



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO
FACOLTÀ DI SCIENZE MOTORIE



Scuola di Dottorato in Scienze Morfologiche, Fisiologiche e dello Sport
Dipartimento di Scienze Biomediche per la Salute
Corso di Dottorato in Scienze dello Sport XXV Ciclo

CMJ 2.1: TEST DI VALUTAZIONE FUNZIONALE DELL'ARTO INFERIORE

Docente Tutor

Prof. Giampietro ALBERTI

Coordinatore del Corso di Dottorato

Chiar.mo Prof. Livio LUZI

Tesi di Dottorato di Ricerca

Gabriele BOCCOLINI

Matricola: R08505

Triennio Accademico

2010/2012

...to my mother and marvi

ABSTRACT

Introduction: Although several methods have been proposed to assess bilateral asymmetry of the lower limbs (most of the tests require very expensive equipment), they do not reproduce the functionality of movements and are difficult to perform. **Purpose:** The aim of this study was to determine if the new functional test Countermovement Jump 2.1 (CMJ 2.1) was able to characterize the level of athletes and if it was able to determine functional deficits in injured athletes. Moreover, the purpose of this study was to analyze the reliability of CMJ 2.1 test and to compare it with other tests. Forty-nine subjects took part of this study (N=39 basketball players; N=10 soccer players). **Methods:** 3 different tests were used for this research: Hop & Stop Test, CMJ Test (both bipodalic and monopodalic jumps) and the proposed CMJ 2.1 Test consisting of countermovement jump with both legs and landing on one leg. Intraclass correlation coefficient was 0.92 (0.86–0.95) for CMJ 2.1 landing on right leg, and 0.94 (0.91–0.97) for CMJ 2.1 landing on left leg. The first three studies examined the difference between CMJ 2.1 Test and CMJ Test taking in consideration: (i) all subjects (N=49; age: 21.0±7.0 yr; height: 187.1±8.0 cm; weight: 80.3±9.9 kg), (ii) the difference between High Level group (N=26; age: 16.3±1.3 yr; height: 189.9±7.0 cm; weight: 81.0±9.8 kg) and Low Level group (N=23; age: 26.6±6.9 yr; height: 184.3±8.0 cm; weight: 79.5±10.2 kg); (iii) the difference between No Injured group (N=38; age: 20.2±7.3 yr; height: 187.3±7.8 cm; weight: 79.6±8.5 kg) and Injured group (N=11; age: 23.7±4.9 yr; height: 186.7±9.0 cm; weight: 82.4±13.9 kg) (major injuries happened at least 12 months before the study). Moreover, in accordance with other studies, bilateral asymmetry was calculated as [(stronger leg - weaker leg)/stronger leg] x 100. A positive sign indicates a stronger right leg; a negative sign indicates a stronger left leg. A (iv) fourth study examined the correlation between CMJ 2.1 and Hop & Stop Test, first considering all subjects then taking in consideration only Injured group. For this research, each subject did three trials of CMJ Test with both legs and six trials with one leg (three with right leg and three with left one), six trials of CMJ 2.1 Test (three times landing on right leg and three times landing on left leg) and one trial of Hop &

Stop Test protocol. **Results:** *First Study:* During CMJ 2.1 subjects reached lower height than CMJ with both legs ($p < 0.001$). However, no significant differences were found between CMJ 2.1 landing on right leg and CMJ 2.1 landing on left leg. *Second Study:* Significant difference were found between High Level and Low Level group in CMJ with right leg ($p < 0.001$) and CMJ with left leg ($p < 0.001$), where High Level reached higher height than Low Level. No difference was found in CMJ with both legs. Moreover, the results obtained in the first study between CMJ 2.1 and CMJ with both legs were found in the second one. *Third Study:* Regarding the No Injured group, in CMJ 2.1 Test subjects reached lower height than CMJ with both legs ($p < 0.001$). However, no significant differences were found within CMJ 2.1 Test (landing on right and on left leg). The main results were found in Injured group: during CMJ 2.1 Test subjects reached lower height than CMJ with both legs ($p < 0.001$). Furthermore, significant differences were found between CMJ 2.1 with no injured leg and CMJ 2.1 with injured leg ($p < 0.001$), where injured leg reached lower height than no injured. The range of normal bilateral asymmetry (2.5th to 97.5th percentiles) was -6.6% to 6.2%. *Fourth Study:* Interesting correlations were found between CMJ 2.1 and Hop & Stop Test, however, the very large confidence limits make the correlation not acceptable. Probably, it would be useful to repeat this analysis by expanding the study sample. **Conclusions:** The functional test CMJ 2.1 is reliable and efficient to discriminate the injured leg from no injured. CMJ 2.1 is easy to execute, it does not need expensive equipment and respect the functionality of movement. For these reasons, it may be useful for coach, strength and conditioning coach and sports scientist to evaluate an injured athlete or athlete who is making a post-injury rehabilitation.

Key Words: CMJ 2.1, strength asymmetry, functional test, injured athlete

Running Title: CMJ 2.1: Test di Valutazione Funzionale

INDICE

INDICE	3
STUDIO PRELIMINARE	6
Scopo.....	7
Soggetti, Materiali e Metodi	8
Soggetti.....	8
Materiali	8
Optojump	8
CMJ Test	9
Libra.....	9
Balance Test.....	9
Analisi Statistica	10
Verifica della Ripetibilità	10
Risultati e Discussione	10
Conclusioni	11
INTRODUZIONE	13
Infortuni e Sport	14
Valutazione Infortuni	19
Screening e Rischio di Infortuni	20
Fattori determinanti lo Standing Long Jump	24
SCOPO	27
SOGGETTI, MATERIALI E METODI	29
Soggetti	29
Materiali	30
Optojump Next	30
Fotocamera CASIO EXILIM EX-F1	31
Analisi Video.....	31
Metodi	32
Vertical Jump Test.....	33
CMJ bipodalico	33
CMJ monopodalico	33
Nuova Proposta di Valutazione	34
CMJ 2.1.....	34
Hop & Stop Test.....	35
Hop Test.....	35
Onto Test.....	36
Analisi Statistica	37
Verifica della Ripetibilità	37
RISULTATI E DISCUSSIONE	38
Risultati Studio 1: Valutazione Soggetti.....	39
Risultati Studio 2: High Level vs Low Level	42
Risultati Studio 3: Sani vs Non Sani.....	43
Risultati Studio 4: CMJ 2.1 vs Hop & Stop	50
L'angolo al ginocchio durante la fase di atterraggio.....	53
CONCLUSIONI	58
BIBLIOGRAFIA	63

STUDIO PRELIMINARE

Gli esercizi di resistance training (RT) e di balance training (BT) sono spesso utilizzati anche in ambito riabilitativo e al fine di prevenire infortuni. Alcuni autori hanno dimostrato l'efficacia dell'applicazione di questi mezzi di allenamento sulla riduzione d'infortuni (21,27,46,48,49). In particolare, l'utilizzo del balance training, ovvero l'allenamento mirato al miglioramento della capacità di equilibrio, è stato studiato come mezzo utile al miglioramento del controllo posturale e della forza degli arti inferiori: alcuni studi suggeriscono che il BT può essere usato al fine di migliorare la forza (32), la massima contrazione volontaria isometrica dei flessori-estensori del ginocchio in soggetti adulti e giovani (29,53) e la massima contrazione volontaria isometrica alla leg press in giovani atleti di élite (43), mentre altri autori rilevano che l'allenamento in disequilibrio non ha alcun effetto nell'incremento di questi parametri fisici (13,26,28).

In definitiva, dall'analisi della letteratura, è possibile affermare che sia per atleti di alto livello (26,53,71) che per soggetti adulti mediamente allenati, il BT non ha effetto sul miglioramento della forza degli arti inferiori; per contro la capacità forza aumenta significativamente per i soggetti giovani o per i sedentari (32).

In quasi tutte le discipline sportive, il gesto tecnico è più efficace e facile da eseguire in una situazione di equilibrio stabile. D'altra parte, gli atleti devono eseguire la maggior parte dei gesti tecnici in situazioni di scarso equilibrio e in situazioni dove serve produrre rapidamente forza (come: saltare, eseguire uno sprint, calciare, ecc.). Ad esempio, due atleti con la stessa capacità di salto verticale in un campo bagnato o durante un contrasto con l'avversario, otterranno performance differenti: il soggetto con la migliore capacità di equilibrio salterà, probabilmente, più in alto in quanto dotato di migliore controllo in tali situazioni. Per queste ragioni, capacità di forza muscolare ed equilibrio devono essere espresse in modo ottimale in ogni situazione delle differenti discipline sportive.

Per questo motivo, durante i tre anni del corso di Dottorato di Ricerca, si è cercato di incrementare le conoscenze riguardanti la capacità di salto verticale e di equilibrio. Nello

CMJ 2.1: Test di Valutazione Funzionale

stesso tempo, uno degli obiettivi è stato quello di capire quale fosse la relazione tra equilibrio e capacità di salto verticale.

Scopo

Lo scopo di questo studio è stato dunque di valutare l'eventuale correlazione tra la capacità di salto verticale e la capacità di equilibrio. La presenza di una relazione tra queste due capacità potrebbe indicare se l'allenamento di una, possa portare indirettamente ad un miglioramento dell'altra. Questo legame potrebbe aiutare a comprendere se l'atleta con capacità di equilibrio migliore, in condizioni di disequilibrio, esprimerà migliore elevazione perché maggiormente in grado di governare i fattori che influenzano il suo equilibrio.

Soggetti, Materiali e Metodi

Soggetti

Nell'arco dei tre anni di dottorato, è stata valutata la capacità di salto verticale e di equilibrio su circa 1435 soggetti, ma questo studio preliminare, si occupa dei soggetti (N: 479; età media: 14.6 ± 5.4 ; M: 407; F: 72) praticanti calcio, basket e pallavolo. È stata analizzata la correlazione tra le due capacità su un totale di 479 soggetti (Età media: 14.6 ± 5.4 ; M: 407; F: 72).

Materiali

Per valutare la capacità di salto verticale e la capacità di equilibrio, sono stati utilizzati rispettivamente gli strumenti Optojump (Microgate, Bolzano, Italia) e Libra (Easytech, Prato, Italia). Ogni soggetto ha eseguito un numero totale di 3 prove valide per ogni test.

Optojump

I test di salto verticale sono stati valutati con il sistema Optojump. Il sistema è costituito da due barre (ricevitore e trasmettitore: $100 \times 4 \times 3$ cm), poste parallele alla distanza di 1 m. La barra trasmettitrice contiene 32 diodi ad emissione di luce, distanziati di 3.125 cm, e a 0.3 centimetri dal suolo. Le barre dell'Optojump sono collegate ad un personal computer e il software dedicato (software Optojump, versione 3.01.0001) permette di quantificare l'altezza del salto verticale. Il sistema Optojump misura il tempo di volo durante un salto verticale con una precisione di 1/1000 secondi (1 kHz). L'altezza del salto viene indirettamente stimata tramite la formula $9.81 \cdot (\text{flight time})^2 / 8$ (12).

CMJ Test

Per analizzare la capacità di salto verticale è stato utilizzato il test di Counter Movement Jump bipodalico (*CMJ bip*), test correlato con la velocità di sprint, la massima forza in ½ squat (76) e la potenza muscolare (68).

Il protocollo del test CMJ bipodalico prevede la partenza dalla posizione eretta, in appoggio su entrambi gli arti inferiori e le mani sui fianchi. Da questa posizione, i soggetti sono stati istruiti a piegare velocemente le gambe fino ad un angolo approssimativamente di 90° per poi eseguire un salto verticale e cercare di esprimere la massima capacità di elevazione. Durante la fase di volo non era consentito flettere le ginocchia e la fase di atterraggio doveva essere eseguita approssimativamente nello stesso punto di stacco.

Libra

La Libra è una pedana basculante elettronica a raggio variabile. Le prove che possono essere eseguite con questo tipo di strumento si basano sul controllo dell'equilibrio per un tempo prestabilito e seguendo un percorso personalizzabile in base al livello di difficoltà. Sono previsti tre profili di basculamento intercambiabili (5, 12, 20 cm); la pedana è quindi dotata di un encoder per la rilevazione della posizione, azionato da una levetta in contatto col pavimento e collegato a una scheda elettronica che provvede alla rilevazione dell'angolo del piano della tavoletta rispetto al pavimento su cui è appoggiata ed ad inviare i dati ad un software installato su un personal computer tramite porta USB. Lo strumento è in grado di misurare il risultato della prestazione in termini grafici e numerici. Il valore di feedback dato dal software si avvicina a 0 (unità arbitraria), quanto più la prestazione si avvicina alla perfezione.

Balance Test

Il protocollo del Balance test (*BAL bip*) prevede l'appoggio bipodalico sulla pedana Libra. Il soggetto è stato istruito ad eseguire la prova mantenendo lo sguardo su un punto fisso posto alla distanza di circa 3 metri e all'altezza degli occhi. Inoltre il soggetto doveva mantenere le

CMJ 2.1: Test di Valutazione Funzionale

ginocchia sbloccate e le braccia libere per tutta la durata della prova. La durata della singola prova è stata stabilita essere di 30 secondi. Se il soggetto scendeva dalla pedana o appoggiava le mani sui fianchi, la prova era considerata nulla.

Analisi Statistica

L'analisi statistica è stata eseguita utilizzando il programma Aabel (versione 3.0.3; Gigawiz Ltd. Co., Tulsa, OK, USA). Tutti i dati sono mostrati come Media \pm ds (Deviazione Standard).

Per verificare la ripetibilità dei test, è stato utilizzato l'*Intraclass Correlation Coefficient* (ICC) (4) con i *Limiti di Confidenza* (CI) al 95% ed il *Coefficiente di Variazione* (CVs) espresso in percentuale.

Per studiare l'eventuale correlazione tra le due capacità analizzate, è stato utilizzato il test di correlazione di *Pearson* con i *Limiti di Confidenza* (CI) al 95%.

Verifica della Ripetibilità

Dall'analisi della ripetibilità, come mostrato in tabella 1, è possibile dimostrare che i test eseguiti in questo studio risultano avere una ripetibilità accettabile.

	ICC (95% CI)	CV (%)
CMJ bip	0.97 (0.96 - 0.97)	2.0
BAL bip	0.85 (0.83 - 0.87)	2.3

Tabella 1. Valori di ICC (95% CI: 95% Confidence Limits) e di %CV (CV: Coefficient of Variation) del test CMJ e BAL.

Risultati e Discussione

Nella seguente tabella (Tabella 2) sono mostrati i valori relativi al test *CMJ bip* e al test *BAL bip*.

Test	Media	ds
CMJ bip (cm)	31.2	10.6
BAL bip (a.u.)	9.0	5.4

Tabella 2. Valori Medi \pm ds relativi al test CMJ bip e BAL bip.

CMJ 2.1: Test di Valutazione Funzionale

Per quanto riguarda l'interpretazione della correlazione tra la capacità di salto verticale e la capacità di equilibrio, è stata utilizzata la scala di magnitudo proposta da Hopkins WG in www.sportsci.org, la quale si basa sui seguenti indici di valutazione: < 0.1, trivial; 0.1 – 0.3, small; 0.3 – 0.5, moderate; 0.5 – 0.7, large; 0.7 – 0.9, very large; > 0.9, nearly perfect.

Dall'analisi statistica, è emersa una correlazione “large” pari a -0.67 (Lower Confidence Limit: -0.61; Upper Confidence Limit: -0.71).

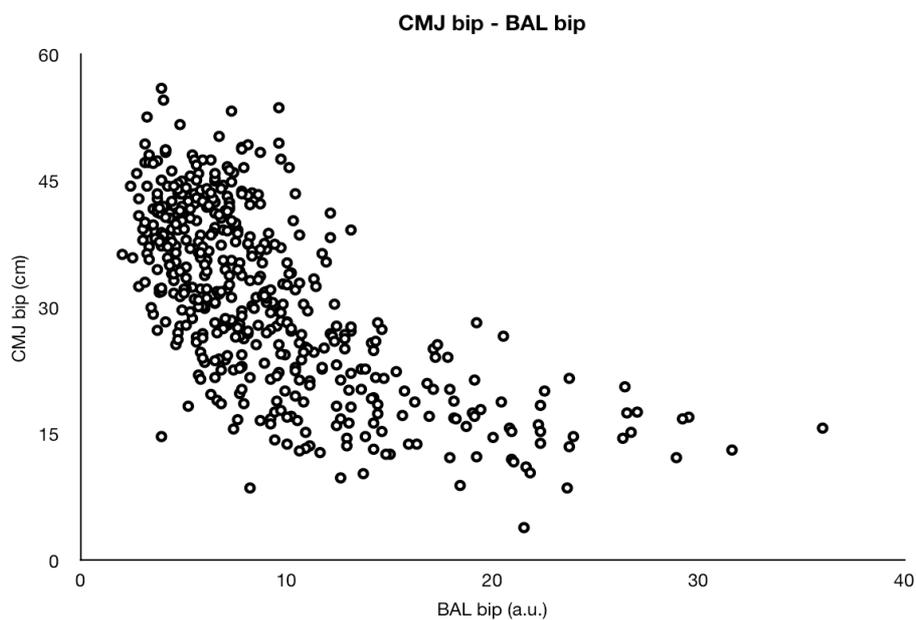


Figura 1. Scatter plot tra BAL bip e CMJ bip

Conclusioni

Secondo questo studio preliminare parrebbe esserci una correlazione tra capacità di equilibrio e capacità di salto verticale in soggetti che praticano sport di squadra. Sebbene in letteratura vi siano dei pareri contrastanti (13,26,28,32,71), l'alta correlazione riscontrata potrebbe accreditare l'ipotesi che il BT influisca positivamente sulla capacità di salto verticale.

Molto più verosimilmente le due capacità (salto verticale ed equilibrio) sembrano entrambe influenzate da altri fattori, come dimostra il grafico della figura 1: la relazione tra le due capacità non è di tipo lineare, ma esponenziale.

CMJ 2.1: Test di Valutazione Funzionale

Si rende quindi necessario individuare e studiare un test che non trascuri l'aspetto funzionale del gesto sportivo, la relazione tra salto verticale ed equilibrio e sia adatto a valutare soggetti sani, infortunati o in fase di recupero post infortunio.

INTRODUZIONE

La maggior parte degli atleti si sottopone ai differenti test atletici per verificare lo stato di forma e programmare i cicli di allenamenti successivi. Ogni sport è caratterizzato da un modello prestativo specifico, che ne caratterizza gli aspetti tecnici, tattici, condizionali e coordinativi. Il modello prestativo è differente tra gli sport di squadra e gli sport individuali, così come differisce tra gli stessi sport di squadra. Per quanto riguarda il calcio è noto dalla letteratura scientifica che il calciatore percorre circa 10-12 km eseguendo circa 1300 attività diverse lungo l'arco dei 90 minuti (8,64). La successione di movimenti di tipo aciclico, osservati nell'attività dei calciatori è caratterizzata da imprevedibilità e comprende cambi d'intensità, direzione e movimento. Dal punto di vista organico, l'intensità metabolica media è di circa il 70% del VO_2 max e il 90% dell'energia necessaria deriva dal meccanismo aerobico (7,8). Dai modelli di prestazione (7,64,66,70) emerge che nel gioco del calcio è fondamentale, a parità di capacità tecnica e tattica, possedere elevati livelli di fitness aerobica, di forza e velocità, esprimendo elevati livelli di questi parametri per tutto l'arco della gara. Anche per questo motivo, il calcio è uno sport nel quale la potenza muscolare costituisce una dote determinante ed è stato dimostrato come un giocatore esegue un cambio di direzione ogni 2.0 – 4.0 secondi per un totale di 1200 - 1400 cambi di direzione durante la partita (63). Anche il gioco del basket è uno sport che impegna alternativamente il metabolismo aerobico e anaerobico; prevede azioni ad alta intensità con recupero casuale e richiede elevati livelli di forza e coordinazione specifica. Le attività in questione possono essere situazioni di sprint, corsa indietro, salti, scivolamenti e arresti. È stato dimostrato che durante un'intera partita, i giocatori di basket di livello internazionale trascorrono il 17.8% del tempo ad una $\text{HR} > 95\%$ e il 59.1% del tempo ad una HR compresa tra l'85 e il 95%, eseguono circa 42.0 ± 7.0 salti e 63.0 ± 17.0 sprint (10), ed eseguono circa 997.0 ± 183.0 cambi di attività, ovvero un cambio di attività ogni 2.0 secondi di gioco effettivo (47).

CMJ 2.1: Test di Valutazione Funzionale

Come già ricordato, oltre alla componente aerobica o anaerobica, molti sport individuali e di squadra sono caratterizzati da situazioni di gioco in cui l'atleta deve esprimere elevati livelli di forza con i muscoli degli arti inferiori. Ad esempio: nel gioco del calcio durante uno sprint, uno stacco di testa o un contrasto con un avversario; nel basket durante un tiro in sospensione, un rimbalzo offensivo o difensivo; nel gioco della pallavolo durante un'azione di schiacciata o di muro a rete; nel tennis durante uno sprint seguito da un arresto e un cambio di direzione, oppure nella ginnastica artistica durante esercitazioni a corpo libero in pedana.

Infortuni e Sport

La maggior parte degli infortuni tende a verificarsi alla fine di un evento sportivo, quando gli atleti vanno incontro alla fatica cronica (17,22,56). L'incidenza degli infortuni nei giovani atleti (n° infortuni/1000h di attività) varia rispetto alla disciplina sportiva: tra 1.6 e 2.5/1000 h nella ginnastica (6), 2.3/1000 h di attività nel tennis (33), 3.4/1000 h nel basketball (50) e tra 5.6 e 10.4/1000 h nel calcio (21,25). Sulla base di questi risultati, si potrebbe concludere che non vi sia una differenza significativa sul rischio di infortunio tra gli sport di squadra e gli sport individuali. Tuttavia, queste discipline sportive hanno caratteristiche diverse. Nel calcio e nel basket come nella maggior parte degli sport di squadra, due gruppi si oppongono l'un l'altro sul campo di gioco, con la possibilità di avere un contatto diretto tra gli atleti rispetto alla maggior parte degli sport individuali, aumentando così il rischio d'infortunio. Alcuni studi hanno dimostrato come il tipo e l'entità dell'infortunio varia a seconda del tipo di sport. Emery CA et al. (2005) (21) hanno dimostrato che nell'High School, gli infortuni più gravi di sono verificati negli sport di squadra come il basket, l'hockey e il calcio. In uno studio prospettico di follow-up presso il National Collegiate Athletic Association (NCAA), Hootman JM et al. (2007) (34), hanno mostrato che la differenza tra il numero di infortuni avvenuti in partita e in allenamento, era maggiore negli sport di contatto (Figura 2).

CMJ 2.1: Test di Valutazione Funzionale

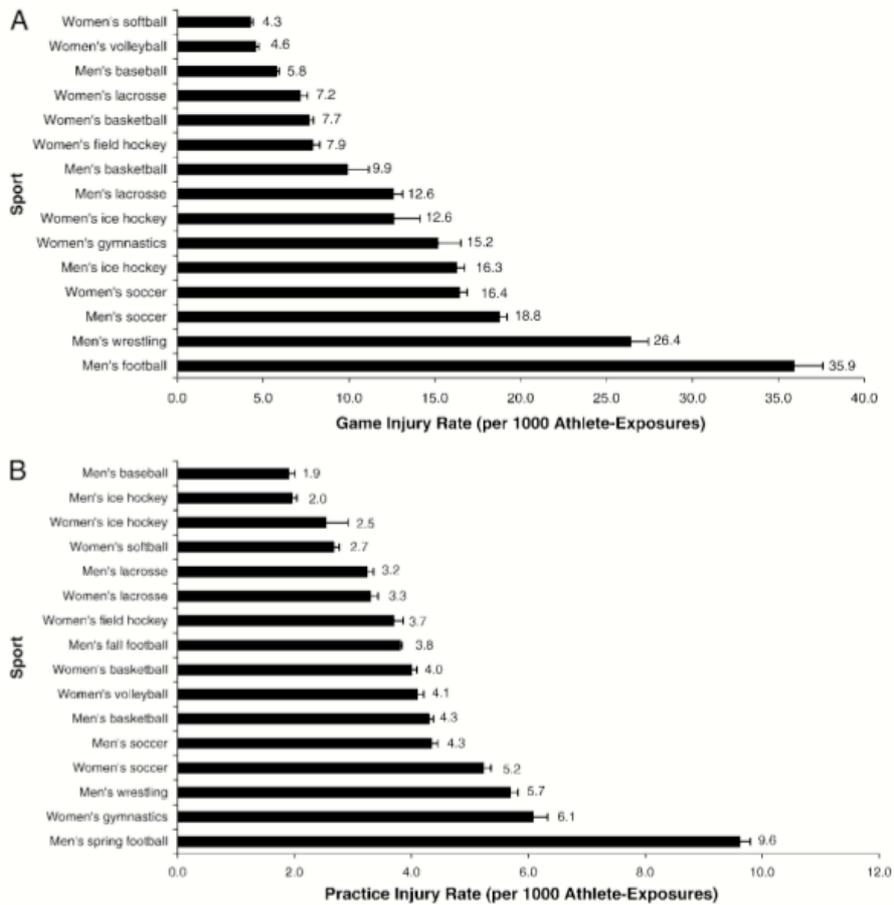


Figura 2. Numero di infortuni in allenamento e in partita su 15 sport differenti. National Collegiate Athletic Association, dal 1988–1989 al 2003–2004. (35)

Inoltre, in questo studio, è stato dimostrato che durante la partita, il 58.0% degli infortuni sono causati da un contatto tra gli atleti, per il 20.0% sono causati dal contatto tra l'atleta e un secondo oggetto, mentre per il 17.7% e per il 4.3%, sono causati rispettivamente da un “non contatto” o da cause sconosciute (Figura 3).

Durante gli allenamenti invece, gli infortuni causati da un “non contatto” sono più alti del 20.0% rispetto alla partita, mentre gli infortuni causati dal contatto tra i giocatori diminuiscono del 16.4%. Rimangono pressoché uguali gli infortuni avvenuti per cause sconosciute (6.2%) o dal contatto con un secondo oggetto (15.4%) (Figura 3).

CMJ 2.1: Test di Valutazione Funzionale



Figura 3. Distribuzione percentuale del meccanismo che ha portato all'infortunio.
National Collegiate Athletic Association, dal 1988–1989 al 2003–2004. (35)

Infine, questo studio, ha dimostrato che in gara come in allenamento, la maggior parte degli infortuni sono a carico degli arti inferiori (53.8% in gara; 53.7% in allenamento) (Figura 4).

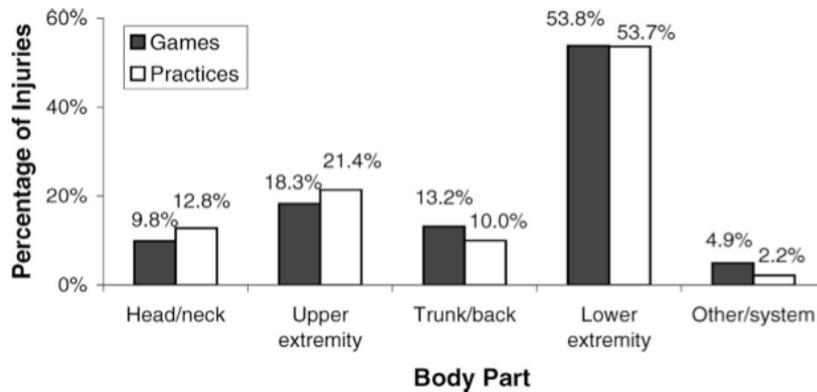


Figura 4. Distribuzione percentuale della zona di infortunio.
National Collegiate Athletic Association, dal 1988–1989 al 2003–2004. (35)

Un'altra ricerca effettuata da Theisen D et al (2012) (72), ha valutato l'incidenza degli infortuni in giovani atleti di alto livello sia di sport di squadra (N=4) che di sport individuali (N=12). Su un totale di 279 atleti, il 74% ha subito almeno una volta nell'arco delle due stagioni un infortunio, per un totale di 483 infortuni: il 63.0% negli sport di squadra. In particolare, negli sport di squadra sono stati evidenziati 6.16 infortuni/1000 h di attività, mentre negli sport individuali l'incidenza diminuisce a 2.88 infortuni/1000 h di attività. Infine, entrando più nel dettaglio, sia negli sport di squadra che negli sport individuali, la percentuale più alta di infortuni risulta a carico gli arti inferiori (sport di squadra: 77.9%;

CMJ 2.1: Test di Valutazione Funzionale

sport individuali: 61.4%), in particolare muscoli e tendini (sport di squadra: 35.1%; sport individuali: 45.1%) (Tabella 3)

Injury characteristics in team and individual sports.

	Injuries in team sports (n = 299) n (%)	Injuries in individual sports (n = 184) n (%)
Injury location*		
Upper limb	39 (13.0)	40 (21.7)
Lower limb	233 (77.9)	113 (61.4)
Trunk	25 (8.4)	24 (13.0)
Head/neck	2 (0.7)	7 (3.8)
Injury type ^a		
Muscle and tendon	105 (35.1)	83 (45.1)
Capsules and ligaments	81 (27.1)	42 (22.9)
Fracture or other bone trauma	50 (16.7)	30 (16.3)
Contusion	52 (17.4)	24 (13.0)
Nervous system	3 (1.0)	1 (0.5)
Other injury	8 (2.7)	4 (2.2)
Injury severity		
Slight (0–3 days)	100 (33.4)	51 (27.7)
Minor (4–7 days)	66 (22.1)	47 (25.5)
Moderate (8–28 days)	88 (29.4)	47 (25.5)
Major (>28 days)	45 (15.1)	39 (21.2)
Injury category		
Traumatic	216 (72.2)	131 (71.2)
Overuse	83 (27.8)	53 (28.8)

^a 4 missing values for team sports.

* $p < 0.05$, significantly different distributed between team and individual sports.

Tabella 3. Caratteristiche degli infortuni in sport di squadra e individuali. (72)

Risultati simili sono stati riscontrati in uno studio effettuato esclusivamente nel calcio da Ekstrand J et al. (2011) (19). In questo lavoro, sono stati analizzati i tipi e la quantità d'infortuni di 23 squadre europee di alto livello (e.g.: Arsenal FC; FC Barcellona; ACF Ajax; ecc.) per un totale di 7 stagioni consecutive (dal 2001 al 2008). Sulla base dei dati raccolti, è stato dimostrato che durante la partita, il numero degli infortuni aumenta con il passare dei minuti, sia nel primo che nel secondo tempo (Figura 5) e con una maggiore percentuale di infortuni riscontrati durante la partita rispetto alle sedute di allenamento (Figura 6).

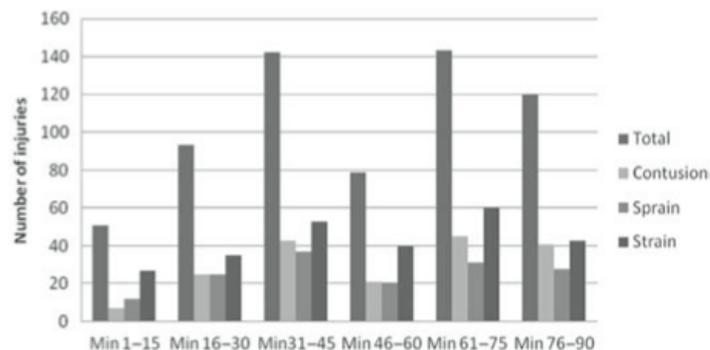


Figura 5. Distribuzione delle lesioni traumatiche durante una partita (dati delle stagioni 2006/07 e 2007/08). (15)

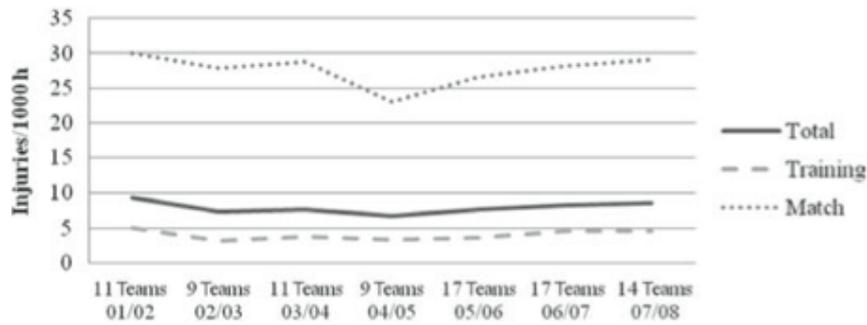


Figura 6. Incidenza degli infortuni/1000 h. (19)

Nel basket giovanile, entrando più nel dettaglio, il distretto più colpito sono gli arti inferiori (36.9% – 92.0%), in particolare la caviglia (16.6% - 44.0%). Il ginocchio è la seconda area maggiormente colpita (5.0% – 20.0%), ma con una differenza tra i sessi: 9.0% - 11.1% per i maschi e 13.0% – 20.0% per le femmine (31). Belechri et al. (2001) (9), analizzando i dati di 5 campionati europei diversi, indicano un range di infortuni per gli arti inferiori del 19.8% – 26.0%, con un interesse della caviglia del 8.2% - 15.2%, e del ginocchio del 4.1% - 7.7%. Risultati simili sono stati riscontrati in un lavoro australiano (24) che riporta una percentuale di infortuni agli arti inferiori del 25.1%. Anche nel basket il rischio d’infortuni è maggiore in partita rispetto all’allenamento. In uno studio effettuato su bambini di età 5 – 12 anni, il 90% degli infortuni è avvenuto durante la partita, con un rischio relativo di 16.9:1 (partita:allenamento) (30). Tuttavia, in uno studio danese più ampio che ha analizzato 302 giocatori di basket di età compresa tra i 6 – 18 anni, è stato dimostrato esserci un rischio relativo di 2.4:1 (partita=5.7/1000h; allenamento= 2.4/1000h) (81).

Diversi studi hanno poi esaminato quale fosse l’attività o l’azione durante la quale si verificano gli infortuni nel basket giovanile, includendo il contatto con un altro giocatore (36.7% - 38.6%), la corsa (33%), il tiro (29%), le azioni di twisting (31.8%).

Inoltre, sono state analizzate le interazioni tra azione e localizzazione dell’infortunio. Yde J e Nielsen AB (1990) (81) hanno riscontrato che, sebbene solo il 29% degli infortuni si sono verificati durante il tiro a canestro, questa azione ha causato per il 60% infortuni alla caviglia. Powell JW e Barber-Foss KD (2000) (62) hanno appurato che per i maschi si verificano più

CMJ 2.1: Test di Valutazione Funzionale

infortuni durante le azioni di tiro, mentre per le femmine si verificano più infortuni durante le azioni di dribbling. Infine, dato molto interessante, Piasecki DP et al (2003) (60) riportano che la maggior parte di infortuni al LCA (62.0% per i maschi; 71.0% per le femmine) sono causati da un non contatto con un altro giocatore.

Valutazione Infortuni

Soprattutto nel campo riabilitativo, i test isocinetici sono considerati delle procedure standard per la valutazione della forza muscolare degli arti inferiori (72) e degli arti superiori (40), a causa della possibilità di controllare il range of motion (ROM), la resistenza e la velocità del movimento (23,40,45). Tuttavia, alcuni studi hanno riportato come l'utilizzo di questo test per valutare la forza degli arti inferiori può essere influenzato semplicemente dalla posizione del corpo o dall'angolo del ginocchio (23,40,45).

La valutazione isocinetica, permette di valutare la forza degli arti inferiori a velocità costante, mentre la velocità di movimento dell'arto durante movimenti naturali è in continua variazione. Inoltre, il vincolo della velocità è imposta dalla strumentazione, eliminando la funzionalità e l'onere del controllo da parte del soggetto. È anche necessario sottolineare che la valutazione isocinetica è spesso effettuata solo per le azioni muscolari concentriche mentre le azioni eccentriche qualificano la fase di decelerazione e sono fondamentali per il controllo del movimento effettivo. La forza espressa in condizioni eccentriche caratterizza molti movimenti di molteplici sport, ad esempio: cambi di direzione nel calcio, atterraggio dopo un salto nel basket o nella pallavolo. La necessità di valutare questo comportamento, quindi, è di fondamentale importanza ma non sempre presente nei test isocinetici.

Per i motivi sopra citati, test funzionali dinamici, consentono di valutare e misurare la performance di molte esigenze funzionali anche della vita quotidiana, come ad esempio correre, salire le scale o saltare (14,73).

Screening e Rischio di Infortuni

Considerando il disagio degli atleti infortunati durante la vita quotidiana, le conseguenze invalidanti e i costi elevati inerenti all'iter riabilitativo, è evidente l'importanza del prevenire ogni tipo d'infortunio. Da questo punto di vista, è importante conoscere quali strumenti di screening possono identificare gli atleti che sono a rischio di lesioni per l'estremità inferiori. In una recente review, Dalinga JM et al. (2012) (15), hanno cercato di determinare quali valori ricavati da test antropometrici e funzionali possono essere predittivi per le lesioni agli arti inferiori negli sport di squadra; in particolare, le lesioni del ginocchio, del legamento crociato anteriore del ginocchio (LCA), ischio-crurali e caviglia. Sulla base di una revisione bibliografica condotta su studi pubblicati dal 1966 al 2011, gli autori hanno evidenziato che esistono diversi strumenti di screening che potrebbero essere predittivi per le lesioni precedentemente citate. Nel test Star Excursion Balance Test (SEBT) una differenza maggiore di 4 cm tra la distanza anteriore raggiunta con la gamba destra e la distanza raggiunta con la gamba sinistra, potrebbe essere considerata predittiva per le lesioni agli arti inferiori nelle atlete di sesso femminile, così come un *composite score* minore del 4% (61).

Inoltre, ci sono delle evidenze scientifiche che dimostrano che con l'aumento dell'età e del BMI, aumenta rispettivamente il rischio d'infortunio degli ischio-crurali e delle caviglie (15). Per quanto riguarda invece le asimmetrie di forza degli arti inferiori, sono diversi gli studi che hanno indagato questa capacità condizionale sempre per prevenire gli infortuni degli arti inferiori (5,36,38).

In uno studio effettuato nel 2007, Impellizzeri F et al. (36), hanno proposto un nuovo test per la valutazione delle asimmetrie di forza degli arti inferiori: *Vertical Jump Force Test*. Per effettuare questo test, i soggetti dovevano eseguire un CMJ bipodalico posizionando un piede sopra la piattaforma di forza e l'altro piede sopra una piattaforma di legno, come mostrato in figura 7.

CMJ 2.1: Test di Valutazione Funzionale

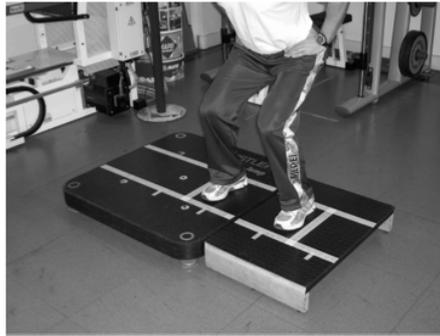


Figura 7. VJFT con piede destro sulla piattaforma di forza e piede sinistro sulla piattaforma di legno. (36)

L'asimmetria di forza bilaterale è stata calcolata tramite la formula $[(\text{gamba più forte} - \text{gamba più debole}) / \text{gamba più forte}] \times 100$. Un valore positivo indicava l'arto destro come gamba più forte, mentre un valore negativo indicava l'arto sinistro come gamba più forte. Dalle analisi, gli autori suggeriscono che un range di asimmetria da -15% a +15% può essere considerato normale (dal 2.5th al 97.5th percentile).

In uno studio meno recente, gli autori Augustsson J et al. (2004) (5) hanno dimostrato che nei soggetti che hanno subito una ricostruzione del LCA, il "single leg-hop test" risente delle condizioni di affaticamento indotto da un protocollo di pre-affaticamento alla leg-extension. Per questo motivo, gli autori suggeriscono di valutare l'aspetto funzionale degli arti inferiori, sia in condizioni di riposo che in condizioni di affaticamento.

Tuttavia, in quest'ultimo studio, l'utilizzo di una macchina isotonica come la leg-extension minimizza l'aspetto funzionale del movimento e della valutazione del soggetto che ha subito una ricostruzione del LCA. Lo svantaggio dell'analisi proposta da Impellizzeri F et al. (2007) invece, pur considerando un movimento più funzionale e di facile realizzazione come il CMJ, risiede nel fatto che bisognerebbe utilizzare comunque uno strumento molto costoso e da laboratorio come la piattaforma di forza.

Per questo motivo, sarebbe più utile utilizzare un test che prende in considerazione l'aspetto funzionale della valutazione, abbia caratteristiche di praticità e se possibile anche di limitazione dei costi degli strumenti da utilizzare.

Uno dei test presenti in letteratura è il LESS Test (Landing Error Scoring System) (11,55,57,58,69). Partendo da un box dell'altezza di 30 cm, si esegue un salto in avanti della

CMJ 2.1: Test di Valutazione Funzionale

distanza uguale al 50% della propria altezza per poi eseguire un salto verticale massimale. Durante l'esecuzione del test si esegue un'analisi funzionale/posturale come previsto dalla tabella 4.

<u>Frontal-Plane Motion</u>	<u>Sagittal-Plane Motion</u>
1. Stance width <input type="checkbox"/> Normal (0) <input type="checkbox"/> Wide (1) <input type="checkbox"/> Narrow (1)	6. Initial landing of feet <input type="checkbox"/> Toe to heel (0) <input type="checkbox"/> Heel to toe (1) <input type="checkbox"/> Flat (1)
2. Maximum foot-rotation position <input type="checkbox"/> Normal (0) <input type="checkbox"/> Externally rotated (1) <input type="checkbox"/> Internally rotated (1)	7. Amount of knee-flexion displacement <input type="checkbox"/> Large (0) <input type="checkbox"/> Average (1) <input type="checkbox"/> Small (2)
3. Initial foot contact <input type="checkbox"/> Symmetric (0) <input type="checkbox"/> Not symmetric (1)	8. Amount of trunk-flexion displacement <input type="checkbox"/> Large (0) <input type="checkbox"/> Average (1) <input type="checkbox"/> Small (2)
4. Maximum knee-valgus angle <input type="checkbox"/> None (0) <input type="checkbox"/> Small (1) <input type="checkbox"/> Large (2)	9. Total joint displacement in the sagittal plane <input type="checkbox"/> Soft (0) <input type="checkbox"/> Average (1) <input type="checkbox"/> Stiff (2)
5. Amount of lateral trunk flexion <input type="checkbox"/> None (0) <input type="checkbox"/> Small to moderate (1)	10. Overall impression <input type="checkbox"/> Excellent (0) <input type="checkbox"/> Average (1) <input type="checkbox"/> Poor (2)

Tabella 4. Foglio di calcolo relativo al LESS Test. (57)

Padua DA et al. (2009) (58) hanno esaminato la ripetibilità e la validità del LESS Test su 2691 soggetti, utilizzando come gold standard l'analisi cinetica e cinematica del movimento. Dall'analisi, è emersa un'eccellente ripetibilità e validità, dimostrando anche che i soggetti con un alto LESS score (scarsa tecnica nel jump-landing) mostravano degli indici cinematici e cinetici significativamente inferiori se confrontati con i soggetti con un basso LESS score (eccellente tecnica nel jump-landing). Un'eccellente validità è stata riscontrata anche nello studio effettuato da Onate J et al. (2010) (55). Tuttavia, in questi studi, è stata eseguita l'analisi video del LESS Test a posteriori, operazione che comporta un aumento marcato dei tempi di valutazione. Per questo motivo, Padua DA et al. (2011) (57) hanno valutato la validità e la ripetibilità nell'eseguire la valutazione del LESS Test in tempo reale (LESS RT) confrontata con la valutazione del test a posteriori. Gli autori, hanno dimostrato che il test LESS RT è uno strumento veloce, facile e affidabile per valutare i soggetti a rischio d'infortuni. Tuttavia, in uno studio effettuato nel 2012 da Smith HC et al. (69) è stata dimostrata esserci una non relazione tra il rischio di subire infortuni al LCA e lo score ottenuto nel LESS Test.



Figura 8. Esempio di esecuzione del LESS Test.

Alcuni anni fa, è stato proposto da Juris PM et al (1997) (38) un test funzionale, utilizzato successivamente anche in altri studi (44,54,65), con lo scopo di valutare la forza prodotta durante un salto e la forza (di assorbimento o di frenata) eccentrica durante l'atterraggio da un salto: *Hop & Stop Test*. In questo studio, hanno preso parte 150 soggetti, di cui 50 maschi, 50 femmine e 50 soggetti che avevano subito la ricostruzione del LCA almeno 6 mesi prima dello studio. I risultati di questo studio hanno indicato che l'*Hop & Stop Test* era un discreto test funzionale per gli arti inferiori, accertando lo stato dei pazienti sottoposti alla riabilitazione post operazione del LCA, e dimostrando che la capacità di ammortizzare il movimento durante l'atterraggio richiede un'espressione di forza più difficile da controllare rispetto a quella espressa durante la fase di spinta verticale del salto. Per questo motivo, gli autori consigliavano di eseguire dei lavori di hop and stop durante la rieducazione post intervento al LCA per compensare i deficit causati dalla lesione.

Oltre all'ambito riabilitativo, il test *Hop & Stop*, in virtù delle elevate esigenze di controllo del movimento di produzione di forza durante il salto e nella produzione di forza eccentrica durante l'atterraggio, può essere un mezzo efficace per valutare gli atleti e in particolare la combinazione e l'interazione tra le abilità motorie coordinative, la stabilità delle articolazioni oltre che l'espressione di forza.

In altre parole, in una popolazione sana, questo test può:

CMJ 2.1: Test di Valutazione Funzionale

- Individuare i soggetti la cui mancanza di controllo del movimento può essere un fattore precursore di lesioni future.
- Analizzare gli aspetti di forza eccentrica e di controllo posturale/articolare nella fase di atterraggio.
- Rivelare eventuali asimmetrie tra i due arti.

Dal punto di vista biomeccanico, numerosi studi presenti in letteratura hanno esaminato la performance durante lo *Standing Long Jump* valutando come e quanto alcune variabili potessero influenzare la distanza raggiunta durante il salto. Sebbene il protocollo dello *Standing Long Jump* sia diverso rispetto al protocollo dell'*Hop & Stop Test*, i prossimi studi possono aiutarci a capire come l'intervento di alcuni fattori possono contribuire alla prestazione di un salto in avanti.

Fattori determinanti lo Standing Long Jump

È stato dimostrato che l'utilizzo delle braccia durante lo *Standing Long Jump* permette una performance migliore di circa 21.0% (39). La maggior parte di questo aumento è dovuto dall'aumento della velocità di uscita del centro di massa legato all'aumento del tempo di spinta. Il resto è dovuto allo spostamento orizzontale e verticale del centro di gravità prima del salto.

Risultato analogo è stato dimostrato in un altro studio, dove l'utilizzo delle braccia durante lo *Standing Long Jump* ha permesso ai soggetti di aumentare in media la distanza del salto di 40.0 cm rispetto all'eseguire il test senza l'utilizzo della braccia (3). Il motivo, secondo gli autori, è dato dal fatto che l'utilizzo delle braccia aumenta la posizione orizzontale, verticale, e la velocità di uscita del Centre of Gravity nella fase di stacco.

Un'ulteriore studio ha esaminato l'angolo ottimale di uscita (take-off) durante lo *Standing Long Jump* (74), dimostrando come l'angolo ottimale di take-off fosse compreso tra 19-27°, molto inferiore rispetto all'angolo di uscita di 45° previsto per il moto di un proiettile. Inoltre in questo studio, è stato anche richiesto ai soggetti di eseguire degli *standing long jump*

CMJ 2.1: Test di Valutazione Funzionale

aumentando o diminuendo l'angolo di uscita a loro preferito. In questo modo è stato dimostrato come la velocità di take-off diminuisce con angoli maggiori, riducendo così anche la distanza del salto. Tuttavia, se l'angolo di uscita fosse compreso tra $\pm 5^\circ$ rispetto all'angolo ottimale, la distanza del salto risulterebbe diversa di ± 2 cm. Infine, questo studio, afferma che sono tre i fattori che causano l'angolo ottimale di take-off: la relazione tra l'angolo e la velocità di take-off, la differenza in altezza del centro di massa tra il take-off e l'atterraggio (h landing), la distanza orizzontale raggiunta dal centro di massa prima della fase di stacco dei piedi (d take-off).

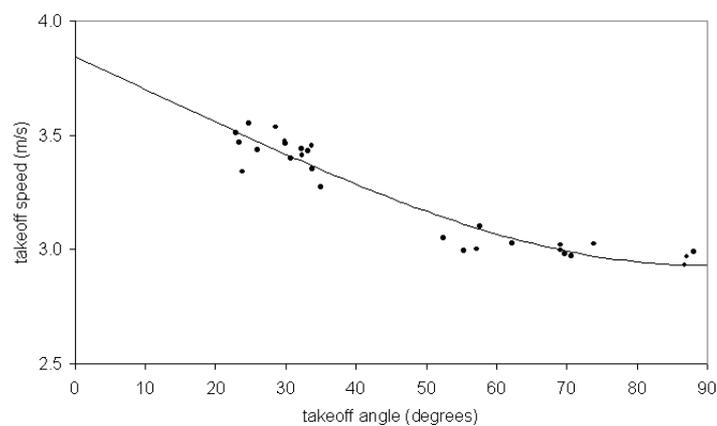


Figura 9. Relazione tra la velocità e l'angolo di uscita. (74)

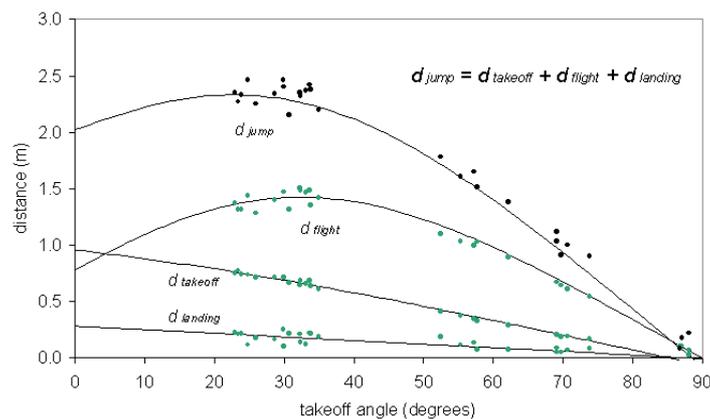


Figura 10. Relazione tra la distanza del salto e l'angolo di uscita. (74)

Oltre all'angolo di uscita e all'utilizzo o meno delle braccia, il fattore che potrebbe influenzare la performance nello *Standing Long Jump* è l'angolo di caricamento del ginocchio, come esaminato in uno studio eseguito da Wu et al nel 2004 (79). In questo studio

CMJ 2.1: Test di Valutazione Funzionale

in particolare, è stato dimostrato che l'utilizzo delle braccia aumentava la distanza raggiunta durante lo *Standing Long Jump*, e che un angolo iniziale al ginocchio di 90° aumentava la lunghezza del salto di 1.2 volte rispetto ad un angolo di 45°. Questo studio, a differenza del lavoro di Wakai M and Linthorne NP (2005), ha appurato che l'angolo di take-off non ha giocato un fattore determinante sulla performance del test, e che i fattori antropometrici non sempre influenzano le prestazioni (e.g.: avere degli arti inferiori più lunghi non significa necessariamente prestazioni migliori). In conclusione, gli autori affermano che la giusta tecnica nella fase di preparazione del salto, le capacità coordinative e l'utilizzo degli arti superiori influenzano maggiormente la prestazione nello *Standing Long Jump* rispetto alla massa muscolare o all'altezza del soggetto. In altre parole, soggetti di bassa statura ma che coordinano in modo ottimale ed efficace l'utilizzo delle braccia, possono saltare più lontano dei soggetti più alti e più forti ma che non sanno utilizzare in modo coordinato le braccia.

SCOPO

È stato dimostrato che vi è una maggiore incidenza d'infortuni negli sport di squadra rispetto agli sport individuali (35,72). In particolare, durante la partita, il 58.0% sono infortuni causati da contatto tra gli atleti (35) e il distretto più colpito è quello degli arti inferiori 77.9% (72). Nel gioco del calcio, si nota un'incidenza di 8.0 infortuni ogni 1000 h di attività: infortuni muscolari dal 22.0% al 46.0% e dal 13.0% al 25.0% infortuni ai legamenti. L'incidenza di infortuni durante la partita è maggiore rispetto a quella registrata durante gli allenamenti (27.5 vs 4.1, $p < 0.0001$) (19). La percentuale d'infortuni nel basket è per il 25.1% a carico degli arti inferiori (24), con una ripartizione tra partita e allenamento: partita=5.7/1000h, allenamento=2.4/1000h. (81).

Negli ultimi anni sono stati proposti diversi test con lo scopo di eseguire uno screening funzionale che avesse l'obiettivo di valutare l'atleta infortunato e individuare se ci fosse un arto che potesse essere più soggetto ad infortuni (3,28,29,39,46,51). Tuttavia i test proposti non rispecchiano la funzionalità del movimento, sono di difficile esecuzione o richiedono strumentazione molto costosa.

Alla luce di quanto descritto, lo scopo del presente elaborato è stato quello di proporre un nuovo test di valutazione funzionale, e in particolare quello di:

1. Valutare atleti di sport di squadra mediante il *Test CMJ 2.1* e altri test presenti in letteratura.
2. Valutare atleti considerati *High Level* e atleti *Low Level* tramite il *Test CMJ 2.1* e altri test presenti in letteratura.
3. Valutare atleti *Sani* e atleti *Non Sani* per mezzo del *Test CMJ 2.1* e altri test presenti in letteratura.
4. Confrontare il *Test CMJ 2.1* con il *Test Hop & Stop*.

La nuova proposta di valutazione funzionale si basa sul principio che durante la fase di atterraggio da un salto, un cambio di direzione o durante la frenata eseguita dopo uno sprint,

CMJ 2.1: Test di Valutazione Funzionale

l'atleta esprime elevati livelli di forza eccentrica e una carenza di capacità di forza potrebbe essere causa di infortunio agli arti inferiori.

SOGGETTI, MATERIALI E METODI

Soggetti

Al presente studio hanno partecipato 49 soggetti (età: 21.0 ± 7.0 ; altezza: 187.1 ± 8.0 cm; peso: 80.3 ± 9.9 kg) praticanti sport di squadra, in particolare calcio (N=10) e basket (N=39). Per l'analisi dei dati, i soggetti sono stati divisi in *High Level* (N=26; età: 16.3 ± 1.3 ; altezza: 189.9 ± 7.0 cm; peso: 81.0 ± 9.8 kg) e in *Low Level* (N=23; età: 26.6 ± 6.9 ; altezza: 184.3 ± 8.0 cm; peso: 79.5 ± 10.2 kg). I soggetti, poi, sono stati ulteriormente suddivisi in soggetti *Non Sani* (N=11; età: 23.7 ± 4.9 ; altezza: 186.7 ± 9.0 cm; peso: 82.4 ± 13.9 kg) e in soggetti *Sani* (N=38; età: 20.2 ± 7.3 ; altezza: 187.3 ± 7.8 cm; peso: 79.6 ± 8.5 kg) in relazione agli infortuni di maggiore gravità subiti fino a un anno precedente l'esecuzione dei test. In letteratura, gli infortuni sono classificati nelle seguenti tre categorie in accordo con la loro gravità: minore gravità (assenza dalla gara/allenamenti minori di 7 giorni), moderata gravità (assenza da 7 a 30 giorni), e maggiore gravità (assenza > di 30 giorni) (18,20).

Oltre ai dati antropometrici, tutti i soggetti hanno riferito quale fosse l'arto inferiore dominante. Secondo alcuni autori, quando si usa l'aggettivo dominante si fa riferimento all'arto superiore o parte di esso nell'esecuzione di movimenti che hanno caratteristiche di coordinazione fine. L'aggettivo prevalente è invece riferito all'arto inferiore più capace di sviluppare gesti che, oltre alla precisione di esecuzione richiedono forza potenza o resistenza in genere (2).

Si parlerà invece di arto inferiore prevalente rispetto al controlaterale per definire quale arto inferiore si usa per eseguire un salto (azione di stacco) o di arto dominante rispetto al non-dominante quando si parla di movimenti tecnici per spostare o calciare un pallone.

Per un tennista dominanza e prevalenza degli arti superiori di solito coincidono, per un calciatore quasi mai: infatti chi calcia di destro (arto dominante) si trova ad avere come arto prevalente (arto di stacco) il sinistro.

CMJ 2.1: Test di Valutazione Funzionale

Prima di partecipare ai test, i soggetti sono stati informati sullo scopo, sul design e su tutti i possibili rischi dello studio. Lo studio è stato approvato dall'University Ethics Committee.

Materiali

Optojump Next

Per tutti i test è stato utilizzato lo strumento Optojump Next (Microgate, Bolzano, Italia): come sistema a modulo singolo di un metro per effettuare i test di salto monopodalico e CMJ 2.1 e come sistema modulare della lunghezza di 3 metri per effettuare l'Hop and Stop test. Nella configurazione singola, OptoJump Next consente di svolgere test di salto (con una precisione di 1 millesimo di secondo), test di reazione e test di corsa (se montato su un tapis roulant), mentre nella configurazione modulare consente di analizzare una camminata, una corsa o particolari movimenti specifici. In particolare, permette di misurare la lunghezza dei passi, l'accelerazione esatta e media, il tempo di percorrenza (calcolabile anche con l'ausilio di sensori esterni come, ad esempio, fotocellule) o la modalità di appoggio del piede (tallone o punta). Dal punto di vista ingegneristico, Optojump Next consiste in due barre ottiche con l'interfaccia integrata (1100 mm X 100 mm X 100 mm [L x P x H]; 2 Kg) connesse al PC tramite un cavo USB al software dedicato (Optojump Next software, versione 1.6.4.0) ed una serie di barre per la creazione del sistema modulare (1000 mm X 100 mm X 45 mm [L x P x H]; 1.5 Kg) connesse tra loro tramite appositi connettori. Ogni barra è composta da un numero totale di 96 sensori ottici, distanti tra loro 1.041 mm ed ognuno avente una distanza dal proprio centro ottico al bordo inferiore di 3 mm. L'altezza del salto viene indirettamente stimata tramite la formula $9.81 \cdot (\text{flight time})^2 / 8$ (12).

CMJ 2.1: Test di Valutazione Funzionale



Figura 11. Esempio di Vertical Jump.



Figura 12. Esempio di sistema modulare della lunghezza di 2 metri



Figura 13. Connettori per l'assemblaggio del sistema modulare.

Fotocamera CASIO EXILIM EX-F1

Le riprese video per effettuare poi l'analisi funzionale del test CMJ 2.1 sono stati effettuate tramite fotocamera CASIO EXILIM EX-F1. Nella modalità registrazione video la fotocamera è in grado di effettuare metraggi ad alta velocità di registrazione: tra 300 fino a 1.200 frame per secondo. In questo studio, i video sono stati realizzati con una registrazione a 300 fotogrammi per secondo.

Analisi Video

L'analisi video per le misurazioni degli angoli al ginocchio riguardante l'atterraggio del *Test CMJ 2.1* è stata eseguita tramite il software Kinovea 0.8.15. *Kinovea* è un programma ideato

CMJ 2.1: Test di Valutazione Funzionale

e pensato per gli sportivi, allenatori e sport scientist che cercano un nuovo modo per valutare gli allenamenti e gesti sportivi. Il software permette di analizzare tutti i movimenti e cogliere quei piccoli elementi che possono aiutare a migliorare la performance e a capire alcuni aspetti di gesti motori.

In particolare, tramite il software, è possibile confrontare o sincronizzare due video per l'analisi tecnica dei movimenti; cambiare la prospettiva, aggiungere dei disegni e delle annotazioni sulle immagini; zoomare parte del video e utilizzare il cronometro dedicato per il calcolo dei tempi e delle traiettorie.

La misurazione dell'angolo al ginocchio nella fase di atterraggio del CMJ 2.1 Test è stata eseguita ponendo dei markers su tre punti di repere: grande trocantere, centro di rotazione articolare del ginocchio e malleolo laterale.

Metodi

Dopo pochi minuti di warm-up standard, consistente in circa 5 minuti di corsa ad una velocità confortevole, stretching dinamico e 2 CMJ non massimali, i soggetti eseguivano i test secondo la seguente sequenza:

- i) Hop and Stop Test – Hop Test;
- ii) Hop and Stop Test – Onto Test;
- iii) CMJ monopodalico;
- iv) CMJ 2.1;
- v) CMJ bipodalico.

I test di CMJ 2.1 e CMJ bipodalico venivano eseguiti secondo una sequenza random, in modo tale da ridurre al minimo gli effetti di apprendimento. In questo modo, alcuni soggetti hanno eseguito prima il test CMJ 2.1, mentre altri soggetti il test CMJ bipodalico. Ogni soggetto ha effettuato un totale di tre prove valide per ogni test.

Vertical Jump Test

La capacità di forza è stata valutata tramite il Counter Movement Jump (CMJ) bipodalico e monopodalico, test correlato con la velocità di sprint, la massima forza espressa al ½ squat (76) e la potenza muscolare (68).

I test di salto verticale sono stati eseguiti seguendo il protocollo del CMJ Test con le mani sui fianchi, in tre diverse modalità: in appoggio bipodalico (*CMJ bip*), in appoggio monopodalico (*CMJ dx – CMJ sx*) e con partenza in appoggio bipodalico e arrivo in appoggio monopodalico (*CMJ 2.1 = CMJ 2.1 dx – CMJ 2.1 sx*). I test di salto sono stati eseguiti sempre con le mani sui fianchi, in modo tale da minimizzare gli effetti propulsivi e coordinativi legati all'utilizzo delle braccia durante la fase di caricamento e di volo. In questo modo, l'altezza di salto raggiunta potrebbe essere la causa prevalente della potenza espressa dagli arti inferiori.

CMJ bipodalico

Il protocollo del test CMJ bipodalico prevede la partenza dalla posizione eretta in appoggio su entrambi gli arti inferiori e le mani sui fianchi. Da questa posizione, si soggetti sono stati istruiti a piegare velocemente le gambe fino ad un angolo approssimativamente di 90° per poi eseguire un salto verticale raggiungendo l'altezza più alta possibile. Durante la fase di volo non è consentito flettere le ginocchia e la fase di atterraggio deve avvenire nello stesso punto di stacco.

CMJ monopodalico

Il protocollo del test CMJ monopodalico si esegue con le stesse modalità di esecuzione del CMJ bipodalico, ma lo stacco e l'atterraggio sono svolte solo con un arto inferiore.

È stato eseguito anche questo tipo di test perché si ritiene che nell'esecuzione possano incidere significativamente le componenti coordinative e, in un soggetto non-sano, possa servire a discriminare l'arto infortunato da quello sano.

Nuova Proposta di Valutazione

La nuova proposta di valutazione funzionale si basa sul principio che, durante la fase di atterraggio da un salto, un cambio di direzione o durante la frenata eseguita dopo uno sprint, l'atleta esprime elevati livelli di forza eccentrica e nel caso questa espressione di forza non sia adeguata, questo deficit di forza potrebbe essere la causa di un infortunio. La mancanza di forza necessaria per controllare l'impatto al suolo dopo un atterraggio potrebbe dunque aumentare il rischio di subire infortuni comuni connessi all'impatto dell'atterraggio, come ad esempio lesioni cartilaginee (82), lesioni ai legamenti (51) e fratture ossee (52) a carico degli arti inferiori. Inoltre, diversi studi hanno cercato di capire quali gruppi muscolari intervengono maggiormente durante la fase di impatto al suolo. DeVita P and Skelly WA (1992) (16) hanno dimostrato che i muscoli estensori dell'anca e del ginocchio assorbono maggior energia durante un atterraggio morbido, mentre i muscoli che intervengono nella flessione plantare del piede assorbono maggior energia durante un atterraggio di tipo più compatto effettuato da un'altezza di 59 cm. Zhang SN et al. (2000) (84) hanno dimostrato che un incremento dell'altezza di atterraggio può generalmente elevare i livelli di potenza e di lavoro eccentrica in corrispondenza delle articolazioni degli arti inferiori, tesi dimostrata anche in uno studio effettuato da Yeow CH et al. (2009) (83).

CMJ 2.1

Sulla base di quanto detto precedentemente, l'obiettivo del CMJ 2.1 Test è quello di verificare se gli atleti che hanno subito un infortunio di grave entità (assenza dagli allenamenti/partite > 30 giorni) nell'ultimo anno precedente ai test, sono in grado di eseguire con l'arto *non sano* delle azioni per le quali si richiedono alti livelli di forza eccentrica e di assorbimento della forza d'impatto al suolo dopo un atterraggio.

Il protocollo del test *CMJ 2.1* si basa sulle stesse modalità di esecuzione del classico test CMJ bipodalico con le mani sui fianchi (12) utilizzato anche in questo studio. La differenza risiede nel fatto che il soggetto doveva effettuare il salto in appoggio bipodalico e atterrare in appoggio monopodalico bloccando il piede al terreno senza effettuare dei piccoli salti di

CMJ 2.1: Test di Valutazione Funzionale

assestamento (*CMJ 2.1 dx - CMJ 2.1 sx*). A differenza del test *CMJ monopodalico*, l'esecuzione *bipodalica* consentirà al soggetto di raggiungere un'altezza di salto maggiore. In questo modo la fase di atterraggio avverrà da un'altezza più superiore con la conseguente necessità di esprimere più potenza e forza eccentrica durante la fase di impatto con il terreno come dimostrato in letteratura (83,84).

Confrontando il test CMJ 2.1 con il classico test CMJ, si presuppone che non ci siano differenze significative nell'altezza raggiunta in quanto la fase di stacco, in entrambi i test, avviene in condizioni bipodaliche.

Hop & Stop Test

Il test di *Hop & Stop* consente di acquisire due tipi di valutazione: la produzione di forza durante un salto in avanti (*Hop Test*) e la forza di assorbimento durante l'atterraggio in seguito ad un salto in avanti (*Onto Test*).

Hop Test

La massima distanza raggiunta in questo test ha come obiettivo la valutazione della produzione di forza dell'arto inferiore. Questo test prevede che la fase di stacco e la fase di atterraggio siano eseguite con la stessa gamba.

Il soggetto si poneva all'interno del primo metro del sistema optojump con le mani sui fianchi in appoggio monopodalico, mentre l'altra gamba veniva posizionata con un angolo al ginocchio e all'anca approssimativamente di 90°. Al fine di evitare le strategie di aiuto che coinvolgono gambe e braccia, il salto in lungo era eseguito con il vincolo di non staccare le mani dai fianchi e di non slanciare in avanti la gamba libera. Il soggetto era invitato a raggiungere la massima distanza orizzontale senza preoccuparsi della fase di atterraggio. L'unica condizione era quella di atterrare con lo stesso piede di stacco senza appoggiare simultaneamente la gamba opposta. Una volta che il soggetto toccava il terreno con la gamba di atterraggio, tuttavia, poteva distendere la gamba opposta e appoggiarla d'avanti all'arto che eseguiva il test al fine di evitare di perdere l'equilibrio. La distanza raggiunta è stata misurata

CMJ 2.1: Test di Valutazione Funzionale

dal punto di contatto della punta del piede nella fase di stacco al punto di contatto del tallone nella fase di atterraggio. Ogni soggetto ha eseguito un salto di prova prima di iniziare il test, e un numero totale di tre prove valide per arto inferiore.

Onto Test

La richiesta di raggiungere la massima distanza di salto, in questo test, ha come obiettivo la valutazione della forza di assorbimento dell'arto inferiore in seguito ad un salto in lungo. Questo test prevede che la fase di atterraggio sia eseguita con la gamba opposta alla gamba di stacco.

Il protocollo del test coincide con quello dell'*Hop Test*, con la differenza che la fase di atterraggio veniva eseguita con l'arto opposto a quello di stacco. I soggetti erano istruiti a mantenere l'angolo al ginocchio e tra coscia e tronco approssimativamente di 90° per tutta la fase del salto, estendendo la gamba di atterraggio poco prima la fase di impatto con il terreno. La distanza raggiunta è stata misurata dal punto di contatto della punta del piede di stacco al punto di contatto del tallone del piede di atterraggio. La prova era considerata valida se il soggetto manteneva la posizione di atterraggio per circa 3 secondi. Ogni soggetto ha eseguito un salto di prova prima di iniziare il test, e un numero totale di tre prove valide per arto inferiore.

Analisi Statistica

L'analisi statistica è stata eseguita utilizzando il programma Aabel (versione 3.0.3; Gigawiz Ltd. Co., Tulsa, OK, USA). Tutti i dati sono mostrati come Media \pm ds (Deviazione Standard).

Per verificare la ripetibilità dei test, è stato utilizzato l'*Intraclass Correlation Coefficient* (ICC) (4) con i *Limiti di Confidenza* (CI) al 95% ed il *Coefficiente di Variazione* (CVs) espresso in percentuale.

Per studiare l'eventuale correlazione tra due variabili analizzate, è stato utilizzato il test di correlazione di *Pearson* con i *Limiti di Confidenza* (CI) al 95%.

I risultati dei test sono stati analizzati tramite il *t-test per dati appaiati* ed il *t-test per dati non appaiati*. Il livello di significatività è stata settata per $p < 0.05$.

Verifica della Ripetibilità

Come già ricordato, la ripetibilità dei test è stata verificata attraverso l'*Intraclass Correlation Coefficient* (ICC) con i *Limiti di Confidenza* (CI) al 95% ed il *Coefficiente di Variazione* (CVs) espresso in percentuale. Dall'analisi della ripetibilità, come mostrato in tabella 5, è possibile dimostrare che i test eseguiti in questo studio risultano avere una ripetibilità accettabile.

	ICC (95% CI)	CV (%)
CMJ Bipodalico	0.97 (0.95 - 0.98)	0.9
CMJ Monop. dx	0.92 (0.87 - 0.95)	1.8
CMJ Monop. sx	0.94 (0.91 - 0.97)	1.4
CMJ 2.1 dx	0.92 (0.86 - 0.95)	1.6
CMJ 2.1 sx	0.94 (0.91 - 0.97)	1.2
Angolo Stab. 2.1 dx	0.91 (0.85 - 0.94)	4.4
Angolo Stab. 2.1 sx	0.89 (0.82 - 0.93)	4.2
HOP dx	0.80 (0.63 - 0.90)	8.3
HOP sx	0.85 (0.72 - 0.93)	8.9
ONTO dx	0.88 (0.77 - 0.94)	7.1
ONTO sx	0.91 (0.83 - 0.96)	6.0

Tabella 5. Valori di ICC (95% CI: 95% Confidence Limits) e di %CV (CV: Coefficient of Variation) di tutti i test eseguiti nello studio.

RISULTATI E DISCUSSIONE

Tutti i dati della presente tesi sono mostrati come Media \pm Deviazione Standard. Nella seguente tabella (Tabella 6) sono mostrati i valori antropometrici dei soggetti che hanno partecipato allo studio, e dei quattro gruppi che sono stati creati dalle caratteristiche legate al livello sportivo dei soggetti (*High Level*, *Low Level*), e dagli infortuni ottenuti nell'ultimo anno antecedente ai test eseguiti (*Gruppo Sani*, *Gruppo Non Sani*).

Gruppi	Numerosità	Età	Altezza	Peso
	n	yr	cm	kg
Tutti i Soggetti	49	21.0 \pm 7.0	181.1 \pm 8.0	80.3 \pm 9.9
High Level	26	16.3 \pm 1.3	189.9 \pm 7.0	81.0 \pm 9.8
Low Level	23	26.3 \pm 6.9	184.3 \pm 8.0	79.5 \pm 10.2
Gruppo Sani	38	20.2 \pm 7.3	187.3 \pm 7.8	79.6 \pm 8.5
Gruppo Non Sani	11	23.7 \pm 4.9	186.7 \pm 9.0	82.4 \pm 13.9

Tabella 6. Valori antropometrici dei campione testato e dei gruppi formati dal campione (Media \pm ds)

Nella seguente tabella (Tabella 7) sono mostrati i valori dei test ottenuti, considerando tutti i soggetti che hanno partecipato allo studio, i gruppi *High Level* e *Low Level*, e i gruppi dei soggetti *Sani* e soggetti *Non Sani*.

		Età	Altezza	Peso	CMJ Bip.	CMJ Monop. dx	CMJ Monop. sx	CMJ 2.1 dx	CMJ 2.1 sx	Angolo Stab. 2.1 dx	Angolo Stab. 2.1 sx
		yr	cm	kg	cm	cm	cm	cm	cm	°	°
Tutti i Soggetti (N = 49)	Media	21.0	181.1	80.3	36.9	22.3	23.8	32.0	32.3	126.1	124.2
	ds	7.0	8.0	9.9	5.1	5.8	5.7	5.1	4.7	13.4	11.5
High Level (N = 26)	Media	16.3	189.9	81.0	38.2	25.9	27.7	33.5	33.3	116.4	115.0
	ds	1.3	7.0	9.8	5.4	4.8	4.2	5.5	4.9	9.1	7.7
Low Level (N = 23)	Media	26.3	184.3	79.5	35.9	18.2	19.3	30.4	31.1	137.1	134.6
	ds	6.9	8.0	10.2	4.7	3.5	3.5	4.3	4.4	7.5	3.2
Gruppo Sani (N = 38)	Media	20.2	187.3	79.6	37.1	23.7	24.8	33.0	32.8	124.3	121.7
	ds	7.3	7.8	8.5	5.0	5.4	5.8	4.9	4.7	14.4	11.7
Gruppo Non Sani (N = 11)	Media	23.7	186.7	82.4	36.5	17.7	19.7	28.2	31.1	132.8	132.4
	ds	4.9	9.0	13.9	5.6	4.3	3.4	4.5	4.4	5.1	6.0
						Non Sano	Sano	Non Sano	Sano	Non Sano	Sano

Tabella 7. Valori dei test di ogni gruppo (Media \pm ds)

Risultati Studio 1: Valutazione Soggetti

Considerando tutti i soggetti che hanno preso parte allo studio, per quanto riguarda i test di salto verticale, i soggetti hanno fatto registrare un'altezza media pari a *CMJ bip*: 36.9 ± 5.1 cm; *CMJ dx*: 22.3 ± 5.8 cm; *CMJ sx*: 23.8 ± 5.7 cm come mostrato in Figura 14.

Dall'analisi statistica è emersa una differenza statisticamente significativa ($p < 0.01$) tra il Test *CMJ dx* e il Test *CMJ sx* con una differenza percentuale di 6.57%. Inoltre, è stata registrata anche una differenza significativa tra *CMJ bip* e *CMJ dx* e tra *CMJ bip* e *CMJ sx* ($p < 0.001$) (Figura 14).

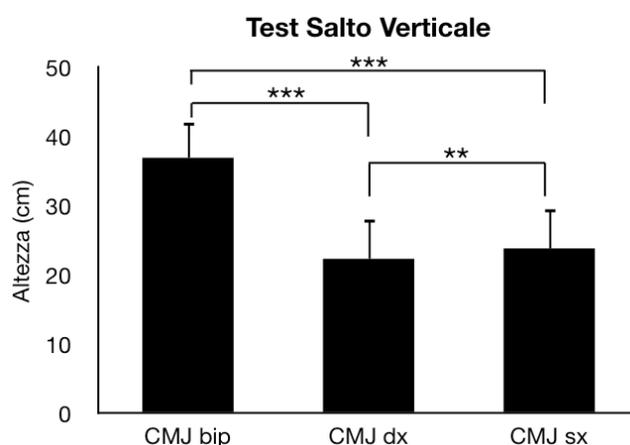


Figura 14. Test di salto verticale riferito a tutti i soggetti che hanno partecipato allo studio. (** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$). *CMJ bip*: 36.9 ± 5.1 cm; *CMJ dx*: 22.3 ± 5.8 cm; *CMJ sx*: 23.8 ± 5.7 cm

Considerando i risultati dei test in base all'altezza media raggiunta dall'arto dominante (arto preferito nel calciare) e dall'arto non dominante, il campione di studio ha raggiunto un'altezza media pari a *CMJ dom*: 22.3 ± 5.7 cm; *CMJ non dom*: 23.8 ± 5.8 cm. Come nell'analisi precedente, è emersa una differenza statisticamente significativa ($p < 0.01$) tra il Test *CMJ dom* e il Test *CMJ non dom* con una differenza percentuale di 6.57%, evidenziando anche una differenza significativa tra *CMJ bip* e *CMJ dom* e tra *CMJ bip* e *CMJ non dom* ($p < 0.01$) (Figura 15).

CMJ 2.1: Test di Valutazione Funzionale

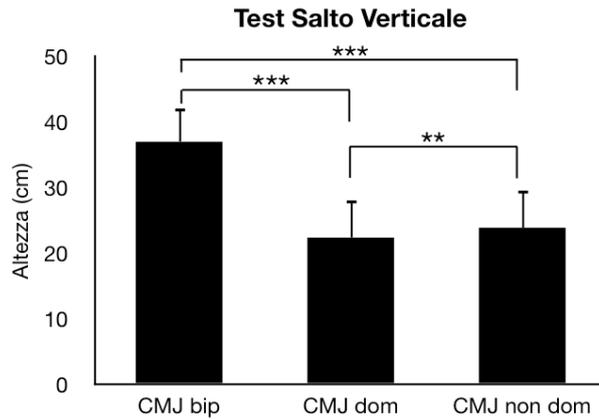


Figura 15. Test di salto verticale riferito a tutti i soggetti che hanno partecipato allo studio divisi per arto dominante e non dominante. (** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$).
CMJ bip: 36.9 ± 5.1 cm; CMJ dom: 22.3 ± 5.7 cm; CMJ non dom: 23.8 ± 5.8 cm.

I dati ottenuti secondo questa classificazione, sono identici a quelli ottenuti classificandoli in base all'arto inferiore destro e all'arto inferiore sinistro. Questa considerazione è data dal fatto che su 49 soggetti testati, solo 5 soggetti avevano l'arto sinistro come arto dominante mentre la restante parte dei soggetti ($N = 44$) avevano l'arto destro come arto dominante. Tuttavia, quest'analisi rafforza l'idea che, in media, l'arto non dominante (dunque quello prevalente) raggiunge delle altezze maggiori nel test di CMJ monopodalico, e per questo motivo può essere considerato *arto prevalente* in quanto "prevale" rispetto al controlaterale esprimendo maggior forza nel test di salto verticale effettuato in condizioni monopodaliche.

Nel nuovo test di valutazione funzionale proposto in questo elaborato, il campione dei soggetti che hanno partecipato allo studio ha fatto registrare un'altezza media pari a *CMJ 2.1 dx*: 32.0 ± 5.1 cm; *CMJ 2.1 sx*: 32.3 ± 4.7 cm (Figura 16) con una differenza in percentuale tra i due protocolli dello 0.71%. ($p > 0.05$). Il risultato più interessante è emerso valutando la differenza tra il *CMJ bip* e, rispettivamente, il test *CMJ 2.1 dx* e *CMJ 2.1 sx*. È stata riscontrata una differenza significativa tra *CMJ bip*: 36.9 ± 5.1 cm e *CMJ 2.1 dx*: 32.0 ± 5.1 cm per $p < 0.001$, rilevando una differenza nel test *CMJ 2.1 dx* pari a -13.21% rispetto al test *CMJ bip*. La stessa differenza significativa ($p < 0.001$) è stata riscontrata tra *CMJ bip*: 36.9 ± 5.1 cm e *CMJ 2.1 sx*: 32.3 ± 4.7 cm con una differenza percentuale del -12.28% (Figura 16).

CMJ 2.1: Test di Valutazione Funzionale

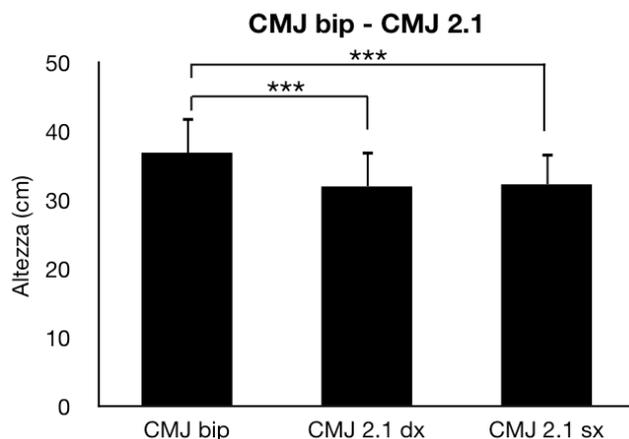


Figura 16. Test di salto verticale CMJ bip e nuova proposta di valutazione funzionale CMJ 2.1 riferito a tutti i soggetti. (***) $p < 0.001$.

CMJ bip: 36.9 ± 5.1 cm; CMJ 2.1 dx: 32.0 ± 5.1 cm; CMJ 2.1 sx: 32.3 ± 4.7 cm.

Stessi risultati sono emersi analizzando i dati secondo l'arto dominante e l'arto non dominante. È stata riscontrata una differenza significativa tra *CMJ bip*: 36.9 ± 5.1 cm e *CMJ 2.1 dom*: 32.1 ± 5.1 cm per $p < 0.001$. La stessa differenza ($p < 0.001$) è stata riscontrata tra *CMJ bip*: 36.9 ± 5.1 cm e *CMJ 2.1 non dom*: 32.2 ± 4.8 cm.

Test	p
CMJ bip (36.9 ± 5.1) – CMJ dx (22.3 ± 5.8)	< 0.001
CMJ bip (36.9 ± 5.1) – CMJ sx (23.8 ± 5.7)	< 0.001
CMJ dx (22.3 ± 5.8) – CMJ sx (23.8 ± 5.7)	< 0.01
CMJ bip (36.9 ± 5.1) – CMJ dom (22.3 ± 5.7)	< 0.001
CMJ bip (36.9 ± 5.1) – CMJ non dom (23.8 ± 5.8)	< 0.001
CMJ dom (22.3 ± 5.7) – CMJ non dom (23.8 ± 5.8)	< 0.01
CMJ bip (36.9 ± 5.1) – CMJ 2.1 dx (32.0 ± 5.1)	< 0.001
CMJ bip (36.9 ± 5.1) – CMJ 2.1 sx (32.3 ± 4.7)	< 0.001
CMJ 2.1 dx (32.0 ± 5.1) – CMJ 2.1 sx (32.3 ± 4.7)	ns
CMJ bip (36.9 ± 5.1) – CMJ 2.1 dom (32.1 ± 5.1)	< 0.001
CMJ bip (36.9 ± 5.1) – CMJ 2.1 non dom (32.2 ± 4.8)	< 0.001
CMJ 2.1 dom (32.1 ± 5.1) – CMJ 2.1 non dom (32.2 ± 4.8)	ns

Tabella Sinottica 1. Riassunto delle significatività riferite all'analisi di tutti i soggetti. I valori dei test sono espressi in cm.

Risultati Studio 2: High Level vs Low Level

In seconda analisi, sono stati valutati i risultati dei test eseguiti dividendo il campione dei 49 soggetti partecipanti allo studio in due gruppi: *High Level* e *Low Level*. Il gruppo *High Level* è stato considerato tale in quanto i soggetti facevano parte di una squadra di livello professionistico, mentre nel gruppo *Low Level* sono stati inseriti i soggetti che partecipavano ad un campionato dilettantistico.

Per quanto riguarda i test di salto verticale, il gruppo *High Level* ha fatto registrare un'altezza media pari a *CMJ bip*: 38.2 ± 5.4 cm; *CMJ dx*: 25.9 ± 4.8 cm; *CMJ sx*: 27.7 ± 4.2 cm, mentre il gruppo *Low Level* un'altezza media pari a *CMJ bip*: 35.9 ± 4.7 cm; *CMJ dx*: 18.2 ± 3.5 cm; *CMJ sx*: 19.3 ± 3.5 cm (Figura 17).

Analizzando i risultati ottenuti tra i due gruppi, è emersa una differenza statisticamente significativa solo nel test di *CMJ dx* ($p < 0.001$) e *CMJ sx* ($p < 0.001$), con una differenza percentuale rispettivamente del 42.64% e del 43.26% in favore del gruppo *High Level*.

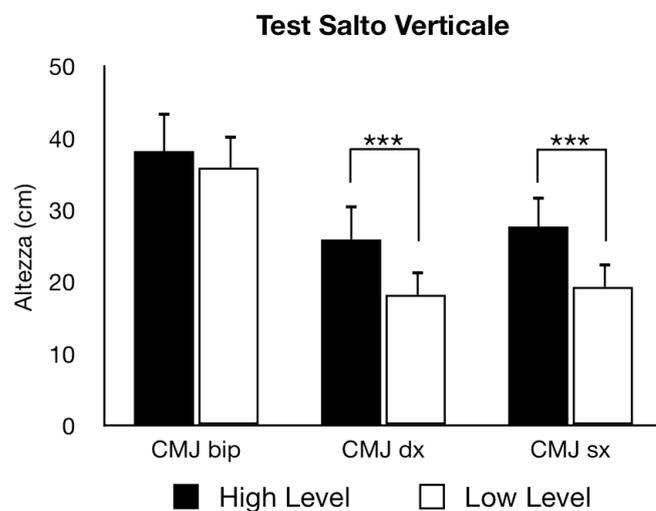


Figura 17. Test di salto verticale riferito al gruppo *High Level* e al gruppo *Low Level*. (***) $p < 0.001$.
High Level: *CMJ bip*: 38.2 ± 5.4 cm; *CMJ dx*: 25.9 ± 4.8 cm; *CMJ sx*: 27.7 ± 4.2 cm.
Low Level: *CMJ bip*: 35.9 ± 4.7 cm; *CMJ dx*: 18.2 ± 3.5 cm; *CMJ sx*: 19.3 ± 3.5 cm.

Analizzando i risultati del test *CMJ 2.1*, il gruppo *High Level* ha ottenuto i seguenti risultati: *CMJ 2.1 dx*: 33.5 ± 5.5 cm; *CMJ 2.1 sx*: 33.3 ± 4.9 cm, mentre il gruppo *Low Level* ha riportato i seguenti risultati: *CMJ 2.1 dx*: 30.4 ± 4.2 cm; *CMJ 2.1 sx*: 31.1 ± 4.4 cm (Figura 18). Dall'analisi statistica, non sono emerse differenze significative tra i il *CMJ 2.1 dx* e il

CMJ 2.1: Test di Valutazione Funzionale

CMJ 2.1 sx nel gruppo *High Level* e nel gruppo *Low Level*. Tuttavia, confrontando i due gruppi, è emersa solamente una differenza significativa nel test *CMJ 2.1 dx* ($p < 0.05$) in favore del gruppo *High Level*, con una differenza in percentuale del 10.22%.

Confrontando le differenze di altezza ottenute dal gruppo *High Level* tra il test bipodalico e il nuovo test di valutazione funzionale *CMJ 2.1*, è emersa una differenza statisticamente significativa ($p < 0.01$) tra il *CMJ bip* e il *CMJ 2.1 dx* e tra il *CMJ bip* e il *CMJ 2.1 sx*, rispettivamente del 13.89% e del 14.59%. Per il gruppo *Low Level* invece, la differenza tra il *CMJ bip* e il *CMJ 2.1 dx* e tra il *CMJ bip* e il *CMJ 2.1 sx* mostra una significatività maggiore ($p < 0.001$), con una differenza percentuale rispettivamente del 18.00% e del 15.30% (Figura 18).

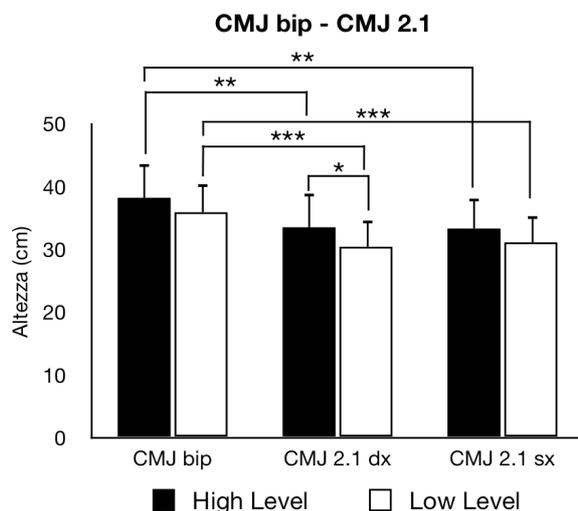


Figura 18. Test di salto verticale CMJ bip e nuova proposta di valutazione funzionale CMJ 2.1 riferito al gruppo *High Level* e al gruppo *Low Level*. (* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$).

High Level: CMJ bip: 38.2 ± 5.4 cm; CMJ 2.1 dx: 33.5 ± 5.5 cm; CMJ 2.1 sx: 33.3 ± 4.9 cm.
Low Level: CMJ bip: 35.9 ± 4.7 cm; CMJ 2.1 dx: 30.4 ± 4.2 cm; CMJ 2.1 sx: 31.1 ± 4.4 cm.

High Level	Low Level	p
CMJ bip (38.2±5.4)	CMJ bip (35.9±4.7)	ns
CMJ dx (25.9±4.8)	CMJ dx (18.2±3.5)	< 0.001
CMJ sx (27.7±4.2)	CMJ sx (19.3±3.5)	< 0.001
CMJ 2.1 dx (33.5±5.5)	CMJ 2.1 dx (30.4±4.2)	< 0.05
CMJ 2.1 sx (33.3±4.9)	CMJ 2.1 sx (31.1±4.4)	ns

Tabella Sinottica 2. Riassunto delle significatività riferite al confronto tra il gruppo *High Level* e *Low Level*. I valori dei test sono espressi in cm.

CMJ 2.1: Test di Valutazione Funzionale

High Level	
Test	p
CMJ bip (38.2±5.4) – CMJ 2.1 dx (33.5±5.5)	< 0.01
CMJ bip (38.2±5.4) – CMJ 2.1 sx (33.3±4.9)	< 0.01
CMJ 2.1 dx (33.5±5.5) – CMJ 2.1 sx (33.3±4.9)	ns

Tabella Sinottica 3. Riassunto delle significatività riferite al gruppo High Level. I valori dei test sono espressi in cm.

Low Level	
Test	p
CMJ bip (35.9±4.7) – CMJ 2.1 dx (30.4±4.2)	< 0.001
CMJ bip (35.9±4.7) – CMJ 2.1 sx (31.1±4.4)	< 0.001
CMJ 2.1 dx (30.4±4.2) – CMJ 2.1 sx (31.1±4.4)	ns

Tabella Sinottica 4. Riassunto delle significatività riferite al gruppo Low Level. I valori dei test sono espressi in cm.

Risultati Studio 3: Sani vs Non Sani

In terza analisi, sono stati esaminati i risultati dei test separando il campione dei 49 soggetti partecipanti allo studio in due gruppi: *Sani* (N = 38) e *Non Sani* (N = 11). Per far parte del gruppo *Sani*, è stato considerato il fatto che il soggetto non doveva aver subito un infortunio grave nell'ultimo anno precedente all'esecuzione dei test, mentre per il gruppo *Non Sani* sono stati considerati i soggetti che nell'ultimo anno, hanno subito un infortunio grave all'articolazione del ginocchio o alla caviglia determinando un'inattività superiore a 30 giorni (18,20).

I tipi d'infortuni riscontrati nel gruppo *Non Sani* sono i seguenti: rottura Legamento Crociato Anteriore (N = 2); rottura Legamento Crociato Anteriore + Menisco Mediale (N = 1); rottura Legamento Collaterale Mediale (N = 1); distorsione II grado del ginocchio (N = 1); rottura Legamento Peroneo Astragalico Anteriore + Peroneo Calcaneare (N = 1); distorsione II grado della caviglia (N = 5).

L'analisi statistica è stata eseguita considerando l'arto destro e l'arto sinistro per il gruppo *Sani*, mentre per il gruppo *Non Sani* è stato considerato l'arto sano (che non ha subito l'infortunio) e l'arto non sano (che ha subito l'infortunio).

CMJ 2.1: Test di Valutazione Funzionale

Per quanto riguarda il test di salto verticale monopodalico, il gruppo *Sani* ha fatto registrare un'altezza media pari a *CMJ dx*: 23.7 ± 5.4 cm; *CMJ sx*: 24.8 ± 5.8 cm (Figura 19) con una differenza statisticamente significativa per $p < 0.05$ e una differenza percentuale del 4.62% in favore del *CMJ sx*.

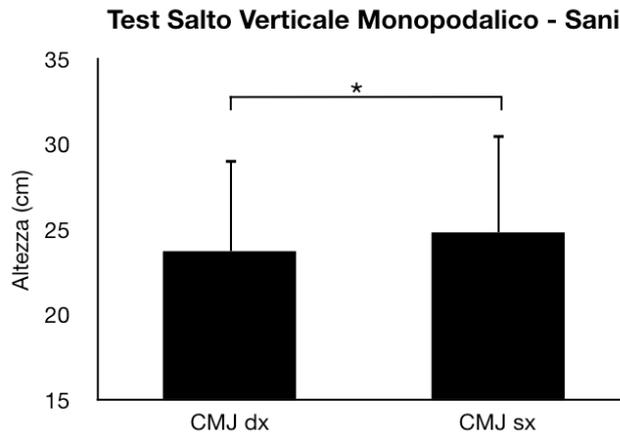


Figura 19. Test di salto verticale CMJ monopodalico riferito al gruppo *Sani*. (* $p < 0.05$).
Sani: *CMJ dx*: 23.7 ± 5.4 cm; *CMJ sx*: 24.8 ± 5.8 cm.

Per il gruppo *Non Sani*, durante il test di salto verticale monopodalico, si sono riscontrate altezze media pari a *CMJ Sano*: 19.7 ± 3.4 cm; *CMJ Non Sano*: 17.7 ± 4.3 cm (Figura 20). La differenza in percentuale è pari all'11.81%, e dall'analisi statistica non sono emerse differenze statisticamente significative ($p > 0.05$).

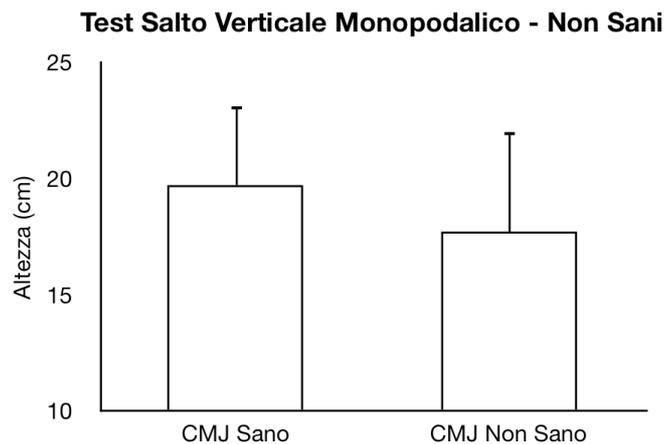


Figura 20. Test di salto verticale CMJ monopodalico riferito al gruppo *Non Sani*.
Non Sani: *CMJ Sano*: 19.7 ± 3.4 cm; *CMJ Non Sano*: 17.7 ± 4.3 cm.

Interessante è l'analisi riguardante il confronto tra i due gruppi sul test *CMJ bip* e la comparazione all'interno dei gruppi del nuovo test di valutazione funzionale *CMJ 2.1*.

CMJ 2.1: Test di Valutazione Funzionale

Il gruppo *Sani* ha ottenuto un'altezza media di salto pari a *CMJ bip*: 37.1 ± 5.0 cm, *CMJ 2.1 dx*: 33.0 ± 4.9 cm, *CMJ 2.1 sx*: 32.8 ± 4.7 cm, mentre per il gruppo *Non Sani* sono state riscontrate delle altezze medie di salto pari a *CMJ bip*: 36.5 ± 5.6 cm, *CMJ 2.1 Sano*: 31.1 ± 4.4 cm, *CMJ 2.1 Non Sano*: 28.2 ± 4.5 cm.

Per quanto riguarda il test *CMJ bip*, tra il gruppo *Sani* e il gruppo *Non Sani* non è emersa una differenza statisticamente significativa ($p > 0.05$) (Figura 21).

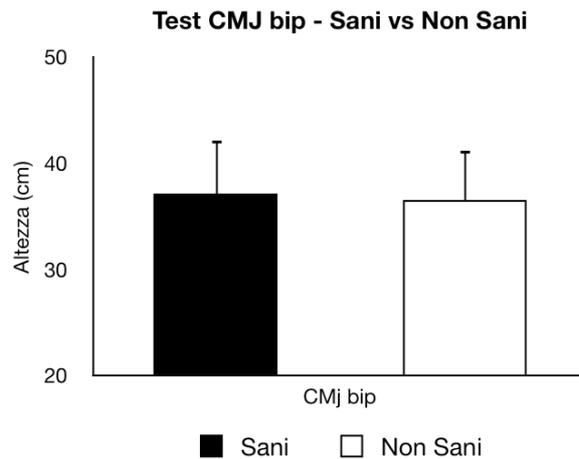


Figura 21. Test di salto verticale CMJ bipodalico riferito al gruppo *Sani* e *Non Sani*.
Sani: *CMJ bip*: 37.1 ± 5.0 cm.
Non Sani: *CMJ bip*: 36.5 ± 5.6 cm.

Il risultato più interessante riguarda il confronto all'interno dei gruppi tra il test *CMJ bip* e il test *CMJ 2.1*, e tra il test *CMJ 2.1* effettuato con un arto rispetto al controlaterale.

Per quanto riguarda il gruppo *Sani*, è stata riscontrata una differenza significativa ($p < 0.001$) tra il test *CMJ bip* e il test *CMJ 2.1 dx* e tra il test *CMJ bip* e il test *CMJ 2.1 sx*. Tale risultato è stato riscontrato anche analizzando i risultati ottenuti da tutti i soggetti. Tuttavia, confrontando il test *CMJ 2.1 dx* con il test *CMJ 2.1 sx* non è emersa una differenza statisticamente significativa (Figura 22).

CMJ 2.1: Test di Valutazione Funzionale

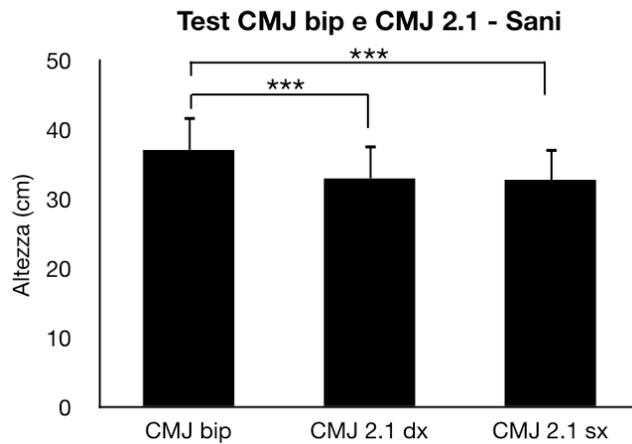


Figura 22. Test di salto verticale CMJ bipodalico e CMJ 2.1 riferito al gruppo *Sani*.
Sani: CMJ bip: 37.1 ± 5.0 cm, CMJ 2.1 dx: 33.0 ± 4.9 cm, CMJ 2.1 sx: 32.8 ± 4.7 cm

Per quanto riguarda il gruppo *Non Sani*, è stata riscontrata una differenza significativa ($p < 0.001$) tra il test *CMJ bip* e il test *CMJ 2.1 Sano* e tra il test *CMJ bip* e il test *CMJ 2.1 Non Sano*. Tale risultato è stato riscontrato anche analizzando i risultati ottenuti da tutti i soggetti e dai risultati ottenuti dal gruppo *Sani*. Confrontando il test *CMJ 2.1 Sano* con il test *CMJ 2.1 Non Sano* è emersa una differenza statisticamente significativa (Figura 23) con una differenza percentuale pari a 11.81% in favore del test *CMJ 2.1 Sano*.

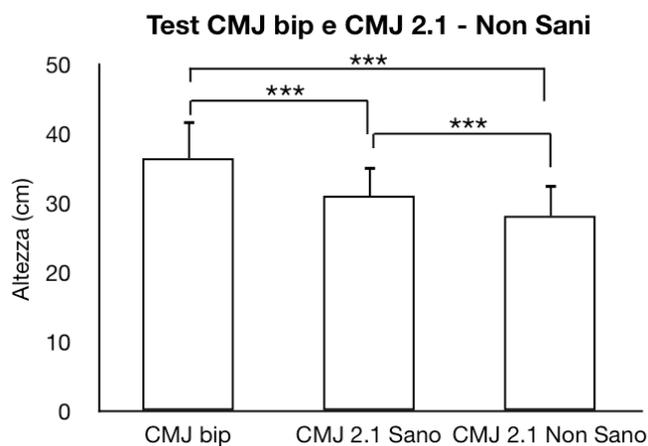


Figura 23. Test di salto verticale CMJ bipodalico e CMJ 2.1 riferito al gruppo *Non Sani*.
Non Sani: CMJ bip: 36.5 ± 5.6 cm, CMJ 2.1 Sano: 31.1 ± 4.4 cm, CMJ 2.1 Non Sano: 28.2 ± 4.5 cm.

CMJ 2.1: Test di Valutazione Funzionale

Gruppo Sani	
Test	p
CMJ dx (23.7±5.4) – CMJ sx (24.8±5.8)	< 0.05
CMJ bip (37.1±5.0) – CMJ 2.1 dx (33.0±4.9)	< 0.001
CMJ bip (37.1±5.0) – CMJ 2.1 sx (32.8±4.7)	< 0.001
CMJ 2.1 dx (33.0±4.9) – CMJ 2.1 sx (32.8±4.7)	ns

**Tabella Sinottica 5. Riassunto delle significatività riferite al gruppo Sani.
I valori dei test sono espressi in cm.**

Gruppo Non Sani	
Test	p
CMJ Sano (19.7±3.4) – CMJ Non Sano (17.7±4.3)	ns
CMJ bip (36.5±5.6) – CMJ 2.1 Sano (31.1±4.4)	< 0.001
CMJ bip (36.5±5.6) – CMJ 2.1 Non Sano (28.2±4.5)	< 0.001
CMJ 2.1 Sano (31.1±4.4) – CMJ 2.1 Non Sano (28.2±4.5)	< 0.001

**Tabella Sinottica 6. Riassunto delle significatività riferite al gruppo Non Sani.
I valori dei test sono espressi in cm.**

Gruppo Sani	Gruppo Non Sani	p
CMJ bip (37.1±5.0)	CMJ bip (36.5±5.6)	ns

**Tabella Sinottica 7. Riassunto delle significatività riferite al confronto tra il gruppo Sani e Non Sani.
I valori dei test sono espressi in cm.**

Durante il test CMJ 2.1 con l'arto *Non Sano*, se pur eseguendo il protocollo del test nella stessa condizione di partenza del test CMJ 2.1 con l'arto *Sano*, il soggetto raggiunge un'altezza di salto significativamente minore. Questo risultato, probabilmente, è dato dal fatto che quando il soggetto deve ricadere sull'arto che ha subito un infortunio grave, involontariamente raggiunge un'altezza minore ad evitare che l'atterraggio comporti un possibile disagio e viceversa si realizzi in una situazione più agevole (minor forza eccentrica d'impatto) e in condizioni di miglior controllo motorio.

Dall'analisi della letteratura (41,42,80) e come suggerito anche in uno studio già citato (37), l'asimmetria di forza relativa tra i due arti è calcolata in diversi modi:

- 1) (arto infortunato – arto non infortunato)/arto infortunato x 100;
- 2) (destra - sinistra)/sinistra x 100;

CMJ 2.1: Test di Valutazione Funzionale

3) $(\text{arto più forte} - \text{arto meno forte}) / \text{arto più forte} \times 100$.

Il primo metodo può essere utilizzato solo per gli atleti infortunati e per questo motivo non è stata presa in considerazione in questo studio poiché i soggetti che hanno partecipato sono prevalentemente sani. Il secondo metodo ha lo svantaggio di non considerare l'arto più forte rispetto all'arto meno forte; mentre il terzo metodo, seppur ovviando a questo problema, restituisce sempre un valore positivo. Questo potrebbe essere un problema nel calcolo dei percentili e della ripetibilità. Per questo motivo, in accordo con uno studio effettuato da Impellizzeri F. et al. (2007) (37), per l'analisi dell'asimmetria tra i due arti è stato utilizzato il terzo metodo, ma un segno negativo (-) è stato assegnato arbitrariamente quando la gamba sinistra era la più forte, ed un segno positivo (+) è stato utilizzato quando la gamba destra era la più forte. Da questi dati, abbiamo calcolato il range di normalità (intervallo di riferimento 95%) prendendo in considerazione il gruppo *Sani* e il gruppo *Non Sani*.

Per il gruppo *Sani*, il range di normalità è risultato essere -6.6% (2.5th percentile) e 6.2% (97.5th percentile). L'asimmetria media è risultata pari a 0.5%.

Per il gruppo *Non Sani*, il range di normalità è risultato essere -18.5% (2.5th percentile) e 15.9% (97.5th percentile). L'asimmetria media è risultata pari a -5.4%.

Per quanto riguarda il test *Hop & Stop*, utilizzato in letteratura con lo scopo di valutare la forza prodotta durante un salto, la forza di assorbimento o eccentrica durante l'atterraggio da un salto, e le asimmetrie di forza, gli autori suggeriscono che se nel test *Hop*, l'arto infortunato ottiene un risultato pari almeno al 90% dell'arto sano, l'atleta infortunato può essere considerato recuperato dal punto di vista delle caratteristiche precedentemente citate. In questo studio, considerando il gruppo *Sani*, solo il 7.7% dei soggetti non ha raggiunto questo parametro, mentre nell'analisi del gruppo *Non Sani*, il 45.5% dei soggetti (5 su 11) ha ottenuto un risultato inferiore al 90%. Il dato interessante riguarda il gruppo *Non Sani*: il 27.3% dei soggetti (3 su 11) ha raggiunto una distanza maggiore nel test *Hop* con l'arto infortunato rispetto all'arto che non ha subito un infortunio grave nell'ultimo anno precedente al test. Nel test *CMJ 2.1* invece, solo il 9.0% dei soggetti (1 su 11) ha raggiunto un'altezza maggiore nel test *CMJ 2.1 non sano* (26.7 cm) rispetto al test *CMJ 2.1 sano* (25.9 cm).

Risultati Studio 4: CMJ 2.1 vs Hop & Stop

La quarta analisi di questo studio, ha lo scopo di valutare e verificare l'eventuale correlazione tra il nuovo test di valutazione funzionale *CMJ 2.1* ed uno dei test che viene utilizzato in letteratura per l'analisi delle asimmetrie di forza, soprattutto in seguito ad un infortunio localizzato sul LCA, il test *Hop & Stop*.

Nella seguente tabella (Tabella 8) sono mostrati i valori del test *CMJ 2.1* e del test *Hop & Stop* ottenuti da tutti i soggetti e dal gruppo *Non Sani*.

		CMJ 2.1 dx	CMJ 2.1 sx	HOP dx	HOP sx	ONTO dx	ONTO sx
		cm	cm	cm	cm	cm	cm
Tutti i Soggetti (N = 49)	Media	32.0	32.3	143.6	143.3	157.7	156.7
	ds	5.1	4.7	16.0	20.5	18.3	18.4
Non Sani (N = 11)	Media	28.2	31.1	147.6	149.1	165.3	161.8
	ds	4.5	4.4	19.7	17.1	11.5	15.4
		Non Sano	Sano	Non Sano	Sano	Non Sano	Sano

Tabella 8. Valori dei test CMJ 2.1 e del test Hop and Stop per tutti i soggetti e per il gruppo Non Sani.

Per l'analisi delle correlazione è stato utilizzato il test di *Pearson*, utilizzando la scala di valutazione proposta da Hopkins WJ (www.sportsci.org) (Tabella 9)

Correlation Coefficient	Descriptor
0.0-0.1	trivial, very small, insubstantial, tiny, practically zero
0.1-0.3	small, low, minor
0.3-0.5	moderate, medium
0.5-0.7	large, high, major
0.7-0.9	very large, very high, huge
0.9-1	nearly, practically, or almost: perfect, distinct, infinite

Tabella 9. Scala di valutazione proposta da Hopkins WJ.

Dall'analisi statistica, sono emerse le correlazioni mostrate in tabella 10. Tuttavia, l'analisi ha mostrato dei limiti di confidenza al 95% molto ampi (Tabella 10 – Figura 24). Questo risultato potrebbe essere causato dal fatto che il numero del campione è troppo piccolo per l'analisi effettuata, ottenendo così una variabilità campionaria molto ampia.

CMJ 2.1: Test di Valutazione Funzionale

Test 1	Test 2	r	95% CI	Descriptor
CMJ 2.1 dx	Hop dx	0.52	0.14 – 0.77	Large
CMJ 2.1 dx	Onto dx	0.31	-0.12 – 0.64	Moderate
CMJ 2.1 dx	Onto sx	0.18	-0.25 – 0.55	Small
CMJ 2.1 sx	Hop sx	0.23	-0.20 – 0.59	Small
CMJ 2.1 sx	Onto sx	0.18	-0.25 – 0.55	Small
CMJ 2.1 sx	Onto dx	0.36	-0.06 – 0.77	Moderate

Tabella 10. Correlazione di Pearson relativa a tutti i soggetti. (95% CI: 95% Confidence Limits)

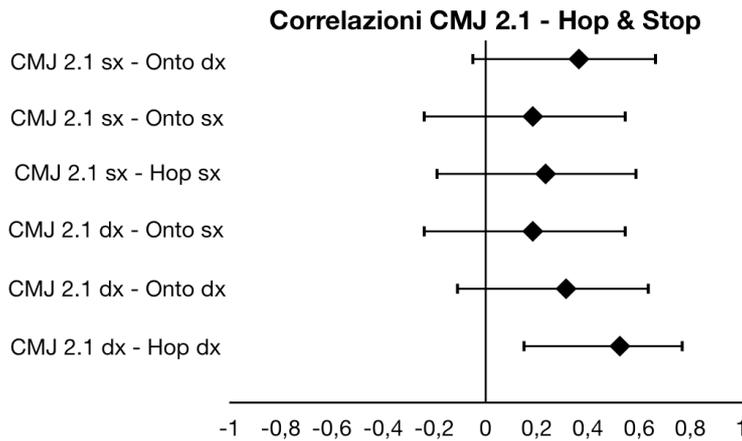


Figura 24. Correlazione di Pearson relativa a tutti i soggetti.

In seconda analisi, è stata valutata l'eventuale correlazione tra il nuovo test di valutazione funzionale *CMJ 2.1* e il test *Hop & Stop* raggruppando i soggetti nella seguente modalità: *Sani* e *Non Sani*. Tale suddivisione è stata eseguita poiché il test di *Hop & Stop* è utilizzato per l'analisi delle asimmetrie di forza, soprattutto in seguito ad un infortunio localizzato sul *LCA*. In questo modo, un'eventuale correlazione potrebbe dimostrare l'effettiva efficacia del test *CMJ 2.1* come test di valutazione funzionale post infortunio.

Per quanto riguarda il gruppo *Sani*, le correlazioni emerse sono mostrate in tabella 11 e in figura 25, mentre per quanto riguarda il gruppo *Non Sani*, le correlazioni emerse sono mostrate in tabella 12 e in figura 26.

CMJ 2.1: Test di Valutazione Funzionale

Test 1	Test 2	r	95% CI	Descriptor
CMJ 2.1 dx	Hop dx	0.70	0.24 – 0.90	Very Large
CMJ 2.1 dx	Onto dx	0.64	0.14 – 0.88	Large
CMJ 2.1 dx	Onto sx	0.48	-0.09 – 0.82	Moderate
CMJ 2.1 sx	Hop sx	0.62	0.11 – 0.87	Large
CMJ 2.1 sx	Onto sx	0.52	-0.04 – 0.83	Large
CMJ 2.1 sx	Onto dx	0.72	0.27 – 0.91	Very Large

Tabella 11. Correlazione di Pearson relativa al gruppo *Sani*. (95% CI: 95% Confidence Limits)

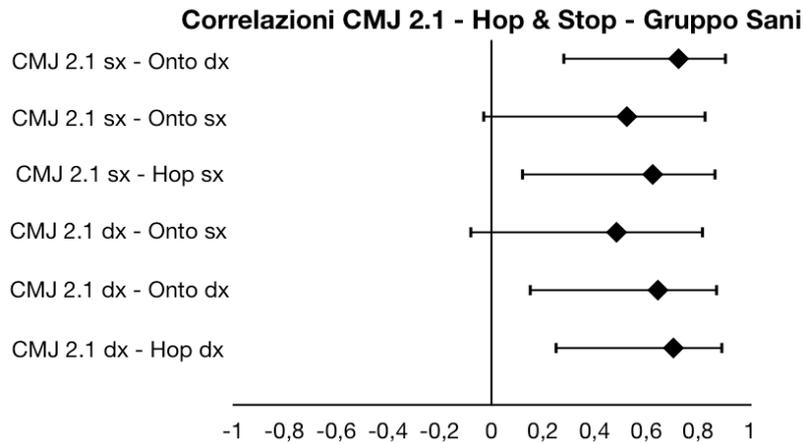


Figura 25. Correlazione di Pearson relativa al gruppo *Sani*

Test 1	Test 2	r	95% CI	Descriptor
CMJ 2.1 Sano	Hop Sano	0.10	-0.56 – 0.69	Small
CMJ 2.1 Sano	Onto Sano	-0.02	-0.64 – 0.62	Small
CMJ 2.1 Sano	Onto Non Sano	0.16	-0.52 – 0.72	Small
CMJ 2.1 Non Sano	Hop Non Sano	0.20	-0.49 – 0.74	Small
CMJ 2.1 Non Sano	Onto Non Sano	-0.10	-0.68 – 0.57	Small
CMJ 2.1 Non Sano	Onto Sano	-0.24	-0.75 – 0.46	Small

Tabella 12. Correlazione di Pearson relativa al gruppo *Non Sani*. (95% CI: 95% Confidence Limits)

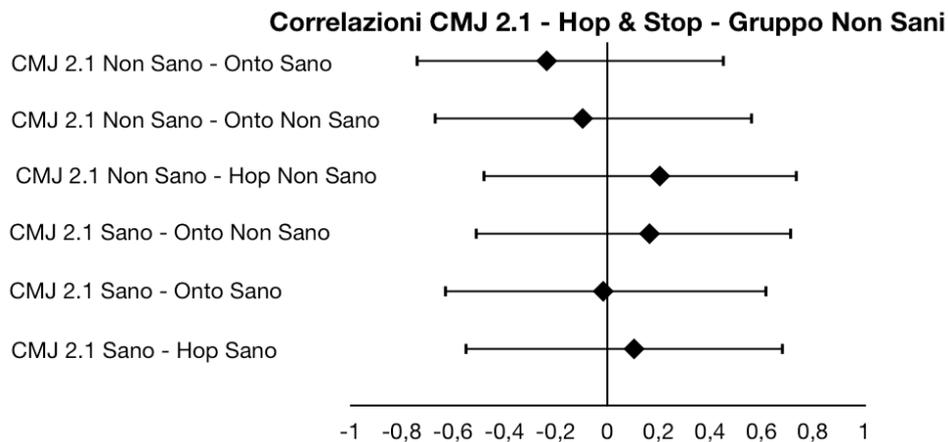


Figura 26. Correlazione di Pearson relativa al gruppo *Non Sani*

CMJ 2.1: Test di Valutazione Funzionale

Anche per quanto riguarda l'analisi delle correlazioni per il gruppo *Sani* e per il *Non Sani*, sebbene siano emerse delle correlazioni interessanti per il gruppo *Sani*, i limiti di confidenza al 95% sono molto ampi. Anche in questo caso, il risultato potrebbe essere causato dal fatto che il numero del campione è troppo piccolo per l'analisi effettuata, ottenendo così una variabilità campionaria molto ampia.

L'angolo al ginocchio durante la fase di atterraggio

L'attivazione muscolare e la componente biomeccanica dell'articolazione al ginocchio sono sempre state oggetti di studi durante salti verticali o durante la fase di atterraggio dopo un salto verticale (1,59,67,75).

Uno studio condotto nel 2012 (1), ha comparato i meccanismi che intervengono durante la fase di atterraggio dopo un CMJ Test con quelli che intervengono nella fase di atterraggio dopo un salto da un plinto della stessa altezza del CMJ Test. Lo studio ha evidenziato che durante l'atterraggio dopo un CMJ, i soggetti raggiungevano degli angoli di flessione al ginocchio maggiori, al picco di forza di reazione al suolo rispetto all'altra modalità di test.

Un secondo studio molto interessante ha valutato gli effetti della tecnica *imagery* sugli angoli al ginocchio nella fase di atterraggio da un salto (67). Dallo studio è emersa una differenza statisticamente significativa tra la tecnica *no imagery* ($27.04 \pm 2.40^\circ$) e *imagery* ($22.98 \pm 1.95^\circ$) sull'angolo al ginocchio in valgismo ($p \leq 0.001$), e tra la tecnica *no imagery* ($44.88 \pm 13.46^\circ$) e *imagery* ($62.35 \pm 8.34^\circ$) sull'angolo al ginocchio in flessione. Dai risultati ottenuti, gli autori suggeriscono che la tecnica d'*imagery* potrebbe essere un metodo valido per modificare un gesto atletico.

In questo studio, oltre alle analisi precedentemente condotte, sono stati analizzati gli angoli in flessione del ginocchio durante la fase di atterraggio dal CMJ 2.1 Test.

CMJ 2.1: Test di Valutazione Funzionale



Figura 27. Angolo al ginocchio calcolato tramite il software Kinovea.

Considerando il test *CMJ 2.1* effettuato da tutti i soggetti, durante la fase di atterraggio è emerso che nel test *CMJ 2.1 dx* i soggetti raggiungevano un angolo massimo di flessione al ginocchio pari a $126.1 \pm 13.3^\circ$, mentre nel test *CMJ 2.1 sx* $124.2 \pm 11.5^\circ$, con una differenza statisticamente significativa per $p < 0.05$ (Figura 28).

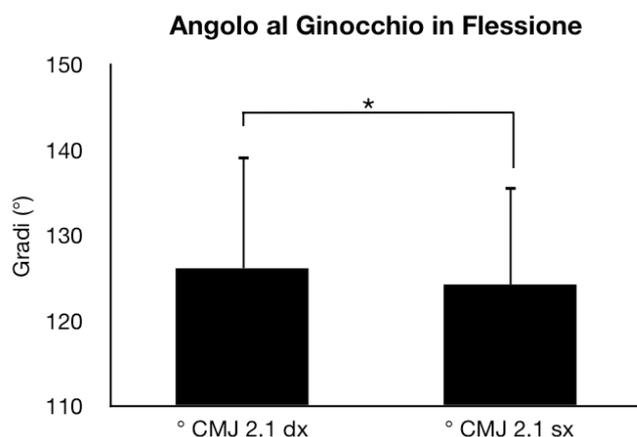


Figura 28. Angolo al ginocchio nel test *CMJ 2.1 dx* e *CMJ 2.1 sx*.
° *CMJ 2.1 dx*: $126.1 \pm 13.3^\circ$; ° *CMJ 2.1 sx*: $124.2 \pm 11.5^\circ$.

Tuttavia dall'analisi statistica non è emersa una differenza statisticamente significativa considerando l'arto dominante e l'arto non dominante (Figura 29), dove si sono registrati valori pari a ° *CMJ 2.1 dom*: $125.8 \pm 13.8^\circ$ e ° *CMJ 2.1 non dom*: $124.5 \pm 11.0^\circ$.

CMJ 2.1: Test di Valutazione Funzionale

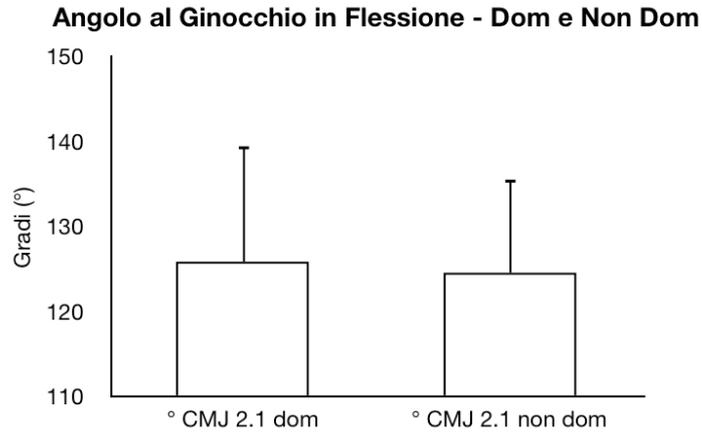


Figura 29. Angolo al ginocchio nel test CMJ 2.1 dom e CMJ 2.1 non dom.
° CMJ 2.1 dom: $125.8 \pm 13.8^\circ$; ° CMJ 2.1 non dom: $124.5 \pm 11.0^\circ$.

Un risultato molto interessante emerge dal confronto degli angoli al ginocchio tra l'arto destro e l'arto sinistro analizzando il gruppo *Low Level* e *High Level*. Il gruppo *Low Level* ha ottenuto i seguenti valori: ° *CMJ 2.1 dx*: $137.3 \pm 7.3^\circ$; ° *CMJ 2.1 sx*: $134.3 \pm 3.1^\circ$; mentre il gruppo *High Level*: ° *CMJ 2.1 dx*: $117.0 \pm 9.5^\circ$; ° *CMJ 2.1 sx*: $115.9 \pm 8.9^\circ$. Nel gruppo *Low Level* è emersa una differenza statisticamente significativa ($p < 0.05$) tra l'angolo al ginocchio rilevato nel *CMJ 2.1 dx* e quello ottenuto nel *CMJ 2.1 sx* con una differenza del 2.18% (Figura 30).

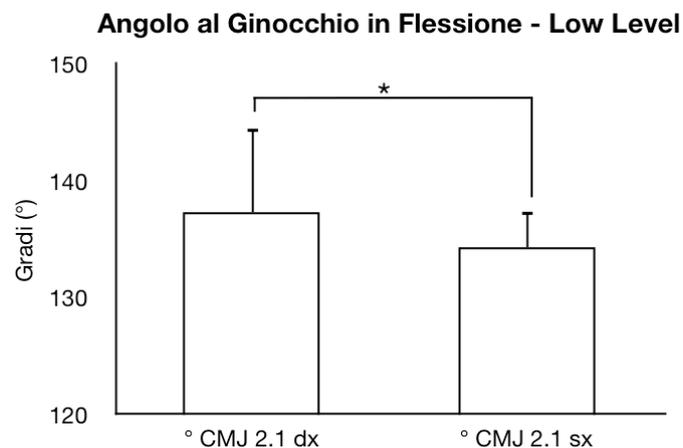


Figura 30. Angolo al ginocchio nel test CMJ 2.1 dx e CMJ 2.1 sx nel gruppo *Low Level*.
° CMJ 2.1 dx: $137.3 \pm 7.3^\circ$; ° CMJ 2.1 sx: $134.3 \pm 3.1^\circ$.

Per quanto riguarda il gruppo *High Level* non è emersa una differenza statisticamente significativa ($p > 0.05$) tra l'angolo al ginocchio rilevato nel *CMJ 2.1 dx* e quello ottenuto nel *CMJ 2.1 sx*, e la differenza in percentuale è risultata pari a 0.94% (Figura 31).

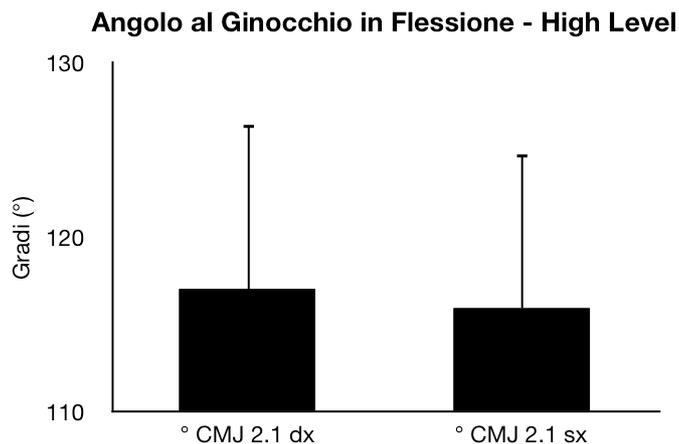


Figura 31. Angolo al ginocchio nel test CMJ 2.1 dx e CMJ 2.1 sx nel gruppo *High Level*.
 ° CMJ 2.1 dx: 117.0 ± 9.5°; ° CMJ 2.1 sx: 115.9 ± 8.9°.

L'ultima analisi riguarda il confronto degli angoli al ginocchio tra l'arto destro e l'arto sinistro per il gruppo *Sani* e tra l'arto sano e l'arto non sano per il gruppo *Non Sani*.

Il gruppo *Sani* ha ottenuto i seguenti valori: ° CMJ 2.1 dx: 124.3 ± 14.4°; ° CMJ 2.1 sx: 121.7 ± 11.7°; mentre il gruppo *Non Sani*: ° CMJ 2.1 dx: 132.4 ± 6.0°; ° CMJ 2.1 sx: 132.8 ± 5.1°.

Nel gruppo *Sani* è emersa una differenza statisticamente significativa ($p < 0.05$) tra l'angolo al ginocchio rilevato nel *CMJ 2.1 dx* e quello ottenuto nel *CMJ 2.1 sx* con una differenza del 2.10% (Figura 32).

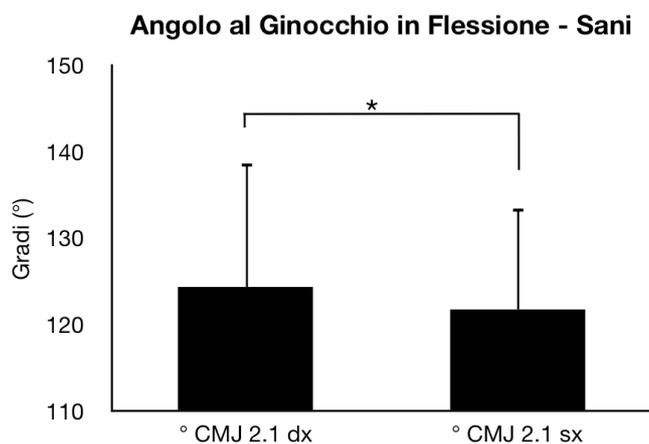


Figura 32. Angolo al ginocchio nel test CMJ 2.1 dx e CMJ 2.1 sx nel gruppo *Sani*.
 ° CMJ 2.1 dx: 124.3 ± 14.4°; ° CMJ 2.1 sx: 121.7 ± 11.7°.

Nel gruppo *Non Sani* non è emersa una differenza statisticamente significativa ($p > 0.05$) tra l'angolo al ginocchio rilevato nel *CMJ 2.1 Sano* e quello ottenuto nel *CMJ 2.1 Non Sano*, e la differenza in percentuale è risultata pari a 0.32% (Figura 33).

CMJ 2.1: Test di Valutazione Funzionale

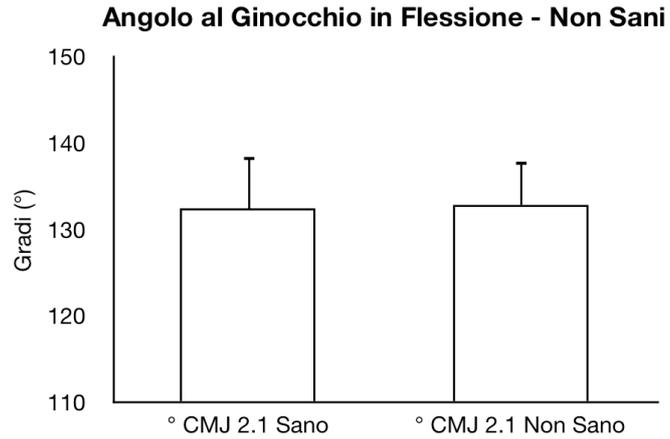


Figura 33. Angolo al ginocchio nel test CMJ 2.1 Sano e CMJ 2.1 Non Sano nel gruppo *Non Sani*.
 ° CMJ 2.1 Sano: 132.4 ± 6.0°; ° CMJ 2.1 sx: 132.8 ± 5.1°.

Gruppo	Test	p
Tutti i Soggetti	° CMJ 2.1 dx (126.1±13.3) – ° CMJ 2.1 sx (124.2±11.5)	< 0.05
Tutti i Soggetti	° CMJ 2.1 dom (125.8±13.8) – ° CMJ 2.1 non dom (124.5±11.0)	ns
High Level	° CMJ 2.1 dx (117.0±9.5) – ° CMJ 2.1 sx (115.9±8.9)	ns
Low Level	° CMJ 2.1 dx (137.3±7.3) – ° CMJ 2.1 sx (134.3±3.1)	< 0.05
Gruppo Sani	° CMJ 2.1 dx (124.3±14.4) – ° CMJ 2.1 sx (121.7±11.7)	< 0.05
Gruppo Non Sani	° CMJ 2.1 Sano (132.4±6.0) – ° CMJ 2.1 Non Sano (132.8±5.1)	ns

Tabella Sinottica 8. Riassunto delle significatività riferite a tutti i gruppi.
 I valori dei test sono espressi in gradi °.

CONCLUSIONI

Negli ultimi anni sono stati proposti diversi test con lo scopo di eseguire una valutazione che avesse l'obiettivo di analizzare l'atleta sano o infortunato (3,28,29,39,46,51). Spesso però, i test proposti non rispecchiano la funzionalità del movimento, sono di difficile esecuzione o richiedono strumentazione molto costosa.

In questo studio è stato proposto un nuovo metodo di valutazione funzionale degli arti inferiori, il test *CMJ 2.1*. Con questo test, è possibile misurare la capacità di gestire la forza eccentrica e d'impatto al suolo di ciascuna gamba, ed in particolare di comparare l'arto non sano, ovvero quello che ha subito un infortunio grave (e.g.: rottura LCA) con l'arto sano. Le caratteristiche principali di questo movimento sono simili per la maggior parte degli sport di squadra (stretch-shortening cycle, catena cinetica chiusa). Nel calcio ad esempio, la maggior parte delle situazioni in cui il calciatore è costretto ad esprimere alti livelli di forza eccentrica avvengono in appoggio monopodalico, come ad esempio durante una frenata, un cambio di direzione o durante l'atterraggio dopo un salto per andare a colpire la palla. Anche nel basket e nella pallavolo ad esempio, il giocatore deve esprimere forza eccentrica durante una partita, in particolare durante gli arresti, cambi di direzione, atterraggi dopo un tiro in sospensione, una schiacciata o un muro. Nondimeno, il protocollo del *CMJ 2.1 Test*, prevede il vincolo di tenere le mani sui fianchi durante l'esecuzione del movimento. In questo modo, si è voluto focalizzare il controllo motorio esclusivamente sugli arti inferiori.

I risultati del primo studio hanno dimostrato una differenza significativa tra il test di *CMJ* in appoggio monopodalico con l'arto non dominante e il test eseguito con l'arto dominante, con una differenza percentuale del 6.57%. Questo risultato dimostra che i soggetti esprimono più forza durante il test *CMJ* con l'arto non dominante; per questo motivo potremmo sottolineare il fatto che in questa popolazione di soggetti, l'arto non dominante è l'arto prevalente, ovvero la gamba che esprime maggior forza in condizioni di appoggio monopodalico. Il risultato più interessante e originale riguarda il confronto tra il test *CMJ* classico e il *CMJ 2.1 Test*, dove a

CMJ 2.1: Test di Valutazione Funzionale

differenza del test classico, il *CMJ 2.1 Test* prevede l'esecuzione della fase di atterraggio in appoggio monopodalico. È ben noto in letteratura che l'altezza di salto raggiunta durante il test *CMJ* è correlato con la potenza dei muscoli estensori delle gambe durante un movimento naturale (12,68), con 1RM in half-squat e con la performance nel 10m Shuttle Test (76).

Durante il test *CMJ 2.1 dx* e *CMJ 2.1 sx* il campione dei soggetti ha raggiunto un'altezza di salto inferiore rispetto al test *CMJ bip* rispettivamente del 13.21% e del 12.28% ($p < 0.001$). Tuttavia tra il test *CMJ 2.1 dx* e *CMJ 2.1 sx* non sono emerse differenze significative. Gli stessi risultati sono emersi considerando l'arto dominante e non dominante. Questi risultati suggeriscono che durante il test *CMJ 2.1*, sebbene la fase di salto è eseguita con entrambi gli arti come nel test classico *CMJ bip*, i soggetti raggiungono un'altezza inferiore poiché la fase di atterraggio avviene a carico di una gamba anziché di entrambe. Durante il test *CMJ 2.1*, probabilmente, prima di eseguire il salto, intervengono dei meccanismi legati al Sistema Nervoso Centrale che involontariamente inibiscono la massima produzione di forza esplosiva (la massima forza esplosiva è riferita al risultato nel test *CMJ bip*). Inoltre, il motivo per il quale raggiungono un'altezza inferiore nel test *CMJ 2.1*, potrebbe essere dato dal fatto che, a differenza del test classico *CMJ*, i soggetti devono modificare il proprio programma motorio e adattarsi in modo efficace al nuovo.

Nella seconda analisi, scomponendo il campione dei soggetti in *High Level* e *Low Level*, è emerso che per quanto riguarda il test *CMJ*, mettendo a confronto i due gruppi, è emersa una differenza statisticamente significativa solo nel test di *CMJ dx* ($p < 0.001$) e *CMJ sx* ($p < 0.001$), con una differenza percentuale rispettivamente del 42.64% e del 43.26% in favore del gruppo *High Level*. Questo risultato a dimostrazione del fatto che atleti di alto livello sviluppano elevati livelli di forza, in particolar modo in appoggio monopodalico. Tuttavia, il motivo per il quale non sono emerse differenze nel test *CMJ bip*, probabilmente è dovuto dal fatto che questo protocollo di test, è meno influenzato dalle capacità coordinative rispetto al salto monopodalico. Per questo motivo, presumibilmente il fattore discriminante, per quanto riguarda la capacità di esprimere forza in un salto verticale, è legato maggiormente alle capacità coordinative.

CMJ 2.1: Test di Valutazione Funzionale

Anche nel secondo studio, per quanto riguarda il confronto tra il test *CMJ bip* e il *CMJ 2.1*, sono emersi gli stessi risultato ottenuti nel primo. Tuttavia, il gruppo *High Level* ha ottenuto una differenza significativa tra il *CMJ bip* e il *CMJ 2.1* pari a $p < 0.01$, evidenziando una forte evidenza contro l'ipotesi nulla, mentre il gruppo *Low Level* ha riportato una differenza significativa tra il *CMJ bip* e il *CMJ 2.1* pari a $p < 0.001$, evidenziando una fortissima evidenza contro l'ipotesi nulla. Questo risultato, probabilmente è dovuto al fatto che negli atleti di basso livello, i meccanismi legati al Sistema Nervoso Centrale che involontariamente inibiscono la massima produzione di forza esplosiva, intervengono maggiormente rispetto agli atleti di alto livello. Inoltre, avendo probabilmente sviluppato delle capacità coordinative in minor misura rispetto agli atleti di alto livello, tali soggetti hanno una minor capacità di modificare il proprio programma motorio e adattarsi al nuovo.

I risultati più interessanti sono emersi nel terzo studio, dove i 49 soggetti sono stati raggruppati in *Sani* e *Non Sani*. L'analisi più importante riguarda il confronto all'interno dei gruppi tra il test *CMJ bip* e il test *CMJ 2.1*, e tra il test *CMJ 2.1* effettuato con un arto rispetto al controlaterale. Per quanto riguarda il gruppo *Sani*, è stata riscontrata una differenza significativa tra il test *CMJ bip* e il test *CMJ 2.1 dx* e tra il test *CMJ bip* e il test *CMJ 2.1 sx*. Tuttavia, confrontando il test *CMJ 2.1 dx* con il test *CMJ 2.1 sx* non è emersa una differenza statisticamente significativa.

Per quanto riguarda il gruppo *Non Sani*, è stata riscontrata una differenza significativa tra il test *CMJ bip* e il test *CMJ 2.1 Sano* e tra il test *CMJ bip* e il test *CMJ 2.1 Non Sano*. Confrontando il test *CMJ 2.1 Sano* con il test *CMJ 2.1 Non Sano* è emersa una differenza statisticamente significativa con una differenza percentuale pari a 11.81% in favore del test *CMJ 2.1 Sano*. Durante il test *CMJ 2.1* con l'arto *Non Sano*, se pur eseguendo il protocollo del test nella stessa condizione di partenza del test *CMJ 2.1* con l'arto *Sano*, il soggetto raggiunge un'altezza di salto significativamente minore. Questo risultato potrebbe essere causato dal fatto che probabilmente, quando il soggetto deve ricadere sull'arto che ha subito un infortunio grave, involontariamente raggiunge un'altezza minore per modificare l'azione motoria ed eseguire l'atterraggio in una condizioni più agevoli e controllabili. A tal proposito,

CMJ 2.1: Test di Valutazione Funzionale

molti studi hanno focalizzato la loro attenzione sull'aspetto cinematico del ginocchio durante l'atterraggio da un salto perché la forza di reazione al suolo svolge un ruolo molto importante in questo gesto motorio. Durante un atterraggio dopo un salto, la forza di reazione al suolo registrata può essere superiore da 2 a 4 volte il peso corporeo del soggetto (77).

Inoltre, nel terzo studio, per stabilire i dati normativi utili a una valutazione funzionale in atleti infortunati e non infortunati, è stato preso in considerazione il gruppo dei soggetti *Sani*. Da questi dati, è stato rilevato un intervallo di riferimento tra -6.6% (arto sinistro più forte) e +6.2% (arto destro più forte). I valori che non rientrano in questo intervallo possono essere considerati anormali. Dal punto di vista pratico, valori al di fuori di questo range ottenuti nella valutazione di un atleta infortunato, potrebbero significare che l'atleta non ha recuperato pienamente le proprie capacità funzionali, di forza eccentrica, e di controllo motorio. Inoltre, potrebbero predire futuri infortuni alle articolazioni del ginocchio e caviglia. Tuttavia, per questo tipo di analisi, sarebbe utile, in futuro, portare a termine uno studio epidemiologico.

Il quarto studio, ha avuto come scopo quello di valutare e verificare l'eventuale correlazione tra il nuovo test di valutazione funzionale *CMJ 2.1* ed uno dei test che viene utilizzato in letteratura per l'analisi delle asimmetrie di forza, soprattutto in seguito ad un infortunio localizzato sul LCA, il test *Hop & Stop* (39).

Dall'analisi sono emerse delle correlazioni interessanti, tuttavia i limiti di confidenza molto ampi rendono l'indice r riscontrato dall'analisi statistica non accettabile. Probabilmente, sarebbe utile ripetere tale analisi ampliando il campione di studio.

È stato preso in considerazione il test *Hop & Stop* in quanto, come il test proposto in questo studio (*CMJ 2.1*) è stato sviluppato per valutare l'atleta infortunato e per venir meno ai problemi relativi al costo della strumentazione da laboratorio, tuttavia, la performance del test *Hop & Stop* è influenzata da altri fattori come ad esempio la capacità di equilibrio, gli aspetti coordinativi, e la capacità di coordinare un movimento complesso che interessa sia gli arti superiori che inferiori. Dal punto di vista pratico, per i soggetti che hanno partecipato in questo studio, è stato più difficile eseguire il test *Hop & Stop* rispetto al test *CMJ 2.1*. Ad esempio, i soggetti hanno dovuto eseguire sempre più di tre prove durante il test *Hop & Stop*,

CMJ 2.1: Test di Valutazione Funzionale

fino ad un massimo di sei prove eseguite per ottenere un numero di tre prove valide. Il test *CMJ 2.1* invece, è risultato essere di più facile esecuzione, probabilmente perché il programma motorio da eseguire è molto simile al test *CMJ bipodalico*, test già conosciuto e utilizzato in precedenza da tutti i soggetti. In particolare, nessun soggetto ha dovuto eseguire più di tre prove per ottenere un numero di tre prove valide.

In conclusione, ci sono molti fattori che contribuiscono ad una lesione del LCA, come ad esempio fattori anatomici, ormonali, neuromuscolari o biomeccanici. Tuttavia, solo i fattori biomeccanici sono facilmente modificabili. In particolare, è stato dimostrato che minimizzare il carico in adduzione del ginocchio durante l'atterraggio da un salto, potrebbe aiutare a ridurre le rotture del LCA durante questa manovra (78). Inoltre, come detto in precedenza, negli ultimi anni sono stati proposti diversi test con lo scopo di eseguire una valutazione che avesse l'obiettivo di analizzare l'atleta sano o infortunato (3,28,29,39,46,51). Spesso però, i test proposti non rispecchiano la funzionalità del movimento, sono di difficile esecuzione o richiedono strumentazione molto costosa. I dati ottenuti in questo studio, suggeriscono che la valutazione effettuata tramite il test *CMJ 2.1*, riesce a discriminare l'arto infortunato da quello non infortunato, e che valori di asimmetria non compresi tra -6.6% (arto sinistro più forte) e 6.2% (arto destro più forte), ottenuti tra arto destro e arto sinistro, o tra arto infortunato e arto non infortunato, possono essere considerati anormali. In particolare, atleti che hanno subito un infortunio grave all'articolazione del ginocchio o all'articolazione della caviglia, dovrebbero ottenere dei valori di asimmetria compresi tra questi valori per evitare eventuali recidive e per ottenere dei valori vicini all'arto di riferimento (arto sano).

In conclusione, dal presente studio è possibile affermare che il test di valutazione funzionale *CMJ 2.1* è risultato essere ripetibile ed efficace nel discriminare un arto infortunato da quello sano. Essendo un test di facile applicazione, pratico, dai costi relativamente bassi e che rispecchia aspetti funzionali, il test *CMJ 2.1* dovrebbe essere preso in considerazione dagli allenatori, dai preparatori atletici e dagli sport scientists nella valutazione di atleti sani, infortunati o che stanno eseguendo un percorso di riabilitazione post infortunio.

BIBLIOGRAFIA

1. Afifi M, Hinrichs RN. A mechanics comparison between landing from a countermovement jump and landing from stepping off a box. *J Appl Biomech* 28: 1–9, 2012.
2. Alberti G, Bianchin G, Roi G, Aina A, Ceriza C. Confronto tra test da campo e di laboratorio per la misura della forza esplosiva e reattiva complessiva negli arti inferiori in atleti di potenza. *Atleticastudi* 159–68, 1989.
3. Ashby BM, Delp SL. Optimal control simulations reveal mechanisms by which arm movement improves standing long jump performance. *J Biomech* 39: 1726–34, 2006.
4. Atkinson G, Nevill AM. Statistical methods for assessing measurement error (reliability) in variables relevant to sports medicine. *Sports Med* 26: 217–38, 1998.
5. Augustsson J, Thomeé R, Karlsson J. Ability of a new hop test to determine functional deficits after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 12: 350–6, 2004.
6. Bak K, Kalms S, Olesen S, Jorgensen U. Epidemiology of injuries in gymnastics. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports* 4: 148–54, 1994.
7. Bangsbo J, Nørregaard L, Thorsø F. Activity profile of competition soccer. *Can J Sport Sci* 16: 110–6, 1991.
8. Bangsbo J. Energy demands in competitive soccer. *J Sports Sci* 12 Spec No: S5–12, 1994.
9. Belechri M, Petridou E, Kedikoglou S, Trichopoulos D. Sports injuries among children in six European union countries. *Eur J Epidemiol* 17: 1005–12, 2001.
10. Ben Abdelkrim N, Castagna C, El Fazaa S, El Ati J. The effect of players' standard and tactical strategy on game demands in men's basketball. *J Strength Cond Res* 24: 2652–62, 2010.
11. Beutler A, de la Motte S, Marshall S, Padua D, Boden B. MUSCLE STRENGTH AND QUALITATIVE JUMP-LANDING DIFFERENCES IN MALE AND FEMALE MILITARY CADETS: THE JUMP-ACL STUDY. *J Sports Sci Med* 8: 663–71, 2009.
12. Bosco C, Luhtanen P, Komi PV. A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 50: 273–82, 1983.
13. Cressey EM, West CA, Tiberio DP, Kraemer WJ, Maresh CM. The effects of ten weeks of lower-body unstable surface training on markers of athletic performance. *J Strength Cond Res* 21: 561–7, 2007.
14. Currier DP. Positioning for knee strengthening exercises. *Phys Ther* 57: 148–52, 1977.
15. Dallinga JM, Benjaminse A, Lemmink KAPM. Which screening tools can predict injury to the lower extremities in team sports?: a systematic review. *Sports Med* 42: 791–815, 2012.
16. Devita P, Skelly WA. Effect of landing stiffness on joint kinetics and energetics in the lower extremity. *Med Sci Sports Exerc* 24: 108–15, 1992.
17. Dugan SA, Frontera WR. Muscle fatigue and muscle injury. *Phys Med Rehabil Clin N Am* 11: 385–403, 2000.
18. Ekstrand J, Gillquist J, Liljedahl SO. Prevention of soccer injuries. Supervision by doctor and physiotherapist. *Am J Sports Med* 11: 116–20, 1983.

CMJ 2.1: Test di Valutazione Funzionale

19. Ekstrand J, Häggglund M, Waldén M. Injury incidence and injury patterns in professional football: the UEFA injury study. *Br J Sports Med* 45: 553–8, 2011.
20. Ekstrand J. Soccer injuries and their prevention. Linköping University, 1982.
21. Emery CA, Meeuwisse WH, Hartmann SE. Evaluation of risk factors for injury in adolescent soccer: implementation and validation of an injury surveillance system. *Am J Sports Med* 33: 1882–91, 2005.
22. Feagin JA Jr, Lambert KL, Cunningham RR, Anderson LM, Riegel J, King PH, et al. Consideration of the anterior cruciate ligament injury in skiing. *Clin Orthop Relat Res* 13–8, 1987.
23. Ferriero G, Colombo R, Sartorio F, Vercelli S. Reliability of the isokinetic fatigue index. *Eur J Phys Rehabil Med* 47: 351–2, 2011.
24. Finch C, Valuri G, Ozanne-Smith J. Sport and active recreation injuries in Australia: evidence from emergency department presentations. *Br J Sports Med* 32: 220–5, 1998.
25. Frisch A, Urhausen A, Seil R, Croisier JL, Windal T, Theisen D. Association between preseason functional tests and injuries in youth football: a prospective follow-up. *Scand J Med Sci Sports* 21: e468–476, 2011.
26. Gioftsidou A, Malliou P, Pafis G, Beneka A, Godolias G, Maganaris CN. The effects of soccer training and timing of balance training on balance ability. *Eur J Appl Physiol* 96: 659–64, 2006.
27. Granacher U, Gollhofer A, Kriemler S. Effects of balance training on postural sway, leg extensor strength, and jumping height in adolescents. *Res Q Exerc Sport* 81: 245–51, 2010.
28. Gruber M, Gruber SBH, Taube W, Schubert M, Beck SC, Gollhofer A. Differential effects of ballistic versus sensorimotor training on rate of force development and neural activation in humans. *J Strength Cond Res* 21: 274–82, 2007.
29. Gruber M, Taube W, Gollhofer A, Beck S, Amtage F, Schubert M. Training-specific adaptations of H- and stretch reflexes in human soleus muscle. *J Mot Behav* 39: 68–78, 2007.
30. Gutgesell ME. Safety of a preadolescent basketball program. *Am J Dis Child* 145: 1023–5, 1991.
31. Harmer PA. Basketball Injuries. *Epidemiology of Pediatric Sports Injuries: Team Sports* 49: 31–61, 2005.
32. Heitkamp HC, Horstmann T, Mayer F, Weller J, Dickhuth HH. Gain in strength and muscular balance after balance training. *Int J Sports Med* 22: 285–90, 2001.
33. Hjelm N, Werner S, Renstrom P. Injury profile in junior tennis players: a prospective two year study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 18: 845–50, 2010.
34. Hootman JM, Dick R, Agel J. Epidemiology of collegiate injuries for 15 sports: summary and recommendations for injury prevention initiatives. *J Athl Train* 42: 311–9, 2007.
35. Hootman JM, Dick R, Agel J. Epidemiology of collegiate injuries for 15 sports: summary and recommendations for injury prevention initiatives. *J Athl Train* 42: 311–9, 2007.
36. Impellizzeri FM, Rampinini E, Maffiuletti N, Marcora SM. A vertical jump force test for assessing bilateral strength asymmetry in athletes. *Med Sci Sports Exerc* 39: 2044–50, 2007.
37. Impellizzeri FM, Rampinini E, Maffiuletti N, Marcora SM. A vertical jump force test for assessing bilateral strength asymmetry in athletes. *Med Sci Sports Exerc* 39: 2044–50, 2007.

CMJ 2.1: Test di Valutazione Funzionale

38. Juris PM, Phillips EM, Dalpe C, Edwards C, Gotlin RS, Kane DJ. A dynamic test of lower extremity function following anterior cruciate ligament reconstruction and rehabilitation. *J Orthop Sports Phys Ther* 26: 184–91, 1997.
39. Juris PM, Phillips EM, Dalpe C, Edwards C, Gotlin RS, Kane DJ. A dynamic test of lower extremity function following anterior cruciate ligament reconstruction and rehabilitation. *J Orthop Sports Phys Ther* 26: 184–91, 1997.
40. Kannus P. Isokinetic evaluation of muscular performance: implications for muscle testing and rehabilitation. *Int J Sports Med* 15 Suppl 1: S11–18, 1994.
41. Keays SL, Bullock-Saxton JE, Newcombe P, Keays AC. The relationship between knee strength and functional stability before and after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Res* 21: 231–7, 2003.
42. Knapik JJ, Bauman CL, Jones BH, Harris JM, Vaughan L. Preseason strength and flexibility imbalances associated with athletic injuries in female collegiate athletes. *Am J Sports Med* 19: 76–81, 1991.
43. Kollmitzer J, Ebenbichler GR, Sabo A, Kerschan K, Bochdansky T. Effects of back extensor strength training versus balance training on postural control. *Med Sci Sports Exerc* 32: 1770–6, 2000.
44. Lephart SM, Perrin DH, Fu FH, Gieck JH, McCue FC, Irrgang JJ. Relationship between Selected Physical Characteristics and Functional Capacity in the Anterior Cruciate Ligament-Insufficient Athlete. *J Orthop Sports Phys Ther* 16: 174–81, 1992.
45. Marn-Vukadinovic D, Jamnik H. Validation of the short form-36 health survey supported with isokinetic strength testing after sport knee injury. *J Sport Rehabil* 20: 261–76, 2011.
46. McGuine TA, Keene JS. The effect of a balance training program on the risk of ankle sprains in high school athletes. *Am J Sports Med* 34: 1103–11, 2006.
47. McInnes SE, Carlson JS, Jones CJ, McKenna MJ. The physiological load imposed on basketball players during competition. *J Sports Sci* 13: 387–97, 1995.
48. McKeon PO, Hertel J. Systematic review of postural control and lateral ankle instability, part II: is balance training clinically effective? *J Athl Train* 43: 305–15, 2008.
49. McKeon PO, Ingersoll CD, Kerrigan DC, Saliba E, Bennett BC, Hertel J. Balance training improves function and postural control in those with chronic ankle instability. *Med Sci Sports Exerc* 40: 1810–9, 2008.
50. Messina DF, Farney WC, DeLee JC. The incidence of injury in Texas high school basketball. A prospective study among male and female athletes. *Am J Sports Med* 27: 294–9, 1999.
51. Meuffels DE, Verhaar JAN. Anterior cruciate ligament injury in professional dancers. *Acta Orthop* 79: 515–8, 2008.
52. Meyer EG, Baumer TG, Slade JM, Smith WE, Haut RC. Tibiofemoral contact pressures and osteochondral microtrauma during anterior cruciate ligament rupture due to excessive compressive loading and internal torque of the human knee. *Am J Sports Med* 36: 1966–77, 2008.
53. Myer GD, Ford KR, Brent JL, Hewett TE. The effects of plyometric vs. dynamic stabilization and balance training on power, balance, and landing force in female athletes. *J Strength Cond Res* 20: 345–53, 2006.
54. Noyes FR, Barber SD, Mangine RE. Abnormal lower limb symmetry determined by function hop tests after anterior cruciate ligament rupture. *Am J Sports Med* 19: 513–8, 1991.

CMJ 2.1: Test di Valutazione Funzionale

55. Onate J, Cortes N, Welch C, Van Lunen BL. Expert versus novice interrater reliability and criterion validity of the landing error scoring system. *J Sport Rehabil* 19: 41–56, 2010.
56. Ostenberg A, Roos H. Injury risk factors in female European football. A prospective study of 123 players during one season. *Scand J Med Sci Sports* 10: 279–85, 2000.
57. Padua DA, Boling MC, Distefano LJ, Onate JA, Beutler AI, Marshall SW. Reliability of the landing error scoring system-real time, a clinical assessment tool of jump-landing biomechanics. *J Sport Rehabil* 20: 145–56, 2011.
58. Padua DA, Marshall SW, Boling MC, Thigpen CA, Garrett WE Jr, Beutler AI. The Landing Error Scoring System (LESS) Is a valid and reliable clinical assessment tool of jump-landing biomechanics: The JUMP-ACL study. *Am J Sports Med* 37: 1996–2002, 2009.
59. Pappas E, Orishimo KF, Kremenic I, Liederbach M, Hagins M. The effects of floor incline on lower extremity biomechanics during unilateral landing from a jump in dancers. *J Appl Biomech* 28: 192–9, 2012.
60. Piasecki DP, Spindler KP, Warren TA, Andrish JT, Parker RD. Intraarticular injuries associated with anterior cruciate ligament tear: findings at ligament reconstruction in high school and recreational athletes. An analysis of sex-based differences. *Am J Sports Med* 31: 601–5, 2003.
61. Plisky PJ, Rauh MJ, Kaminski TW, Underwood FB. Star Excursion Balance Test as a predictor of lower extremity injury in high school basketball players. *J Orthop Sports Phys Ther* 36: 911–9, 2006.
62. Powell JW, Barber-Foss KD. Sex-related injury patterns among selected high school sports. *Am J Sports Med* 28: 385–91, 2000.
63. Reilly T, Korkusuz F (eds.). *Science and Football VI: The Proceedings of the Sixth World Congress on Science and Football*. 1st ed. Routledge, 2008.
64. Reilly T. An ergonomics model of the soccer training process. *J Sports Sci* 23: 561–72, 2005.
65. Risberg MA, Ekland A. Assessment of functional tests after anterior cruciate ligament surgery. *J Orthop Sports Phys Ther* 19: 212–7, 1994.
66. Di Salvo V, Baron R, Tschan H, Calderon Montero FJ, Bachl N, Pigozzi F. Performance characteristics according to playing position in elite soccer. *Int J Sports Med* 28: 222–7, 2007.
67. Sarafrazi S, Abdulah RTB, Amiri-Khorasani M. Kinematic analysis of hip and knee angles during landing after imagery in female athletes. *J Strength Cond Res* 26: 2356–63, 2012.
68. Schmidtbleicher D. Training for power events. In: *Strength and Power in Sport*. Oxford, .
69. Smith HC, Johnson RJ, Shultz SJ, Tourville T, Holterman LA, Slauterbeck J, et al. A prospective evaluation of the Landing Error Scoring System (LESS) as a screening tool for anterior cruciate ligament injury risk. *Am J Sports Med* 40: 521–6, 2012.
70. Stølen T, Chamari K, Castagna C, Wisløff U. Physiology of soccer: an update. *Sports Med* 35: 501–36, 2005.
71. Taube W, Kullmann N, Leukel C, Kurz O, Amtage F, Gollhofer A. Differential reflex adaptations following sensorimotor and strength training in young elite athletes. *Int J Sports Med* 28: 999–1005, 2007.
72. Theisen D, Frisch A, Malisoux L, Urhausen A, Croisier J-L, Seil R. Injury risk is different in team and individual youth sport. *J Sci Med Sport* , 2012. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22902319>

CMJ 2.1: Test di Valutazione Funzionale

73. Thompson TL, Hershman EB, Nicholas JA. Rehabilitation of the injured athlete. *Pediatrician* 17: 262–6, 1990.
74. Wakai M, Linthorne NP. Optimum take-off angle in the standing long jump. *Hum Mov Sci* 24: 81–96, 2005.
75. Walsh M, Boling MC, McGrath M, Blackburn JT, Padua DA. Lower extremity muscle activation and knee flexion during a jump-landing task. *J Athl Train* 47: 406–13, 2012.
76. Wisløff U, Castagna C, Helgerud J, Jones R, Hoff J. Strong correlation of maximal squat strength with sprint performance and vertical jump height in elite soccer players. *Br J Sports Med* 38: 285–8, 2004.
77. Withrow TJ, Huston LJ, Wojtys EM, Ashton-Miller JA. The relationship between quadriceps muscle force, knee flexion, and anterior cruciate ligament strain in an in vitro simulated jump landing. *Am J Sports Med* 34: 269–74, 2006.
78. Withrow TJ, Huston LJ, Wojtys EM, Ashton-Miller JA. The effect of an impulsive knee valgus moment on in vitro relative ACL strain during a simulated jump landing. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 21: 977–83, 2006.
79. Wu W, WU J, Lin H, Wang G. Biomechanical Analysis Of The Standing Long Jump [Internet]. In: Pre-olympic Congress. 2004 [cited 2012 Aug 29]. Available from: <http://cev.org.br/biblioteca/biomechanical-analysis-of-the-standing-long-jump/>
80. Yamamoto T. Relationship between hamstring strains and leg muscle strength. A follow-up study of collegiate track and field athletes. *J Sports Med Phys Fitness* 33: 194–9, 1993.
81. Yde J, Nielsen AB. Sports injuries in adolescents' ball games: soccer, handball and basketball. *Br J Sports Med* 24: 51–4, 1990.
82. Yeow CH, Cheong CH, Ng KS, Lee PVS, Goh JCH. Anterior cruciate ligament failure and cartilage damage during knee joint compression: a preliminary study based on the porcine model. *Am J Sports Med* 36: 934–42, 2008.
83. Yeow CH, Lee PVS, Goh JCH. Effect of landing height on frontal plane kinematics, kinetics and energy dissipation at lower extremity joints. *J Biomech* 42: 1967–73, 2009.
84. Zhang SN, Bates BT, Dufek JS. Contributions of lower extremity joints to energy dissipation during landings. *Med Sci Sports Exerc* 32: 812–9, 2000.