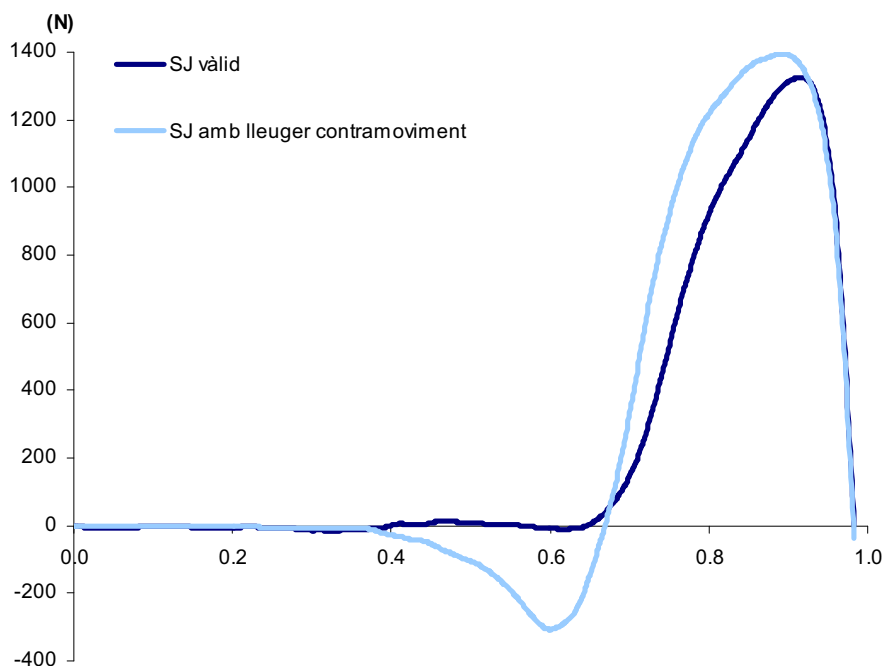
5.6.3.1. Salt sense contramoviment

S'ha comentat que el contramoviment és un moviment previ que va en direcció contrària al que realment es vol fer. Aquest és un moviment natural que permet alternar el cicle d'estirament i escurçament muscular i acumular energia elàstica en el múscul (Komi i Bosco, 1978; Bobbert, 1996; Ferragut, 2002) incrementant la quantitat d'impuls del moviment i la magnitud de la força inicial (Bobbert, 1996).

Durant un test de salt vertical, l'SJ s'inicia des d'una posició de semiflexió de cames. El moviment d'aquest salt ha de ser exclusivament ascendent, d'aquesta manera es pot avaluar la força explosiva del múscul (Bosco, 1994). Però realitzar un SJ perfecte és de difícil execució, tot i que l'atleta estigui familiaritzat amb aquest protocol de salt (Innocenti, 2006).

En la Figura 35 es representa la corba de força d'un SJ ben executat o "vàlid" i d'un altre que presenta un lleuger contramoviment. Els dos salts fan referència a un mateix esportista (jugador número 8) i les alçades del salt són 36.3 cm i 41.4 cm, respectivament.

Figura 38.- Representació de la corba força – temps en un SJ considerat vàlid i en un altre amb presència d'un petit contramoviment considerat màxim.



Segons Innocenti i col·laboradors (2006), són els jugadors no experimentats els que més dificultat tenen en realitzar un SJ sense cap tipus de contramoviment. Nosaltres hem observat que gairebé el 50% dels jugadors presenten algun tipus de dificultat en realitzar un SJ correcte des de l'inici del test, i que el 25% no és capaç de realitzar un SJ "vàlid" després de 3 intents.

Durant la realització d'un test de salts, és l'observador qui determina si un SJ és correcte o no, i, en l'exemple de la Figura 35, tots dos salts es van considerar ben executats quan en realitat no és així. Mitjançant la plataforma de forces, doncs, és fàcil discriminar un SJ ben executat d'un altre que no ho és i posa en evidència la dificultat que suposa per a l'observador identificar aquells SJ vàlids, durant la realització d'un test, a través del moviment del jugador.

En la part de procediment s'explica que s'escull el millor dels tres salts per a l'anàlisi del rendiment. Això és adequat en el cas d'avaluar el CMJ i el CMJb, però en el cas de l'SJ no ho és, ja que l'SJ màxim no sempre coincideix amb l'SJ vàlid que és el que té el mínim de contramoviment (Taula 18 i Taula 19). Es pot observar com tots els jugadors, excepte un, realitzen un lleuger contramoviment que està entorn el 2.3% del contramoviment realitzat en el CMJ. Tot i així, hi ha dos jugadors que presenten un contramoviment del 9.7% i del 12.2%, indicant que no saben executar un SJ correctament o que es va ser massa liberal a l'hora d'acceptar-lo com a vàlid durant el test.

Identificar l'SJ correcte és clau a l'hora de realitzar un anàlisi dels salts també correcte. Així ho indica la diferència significativa observada entre l'SJ vàlid i el màxim. En la Figura 34 es pot observar, també, com l'índex d'elasticitat canvia sensiblement entre un SJ i l'altre.

Els valors de les variables de rendiment calculades per a l'SJ es presenten en la Taula 20. L'alçada mitjana de l'equip va ser de 36.6 cm. El jugador que va saltar més va aconseguir una alçada de 43.5 cm, mentre el que va saltar menys va mostrar una alçada de 29.6 cm. El valor del salt s'assimila, tot i que és lleugerament inferior, als aconseguits per Komi i Bosco (1978) i Ferragut i col·laboradors (2002) (Taula 3). No obstant, cap de les dues referències cita el moment de la temporada en el qual s'ha portat a terme el test.

S'han pogut extreure de la bibliografia valors de referència de diverses de les variables calculades (Taula 32).

La força màxima desenvolupada pels jugadors ha estat de 2308 N de mitjana. Això són 2.6 vegades el pes corporal. Aquest valor és molt superior a l'obtingut per Ferragut i col·laboradors (2002) en jugadors de voleibol de categoria nacional, als obtinguts per Riggs i Sheppard (2009) en jugadors de voleiplatja i als obtinguts en altres poblacions

(Shetty, 1989; Harman, 1990; Hara, 2006). Creiem, no obstant, que aquests valors poden haver estat presentats normalitzats amb el pes corporal, ja que si li sumem aquest, s'aproximen als obtingut en el present estudi (veure valors entre parèntesis Taula 32).

Taula 32.- Valors de referència de diversos paràmetres calculats durant un SJ observats en la bibliografia

Autor	Subjectes	h_v (cm)	F_{max} (N)	I_p (Ns)	t_t (ms)	P_{max} (W)	P_{av} (W)	v_{max} (m/s)	d_{cm} (cm)
Bobbert (1996)	Jugadors voleibol	44.7			420				
Bosco (1994)	Esportistes				280- 320				
Ferragut (2002)	Jugadors voleibol	37.4	1168 (2021)	235					
Hara (2006)	Subjectes sans	44.5	1590 (2273)	172					
Harman (1990)	Físicament actius	27	1562 (2295)	186		3262	43.6	1260	2.30
Riggs i Sheppard (2009)	Jugadors voleiplatja	44.5	1961 (2647)	269		2639	28.9		
Sayers (1999)	Físicament actius					4620	58.3		
Shetty (1989)	Universitaris	21.6	1694 (2458)			1742	22.3		

Es valors en parèntesi mostren el valor de força màxima quan se li afegeix el pes corporal.

Ferragut i col·laboradors (2002) obtenen un valor similar, però lleugerament inferior per a l'impuls positiu (235 Ns vs els 265.4 Ns del present estudi), mentre que Riggs i Sheppard (2009) obtenen un valor similar. Sembla ser que els jugadors de voleibol generen un major impuls positiu que els subjectes sans (Hara, 2006) i físicament actius (Harman, 1990). El temps total d'impulsió (423 ms) és similar a l'enregistrat per Bobbert i col·laboradors (1996), també en jugadors de voleibol i lleugerament més elevat que l'obtingut per Bosco (1994).

La potència màxima aconseguida pels jugadors de voleibol (5289 W) és molt superior a la realitzada per jugadors de voleiplatja (Riggs i Sheppard, 2009) i en subjectes físicament actius (Shetty, 1989; Harman, 1990; Sayers, 1999). Quan aquests resultats es presenten relatius al pes corporal, es detecta un grup de subjectes actius amb valors de potència similars als dels jugadors de voleibol (Sayers, 1999). La potència mitjana positiva aconseguida per Harman i col·laboradors (1990) és també inferior a la dels jugadors de voleibol. També és molt inferior la obtinguda per Riggs i Sheppard (2009) en jugadors de voleiplatja.

El valor de velocitat màxima aconseguida en homes físicament actius també és inferior al dels jugadors de voleibol (Harman, 1990).

Per últim, Harman i col·laboradors (1990) obtenen un valor de contramoviment de 1.2 cm, que és lleugerament superior a l'aconseguit pels jugadors en el present estudi (0.9 cm).

5.6.3.2. Salt amb contramoviment

Els valors de les variables de rendiment calculades per a l'CMJ es presenten a la Taula 21. L'alçada mitjana de l'equip va ser de 43.0 cm, amb alçades compreses entre els 51.9 cm i els 34.5 cm. Aquests resultats s'assimilen als aconseguits per Komi i Bosco (1978). Els valors mostrats per Ferragut i col·laboradors (2002) en jugadors de primera divisió espanyola són força menors (37.6 cm) que els de la temporada 2009. Altres autors, referencien valors de CMJ majors (Oddsson i Thorstensson, 1992; Vanrenterghem, 2004; Wagner, 2009) (Taula 3).

Durant la realització del salt vertical es va determinar un pic de força màxima de 2258 N, la qual cosa suposa 2.5 vegades el pes corporal. En la bibliografia (Taula 33) s'observen valors menors de força màxima, tant en jugadors de voleibol (Ferragut, 2002), com en altra població masculina (Harman, 1990). Com passa en l'SJ, creiem que aquests valors representen la força màxima sense tenir en compte el pes corporal. Quan s'afegeix el pes corporal, es pot observar com els valors dels jugadors de voleibol estan per sota dels aconseguits en el present estudi (Ferragut, 2002), la qual cosa pot semblar normal, si tenim en compte que el valor del salt vertical en aquest estudi també ha estat inferior. En canvi, els valors de Harman i col·laboradors (1990) són lleugerament majors, tot i que el valor del salt també és inferior.

Pel que fa als valors relacionats a l'impuls, no s'han trobat referències que citin el valor d'impuls total. S'han observat valors similars, però lleugerament inferiors, per a l'impuls negatiu (Ferragut, 2002). Els valors d'impuls positiu que s'observen a Ferragut i col·laboradors (2002) i Harman i col·laboradors (1990) són inferiors als observats per nosaltres. Són similars els valors de l'impuls concèntric obtinguts per Ugrinowitsch i col·laboradors (2007) en esportistes especialitzats en activitats de salt i potència.

En relació als diversos coeficients calculats, podem observar com el coeficient d'impuls obtingut en els jugadors de voleibol està per sobre del que Hochmuth (1973) recomana, és a dir, entre 0.3 i 0.4. El valor del ratio entre l'impuls negatiu i positiu és superior al 0.27 aconsellat (Dowling i Vamos, 1993). El ratio de consum energètic (Innocenti, 2006) és de 0.99 de mitjana indicant, segons els seus creadors, que la fase de contracció és més baixa que la fase de relaxació.

El temps total d'impulsió (849 ms) obtingut és inferior a l'observat per Vanrenterghem i col·laboradors (2004) en jugadors de voleibol nivell elevat, però superior a l'aconseguit per Ugrinowitsch i col·laboradors (2007). Lees i col·laboradors (2004) obtenen valors similars de temps d'impuls en esportistes, mentre que Cormie i col·laboradors (2008)

Taula 33.- Valors de referència diversos paràmetres del CMJ observats en la bibliografia

Autor	Subjectes	h_v (cm)	F_{max} (N)	I_p (Ns)	I_n (Ns)	I_{conc} (Ns)	t_r (s)	t_E (ms)	t_C (ms)	t_{ST} (ms)	P_{max} (W)	P_{av} (W)	V_{max} (m/s)	d_{cm} (cm)	d_{ST} (cm)
Aragón-Vargas i Gross (1997a)	Físicament actius	52.0						316			3863	52.0			
Bobbert (1996)	Jugadors voleibol	48.1						330							
Cormie (2008)	No pràctica esportiva	45					1.04				4616	57.1	3.09		
Ferragut (2002)	Jugadors voleibol	37.6	1196 (2050)	235	117										
Gajewski (1998)	Subjectes no entrenats	49.4									2535	34.0		30.7	
Harman (1990)	Físicament actius	28.6	1697 (2458)	281							3216	43.0	2.54	35.0	
Herzog (2002)	Jugadors voleibol										5355	68.2			
Kibele (1998)	Estudiantis EF (nois i noies)	30.2								138				26.7	11
Lees (2004)	Esporistes	33.9					0.86								
Riggs i Sheppard (2009)	Jugadors voleiplatja	46.9	2157 (2834)	417							2588	23.7			
Sayers (1999)	Físicament actius										4708	60.1			
Ugrinowitsch (2007)	Especialistes en salt i potència	40.0				235.1	0.78								
Vanrenterghem (2004)	Jugadors voleibol	46.0					0.92	640	280					32.0	

Els valors en parèntesi mostren el valor de força màxima quan se li afegeix el pes corporal.

observen un temps molt elevat en persones que no realitzen cap pràctica esportiva. Pel que fa a la durada de la fase concèntrica del salt hem observat valors similars, encara que lleugerament inferiors, als treballs de Bobbert i col·laboradors (1996) i d'Aragón-Vargas i Gross (1997a), però lleugerament superiors als de Vanrenterghem i col·laboradors (2004). Aquests últims autors, observen una fase excèntrica lleugerament més elevada que l'observada en el present estudi.

Altres jugadors de voleibol mostren una potència màxima similar a la dels jugadors de voleibol avaluats en aquest estudi, no obstant la seva potència relativa és força superior (Herzogh, 2002). La potència positiva mitjana de subjectes físicament actius és menor que l'observada per nosaltres (Harman, 1990).

El contramoviment efectuat pels jugadors de voleibol en aquest estudi també ha estat superior a l'observat tant en altres jugadors de voleibol (Vanrenterghem, 2004), com en subjectes físicament actius (Harman, 1990; Kibele, 1998) i en subjectes no entrenats (Gajewski, 1998).

Aragón-Vargas (2000) observen una alçada de sortida d'uns 15.9 cm. Segons l'autor, aquesta alçada és similar per a tots els subjectes. En el cas del CMJ, hem pogut observar una alçada menor (11.9 cm), en un rang d'entre 9.7 cm i 15.6 cm.

Per últim, Kibele (1998) determina dues variables per tal d'estimar quantitativament el comportament del cicle d'estirament escurçament muscular. Aquests són el temps i la distància d'estirament. Els valors de referència que es deriven del seu article, es poden veure també en la Taula 33. Podem observar com els jugadors de voleibol tenen una major distància i temps d'estirament i aconseguen una alçada de salt millor.

5.6.3.3. Salt amb contramoviment i utilització de braços

En la Figura 7 (punt 2.1.3, p.35) es detalla el patró de moviment de la força durant un CMJb. Aquest patró també ha estat descrit per altres autors quan s'ha volgut explicar la participació dels braços en l'alçada del salt vertical (Shetty, 1989; Harman, 1990; Feltner, 1999; Lees, 2004).

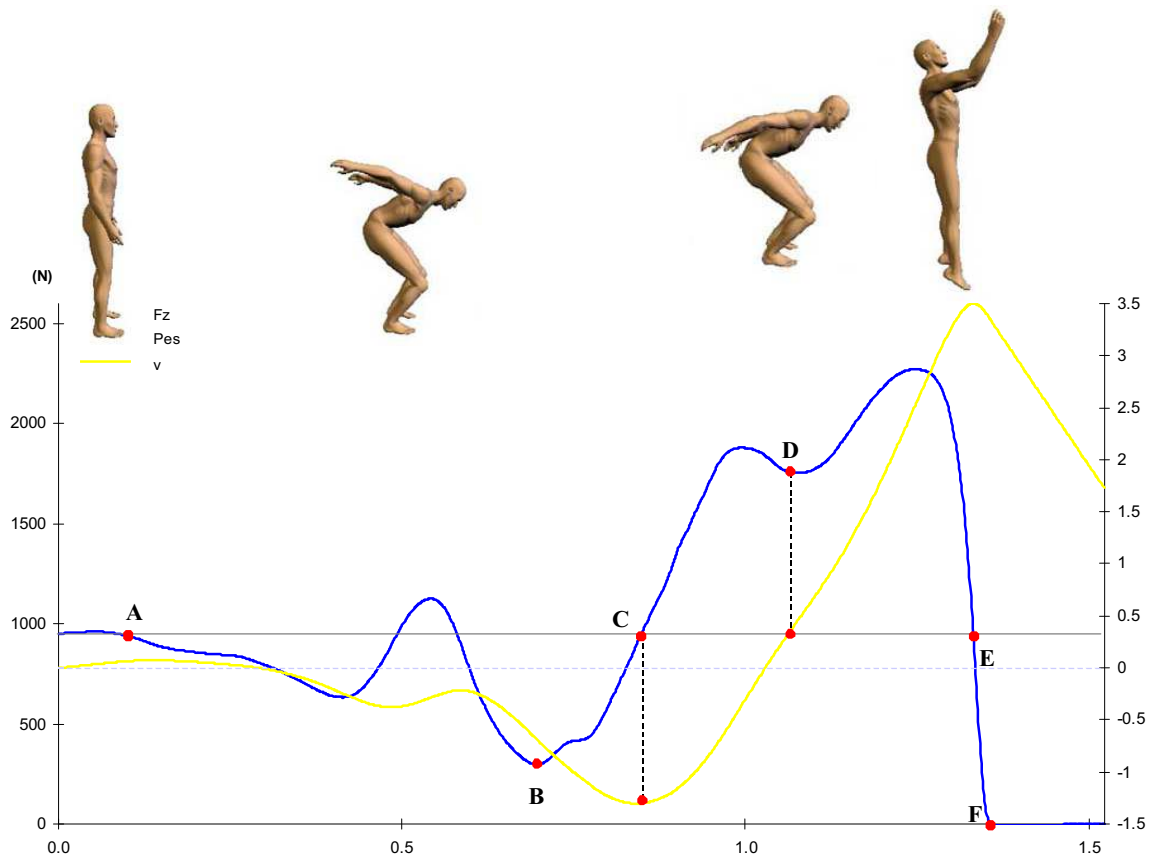
No obstant, hem pogut detectar que el patró de la força en algun dels jugadors és una mica diferent de l'explicat (Figura 39). En aquest patró podem detectar com el perfil de la corba de força entre els punts A i B canvia.

Se suposa que en aquesta fase el saltador comença la flexió de cames i el desplaçament dels braços enrere. En la línia patró (Figura 7), la força vertical disminueix perquè es produeix relaxació muscular, però en la corba actual, es produeix un pic de força per sobre del pes corporal durant aquesta fase.

Per entendre aquest nou patró de corba, vam realitzar una sèrie de salts sobre la plataforma de forces i els vam sincronitzar amb una senyal de vídeo. Llavors vam poder observar que aquest pic de força entre el punt A i B és degut al moviment enèrgic dels braços enrere. Aquest moviment de braços enrere va acompanyat d'una flexió de tronc endavant i d'una lleugera flexió de cames, la qual cosa produeix un descens del centre de masses del cos.

S'ha de tenir en compte que estem parlant de jugadors que tenen una alçada mitjana de 195 cm, un pes de 89.4 kg i un 48.9 % de massa muscular. Els braços tenen una longitud mitjana de 77.5 cm i, seguint el model de Dempster (1955), un pes aproximat de 4.4 kg (que correspon al 4.9% del pes total). Aleshores, quan el desplaçament dels braços enrere es fa ràpidament, creiem que es genera un moment de força descendent en el tronc i que es transmet a través de les cames cap el terra. Al mateix temps, fa incrementar la força de reacció vertical per sobre el pes corporal modificant el patró de la corba de força (Dapena, 2007).

Figura 39.- Patró de força observat en quasi la meitat dels jugadors de voleibol durant l'execució d'un CMJb. Monos adaptats de Lees i col·laboradors (2004).



La fase A-C és anomenada impuls negatiu de descens (Lara, 2006b), però degut aquest nou patró hi hauria la necessitat de canviar aquesta nomenclatura.

Com en el SJ i el CMJ, es poden observar els valors de les variables calculades per a l'CMJb en una taula (Taula 34).

Els jugadors de la selecció van saltar 51.1 cm de mitjana, amb un rang comprès entre els 59.6 i els 42.6 cm. Només s'ha trobat un article que mesuri l'alçada del CMJb mitjançant la plataforma de forces en jugadors de voleibol (Shan, 2000). El valor d'aquesta referència és major del detectat en el present estudi (Taula 34). Tot i això, els valors de força màxima obtinguts en aquesta referència són menors dels observats en els jugadors de la selecció espanyola. Harman i col·laboradors (1990) observen, en subjectes físicament actius, valors superiors quan se suma el pes corporal al valor proporcionat.

Pel que fa a l'impuls mecànic, tant Harman i col·laboradors (1990) com Shan (2000) obtenen valors inferiors.

Taula 34.- Valors de referència diversos paràmetres del CMJb observats en la bibliografia

Autor	Subjectes	h_v (cm)	F_{max} (N)	I_p (Ns)	I_n	t_t (ms)	P_{max} (W)	P_{av} (W)	v_{max} (m/s)	d_{cm} (cm)	
Harman (1990)	Físicament actius	39.1	1725 (2458)	289			3896	52.1	1470	2.77	32
Harman (1991)	Homes						3767	50.4			
Lees (2004)	Esportistes	40.2				0.96					
Shan (2000)	Jugadors voleibol	59.3	2014	331.5	69.3				3.41	44.6	

Els valors en parèntesi mostren el valor de força màxima quan se li afegeix el pes corporal.

El valor del coeficient d'impuls és menor que el detectat en el CMJ i entra, pel límit superior, en els valors de referència (entre 0.3 i 0.4) (Hochmuth, 1973). El ratio entre l'impuls negatiu i positiu és similar al del CMJ i està per sobre del valor 0.27 recomanat per Dowling i Vamos (1993). El ratio de consum energètic està per sota de l'obtingut en el CMJ indicant que els braços ajuden a la relaxació muscular i milloren l'eficiència energètica del salt (Innocenti, 2006).

El temps d'estirament del CMJb és menor que el del CMJ, però, en canvi, la distància d'estirament és 3.9 cm. Com que el pre-estirament muscular és major, llavors hi ha la possibilitat de generar una major energia elàstica en el component elàstic del múscul

(Komi i Bosco, 1973). L'estirament es produeix durant menys temps, disminuint el temps d'acoblament i permetent un major aprofitament de l'energia acumulada (Vélez, 1992).

Els valors de potència màxima observats en homes físicament actius, estan per sota dels obtinguts en els jugadors de voleibol (Harman, 1990; Harman, 1991).

El contramoviment realitzat durant el CMJb és lleugerament inferior al realitzat en el CMJ. El valor obtingut també és inferior a l'observat en altres jugadors de voleibol (Shan, 2000), però superior al observat en homes físicament actius (Harman, 1990).

La mesura de l'alçada de sortida en el CMJb s'aproxima més a l'obtinguda per Aragón-Vargas (2000).

5.6.3.4. Variables que presenten relació amb l'alçada del salt.

Diversos grups científics han intentat buscar la relació de paràmetres cinemàtics i cinètics, derivats de la corba força-temps, amb l'alçada del salt vertical (Dowling i Vamos, 1993; Aragón-Vargas i Gross, 1997a; Aragón-Vargas i Gross, 1997b). Altres, han creat paràmetres o índexs per explicar i avaluar el rendiment d'algunes de les fases del salt, com per exemple, el cicle d'estirament escurçament (Kibele, 1993) o el ratio de consum energètic (Innocenti, 2006).

L'objectiu d'aquestes relacions ha estat el de descobrir característiques comunes en el salt que permetin identificar el bon rendiment i determinar possibles febleses en la seva execució.

Les Taules 17, 18 i 19, mostren la correlació existent entre diversos paràmetres amb l'alçada del salt vertical, per al SJ, el CMJ i el CMJb respectivament.

La **velocitat màxima** d'execució és la variable que millor correlació presenta en els tres tipus de salts, la qual cosa és lògica, si tenim en compte que l'alçada del salt es calcula a partir de la velocitat de sortida, i aquesta es dona, de mitjana, uns 26 ms després.

La **potència màxima**, sobretot quan es presenta relativa al pes corporal, sembla ser un bon indicador de l'alçada del salt; Aquests resultats coincideixen amb Dowling i Vamos (1993) i Aragón-Vargas i Gross (1997a; 1997b). El valor de força màxima, coincidint novament amb Dowling i Vamos (1993), només presenta una correlació moderada en el CMJb. Això és interessant en la vessant de l'entrenament esportiu, ja que indica que no només s'ha d'incrementar la força per augmentar l'alçada del salt, sinó que s'ha d'augmentar la força a velocitats elevades d'execució.

La **potència mitjana positiva** també mostra una correlació moderada amb l'alçada del salt, no obstant, s'observen resultats contradictoris, ja que en el SJ i el CMJ la correlació és negativa, mentre que en el CMJb és positiva.

Dowling i Vamos (1993) observen una correlació moderada entre l'alçada del salt i el **ratio entre l'impuls negatiu i positiu**. Segons els autors, aquest ratio és d'entorn 0.27, la qual cosa indica que és necessari realitzar una certa quantitat d'impuls negatiu, però que valors elevats no estan relacionats amb salts més alts. En aquest estudi, no s'ha trobat cap correlació d'aquest factor amb l'alçada del salt.

Segons Pandi i Zajac (1991), els individus que més salten són aquells que apliquen un major **impuls** vertical. Per al SJ, s'ha trobat una correlació baixa amb l'impuls total. La baixa correlació, no significativa, entre l'impuls i l'alçada del salt en el CMJ i el CMJb no confirmen aquesta relació.

També s'ha comentat que un elevat **contramoviment** sembla ser beneficiós per millorar l'alçada del salt (Kibele, 1993). En aquest estudi, s'ha observat una correlació significativa entre l'amplada del contramoviment i l'alçada del salt per a l'SJ i el CMJb. En el cas de l'SJ, sembla ser que com més contramoviment es realitzi major serà l'alçada del salt, i està en línia amb les diverses teories mecàniques i fisiològiques que expliquen perquè el contramoviment ajuda a millorar l'alçada del salt. En el cas del CMJb, sembla ser que no per realitzar un major contramoviment s'aconsegueix una major alçada de salt, la qual cosa posa en evidència la responsabilitat dels braços en la millora del valor del salt.

5.6.4. Respecte la determinació de l'asimetria

Se suposa, que durant una activitat simètrica, les dues extremitats es comporten també simètricament (Holder-Powell i Rutherford, 1999), no obstant, s'ha pogut observar que l'asimetria existeix durant el moviment (Hamill, 1984), fins i tot quan les dues extremitats realitzen la mateixa tasca simultàniament (Maines i Reiser, 2006).

En el present estudi s'ha volgut avaluar la simetria de diversos paràmetres, relacionats amb la força i la durada del moviment, durant l'execució de salts verticals amb recolzament bipodal. A tal efecte, es va comparar entre cama dreta i cama esquerra, però per tal d'evitar possibles emmascaraments de l'asimetria degut a les possibles compensacions (Newton, 2006; Schilz, 2009), també es va realitzar la comparació entre cama forta i cama feble (Newton, 2006; Impellizzeri, 2007).

Per tal de determinar el percentatge d'asimetria existent entre les dues extremitats es va utilitzar un índex de simetria que també ha estat utilitzat en la valoració de la força durant el salt vertical (Menzel, 2006; Bherin, 2007; Impellizzeri, 2007). A més a més, la determinació de l'asimetria es va portar a terme en els tres tipus de salts realitzats sobre de la plataforma de forces. Altres autors han determinat les diferències entre extremitats per al CMJ (Bherin, 2007; Impellizzeri, 2007) i per al CMJb (Lawson, 2006; Newton, 2006). No s'ha trobat cap estudi que utilitzi l'SJ per la determinació de l'asimetria.

Creiem que és suficient utilitzar l'SJ i el CMJ per avaluar les possibles diferències existents entre cada una de les extremitats. El CMJb pot aportar una informació complementària en el cas que els resultats de l'SJ i el CMJ siguin contradictoris, però no creiem que sigui adequat utilitzar exclusivament el CMJb en la determinació d'asimetries de l'extremitat inferior degut a la important participació dels braços en el moviment. La participació dels braços permet incrementar l'alçada del salt en un 10% (Feltner, 2004) i la força màxima en un 6% (Shetty i Etnyre, 1989), però les cames no treballen de manera aïllada i una mala coordinació braços – cames pot agreujar o minimitzar les diferències.

Els valors de força màxima dels jugadors de voleibol no mostren diferències significatives quan es compara cama dreta amb cama esquerra. Durant un salt vertical, els jugadors realitzen una força màxima que és aproximadament 2.6 vegades el pes corporal i cada cama és responsable del 50% d'aquesta força. Aquests resultats coincideixen amb els de Lawson i col·laboradors (2006) que tampoc no observen diferències en el pic de força màxima de les extremitats, durant un CMJb, en jugadors de voleibol. Però, igual que a Newton i col·laboradors (2006), sí s'observen diferències quan es compara cama forta i cama feble. Aleshores, els jugadors presenten una simetria d'entre el 4 i el 5.5 % en els tres tipus de salts. En tots els salts, l'asimetria és estadísticament significativa, però no supera, en cap cas, el 15% considerat nivell de risc per patir lesions (Barber, 1990; Knapik, 1991; Petsching, 1998; McCurdy i Langford, 2006).

Pel que fa als valors de l'impuls, no s'observen diferències significatives entre la cama dreta i l'esquerra per a l'impuls total, ni pels impulsos positius i negatius. En canvi, si s'observa asimetria en els tres tipus d'impuls quan es compara cama forta amb cama feble. Els valors dels índex de simetria dels impulsos són majors que els de la força màxima, però el 15% considerat nivell de risc per patir lesions, només s'observa en l'impuls positiu i negatiu del CMJb.

Behring i col·laboradors (2006) també utilitzen l'impuls mecànic per identificar diferències en jugadors de futbol. En el seu cas, no observen asimetria entre la cama dominant i la no dominant de jugadors de futbol.

Coincidint amb Menzel i col·laboradors (2006), creiem que l'impuls mecànic explica millor el comportament de cada extremitat, ja que té en compte la força que es fa durant tot el temps que dura el moviment, mentre que amb la força màxima només avalua la força en instant concret del moviment.

Pel que fa a la durada del moviment, es va escollir el pic de mínima força com a punt d'inici. S'ha observat que el temps pres des de la força mínima varia menys que el temps pres des de l'inici real del moviment (William, 2008). Pel que fa a l'asimetria d'aquest paràmetre, cal comentar que s'observa el mateix que en els paràmetres anteriors. Quan

es compara cama dreta i cama esquerra, no es produeix cap tipus d'asimetria entre extremitats, però si quan es compara cama forta amb cama feble, indicant que hi ha una cama que realitza força durant més temps que l'altre. Les diferències són superiors al 15% en el CMJ i el CMJb.

Com a curiositat, es va prendre el valor del pes suportat per cada extremitat. En general, i com esperàvem per a una població normal, s'observa una bona repartició del pes entre les extremitats (Taula 26).

CONCLUSIONS

6. ESTUDI 1: Valoració del salt vertical en jugadors voleibol. Seguiment de tres temporades d'un equip d'alt nivell.

- Aquest estudi aporta dades sobre l'alçada de diferents salts verticals en jugadors de voleibol espanyols.
- L'alçada dels salts dels jugadors millora en cada temporada, aconseguint el valor màxim dels salts durant la temporada 2008. També milloren les diferents manifestacions de la força i la utilització dels braços en el salt, tot i que entre la temporada 2007 i 2008 l'índex d'elasticitat és pitjor. Això indica que, en termes generals, la forma física de la selecció és millor any rere any.
- Sobretot s'incrementa l'alçada en aquells salts que tenen una major relació amb els elements tècnics de l'atac i el servei, és a dir, en el CMJb i el DJb.
- Els jugadors líberos són els que menys capacitat de salt presenten, seguits pels col·locadors. Els atacants són els jugadors que major capacitat de salt tenen.
- Si bé l'ús de la plataforma de contactes és habitual per a determinar l'alçada en els SJ i els CMJ, no ho és tant en la valoració del CMJb. No s'ha trobat cap referència que utilitzi aquest instrument per a la valoració del DJb.
- L'alçada del salt vertical va canviant al llarg de la temporada i s'ha d'anar en compte quan es comparen els valors d'un dels períodes amb altres avaluats en un altre moment. Les diferències poden ser degudes al tipus d'entrenament aplicat, però també als diferents instruments o equacions aplicades.

7. ESTUDI 2: Valoració del salt vertical en jugadors de voleibol. Determinació de l'asimetria de forces.

- Aquest estudi aporta dades sobre l'alçada de diferents salts verticals en jugadors de voleibol espanyols complementant l'Estudi 1 d'aquesta mateixa tesi doctoral.
- La plataforma de forces és un instrument útil per avaluar, de manera directa, la força i la potència del salt vertical.
- Les reduïdes dimensions de la plataforma de forces no permeten la valoració del salt vertical amb cursa d'aproximació.
- Quan s'utilitza la plataforma de forces com a sistema de mesura, és més adequat calcular l'alçada del salt utilitzant la velocitat de sortida.
- La mesura dels salts verticals mitjançant la plataforma de forces suposa una avantatge respecte de la plataforma de contactes perquè permet identificar l'SJ correcte a través de l'observació de la corba.
- No és adequat utilitzar l'SJ màxim sinó l'SJ "vàlid", que és aquell que presenta menor contramoviment.
- S'ha observat que gairebé el 50% dels jugadors de voleibol mostren un patró de CMJb diferent del descrit en la bibliografia, amb pic de força durant l'anomenada fase d'impuls negatiu de descens que és conseqüència del moviment ràpid dels braços enrere i de la flexió del tronc cap endavant.
- La potència màxima, sobretot quan es mostra relativa al pes corporal, és la variable que millor explica l'alçada del salt vertical. Per tant, qualsevol entrenament que pretengui millorar l'alçada del salt ha d'anar orientat a la millora de la força a elevades velocitats d'execució.

- En general, aquesta població de voleibol no presenta asimetria de forces entre l'extremitat dreta i l'extremitat esquerra. La força màxima executada en cada extremitat és el 50% de la total.
- Es detecta, en jugadors de voleibol, asimetria en la força màxima, l'impuls mecànic i la durada del moviment entre cama forta i cama feble.
- La força màxima, l'impuls i la durada del moviment ens permeten determinar l'existència de l'asimetria de forces entre les extremitats.
- És preferible utilitzar l'impuls mecànic sobre la força màxima, ja que explica el comportament de cada extremitat durant tot el moviment i no exclusivament en un moment concret del salt.
- Algun jugador presenta una asimetria superior al 15%. Aquest és considerat el nivell a partir del qual s'està més exposat a patir lesions.
- Considerem que el mètode generat és útil tant per la valoració de la força i el rendiment i la determinació d'asimetries.

PERSPECTIVES DE FUTUR

Un dels propòsits d'aquesta tesi va ser el de realitzar una descripció de la força de l'extremitat inferior en jugadors de voleibol. S'ha vist, que el test de salts verticals proporciona informació als entrenadors sobre l'estat de forma dels seus esportistes. En aquest sentit, i encara que hi hagi força documentació sobre el tema, és necessari anar ampliant la informació, ja que si el rendiment dels jugadors canvia durant la temporada, i l'esport es torna més exigent, llavors pot ser que el valor del salt també canviï.

L'entrenament per millorar l'alçada del salt ha d'anar orientat a la millora de la força a elevades velocitats d'execució. Caldria avaluar diversos tipus d'entrenaments per veure quin és el que major increment del salt produeix.

Hem pogut observar com el mètode compleix el segon objectiu traçat, és a dir, és capaç de determinar l'estat de forma dels jugadors i detectar asimetria de força entre les extremitats. Un dels objectius interessants a curt termini, és el d'aplicar el mètode en altres esports. Per això cal la confecció d'un informe detallat que incorpori les variables que s'han observat com a determinants de rendiment i permeten observar l'existència, o no, de simetria.

El que actualment no sabem és si l'asimetria detectada en algun dels jugadors és conseqüència d'una lesió prèvia o és "natural" en l'esportista. En aquest sentit, no sabem si l'asimetria detectada suposa un factor de risc real per als esportistes o és simplement una adaptació a l'esport que practiquen. Cal un seguiment de l'evolució dels esportistes avaluats.

Si volem ajudar a la recuperació funcional després d'una lesió és necessari realitzar un control de base. Aquest control de base proporcionaria una dada de normalitat i podria ajudar a diagnosticar el retorn a l'activitat.

Durant el procés de recuperació, no tots els esportistes són capaços de realitzar un exercici màxim com el salt vertical. Seria interessant, per tant, incloure un exercici submàxim de control. L'exercici més similar és el del mig squat.

Per últim, s'ha d'estudiar el nou patró de força vertical observat per al CMJb en algun dels jugadors.

REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

- Abendroth-Smith J, Kras J (1999)⁹. More B-BOAT: The volleyball spike. *Journal of Physical Education, Recreation and Dance*, 70 (3), 56-59.
- Adamec J, Novotny P, Vaverka F (1998). A comparison of various methods for the assessment of vertical jump height. *ISBS-Conference Proceedings Archive, XVI International Symposium on Biomechanics in Sports, Germany*. <http://w4.ub.uni-konstanz.de/cpa/article/view/1589> [Consulta: 10/06/2009]
- Aguado X, González JL (1995). La capacidad de salto: problemas de medición y soluciones. *RED*, 9, 17-23,
- Alkjaer T, Simonsen EB, Magnusson SP, Aagaard H, Dyhre-Poulsen P. (2002). Differences in the movement pattern of a forward lunge in two types of anterior cruciate ligament deficient patients: coppers and non-coppers, 17(8), 586-593.
- Anderson FC, Pandy MG (1993). Storage and utilization of elastic strain energy during jumping. *Journal of Biomechanics*, 26, 1413-1427.
- Aragón-Vargas LF (2000). Evaluation of four vertical jump tests: methodology, reliability, validity and accuracy. *Measurement in Physical Education and Exercise Science*, 4 (4), 215-228.
www.bertec.com/publications/research/papers_products/Aragon-Vargas-Meas%20Phys%20Ed%20Ex%20Sci-2000.pdf [Consulta: 16/01/2009].
- Aragón-Vargas LF, Gross MM (1997a). Kinesiological factors in vertical jump performance: differences among individuals. *Journal of Applied Biomechanics*, 13, 24-44.
- Aragón-Vargas LF, Gross MM (1997b). Kinesiological factors in vertical jump performance: differences within individuals. *Journal of Applied Biomechanics*, 13, 45-65.
- Arteaga R, Dorado C, Chavarren J, Calbet JA (2000). Reliability of jumping performance in active men and women under different stretch loading conditions. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 40 (1), 26-34.

⁹ Nota: En les referències bibliogràfiques citades entre parèntesis al llarg del text només consta el nom del primer autor i l'any de publicació.

- Augustsson J, Thomeé R (2000). Ability of closed and open kinetic chain tests of muscular strength to assess functional performance. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 10, 164-168.
- Balsom, P (1994). Evaluation of physical performance. In: Soccer. IOC Medical Commission. Ekblom, B. Wiley-Blackwell. pp. 102-123
- Barber S, Frank B, Noyes F, Mangine R, McCloskey J, Hartman W (1990). Quantitative assessment of functional limitation in normal and anterior cruciate ligament-deficient knees. *Clinical Orthopedics and Related Research*, 255, 204-214.
- Barbieri FA, Gobbi LTB (2009). Asimetrias laterais no movimento de chute e rendimento no futebol e no futsal. *Motricidade*, 5 (2), 33-47.
- Becker HP, Rosenbaum D, Kriese T, Gerngross H, Claes L (1995). Gait asymmetry following successful surgical treatment of ankle fractures in young adults. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 311, 262-269.
- Bennell K, Crossley K, Wrigley T, Nitschke J (1999). Test-retest reliability of selected ground reaction force parameters and their symmetry during running. *Journal of Applied Biomechanics*, 15 (3), 330-336
- Bhering C, Amaral R, Moraes F, Castro CM, Heleno M, Menzel HJ (2007). Impulse production of dominant and non-dominant limbs on young soccer players. XXV ISBS Symposium, Brazil.
- Bobbert MF, Casius LJ (2005). Is the effect of a countermovement on jump height due to active state development? *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37 (8), 440-446.
- Bobbert MF, de Graaf WW, Jonk JN, Casius LJ (2006). Explanation of the bilateral deficit in human vertical jumping. *Journal of Applied Physiology*, 100 (2), 493-499.
- Bobbert MF, Gerritsen KGM, Litjens MCA, Van Soest AJ (1996). Why is countermovement jump height greater than squat jump height? *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 28: 1402-1412.
- Bobbert MF, Van Ingen Schenau GJ (1988). Coordination in vertical jumping. *Journal of Biomechanics*, 21, 249-262.
- Bolgia LA, Keskula DR (1997). Reliability of lower extremity functional performance tests. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*. 1997 Sep;26(3):138-42
- Bosco C (1994). La valoración de la fuerza con el test de Bosco. Barcelona: Paidotribo.
- Bosco C, Luhtanen P, Komi PV (1983a). Simple method for measurement of mechanical power in jumping. *European Journal of Applied Physiology*, 50, 273-282.
- Bosco C, Mogroni P, Luhtanen P (1983b). Relationship between isokinetic performance and ballistic movement. *European Journal of Applied Physiology*, 51, 357-364.
- Briner WW, Kacmar L (1997). Common injuries in volleyball: Mechanisms of injury, prevention and rehabilitation. *Sports Medicine* 24, 65-71.

- Canavan PK, Vescovi JD (2004). Evaluation of power prediction equations: peak vertical jumping power in women. *Medicine and Science in sports and Exercise*, 36 (9), 1589-1593.
- Carpes FP, Rico R, Bolli C (2008). Training level, perception and bilateral asymmetry during multi-joint leg-press exercise. *Brazilian Journal of Biomotricity* 2 (1), 51-62.
www.ufsm.br/gepec/cbb2007/cbb-carpes2.pdf [Consulta: 14/07/2008]
- Carvalho C, Vieira L, Carvalho A (2007). Avaliacao, controlo e monitorizacao da condicao fisica da seleccao portuguesa de voleibol senior masculina – epoca. *Revista Portuguesa de Ciencias do Desporto*, 7 (1), 68-72.
- Cavagna GA (1975). Force platforms as ergometers. *Journal of Applied Physiology*, 39,174-179.
- Chavet P, Lafortune MA, Gray JR (1997). Asymmetry of lower extremity responses to external impact loading. *Human Movement Science* 16, 391-406.
- Chen YC, Huang CF (2008). Kinematical analysis of female volleyball spike. ISBS Conference. Seoul, Korea. www.ntnu.edu.tw/acad/docmeet/97/a7/a702-1.pdf [Consulta: 30/05/2009].
- Cheng KB, Wang CH, Chen HC, Wu CD, Chiu HT (2008). The mechanisms that enable arm motion to enhance vertical jump performance-a simulation study. *Journal of Biomechanics* 41 (9), 1847-1854.
- Ciapponi TM, McLaughlin EJ, Hudson JL (1996). The volleyball approach: an exploration of balance. In: T. Bauer (Ed). *Proceedings of the XIIIth International Symposium on Biomechanics in Sports*, 282 - 285. Thunder Bay, Ontario, Canada: Lakehead University.
- Ciccarone G, Fontani G, Albert A, Zhang L, Cloes M (2005). Analysis of anthropometrics characteristics and jumping ability in junior top level volleyball athletes. *Medicina Dello Sport*, 58 (1), 1-15.
- Ciccarone G, Croisier JL, Fontani G, Martelli G, Albert A, Zhang L, Cloes M (2008). Comparison between player specialization, anthropometric characteristics and jumping ability in top-level volleyball players. *Medicina Dello Sport*, 61: 29-43.
- Coleman SGS, Benham AS, Northcott SR (1993). A three-dimensional cinematographical analysis of the volleyball spike. *Journal of Sports Sciences*, 11, 295-302.
- Cordova ML, Armstrong CW (1996). Reliability of ground reaction forces during a vertical jump: implications for functional strength assessment. *Journal of Athletic Training*, 31, (4), 342-345.
- Cormie P, McBride JM, McCaulley GO (2008). Power-time, force-time, and felocity-time curve analysis during the jump squat: impact of load. *Journal of Applied Biomechanics* 24, 112-120.
- Coutts KD (1982). Kinetic differences of two volleyball jumping techniques. *Medicine and Science in Sport and Exercise*, 14, 57-59.
- Cronin JB, Hansen KT (2005). Strength and power predictors of sport speed. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19: 349-357.

- Curran-Everet, D (2000). Multiple comparisons: philosophies and illustrations. *The American Journal of Physiology. Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 279, R1-R8.
- Dapena J (1980). Mechanics of translation in the Fosbury-flop. *Medicine and Science in Sport and Exercise*, 12 (1), 37-44.
- Dapena J, Gordon BJ, Ficklin TK (2007). High Jump # 31 (Women). Scientific Services Project (USA Track & Field). Biomechanics Laboratory, Indiana University. Bloomington.
- Dempster WT (1955). Space requirements of the seated operator. (WADC Technical report 55-159). Wright-Patterson Air Force Base, Ohio.
- Dowling JJ (1992). The effect of muscle mechanics on human movement outcomes as revealed by computer simulation. *Human Movement Science*, 11, 273-297.
- Dowling JJ, Vamos L (1993). Identification of Kinetic and Temporal Factors Related to Vertical Jump Performance. *Journal of Applied Biomechanics*, 9, 95-110.
- Drinkwater JT, Ross WD (1980). Anthropometric fractionation of body mass. Ostin, Beunen, Simons, Kineantropometry II. University Park Press. Baltimore. 178-189.
- Ellenbecker TS, Davies GJ (2001). Comparison of open and closed kinetic chaining exercises. In: Closed kinetic chain exercise. Human Kinetics. Australia.
- Elliot J (1978). Assessing muscle strength isokinetically. *Journal of the American Medical Association*, 240, 2408-2410.
- English R, Brannock M, Chik WT, Eastwood LS, Uhl T (2006). The relationship between lower extremity Isokinetic work and single-leg functional hop-work test. *Journal of Sport Rehabilitation*, 15, 95-104.
- Feltner ME, Bishop EJ, Perez CM (2004). Segmental and kinetic contributions in vertical jumps performed with and without an arm swing. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 75 (3), pp 216-230.
- Feltner ME, Fraschetti DJ, Crisp RJ (1999). Upper extremity augmentation on lower extremity kinetics during countermovement vertical jumps. *Journal of Sports Sciences*, 17 (6), 449-466.
- Ferragut C, Cortadellas J, Navarro J, Arteaga R, López-Calvet JA (2002). ¿Por qué saltan más los jugadores de voleibol? *Archivos de Medicina del Deporte*, XIX: 449-458.
- Fontani, G, Ciccarone, G, Giuliannini, R (2000). Nuove regole di gioco ed impegno fisico nella pallavolo. *SDS-Rivista di Cultura Sportiva*, 50: 14-20.
- Fox EL, Mathews DK (1974). *The Interval Training: conditioning for Sports and General Fitness*. WB Saunders, Philadelphia, 257-258.
- Gabbett T, Georgieff B (2007). Physiological and anthropometric characteristics of Australian junior national, state, and novice volleyball players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21 (3), 902-908.

- Gajewski J, Wit A (1998). The influence of selected body dimensional variables on the mechanical parameters of the vertical jump. 16 International Symposium on Biomechanics in Sports. Germany. <http://w4.ub.uni-konstanz.de/cpa/article/view/1607/1510> [Consulta: 11/03/2009]
- García-López J, Peleteiro J, Rodríguez-Marroyo JA, Morante JC, Herrero JA, Villa JG (2005). The validation of a new method that measures contact and flight times during vertical jump. *International Journal of Sports Medicine*, 26, 924-302.
- Gómez-Carriñana MA (2003). Requerimientos y fuentes energéticas para el trabajo muscular en voleibol. *RED*, XVII (2), 31-36.
- Grace, T.G., Sweetser, E.R. and Nelson, M.A. (1984). Isokinetic muscle imbalance and knee-joint injuries. *The Journal of Bone and Joint Surgery*, 66, 734-739.
- Greenberger HB, Paterno MV (1995). Relationship of knee extensor strength and hopping test performance in the assessment of lower extremity function. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 22 (5), 202-206.
- Grégoire L, Veeger HE, Huijing PA, Van Ingen Schenau GS (1984). Role of mono- and bi-articular muscles in explosive movements. *International Journal of Sports Medicine*, 5, 301-305.
- Gutiérrez M, Campos J, Navarro E (2006). Efecto del retraso del segundo apoyo sobre el impulso en la batida del salto vertical. *Motricidad. European Journal of Human Movement*, 16, 51-62.
- Gutiérrez M, Soto VM, Santos JA (1992). Análisis biomecánico del remate de voleibol. Granada. Departamento de Educación Física y Deportiva. Universidad de Granada.
- Hamill J, Bates BT, Knutzen KM (1984). Ground reaction forces symmetry during walking and running. *Research Quarterly*, 55, 288-293.
- 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.
- Harman EA, Rosenstein MT, Frykman PN, Rosenstein RM (1990). The effects of arms and countermovement on vertical jumping. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 22 (6), 825-833.
- Harman EA, Rosenstein MT, Frykman PN, Rosenstein RM, Kraemer WJ (1991). Estimation of human power output from vertical jump. *Journal of Applied Sport Science Research* 5 (3), 116-120.
- Hasson, CJ, Doan, BK, Robertson, KM, Dugan, EL, Shim, J, Newton, RU, and Kraemer, WJ (2002). Relationship of 1RM squat and vertical jump performance in NCAA male volleyball players. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34 (5 s), S33.
- Hatze H (1998). Validity and reliability of methods for testing vertical jumping performance. *Journal of Applied Biomechanics*, 14, 127-140.
- Hernández L (1992). La técnica. En: COE (Ed). *Voleibol C. O. E. Madrid*. Pp. 59-132.
- Herzog W, Nigg BM, Read LJ, Olsson E (1989). Asymmetries in ground reaction force patterns in normal human gait. *Medicine and Science in Sport and Exercise*, 21 (1), 110-114.

- Hespanhol JE, Silva Neto LG, de Arruda M, Dini CA (2007). Assessment of explosive strength-endurance in volleyball players through vertical jump test. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, 13, 160-163.
- Hewett TE, Myer GD, Ford KR, Heidt RS, Colosimo AJ, McLean SG, Van den Bogert A, Paterno MV, Succop P (2005). Biomechanical Measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury risk in female athletes. *The American Journal of Sports Medicine*, 33 (4), 492-501.
- Hochmuth, G (1983). *Principios biomecánicos. A: Biomecánica de los movimientos deportivos*. Madrid: INEF Madrid. pp. 198-203.
- Holder-Powell HM, Rutherford OM (1999). Unilateral lower limb injury: its long-term effects on quadriceps, hamstrings, and plantar flexor muscle strength. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 80, 717-720.
- Hsu HC, Chiu PW, Lin HC, Lu TW. Kinematic symmetry of the knee joint in anterior cruciate ligament injured subjects during walking. [Consulta: 06/07/2008]
www.sph.umd.edu/KNES/faculty/jkshim/NEASB/abstracts/4%20LowerExtremity%2017%20-22.pdf
- Hunt MA, Sanderson DJ, Moffet H, Inglis T (2004). Interlimb asymmetry in persons with and without an anterior cruciate ligament deficiency during stationary cycling. *Archives of Physical and Medical Rehabilitation*, 85, 1475-1478.
- Iglesias FA (1994). Análisis del esfuerzo en el voleibol: final Liga Mundial 92. *RED*, VIII (3), 25-29.
- Impellizzeri FM, Rampinini E, Maffiuletti N, Marcora SM (2007). A vertical jump force test for assessing bilateral strength asymmetry in athletes. *Medicine and Science in Sport and Exercise*, 39 (11), 2044-2050.
- Innocenti B, Facchielli D, Torti S, Verza A (2006). Analysis of biomechanical quantities during a squat jump: evaluation of a performance index. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20 (3), 709-715.
- Johansson C, Lorentzon R, Fugl-Meyer AR (1989). Isokinetic muscular performance of quadriceps in elite ice hockey players. *American Journal of Sports Medicine*, 17 (1), 30-34.
- Karamandis K, Arampatzis A, Brüggemann GP (2003). Symmetry and Reproducibility of kinematic parameters during various running techniques. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35 (6), 1009-1016.
- Kibele A (1998). Possibilities and limitations in the biomechanical analysis of countermovement jumps: a methodological study. *Journal of Applied Biomechanics*, 14, 105-117.
- Knapik JJ, Baurman CL, Jones BH, Harris JM, Vaughan L (1991). Preseason strength and flexibility imbalances associated with athletic injuries in female collegiate athletes. *American Journal of Sports Medicine*, 19 (1), 76-81.
- Komi PV, Bosco, C (1978). Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and women. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 10: 261-265.

- Kotz JM, Xvilon VA (1971). Teor. Pract. Fis. Cult. 4. 66-72. Mosca
- Kreighbaum E, Barthels KM (1996). Throwlike and pushlike movement patterns. In: Biomechanics. A qualitative approach for studying human movement. Allyn & Bacon. 4th edition.
- Kubo K, Kawakami Y, Fukunaga T (1999). Influence of elastic properties of tendon structures on jump performance in humans. *Journal of Applied Physiology*, 87 (6), 2090-2096.
- Kuhlmann, C, Roemer, K, and Milani, TL (2007). Aspects of a three dimensional motion analysis of the volleyball spike in high level competition. XXV ISBS Symposium, Ouro Preto – Brazil, pp.47-50.
- Lara A, Alegre LM, Abián J, Jiménez L, Ureña A, Aguado X (2006a). The selection of a method for estimating power output from jump performance. *Journal of Human Movement Studies*, 50, 399-410.
- Lara A, Abián, J, Alegre LM, Aguado X (2004). Test de salto con plataforma de fuerzas en voleibol femenino. RED, XVIII (2), 11-16.
- Lara, A, Abián, J, Alegre LM, Jiménez, L, Aguado X (2006b). Jump test on a force platform for applicants to a sports science degree. *Journal of Human Movement Studies*, 50: 133-147.
- Lawson BR, Stephens TM, DeVoe DE, Reiser RF II (2006). Lower-extremity bilateral differences during step-close and no-step countermovement jumps with concern to gender. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20 (3), 608-619.
- Leard, JS, Cirillo MA, Katsnelson, E, Kimiatek, DA, Miller TW, Trebincevic K, Garbalosa JC (2007). Validity of two alternative systems for measuring vertical jump height. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21, 1296-1299.
- 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.
- Lian O, Refsness PE, Engebretsen L, Bahr R (2003). Performance characteristics of volleyball players with patellar tendinopathy. *The American Journal of Sports Medicine*, 31, 408-413.
- Linthorne NP (2001). Analysis of standing vertical jumps using a force platform. *American Journal of Physics*, 69 (11), 1198-1204.
- Liu XC, Farby GDM, Molenaers GDM, Lammens JDM, Moens P (1998). Kinematic and kinetic asymmetry in patients with leg-length discrepancy. *Journal of Pediatric Orthopaedics*, 18 (2), 187-189.
- Loudon JK, Wiesner D, Goist-Foley HL, Asjes C, Loudon KL (2002). Intrarater reliability of functional performance tests for subjects with patellofemoral pain syndrome. *Journal of Athletic Training*, 3, 256-261.
- Luna G, Lorenzo E, Acosta C (2002). Algunos cambios en el juego de voleibol actual y sus efectos en la alta competencia internacional en equipos de sexo masculino. EFDeportes, 51. <http://www.efdeportes.com/efd51/volei.htm> [Consulta 26/10/2009]

- Maines JM, Reiser RF (2006). Ground reaction force bilateral asymmetries during submaximal sagittal plane lifting from the floor. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 36, 109-117.
- Marey EJ (1895). *Certain movements in man*. A: Marey EJ, Pritchard E. *Movement*. D Appleton and Company, New York. 146-168.
- Markovic, G, Dizdar, D, Jukic, I, Cardinale, M (2004). Reliability and factorial validity of squat and countermovement jump tests. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18, 551-555.
- Marques MC, González-Badillo JJ, Cunha P (2004). Changes in strength parameters during twelve competitive weeks in top volleyball players. *International Journal of Volleyball Research*, 7 (1), 23-28. http://www.antvoleibol.org/Artigos/IX_encontro_nacional/2004_ijvr.pdf [Consulta: 28/10/2009].
- Marques MC, Van den Tillaar R, Gabbett TJ, Reis VM, González-Badillo JJ (2009). Physical fitness qualities of professional volleyball players: determination of positional differences. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23 (4), 1106-1111.
- Mattacola CG, Jacobs CA, Rund MA, Johnson DL (2004). Functional assessment using the step-up-and-over test and forward lunge following ACL reconstruction. *Orthopedics*, 27 (6), 602-608.
- Maulder P, Cronin J (2005). Horizontal and vertical jump assessment: reliability, symmetry, discriminative and predictive ability. *Physical Therapy in Sport*, 6, 74-82.
- Maupas E, Paysant J, Datie AM, Martinet N, André JM (2002). Functional asymmetries of the lower limbs. A comparison between clinical assessment of laterality, isokinetic evaluation and electrogoniometric monitoring of knees during walking. *Gait and Posture*, 16, 304-312.
- McCurdy K, Langford G (2005). Comparison of unilateral squat strength between the dominant and non-dominant leg in men and women. *Journal of Sports Science and Medicine*, 4, 153-159
- McGrow CM, Sucec AA, Frey MAB, Laubach LL, Conlee RK, Beal DP, Buono MJ, Tamayo M, Phillips W (1990). Gold medal volleyball: The training program and physiological profile of the 1984 Olympic Champions. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 6 (2), 196-200.
- McGuigan MR, Doyle TLA, Newton M, Edwards DJ, Nimphius S, Newton RU (2006). Eccentric utilization ratio: effect of sport and phase of training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20 (4), 992-995.
- Menzel HJ, Heleno M, Lopes G (2006). Identification of bilateral asymmetries in lower limbs of soccer players by vertical jumps on a double force platform. XXIV ISBS Symposium, MOP-29, Salzburg, Austria
- Moir GL, Button C, Glaister M, Stone MH (2004). Influence of familiarization on the reliability of vertical jump and acceleration sprinting performance in physically active men. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18 (2), 276-280.
- Moir GL, Garcia A, Dwyer GB (2009). Intersession reliability of kinematic and kinetic variables during vertical jumps in men and women. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 4 (3), 317-330.

- Moir GL, Shastri P, Connaboy C (2008a). Intersession reliability of vertical jump height in women and men. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22 (6), 1779-1784.
- Moir, GL (2008b). Three different methods of calculating vertical jump height from force platform data in men and women. *Measurement in Physical Education and Exercise Science*, 12, 207-218.
- Nesser, TW, Demchak, TJ (2007). Variations of preseason conditioning on volleyball performance. *JEPonline*, 10: 35-42.
- Newton RU, Gerber A, Nimphius S, Shim JK, Doan BK, Robertson M, Pearson DR, Craig BW, Hakkinen K, Kraemer WJ (2006). Determination of functional strength imbalance of the lower extremities. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20 (4), 971-977.
- Newton RU, Kraemer WJ, Keijo H (1999). Effects of ballistic training on preseason preparation of elite volleyball players. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31, 323-330.
- O'Donnell S, Thomas SG, Marks P (2006). Improving the sensitivity of the hop index in patients with ACL deficient knee by transforming the hop distance scores. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 7:9. <http://www.biomedcentral.com/1471-2474/7/9> [Consulta 06/08/2008].
- Oddsson L, Thorstensson A (1992). Jumping performance in elite athletes – application of a test predicting vertical jumping ability. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24, S104.
- Ostenberg A, Roos E, Ekdahl C, Roos H (1998). Isokinetic extensor strength and functional performance in healthy female soccer players. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 8 (5 pt 1), 257-164.
- Palao JM, Saenza B, Ureña A (2000). Características biológicas y fisiológicas de los esfuerzos en voleibol. *RED*, XIV (4), 37-41.
- Pandy MG, Zajac FE (1991). Optimal muscular coordination strategies for jumping. *Journal of biomechanics*, 24 (1), 1-10.
- Payne AH, Slater WJ, Telford T (1968). The use of a force platform in the study of athletic activities. *Ergonomics*, 11, 123-143.
- Petsching R, Baron R, Albercht M (1998). The relationship between isokinetic quadriceps strength test and hop test for distance and one-legged vertical jump test following anterior cruciate ligament reconstruction. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 28, 23-31.
- Prentice WE, Voight ML (2001). *Functional Progressions and Functional Testing in Rehabilitation*. In: *Techniques in Musculoskeletal Rehabilitation*. McGraw-Hill Professional.
- Rahnama N, Lees A, Bambaecichi E (2005). A comparison of muscle strength and flexibility between the preferred and non-preferred leg in English soccer players. *Ergonomics*, 48 (11-14), 1568-1575.
- Ravn, S, Voight, M, Simonsen, EB, Alkjaer, T, Bojsen-Moller, F, Klausen, K (1999). Choice of jumping strategy in two standard jumps, squat and countermovement jump – effect of training background or inherited preference. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 9: 201-208.

- Reid A, Birmingham TB, Stratford PW, Alcock GK, Giffin JR (2007). Hop testing provides a reliable and valid outcome measure during rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction. *Physical Therapy*, 87 (3), 337-349.
- Renstrom PS, Arms SW, Stanwych TS, Johnson RJ, Pope MH (1986). Strain within the anterior cruciate ligament during hamstring and quadriceps activity. *American Journal of Sports Medicine*, 14 (1), 83-87.
- Riggs MP, Sheppard JM (2009). The relative importance of strength and power qualities to vertical jump height of elite beach volleyball players during the counter-movement and aquat jump. *Journal of Human Sport and Exercise online*, 4 (3).
- Robinson RO, Herzog W, Nigg BM (1987). Use of force platform variables to quantify the effects of chiropractic manipulation on gait symmetry. *Journal of Manipulative Physiological Therapeutics*, 10, 172-176.
- Rodríguez FA, Aragonés MT (1992). Valoración funcional de la capacidad de rendimiento físico. A: González J (ed.): fisiología de la actividad física y del deporte. Madrid: Interamericana / McGraw-Hill: pp:237-278.
- Roig A, Borràs X, Drobnic F, Galilea P (2008). Validation of three different jumping height measurement systems, ErgoJump, OptoJump and Myotest. *Proceedings del XXX FIMS World Conges of Sports Medicine, Barcelona. Archivos de Medicina del Deporte*, XXV, 128, 520.
- Sadeghi H, Allard P, Prince F, Labelle H (2000). Symmetry and limb dominance in able-bodied gait: a review. *Gait and Posture*, 12, 34-45.
- Salem GJ, Salinas R, Harding MA (2003). Bilateral kinematic and kinetic analysis of the squat exercise after anterior cruciate ligament reconstruction. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 84, 1211-1216.
- Sayers SP, Harackiewicz DV, Harman EA, Frykman PN, Rosenstein MT (1999). Cross-validation of three jump power equations. *Medicine and Science in sports and Exercise*, 31 (4), 572-577.
- Schiltz M, Lehance C, Maquet D, Bury T, Crielaard JM, Croisier JL (2009). Explosive strength imbalances in professional basketball players. *Journal of Athletic Training* 44 (1), 39-47.
- Schmidtbleicher D (1985). Aspectos neurofisiológicos del entrenamiento de la fuerza en el salto. *Workshop "Entrenamiento de la fuerza"*. Colonia.
- Shan, X (2000). Biomechanical analysis of vertical jump performance of volleyball players. In: ISBS - Conference Proceedings Archive, 18 International Symposium on Biomechanics in Sports. Hong Kong, China.
- Sheppard JM, Gabbett TJ, Stanganelli LCR (2009). An analysis of playing positions in elite men's volleyball: considerations for competition demands an physiologic characteristics. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23 (6), 1858-1866.

- Sheppard, JM, Cronin, JB, Gabbett, TJ, McGuigan, MR, Etxebarria, N, and Newton RU (2008). Relative importance of strength, power, and anthropometric measures to jump performance of elite volleyball players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22, 758-765.
- Shetty AB, Etnyre BR (1989). Contribution of arm movement to the force components of a maximum vertical jump. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 11 (5), 198-201.
- Siff MC, Verkhoshansky Y (2000). La fuerza y el sistema muscular. En: Superentrenamiento. Editorial Paidotribo. Barcelona. 53
- Siqueira CM, Ribeiro F, Furginelli M, Greve JMD (2002). Isokinetic dynamometry of knee flexors and extensors : comparative study among non-athletes, jumper athletes and runner athletes. *Rev Hosp Clin Fac Med S Paulo*, 57 (1), 19-24.
- Slinde, F, Suber, C, Suber, L, Edwén, CE, Svantesson U (2008). Test-retest reliability of three different countermovement jumping tests. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22: 640-644.
- Smak W, Neptune RR, Hull ML (1999). The influence of pedaling rate on bilateral asymmetry in cycling. *Journal of Biomechanics*, 32, 899-906.
- Stacoff A, Diezi C, Luder G, Stüssi E, Kramers-de Quervain IA (2005). Ground reaction forces on stairs: effects of stair inclination and age. *Gait and Posture* 21(1), 24-38.
- Stacoff A, Kramers-de Quervain IA, Luder G, List R, Stüssi E (2007). Ground reaction forces on stairs: knee implant patients versus normals. *Gait and Posture* 26 (1), 48-58.
- Stanganelli LCR, Dourado AC, Oncken P, Mançan S, César da Costa S (2008). Adaptations of jump capacity in brazilian volleyball players prior to the Under-19 World Championship. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22 (3), 741-749.
- Stearne DJ, Covassin TM, Swanik CB, Sittler MR (2004). Intra-Tester Reliability Measurements of dynamic tasks on the kistler 9287BA Force plate. *Journal of Athletic Training*, 39 (Suppl 2). <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?tool=pubmed&pubmedid=16322820> [Consulta: 14/07/2008]
- Stiene HA, Brosky T, Reinking MF, Nyland J, Mason MB (1996). A comparison of closed kinetic chain and isokinetic exercise in patients with patellofemoral dysfunction. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 24 (3), 136 – 141.
- Street G, McMillan S, Board W, Rasmussen M, Heneghan JM (2001). Sources of error in determining countermovement jump height with the impulse method. *Journal of Applied Biomechanics*, 17, 43-54.
- Szmuchrowski, LA, Ferreira, JC, Da Silva, RG, Moreira, T, Melo R (2007). Reliability of a flight time measurement instrument during vertical jump. XXV ISBS Symposium, Ouro Preto – Brazil.
- Tompos G (2003). Predicting power and rate of force development of vertical jumps in high-performance volleyball players. University of Canberra. Centre for Sports Studies. http://tompos.com/cv-report-Predicting_power_of_vertical_jumps_in_volleyball_players.pdf

- Troubridge MA (2000). The effect of foot position on quadriceps and hamstrings muscle activity during a parallel squat exercise. University of Western Ontario.
<http://www.collectionscanada.gc.ca/obj/s4/f2/dsk2/ftp01/MQ58097.pdf> [Consulta: 11/12/2006]
- Ugrinowitsch C, Tricoli V, Rodacki ALF, Batista M, Ricard MD (2007). Influence of training background on jumping height. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21 (3), 848-852.
- Ureña A, Gallardo C, Delgado J, Calvo R, Oña A (2000). Effect of the new scoring system on male volleyball. *The Coach*, 4, 12-18.
- Vagenas G, Hoshizaki B (1992). A multivariable analysis of lower extremity kinematic asymmetry in running. *International Journal of Sports Biomechanics*, 8 (1), 11-29.
- Valadés D (2005). Efecto de un entrenamiento en el tren superior basad en el ciclo estiramiento-acortamiento sobre la velocidad del balón en el remate de voleibol. Tesis Doctoral. Universidad de Granada. <http://hera.ugr.es/tesisugr/15401911.pdf> [Consulta 08/01/2007]
- Valadés, D, Palao JM, Femia P, Padial P, Ureña A (2004). Análisis de la técnica básica del remate de voleibol. *RendimientoDeportivo.com*, 8. [Consulta 18/07/2007]
<http://www.RendimientoDeportivo.com/N008/Artic041.htm>.
- Valdes M, Acebes O, Molins J, Gonzalez M, Santos FJ, Aguilar JJ (2001). Valoración funcional en las lesiones del ligamento cruzado anterior operado: utilidad del test de Bosco. *Rehabilitación*, 2, 83-89.
- Van Ingen Shenau GJ, Bobbert MF, de Haan A (1997). Does elastic energy enhance work and efficiency in the stretch-shorten cycle? *Journal of Applied Biomechanics*, 13 (4), 389-415.
- Vanrenterghem J, Lees A, Lenoir M, Aerts P, De Clercq D (2004). Performing the vertical jump : movement adaptations for submaximal jumping. *Human Movement Science*, 22, 713-727.
- Vélez, M (1992). El entrenamiento de fuerza para la mejora del salto. *APUNTS*, XXIX: 139-156.
- Vittori, C (1990). El entrenamiento de la fuerza en el sprint. *Atleticastudi*, 1-2: 3-25.
- Wagner H, Tilp M, von Duvillard SP, Mueller E (2009). Kinematic analysis of volleyball spike jump. *International Journal of Sports Medicine*, 30, 760-765.
- Walshe AD, Wilson GJ, Murphy AJ (1996). The validity and reliability of a test of lower body musculotendinous stiffness. *European Journal of Applied Physiology*, 73, 332-339.
- White R, Agouris I, Selbie RD, Kirkpatrick M (1999). The variability of force platform data in normal and cerebral palsy gait. *Clinical Biomechanics*, 14 (3), 185-192.
- Wilk KE, Escamilla RF, Fleisig GS, Barrentine SW, Andrews JR, Boyd ML. (1996). A comparison of tibiofemoral joint forces and electromyographic activity during open and closed kinetic chain exercises. *The American Journal of Sports Medicine*, 24(4), 518-527.
- William M (2008). Exloration of differences in vertical jump performance between typically developing children and those identified with DCD: a kinematic and kinetic analysis. Tesis Doctoral, Australian Catholic Univeristy. [Consulta: 16/04/2009]

<http://dlibrary.acu.edu.au/digitaltheses/public/adt-acuwp186.29112008/01front.pdf>

Wilsoff U, Helgerud J, Hoff J (1998). Strength and endurance of elite soccer players. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 30 (3), 462-467.

Wyatt MP, Edward AM (1981). Comparison of quadriceps and hamstrings torque values during isokinetic exercise. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 3, 48-56.

Young W (1995). A simple method for evaluating the strength qualities of the leg extensor muscles and jumping abilities. *Strength and Conditioning Coach*, 2(4), 5-8.

Young, W, MacDonald, C, Heggen, T, Fitzpatrick, J (1997). An evaluation of the specificity, validity and reliability of jumping test. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 37, 240-245.

ANNEX

ANNEX 1. Càlcul de variables

Processat de les dades

Els valors de força vertical obtinguts en cada plataforma són exportats a un arxiu .txt i són analitzats utilitzant els programes informàtics de l'empresa DIVA (confeccionat específicament per al tractament d'aquestes dades) i l'Excel seguint els següents passos:

1. Primer de tot hem d'obtenir la força de reacció total del cos (FR). Per això s'han de sumar les forces de cadascuna de les plataformes Fz_1 i Fz_2 .

$$FRz = Fz_1 + Fz_2 \quad (N) \quad \text{Equació A1}$$

Aquesta força representa la força realitzada per l'esportista, com a conseqüència de la força muscular i del moviment, sense tenir en compte el seu pes corporal. A partir d'aquí podem calcular l'acceleració, la velocitat i el desplaçament del moviment.

2. El pes corporal s'obté calculant la diferència entre la senyal existent durant la fase de vol i la que es produeix abans de l'inici del moviment. Aquest mètode de pesar al subjecte no comporta cap error respecte del pesatge habitual (William, 2008). No obstant, això suposa que hi ha un pes específic per a cada salt executat. Kibele (1998) observa que la diferència de pes entre intents és menor a l'1% i que, per tant, la variació existent és poc significativa.

Per tal de poder analitzar les asimetries, haurem d'extreure la part proporcional del pes que recolza cada una de les extremitats aplicant el mateix procediment.

3. Un cop coneixem el pes corporal serem capaços de calcular la força vertical resultant (Fz), és a dir, la força que es realitza tenint en compte el propi pes.

$$Fz = FRz + BW \quad (N) \quad \text{Equació A2}$$

També calcularem la força vertical resultant de cadascuna de les extremitats, sumant el pes corporal de cadascuna de les extremitats.

4. Acceleració (a): apliquem l'equació fonamental de la dinàmica per obtenir el valor d'acceleració.

$$a = \frac{FR}{m} \quad (m/s^2) \quad \text{Equació A3}$$

5. Velocitat: s'obté a partir de la integral de l'acceleració en el temps. El procés d'integració utilitzat està basat en la regla trapezoïdal.

$$v = \int a \times dt \text{ (m/s)} \quad \text{Equació A4}$$

6. Desplaçament del CM: a partir de la integral de la velocitat.

$$x = \int v \times dt \text{ (m)} \quad \text{Equació A5}$$

7. Potència (P): s'obté la potència del salt multiplicant la força per la velocitat.

$$P = FRz \times v \text{ (W)} \quad \text{Equació A6}$$

Anàlisi de les dades en el salt vertical

(les variables en negreta són les que posteriorment s'utilitzaran per a l'anàlisi i l'estudi)

a. Variables temporals:

Les variables temporals es deriven de les corbes força – temps, velocitat – temps i potència – temps.

Inicialment cal seleccionar els instants següents:

- t_0 – Instant inicial: és el moment d'inici del moviment del salt.
- t_1 – Instant corresponent al temps on es produeix la mínima força. Només es dóna amb els salts amb contramoviment.
- t_2 – Instant on es produeix la velocitat mínima i la força de reacció s'igualada al pes corporal. Només es dóna amb els salts amb contramoviment.
- t_3 – Instant on la velocitat és igual a 0.
- t_4 – Instant del pic de força màxima.
- t_5 – Instant de potència màxima.
- t_6 – Instant de velocitat màxima.
- t_7 – Instant de sortida: es defineix com l'instant en que finalitza la impulsió del salt i comença l'enlairament.
- t_8 – Instant de caiguda de la fase aèria del salt.

De la diferència entre els temps obtenim la durada de diferents fases:

- t_t – **Temps total d'impulsió:** Diferència entre el temps de sortida i el temps inicial del moviment.

$$t_t = t_7 - t_0 \quad \text{Equació A7}$$

- t_{Fmin-t_8} – Temps total d'impulsió a partir de la força mínima: Durant l'execució del salt, l'instant inicial pot ser difícil de determinar. Sovint es fa servir un llindar a partir del qual iniciar el moviment (Feltner, 1999), però s'ha vist que aquest és poc ajustat. Identificar el punt de força mínima és senzill de fer matemàticament i no condueix a errors, és per això que s'ha utilitzat aquest valor per determinar la durada total de la fase d'impulsió del salt (William, 2008).

$$t_{tF} = t_7 - t_1 \quad \text{Equació A8}$$

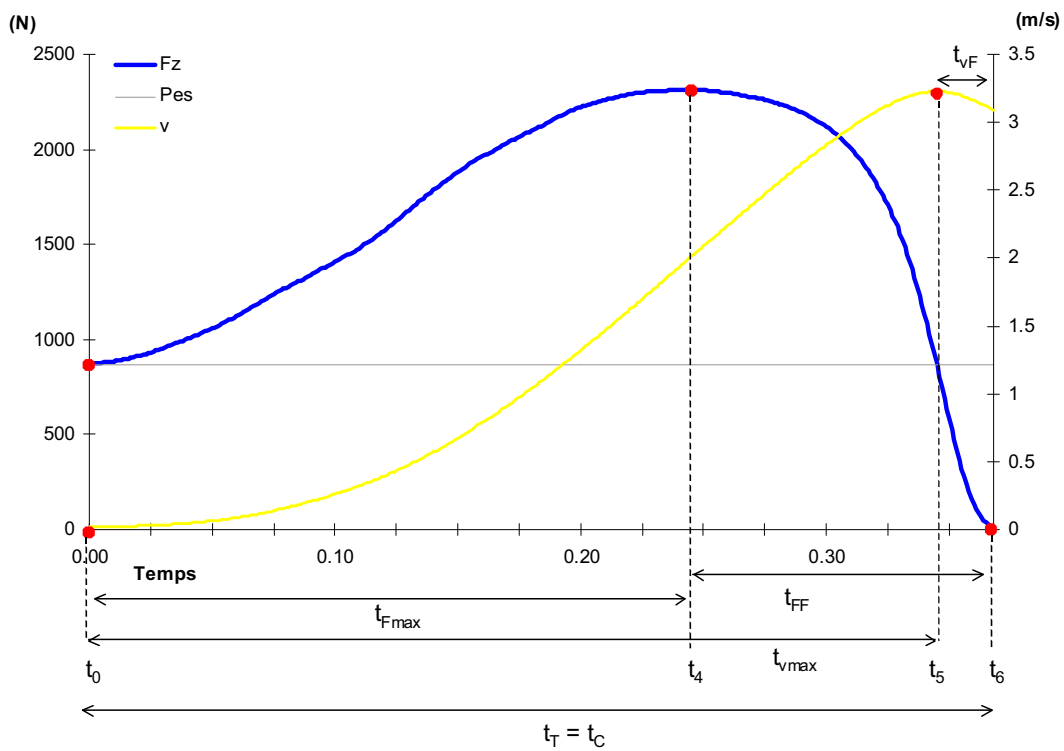
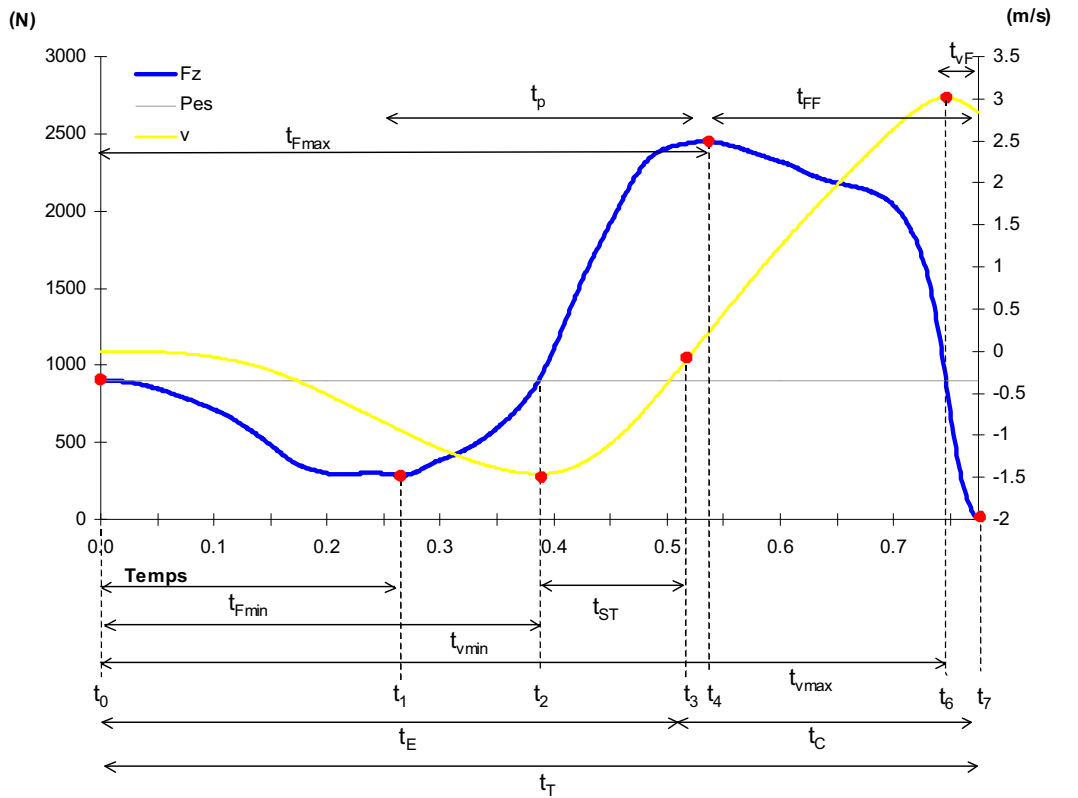
- t_E – **Durada de la fase excèntrica o descendent:** És l'interval existent entre el temps en el punt de màxima flexió de cames i el temps inicial. Només es dóna amb els salts amb contramoviment.
- $$t_E = t_3 - t_0 \quad \text{Equació A9}$$
- t_C – **Durada de la fase concèntrica o ascendent:** Diferència entre el temps de sortida i el temps en màxima flexió de cames. En un SJ coincideix amb el temps total d'impulsió.
- $$t_C = t_7 - t_3 \quad \text{Equació A10}$$
- t_{Fmin} – Temps de mínima força: Diferència entre el moment on es produeix la mínima força i el moment d'inici del salt.
- $$t_{Fmin} = t_1 - t_0 \quad \text{Equació A11}$$
- t_{vmin} – Temps de velocitat mínima: Diferència entre el moment on la força de reacció és igual al pes corporal i on s'obté la velocitat mínima de descens.
- $$t_{vmin} = t_2 - t_0 \quad \text{Equació A12}$$
- t_{ST} – **Durada d'estirament muscular:** És al temps entre la màxima flexió de cames i l'instant on la força vertical iguala el pes corporal. Segons Kibele (1997) aquest temps correspon a la durada del pre-estirament muscular, entenenent el sistema tendomuscular com a una entitat. Només es dóna en els salts amb contramoviment.
- $$t_{ST} = t_3 - t_2 \quad \text{Equació A13}$$
- t_{Fmax} – Temps de màxima força: Correspon al temps on es produeix el pic de força màxima respecte del temps inicial.
- $$t_{Fmax} = t_4 - t_0 \quad \text{Equació A14}$$
- t_p – Durada entre el punt de mínima i màxima força. Servirà per calcular la pendent entre el pic de força màxima i mínima.
- $$t_p = t_4 - t_1 \quad \text{Equació A15}$$
- t_{Pmax} – Temps de potència màxima. Temps entre el pic de potència i l'instant d'inici del moviment.
- $$t_{Pmax} = t_5 - t_0 \quad \text{Equació A16}$$
- t_{vmax} – Temps de velocitat màxima. És el punt on es dóna el pic de velocitat i on la força de reacció s'igualava amb el pes corporal.
- $$t_{vmax} = t_6 - t_0 \quad \text{Equació A17}$$
- t_{FF} – **Durada des del moment de la màxima força fins el moment de la sortida.** Dowling i Vamos (1993) obtenen que la relació d'aquest factor amb l'alçada del salt és significativa tot i que la correlació és molt baixa ($r = -0.274$, $p > 0.01$).
- $$t_{FF} = t_7 - t_4 \quad \text{Equació A18}$$
- t_{PF} – Durada des del moment de la potència màxima fins el moment de la sortida. L'alçada del salt presenta una correlació moderada i significativa amb aquesta variable ($r = -0.41$; $p < 0.01$) (Dowling i Vamos, 1993).
- $$t_{PF} = t_7 - t_5 \quad \text{Equació A19}$$
- t_{vF} – Durada des del moment de la màxima velocitat fins el moment de la sortida.
- $$t_{vF} = t_7 - t_6 \quad \text{Equació A20}$$

t_v – **Temps de vol.** Temps transcorregut entre el moment de la sortida i la recepció del salt.

$$t_v = t_8 - t_7$$

Equació A21

Variables temporals. Figures



b. Variables de força i impuls

Aquestes variables es deriven de la corba força – temps.

- F_{max} – **Força màxima.** Pic de força que es produeix durant el moviment. Dowling i Vamos (1993) obtenen una relació significativa d'aquest factor amb l'alçada del salt tot i que la correlació és moderada ($r = 0.519$; $p > 0.01$) similar a Harman i col·laboradors (1990) que també obtenen una correlació moderada ($r = 0.49$). Es pot considerar un bon indicador de la força muscular i pot ajudar a predir el rendiment funcional de l'extremitat inferior (Cordova i Armstrong, 1996).
- F_{min} – **Força mínima.** Valor mínim de la força en la fase de contramoviment. En salts sense contramoviment ha de coincidir amb la força inicial del salt i ha de ser igual al pes corporal del cos.
- I_{nd} – **Impuls negatiu de descens:** àrea que està per sota del pes corporal i queda delimitada entre el pes corporal i la línia de força. Es dóna en la fase de descens i només existeix en els salts amb contramoviment.
- I_f – **Impuls de frenada:** àrea per sobre de la línia del pes corporal que correspon a la fase de descens. Només es dóna amb els salts amb contramoviment.
- I_a – **Impuls d'acceleració:** àrea que està per sobre de la línia del pes corporal i que queda delimitada entre la línia del pes i la corba de força a partir del moment de màxima flexió de cames. Correspon a la fase d'ascens del salt. En un squat jump coincideix amb l'impuls positiu.
- I_p – **Impuls positiu:** àrea que està per sobre del pes corporal i que queda delimitada entre el pes corporal i la línia de força i que es dóna entre l'instant de força mínima i de màxima flexió de cames. En un squat jump coincideix amb l'impuls d'acceleració.
- I_{na} – **Impuls negatiu d'ascens:** àrea que està per sota del pes corporal queda i que queda delimitada entre el pes corporal i la línia de força. Es dóna en la fase d'ascens i correspon als últims instants d'extensió de cames.
- I_t – **Impuls total.** Suma de l'impuls negatiu i l'impuls positiu. En squat jumps coincideix amb l'impuls d'acceleració. El valor de l'impuls presenta una correlació elevada amb l'alçada del salt ($r = 0.83$; $p < 0.001$) (Harman, 1990).
- χ – **Coefficient d'impuls.** És el quocient entre l'impuls de frenada i l'impuls d'acceleració. Només es dóna en els salts amb contramoviment. Segons Hochmuth (1973) l'impuls de frenada i el d'acceleració han de guardar una relació òptima, amb un valor d' χ que ha d'estar entre 0.3 i 0.4.

$$\chi = \frac{I_f}{I_a}$$

Equació A22

- r – **Ratio d'impuls.** És el quocient entre l'impuls negatiu de descens i l'impuls positiu (Dowling i Vamos, 1993). Com menor és aquest ratio, major és l'alçada del salt. El

ratio òptim està entorn el valor 0.27. Només es dóna amb els salts amb contramoviment.

$$r = \frac{I_{nd}}{I_p} \quad \text{Equació A23}$$

- k – **Ratio conum energètic.** És el quocient entre l'impuls de frenada i l'impuls negatiu de descens. Innocenti i col·laboradors (2006) ho relacionen amb l'eficiència, on valors elevats de k indiquen una elevada contracció o poca relaxació muscular i valors baixos de k s'obtenen quan la fase de contracció és més baixa que la fase de relaxació. Aquest ratio mostra un coeficient de correlació intracicle de 0.89.

$$k = \frac{I_f}{I_{nd}} \quad \text{Equació A24}$$

- p – La **pendent entre la força màxima i mínima** es calcula mitjançant l'equació següent: Aquesta indica si el canvi entre la força mínima i màxima es produeix ràpidament o no (Dowling i Vamos, 1993).

$$p = \frac{F_{\max} - F_{\min}}{t_p} \quad \text{Equació A5}$$

c. Variables de velocitat i potència

- V_{\min} – **Velocitat mínima** en la fase descendent. Només es dóna en els salts amb contramoviment.
- V_{\max} – **Velocitat màxima.** Pic de velocitat aconseguit en el moviment.
- V_s – Velocitat de sortida: velocitat aconseguida en l'instant en que finalitza la impulsió del salt i comença l'enlairament
- P_{\max} – **Potència màxima.** Pic de potència aconseguit durant el salt. Dowling i Vamos (1993) obtenen una elevada correlació entre aquest paràmetre i l'alçada de salt de 0.928. ($p > 0.01$). A Aragon-Vargas i Gross (1997) s'observa com el millor paràmetre per predir el salt vertical.
- P_{av} – **Potència mitjana.** Mitjana de la potència positiva. Aquesta presenta una correlació moderada amb l'alçada del salt ($r = 0.54$; $p < 0.01$) (Harman, 1990).
- P_{\min} – Potència mínima.

d. Variables de desplaçament

Les variables de posició s'extreuen de la corba espai – temps. Seran utilitzades en posterioritat per a l'obtenció dels desplaçaments.

- x_0 – Posició inicial del CM.
- x_{t2} – Posició del CM en el moment en que la força vertical és igual al pes corporal després del contramoviment i la velocitat és mínima. Només es dóna amb els salts amb contramoviment.

- x_{min} – Posició més baixa del CM. En un squat jump coincideix amb x_i .
- x_s – Posició del CM en el moment de la sortida del salt.
- x_{max} – Posició més alta del CM durant el salt. S'aconsegueix en la fase de vol.

De les posicions esmentades podem calcular els desplaçaments següents:

- d_{cm} – **Màxima amplitud del contramoviment.** En el salt amb contramoviment correspon a la diferència entre la posició inicial i la posició més baixa del CM. Només es dona amb els salts amb contramoviment.

$$d_{cm} = x_{min} - x_0 \quad \text{Equació A26}$$

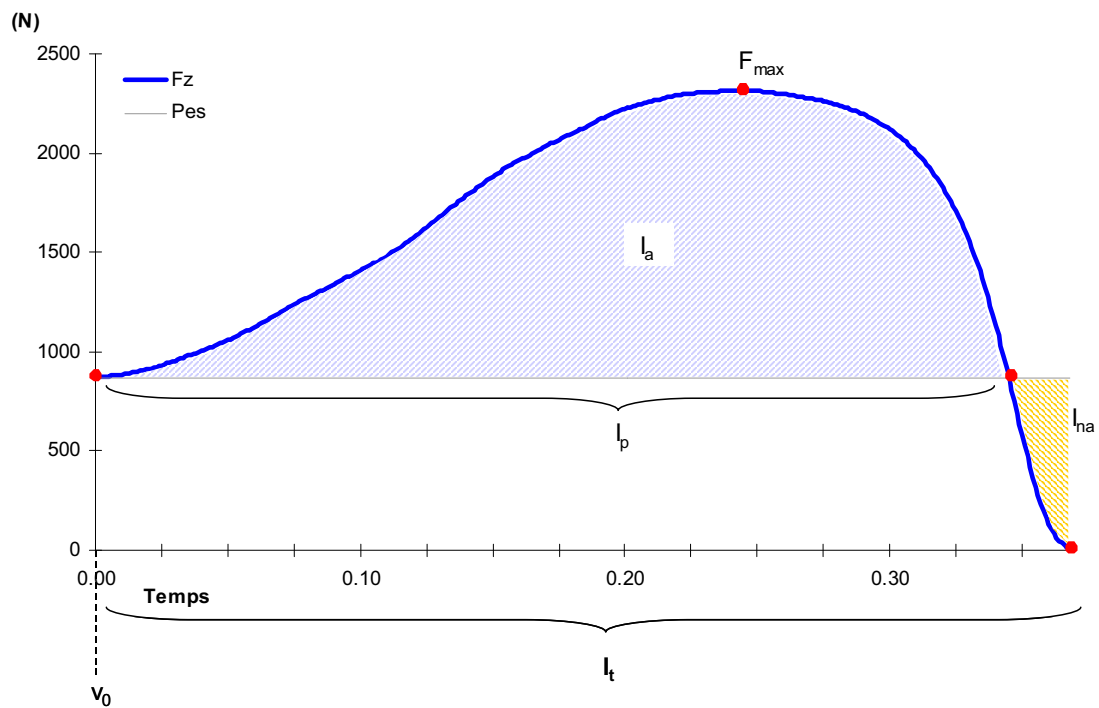
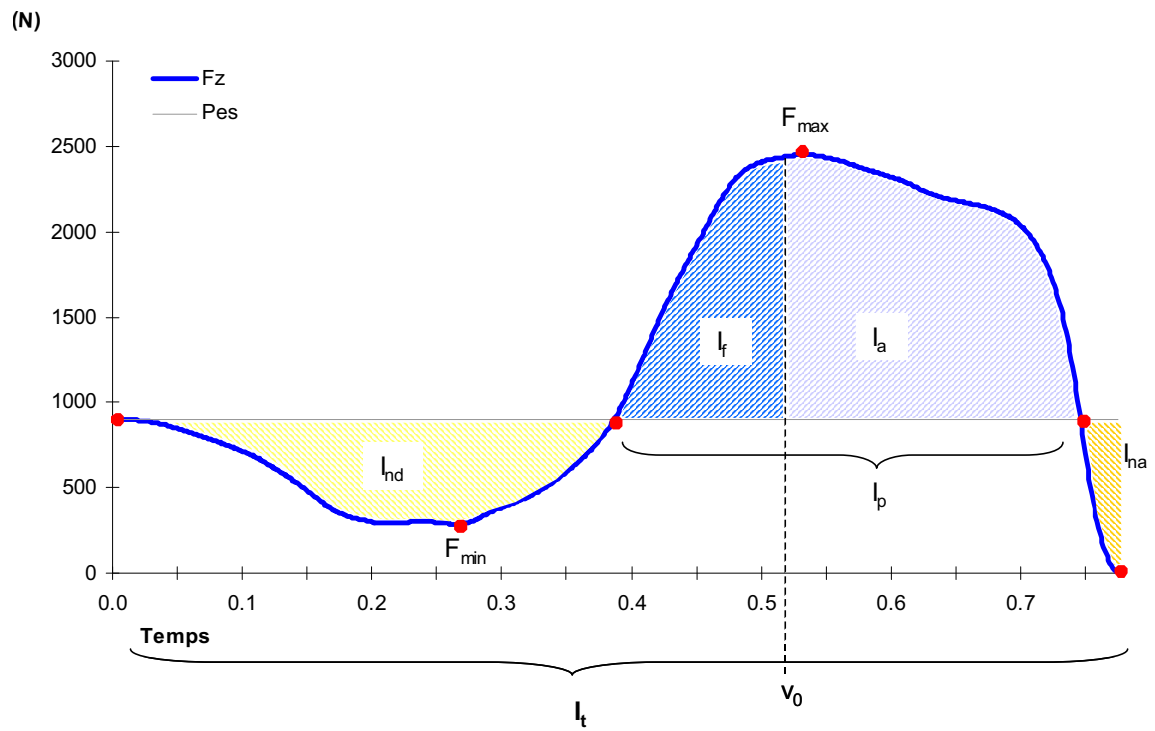
- d_{ST} – **Distància d'estirament** (Kibele, 1997). Distància existent entre la posició de velocitat mínima i la posició de màxima flexió de cames. És la distància que correspon a l'impuls de frenada i proporciona informació sobre la propietat elàstica del complex músculo-tendinós. Només es dona amb els salts amb contramoviment.

$$d_{ST} = x_{min} - x_{t2} \quad \text{Equació A27}$$

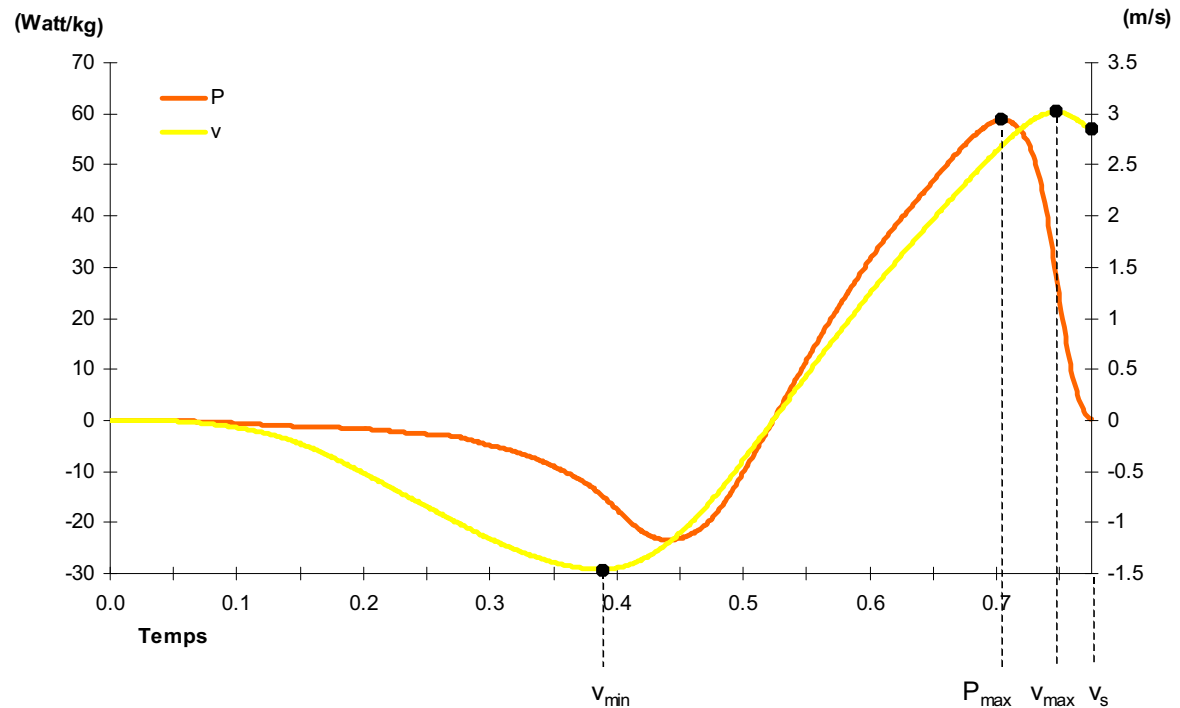
- d_s – Distància entre el CM en la posició inicial i posició en el moment de la sortida. Segons Aragón-Vargas (2000) aquesta alçada és d'uns 15.9 ± 0.7 cm i és molt similar en tots els subjectes.

$$d_s = x_s - x_0 \quad \text{Equació A28}$$

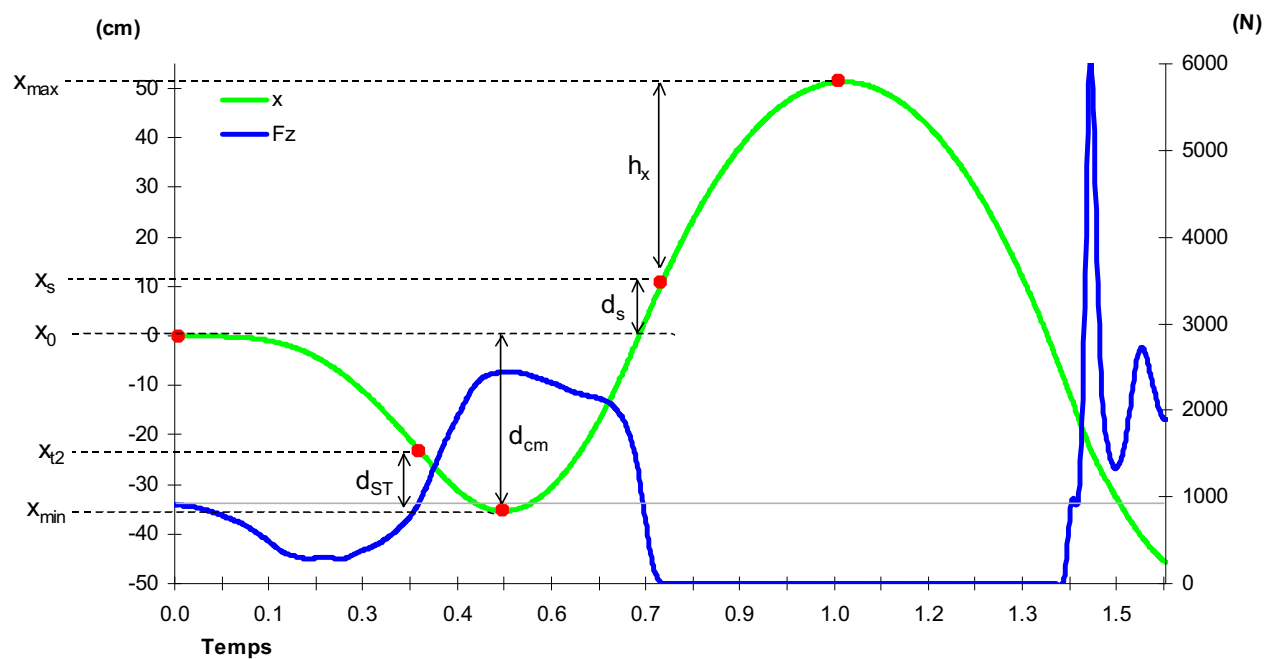
Variables de força i impuls. Figures



Variables de velocitat i potència. Figura



Variables de desplaçament. Figura



Paràmetres de rendiment avaluats

A. Alçada del salt

L'alçada del salt és el primer indicador de rendiment.

Quan s'utilitza la plataforma de força, l'alçada del salt es pot calcular per tres mètodes diferents:

1. Mitjançant el temps de vol (h_t)

$$h_t = g \times \frac{t_v^2}{8} \quad \text{Equació A29}$$

2. Mitjançant la velocitat de sortida que del CM en el moment del salt (h_v). Linthorne (2001) l'anomena mètode de l'impuls i Kibele (1998) mètode de la integració numèrica.

$$h_v = \frac{v_0^2}{2g} \quad \text{Equació A30}$$

3. Mitjançant el desplaçament del CM (h_x) entre el moment de la sortida (x_s) i la màxima alçada (x_{\max}). Linthorne (2001) l'anomena mètode del treball – energia i Lara (2006) de la doble integració.

$$h_x = x_{\max} - x_s \quad \text{Equació A31}$$

B. Índex d'Elasticitat:

La diferència entre el SJ i el CMJ aporta informació de l'increment d'alçada produïda com a conseqüència del cicle estirament – escurçament muscular

Bosco introdueix un índex d'elasticitat per poder comparar el guany entre subjectes:

$$IE(\%) = \frac{CMJ - SJ}{SJ} \times 100 \quad \text{Equació A32}$$

C. Índex d'Utilització de Braços

La diferència entre el CMJ i l'ABK aporta informació de l'increment d'alçada deguda a l'acció dels braços.

El càlcul en forma d'índex permet comparar el guany entre subjectes:

$$IB(\%) = \frac{ABK - CMJ}{CMJ} \times 100 \quad \text{Equació A33}$$

ANNEX 2. Programa_TFR_Diva

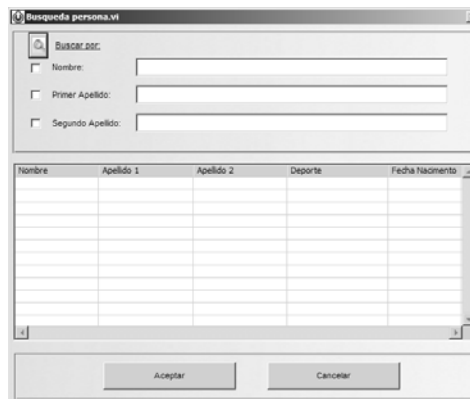
Aquest programa ha estat confeccionat especialment per al desenvolupament d'aquesta tesi doctoral i amb la intenció d'engegar una línia de valoració de base de la força en l'extremitat inferior.

Mitjançant el programa Bioware (KISTLER. Versió 4.0) es capturen les dades de força, s'aplica el filtrat i es converteix l'arxiu .dat en .txt.

A continuació s'utilitza el programa DIVA (DIVA Ingeniería) per l'anàlisi de les dades.

Procediment d'utilització:

- a. Búsqueda dels subjectes en la base de dades generals de la Institució.

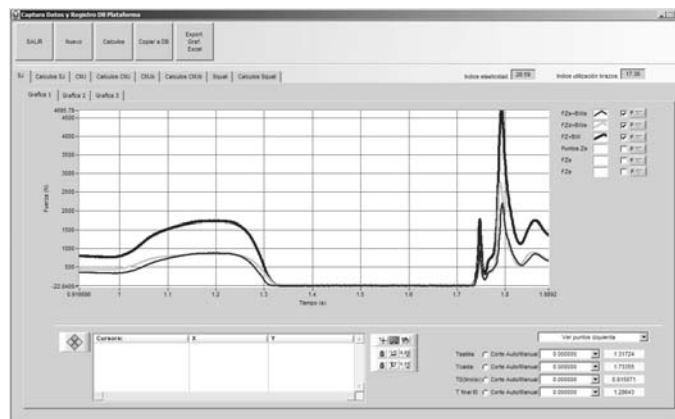


- b. Introducció dels arxius .txt.



En cadascuna de les pestanyes s'introdueix els arxius generats en cadascun dels salts i el mig squat. Quan està tot introduït es prem acceptar.

- c. Pantalla general del programa.



A través d'aquesta pantalla s'accedeix a les corbes de cadascun dels salts i del mig squat i es calculen els paràmetres que s'emmagatzemaran a la base de dades.

El programa calcula matemàticament l'inici del salt, l'instant de sortida del salt i l'instant de caiguda, així com l'inici i final del mig squat. Hi ha l'opció de moure manualment aquests instants, per si l'aproximació matemàtica és errònia.

Una vegada determinats aquests punts, es prem el botó "Calculos" de la pantalla. Això fa que els paràmetres definits en els annex 1 i 2 es calculin automàticament.

LLavors, es pot accedir a la pestanya de càlculs per observar el resultat.

Datos Plataforma
Nombre: Albert Pujadas Tortosa
Fecha: 11-11-2009

I. Gráfica 1.

Tabla 1: Cálculos Rze y Rzd

Extremidad	Tinicio(t0)	Tfinis(t1)	Tfmax(t4)	Tsalida(t7)	Tcaida(t8)
Izquierda	0.915	0.995	1.194	1.317	1.734
Derecha	1.002	1.002	1.187	1.327	1.733

Extremidad	BW	Fmin	Fmax	Ind	If	Ia	Iaa
Izquierda	374.6	335.6	882.1	-2.5	NaN	95.1	-6.8
Derecha	489.6	459.4	854.9	NaN	12.9	73.8	-8.4

Tabla 2: Cálculos Rz

T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	lv	lt	Ind	If	Ia	Iaa
0.903	0.971	1.007	1.047	1.117	1.250	1.289	1.332	1.734	16.8	19.7	-3.6	5.3	176.0	-22.8
BW	Fmin	Fmax	Vmin	Vmax	Vx	Pmin	Pmax	Pmedia	X0	Xvmin	Xvmin	Xvmin	Xv	Xvmax
824.2	770.4	1737.1	-6.07	2.09	1.82	-55.0	2994.8	960.8	-0.4	-0.8	-1.0	32.7	49.5	

d. Exportar les dades.

Les corbes de velocitat, desplaçament i potència, i els càlculs que apareixen a la pantalla es poden exportar Excel.

e. Emmagatzemar en la base de dades.

Els valors que apareixen en les diverses taules es poden emmagatzemar en la base de dades prement el botó "Copiar a DB".

f. Sortir del programa.

Per sortir del programa únicament s'ha de prémer el botó "Salir".

INDEX DE FIGURES

Figura 1.- Posicions del camp i sentit de la rotació.....	25
Figura 2.- Model de disfunció de Nagi.	29
Figura 3.- Manifestacions de la força (Vittori, 1990).....	31
Figura 4.- Representació gràfica del moviment de l'SJ i corbes de força – temps i velocitat – temps.....	33
Figura 5.- Representació gràfica del moviment del CMJ i corbes de força – temps i velocitat – temps.....	35
Figura 6.- Gràfica de força – desplaçament per a un CMJ i un SJ.....	38
Figura 7.- Representació gràfica del moviment del CMJb i corbes de força – temps i velocitat – temps.....	41
Figura 8.- Representació gràfica del DJb i corbes de força – temps i velocitat – temps.....	44
Figura 9.- Posició dels peus en jugadors experimentats (esquerre) i novells (dreta) de voleibol.....	46
Figura 10.- Formes de quantificar la simètrica	49
Figura 11.- Vertec	53
Figura 12.- Plataforma de contactes. (A) Catifa. (B) Microprocessador.....	60
Figura 13.- Procés per soterrar les plataformes.....	62
Figura 14.-Diferència entre la posició d'enlairament i la posició de caiguda en un salt vertical (Aguado i González, 1995)	65
Figura 15.- Execució d'un CMJ per un jugador de la selecció.....	74
Figura 16.- Mitjana i desviació estàndard de l'alçada dels salts de l'equip de cada temporada.....	76
Figura 17.-Mitjana i desviació estàndard dels índex de rendiment de cada temporada.....	76
Figura 18.-Mitjana i desviació estàndard del salt vertical en els dos tests efectuats durant la temporada 2007.....	80
Figura 19.- Mitjana del valor de cadascun dels salts per posicions.....	81
Figura 20.- Valor del salt per posicions durant la temporada 2006.....	81
Figura 21.- Valor del salt per posicions durant la temporada 2007.....	82
Figura 22.- Valor del salt per posicions durant la temporada 2008.....	82
Figura 23.- Disposició de les plataformes	92
Figura 24.- (A) Amplificador Tipus 9865. (B) Caixa de connexions Tipus 5606A.....	92
Figura 25.-Disposició de la plataforma de contactes sobre de les plataformes de força.....	93
Figura 26.- Captura dels salts verticals mitjançant les plataformes de força.....	94
Figura 27.- Variables de rendiment derivades de la corba de força - temps.....	96

Figura 28.-Gràfic de dispersió i regressió linial entre l'alçada calculada per el temps de vol i mitjançant la plataforma de forces.	101
Figura 29.-Gràfic de l'alçada dels salts verticals de la temporada 2009.	102
Figura 30.-Índex de rendiment associats als salts verticals en la temporada 2009.	103
Figura 31.-Alçada dels diferents salts per posicions de joc durant la temporada 2009	104
Figura 32.-Alçada del salt per posicions de joc. Resultant de tots els anys.	104
Figura 33.-Alçada salts mitjançant PF en temporada 2009.....	106
Figura 34.-Índex de rendiment temporada 2009.....	106
Figura 35.-Corba de força – temps d'un dels jugadors de voleibol durant un SJ	112
Figura 36.-Corba de força – temps d'un dels jugadors de voleibol durant un CMJ.....	113
Figura 37.-Corba de força – temps d'un dels jugadors e voleibol durant un CMJb.....	113
Figura 38.-Representació de la corba força – temps en un SJ considerat vàlid i en un altre amb presència d'un petit contramoviment considerat màxim.....	123
Figura 39.-Patró de força observat en quasi la meitat dels jugadors de voleibol durant l'execució d'un CMJb. Monos adaptats de Lees i col·laboradors (2004).....	129

INDEX DE TAULES

Taula 1.- Percentatge de punts aconseguits amb les diferents accions de joc.	27
Taula 2.- Índex de simetria trobats en la bibliografia.....	50
Taula 3.- Resultats dels salts verticals en jugadors masculins de voleibol.....	55
Taula 4.- Nombre de jugadors, edat i característiques físiques per temporada.....	72
Taula 5.- Descripció dels salts verticals realitzats	73
Taula 6.- Mitjana i desviació estàndard de l'alçada dels salts verticals.	75
Taula 7.- Mitjana i desviació estàndard dels índex de rendiment	77
Taula 8.- Alçada dels salts de cada jugador en la temporada 2006.....	77
Taula 9.- Alçada dels salts de cada jugador en la temporada 2007	78
Taula 10.- Alçada dels salts de cada jugador en la temporada 2008.....	79
Taula 11.- Mitjana i desviació estàndard de l'alçada dels salts en les dues avaluacions de la temporada 2007.....	79
Taula 12.- Número de jugadors per posicions.....	80
Taula 13.- Característiques dels participants del test de salt vertical.	91
Taula 14.-Mitjana de l'alçada de tots els salts obtinguda mitjançant els diferents instruments i equacions.....	100
Taula 15.- Correlació entre les diverses maneres de calcular l'alçada del salt	100
Taula 16.-Alçada dels salts verticals i valor dels índex de rendiment per a cada jugador durant la temporada 2009.....	102
Taula 17.- Dades de salts verticals de les temporades 2008 i 2009.....	103
Taula 18.- Valor dels salts verticals i índex de rendiment obtinguts mitjançant la plataforma de forces.	105
Taula 19.- Alçada de l'SJ màxim i "vàlid" i valor del contramoviment que es realitza en cada cas.....	107
Taula 20.- Variables de rendiment per a l'SJ.....	108
Taula 21.- Variabes rendiment CMJ	109
Taula 22.- Variables de rendiment del CMJb.....	110
Taula 23.-Correlació entre els paràmetres derivats a partir de la força vertical i l'alçada del salt mitjançant la velocitat de sortida en el SJ.....	111
Taula 24.-Correlació entre els paràmetres derivats a partir de la força vertical i l'alçada del salt mitjançant la velocitat de sortida en el CMJ.	111
Taula 25.-Correlació entre els paràmetres derivats a partir de la força vertical i l'alçada del salt mitjançant la velocitat de sortida en el CMJb.....	112
Taula 26.- Distribució del pes	114
Taula 27.- Valors de força màxima per a cadascuna de les extremitats.	115

Taula 28.- Valors d'impuls total per a cadascuna de les extremitats.....	116
Taula 29.- Valors d'impuls positiu per a cadascuna de les extremitats en els jugadors de voleibol	118
Taula 30.-Valors d'impuls negatiu per a cadascuna de les extremitats en els jugadors de voleibol	119
Taula 31.-Valors de temps total d'impulsió des de la força mínima per a cadascuna de les extremitats en els jugadors de voleibol.....	120
Taula 32.-Valors de referència de diversos paràmetres calculats durant un SJ observats en la bibliografia	125
Taula 33.-Valors de referència diversos paràmetres del CMJ observats en la bibliografia	127
Taula 34.-Valors de referència diversos paràmetres del CMJb observats en la bibliografia	130