



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
DI GENOVA



Università degli Studi di Genova

Scuola di Scienze Mediche e Farmaceutiche

Dipartimento di Neuroscienze, Riabilitazione, Oftalmologia, Genetica e Scienze
Materno-Infantili

Master in Riabilitazione dei Disordini Muscoloscheletrici

A.A. 2022/2023
Campus Universitario di Savona

Alterazioni Biomeccaniche nell'atterraggio da un salto in soggetti con CAI

Candidato:

Agnese Bosetti

Relatore:

Gianpaolo Lucato

INDICE

ABSTRACT	5
1. Introduzione	6
1.1 Lateral Ankle Sprain (LAS)	6
1.2 Instabilità Cronica di Caviglia (CAI).....	7
1.3 Instabilità Meccanica e Funzionale della Caviglia	8
1.4 Il gesto motorio del salto e l'importanza della fase di Landing	9
1.5 Obiettivi del lavoro di Tesi	10
2. Materiali e Metodi	11
2.1 Disegno dello studio	11
2.2 Stringa di Ricerca	11
2.3 Strategia di ricerca	12
2.4 Criteri di Eleggibilità	12
2.5 Selezione degli studi	13
2.6 Estrazione dati	13
2.7 Qualità metodologica degli studi	13
2.8 Analisi statistica	14
3. Risultati	15
3.1 Ricerca Bibliografica	15
3.2 Caratteristiche generali della RS	16
3.2.1 Cinetica	16
3.2.2 Cinematica	16
3.2.3 Attività muscolare	17
3.3 Risultati Principali	17
3.4 Risultati della valutazione Qualitativa degli Studi.....	27
4. Discussione	30
4.1 Sintesi dei risultati principali.....	30
4.2 Limiti	33
5. Conclusione	35
BIBLIOGRAFIA	37

ABSTRACT

Obiettivi

Determinare se i soggetti con instabilità cronica di caviglia (CAI) durante la fase di atterraggio da un salto (landing) dimostrano alterazioni della cinetica, della cinematica e dell'attività muscolare degli arti inferiori.

Metodi

Sono stati inclusi 9 studi da PubMed, ricercati il 2 ottobre 2022. I risultati sono stati rappresentati con statistiche descrittive in forma narrativa per le caratteristiche generali degli studi inclusi e degli outcome (variabili cinematiche, cinetiche e di attività muscolare durante l'atterraggio da un salto.)

Risultati

Nei soggetti CAI è stata riscontrata una riduzione del ROM in dorsiflessione di caviglia, con conseguente atterraggio con minore flessione di ginocchio e anca, condizione che riduce l'ammortizzamento delle forze di reazione al suolo (GRF) durante l'atterraggio, rendendo più instabile il task dinamico preso in esame. Inoltre, è stata riscontrata una riduzione dell'attività muscolare pre-landing del muscolo peroneo lungo nella caviglia affetta da CAI, fondamentale nella riduzione dell'inversione della caviglia. Infine, è stato osservato un aumento dell'attività muscolare dei muscoli peroneo lungo, tibiale anteriore e medio gluteo sul lato non affetto da CAI.

Conclusioni

Lo studio fornisce prove preliminari di un'alterata biomeccanica di atterraggio in soggetti CAI. Questi risultati possono avere implicazioni cliniche nello sviluppo di programmi di riabilitazione più efficaci e mirati per i pazienti con CAI.

1. Introduzione

1.1 Lateral Ankle Sprain (LAS)

Il trauma distorsivo di caviglia in inversione (LAS) è un infortunio che colpisce il complesso legamentoso laterale dell'articolazione tibiotarsica ed è il risultato di un'eccessiva inversione del retropiede oppure della combinazione tra flessione plantare e adduzione.¹

È uno degli eventi più comuni che colpisce gli sportivi durante la loro attività, ma anche la popolazione generale durante la vita quotidiana.²

Il legamento principalmente coinvolto è il peroneo-astragalico anteriore (ATFL), mentre il legamento peroneo-calcaneare (CFL) ed il peroneo-astragalico posteriore (PTFL) sono coinvolti rispettivamente nella misura del 50-75% il primo, e meno del 10% il secondo.³

Relativamente al meccanismo traumatico, questo può essere:

1. Da contatto; relativa al contatto fisico con altre persone/giocatori. Tipica, ad esempio, di sport come il basket.
2. Da superficie; relativo alla superficie su cui il soggetto si trova. Campi di terra rossa o campi sintetici possono favorire il verificarsi di LAS.
3. Da non contatto; il soggetto si infortuna "da solo" senza alcun contatto fisico con altre persone/giocatori.

Il più frequente è quello da contatto; infatti, uno dei meccanismi principali di distorsione laterale di caviglia sono gli atterraggi dai salti che impongono carichi importanti e rapidi alla caviglia.

Per quanto riguarda la classificazione di tale infortunio, esistono 3 gradi di distorsione, in base alla gravità:⁴

- Grado I. Il legamento è solo stirato e non compaiono lesioni macroscopiche; sono presenti minimo edema ed ecchimosi e minima dolorabilità, il danno funzionale è assente o minimo e non compare instabilità articolare;
- Grado II. Presenza di ecchimosi ed edema più marcati, spesso è presente lesione parziale del ATFL e in alcuni casi del CFL. Il ROM è compromesso maggiormente in

tutti i piani, soprattutto flessione dorsale, dove il deficit potrà arrivare anche a 10°. Possono esserci difficoltà nella fase di appoggio durante la deambulazione.

- Grado III. Ecchimosi ed edema marcati. È presente una rottura completa del ATFL e spesso anche del CFL, molte volte vi è anche un interessamento capsulare. Inoltre, il grado III è caratterizzato dall'incapacità di sostenere il peso sull'arto e da instabilità meccanica dell'articolazione.

La distorsione laterale della caviglia, soprattutto per quanto riguarda i gradi minori, è una lesione che si risolve rapidamente senza conseguenze a lungo termine. Tuttavia, accade anche che un alto tasso di lesioni ricorrenti⁵ e i deficit sensomotori si possano manifestare per mesi, o addirittura anni⁶. Infatti, circa il 33% delle persone che sperimentano una distorsione laterale della caviglia svilupperanno instabilità cronica della caviglia (CAI)⁷.

Invece, i soggetti che dopo un primo episodio non incorrono in distorsioni laterali ricorrenti, sintomi residui, disabilità funzionale e ritornano al livello di funzionalità che avevano prima dell'infortunio, vengono definiti Copers.

1.2 Instabilità Cronica di Caviglia (CAI)

Attualmente in letteratura non esiste una definizione comunemente accettata di CAI e tale eterogeneità è diventata un problema per chiunque voglia effettuare uno studio su un campione di popolazione che rientra in questo gruppo di pazienti. Dato questo problema, l'International Ankle Consortium (IAC) Position Statement ha definito dei criteri di elezione per meglio definire chi sono i pazienti con CAI.

Secondo questi criteri, l'instabilità cronica di caviglia è una condizione caratterizzata da:⁸

- Significativo episodio di distorsione alla caviglia; per significativo si intende un episodio che ha fermato l'attività sportiva ed ha provocato leggero gonfiore o dolore.
- Sensazione di "giving-way" (sensazione che non si traduce nella realtà in una vera e propria distorsione, ma in un falso movimento che non arriva ad una distorsione) o instabilità percepita o distorsioni ricorrenti (traumi ricorrenti durante l'attività).

- Deficit funzionali autoriferiti: valutati attraverso utilizzo di scale di misura (FAAM - FAOS).

Tutti questi fattori possono essere persistenti ad un anno dopo la prima distorsione di caviglia.

Il CAI influenza le strategie di controllo motorio mediate centralmente, con conseguenti schemi motori maladattativi che possono aumentare il rischio di distorsioni laterali ricorrenti-

1.3 Instabilità Meccanica e Funzionale della Caviglia

Il termine instabilità cronica di caviglia comprende al suo interno due tipi di instabilità:

- Instabilità meccanica. Questa deriva da un cambiamento del complesso anatomico della caviglia in seguito ai traumi distorsivi. Le alterazioni che maggiormente incidono, derivanti da tali infortuni sono: la lassità legamentosa, il cambiamento nell'artrocinematica (definito come un mal posizionamento dell'articolazione tibio-peroneale inferiore che causa una variazione dell'asse di movimento), modifiche della membrana sinoviale (ipertrofia dovuta a infiammazione) ed eventuale manifestazione di malattie degenerative dell'articolazione, come la formazione di osteofiti.
- Instabilità funzionale. Essa è invece causata da deficit muscolari e propriocettivi successivi alla distorsione^{9,10}. Si riscontra infatti un'incapacità della caviglia di stabilizzarsi adeguatamente in seguito a perturbazioni^{11,12}. La causa risiede nei recettori meccanici e propriocettivi presenti nella capsula articolare e nei legamenti in cui terminano le fibre nervose, stimulate sia dalla posizione statica sia dal movimento dell'articolazione in cui sono situate. Questi recettori propriocettivi producono in primo luogo un'attivazione muscolare dei muscoli limitrofi garantendo una buona stabilizzazione e, in secondo luogo, inviando informazioni al sistema nervoso centrale riguardo alla posizione della caviglia nello spazio e rispetto al corpo. Dopo un trauma distorsivo l'attivazione corretta di questi recettori e quella muscolare viene a mancare, quindi la caviglia manifesta una condizione di

instabilità funzionale che, a sua volta, può comportare un rischio maggiore di distorsioni.¹²

1.4 Il gesto motorio del salto e l'importanza della fase di Landing

Il salto può essere definito come il superamento di una distanza attraverso una fase di volo che avviene per la spinta esercitata da uno o entrambi i piedi.

Esso è un'azione multi-articolare che richiede un notevole impegno muscolare principalmente dalle articolazioni della caviglia, del ginocchio e dell'anca. La stabilità posturale dinamica durante un salto è fondamentale nella prevenzione degli infortuni, ma si sa poco circa le caratteristiche muscolo-scheletriche degli arti inferiori (range of motion e forza) in grado di contribuire positivamente ad essa.

Possiamo suddividere il task motorio del salto in 3 fasi:¹³

- Caricamento (Load Phase). Posizione in 'flessione' che mette in tensione gli estensori delle ginocchia, delle anche ed i plantiflessori;
- Spinta (Propulsion Phase). Grazie alla forza di reazione del terreno si attivano i muscoli precedentemente posti in tensione, a partire da quelli più prossimali fino ai distali;
- Volo (Flight Phase). La fase di volo inizia quando si abbandona il contatto con il suolo. In questa fase e in quella successiva è essenziale un'adeguata propriocezione a livello di piede e caviglia, in modo da conoscere dove direzionare i piedi e come bilanciare il proprio corpo in modo da non cadere.
- Atterraggio (Landing Phase). Nella fase di atterraggio gli arti inferiori passano dall'estensione alla flessione, la caviglia, in plantiflessione, va a prendere contatto con il suolo e ad ammortizzare l'appoggio con lo stesso.

Le tecniche di atterraggio sono aspetti essenziali di molti sport, tra cui ginnastica, basket, calcio, pallavolo. Sebbene molti ricercatori abbiano analizzato le prestazioni della fase di salto di questi sport, l'analisi della fase di atterraggio è stata limitata.¹⁴ Durante la fase del landing, a causa della cinematica dell'articolazione tibiotarsica e delle forze coinvolte nelle diverse strategie di atterraggio, ci può essere stretta correlazione con il verificarsi di traumi.¹⁵

Inoltre, viste le alterazioni anatomiche e propriocettive che insorgono nei soggetti con instabilità cronica di caviglia, la possibilità di incorrere in un nuovo evento di LAS o in un infortunio durante l'atterraggio da un salto, può aumentare.

Gli individui con CAI, infatti, potrebbero mostrare deficit nella biomeccanica di atterraggio in confronto a controlli sani.

Di conseguenza, questo studio ha cercato di rivedere e valutare sistematicamente la letteratura per determinare se gli individui con CAI dimostrano alterata biomeccanica durante il compito motorio del landing rispetto agli individui senza CAI.

1.5 Obiettivi del lavoro di Tesi

L'obiettivo di questo progetto di tesi è quello di produrre una revisione sistematica della letteratura per determinare se gli individui con CAI dimostrano alterazioni biomeccaniche durante l'atterraggio da un salto. La valutazione della biomeccanica dell'atterraggio potrebbe aiutare ulteriormente i clinici nello sviluppo di programmi di riabilitazione efficaci, destinati a migliorare la stabilità posturale dinamica e migliorare le caratteristiche del movimento negli individui affetti da CAI.¹⁶

2. Materiali e Metodi

2.1 Disegno dello studio

È stata condotta e riportata una revisione sistematica in conformità con il Cochrane Handbook for Systematic Review of Intervention e le linee guida PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-analyses).

Per effettuare la ricerca, è stato utilizzato il sistema “PO”, il quale rappresenta un metodo per poter esprimere il quesito clinico in maniera più accurata all’interno delle banche dati.

- **P**: Problem / Population
- **O**: Outcome

P	SOGGETTI CON INSTABILITA' CRONICA DI CAVIGLIA
O	ALTERAZIONI BIOMECCANICHE DURANTE IL LANDING

Tabella 1

2.2 Stringa di Ricerca

La stringa di ricerca immessa nel database sopracitato è stata formulata mantenendo il più possibile l'equilibrio tra sensibilità e specificità per evitare l'esclusione di articoli potenzialmente di nostro interesse.

I termini, all'interno di ogni dominio del modello PO, sono stati legati tra loro attraverso l'operatore booleano “OR”, mentre, a loro volta, i vari domini del PO sono stati legati tra loro attraverso l'operatore booleano “AND”.

2.3 Strategia di ricerca

La stringa di ricerca è stata costruita come riportato in Tabella 1, grazie all'utilizzo di parole chiave e relativi MeshTerms. La strategia di ricerca è stata quindi lanciata su PubMed il 2 ottobre 2022, utilizzando il "PubMed Advanced Search Builder").

DATABASE	STRINGA DI RICERCA
Medline (PubMed)	<i>((((((((((chronic ankle instability) OR (cai)) OR (ankle instability))) OR (ankle joints[MeSH Terms])) OR (ankle injuries[MeSH Terms])) AND ("landing biomechanics")) OR (landing)) OR ("drop-landing")) OR (jump landing)) OR (performance, analysis task[MeSH Terms]))</i>

Tabella 2

2.4 Criteri di Eleggibilità

Sono stati inclusi studi osservazionali (esempio, cross-sectional, caso-controllo, studi di coorte) e studi di intervento (esempio, RCT) che valutavano pazienti CAI durante il task di atterraggio da un salto. Tutti gli studi saranno considerati come cross-sectional poiché si è interessati a un momento specifico (la fase dell'atterraggio dal salto).

Il CAI (Chronic Ankle Instability) è stato definito come instabilità ricorrente alla caviglia da almeno un anno, in seguito ad un significativo episodio di distorsione della caviglia, con storia di cedimenti e sensazione di giving way¹⁷, basandosi sui criteri di inclusione formulati dall'International Ankle Consortium del 2013.

Gli studi potevano includere o meno i seguenti confronti: controlli sani, soggetti copers.

Gli outcome primari sono stati identificati come qualsiasi variabile cinematica, cinetica e/o di attività muscolare relativa al distretto degli arti inferiori durante l'atterraggio da un salto.

Sono stati esclusi articoli che analizzassero pazienti con CAI trattati non conservativamente, non in lingua inglese o italiana, con abstract e full text non disponibile, consensus, revisioni narrative, revisioni sistematiche.

2.5 Selezione degli studi

È stato effettuato lo screening degli articoli sulla base del titolo e dell'abstract ottenuti dalla strategia di ricerca. Successivamente è stato letto il testo intero per includere gli studi che rispettassero i criteri di inclusione.

2.6 Estrazione dati

Si è provveduto all'estrazione dei dati degli studi inclusi su un foglio Excel estraendo le seguenti caratteristiche:

- Popolazione (età, sesso, anni dalla diagnosi)
- Tipo di disegno dello studio (cross-sectional / randomizzato controllato)
- Sample size (numero di soggetti inclusi)
- Tipologia di salto (unilaterale, bilaterale)
- Variabili cinematiche, cinetiche e/o di attività muscolare durante l'atterraggio da un salto.

2.7 Qualità metodologica degli studi

Si è proceduto con la valutazione della qualità dello studio utilizzando il JBI Critical Appraisal Checklist¹⁸ per gli studi Cross Sectional, e Caso-Controllo mentre la Cochrane Risk of Bias¹⁹ per gli studi randomizzati controllati.

2.8 Analisi statistica

I risultati sono stati rappresentati con statistiche descrittive in forma narrativa per le caratteristiche generali degli studi inclusi e degli outcome (variabili cinematiche, cinetiche e/o di attività muscolare durante l'atterraggio da un salto.)

3. Risultati

3.1 Ricerca Bibliografica

La ricerca effettuata secondo i criteri esposti ha prodotto 1115 risultati da MEDLINE. Dopo la lettura dei titoli, si sono scartati 1103 risultati perché non pertinenti allo scopo del presente elaborato.

Si sono ottenuti così 12 studi potenzialmente elegibili. Dopo la lettura integrale degli studi, 3 studi (RTC) sono stati esclusi poiché non analizzavano le variabili cinetiche, cinematiche e di attività muscolare che interessavano la revisione sistematica. Si sono così ottenuti 9 studi. Di seguito viene riportata la Flow-chart di selezione degli articoli (Fig. 1)

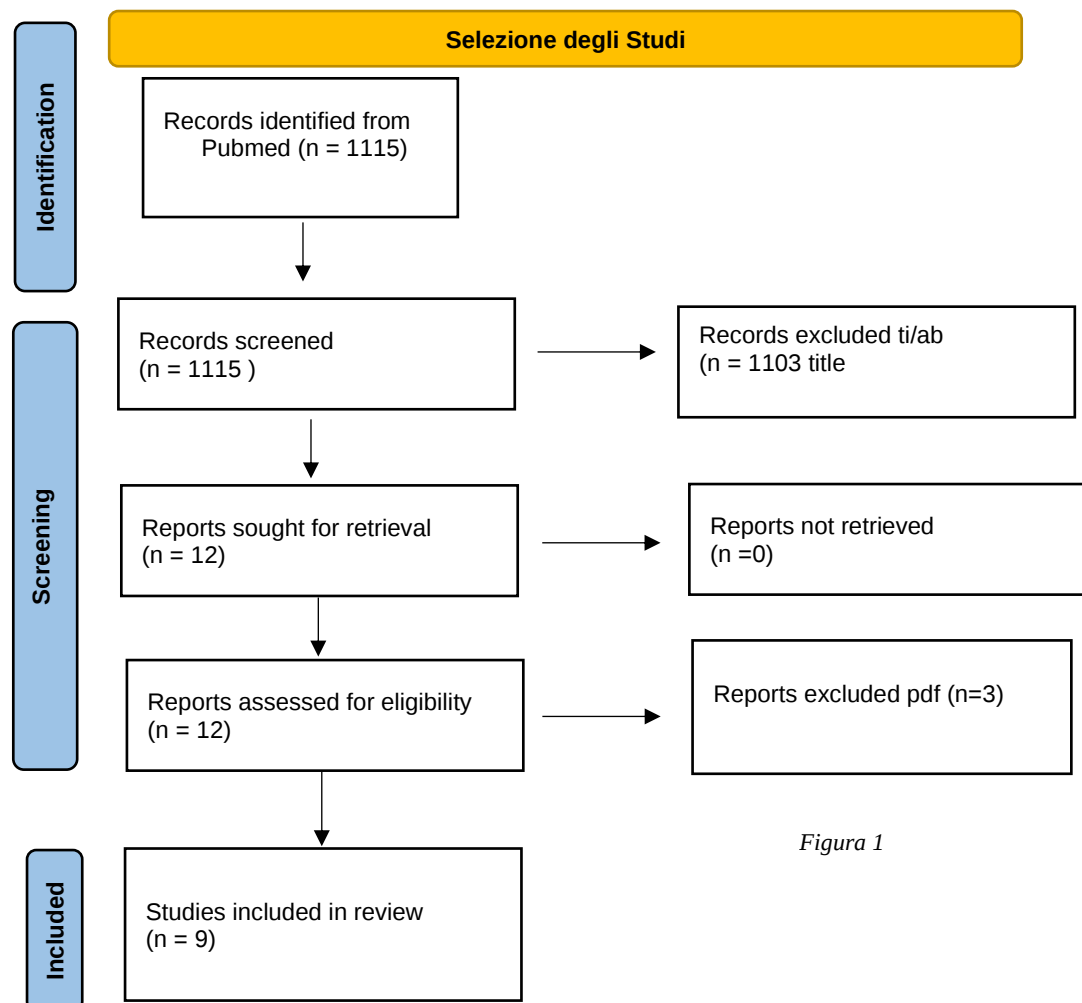


Figura 1

3.2 Caratteristiche generali della RS

Nella tabella sinottica (Tabella 3) sono presentate le caratteristiche generali dei 9 studi. In totale, 6 erano Cross-Sectional e 3 erano studi Caso-Controllo pubblicati tra il 2006 e il 2022. 7 studi avevano un gruppo di controllo. Di questi otto, 3 possedevano anche un confronto con soggetti Copers.

Il numero complessivo di pazienti con CAI inclusi era di 245.

L'età media dei partecipanti era di 25. Le popolazioni incluse negli studi comprendevano principalmente soggetti giovani e fisicamente attivi.

Negli studi, sono stati richiesti diversi task relativi al compito motorio del landing, tra cui:

1. Salto anteriore a gamba singola con atterraggio a gamba singola;
2. Salto anteriore con atterraggio a gamba singola su ostacolo rialzato;
3. Salto laterale con atterraggio a gamba singola;
4. Atterraggio su superficie instabile o inclinata;
5. Salto e atterraggio a gamba singola con immediato cambio di direzione;
6. Atterraggio a gamba singola da piano rialzato

Le principali misure di outcome analizzate sono state le variabili cinematiche, cinetiche e di attività muscolare relative al task motorio richiesto.

3.2.1 Cinetica

5 studi hanno analizzato nel dettaglio le variabili cinetiche relative alla forza e alla pressione. In particolare, questi cinque studi hanno preso in esame il COP (centro di pressione) e le GRF (forze di reazione al suolo) durante il landing.

3.2.2 Cinematica

Dei 9 studi inclusi in questa revisione, 5 hanno esaminato la cinematica durante un compito di atterraggio da un salto.

Dei 5 studi che hanno riportato parametri cinematici degli arti inferiori, 4 studi hanno riportato dati sulla cinematica della caviglia, e 2 studi hanno analizzato anche la cinematica di ginocchio e anca.

3.2.3 Attività muscolare

5 studi inclusi in questa revisione hanno esaminato l'attività muscolare tramite EMG durante i vari task che riguardano il landing.

L'attività EMG è stata registrata tramite elettrodi di superficie dei seguenti muscoli: tibiale anteriore (TA), Peroneo Lungo (PL) gastrocnemio mediale (MG), soleo (S) medio gluteo (GM). In uno studio, oltre a questi sono anche stati analizzati il retto femorale (RF) il vasto mediale (VM), bicipite femorale (BF).

Infine, in uno studio è anche stata analizzata l'attività muscolare distale della caviglia controlaterale.

3.3 Risultati Principali

Sintetizzando brevemente i risultati emersi dai vari studi, si può affermare che, nei soggetti CAI, si verificano numerose alterazioni biomeccaniche a livello degli arti inferiori durante il landing, soprattutto per quanto riguarda landing in direzione laterale.

È infatti presente un'alterazione dell'attivazione muscolare sia nell'arto interessato da CAI che nel controlaterale, per ovviare i deficit sensorimotori presenti nella caviglia con instabilità, oltre che un aumento delle forze di reazione al suolo a causa di una ridotta ampiezza di movimento della caviglia interessata, con conseguente possibile alterazione della stabilità.

Tuttavia, l'eterogeneità dei task richiesti negli studi rende difficile trarre conclusioni assolute per quanto riguarda il quesito di ricerca.

	Autore	Disegno dello Studio	Luogo	Popolazione	Diagnosi	Età	Task Motorio (Landing)	Metodi di Misura	Variabili Cinetiche	Variabili Cinematiche	Attivazione Muscolare (EMG)	Risultati Principali
1	Jian-zhi Lin (2019)	Cross-sectional prospettico	Taiwan	10 Atleti CAI (8 M, 2F)	Clinica, basata sui criteri dell'International ankle consortium + CAIT ≤ 24	Range 19-20	In seguito a warm up, il task motorio era il seguente: salto anteriore a gamba singola su un ostacolo alto 15 cm + atterraggio a gamba singola su una pedana di forza posta sulla superficie dell'ostacolo. Il task è stato eseguito senza calzature.	I dati cinematici sono stati raccolti da dieci telecamere a infrarossi a 200 Hz collegate a marcatori riflettenti poste nei punti di repere anatomici principali degli arti inferiori. I dati cinetici sono stati raccolti da una piattaforma di forza a 1000 Hz. I dati EMG sono stati raccolti da otto elettrodi wireless a 1000 Hz. L'attività EMG è stata registrata dal gluteo medio (GM), dal retto femorale (RF), dal vasto mediale (VM), dal bicipite femorale (BF), dal tibiale anteriore (TA), dal peroneo lungo (PL), dal gastrocnemio mediale (MG) e dal soleo (S) della gamba interessata.	non riportati.	Il gruppo CAI aveva un angolo di flessione dell'anca e di adduzione d'anca significativamente maggiore. Nel momento di picco della fase discendente, il gruppo CAI ha avuto un momento di eversione della caviglia significativamente maggiore rispetto ai gruppi di controllo e copers.	Pre-atterraggio Il gruppo di controllo presentava un'attivazione muscolare significativamente maggiore di Tibiale Anteriore e Peroneo Lungo, rispetto ai soggetti CAI e copers. Contatto con il suolo Il gruppo copers e il gruppo di controllo mostravano un'attivazione muscolare significativamente minore del capo mediale del gastrocnemio e del soleo rispetto ai soggetti CAI. Landing Durante la fase del Landing il gruppo di controllo, rispetto ai gruppi CAI e copers, mostrava un'attivazione muscolare significativamente maggiore del PL e del TA. Tuttavia, nella stessa fase, il gruppo CAI presentava una co-attivazione significativamente maggiore del Soleo/Tibiale Anteriore e del Gastrocnemio Mediale/Tibiale Anteriore	1. I soggetti CAI, durante il landing utilizzano più adduzione e flessione d'anca per mantenere la stabilità. 2. Sia gli atleti CAI che quelli copers presentano una maggiore eversione al contatto iniziale. Questo probabilmente perché cercano di evitare una posizione di atterraggio rischiosa limitando gli angoli di inversione della caviglia. Tuttavia, questo meccanismo si verifica solo nella primissima fase dell'atterraggio. 3. Gli atleti CAI tendevano a raggiungere una maggiore co-attivazione di MG / TA, che li ha aiutati a mantenere la stabilità della caviglia durante l'esecuzione del task di atterraggio.
				10 Atleti Copers (8 M, 2F)	Dovevano rispettare i seguenti criteri: 1. Nessuna lamentele di instabilità della caviglia o ripetuti episodi di cedimento 2. Ripreso tutte le attività pre-infortunio senza limitazioni da almeno 12 mesi 3. nessun episodio di re-infortunio. 4. CAIT >25 e <28							
				10 Atleti Controlli sani (8 M, 2F)	Nessuna storia di distorsione alla caviglia + CAIT >29							

Tabella 3

	Autore	Disegno dello Studio	Luogo	Popolazione	Diagnosi	Età	Task Motorio (Landing)	Metodi di Misura	Variabili cinetiche	Variabili cinematiche	Attivazione muscolare	Risultati Principali
2	Gabriel Moisan (2022)	Cross-sectional	Canada	22 soggetti CAI (6 M 16 F)	Clinica, in conformità con i criteri dell'international ankle consortium: 1. Storia di ≥ 1 LAS; 2. auto-riferita una storia di cedimento della caviglia, distorsioni ricorrenti o la percezione di instabilità della caviglia o tutti questi; 3. Punteggio $< 90\%$ e $< 80\%$ rispettivamente sulle sottoscale Foot and Ankle Ability Measure (FAAM)-Activities of Daily Living e FAAM-Sports.	range 22-24	I partecipanti hanno eseguito la seguente procedura, 5 atterraggi unilaterali di drop-jump da una piattaforma alta 46 cm su 3 superfici: 1. Una superficie piana (DROP) 2. un blocco di schiuma di 10 cm (FOAM) 3. una superficie inclinata lateralmente di 25° (WEDGE). Durante i compiti, i partecipanti stavano in piedi sulla piattaforma rialzata sul loro arto controlaterale con le mani sui fianchi, e sono stati istruiti a fare un passo avanti e atterrare sull'arto in esame. L'ordine delle condizioni è stato deciso in modo casuale tra i partecipanti utilizzando una tabella numerica casuale	La cinematica degli arti inferiori è stata registrata utilizzando un sistema di analisi del movimento tridimensionale con 3 telecamere che campionano a 9 Hz. Le forze di reazione al suolo, campionate a 13 Hz, sono state registrate utilizzando una piastra di forza incorporata nel pavimento. I dati EMG sono stati raccolti utilizzando elettrodi di superficie wireless rettangolari.	Nell'atterraggio sulla superficie piana, i momenti di dorsiflessione e di inversione erano minori rispetto alle condizioni della superficie instabile e inclinata lateralmente. Tra le condizioni di superficie inclinata e superficie piana non è stata evidenziata alcuna differenza nelle forze di reazione verticale al suolo, che risultano essere maggiori rispetto alla condizione di superficie instabile.	- Maggiore angolo di inversione della caviglia sulla superficie instabile e quella inclinata lateralmente, rispetto alla superficie piana. - Aumento degli angoli massimi di inversione della caviglia di $6,3^\circ$ sulla superficie inclinata lateralmente e di $3,5^\circ$ sulla superficie instabile, rispetto alla superficie piana. - Maggiori angoli di flessione plantare della caviglia all'inizio del Landing su superficie instabile e inclinata lateralmente, rispetto alla superficie piana.	Sulla superficie instabile, gli individui con CAI sono atterrati con un'articolazione del ginocchio meno flessa rispetto alle altre due, a causa di minor necessità di riduzione delle forze di reazione del terreno durante la prima parte del Landing. Coerentemente con ciò, è risultata una diminuzione dell'attività EMG dei muscoli vasto laterale e del medio gluteo. Sulla superficie instabile e quella inclinata lateralmente è risultata una ridotta attività del muscolo peroneo lungo.	La maggiore inversione della caviglia e l'aumento della flessione plantare, nonché la riduzione dell'attivazione e del muscolo peroneo lungo sulle superfici instabile e inclinata lateralmente, potrebbero mettere gli individui con CAI a maggior rischio di incorrere in LAS ricorrenti.

Tabella 3

	Autore	Disegno dello Studio	Luogo	Popolazione	Diagnosi	Età	Task Motorio (Landing)	Metodi di Misura	Variabili cinetiche	Variabili cinematiche	Attivazione muscolare	Risultati Principali
3	Oron Levil (2015)	Cross-sectional	Ireland	9 soggetti CAI, giocatori di pallamano (4 M 5 F) 9 controlli sani, fisicamente attivi (4 M 5 F)	Clinica, secondo i seguenti criter, in conformità con l'International Ankle Consortium: 1. Storia di distorsioni traumatiche della caviglia che richiedono 2 o più consultazioni mediche, 2. Lamentele di LAS ricorrenti per almeno 6 mesi 3. Presenza giving way 4. Segnalazione di un diminuito livello di prestazioni sportive, ricreative o professionali, correlato alla caviglia giovani adulti attivi senza storia di lesioni alla caviglia o agli arti inferiori	range 21-30	Lo studio consisteva in 40 prove di landing laterale su gamba singola sull'arto in esame (arto CAI per i soggetti CAI, arto sinistro per i controlli sani). - 10 prove eseguite con la superficie di appoggio instabile, preposizionata in inversione (inclinata lateralmente), - 10 prove eseguite con la superficie di atterraggio fissa, in posizione neutra - Nelle restanti 20 prove c'era il 50% di possibilità che la superficie fosse in posizione di inversione o neutra, e i partecipanti non ne erano a conoscenza a priori. Dopo l'atterraggio laterale i soggetti erano istruiti a dover mantenere l'equilibrio per 5 secondi.	Il setting era costituito da una superficie di atterraggio e da un rialzo su cui il soggetto appoggiava l'arto non in esame. Gli accelerometri sono stati montati sulla superficie di atterraggio per rilevare l'inizio del landing. Quest'ultima, poteva essere preposizionata in inversione (inclinata lateralmente di 30°) o bloccata in posizione neutra. I segnali elettromiografici (EMG) sono stati registrati dal tibiale anteriore (TA), dal peroneo lungo (PL), dal capo mediale del gastrocnemio (MG) e dal gluteo medio (GLM) di entrambe le gambe, utilizzando un sistema di elettrodi a otto canali.	<i>non sono stati analizzati dati riguardo le variabili cinetiche</i>	<i>non sono stati analizzati dati riguardo le variabili cinematiche</i>	Pre landing - Inverting Size. Non sono state notate differenze significative tra il gruppo CAI e il gruppo controllo. Pre Landing - non inverting size. Rispetto ai controlli, i soggetti con CAI hanno generalmente mostrato livelli più elevati di attività EMG. Differenze significative nei livelli di attività muscolare anticipatoria sono state osservate per PL e MG controlaterali. Landing Rispetto ai controlli, i soggetti con CAI hanno generalmente mostrato risposte riflesse a breve (SLR) e lunga (LLR) latenza diminuite, ma la differenza era maggiore nella finestra delle risposte riflesse a breve latenza (SLR). Infatti, per la SLR, sono state osservate differenze significative tra i gruppi sia per i muscoli distali (caviglia) che prossimali (anca) del lato affetto da CAI. Le differenze erano più pronunciate per i muscoli distali come il peroneo lungo (PL) e il gastrocnemio mediale (MG). Anche nella condizione neutra, entrambi i muscoli hanno mostrato differenze significative tra i due gruppi. Il medio gluteo ha mostrato SLR significativamente più elevata nei controlli rispetto ai soggetti CAI.	Lo studio ha preso in esame il controllo neuromuscolare della caviglia in soggetti con instabilità cronica di caviglia. È emerso che: 1. i soggetti con CAI hanno aumentata attività anticipatoria nei loro muscoli distali (PL e GM) prima del landing. 2. I soggetti CAI hanno mostrato una diminuzione delle risposte riflesse a breve latenza omolaterali (SLR). 3. I soggetti CAI erano anche carenti di risposte SLR in un muscolo dell'anca, il medio gluteo. Questi hanno regolato le loro risposte riflesse anticipatorie in modo diverso rispetto ai controlli, e l'alterazione delle risposte neuromuscolari va oltre i muscoli della caviglia interessata. Nei soggetti CAI, inoltre, rispetto ai controlli, è stato rilevato un aumento dell'attività EMG proattiva del muscolo peroneo lungo e del medio gluteo sul lato controlaterale, prima dell'atterraggio. Tali attivazioni potrebbero essere significative poiché probabilmente implicano un aumento del controllo dell'equilibrio co-attivando la muscolatura che circonda la caviglia non interessata.

Tabella 3

	Autore	Disegno dello Studio	Luogo	Popolazione	Diagnosi	Età	Task Motorio (Landing)	Metodi di Misura	Variabili cinetiche	Variabili cinematiche	Attivazione muscolare	Risultati Principali
4	Tayaka Watabe (2022)	Cross-sectional prospettico	USA	12 soggetti CAI fisicamente attivi 12 soggetti copers 12 controlli sani	Clinica, i pazienti CAI hanno rispettato i criteri di inclusione per CAI in conformità con l'international ankle consortium I coper soddisfavano seguenti criteri: 1. Almeno una grave distorsione alla caviglia che si è verificata più di 12 mesi prima e ha richiesto l'uso di un supporto esterno alla caviglia per almeno 1 settimana, immobilizzazione e/o intolleranza al carico per almeno 3 giorni; 2. Il ritorno a livelli moderati di attività fisica senza infortuni alla caviglia negli ultimi 12 mesi; 3. Un punteggio CAIT pari o superiore a 28 e un punteggio IdFAI pari o inferiore a 10; 4. Nessuna distorsione ricorrente della caviglia o percezione del "cedimento" della caviglia. I controlli rispettavano i seguenti criteri: 1. nessuna distorsione alla caviglia nel corso della loro vita; 2. un punteggio CAIT di 30 e un punteggio IdFAI di 0; 3. nessuna distorsione ricorrente della caviglia o percezione del cedimento della caviglia.	range 18-24	I task erano i seguenti - Landing su gamba singola scendendo da un rialzo di 30 cm; - Atterraggio su gradini laterali; - Atterraggio laterale a 60°; - Atterraggio a gamba singola; I soggetti hanno prima eseguito i precedenti compiti in modo "previsto", nell'ordine sopracitato, e successivamente in modo imprevisto, eseguendo i task in ordine casuale seguendo l'indicazione che compariva su un monitor posto davanti a loro. Dopo aver eseguito i compiti, i soggetti dovevano rimanere in equilibrio per 30 secondi. I task erano eseguiti senza calzature.	Per analizzare i dati è stata utilizzata una pedana di forza. I dati presi in esame sono stati: 1. Il tempo di atterraggio, che è stato definito come il tempo dal momento in cui il piede del partecipante lascia il contatto dal rialzo al momento in cui prende il primo contatto sulla pedana di forza. 2. Le forze di reazione al suolo. (GRF) Infine, i task attesi e imprevisti di ciascun gruppo sono stati confrontati in termini di tempo, analizzando il tempo di stabilizzazione (TTS) e il centro di pressione (COP) per le componenti antero-posteriore (AP) e mediale-laterale (ML). Per analizzare i dati, sono stati eseguiti un'analisi unidirezionale della varianza a modello misto e un test post hoc Tukey-Kramer.	Nessuna differenza statisticamente significativa è stata osservata nel tempo di atterraggio tra i gruppi CAI, coper e controllo. Durante la condizione imprevista, l'analisi dei dati dei soggetti CAI ha mostrato un tempo di stabilizzazione Medio-Laterale significativamente più lungo rispetto ai gruppi coper e controllo. Inoltre, i gruppi CAI e coper che hanno mostrato tempo di stabilizzazione Antero-Posteriore significativamente più lungo rispetto al gruppo di controllo (maggiore durante la condizione imprevista rispetto alla condizione prevista).	Non analizzato	Non analizzato	1. Nei task di atterraggio laterali, durante la condizione imprevista, i soggetti CAI mostrano un tempo di stabilizzazione medio-laterale significativamente più lungo rispetto ai gruppi di coper e di controllo. 2. Non sono state osservate differenze statistiche tra i gruppi di coper e di controllo nel tempo di stabilizzazione medio-laterale sia durante la condizione prevista che imprevista. 3. I gruppi CAI e coper, durante il landing a gamba singola, hanno mostrato tempo di stabilizzazione anteroposteriore più lungo e centro di pressione più elevato rispetto al gruppo di controllo.

Tabella 3

	Autore	Disegno dello Studio	Luogo	Popolazione	Diagnosi	Età	Task Motorio (Landing)	Metodi di Misura	Variabili cinetiche	Variabili cinematiche	Attivazione muscolare	Risultati principali
5	Matthew C. Hoch (2015)	Cross-sectional	Virginia	15 persone fisicamente attive con CAI (5 M 15 F)	I criteri di inclusione erano coerenti con la presa di posizione dell'International Ankle Consortium. Nello specifico: 1. I partecipanti dovevano riportare storia di almeno un LAS e almeno un episodio di cedimento nei 3 mesi precedenti lo studio 2. I partecipanti dovevano dare una risposta affermativa ad almeno 4 item sull'Ankle Instability Tool 3. Riportare livelli di attività fisica almeno moderati sulla scala dell'attività fisica della NASA. Per descrivere ulteriormente il livello di limitazione dell'attività e restrizione della partecipazione, ogni partecipante ha completato gli strumenti FAAM ADL (Foot and Ankle Ability Measure) e FAAM Sport.	range 21-24	Dopo aver misurato il range massimo di dorsiflessione dei partecipanti, questi hanno eseguito il seguente compito motorio: - In appoggio su una scatola di 40 cm con l'arto non coinvolto venivano istruiti a cadere sull'arto in esame sulla pedana di forza situata 10 cm davanti alla scatola. Una prova di atterraggio riuscita richiedeva loro di atterrare sulla pedana di forza senza spingersi in avanti, evitando il contatto con il suolo sul piede non coinvolto, mantenere gli arti superiori piegati sul petto e atterrare con l'intero piede sulla pedana di forza, evitando ogni possibile scivolamento del piede.	Un sistema di analisi del movimento a 8 telecamere ha raccolto dati cinematici a 200 Hz. I dati di forza tridimensionali sono stati raccolti a 1000 Hz utilizzando una pedana di forza. Sono state analizzate: 1. La relazione tra la massima dorsiflessione e le variabili cinetiche associate all'attività di atterraggio di caduta 2. La relazione tra il range di dorsiflessione massimo durante l'attività di atterraggio di caduta e la cinematica dell'anca e del ginocchio. 3. Le variabili cinetiche associate all'attività di atterraggio di caduta.	La limitazione della dorsiflessione è risultata fortemente correlata all'aumento delle forze di reazione al suolo (GRF), con conseguente aumento del momento di flessione dell'anca e del ginocchio durante la fase del Landing,	Dall'analisi della cinematica è emersa in alcuni soggetti una riduzione del ROM in dorsiflessione e in flessione di anca e di ginocchio. I dati cinematici sono stati analizzati in relazione ai dati cinetici.	Non analizzato	Le persone con CAI hanno mostrato relazioni da moderate a forti tra il ROM in dorsiflessione e la cinematica sul piano sagittale del ginocchio e dell'anca e la GRF verticale durante l'atterraggio con una sola gamba. Le persone con un ROM in dorsiflessione inferiore hanno dimostrato una strategia di atterraggio meno flessa e meno efficiente nell'attenuare la GRF.

Tabella 3

	Autore	Disegno dello Studio	Luogo	Popolazione	Diagnosi	Età	Task Motorio (Landing)	Metodi di Misura	Variabili cinetiche	Variabili cinematiche	Attivazione muscolare	Risultati Principali
6	Jeffrey D. Simpson (2020)	Studio Caso-Controllo	Florida	15 adulti con CAI	Clinica, in conformità alle raccomandazioni dell'International Ankle Consortium: 1. Anamnesi autodichiarata di 2 o più LAS, di cui 1 verificatosi nei 12 mesi precedenti lo studio; 2. Storia di un LAS che ha richiesto attività senza carico o immobilizzazione per più di 24 ore; 3. Anamnesi auto-riferita di cedimento della caviglia; 4. Punteggio CAIT (Cumberland Ankle Instability Tool) di ≤24.	range 21-23	Dodici telecamere a infrarossi che registravano a 200 Hz sono state utilizzate per raccogliere dati cinematici tridimensionali degli arti inferiori. Set di marcatori retroriflettenti, costruiti in materiale termoplastico, sono stati attaccati al bacino posteriore dei partecipanti e bilateralmente su cosce, glutei e piedi mediante nastro biadesivo. I dati sulla forza di reazione al suolo sono stati raccolti anche utilizzando una piattaforma di forza portatile che campionava a 1000 Hz durante l'attività di spostamento laterale. I dati della forza cinematica e di reazione al suolo sono stati raccolti simultaneamente e sincronizzati nel tempo.	I partecipanti sono stati posizionati a 70 cm di distanza dal centro della pedana di forza, che era situata in modo che la parte superiore della piattaforma fosse a livello del suolo, e istruiti a stare in piedi sull'arto non testato con ginocchio e anca a circa 45° di flessione. I soggetti hanno ricevuto un'indicazione orale per eseguire un salto anteriore e atterrare con il loro arto di prova sulla pedana di forza. Dopo aver raggiunto la piattaforma con l'arto di prova, i partecipanti hanno successivamente cambiato direzione di 45° verso il lato controlaterale e hanno corso il più velocemente possibile per 3 m. L'angolo laterale di 45° è stato contrassegnato sul terreno per fornire una rappresentazione visiva.	Il gruppo CAI ha dimostrato un maggiore momento di flessione plantare della caviglia dal 3% al 16% rispetto al gruppo di controllo durante l'atterraggio. Sul piano frontale, il gruppo CAI ha mostrato un minor momento di eversione della caviglia che ha coinciso anche con un minor momento di abduzione del ginocchio.	Non sono state notate differenze tra i gruppi per la rigidità dell'articolazione della caviglia sul piano sagittale o rigidità dell'articolazione del ginocchio. Al contrario, il gruppo CAI ha dimostrato una maggiore rigidità dell'articolazione dell'anca rispetto al gruppo di controllo.	<i>non analizzato</i>	- I soggetti affetti da instabilità cronica della caviglia (CAI) hanno mostrato una cinetica dell'articolazione della caviglia alterata e una maggiore rigidità dell'articolazione prossimale dell'anca rispetto ai partecipanti di controllo soprattutto durante la fase di atterraggio con immediato cambio di direzione laterale (side cutting). - Le differenze nella cinetica dell'articolazione della caviglia e nella rigidità dell'articolazione dell'anca forniscono indicazioni sui potenziali adattamenti motori che si verificano durante un compito di landing a causa dei vincoli sensorimotori e meccanici del CAI.

Tabella 3

	Autore	Disegno dello Studio	Luogo	Popolazione	Diagnosi	Età	Task Motorio (Landing)	Metodi di Misura	Variabili cinetiche	Variabili cinematiche	Attivazione muscolare	Risultati Principali
7	Ryan Mccan (2019)	Caso-Controllo	Canada	25 soggetti CAI (10 M 15 F)	Clinica, basata sui criteri dell'International ankle consortium + CAIT ≤ 24	range 18-35	Il task era il seguente: i partecipanti erano posizionati con appoggio bilaterale a 70 cm dal centro della pedana di forza. I partecipanti hanno saltato in direzione della pedana, raggiungendo l'altezza massima di salto verticale I partecipanti dovevano atterrare sulla pedana di forza con l'arto di prova in esame e mantenere la posizione monopodolica con le braccia sul petto per cinque secondi.	Dopo aver misurato la massima altezza del salto verticale di ogni partecipante, è stato fornito ad ognuno un bersaglio in altezza proporzionato al salto precedente da raggiungere durante il compito di salto-atterraggio. Per la raccolta dei dati cinematici sono state utilizzate sei telecamere digitali. Cinquantasei marcatori retroriflettenti sono stati fissati a specifici punti di riferimento anatomici. Una pedana di forza incassata nel pavimento del laboratorio è stata utilizzata per raccogliere i dati cinetici necessari per la descrizione dell'evento. Per misurare la forza isometrica dell'anca è stato utilizzato un dinamometro portatile.	Non analizzato	Il gruppo CAI ha mostrato una minore abduzione dell'anca durante l'atterraggio rispetto ai copers LAS e ai controlli. Il gruppo CAI aveva una forza di rotazione esterna dell'anca inferiore rispetto ai copers. I risultati suggeriscono che il gruppo CAI avesse anche deficit in estensione di anca rispetto ai controlli.	Non analizzato	I partecipanti con CAI hanno mostrato una cinematica di atterraggio dell'anca alterata rispetto ai gruppi copers e di controllo. Il diverso modello di atterraggio sul piano frontale del gruppo CAI può aumentare la probabilità di LAS ricorrenti o di episodi di cedimento nei soggetti con CAI. Il gruppo CAI ha mostrato anche riduzione della forza muscolare isometrica dell'anca; tuttavia, questa misura non influenza direttamente la cinematica dell'arto inferiore degli stessi.
				25 soggetti Copers (10 M 15 F)	Dovevano rispettare i seguenti criteri: 1. Nessuna lamentele di instabilità della caviglia o ripetuti episodi di cedimento 2. Ripreso tutte le attività pre-infortunio senza limitazioni da almeno 12 mesi 3. nessun episodio di re-infortunio. 4. CAIT >25 e <28							
				25 Controlli sani (10 M 15 F)	Nessuna storia di distorsione alla caviglia + CAIT >29							

Tabella 3

	Autore	Disegno dello studio	Luogo	Popolazione	Diagnosi	Età	Metodi Di Misura	Task Notorio (Landing)	Variabili Cinetiche	Variabili Cinematiche	Attivazione Muscolare (EMG)	Risultati Principali
8	Delahunt (2006)	Caso-controllo	Ireland	24 soggetti CAI (15 maschi e 9 femmine) 24 controlli sani (15 maschi e 9 femmine)	Clinica, in conformità con i criteri dell'international ankle consortium: 1. Storia di ≥ 2 LAS; 2. LAS che ha richiesto periodo di carico protetto e/o immobilizzazione 3. La caviglia coinvolta viene riferita soggettivamente e più debole, più dolorosa e meno funzionale dell'altra. Il soggetto riferisce sensazione di giving way I soggetti non avevano precedenti di LAS o precedenti fratture all'arto inferiore.	range 22-25	Sono stati registrati i dati dell'attività muscolare tramite EMG di superficie, i dati cinematici sono stati analizzati rilevando gli spostamenti angolari e la velocità dei segmenti in movimento, posizionando marcatori a luce infrarossa sui reperi anatomici dell'arto inferiore. I dati cinetici, come le forze di reazione al suolo, sono state campionate da una pedana di forza.	I soggetti erano in piedi su una piattaforma alta 35 cm di fronte a una pedana di forza con la gamba da testare rilassata. Il soggetto doveva usare la gamba controlaterale per spingersi dalla piattaforma e atterrare sulla gamba da testare al centro della pedana di forza. Ogni soggetto ha eseguito 10 salti con una sola gamba.	La componente verticale della GRF risulta significativamente maggiore nei soggetti CAI, raggiungendo il picco della GRF verticale prima dei soggetti controllo.	I soggetti CAI non sono efficienti come i soggetti controllo nel raggiungere la close packed position in dorsiflessione. Inoltre, mostravano una posizione maggiormente in inversione dell'articolazione della caviglia durante la fase iniziale del landing. Gli stessi avevano anche l'articolazione dell'anca meno ruotata esternamente.	Ridotta attivazione del muscolo peroneo lungo nel periodo immediatamente precedente al contatto iniziale. (L'attività muscolare pre-landing nei muscoli peronei è necessaria per fornire un'adeguata stabilizzazione dell'articolazione e prevenire una lesione da inversione.)	I soggetti CAI mostrano un aumento significativo della componente verticale della forza di reazione al terreno. Questi, iniziando la dorsiflessione in un momento successivo rispetto ai controlli sani, iniziano il landing con l'articolazione della caviglia in una posizione ancora vulnerabile, non avendo ancora raggiunto la closed packed position.

Tabella 4

	Autore	Disegno dello Studio	Luogo	Popolazione	Diagnosi	Task Motorio (Landing)	Metodi di Misura	Variabili cinetiche	Variabili cinematiche	Attivazione muscolare	Risultati Principali
9	Kim (2019)	Cross-Sectional	Pennsylvania	100 soggetti CAI (M 54, F 46)	I soggetti sono stati selezionati in base ai criteri dell'international ankle consortium: 1. Almeno due episodi di LAS 2. Almeno 2 episodi di cedimento negli ultimi sei mesi 3. Punteggio FAAM ADL inferiore a 90% 4. Punteggio FAAM SPORT inferiore all'80%	I soggetti dovevano eseguire i task descritti successivamente, nell'ordine citato. Questi partivano con appoggio bipodalico a circa 75-95 cm dalla piattaforma di forza. Dovevano eseguire i seguenti task: - Salto bipodalico cercando di raggiungere la massima altezza - Salto a gamba singola sulla piattaforma di forza e immediatamente dopo uno salto in direzione laterale a 90°, dal lato non esaminato. - Salto e atterraggio bipodalico laterale dal lato in esame.	I dati sul movimento sono stati raccolti utilizzando 12 telecamere ad alta velocità (240 Hz). I marcatori singoli sono stati posizionati bilateralmente sui punti di riferimento anatomici dei partecipanti. I dati sulla forza di reazione al suolo sono stati raccolti utilizzando una pedana di forza a terra, posta sul pavimento del laboratorio di biomeccanica. Per l'analisi del movimento, è stato raccolto e analizzato l'intero tempo di contatto con il suolo, dal contatto iniziale al toe-off. I dati EMG sono stati raccolti in modo sincrono attraverso il software di analisi del movimento utilizzando elettrodi di superficie wireless. Gli elettrodi sono stati posizionati su TA, PL, MG, Medio Gluteo e Grande Gluteo.	Aumento della forza di reazione al suolo (GRF) posteriore e verticale durante l'atterraggio iniziale.	I soggetti CAI hanno mostrato un angolo di dorsiflessione inferiore durante il landing, rispetto al gruppo controllo. Inoltre, mostrano una flessione di anca e di ginocchio maggiore rispetto ai controlli durante i task richiesti. Infine, è risultato un maggior angolo di inversione di caviglia durante l'atterraggio iniziale e il cambio di direzione finale e una maggiore adduzione dell'anca a metà atterraggio durante il cambio direzione.	Nei soggetti CAI è risultata maggiore attivazione del Peroneo Lungo nella fase successiva all'atterraggio, mentre, nella fase del landing vero e proprio, questa risultava minore rispetto ai controlli sani. Infine, si è registrata una maggiore attività del medio gluteo durante la fase di transizione dall'atterraggio al cambio di direzione.	I risultati suggeriscono strategie di movimento alterate durante l'atterraggio da un salto nei soggetti CAI, dove i pazienti utilizzano le articolazioni più prossimali con una maggiore attivazione muscolare per compensare l'instabilità della caviglia, nel tentativo di ridurre la forza di impatto al suolo.
				100 soggetti controlli sani (M 54 F 46)	1. Punteggio del 100% nelle FAAM ADL e FAAM SPORT 2. Nessuna distorsione di caviglia nella vita 3. Nessuna lesione MSK acuta agli arti inferiori negli ultimi 3 mesi 4. Nessun intervento chirurgico e/o frattura agli AAIL nella vita.						

Tabella 3

3.4 Risultati della valutazione Qualitativa degli Studi

Di seguito le tabella riassuntive della valutazione qualitativa degli studi Cross Sectional, e Caso-Controllo tramite il JBI Critical Appraisal Checklist, rispettivamente per studi Cross-Sectional (Tab 4) e studi Caso-Controllo. (Tab 5)

	<i>Jan-Zhi (2019)</i>	<i>Gabriel Moisan (2022)</i>	<i>Oron Levil (2015)</i>	<i>Tayaka Watabe (2022)</i>	<i>Matthew C. Hoch (2015)</i>	<i>Kim (2019)</i>
1. Were the criteria for inclusion in the sample clearly defined?	YES	YES	YES	YES	YES	YES
2. Were the study subjects and the setting described in detail?	YES	YES	YES	YES	YES	YES
3. Was the exposure measured in a valid and reliable way?	YES	YES	YES	YES	YES	YES
4. Were objective, standard criteria used for measurement of the condition?	YES	YES	YES	YES	YES	YES
5. Were confounding factors identified?	NO	YES	YES	YES	NO	NO
6. Were strategies to deal with confounding factors stated?	NO	YES	YES	UNCLEAR	NO	NO
7. Were the outcomes measured in a valid and reliable way?	YES	YES	YES	YES	YES	YES
8. Was appropriate statistical analysis used?	YES	YES	YES	YES	YES	YES

Tabella 4

	McCan (2019)	Delahunt (2006)	Simpson (202)
1. <i>Were the groups comparable other than the presence of disease in cases or the absence of disease in controls?</i>	YES	YES	YES
2. <i>Were cases and controls matched appropriately?</i>	YES	YES	YES
3. <i>Were the same criteria used for identification of cases and controls?</i>	YES	YES	YES
4. <i>Was exposure measured in a standard, valid and reliable way?</i>	YES	YES	YES
5. <i>Was exposure measured in the same way for cases and controls?</i>	YES	YES	YES
6. <i>Were confounding factors identified?</i>	NO	NO	NO
7. <i>Were strategies to deal with confounding factors stated?</i>	NO	NO	NO
8. <i>Were outcomes assessed in a standard, valid and reliable way for cases and controls?</i>	YES	YES	YES
9. <i>Was the exposure period of interest long enough to be meaningful</i>	YES	YES	YES

10. Was appropriate statistical analysis
used?

YES

YES

YES

Tabella 5

4. Discussione

4.1 Sintesi dei risultati principali

Questo lavoro di tesi ha revisionato studi che indagavano la biomeccanica degli arti inferiori durante l'atterraggio da un salto in soggetti con instabilità cronica di caviglia (CAI). In particolare, gli studi presi in esame analizzavano le seguenti misure di outcome: la cinetica, la cinematica e l'attività muscolare (EMG) degli arti inferiori, durante il task motorio del landing, in diverse condizioni. Principalmente sono stati analizzati i seguenti tipi di atterraggio: landing bilaterale a terra, landing a terra e su ostacolo rialzato a gamba singola, landing a gamba singola da salto laterale e landing su superficie instabile o inclinata.

Tutti gli studi sono stati condotti su una popolazione di adulti giovani e fisicamente attivi.

I risultati emersi da questa revisione sistematica, supportano l'ipotesi che i soggetti con instabilità cronica di caviglia dimostrino un'alterata biomeccanica degli arti inferiori durante la fase di atterraggio da un salto.

Per quanto riguarda l'analisi della cinetica, i principali risultati ottenuti comprendono le forze di reazione al suolo (GRF): parametro che risulta aumentato nei soggetti CAI.

L'aumento delle forze di reazione al suolo potrebbe essere interpretato come la conseguenza dell'instabilità meccanica della caviglia che riduce la capacità del soggetto di controllare la risposta, il controllo e l'assorbimento del carico durante l'atterraggio. Un controllo neuromuscolare insufficiente del complesso piede-caviglia nella fase di contatto, durante un compito dinamico, quale è il landing, può comportare un controllo inefficiente del task motorio stesso e un adattamento inadeguato al peso corporeo degli stessi soggetti CAI.²⁴

La forza di reazione al suolo aiuta a prevedere il carico articolare interno e il suo aumento rende maggiore la forza d'impatto trasmessa all'articolazione della caviglia e di conseguenza all'articolazione del ginocchio, che verrà analizzata in seguito.

Una delle motivazioni principali di questa alterazione cinetica, relativa alla forza di reazione al suolo, trova anche una sua spiegazione correlata alla cinematica.

Infatti, come analizzato nello studio di Matthew C. Hoch (2015), i soggetti CAI, durante il landing, presentano ROM in dorsiflessione significativamente minore rispetto ai controlli sani.²⁵

La dorsiflessione della caviglia svolge un ruolo primario nella biomeccanica dell'atterraggio: una maggiore dorsiflessione durante il task motorio del landing è stata associata a una maggiore flessione dell'anca e del ginocchio e a forze di reazione del terreno (GRF) inferiori, nei controlli sani.

Invece, i soggetti con CAI che mostravano appunto un minore ROM in dorsiflessione, presentavano anche maggiori forze di reazione al suolo (GRF), oltre che una postura di atterraggio più "eretta" (con minore flessione di anca e ginocchio), soprattutto nei landing unilaterali.

Di conseguenza, la quantità disponibile di ROM in dorsiflessione, può influenzare la funzione non solo della caviglia ma anche delle strutture prossimali degli arti inferiori.

Ancora più importante, il deficit in dorsiflessione può limitare la capacità di raggiungere pienamente la closed packed position durante le attività dinamiche, fondamentale per la stabilità della caviglia stessa. È inoltre emerso che sia gli atleti CAI che quelli coper presentano una maggiore eversione della caviglia al contatto iniziale; questo probabilmente è un adattamento per cercare di evitare una posizione di atterraggio rischiosa, limitando gli angoli di inversione della caviglia.²⁶

Infine, sempre riguardo alla flessione dorsale, in uno studio è stato dimostrato che i soggetti CAI raggiungono la loro dorsiflessione massima in un momento successivo rispetto ai controlli sani, iniziando il landing con l'articolazione della caviglia in una posizione ancora vulnerabile.²⁷

Di conseguenza, tutti questi fattori, possono facilitare episodi di cedimento della caviglia e possibili LAS ricorrenti.

Inoltre, la scarsità di controllo neuromuscolare e la limitazione del ROM nell'articolazione tibio-tarsica nei soggetti CAI, può, in alcuni casi, portare ad un'altra conseguenza osservata nello studio di Oron Levill (2015).

In questo studio, sono state analizzate, insieme ai parametri cinematici e di attività muscolare, le risposte riflesse e l'attività anticipatoria degli arti inferiori nei soggetti

CAI, durante il landing con appoggio bilaterale. Da questo è emerso come nella fase iniziale dell'atterraggio i soggetti CAI abbiano un'aumentata attività anticipatoria nei loro muscoli distali (soprattutto Peroneo Lungo, Tibiale Anteriore e capo mediale del Gastrocnemio) nel lato controlaterale, in cui, oltre a questi due, è stata osservata anche un'aumentata attività muscolare anticipatoria del Medio Gluteo. Tali attivazioni potrebbero essere significative poiché, probabilmente, implicano un aumento della ricerca di controllo dell'equilibrio, attivando anticipatoriamente la muscolatura responsabile del movimento della caviglia non interessata.²⁸

Invece, nel lato affetto da instabilità di caviglia, è stata riscontrata una minore attivazione del Peroneo Lungo nella fase del pre-atterraggio e del landing vero e proprio, che invece risultava maggiore nella fase immediatamente successiva al contatto con il suolo. Questo rende nuovamente i soggetti CAI a rischio di incorrere in una distorsione, poiché l'attività muscolare pre-landing dei muscoli peronei è necessaria e fondamentale per fornire un'adeguata stabilizzazione dell'articolazione e prevenire una possibile lesione in inversione.

La differenza di attivazione muscolare del Peroneo Lungo risulta più accentuata negli atterraggi su superfici instabili e/o inclinate.²⁹

La potenziale causa della riduzione dell'attivazione muscolare di questo muscolo potrebbe trovare la sua spiegazione nella diminuzione dell'eccitabilità corticospinale del muscolo stesso e nella soppressione dell'attività dei motoneuroni gamma, responsabili dell'attivazione dei fusi muscolari, i principali responsabili della propriocezione e di conseguenza necessari nel controllo dell'equilibrio e nella corretta biomeccanica durante compiti dinamici.³⁰

Dagli studi è risultato chiaro come l'instabilità cronica di caviglia crei alterazioni biomeccaniche non solo a livello dell'articolazione tibio-tarsica, ma dell'intero distretto degli arti inferiori. Infatti, da diversi studi che prendevano in esame landing bilaterali, è emersa una minore attivazione muscolare del muscolo Medio Gluteo nei soggetti CAI nell'arto affetto da instabilità di caviglia, soprattutto nella fase immediatamente successiva al landing. A questo, si aggiunge una maggiore rigidità dell'articolazione dell'anca rispetto al gruppo di controllo, una minore abduzione dell'anca durante l'atterraggio e una minore forza di rotazione esterna dell'anca.

Le strategie di movimento dell'anca alterate dei soggetti CAI sono, potenzialmente, il risultato di cambiamenti e adattamenti del sistema nervoso centrale, in seguito a una lesione articolare periferica e anche queste contribuiscono, rendendo meno stabile ed efficiente il landing, il verificarsi di possibili lesioni ricorrenti.

Inoltre, diversi studi hanno mostrato la presenza di una ridotta flessione del ginocchio nei soggetti CAI durante i compiti di landing, in particolare nell'atterraggio su una gamba sola. La riduzione della flessione del ginocchio durante l'atterraggio può predisporre a lesioni secondarie del ginocchio. Infatti, il ginocchio contribuisce alla dissipazione dell'energia prodotta durante il landing, tramite l'impatto con il suolo. Venendo meno questa dissipazione, anche l'articolazione del ginocchio subisce forze di impatto compressive maggiori.³¹

4.2 Limiti

Nonostante tra gli studi inclusi non vi siano studi di bassa qualità o molto bassa, in questa revisione sono comunque presenti alcuni limiti.

Primo fra tutti, l'eterogeneità dei task di landing richiesti nei diversi studi. Infatti, nonostante questo possa dare una visione più ampia sul tema, sarebbe più accurata un'analisi rivolta a studi che prendono in esame il medesimo task motorio, nelle stesse condizioni. Inoltre, anche all'interno dello stesso tipo di attività di atterraggio, i protocolli di salto non erano standardizzati. La standardizzazione dei protocolli di salto per la ricerca futura consentirà una migliore omogeneità e possibilità di confronto tra gli studi.

Inoltre, questa revisione comprendeva studi caso-controllo e cross-sectional che limitano le inferenze sulla causalità e influenzano il livello di evidenza. Infine, non si è in grado di spiegare la relazione temporale tra le alterazioni biomeccaniche analizzate e la lesione iniziale alla caviglia. Infatti, questi risultati potrebbero essere stati presenti prima della lesione iniziale della caviglia, predisponendo gli individui con instabilità cronica di caviglia a distorsioni laterali ricorrenti. In alternativa, queste differenze nella biomeccanica dell'atterraggio potrebbero essere state una conseguenza dello sviluppo del CAI. Pertanto, sono necessari futuri studi di coorte

per accertare la relazione temporale, confrontando i modelli di atterraggio negli individui prima e dopo lo sviluppo del CAI.

5. Conclusione

Alla luce dei risultati ottenuti dall'analisi effettuata, la quale aveva come obiettivo quello di indagare le alterazioni biomeccaniche nell'atterraggio da un salto in soggetti con instabilità cronica di caviglia, è emerso che sono presenti alterazioni per ciò che riguarda la cinetica, la cinematica e l'attività muscolare degli arti inferiori. Nonostante i limiti presenti in questa revisione, i seguenti sono i principali risultati ottenuti.

Nei soggetti CAI è stata riscontrata una riduzione del ROM in dorsiflessione di caviglia, con conseguente atterraggio caratterizzato da diminuita flessione di ginocchio e anca, condizione che riduce l'ammortizzamento delle forze di reazione al suolo (GRF) durante l'atterraggio, rendendo più instabile il task dinamico preso in esame.

Inoltre, è stata riscontrata una riduzione dell'attività muscolare pre-landing del muscolo Peroneo Lungo nella caviglia affetta da CAI; questo rende nuovamente i soggetti CAI a rischio di incorrere in una distorsione, poiché l'attività muscolare pre-landing nei muscoli peronei è necessaria per fornire un'adeguata stabilizzazione dell'articolazione.

Infine, è stato osservato un aumento dell'attività muscolare dei muscoli Peroneo Lungo, Tibiale Anteriore e Medio Gluteo sul lato non affetto da CAI. Questo, probabilmente, rappresenta un aumento della ricerca di controllo dell'equilibrio, attivando anticipatoriamente la muscolatura responsabile del movimento della caviglia non interessata.

Lo studio fornisce prove preliminari di un'alterata biomeccanica di atterraggio in soggetti CAI. Questi risultati possono avere implicazioni cliniche per lo sviluppo di programmi di riabilitazione più efficaci e mirati per i pazienti con CAI.

BIBLIOGRAFIA

1. Delahunt E, Coughlan GF, Caulfield B, Nightingale EJ, Lin CW, Hiller CE. Inclusion criteria when investigating insufficiencies in chronic ankle instability. *Med Sci Sports Exerc.* 2010 Nov;42(11):2106-21. doi: 10.1249/MSS.0b013e3181de7a8a. PMID: 20351590.
2. Gribble PA, Delahunt E, Bleakley C, et al. Selection criteria for patients with chronic ankle instability in controlled research: a position statement of the international ankle consortium. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2013; 43:585–591.
3. Amendola A. 2002, Drosdewech D. Tendon and ligament disorders of the foot and ankle, in: C. Bulstrode (Ed.) et al. *Oxford textbook of orthopaedics and trauma*, Vol. 2 Oxford University Press, New York. 2002;1305-1314.
4. Brent Brotzman S, Manske RC, Pillastrini P. *La riabilitazione in ortopedia*. Terza edizione. Milano: Edra Masson; 2014
5. Yeung, M.S., Chan, K.M., So, C.H., & Yuan, W.Y. (1994). An epidemiological survey on ankle sprain. *British Journal of Sports Medicine*, 28, 112 - 116.
6. Hertel J. Functional Anatomy, Pathomechanics, and Pathophysiology of Lateral Ankle Instability. *J Athl Train.* 2002 Dec;37(4):364-375. PMID: 12937557; PMCID: PMC164367.
7. Takumi Kobayashi, Tomoya Takabayashi, Shintarou Kudo, Mutsuaki Edama. The prevalence of chronic ankle instability and its relationship to foot arch characteristics in female collegiate athletes, *Physical Therapy in Sport*, Volume 46, 2020, Pages 162-168, ISSN 1466-853X, <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2020.09.002>.
8. Gribble PA, Delahunt E, Bleakley C, et al. Selection criteria for patients with chronic ankle instability in controlled research: a position statement of the International Ankle Consortium. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2013;43(8):585-591. doi:10.2519/jospt.2013.0303
9. Bosien WR, Staples OS, Russel SW. Residual disability following acute ankle sprains. *J Bone Joint Surg Am* 1955; 37:1237—43.

10. Buchanan AS, Docherty CL, Schrader J. Functional performance testing in participants with functional ankle instability and in a healthy control group. *J Athl Train.* 2008; 43:342–346
11. Hiller CE, Kilbreath SL, Refshauge KM. Chronic ankle instability: evolution of the model. *J Athl Train.* 2011 Mar-Apr;46(2):133-41. doi: 10.4085/1062-6050-46.2.133. PMID: 21391798; PMCID: PMC3070500 59
12. Loudon JK, Santos MJ, Franks L, Liu W. The effectiveness of active exercise as an intervention for functional ankle instability: a systematic review. *Sports Med.* 2008;38(7):553-63. doi: 10.2165/00007256-200838070-00003. PMID: 18557658.
13. Biomeccanica del salto – Leggi fisiche e modello tecnico (Prof. Benazzi) A.A. 2004/2005 (Università Bologna).
14. Baus J, Harry JR, Yang J. Jump and Landing Biomechanical Variables and Methods: A Literature Review. *Crit Rev Biomed Eng.* 2020;48(4):211-222. doi:10.1615/CritRevBiomedEng.2020034795.
15. Self BP, Paine D. Ankle biomechanics during four landing techniques. *Med Sci Sports Exerc.* 2001;33(8):1338-1344. doi:10.1097/00005768-200108000-00015.
16. Theisen A, Day J. Chronic Ankle Instability Leads to Lower Extremity Kinematic Changes During Landing Tasks: A Systematic Review. *Int J Exerc Sci.* 2019;12(1):24-33. Published 2019 Jan 1.
17. Gribble PA, Delahunt E, Bleakley C, et al. Selection criteria for patients with chronic ankle instability in controlled research: a position statement of the International Ankle Consortium. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2013;43(8):585-591. doi:10.2519/jospt.2013.0303
18. Joanna Briggs Institute 2017 Critical Appraisal Checklist for Analytical Cross Sectional Studies (jbi.global)
19. Higgins, Julian PT, The Cochrane Collaboration's tool for assessing risk of bias in randomised trials – BMJ 2011/10/18, doi: 10.1136/bmj.d5928
20. Hubbard-Turner T. Lack of Medical Treatment From a Medical Professional After an Ankle Sprain. *J Athl Train.* 2019;54(6):671-675. doi:10.4085/1062-6050-428-17

21. Doherty C, Bleakley C, Delahunt E, Holden S. Treatment and prevention of acute and recurrent ankle sprain: an overview of systematic reviews with meta-analysis. *Br J Sports Med*. 2017;51(2):113-125. doi:10.1136/bjsports-2016-096178
22. Hertel J. Functional Anatomy, Pathomechanics, and Pathophysiology of Lateral Ankle Instability. *J Athl Train*. 2002;37(4):364-375.
23. Gribble PA, Delahunt E, Bleakley C, et al. Selection criteria for patients with chronic ankle instability in controlled research: a position statement of the International Ankle Consortium. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2013;43(8):585-591. doi:10.2519/jospt.2013.0303
24. De Ridder R, Willems T, Vanrenterghem J, Robinson MA, Palmans T, Roosen P. Multi-segment foot landing kinematics in subjects with chronic ankle instability. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2015;30(6):585-592. doi:10.1016/j.clinbiomech.2015.04.001
25. Hoch MC, Farwell KE, Gaven SL, Weinhandl JT. Weight-Bearing Dorsiflexion Range of Motion and Landing Biomechanics in Individuals With Chronic Ankle Instability. *J Athl Train*. 2015 Aug;50(8):833-9. doi: 10.4085/1062-6050-50.5.07. Epub 2015 Jun 11. PMID: 26067428; PMCID: PMC4629940.
26. Lin JZ, Lin YA, Lee HJ. Are Landing Biomechanics Altered in Elite Athletes with Chronic Ankle Instability. *J Sports Sci Med*. 2019;18(4):653-662. Published 2019 Nov 19.
27. Delahunt E, Monaghan K, Caulfield B. Ankle function during hopping in subjects with functional instability of the ankle joint. *Scand J Med Sci Sports*. 2007;17(6):641-648. doi:10.1111/j.1600-0838.2006.00612.x
28. Levin O, Vanwanseele B, Thijsen JR, Helsen WF, Staes FF, Duysens J. Proactive and reactive neuromuscular control in subjects with chronic ankle instability: evidence from a pilot study on landing. *Gait Posture*. 2015;41(1):106-111. doi:10.1016/j.gaitpost.2014.09.005.
29. Gabriel Moisan, Camille Mainville, Martin Descarreaux, Vincent Cantin; Lower Limb Biomechanics During Drop-Jump Landings on Challenging Surfaces in Individuals With Chronic Ankle Instability. *J Athl Train* 1

November 2022; 57 (11-12): 1039–1047. doi: <https://doi.org/10.4085/1062-6050-0399.21>

30. Gribble, P. and Robinson, R. (2010), Differences in spatiotemporal landing variables during a dynamic stability task in subjects with CAI. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 20: e63-e71. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2009.00899.x>
31. John D Childs, Patrick J Sparto, G.Kelley Fitzgerald, Mario Bizzini, James J Irrgang, Alterations in lower extremity movement and muscle activation patterns in individuals with knee osteoarthritis, *Clinical Biomechanics*, Volume 19, Issue 1, 2004, Pages 44-49, ISSN 0268-0033, <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2003.08.007>.