



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

CORSO DI LAUREA IN FISIOTERAPIA

PRESIDENTE: *Ch.ma Prof.ssa Veronica Macchi*

TESI DI LAUREA

LA RIABILITAZIONE DELL'INSTABILITÀ CRONICA DI CAVIGLIA: RUOLO ED EFFICACIA DEGLI ESERCIZI PLIOMETRICI. REVISIONE DELLA LETTERATURA

(THE REHABILITATION OF THE CHRONIC ANKLE INSTABILITY: ROLE ED EFFICACY
OF THE PLYOMETRIC EXERCISES. REVIEW OF THE LITERATURE)

Relatore: Dott. Mag. Ft. Giovanni Volpe

LAUREANDO: Riccardo Lazzarato

Anno Accademico 2021-2022

ABSTRACT

Obiettivo: L'obiettivo del qui presente studio è verificare attraverso una revisione della letteratura scientifica gli effetti della pliometria in soggetti atleti, affetti da instabilità di caviglia (CAI) dal punto di vista terapeutico.

Introduzione. L'instabilità di caviglia è una condizione che si manifesta nel 40-50% dei casi in soggetti che hanno sofferto di distorsione laterale (LAS). Si tratta di una mancata stabilità dell'articolazione tibio-astragalica causata principalmente dal danno lesivo alle strutture percettive a livello dell'articolazione che provocano una serie di sintomi, come il deficit di forza, deficit di sensibilità propriocettiva, deficit di controllo posturale che facilitano, così, la ricorrenza di distorsioni e di conseguenza costringendo l'atleta ad allontanarsi dall'attività agonistica per un intervallo di tempo maggiore.

Materiali e metodi: La ricerca è stata condotta analizzando la letteratura scientifica nei database di PubMed, PEDro, Cinhal inserendo e combinando correttamente i MESH terms con gli operatori booleani AND e OR. Gli studi dovevano rispettare i criteri di inclusione: (I) Descrivere un intervento con esercizio pliometrico che coinvolgesse l'arto inferiore; (II) Includere individui atleti con età maggiore di 17 anni; (III) Includere un allenamento o un non-allenamento nel gruppo controllo; (IV) includere studi pubblicati dopo il l'anno 2010;(V) Full-text in inglese.

Risultati e Discussione : Sono stati selezionati 6 studi e la ricerca ha visualizzato dei miglioramenti nel controllo posturale e nel mantenimento dell'equilibrio. Il cambiamento indotto dalla pliometria a livello di riprogrammazione dei pattern di movimento e dei sistemi di feedback e feedforward potrebbe favorire un aumento dell'equilibrio e un miglioramento nell'assunzione di posture più adatte a dissipare l'energia da impatto al suolo in dinamiche potenzialmente lesive per l'articolazione tibio-tarsica.

Conclusioni: Il lavoro di tesi si concentra in particolare sull'utilizzo della pliometria come trattamento, ma potrebbe essere usato come allenamento al fine della prevenzione. Dalla ricerca compiuta, non sono stati trovati molti studi che si concentrassero sull'instabilità di caviglia trattata con esercizio pliometrico. Per questo motivo lo studio vorrebbe incentivare studi futuri più approfonditi ed esaustivi. Inoltre, molti degli studi trovati analizzano un piano di allenamento che utilizza l'esercizio pliometrico combinato con altre tipologie di allenamento. Solo alcuni studi si sono focalizzati sull'allenamento pliometrico individuale.

Sarebbe utile capire i miglioramenti che quest'allenamento favorisce individualmente, ma anche verificare quale combinazione è più efficace per contrastare l'instabilità di caviglia.

Parole Chiave: “Plyometric training”, “ankle injuries” “ Joint instability”, “athletes”

ABSTRACT INGLESE

Purpose: The goal of this study is to verify in a review of the scientific literature the effects of plyometric training in athletes with chronic ankle instability (CAI) from a point of therapeutic view.

Introduction: The chronic ankle instability is a condition that the 40-50% of the individuals which had lateral ankle instability (LAS) will suffer. It's a lack of stability of the Tibio-Astragalic articulation caused by the damage of the proprioceptive's organs that are in it or near it. These damages provoke a series of symptoms like, deficit of force, deficit of proprioceptive sensibility, deficit of postural control. All these symptoms can cause the avoiding of the practicing and the gaming for the athlete.

Methods: The research has been conducted analyzing the scientific literature in the database of PubMed, PEDro, Cinhal adding and linking the MESH terms selected with the Boolean Operators like AND, OR. The studies were included if: (I) described a lower body Plyometric intervention;(II) included individuals who are athletes and >17 years; (III) included a training or non-training control group;(IV) included studies conducted after the year 2009; (V) Contained Full-text was written in English.

Results and Discussion: Six studies have been selected and the research allowed to check the improvements of the postural control and the maintaining of the balance. It seems that the plyometric exercises can promote a reorganization of movement's patterns and an improvement in the assumption of correct postures that can be very useful to absorb the impact's energy and so to prevent damages in the lower limb.

Conclusions: The focus of this study is to find evidence on the prevention and treatment of Ankle Instability with plyometric exercise. The research didn't find many studies that treat this topic from a physiotherapy point of view. For this reason this study wants to push the researchers to keep analyzing this topic to find some more evidence about the use of the plyometric exercise in the athlete's training or to start thinking how it can be integrated with other kinds of training to prevent and treat the CAI.

Key Words: "Plyometric training", "ankle injuries" " Joint instability", "athletes"

INTRODUZIONE

In questo studio si è deciso di analizzare la prevenzione dell'instabilità di caviglia trattata con esercizio pliometrico in soggetti sportivi affetti da distorsione di caviglia.

Lo scopo è cercare di approfondire l'utilità dell'esercizio pliometrico e suggerire un'integrazione di questo nelle schede di allenamento degli atleti.

Nel mondo sportivo, in particolare nel basket, pallavolo, calcio e tutti gli altri sport che prevedono cambi di direzione, contrasti e salti, la distorsione di caviglia è un problema ricorrente. Essendo il mondo sportivo una passione per milioni di persone, ma anche un business molto fruttuoso, la salute fisica dell'atleta è una condizione necessaria affinché si possa godere della "poesia in movimento" che incanta una quantità importante del pubblico mondiale e che favorisce un introito sostanzioso per le società sportive e non solo.

Con tali premesse si evince, quindi, essere necessario un intervento per cercare di prevenire e tutelare nella migliore modalità possibile la salute degli atleti e così evitare un allontanamento dalla competizione agonistica.

Come detto prima, un campo d'azione in cui questa prevenzione potrebbe rivelarsi decisamente valevole è la prevenzione delle distorsioni di caviglia e soprattutto della cronicizzazione del problema in instabilità che porterebbe a distorsioni ricorrenti. Infatti, stando ai dati di numerosi studi analizzati, tra il 40% e il 50% delle distorsioni di caviglia può sfociare in un problema cronico di instabilità. Il dato riportato fa intuire come il problema ricorrente possa influire sulla presenza alle partite e agli allenamenti, ma anche danneggiare la performance dell'atleta che rientra in campo dopo un infortunio di distorsione di caviglia.

Per le motivazioni riportate, la scienza si è adoperata per trovare una metodica di allenamento valida che potesse evitare degli interventi risolutivi non invasivi e prevenire direttamente il danno o quanto meno ridurlo.

Nelle banche dati di ricerca della libreria scientifica si possono trovare numerosi articoli inerenti la prevenzione e trattamento di questo problema. I trattamenti si avvalgono di diverse metodiche e si concentrano su alcuni aspetti in particolare che possano ipoteticamente essere la soluzione del problema. La maggior parte degli studi incentrati sull'instabilità cronica della caviglia ha utilizzato l'allenamento dell'equilibrio, l'allenamento dell'agilità e gli esercizi di rafforzamento.

Un'ulteriore tipologia di allenamento che potrebbe rivelarsi utile per la prevenzione e il trattamento dell'instabilità di caviglia è la pliometria.

La pliometria è una metodica di allenamento in cui gli esercizi svolti sono composti da una fase di rapido allungamento susseguita da una contrazione concentrica esplosiva.

Principalmente utilizzata come strategia per aumentare gesti atletici in cui è richiesta una buona dose di potenza (salto in lungo, salto in alto, scatto, lancio, ecc...), ma se l'allenamento pliometrico viene dosato e ragionato, inserendo delle accortezze da monitorare, potrebbe diventare una prevenzione per la stabilità articolare.

L'esercizio pliometrico è riconosciuto come una strategia efficace per l' "allenamento neuromuscolare reattivo" in quanto modifica il modello di reclutamento delle unità motorie e l'attività muscolare facilitando il sistema sensomotorio e aumentando l'eccitabilità dei recettori neurologici, migliorando così la reattività del sistema neuromuscolare.

La pliometria si avvale dello sfruttamento di alcuni meccanismi descritti in seguito che permettono un aumento dell'attività neuro-modulatoria, di sprigionamento della forza, propiocezione, equilibrio e stabilità articolare.

INDICE

CAPITOLO 1	7
1. ANATOMIA	7
1.1. Articolazione Tibiotarsica	7
1.2. Movimenti fisiologici della caviglia	8
CAPITOLO 2	9
2. EPIDEMIOLOGIA DISTORSIONE DI CAVIGLIA	9
2.1. Distorsioni laterali di caviglia (LAS)	9
2.2. Distorsioni di caviglia alta	9
2.3. Distorsioni mediali di caviglia	10
2.4. Cronicizzazione delle distorsioni laterali di caviglia	10
CAPITOLO 3	11
3. DIAGNOSI DISTORSIONE LATERALE DI CAVIGLIA	11
CAPITOLO 4	11
4. FATTORI DI RISCHIO	11
CAPITOLO 5	12
5. INSTABILITÀ DI CAVIGLIA	12
5.1. Alterazione biomeccanica	14
5.2. Instabilità di caviglia nel mondo NBA	15
CAPITOLO 6	16
6. PLIOMETRIA	16
CAPITOLO 7	17
7. STRETCH-SHORTENING CYCLE	17
7.1. Loading Phase	17
7.2. Coupling Phase	18
7.3. Unloading Phase	19
CAPITOLO 8	20
8. STABILITÀ ARTICOLARE	20
8.1. Strategie di assorbimento urti	20
CAPITOLO 9	23
9. TRATTAMENTO	23
9.1. Frequenza	23
9.2. Intensità	24
9.3. Volume	25
9.4. Recupero	25
9.5. Tecnica	26
9.6. Progressione	27

CAPITOLO 10	28
10. MATERIALI E METODI	28
10.1. Criteri d'inclusione	28
10.2. Criteri d'esclusione	28
CAPITOLO 11	30
11. RISULTATI	30
11.1. Effects of Plyometric and Balance Training on Neuromuscular Control of Recreational Athletes with Functional Ankle Instability: A Randomized Controlled Laboratory Study	30
11.2. Effect of Plyometric versus Ankle Stability Exercises on Lower Limb Biomechanics in Taekwondo Demonstration Athletes with Functional Ankle Instability	33
11.3. The Effects of Plyometric Type Neuromuscular Training on Postural Control Performance of Male Team Basketball Players	34
11.4. Eight Weeks of Plyometric Training Improves Ability to Change Direction and Dynamic Postural Control in Female Basketball Players	35
11.5. Lower Extremity Biomechanics in Athletes With Ankle Instability After a 6-Week Integrated Training Program	36
11.6. Plyometric Training Versus Resistive Exercises After Acute Lateral Ankle Sprain	38
CAPITOLO 12	38
12. DISCUSSIONE	38
CAPITOLO 13	44
13. CONCLUSIONI	44
CAPITOLO 14	46
14. BIBLIOGRAFIA	46

1. ANATOMIA

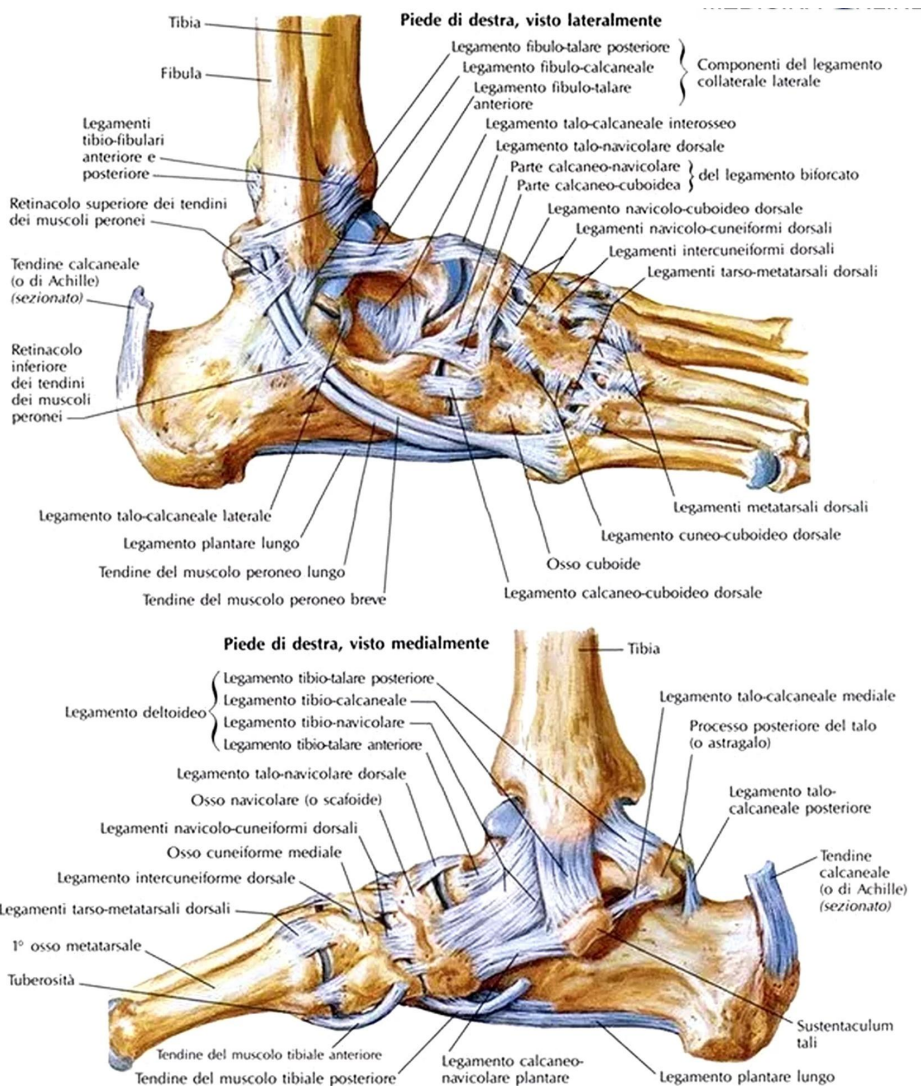
Articolazione tibiotarsica:

La tibiotarsica è un'articolazione a ginglino angolare che unisce la tibia e la fibula che formano una superficie concava, il mortaio tibio-fibulare, con la troclea del talo. Le superfici articolari sono costituite dalla faccia articolare inferiore della tibia e dalle facce articolari dei malleoli mediale e laterale. Il talo partecipa con la troclea e con le facce malleolari laterale e mediale.

Il malleolo laterale si porta più in basso rispetto a quello mediale.

Tibia e fibula sono unite dall'articolazione tibio fibulare distale in cui il malleolo laterale della fibula si articola con l'incisura fibulare della tibia. L'articolazione è rinforzata dai legamenti tibio-fibulari anteriore e posteriore.

Mezzi di unione dell'articolazione talocrurale sono rappresentati dalla capsula articolare e da legamenti di rinforzo. La capsula articolare si fissa sui contorni del mortaio tibio fibulare e sui margini della cartilagine articolare del talo; è più robusta sui lati dove è rinforzata da legamenti mentre è più sottile anteriormente e posteriormente.



I legamenti di rinforzo dell'articolazione sono i legamenti collaterali mediale e laterale ¹. Il legamento collaterale mediale (o deltoideo) è un robusto fascio fibroso di forma triangolare con l'apice fissato al malleolo mediale e la base che si inserisce alle ossa del tarso distribuendosi in quattro fasci distinti. Due fasci si portano anteriormente, sono la parte o legamento tibio-talare anteriore che raggiunge il collo del talo, e la parte tibio-navicolare che si inserisce alla faccia dorsale del navicolare. I due fasci posteriori sono la parte

tibiocalcaneale che si fissa al sustentacolo del talo del calcagno e la parte tibiotalare posteriore che si inserisce alla faccia mediale del talo.

Il legamento collaterale laterale origina dal malleolo laterale e si divide in tre legamenti: il legamento talofibulare anteriore si inserisce alla faccia laterale del talo, davanti alla faccia malleolare; il legamento calcaneofibulare si fissa alla faccia laterale del calcagno; il legamento talofibulare posteriore si inserisce al processo posteriore del talo.

Le articolazioni, i legamenti e i muscoli della caviglia e del piede hanno il compito di fornire stabilità e mobilità alle strutture terminali dell'arto inferiore. Durante la stazione eretta il piede deve sostenere il peso di tutto il corpo con un minimo dispendio energetico muscolare, oltre a ciò il piede deve essere flessibile o rigido a dipendenza delle diverse richieste funzionali, per assorbire le forze del corpo e assestarsi sulle superfici irregolari, o servire da leva per la propulsione durante la deambulazione (spingere il corpo in avanti).

L'arto inferiore è strutturalmente composto per trasmettere le forze di reazione del terreno dal piede verso l'alto, alle articolazioni del ginocchio e all'anca. Per questo è necessario che si adatti secondo le necessità per fornire stabilità o per consentire i movimenti della caviglia.

Movimenti fisiologici della caviglia:

I movimenti che avvengono attorno all'asse frontale (piano sagittale) sono la flessione dorsale e la flessione plantare. La flessione dorsale è un movimento in direzione dorsale che diminuisce l'angolo tra la gamba e il dorso del piede (ampiezza di movimento ca.30°), la flessione plantare invece è un movimento in direzione plantare (ampiezza di movimento ca. 30-50°). La conformazione anatomica dell'astragalo, più largo anteriormente che posteriormente spiega la differenza di escursione articolare tra la flessione dorsale (la parte anteriore dell'astragalo viene bloccata e si incastra contro la tibia) e la maggiore instabilità in flessione plantare (la parte posteriore dell'astragalo non è ben incastrata nella pinza malleolare). Il movimento di flesso-estensione viene svolto prevalentemente dall'articolazione tibio-tarsica (Kisner & Colby, 2013)².

I movimenti di supinazione e pronazione, nonché quelli di abduzione e adduzione avvengono invece prevalentemente nelle articolazioni sottoastragalica e mediotarsica, attorno all'asse di Henke, un asse obliquo, posizionato approssimativamente a 42° dal piano trasverso e a 16° dal piano sagittale. La supinazione è una rotazione del piede verso l'interno, con ampiezza di movimento intorno ai 50° mentre la pronazione è una rotazione esterna con ampiezza di movimento intorno ai 25-30°. Per abduzione si intende l'allontanamento del segmento dalla linea mediana del corpo (punta del piede in fuori) mentre per adduzione si intende l'avvicinamento verso la linea mediana (punta del piede in dentro).

(Kapandji, 2011)³. Per le caratteristiche morfologico-funzionali del piede questi movimenti sono raramente dei movimenti "puri" ma si associano spesso tra loro realizzando l'inversione (movimento combinato di flessione plantare, supinazione e adduzione) e l'eversione (movimento combinato di flessione dorsale, pronazione e abduzione) che consentono di adattare il piede a tutte le superfici di contatto ³.

2. EPIDEMIOLOGIA DISTORSIONE DI CAVIGLIA

La distorsione di caviglia è un evento traumatico che comporta la perdita temporanea dei rapporti articolari causando uno stress all'articolazione e alle strutture tissutali che la costituiscono. In particolare le strutture maggiormente colpite nelle lesioni distorsive sono la capsula e i legamenti: Peroneo Astragalico Anteriore (PAA), Peroneo Calcaneare (PC) e Peroneo Astragalico Posteriore (PAP), ovvero i legamenti del complesso laterale.

Infatti, le distorsioni laterali sono le più prevalenti, perché i tessuti capsulo legamentosi posti lateralmente sono meno resistenti e stabili rispetto ai mediali.

Distorsioni laterali di caviglia

Le distorsioni della caviglia laterale (LAS) sono le lesioni muscolo scheletriche più comuni, rappresentando circa il 10%-30% di tutte le lesioni atletiche.¹

Il meccanismo della distorsione laterale coinvolge la flessione plantare dell'astragalo e l'inversione sottoastragalica⁴. In questa posizione, la dimensione posteriore più stretta dell'astragalo si articola con il mortaio della caviglia e riduce la stabilità dell'articolazione tibio-astragalica. Il legamento astragalico anteriore (ATFL o PAA) è più comunemente costituito da due bande separate dai rami vascolari dell'arteria peroneale perforante. È strettamente correlato alla capsula articolare dal malleolo laterale al collo dell'astragalo laterale. Nella flessione plantare, l'ATFL è sottoposto al massimo stress ed è vulnerabile a lesioni se associata ad un movimento di inversione del piede. Nel 70%-85% delle LAS isolate si verifica la rottura del legamento PAA.^{5,6}

Il legamento calcaneofibulare (CFL o PCA) nasce dal malleolo laterale e scorre obliquamente verso un piccolo tubercolo sul calcagno laterale posteriore. È l'unico legamento laterale della caviglia a coprire sia l'articolazione astragalica che quella sottoastragalica.

è coinvolto dal 50% al 75% di tali lesioni

Il legamento astragalofibulare posteriore (PTFL o PAP) è il meno frequentemente danneggiato dei tre principali legamenti laterali della caviglia. Infatti, è coinvolto in meno del 10% delle LAS.

Il PTFL decorre posteriormente dal malleolo laterale all'astragalo ed è rilassato in flessione plantare e sollecitato in dorsiflessione.

I principali atleti che soffrono di distorsione praticano sport in cui si esercitano ripetutamente: balzi, cambi di direzione, contrasti con avversari, ecc...

Pertanto, sono più comuni nel calcio, nella pallacanestro, nella pallavolo e in tutti gli sport che comportano salti e balzi laterali.⁷

Distorsioni di caviglia alta

La distorsione della caviglia alta si riferisce alla lesione della sindesmosi della caviglia, che collettivamente comprende il legamento tibiofibulare anteriore-inferiore (AITFL)⁸, il legamento tibiofibulare posteriore-inferiore, il legamento interosseo e il legamento tibiofibulare trasverso. La sindesmosi della caviglia funziona per prevenire la separazione della tibia e del perone e per mantenere inalterata la struttura del mortaio tibio-peroneale e di conseguenza la stabilità

dell'articolazione tibio-talare. Le lesioni da sindesmosiche coesistono spesso con le distorsioni della caviglia mediale a causa del loro comune meccanismo di lesione. Una forte rotazione esterna con il piede in dorsiflessione fa sì che l'astragalo separi il perone dalla tibia, provocando lesioni alla sindesmosi. L'incidenza delle lesioni sindesmosiche varia dall'1% al 18%.

Distorsioni mediale di caviglia

Il complesso legamentoso deltoide (DLC) è il principale stabilizzatore legamentoso mediale della caviglia. Gli strati superficiali e profondi del DLC resistono rispettivamente alla rotazione esterna e alla traslazione laterale dell'astragalo. Gli strati superficiali e profondi forniscono entrambi la stabilizzazione contro la forza in valgo alla caviglia. I legamenti tibiotalari anteriori e posteriori comprendono lo strato profondo e sporgono dal malleolo mediale all'astragalo, mentre i legamenti tibionavicolare e tibiocalcaneale comprendono lo strato superficiale e si diffondono in un'ampia fascia a forma di ventaglio dal malleolo mediale all'astragalo, legamento primaverile e calcagno.

Le distorsioni della caviglia mediale si verificano con l'eversione forzata della caviglia e la rotazione esterna con conseguente interruzione e lesioni al DLC. In ambito atletico, questo infortunio si verifica in genere a seguito del contatto con un altro giocatore.

Lesioni che provocano la completa interruzione del DLC si verificano spesso in combinazione con distorsioni laterali della caviglia, lesioni da sindesmosi della caviglia, fratture di Maisonneuve e fratture del malleolo, che prolungano il recupero. Lesioni isolate solo allo strato superficiale del legamento deltoideo sono generalmente stabili alla rotazione e fanno presagire una buona prognosi per il recupero.

Cronicizzazione

Di fondamentale rilevanza statistica è la tendenza di un infortunio distorsivo laterale di caviglia nel cronicizzare in una condizione di instabilità. Infatti, tra il 40% e il 50% degli individui⁹ che subiscono una distorsione laterale della caviglia svilupperà sequele croniche, in quanto la perdita temporanea dei rapporti articolari delle articolazioni che compongono il compartimento della caviglia, può causare danni ai recettori articolari e alterare cronicamente il controllo motorio favorendo una recidiva della distorsione della caviglia, portando il soggetto a soffrire di instabilità funzionale di caviglia CAI e quindi a mostrare un'alterazione della cinematica articolare, del controllo neuromuscolare e perdita della propriocezione^{10,11}.

DIAGNOSI DISTORSIONE DI CAVIGLIA LATERALE

L'attuale gold standard diagnostico per le lesioni dei legamenti laterali della caviglia è un esame fisico post-infortunio, con un'attesa di 4-5 giorni per evitare la valutazione in fase acuta (che potrebbe inquinare i risultati), combinato con una radiografia secondo le regole di Ottawa (cioè un questionario convalidato che aiuta a definire la necessità di radiografia dopo distorsioni della caviglia) per l'esclusione di una frattura e la valutazione dell'allineamento della mortuaio.¹²

In clinica le distorsioni appaiono con segni come:

- Edema perimalleolare esterno
- Ematoma
- Dolore
- Impotenza funzionale

Sulla base della gravità clinica, le distorsioni della caviglia sono state classificate in grado I (lieve), grado II (moderato) e grado III (grave)¹³. La lesione di grado I comporta poco gonfiore e rigidità, perdita funzionale minima o nulla e nessuna instabilità meccanica dell'articolazione. Mentre la lesione di grado II presenta dolore moderato gonfiore delle strutture coinvolte; perdita di alcuni movimenti articolari con instabilità articolare da lieve a moderata; la lesione di grado III presenta una rottura completa dei legamenti con gonfiore marcato emorragia e rigidità, perdita di funzione, movimento articolare e instabilità.

FATTORI DI RISCHIO

La LAS (Distorsione Laterale di Caviglia) può avere gravi conseguenze per gli atleti infortunati in termini di costi di trattamento e tempo perso dallo sport¹⁴. Questa lesione può provocare problematiche transitorie, ma può presentare sintomi che sussistono a lungo termine e contribuiscono all'instabilità cronica della caviglia. Inoltre, fino al 70% dei casi^{15,16}, i sintomi da LAS sono persistenti e potrebbero indurre allo sviluppo precoce dell'artrite post-traumatica della caviglia. Secondo i rapporti, l'incidenza della distorsione della caviglia è compresa tra 0,324 e 9 persone per 1000 ore di attività. Il più alto tasso di distorsione della caviglia si verifica di solito in sport come basket, calcio e pallavolo. Gli studi dimostrano che l'incidenza di questa lesione diminuisce con l'età. Il tasso di incidenza di questa lesione è di 2,85/1000 esposizioni tra i bambini, 1,94/1000 esposizioni tra gli adolescenti e 0,72/1000 esposizioni tra gli adulti. Tuttavia, il picco di incidenza delle distorsioni della caviglia varia tra uomini e donne. È stato riportato che il picco di incidenza di questa lesione va da 10 a 14 anni nelle donne e da 15 a 19 anni negli uomini. Questo

tipo di lesione è associata a dolore prolungato, debolezza muscolare, instabilità cronica e osteoartrite della caviglia. Le distorsioni della caviglia di solito si verificano durante il passaggio dalla posizione scarica alla posizione caricata. L'inversione della caviglia e la flessione plantare sono i meccanismi più comuni di lesione del legamento laterale. Le distorsioni della caviglia si verificano principalmente a causa di uno sforzo sui piedi o sulle caviglie, causando lesioni ai legamenti laterali della caviglia (soprattutto distorsioni della caviglia laterali).

L'identificazione dei fattori di rischio di LAS è una priorità per ridurre la probabilità di insorgenza negli atleti. Gli studi hanno suggerito diversi potenziali fattori estrinseci e intrinseci per la suscettibilità al LAS. I principali fattori di rischio estrinseco sono il contatto diretto con un avversario, scarpe, giocare su erba artificiale. I potenziali fattori di rischio intrinseco ¹⁷ includono l'età, la cinematica dell'andatura alterata e la stabilità posturale, ridotta gamma di movimento della caviglia, diminuzione della forza e della propiocezione, tempo di reazione muscolare, precedenti distorsioni della caviglia, indice di massa corporea (BMI) e caratteristiche anatomiche (ad es. larghezza del piede aumentata).

A causa dell'elevata prevalenza di questo infortunio negli atleti e dei suoi effetti collaterali sulla salute e sulla vita atletica degli atleti, sarebbe utile identificare le persone a rischio di LAS. L'identificazione di queste persone e l'applicazione di interventi appropriati ridurrà il rischio di questo infortunio.

3. INSTABILITA' DI CAVIGLIA

Instabilità cronica della caviglia (CAI) è una condizione caratterizzata da episodi ripetuti o percezioni di cedimento della caviglia ; sintomi in corso come dolore, debolezza o ridotta gamma di movimento della caviglia (ROM); funzione autodichiarata ridotta; e distorsioni della caviglia ricorrenti che persistono per più di 6 mesi dopo l'infortunio iniziale ^{4,14,18}

In particolare l'instabilità di caviglia può presentare 3 condizioni derivanti dall'infortunio. I 3 fattori sono: instabilità percepita, instabilità meccanica e distorsione ricorrente. ^{14,19}

L'instabilità percepita è caratterizzata da una sensazione di "cedimento" vissuta a livello del complesso articolare della caviglia. Definita per la prima volta instabilità funzionale da Freeman nel 1965 , fino a quando dopo una serie di evoluzioni, Hiller et al. nel 2011 ha proposto che "instabilità percepita" dovrebbe essere il termine coerente utilizzato per descrivere questa misurazione soggettiva. Tale condizione può sussistere nel soggetto anche se, successivamente al trattamento fisioterapico ha riacquisito la stabilità funzionale.

La stabilità percepita è stata testata attraverso la somministrazione di questionari come il CAIT, che è composto da 9 domande, 1 sul dolore e 8 sull'instabilità percepita con un punteggio massimo di 30 punti possibili ⁷⁷

Un CAIT ≤ 24 è ormai considerato un criterio diagnostico di CAI ²⁰.

L'**instabilità meccanica** è una terminologia che indica una condizione in cui lesioni o alterazioni strutturali che fanno parte o agiscono a livello della caviglia, causano una condizione di stabilità precaria soprattutto in una fase di dinamicità. Per esempio la lassità del complesso capsulo-legamentoso è una condizione che altera la stabilità dell'articolazione caviglia e può essere valutata con i test del cassetto anteriore e/o il test di inclinazione dell'astragalo. Inoltre, è stato suggerito che le restrizioni artrocinematiche e l'ipomobilità della caviglia possono contribuire all'instabilità meccanica e potrebbero favorire in modo simile alla lassità legamentosa, allo sviluppo e alla progressione della CAI.

Importante notare che l'instabilità meccanica della caviglia è spesso valutata per segni di deterioramento strutturale nella fase acuta della lesione. Sebbene ciò fornisca una valutazione della gravità della lesione, il solo test della lassità meccanica in questo momento non fornisce un'indicazione di come il danno influenzerà l'individuo a lungo termine. Le misure a lungo termine dell'instabilità meccanica sono fondamentali per determinare se una lassità persistente predisponga la caviglia a distorsioni ricorrenti o ulteriori patologie.

Le **distorsioni ricorrenti** sono una condizione per la quale il soggetto vai incontro a distorsioni dopo il primo episodio distorsivo. Sarebbe, però, che tale problematica non sia associata e dipendente dalle due precedentemente descritte, in quanto si sostiene che anche senza la presenza di instabilità meccanica e/o percettiva si possono presentare in un individuo distorsioni ricorrenti.

Calcio, basket e pallavolo sono gli sport più rappresentati e l'infortunio/distorsione ricorrente alla caviglia è stato l'aspetto più segnalato del CAI.

Il calcio ha avuto la percentuale più alta di partecipanti con distorsione ricorrente (61%) e instabilità meccanica (38%), mentre l'atletica leggera ha avuto la percentuale più alta di partecipanti con instabilità percepita (41%). Le ginnaste avevano la più alta percentuale di caviglie con sintomi persistenti a seguito di una distorsione alla caviglia iniziale.¹⁸

L'instabilità di caviglia è conseguente a episodi di distorsione in quanto le fibre nervose afferenti nella capsula e nei legamenti del piede e della caviglia assorbono i riflessi che aiutano a stabilizzare il piede durante la locomozione, e quando il piede o la caviglia subiscono una distorsione si verifica una parziale deafferenziazione delle articolazioni danneggiate, quindi che la stabilizzazione riflessa del piede è compromessa e il piede tende a "cedere"²¹. Inoltre, i pazienti CAI non sono in grado di avere un senso di posizione articolare accurato e questa mancanza è potenzialmente pericolosa nelle attività dinamiche in cui il controllo articolare deve essere efficace altrimenti si rischia di posizionare i segmenti corporei in modo errato fino a subire un infortunio.¹⁴

Ad accompagnare il deficit sensitivo si combina l'astenia muscolare. In quanto si ipotizza che l'incapacità di percepire correttamente la posizione articolare provoca una ridotta capacità nella gestione dello schema di attivazione muscolare causando delle contrazioni con produzione di forza minore.^{22,23}

L'alterazione dello schema muscolare non coinvolge solo gli aspetti legati alla forza, ma come numerosi studi documentano, il meccanismo di attivazione muscolare nei pazienti con CAI suggeriscono che l'instabilità di caviglia possa provocare un deficit di controllo dell'equilibrio e

manca di una sequenza di attivazione muscolare efficace durante le attività dinamiche. Tutto ciò porta a prestazioni funzionali peggiori e kinesiophobia a causa del timore di ricadute.²⁴

Un'ulteriore problematica causata dalla CAI è il disallineamento degli arti inferiori. Recenti risultati di studi di addestramento di dati cinematici (movimento) e cinetici (forza) suggeriscono che il disallineamento degli arti inferiori è correlato a strategie di controllo neuromuscolare inefficienti.

Alterazione Biomeccanica nell'atterraggio

A causa delle alterazioni neuromuscoloscheletriche, sensitive e propriocettive post-distorsione sono state riscontrate in diversi studi delle modifiche indotte nella biomeccanica di atterraggio dei pazienti con CAI. Presumibilmente tali cambiamenti sono dovuti alla ricerca di una tutela delle strutture compromesse del distretto caviglia.

Gli adattamenti senso motori, comprese le alterazioni biomeccaniche, provocano nei pazienti CAI un atterraggio con flessione plantare rispetto alla norma^{25,26}.

Ulteriori alterazioni cinematiche sono state identificate durante compiti dinamici. Sono state osservate anche cinetiche alterate, comprese maggiori forze di reazione al suolo e velocità di carico in individui con CAI durante un'attività di atterraggio. Si ipotizza che queste alterazioni aumentino potenzialmente il rischio individuale di lesioni ricorrenti e degenerazione dell'articolazione della caviglia.

In uno studio del 2019²⁷ vengono analizzate le strategie di movimento della cinetica degli arti inferiori (GRF), della cinematica (angolo) e dell'attivazione dell'EMG (8 muscoli) con un campione di grandi dimensioni (totale 200 soggetti) durante l'atterraggio con salto multiplanare/ compito di taglio.

I risultati principali di questo studio sono stati che i pazienti con CAI hanno mostrato

- Meno dorsiflessione e più angoli di flessione del ginocchio e dell'anca durante la maggior parte della fase di appoggio dell'attività di atterraggio. Condizione che come visto in precedenza è un fattore di rischio intrinseco di distorsione, in quanto la fase eccentrica della flessione plantare sarà sicuramente ridotta e così la possibilità di ammortizzare gli urti. Queste restrizioni osteocinematiche possono anche essere causate da delle alterazioni a livello articolare. Infatti, sono state visualizzate delle anomalie nello scorrimento antero-posteriore dell'astragalo sulla tibia e associate a una limitata dorsiflessione dell'articolazione tibio-astagalica conseguentemente a LAS e CAI.^{28,29} Un ulteriore problema è il movimento reciproco di perone e tibia distale. Un numero sostanzioso di pazienti ha dimostrato lo spostamento anteriore del perone distale rispetto alla tibia e la

relativa restrizione dello scorrimento all'interno del mortaio astragalico che diviene più stretto.^{30,31}

- Aumento dell'angolo d'inversione durante l'atterraggio iniziale e il taglio nel salto controlaterale. I pazienti CAI hanno mostrato fino a 2,4° in più di inversione di caviglia durante l'atterraggio iniziale. La lesione del LAS spesso deriva dall'eccessiva inversione quando il momento di inversione è maggiore del momento di eversione del muscolo peroniero lungo e dei legamenti laterali della caviglia durante un'operazione di atterraggio e taglio. Secondo uno studio precedente, analizzando un LAS accidentale in un ambiente di laboratorio, il COP è stato posizionato di circa 2 cm più lateralmente sulla pianta del piede, che ha coinciso con un rapido aumento dell'angolo di inversione all'iniziale contatto con il suolo dell'attività di taglio del gradino laterale. I pazienti CAI hanno anche mostrato una traiettoria COP più deviata lateralmente durante l'andatura.
- Maggior attivazione EMG dei muscoli MG, PL, AL, VL e Gmax durante l'atterraggio iniziale, e meno PL e più Gmed EMG attivazione durante la fase di transizione dall'atterraggio al taglio.
- Aumento del GRF posteriore e verticale durante l'atterraggio iniziale e GRF mediale, posteriore e verticale ridotto durante l'atterraggio centrale e il taglio intermedio

INSTABILITA' NEL MONDO DELLA NBA

Prendendo come esempio il mondo del basket si è notato come la distorsione di caviglia sia un problema che affligge in prima persona i giocatori, ma anche squadre e società che si vedono private dei loro individui nel corso della stagione.

Infatti, stando a quanto riportato dallo studio di Herzog MM, Mack CD, Dreyer NA, et al,³² il 26% dei giocatori NBA incorrono in una distorsione di caviglia con il rischio che l'atleta sia costretto a saltare più di una partita, pari all'incirca del 13,6%. Circa 1 giocatore NBA su 4 ha subito almeno 1 distorsione alla caviglia ogni stagione, portando a una media stagionale di quasi 200 distorsioni alla caviglia segnalate nella NBA. Tra questi infortuni, il 44% ha portato il giocatore a non essere presente una partita NBA successiva e l'effetto cumulativo è stato di 1467 partite perse dovute a infortuni distorsivi alla caviglia verificati in 4 stagioni (una media di circa 370 partite giocatore perse a stagione)³³.

Inoltre ciò che più è rilevante, al fine della stesura della tesi in questione, è il tasso di incidenza della distorsione alla caviglia nelle partite era del 41% più alto tra i giocatori con una storia di distorsione della caviglia nell'ultimo anno rispetto a quelli senza una storia di distorsione di caviglia nell'ultimo anno. Di conseguenza gli atleti della pallacanestro che hanno subito una distorsione laterale in passato sono più facilmente suscettibili d'esser colpiti da distorsione ricorrente

Il mondo del basket non è l'unico ad essere colpito dalla grande incidenza di questi infortuni, ma come già detto in precedenza sono gli sport in cui regna la dinamica del salto e del cambio di direzione che ne sono più affetti.

Per i dati forniti si ritiene, dunque, necessario ricercare e costruire un programma ideale e adeguato per prevenire la manifestazione di distorsione di caviglia e soprattutto la cronicizzazione del problema.

4. PLIOMETRIA

La pliometria è una metodica di allenamento in cui gli esercizi sono definiti come una contrazione eccentrica immediatamente susseguita da una contrazione concentrica esplosiva.

L'allenamento pliometrico prevede una serie di movimenti a ciclo di allungamento e accorciamento (SSC) ripetuti di vari complessi muscolo-tendinei che rientrano in diverse tipologie di esercizi di salto, come: salti in caduta, salti in contromovimento, salti in accovacciata, saltelli, ecc...³⁴

L'esercizio pliometrico è riconosciuto come una strategia efficace per "l'allenamento neuromuscolare reattivo" in quanto modifica il modello di reclutamento delle unità motorie e l'attività muscolare, facilitando il sistema sensomotorio aumentando l'eccitabilità dei recettori neurologici, migliorando così la reattività del sistema neuromuscolare.³⁵

La pliometria si avvale dello sfruttamento dello stretch-shortening-cycle, in cui rientrano meccanismi di immagazzinamento di energia elastica, adattamento degli organi tendinei del golgi e sfruttamento dello stretch-reflex.

Il riflesso da stiramento viene avviato durante la fase di carico eccentrico e può facilitare un maggiore reclutamento di unità motorie durante la successiva contrazione concentrica³⁶.

Le fibre del tessuto connettivo disposte in serie e in parallelo nel muscolo immagazzinano anche energia, che può generare forza aggiuntiva se un muscolo si contrae rapidamente dopo un allungamento.

Infine, pare che gli organi tendinei del Golgi, i quali hanno solitamente una funzione protettiva contro gli eccessivi carichi di trazione nel muscolo, dopo l'allenamento pliometrico, vadano incontro a desensibilizzazione, permettendo alle componenti elastiche dei muscoli di subire un maggiore allungamento e così sprigionare un quantitativo di forza maggiore.³⁷

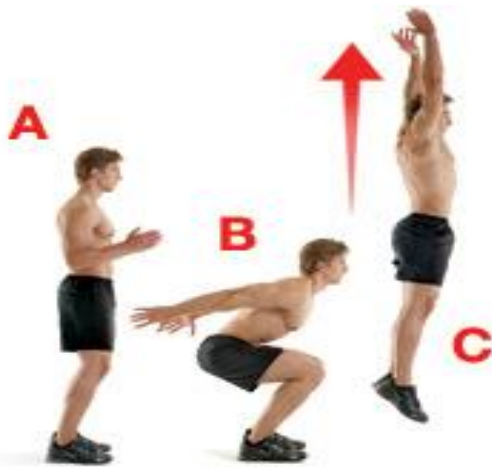
Quando il riflesso di stiramento e l'energia elastica immagazzinata si combinano, si crea una forza concentrica più potente.

L'aumento di forza e di resistenza permesso da questi meccanismi instaurati dal ciclo di allungamento e contrazione, non sono gli unici vantaggi che l'allenamento pliometrico garantisce. Infatti, si è notato che l'effetto neuro-modulatorio agisce anche per quanto riguarda l'attivazione muscolare la co-attivazione di gruppi muscolari agonisti e antagonisti diminuendo il carico stressante sulle articolazioni e favorendo la stabilità delle articolazioni dell'arto inferiore.

5. STRETCH-SHORTENING-CYCLE

Il ciclo di stiramento-accorciamento, che comporta l'allungamento dell'unità muscolo-tendinea immediatamente seguito da un accorciamento, è parte integrante dell'esercizio pliometrico. Il ciclo di allungamento-accorciamento migliora la capacità dell'unità muscolo-tendinea di produrre la forza massima nel tempo più breve possibile sfruttando la velocità di allungamento per ottenere un maggiore immagazzinamento della forza elastica.

Il meccanismo di SSC è composto da 3 fasi (Loading, Coupling, Unloading).^{38,39}



LOADING PHASE

La prima fase di un movimento pliometrico può essere classificata come fase di carico o fase di pre-stiro eccentrico. In questa fase di un esercizio pliometrico le unità muscolo-tendinee dei primi movimenti e dei muscoli sinergici, che nell'arto inferiore sono tipicamente i muscoli antigravitari, si allungano in seguito all'energia cinetica o al carico

applicato all'articolazione. L'energia cinetica può provenire dall'azione precedente, come ad esempio un atterraggio dopo una fase di "volo" (energia potenziale in alto) da un salto precedente o da una fonte esterna, come una palla medica in avvicinamento, oppure dall'azione concentrica del gruppo muscolare antagonista (contromovimento).

Lo stiramento dell'unità muscolo-tendinea durante la fase di carico genera il ciclo di allungamento-accorciamento, che si traduce in una migliore produzione di forza e di prestazioni rispetto all'assenza di allungamento.

La fase di pre-stiramento si basa su tre variabili di allungamento: ampiezza dell'allungamento, velocità dell'allungamento e durata dell'allungamento.

Se una di queste viene a mancare, l'effetto di stoccaggio sarà deficitario.

La fase di carico inizia quando le unità muscolo-tendinee iniziano a svolgere un lavoro negativo, ovvero si allungano sotto effetto di una contrazione eccentrica, mentre la fine della fase di carico è stata definita in modo variabile³⁹.

L'allungamento del muscolo attivo durante la fase di carico provoca 2 meccanismi associati al ciclo di accorciamento dell'allungamento: il "potenziamento" muscolare e il riflesso di allungamento. Il potenziamento muscolare è un'alterazione delle proprietà contrattili del muscolo che porta a una maggiore produzione di forza. Quando il muscolo attivo viene allungato si riscontra un aumento della proporzione di ponti trasversali attaccati all'actina.

L'allungamento muscolare stimola anche il fuso muscolare. Le informazioni sensoriali dal fuso muscolare vengono trasmesse attraverso un ciclo riflesso monosinaptico per fornire un feedback eccitatorio allo stesso muscolo⁴⁰. Ciò si traduce in un'attività muscolare riflessa a breve latenza (riflesso miotatico o da stiramento). La velocità e l'entità del carico modulano l'output del riflesso

da stiramento (velocità più elevate e grandezze di carico maggiori) che contribuiscono a un aumento del riflesso da stiramento. Nei muscoli degli arti inferiori, il riflesso di stiramento viene completato in circa 30-40 millisecondi e, dopo aver tenuto conto del ritardo elettromeccanico, la forza viene prodotta da circa 50 a 55 millisecondi dopo l'inizio del riflesso." La durata riportata della fase di carico per una varietà di salti pliometrici supera i 100 millisecondi; quindi è probabile che il riflesso di stiramento possa anche aumentare l'attività muscolare durante la fase di carico di un esercizio pliometrico.

Un terzo meccanismo associato al ciclo di accorciamento dello stiramento è l'immagazzinamento dell'energia potenziale elastica nella componente elastica della serie. Anche se tutte le parti della componente elastica della serie (filamenti di actina e miosina e il tendine) sono allungate quando l'articolazione è caricata, è stato riscontrato che il tendine è il principale contributore alle variazioni di lunghezza dell'unità muscolo-tendinea e allo stoccaggio di energia potenziale elastica.

L'energia viene maggiormente accumulata se l'allungamento risulta essere maggiore. Per consentire ciò è necessario che gli organi tendinei del golgi vengano sottoposti ad un processo di desensibilizzazione, in quanto una volta stimolati attraverso l'allungamento del tendine, le informazioni sensoriali dell'organo tendineo del Golgi fanno sinapsi su un interneurone nel midollo spinale e il feedback inibitorio viene inviato al muscolo in contrazione riducendone l'azione.

COUPLING PHASE

La fase di accoppiamento è una transizione tra la fase di carico e scarico di un esercizio pliometrico, che può essere descritta come la fase di transizione. Questa fase è comunemente indicata come fase di ammortamento nella letteratura riabilitativa ed è stata anche chiamata fase di trasmissione.

La fase di accoppiamento è un periodo che intercorre tra la contrazione eccentrica a contrazione concentrica. Si tratta di un'azione muscolare quasi-isometrica in quanto, per la maggior parte del tempo, la lunghezza del fascicolo muscolare non cambia nel momento in cui l'angolo articolare, la forza di reazione verticale al suolo o il centro di massa del corpo stanno per cambiare direzione. Infatti, studi del muscolo gastrocnemio mediale⁴¹ durante i movimenti della caviglia sul piano sagittale in posizione eretta o supina confermano che la lunghezza del fascicolo muscolare è relativamente stabile, o raggiunge una transizione tra l'allungamento e accorciamento nel momento in cui l'articolazione l'angolo e la forza di reazione al suolo verticale cambiano direzione.

Allo stesso modo, durante i drop jump si è notato come la lunghezza del fascicolo del muscolo vasto laterale è relativamente stabile nel momento in cui la velocità e la forza di reazione verticale al suolo invertono la direzione. D'altra parte, il fascicolo del muscolo gastrocnemio mediale è stato dimostrato che si trova nel mezzo di un accorciamento nel momento in cui l'angolo articolare e il centro di massa del corpo invertono la direzione durante un salto in contromovimento. I risultati di questi studi sottolineano che il comportamento del fascicolo muscolare può variare durante la fase di accoppiamento, a seconda del muscolo e del compito.

La fase di ammortamento è anche spesso indicata come la fase di ritardo elettromeccanico della pliometria ed è il tempo che intercorre tra il superamento del lavoro negativo del prestiro eccentrico per generare la produzione di forza e l'accelerazione della contrazione muscolare e del rinculo elastico nella direzione del pattern di movimento pliometrico. Questa fase è la chiave per le prestazioni della pliometria, perché più breve è la fase di ammortamento, più efficace e potente è il movimento pliometrico perché l'energia immagazzinata viene utilizzata in modo efficiente nella transizione. Se la fase di ammortamento viene ritardata, l'energia immagazzinata viene dispersa sotto forma di calore, il riflesso di stiramento non si attiva e il conseguente lavoro positivo della contrazione concentrica non è altrettanto efficace. Uno degli obiettivi primari dell'allenamento pliometrico è ridurre il tempo alla fase di rimbalzo. Gli esercizi che prevedono il ciclo di allungamento-accorciamento con una pausa visibile del movimento articolare possono avere benefici di rafforzamento muscolare, ma non sarebbero classificati come attività pliometrica in quanto si potrebbe presumere un accoppiamento prolungato e una dissipazione di energia.

Sulla base del tempo trascorso a terra, le esercitazioni di salto possono essere classificate come esercizi SSC veloci (cioè, tempo di contatto con il suolo breve; <250 ms) o esercizi SSC lenti (cioè, tempo di contatto con il suolo lungo; >250 ms) ⁴². È stato dimostrato che il PJT migliora le proprietà neuromuscolari (p. es., una migliore spinta neurale ai muscoli dell'agonista) e/o meccaniche/strutturali (p. es., alterazioni della rigidità muscolo tendinea e dell'architettura).

UNLOADING PHASE

La fase di scarico di un esercizio pliometrico avviene subito dopo la fase di accoppiamento e prevede l'accorciamento dell'unità muscolo-tendinea. Questa fase è stata anche chiamata fase di rimbalzo, di accorciamento, di spinta o di propulsione. Per una singola articolazione dell'arto inferiore la fase di scarico è stata definita come inizio quando la curva dell'angolo articolare inverte direzione e termina quando la forza di reazione al suolo va a zero, oppure inizia quando l'unità muscolo-tendinea inizia ad accorciarsi e termina al distacco dell'alluce dal suolo. Nell'analisi bifasica dei salti pliometrici, la fase di scarico comincia all'inizio del movimento verso l'alto del baricentro e termina quando cessa il contatto con il suolo.

La fase di scarico è spesso considerata la fase di payoff o risultante, poiché questa parte dell'attività pliometrica è quando i meccanismi suscitati durante la fase di carico contribuiscono ad aumentare l'efficienza della produzione di forza. I dati suggeriscono che il miglioramento dell'efficienza e della generazione di forza non si ottiene da un meccanismo isolato; piuttosto, il miglioramento delle prestazioni, dall'attività pliometrica, è acquisito dalla somma di immagazzinamento e utilizzo dell'energia elastica, "potenziamento muscolare", e "contribuzione del riflesso di stiramento miotatico."

6. STABILITÀ ARTICOLARE

In seguito a una condizione di instabilità dell'articolazione tibo-tarsica, come detto in precedenza, si sono visualizzati in questi pazienti delle condizioni cinematiche e cinetiche e che aggravano la condizione instabile. In particolare durante i movimenti dinamici che richiedono un grande sforzo muscolare per mantenere un buon equilibrio e permettere agli atleti di compiere il gesto atletico in modo armonioso ed efficace. Al fine di rendere possibile l'espletamento di un corretto movimento, i pazienti CAI hanno bisogno di alcune strategie che possano vicariare l'instabilità di caviglia che li limita nella performance sportiva.

Diversi studi⁴³⁻⁴⁵ riportano che l'esercizio pliometrico migliora la propriocezione, la forza e la velocità di risposta nei pazienti con distorsione della caviglia laterale acuta e riduce l'oscillazione posturale durante l'esercizio nei pazienti con instabilità della caviglia. Per quanto riguarda una riduzione dell'oscillazione posturale, quindi un miglior controllo della postura, gli esercizi pliometrici ripetuti permettono un adattamento neuro-motorio che favorisce la costruzione di percorsi ottimali a feed-back e feed-forward per garantire una maggior stabilità articolare.

Strategie di assorbimento urti

Per ovviare al problema di distribuzione delle forze, i soggetti CAI adottano delle strategie che, attraverso l'attivazione muscolare, sgravano l'articolazione tibio-talare da eventuali carichi eccessivi.

Attraverso delle analisi EMG, sembra che muscoli come il gastrocnemio mediale, peroniero lungo, adduttore lungo, vasto laterale, gluteus medius e gluteus maximus siano maggiormente attivati.⁴⁶

Il muscolo gastrocnemio svolge un ruolo importante nel conferire stabilità dinamica dell'articolazione della caviglia e assorbe la GRF tramite l'azione muscolare eccentrica durante l'atterraggio del salto. Una maggior attivazione del gastrocnemio mediale risulta necessaria per contrastare la ridotta dorsiflessione che limita la dissipazione dell'impatto.

Oltre all'attivazione del gastrocnemio mediale, l'aumento delle posizioni flesse delle articolazioni prossimali aumentano l'attivazione dell'EMG del Vasto Laterale e Grande Gluteo può essere un meccanismo di autoprotezione, uno sforzo dei pazienti CAI per compensare il ridotto ROM della dorsiflessione, attenuando l'aumento dei GRF verticali e posteriori durante l'atterraggio iniziale.^{40,47}

Tale strategia distribuisce i carichi da distale a prossimale, evitando di aggravare la condizione della tibio-tarsica chiamando in causa le articolazioni prossimali degli arti inferiori, in particolare l'anca che presenta una stabilità e una capacità maggiore di assorbire gli urti. Infatti, si pensa che l'articolazione dell'anca agisce come dissipatore di energia primaria in risposta all'aumento del GRF poiché i muscoli che si inseriscono a livello della caviglia hanno tendini relativamente più corti, rispetto ai muscoli del reparto coxo-femorale, e fibre muscolari più lunghe e aree trasversali maggiori.^{40,48}

Per questo motivo la flessione d'anca adottata dai soggetti CAI è una strategia valida per tentare di tutelare la caviglia lesa.

Oltre al meccanismo di flessione, pare che gli individui infortunati tendano ad aumentare l'adduzione dell'articolazione femoro-acetabolare. Infatti in uno studio i pazienti CAI hanno

mostrato un valore più alto di 2° in più di adduzione nella maggior parte della fase di appoggio post-atteiraggio.

Tale strategia potrebbe essere correlata alla ricerca di una maggior sicurezza per i pazienti CAI. Infatti, avere una posizione più verticale del femore (posizione meno abdotta), che può aiutare a stabilizzare il movimento verso il basso della loro COM sul piano sagittale. La strategia di attivazione degli adduttori è riscontrabile soprattutto in esercizi pliometrici che ricercano un salto verticale in lungo susseguito da una decelerazione improvvisa e da un rapido movimento di taglio laterale controlaterale.

Inoltre, pare che i soggetti con CAI risentano di una diminuzione degli abduttori dell'anca e degli eversori della caviglia che favorirebbe la posizione di adduzione d'anca e inversione di caviglia. Infatti, hanno dimostrato un maggiore spostamento laterale dello spostamento angolare lombo-pelvico verso il lato del piede in appoggio durante un'attività di atteraggio con una sola gamba, con conseguente riduzione del momento gravitazionale del braccio di leva e diminuzione del momento dell'abduuttore interno dell'anca.

Pertanto, la strategia di atteraggio della coscia eretta ("posizione più verticale del femore") può richiedere una minore forza muscolare degli eversori e dell'abduuttore dell'anca per mantenere la posizione eretta del bacino e del tronco a causa della ridotta distanza tra il centro della massa corporea e il centro di pressione su il piede in appoggio durante l'operazione di atteraggio/taglio del salto.

La strategia di adduzione è stata riscontrata anche durante la deambulazione.

A migliorare la capacità di dissipazione energetica è una condizione posturale a ginocchio flesso con un ROM maggiore di 90° definita come "atteraggio morbido" la quale favorisce i vantaggi meccanici delle strutture dei tessuti molli e fornisce stabilità all'articolazione.

Si è documentato, inoltre, un aumento dell'attivazione muscolare del PL. Si suppone come meccanismo di difesa nei confronti del movimento potenzialmente lesivo di inversione.

I pazienti CAI possono tentare di aumentare il senso di stabilità attraverso la co-attivazione. Nell'analisi EMG di entrambi i muscoli Gluteo Medio e Adduttore Lungo si evidenzia un aumento del loro stato di attività per incrementare la stabilità dell'articolazione dell'anca sul piano frontale.

Inoltre, è stata riscontrata una diminuzione del GRF mediale durante l'atteraggio a metà. Questo risultato può essere attribuito a un maggiore angolo di adduzione dell'anca durante l'atteraggio/il taglio.

La co-attivazione muscolare che garantisce miglior controllo posturale è resa possibile da un'attivazione efficace dei meccanismi a feed-back e feed-forward allenati con l'esercizio.

Infatti l'esercizio pliometrico favorisce, attraverso la ripetizione, il miglioramento dei meccanismi di preparazione.

Le strategie feed-forward impiegano la pre-attivazione muscolare per "proteggere dallo stress" le strutture articolari e sono organizzate sulla base di precedenti esperienze con attività specifiche per lo sport. Le tecniche di allenamento funzionale con attività ripetitive di salto e decelerazione possono creare adattamenti neurologici plastici ai programmi motori che migliorano la coordinazione sia per le prestazioni che per il contenimento dinamico. Il processo di controllo motorio di feedback comprende una serie di percorsi riflessivi che modificano continuamente l'attività muscolare per adattarsi a eventi imprevisi garantendo, così, una co-attivazione più valida.

Valori di coattivazione del 100% indicano la sincronia muscolare agonista e antagonista, che aumenta anche la rigidità muscolare e articolare. Diversi studi^{37,49} hanno riferito che la contrazione

attiva dei muscoli abduttori e adduttori dell'anca potrebbe aumentare la rigidità dell'articolazione del ginocchio e ridurre l'oscillazione nel piano frontale di circa il 58%⁵⁰, il che è importante per mantenere la stabilità dell'articolazione del ginocchio durante le attività funzionali.

Per migliorare il controllo posturale, non è sufficiente l'aumento della stabilità sul piano frontale, ma è importante anche un intervento sul piano sagittale.

L'attivazione muscolare reattiva dopo il contatto con il suolo, necessita di una coattivazione muscolare più simmetrica tra quadricipiti e muscoli posteriori della coscia²⁷.

L'aumento della coattivazione muscolare preparatoria contribuisce a migliorare il contenimento dinamico durante le attività funzionali, la singola stabilizzazione dell'articolazione della caviglia non risulta sufficiente, ribadendo quanto detto in precedenza sulle proprietà di dissipazione dell'energia da parte delle articolazioni prossimali di ginocchio e soprattutto anca.

Un dato rilevante nel controllo posturale dinamico è il TTS (Time To Stabilization), in quanto se questo risulta essere eccessivamente alto è un segno di scarso controllo posturale e dunque un fattore di rischio per l'insorgenza di infortuni soprattutto per il distretto della caviglia.

Si è notato come il TTS diminuisce successivamente all'allenamento pliometrico favorendo la stabilizzazione articolare⁵¹.

Il controllo posturale si basa su informazioni afferenti (cioè, sistemi visivi, vestibolari e somatosensoriali) e sulla risposta efferente (cioè, contrazione muscolare e riflessi), così come sul controllo neuromuscolare feed-forward e feedback. Quando la vista è assente, l'input dipende dai sistemi somatosensoriale e vestibolare.

Alcuni studi riportano una diminuzione dell'oscillazione posturale successivamente ad un piano di allenamento integrante l'esercizio pliometrico. Si suppone che sia dovuto ad un'attivazione più efficace delle vie afferenti nel percepire la posizione articolare e nelle vie efferenti nel adattare uno schema di attivazione muscolare più consono al movimento dinamico. I meccanoceffori all'interno delle articolazioni possono rilevare efficacemente i cambiamenti e fornire informazioni propriocettive più appropriate e il tratto afferente può diventare più efficiente nella trasmissione del segnale e le uscite efferenti (contrazione muscolare e tratto efferente) possono migliorare dopo l'allenamento.

Di conseguenza i meccanismi instaurati dai pazienti CAI post-allenamento sono delle strategie valide per prevenire ulteriori lesioni agli arti inferiori. Infatti ipotizzando il perché di questi cambiamenti si può dedurre che il ginocchio si fletta per assorbire l'impatto, ma anche per abbassare il COM (Center Of Mass) per mantenere l'equilibrio ed evitare perturbazioni ingestibili.

Dopo un allenamento pliometrico o integrato, il ginocchio diventa più forte e più in grado di far fronte ai disturbi esterni. Questa strategia consente all'articolazione del ginocchio di riguadagnare l'estensione più velocemente e quindi diminuisce il TTS dell'angolo di flessione della stessa articolazione. Tutto ciò senza cambiare la cinematica della caviglia e quindi sgravandola da un peso che potrebbe provocare un ulteriore danno.

Oltre i riflessi di stiramento e le integrazioni a feed-back e feed-forward, sebbene non siano comunemente considerati con il ciclo di accorciamento-'allungamento, meccanismi riflessi più complessi possono essere avviati durante l'esercizio pliometrico e possono aiutare con la coordinazione motoria e la stabilità articolare. Questi meccanismi riflessi, chiamati "feedback di lunghezza" e "feedback di forza"³⁹, derivano da segnali neurali generati dai recettori muscolari che proiettano indietro al muscolo di origine e ad altri muscoli. I segnali generati dall'allungamento

muscolare sono chiamati feedback di lunghezza e quelli generati dalla forza muscolare sono chiamati feedback di forza. Il feedback sulla lunghezza, che si verifica all'incirca nello stesso lasso di tempo del riflesso da stiramento, collega i muscoli sinergici attraverso il feedback eccitatorio e quelli con azioni opposte mediante l'inibizione reciproca. Il feedback di forza, fornito dalla stimolazione dell'organo tendineo del Golgi, connette i muscoli che attraversano diverse articolazioni ed esercitano una coppia in direzioni diverse attraverso il feedback inibitorio. Il feedback di lunghezza contribuisce alla rigidità articolare, mentre il feedback di forza regola l'accoppiamento di forze tra le articolazione. Insieme, il feedback di lunghezza e forza a indotti durante la fase di carico di un'attività pliometrica hanno il potenziale per migliorare il controllo neuromuscolare.

7. TRATTAMENTO

L'esercizio pliometrico applicato con attenzione non è più dannoso di altre forme di allenamento e competizione sportiva e può essere necessario per un adattamento sicuro degli sport esplosivi. Dato che, in ambito riabilitativo, è improbabile che un atleta incapace di tollerare le attività pliometriche possa tornare a praticare sport, non si può pensare a questo allenamento come più dannoso di altri.

Inoltre, la pliometria potrebbe essere suggerita ad atleti che non hanno mai sofferto di distorsioni, quindi per prevenzione. Dato il successo dei recenti programmi di prevenzione degli infortuni agli arti inferiori che includono l'esercizio pliometrico dimostra che questa modalità di allenamento può avere anche effetti profilattici riducendo forse l'incidenza di un nuovo infortunio.

Ovviamente, come tutti gli allenamenti, anche l'esercizio pliometrico deve essere applicato con cautela per evitare reazioni avverse, come l'aumento del dolore o del gonfiore articolare, che rallentano la progressione della riabilitazione o, addirittura, ne causano una regressione.

Per sviluppare un trattamento coerente all'individuo è fondamentale tenere conto di diverse variabili, in particolare frequenza, intensità, volume, recupero e progressione e del paziente (risposta dei tessuti e prestazioni tecniche) quando implementano l'esercizio pliometrico nei programmi di riabilitazione.

Frequenza

La frequenza dell'esercizio è la ripetizione con cui un esercizio viene eseguito in un ciclo di allenamento. Gli esercizi pliometrici ad alta intensità per consentire almeno 48-72 ore di riposo per un recupero completo tra le sessioni pliometriche (vedere la sezione Recupero). Poiché l'esercizio pliometrico viene spesso iniziato a bassa intensità durante la riabilitazione, i pazienti possono tollerare sessioni più frequenti, fino a 3 volte alla settimana, senza irritazione articolare o indolenzimento muscolare significativo.

Secondo lo studio di Markovic et., al ³⁴ l'allenamento pliometrico effettuato con frequenza di 2 / 3 sessioni a settimana per un ammontare di settimane tra le 6 settimane e le 15 settimane è una

pliomètria a breve termine. Gli effetti positivi della pliomètria eseguita in questo intervallo di tempo sono molteplici. Lo studio ipotizza che la pliomètria a breve termine potrebbe migliorare la funzione muscolare della forza, della potenza e del ciclo di allungamento-accorciamento (SSC) degli arti inferiori negli individui sani. Questi cambiamenti adattativi nella funzione neuromuscolare sono probabilmente il risultato di (i) un aumento della connessione neurale con i muscoli agonisti; (ii) cambiamenti nelle strategie di attivazione muscolare; (iii) alterazioni delle caratteristiche meccaniche del complesso miotendineo dei flessori plantari; (iv) cambiamenti nella dimensione muscolare e/o nell'architettura; e (v) modifiche alla meccanica monofibra.

Intensità

L'intensità è il grado di forza e sforzo con cui viene eseguito l'esercizio ed è associata alla forza di carico. Tutto ciò che aumenta il carico di stiramento (energia cinetica) aumenta l'intensità dell'attività pliomètrica (ad esempio, aumentando la massa di una palla medica o aumentando l'altezza della caduta). L'intensità e la frequenza sono spesso inversamente proporzionali nei programmi di allenamento. Man mano che l'intensità dell'esercizio pliomètrico aumenta, passando da un'intensità bassa a un'intensità alta, la frequenza di solito diminuisce per consentire un recupero adeguato tra un allenamento e l'altro.

L'intensità appropriata da somministrare per l'esercizio pliomètrico non è univoca, ma varia da individuo a individuo. In particolare si basa sulla capacità del tessuto di guarigione del soggetto in questione nel gestire il carico e sulla capacità del paziente di eseguire l'attività con una tecnica adeguata. Analogamente ad altre forme di allenamento e di esercizi di riabilitazione, l'intensità dell'esercizio pliomètrico deve seguire una progressione graduale da attività a bassa intensità ad attività ad alta intensità, per evitare risposte avverse.

Un metodo per diminuire l'intensità degli esercizi per gli arti inferiori consiste nell'iniziare su attrezzature che scaricano il peso del corpo, per esempio potrebbero essere utilizzate delle bande elastiche a cui il paziente si sorregge, preferibilmente sotto il cavo ascellare (a patto che non causino fastidio o dolore) agganciate ad una sbarra o ad un oggetto stabile posto ad un'altezza tale da causare un allungamento che provochi una forza di ritorno elastico verso l'alto.

L'intensità può essere aumentata eseguendo esercizi pliomètrici con il peso corporeo contro la gravità, aumentando poi l'altezza e la distanza dei salti e dei balzi, fino ad arrivare alle attività con una sola gamba o con l'utilizzo della pesistica. Inoltre, l'impatto del carico articolare può essere ridotto quando le attività pliomètriche vengono eseguite su tappetini da ginnastica; tuttavia, ciò può causare una fase di accoppiamento prolungata che potrebbe compromettere quelli che sono i vantaggi elencati in precedenza dell'allenamento pliomètrico. Alla fine l'atleta dovrebbe passare a superfici più rigide e specifiche per lo sport che favoriscano gli adattamenti legati ai meccanismi dell'esercizio pliomètrico.

VOLUME

Il volume di lavoro totale svolto in una sessione di esercizio (serie e ripetizioni) è chiamato volume dell'esercizio. Viene calcolato utilizzando il carico, numero di ripetizioni o serie dell'attività specifica.

Il volume dell'esercizio è spesso definito dal numero di contatti con il suolo o con un oggetto (ad esempio, un rialzo). Le raccomandazioni sul volume si basano in genere solo su una variabile. Ad esempio, le raccomandazioni sul volume basate sul livello di esperienza suggeriscono l'esecuzione:

- da 80 a 100 contatti per sessione per atleti con bassa esperienza.
- da 100 a 120 contatti per sessione per gli atleti con media esperienza .
- da 120 a 140 conturi per sessione per gli atleti con una alta esperienza

Oppure secondo lo studio di Chmielewski ³⁹ il volume può essere calcolato anche considerando l'intensità:

- Basso: 400
- Moderato: 350
- Alto: 300
- Molto alto: 200

Il volume e l'intensità sono inversamente proporzionali.

Le raccomandazioni relative al volume non devono essere somministrate tenendo conto solo di variabili isolate. Soprattutto in ambito riabilitativo è importante che, oltre al livello di esperienza e all'intensità dell'esercizio, vengano prese in considerazione altre variabili del paziente, in particolare le prestazioni tecniche e la risposta del paziente.

La progressione del volume deve avvenire solo se la tecnica viene mantenuta e non si verificano eventi avversi.

In generale, pazienti devono dimostrare di tollerare l'attività a bassa intensità/alto volume prima di passare a un'attività ad alta Intensità/basso volume.

Recupero

Il recupero è definito come il tempo di riposo tra le ripetizioni, le serie o le sessioni di esercizi pliometrici. Il rapporto lavoro-riposo per un esercizio pliometrico dipende dall'intensità dell'esercizio e dal volume.

Negli esercizi pliometrici ad alta intensità, è consigliato un rapporto lavoro-riposo compreso tra 1:5 e 1:10 per garantire un una corretta esecuzione riposo sufficiente per esercizio.

Per esempio, quando si esegue un salto verticale con caduta a sforzo massimo, gli atleti possono riposare da 5 a 10 secondi tra le ripetizioni.

In ambito clinico, dove spesso si utilizzano esercizi pliometrici a bassa intensità, sono stati raccomandati rapporti lavoro-riposo inferiori (ad esempio, 1:1 o 1:2). Un esempio è rappresentato dai salti in linea eseguiti per 10 secondi seguiti da 10-20 secondi di riposo.

In generale, si raccomanda un riposo di 48-72 ore per il recupero tra le sessioni di allenamento pliometrico.

Il tempo di recupero tra le sessioni dipende spesso dalla diminuzione del tempo di recupero presenza di DOMS.

Se un paziente sperimenta DOMS dopo l'esercizio pliometrico, questi saranno più pronunciati da 24 a 48 ore dopo l'esercizio e si ridurranno entro 96 ore.

DOMS indotti da un esercizio eccentrico di intensità massima provocano una diminuzione della forza volontaria massima fino a 4 ore dopo la sessione di esercizio.

Sebbene la diminuzione della forza volontaria possa verificarsi anche 24-48 ore dopo l'esercizio eccentrico a bassa intensità, la diminuzione è meno grave rispetto all'esercizio ad alta intensità. Un tempo di recupero coerente garantisce che sia disponibile una forza muscolare sufficiente per l'esecuzione ottimale degli esercizi pliometrici.

Tecnica

Uno degli obiettivi principali dell'esercizio pliometrico in riabilitazione è assistere l'atleta nella riacquisizione delle abilità e nell'instaurazione di una tecnica sicura dal punto di vista biomeccanico che gli consenta di raggiungere prestazioni ottimali. Occorre prestare particolare attenzione alla tecnica indesiderata che può derivare dall'infortunio, ma che a sua volta può essere correlata alla causa dell'infortunio. Se si permette a un atleta di eseguire manovre di esercizi pliometrici in modo inappropriato e disarmonico durante l'allenamento la tecnica errata si rafforzerà.

Alcuni studi ritengono che durante l'esercizio pliometrico, inizialmente, la figura professionale dovrebbe fornire un feedback verbale continuo e immediato all'atleta per aumentare la consapevolezza della forma e della tecnica corretta nonché delle posizioni indesiderate pericolose. Inoltre, il feedback visivo può essere fornito attraverso l'uso di una videocamera e di un motor televisivo o facendo eseguire gli esercizi davanti a uno specchio. Il fisioterapista o la figura professionale che somministra l'allenamento deve essere tale nel riconoscere la tecnica desiderata per incentivare l'atleta a mantenere una tecnica perfetta il più a lungo possibile. Se l'atleta si affatica fino a un punto in cui la tecnica si degrada, questo comporta un forte calo di prestazione, l'attività deve essere interrotta e ripresa dopo un recupero adeguato per l'individuo.

Nello studio di MKA e HM²⁵ sono annotate delle caratteristiche biomeccaniche da adottare durante l'esecuzione degli esercizi pliometrici che possano garantire una maggior sicurezza ed equilibrio.

Le accortezze a cui prestare più attenzione per una forma corretta, sono:

- Atterraggio con il piano frontale tangente alle ginocchia sopra e non oltre il piano frontale tangente alle dita dei piedi.
- Atterraggio con le ginocchia flesse.
- Evitare una postura eretta durante l'atterraggio.

- Atterrare con una base d'appoggio circa simile alla larghezza delle spalle.

La tecnica è solitamente compromessa negli individui affetti da CAI. In quanto l'alterazione sensomotora, la sensazione di instabilità, la debolezza muscolare causa un'attivazione muscolare alterata in quanto si tenta di mantenere il più possibile la stabilità di caviglia.

Infatti, in diversi studi si è notato una maggior attivazione di muscoli che sfruttano la flessione di ginocchio e anca per favorire una dissipazione dell'energia data dall'impatto al suolo.

Progressione

Come tutte le altre forme di esercizio terapeutico, le attività pliometriche devono iniziare al livello più impegnativo che il paziente può tollerare e progredire sola quando le attività vengono completate con una forma corretta e senza alcun aumento dei sintomi. L'esercizio pliometrico viene fatto progredire monitorando e integrando attentamente la frequenza, l'intensità a volume e il recupero dell'esercizio. La decisione su quale variabile manipolare in quale momento è basata sull'esperienza clinica, all'evidenza empirica risposta del paziente. In generale, si tende ad aumentare prima il volume (serie e ripetizioni) di una particolare attività pliometrica per garantire un controllo neuromuscolare e una resistenza adeguati successivamente si può ipotizzare un aumento dell'intensità e della frequenza dell'esercizio.

L'esercizio eccentrico eseguito inizialmente ha un'intensità bassa, come nella riabilitazione, e progressivamente aumentata, non produce un sostanziale indolenzimento muscolare o un'evidenza di lesione muscolare. Tuttavia, anche l'esercizio pliometrico a bassa intensità tende a produrre indicatori di DOMS simile all'esercizio ad alta intensità se eseguito con un volume simile.

Pertanto, sta l'intensità che il volume devono essere attentamente calcolati per mantenere livelli adeguati di DOMS durante la riabilitazione.

La presenza di risposte avverse, come dolore e gonfiore articolare, deve essere utilizzata per guidare e limitare la progressione dell'esercizio pliometrico. Se si riscontra una risposta avversa, il periodo di recupero deve essere prolungato fino alla completa risoluzione del disturbo. Quando ricominciano gli esercizi pliometrici, il volume e/o intensità degli esercizi pliometrici devono essere ridotti al livello precedente alla progressione. Se dopo l'esercizio si avvertono dolori e gonfiori articolari, ma si risolvono prima della visita riabilitativa successiva o dopo un riscaldamento, il programma non deve essere portato avanti, ma piuttosto mantenuto e monitorato per verificare la ricomparsa del sintomo. L'esperienza clinica suggerisce che un paziente dovrebbe tollerare da 2 a 3 sessioni a un'intensità specifica senza reazioni avverse prima di aumentare intensità del programma.

8. MATERIALI E METODI

La ricerca è stata compiuta al fine di trovare evidenza sull'utilizzo dell'esercizio pliometrico nel trattamento e prevenzione dell'instabilità di caviglia al fine di inserirlo nel protocollo di allenamento all'interno degli allenamenti.

Lo studio è stato effettuato tramite le banche dati convenzionate con l'Università degli Studi di Padova. Le banche dati che hanno fornito pubblicazioni utili in seguito a ricerca mirata, sono state: PubMed, EMBASE, CINHAI, COCHRANE, PEDro.

La ricerca è avvenuta nell'anno 2022 con inizio a Marzo e termine a Ottobre.

Seguendo il modello PICO, la ricerca è stata compiuta nel seguente modo:

- P: Atleti con età maggiore di 17 anni (sani o con CAI)
- I: Allenamento pliometrico per 6-8 settimane
- C: No comparazione
- O: L'esercizio pliometrico è utile nel migliorare i deficit causati dall'instabilità di caviglia

Le Keywords inserite nei motori di ricerca sono state: "athlete" "athletes" "ankle injuries" "ankle injuries" "joint instabilities" "joint instability" "drill, plyometric" "plyometric training" "plyometric trainings" "drills, plyometric" "exercise, plyometric" "exercises, plyometric" "plyometric drill", combinate tra di loro con gli operatori booleani "AND" e "OR".

CRITERI DI INCLUSIONE

1. Data di pubblicazione successiva all'anno 2009 data eccezione per le review.
2. Titolo, abstract dovevano contenere le parole chiave inserite in fase di ricerca o termini equivalenti nel significato.
3. Il contenuto dell'articolo doveva essere strettamente inerente all'oggetto di studio.
4. Il contenuto dell'articolo, nella parte di revisione dedicata al trattamento, deve essere riferito a trattamenti fisioterapici e non di natura medica.
5. L'articolo doveva contenere studi sperimentali di tipo RCT (Randomized Controlled Trial) e reviews.
6. Lingua inglese e full-text disponibile per la consultazione.

CRITERI DI ESCLUSIONE

1. Data di pubblicazione antecedente all'anno 2010.
2. Articolo non in lingua inglese.
3. Mancanza di disponibilità del full-text.
4. Studi inerenti ad atleti con età inferiore ai 18 anni

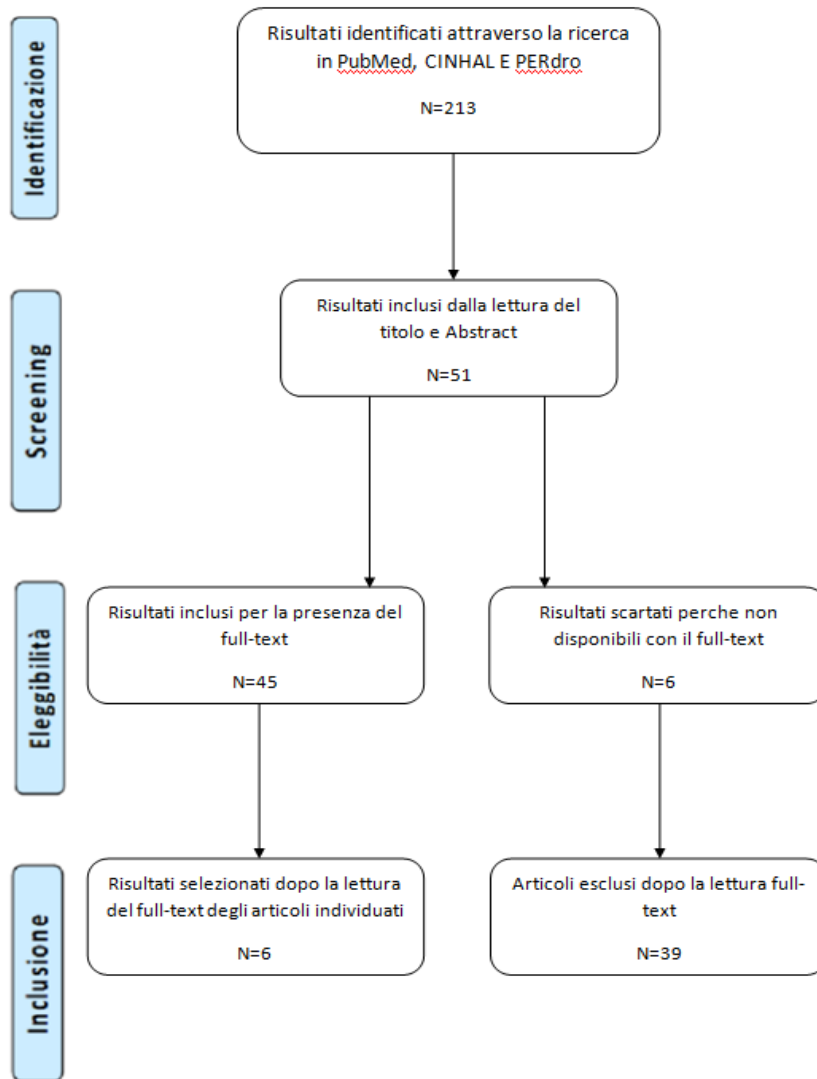
Risultati della ricerca

La ricerca ha mostrato un totale di 213 articoli, successivamente attraverso una valutazione più approfondita è stato compiuto un lavoro di selezione più accurato e adatto allo scopo della tesi.

Nel rispetto dei criteri di inclusione ed esclusione, gli articoli considerati idonei e dei quali è stato possibile reperire la versione full-text, sono risultati essere: 6.

La stringa di ricerca composta è la seguente:

((((((((((athlete[MeSH Terms] OR athletes[MeSH Terms])) AND (ankle injuries[MeSH Terms])) OR (ankle injuries[MeSH Terms])) AND (joint instability[MeSH Terms])) OR (joint instabilities[MeSH Terms])) AND (plyometric training[MeSH Terms])) OR (plyometric trainings[MeSH Terms])) OR (drill, plyometric[MeSH Terms])) OR (drills, plyometric[MeSH Terms])) OR (exercise, plyometric[MeSH Terms])) OR (exercises, plyometric[MeSH Terms]))
Filters: Randomized Controlled Trial



9. RISULTATI

In seguito alla ricerca degli articoli e alla loro lettura, sono stati identificati 6 studi che rispondono alla domanda di ricerca di questo lavoro. Di seguito verranno riportati i riassunti con le descrizioni di tali articoli. Alcuni lavori scelti presentano un'introduzione con la presentazione della patologia dell'instabilità cronica che non verrà riportata nei riassunti.

STUDIO	TIPO	PARTECIPANTI	TRATTAMENTO	OUTCOME	RISULTATI
--------	------	--------------	-------------	---------	-----------

Huang et al., 2021	RCT	N=30 Età tra i 18 e i 30	Gruppo P: Allenamento Pliometrico Gruppo I: Allenamento Pliometrico integrato con allenamento dell'Equilibrio Gruppo C: Gruppo Controllo	-Senso di posizione articolare -Strategia di attivazione muscolare -Tempo di stabilizzazione (TTS)	Gruppo P: Riduzione TTS dei flessori plantari. Gruppo P e I: Miglioramento senso di posizione della caviglia e Controllo Muscolare
Lee et al, 2021	RCT	N=14 Età media 22	Gruppo PE: Allenamento Pliometrico Gruppo ASE: Allenamento dell'equilibrio	-Equilibrio Dinamico -Biomeccanica -Assorbimento urti	Gruppo PE e Gruppo ASE: Miglioramento equilibrio dinamico. Aumento ROM flessione di ginocchio e anca per strategia assorbimento urti. Riduzione flex dorsale caviglia. Gruppo ASE: Miglioramento equilibrio dinamico e strategia assorbimento urti con maggior coinvolgimento della caviglia in flessione plantare.
Asadi et al., 2015	RCT	N=16 Età media 20	Gruppo PT: Allenamento Pliometrico + Basket Gruppo BT: Allenamento Basket	-Equilibrio -Controllo posturale	Gruppo PT: Miglioramento nelle 8 direzioni nella procedura SEBT
Cherni et al., 2019	RCT	N=25 Età compresa tra i 18 e 27	Gruppo PT: Allenamento Pliometrico + Basket Gruppo BT: Allenamento Basket	-Cambio di direzione -Controllo posturale	Gruppo PB -Equilibrio statico in antero-posteriore migliorato -Equilibrio dinamico in senso medio-laterale migliorato -Aumento rapidità nel cambio direzionale
Huang et al., 2014	RCT	N=30 Età tra i 18 e i 30	Gruppo P: Allenamento Pliometrico Gruppo BP: Allenamento Pliometrico integrato con allenamento dell'Equilibrio Gruppo C: Gruppo Controllo	-Biomeccanica di atterraggio -Controllo posturale dinamico e statico	Gruppo P e Gruppo PB: Maggior controllo posturale sul piano frontale Diminuzione TTS. Biomeccanica di atterraggio recluta

					maggiormente ginocchio e anca in flessione Riduzione movimenti potenzialmente lesivi per la caviglia
Ismail et al., 2010	RCT	N=22 Età media tra i 20 e i 35 anni	- Gruppo P: Allenamento Pliometrico - Gruppo R: Allenamento Resistivo	-Forza Muscolare -Recupero Funzionale	Gruppo P: -Aumento forza -Miglioramento del rapporto coppia di picco di isocinetica/peso corporeo -Test prestazioni funzionali migliorati

Effects of Plyometric and Balance Training on Neuromuscular Control of Recreational Athletes with Functional Ankle Instability: A Randomized Controlled Laboratory Study⁴⁶

Obiettivo: Lo scopo di questo studio si focalizza sui cambiamenti propriocettivi del senso della posizione articolare e l'attività neuromuscolare della caviglia instabile dopo sei settimane di allenamento, analizzando il confronto dei risultati di 3 gruppi considerati: gruppo pliometrico (P) vs. gruppo pliometrico integrato con gruppo di allenamento dell'equilibrio (BP) vs. gruppo di controllo (C).

Soggetti: Trenta atleti ricreativi con instabilità funzionale della caviglia sono stati suddivisi nei tre gruppi. I criteri di inclusione sono stati specificati come segue:

- partecipazione regolare (almeno 1–2 ore ogni volta, 2–3 volte alla settimana) ad attività sportive (es. basket, rugby, calcio e pallavolo);
- aver subito almeno una precedente distorsione di inversione della caviglia con presenza di gonfiore, dolore e disfunzione negli ultimi 12 mesi;
- ha subito più distorsioni della caviglia o eventi di "cedimento" della caviglia negli ultimi 12 mesi;
- punteggio inferiore a 24 nel questionario CAIT
- risultato clinicamente negativo nei test di inclinazione del cassetto anteriore e dell'astragalo.

Esclusi invece i soggetti con disturbi neurologici o lesioni agli arti inferiori tra cui distorsioni di caviglia avvenute entro un mese.

Test di Valutazione: Prima e dopo il periodo di allenamento sono stati misurati il senso della posizione dell'articolazione della caviglia con l'utilizzo di un elettrogoniometro, e si è utilizzata l'elettromiografia integrata (EMG) durante la fase di atterraggio per identificare l'attività dei muscoli che agiscono nell'azione di stabilizzazione di caviglia, come:

Tibiale Anteriore (TA), Peroneo Lungo (PL), del Gastrocnemio Mediale (GM), Gastrocnemio Laterale (GL) e del Soleo (SOL).

Si è tenuto conto anche del tempo di regolazione dell'equilibrio durante le attività di atterraggio a caduta mediale della gamba singola.

Il trattamento: Il trattamento è protratto per 6 settimane con una frequenza di allenamento di 3 sessioni a settimana.

La sessione è composta da circa 6 esercizi di salto nelle diverse modalità (sempre a carattere pliometrico), ed ogni esercizio doveva essere effettuato per 10 ripetizioni per 2 / 3 serie.

Risultati: Dopo il periodo di sei settimane, entrambi i gruppi di allenamento hanno mostrato un errore assoluto inferiore nella flessione plantare (gruppo P: pre: $3,10^\circ \pm 1,87^\circ$, post: $2,94^\circ \pm 1,01^\circ$, $p = 0,045$) e il gruppo integrato ha mostrato un errore assoluto inferiore negli angoli di inversione (pre $2,24^\circ \pm 1,44^\circ$ e post $1,48^\circ \pm 0,93^\circ$, $p = 0,022$) e un maggiore EMG integrato dei flessori plantari della caviglia prima dell'atterraggio. Il gruppo pliometrico ha mostrato un EMG integrato più elevato del tibiale anteriore prima e dopo l'atterraggio (pre: $102,88 \pm 20,93$, post: $119,29 \pm 38,33$, $p = 0,009$ in post-atterraggio) e un tempo di regolazione del flessore plantare più breve dopo l'atterraggio rispetto alla condizione di pre-allenamento (pre: $2,85 \pm 1,15$ s, post: $1,87 \pm 0,97$ s, $p = 0,006$).

In conclusione Entrambi i programmi hanno migliorato il senso della posizione dell'articolazione della caviglia e l'attivazione muscolare dei flessori plantari della caviglia durante l'atterraggio di caduta con una gamba sola. Il gruppo pliometrico ha mostrato un tempo di regolazione ridotto del flessore plantare della caviglia a seguito dell'impatto da caduta.

Gli autori dell'articolo riferiscono che nonostante l'allenamento pliometrico possa essere una tipologia di esercizio migliore sulla base dei risultati ottenuti, entrambi i componenti possono essere selezionati in base alle necessità degli atleti e incorporati nei regimi di allenamento e nei programmi di riabilitazione degli atleti ricreativi con CAI. Prescrizioni di esercizi ottimali o la combinazione tra allenamento pliometrico e altri programmi sono altamente raccomandati per studi futuri.

Effect of Plyometric versus Ankle Stability Exercises on Lower Limb Biomechanics in Taekwondo Demonstration Athletes with Functional Ankle Instability⁴⁵

Obiettivo: questo studio mira a confrontare gli effetti degli esercizi pliometrici e di stabilità della caviglia sull'equilibrio dinamico e sui parametri cinematici e cinetici degli arti inferiori di atleti praticanti il Taekwondo con CAI.

Soggetti: Quattordici soggetti hanno partecipato a questo studio e sono stati divisi casualmente in due gruppi: un gruppo di esercizi pliometrici ($n = 7$) e un gruppo di esercizi di stabilità della caviglia ($n = 7$).

Test di valutazione: È stato utilizzato un test di bilanciamento Y per misurare l'equilibrio dinamico e sono stati utilizzati un sistema di analisi del movimento con lo sfruttamento di marcatori e telecamere 3D e una piastra di forza per raccogliere i parametri cinematici e cinetici durante l'atterraggio a caduta su una gamba da un'altezza di 45 cm e una distanza tra box e piastra di 20 cm. I parametri cinetici e cinematici considerati sono Initial Contact (IC), Massima Flessione Ginocchio (MKF), Spostamento del Centro di Pressione (COP) su asse X e Y, Forza di Reazione al Suolo Verticale (VGRF).

Un t-test accoppiato è stato utilizzato per i confronti intragruppo e un t-test indipendente è stato utilizzato per i confronti tra gruppi.

Trattamento: Gli esercizi pliometrici sono stati eseguiti due volte a settimana per 8 settimane per la durata di un'ora, incluso riscaldamento e defaticamento. Gli esercizi prevedono lo sfruttamento del salto in diverse direzioni con atterraggio in bipodalica o monopodalica, in base al volume richiesto dall'esercizio o dalla dinamica.

Risultati: In entrambi i gruppi, l'esercizio ha aumentato l'equilibrio dinamico e l'assorbimento degli urti e ha ridotto l'oscillazione posturale sullo spostamento antero-posteriore ($p < 0,05$).

Il gruppo di esercizi pliometrici ha ridotto la dorsiflessione della caviglia e aumentato la flessione dell'articolazione del ginocchio e dell'anca alla massima flessione del ginocchio ($p < 0,05$).

Al contrario, l'esercizio di stabilità ha aumentato la flessione plantare della caviglia al contatto iniziale ($p < 0,05$).

Conclusioni: Il gruppo di esercizi pliometrici ha modificato le proprie strategie di atterraggio utilizzando le articolazioni del ginocchio e dell'anca per controllare l'instabilità della caviglia durante l'atterraggio e sgravare il carico dell'urto su queste due articolazioni. Inoltre la flessione di ginocchio ad un grado maggiore di 90, favorisce la dissipazione attraverso i muscoli prossimali degli arti inferiori che tendono ad avere un volume maggiore rispetto ai muscoli distali. Questo studio suggerisce che l'applicazione di esercizi pliometrici nella riabilitazione della caviglia migliorerebbe la stabilità e l'assorbimento degli urti e aiuterebbe a prevenire gli infortuni durante le dimostrazioni di Taekwondo. L'aumento della flessione di ginocchio è una strategia di atterraggio che riduce al minimo il carico sulla caviglia e fornisce stabilità articolare per compensare l'instabilità della caviglia.

The Effects of Plyometric Type Neuromuscular Training on Postural Control Performance of Male Team Basketball Players⁵²

Scopo : Verificare la validità dell'esercizio pliometrico nei giocatori di basket nel miglioramento del controllo posturale ed equilibrio al fine di ridurre l'insorgenza di infortuni agli arti inferiori.

Soggetti: Sedici giocatori sono stati reclutati e assegnati a un gruppo di allenamento pliometrico + basket (PT) o a un gruppo di allenamento basket (BT). Tutti i giocatori si sono allenati due volte a settimana, ma il PT + BT ha seguito un programma pliometrico di 6 settimane implementato all'interno dell'allenamento di basket, mentre il BT ha seguito l'allenamento regolare.

Test di Valutazione: Il test di equilibrio dell'escursione stellare (SEBT) in 8 direzioni (anteriore, A; anteromediale, AM; anterolaterale, AL; mediale, M; laterale, L; posteriore, P; posteromediale, PM; e posterolaterale, PL) è stato misurato prima e dopo il periodo di 6 settimane. Il gruppo PT ha indotto un miglioramento significativo ($p \leq 0,05$) e dimensione dell'effetto da piccola a moderata nel SEBT (A = 0,95, AM = 0,62, AL = 0,61, M = 0,36, L = 0,47, P = 0,27, PM = 0,25, PL = 0,24). Non sono stati riscontrati miglioramenti significativi nel gruppo BT. Inoltre, c'erano differenze significative tra i gruppi in tutte le direzioni tranne PM e PL.

Trattamento: L'allenamento pliometrico è stato compiuto con una frequenza di due giorni a settimana (lunedì e giovedì) immediatamente prima del normale allenamento di basket. Ogni sessione di allenamento è durata 50 minuti, con 10 minuti di riscaldamento standard (5 minuti di corsa submassimale a $9 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, esercizi di stretching per 5 minuti e 2 esercizi submassimali di salto [20 salti verticali, 10 salti in lungo], 35 minuti di pliometria specifica e 5 minuti di defaticamento inclusi esercizi di stretching). Il programma di allenamento impiegato era il salto in profondità, lo squat in profondità e il salto in profondità al salto in lungo in piedi che consisteva in 3 serie con 20 ripetizioni da un box pliometrico da 45 cm. Ci sono stati rispettivamente 2 minuti e 72 ore di riposo tra le serie e le sessioni di allenamento.

In conclusione: Un programma pliometrico integrato all'interno della normale pratica di basket può portare a miglioramenti significativi in SEBT e di conseguenza controllo posturale. Si può raccomandare che i professionisti della forza e del condizionamento utilizzino l'allenamento pliometrico per migliorare la consapevolezza articolare degli atleti e il controllo posturale per ridurre possibili lesioni future agli arti inferiori.

Eight Weeks of Plyometric Training Improves Ability to Change Direction and Dynamic Postural Control in Female Basketball Players⁵³

Scopo. Lo scopo di tale studio è di valutare gli effetti di 8 settimane di allenamento pliometrico sulla capacità di cambiare direzione e controllo posturale nelle giocatrici di basket.

Soggetti Lo studio ha preso in considerazione 25 giocatrici di basket di livello nazionale di età compresa tra 18 e 27 anni. I soggetti sono stati poi assegnati in modo casuale a un gruppo sperimentale ($n = 13$), il gruppo dell'allenamento pliometrico (PT) che ha sostituito una parte del loro regime standard con un allenamento pliometrico due volte a settimana per 8 settimane e un gruppo di controllo ($n = 12$) che hanno continuato il regolare programma di allenamento stagionale.

Test di Valutazione: Prima e dopo l'intervento, la capacità di cambiare direzione e il controllo posturale sono state valutate mediante piattaforma di forza in condizioni sia statiche che dinamiche (con gli occhi aperti e poi chiusi). Il test isocinetico è stato eseguito anche per calcolare il rapporto di forza dei muscoli posteriori della coscia/quadricepiti (H/Q), rapporto importante per favorire la stabilità del ginocchio.

Trattamento: Durante l'intervento di 8 settimane, i membri del gruppo sperimentale hanno sostituito una parte del loro consueto allenamento stagionale di pallacanestro con un programma pliometrico. L'allenamento pliometrico viene compiuto con una frequenza di 2 giorni a settimana,

con un intervallo di 48 ore tra le sessioni. Il supplemento pliometrico ha seguito il protocollo raccomandato per migliorare le prestazioni con un rischio minimo di lesioni. Le esercitazioni di salto unilaterale e bilaterale, compresi i salti orizzontali e verticali, sono state eseguite sul piano sagittale, su una superficie stabile. In termini di intensità dell'allenamento, volume e altezza dei salti, seguito il principio del sovraccarico progressivo, iniziando con tecniche di esercizio a intensità più bassa, uniarticolari e meno complesse, e procedendo a intensità più elevate, esercizi multiarticolari e più complessi tecniche. Dai 72 contatti della prima settimana si è passati a 126 dell'ultima. Gli atleti sono stati incoraggiati verbalmente al massimo sforzo senza ginocchio valgo, con l'obiettivo di migliorare l'efficienza e la potenza dei salti.

Risultati: L'intervento ha migliorato la capacità di cambiare direzione ($p \leq 0,001$, $d = 1,51$) e ha ridotto la lunghezza del percorso ($p = 0,038$, $d = 0,937$) durante il test di bilanciamento statico. Tuttavia, non ha prodotto differenze significative tra i gruppi nel controllo posturale sul piano antero-posteriore, ma la posizione sul piano medio-laterale è risultata la più reattiva all'intervento, con riduzioni di superficie ($p = 0,012$, $d = 0,285$), velocità ad occhi chiusi ($p = 0,031$, $d = 0,968$) e lunghezza del percorso con gli occhi aperti ($p = 0,029$, $d = 0,968$). L'intervento non ha modificato il rapporto H/Q alle due velocità testate (60° e 120° .s⁻¹).

Conclusioni: In sintesi, l'aggiunta di 8 settimane di allenamento pliometrico al consueto regime di basket in stagione delle giocatrici di basket di alto livello ha migliorato la loro capacità di cambiare direzione e ridotto il rischio di cadute e infortuni migliorando il controllo posturale, ma non ha aumentato l'H /Q misura della stabilità del ginocchio.

Lower Extremity Biomechanics in Athletes With Ankle Instability After a 6-Week Integrated Training Program⁵¹

Scopo: Studiare gli effetti e le differenze, nel corso di 6 settimane, dell'allenamento pliometrico e dell'allenamento pliometrico integrato con allenamento di equilibrio in pazienti con CAI durante un atterraggio di caduta con una gamba sola e una posizione eretta con una gamba sola per verificare i cambiamenti della biomeccanica degli arti inferiori e del mantenimento dell'equilibrio statico e dinamico

Soggetti: Trenta atleti che soddisfano i seguenti criteri di inclusione sono stati considerati:

- Appartenenza a una squadra sportiva (es. basket, rugby, calcio, pallavolo) e l'esecuzione di un regolare esercizio fisico.
- Almeno 1 distorsione acuta di inversione della caviglia che ha provocato gonfiore, dolore e disfunzione.
- Distorsioni ricorrenti della caviglia o "cedimento" della caviglia negli ultimi 12 mesi.
- Punteggio inferiore a 24 nel Cumberland Ankle Instability Tool.
- Test di inclinazione del cassetto anteriore e dell'astragalo clinicamente negativi.

I partecipanti sono stati divisi in 3 gruppi: gruppo pliometrico (8 uomini, 2 donne, età = $23,20 \pm 2,82$ anni; 10 caviglie instabili), gruppo pliometrico-bilanciamento (integrato)-allenamento (8

uomini, 2 donne, età = $23,80 \pm 4,13$ anni; 10 caviglie instabili) e gruppo di controllo (7 uomini, 3 donne, età = $23,50 \pm 3,00$ anni; 10 caviglie instabili).

Test di Valutazione: Sono stati considerati dati come l'oscillazione del centro di pressione (COP), il raggiungimento della gamba con lo Star Excursion Balance Test (SEBT), l'elettromiografia di superficie e la cinematica, vengono utilizzate per valutare le caratteristiche neuromuscolari e biomeccaniche degli individui con FAI.

I test compiuti sono il test della bilancia in piedi a una gamba per l'equilibrio statico, atterraggio di caduta a una gamba per valutare l'angolo massimo e minimo di ginocchio e anca tra il momento del contatto e 500 ms dopo l'atterraggio e così verificare la stabilità posturale.

Inoltre con questo test è stato valutato anche il TTS che rappresenta il tempo occupato dal momento di contatto fino al punto di condizione di stabilità posturale calcolata con una finestra mobile di 2000 ms.

Trattamento: Il trattamento è protratto per 6 settimane con una frequenza di allenamento di 3 sessioni a settimana. Ciascuna sessione di allenamento consisteva in 3 minuti di esercizio di stretching generale e 7 minuti di esercizio aerobico (corsa di 800 m) come riscaldamento. Tra gli esercizi in ogni sessione di allenamento, era consentito un riposo di 2 minuti. Per la fase di raffreddamento, i partecipanti hanno eseguito nuovamente lo stretching generale per 5 minuti.

La sessione è composta da circa 6 esercizi di salto nelle diverse modalità (sempre a carattere pliometrico), ed ogni esercizio doveva essere effettuato per 10 ripetizioni per 2 / 3 serie.

Risultati: Oscillazione posturale ridotta in direzione mediale-laterale e area di oscillazione ridotta si sono verificate nei gruppi di allenamento pliometrico e integrato. In generale, l'allenamento pliometrico e l'allenamento integrato hanno aumentato gli angoli massimi dell'anca e del ginocchio sul piano sagittale, ridotto gli angoli massimi dell'anca e della caviglia sui piani frontale e trasversale nell'atterraggio a caduta laterale e ridotto il tempo di stabilizzazione per flessione del ginocchio nell'atterraggio di caduta mediale.

Conclusioni: Dopo 6 settimane di allenamento pliometrico o di allenamento integrato, gli individui con CAI hanno utilizzato una strategia di atterraggio più morbida durante gli atterraggi in caduta e hanno diminuito la loro oscillazione posturale durante l'appoggio a una gamba. L'allenamento pliometrico ha migliorato il controllo posturale statico e dinamico e dovrebbe essere incorporato nei programmi riabilitativi per le persone con CAI.

Scopo: Lo studio si pone come obiettivo la determinazione degli effetti dell'allenamento pliometrico in confronto degli esercizi di resistenza sulla forza muscolare e sulla performance sportiva dopo una distorsione acuta della caviglia laterale.

Soggetti: Sono stati inclusi nello studio 22 atleti (di età compresa tra 20 e 35 anni) di entrambi i sessi con distorsione unilaterale della caviglia inversa di grado I o II (almeno 3 settimane dopo la lesione acuta). Il primo gruppo ha compiuto un allenamento pliometrico, mentre il secondo ha ricevuto un allenamento resistivo per 6 settimane.

Per determinare gli effetti e le differenze tra i due allenamenti, i ricercatori hanno considerato la coppia di picco isocinetica/peso corporeo per i muscoli responsabili dell'inversione e quelli dell'eversione di caviglia a valori di 30 gradi/s e 120 gradi/s.

Sono stati scelti questi valori per misurare la coppia di picco perché 30 gradi/s rappresenta una forza che definisce una bassa velocità e 120 gradi/s rappresenta una potenza muscolare che definisce una velocità elevata. Inoltre è stato scelto di misurare gli eversori e gli invertitori della caviglia perché molti studi hanno riportato una diminuzione della forza degli inversori e degli eversori nei casi di distorsione della caviglia che contribuiscono a ulteriori lesioni e instabilità cronica della caviglia.

Test di valutazione: In più, sono state compiute delle valutazioni di 4 test funzionali prima e dopo l'allenamento. Questi test sono stati selezionati perché riflettono la stabilità funzionale, la forza, la resistenza e l'equilibrio dell'articolazione della caviglia necessari per prevenire l'instabilità cronica della caviglia e si concentrano su una valutazione oggettiva piuttosto che soggettiva.

Trattamento: Il trattamento è durato per 6 settimane e le sessioni di allenamento venivano effettuate 2 giorni a settimana. Il volume di allenamento variava da 90 a 140 contatti (intesi come contatti al suolo) per sessione, mentre l'intensità degli esercizi è stata aumentata per 5 settimane prima di diminuire gradualmente durante la settimana 6.

Risultati: sia l'allenamento pliometrico che quello resistivo migliorano le coppie di picco isocinetiche degli eversori e degli inversori e le prestazioni funzionali degli atleti $p < 0,05$. Non ci sono state differenze significative tra i gruppi per quanto riguarda la coppia di picco/peso corporeo per invertitori ed eversori a entrambe le velocità misurate $p > 0,05$. Le misure del test funzionale del gruppo pliometrico erano significativamente superiori a quelle del gruppo resistivo.

Conclusione: la pliometria si è rivelata più efficace degli esercizi resistivi nel migliorare le prestazioni funzionali degli atleti dopo una distorsione alla caviglia laterale.

10. DISCUSSIONE

L'obiettivo di questo lavoro consiste nell'approfondire e analizzare quali siano le proprietà neurofisiologiche dell'esercizio pliometrico e come questo possa giocare un ruolo importante nella prevenzione dell'instabilità cronica di caviglia.

I risultati complessivi di questo studio hanno mostrato effetti moderati sulla prevenzione e il trattamento agendo in particolare sull'equilibrio, la stabilità articolare, il controllo posturale, l'attivazione neuromuscolare, la coattivazione, variazione posizione di atterraggio rispetto al pre-allenamento.

Gli studi selezionati tengono conto di un campione di popolazione che rientra nella definizione di atleta, per valutare in modo più accurato l'effetto di questa particolare modalità di esercizio in soggetti più a rischio di danno a livello del distretto della caviglia rispetto ad una popolazione che non compie attività sportiva agonistica, in quanto più frequentemente sottoposta a carichi e movimenti stressanti potenzialmente lesivi.

In seguito, l'obiettivo è stato verificare, attraverso una revisione della letteratura, l'efficacia degli esercizi pliometrici attivi, sulla risoluzione dei sintomi conseguenti un'instabilità cronica di caviglia, ovvero la sensazione soggettiva di instabilità, il dolore, il gonfiore, la perdita di forza, l'aumento dell'articolazione causata dalla lassità legamentosa e le distorsioni recidivanti.

Nel primo articolo dove la valutazione dell'effetto della pliometria si è concentrata nell'allenamento con esercizio pliometrico e con esercizio pliometrico combinato per verificare l'effetto su soggetti atleti con CAI. I risultati emersi rispecchiano le aspettative dello studio verificando che la pliometria sia isolata che integrata con allenamento di equilibrio riporta una migliore senso di stabilizzazione di caviglia e aumento dell'attivazione della muscolatura dei flessori plantari durante la fase di pre-atteggiamento favorendo così un appoggio al suolo del piede più sicuro e controllato, evitando di alterare negativamente l'integrità del distretto della caviglia.

Rifacendosi alla teoria, quanto riportato è plausibile dato che l'esercizio pliometrico permette una stimolazione continua dei recettori articolari e periarticolari, conferendo al soggetto una sensibilità più oggettiva della posizione articolare in cui si trova la propria caviglia nelle posizioni di inversione e flessione plantare (combinazione di posizioni altamente lesive per la caviglia). Per corroborare la propria tesi, gli autori riportano la differenza tra i dati sul senso della posizione articolare degli individui sani rispetto a quelli affetti da CAI. Hanno notato che in un intervallo di test di $\pm 20^\circ$ dalla posizione neutra sui piani sagittale e frontale, l'errore assoluto di rilevamento della posizione dell'articolazione della caviglia in individui sani è compreso nell'intervallo $1^\circ\sim 3^\circ$. Negli individui CAI, invece, i dati riportano valori maggiori nel pre-allenamento.

Tuttavia, alla fine delle sei settimane di allenamento, anche questi individui sono stati in grado di costruire una maggiore sensibilità batiestesica tale da avere valori di errore assoluto che rientrano nell'intervallo di errore degli individui sani.

L'attivazione muscolare deriva, invece, da un'attività a feed-forward e a feed-back in cui si attivano le vie del cervelletto e le vie extra-piramidali in cui si stimolano i gangli della base. Tuttavia si è riscontrato come gli individui CAI presentino una carenza di questi meccanismi.

Tali attività sono state migliorate con la ripetizione dei vari esercizi di carattere pliometrico favorendo quella che è la pre-attivazione muscolare preparatoria in fase di pre-atteggiamento e l'azione reattiva post-atteggiamento, in particolare valutando l'attivazione del peroneo lungo (eversore) e del tibiale anteriore (inversore): due muscoli fondamentali per il controllo della postura pre e post atteggiamento.

Infatti, al contatto si verifica un appiattimento dell'arco longitudinale mediale, e quindi i muscoli inversori della caviglia (p. es., il tibiale anteriore) si contraggono eccentricamente per controllare il complesso del piede e della caviglia.

Invece, il peroneo lungo che si attiva concentricamente durante la fase di pre-atteggiamento, non ha riportato alcun cambiamento registrato. Si ipotizza che tale mancanza possa essere dovuta ad una ridotta altezza del box utilizzato (16 cm) rispetto agli studi analizzati dagli autori (30 cm). Lo studio ha preferito tutelare gli atleti riducendo l'altezza.

Nonostante ciò è importante sottolineare che è stata ricavata una differenza nel livello di attivazione del gruppo pliometrico rispetto all'integrato del tibiale anteriore. Infatti, nel gruppo integrato non è stato registrato nessun cambiamento, mentre nel pliometrico si deduce che la contrazione eccentrica del tibiale anteriore stimolata durante la caduta ne favorisca l'attività.

I flessori plantari hanno aumentato l'attivazione registrata attraverso analisi EMG, ma solo durante la fase di pre-atteggiamento mediale sia nel gruppo pliometrico sia integrato rispetto al gruppo di controllo. Si ipotizza che la mancata registrazione in altre posizioni di atterraggio potrebbe essere dovuta ad un campione di soggetti ridotto.

Nonostante ciò, nel gruppo pliometrico nel momento della caduta mediale è stato possibile verificare un ridotto tempo di stabilizzazione lungo il piano sagittale: segno di miglior controllo posturale dinamico. Tuttavia, solamente l'analisi dell'attività del soleo ha riportato delle modifiche rispetto al gruppo di controllo.

Gli autori riconoscono i limiti dello studio:

- I partecipanti con instabilità bilaterale della caviglia non sono stati esclusi e il test è stato semplicemente eseguito sull'articolazione della caviglia con il punteggio CAIT più basso.
- Il tempo di insorgenza specifico di ciascuna distorsione alla caviglia non è stato documentato e ciò potrebbe influire sulle loro prestazioni.
- Il numero di serie e ripetizioni pliometriche non è stato standardizzato poiché queste sono state modificate in base al feedback e ai progressi dei partecipanti.

Il secondo studio considerato confronta l'equilibrio dinamico e parametri cinematici e cinetici degli arti inferiori in soggetti atleti di Taekwondo affetti da CAI, nel corso di 8 settimane tra due gruppi: il gruppo pliometrico e il gruppo di stabilizzazione di caviglia.

Il focus è l'equilibrio dinamico in quanto è stato riportato da degli studi che la mancanza di controllo posturale dinamico è una delle cause principali di lesione alla caviglia.

Entrambi i gruppi hanno ottenuto dei risultati positivi, però con delle caratteristiche diverse nella biomeccanica di salto e soprattutto atterraggio.

In entrambi i gruppi è avvenuto un miglioramento del controllo posturale, ma sembra che l'equilibrio dinamico sia stato maggiormente sviluppato nel gruppo di stabilizzazione della caviglia. Inoltre, sembra aver migliorato il range of movement lungo il piano sagittale (flessione plantare e dorsale) dell'articolazione della caviglia rispetto al gruppo pliometrico.

Questo perché il gruppo pliometrico si concentra maggiormente nel sopperire un deficit di ROM della caviglia attraverso l'aumento della flessione di ginocchio e anca per favorire, inoltre, una dissipazione energetica nel momento dell'urto e una maggiore stabilizzazione dell'arto inferiore al fine di evitare ulteriori stress in caviglie già compromesse.

Oltre a ciò la pliometria attraverso il meccanismo di allungamento-accorciamento favorisce una desensibilizzazione degli organi tendinei del golgi che subiscono un adattamento tale da permettere alle componenti elastiche dei muscoli di tollerare meglio lo stretching.

Infatti le forze di reazione al suolo (GRF o VGRF) sono diminuite in entrambi i gruppi, ma con meccanismi diversi che sfruttano principalmente la caviglia, nel caso di ASE e ginocchia e anca in PE.

Sebbene la flessione di ginocchio e anca siano aumentate, non vale lo stesso per la caviglia che invece non ha aumentato la flessione dorsale, ma bensì sembra averla diminuita. L'ipotesi elaborata dagli autori suggerisce che possa essere dovuto ad uno spostamento della linea del Centro Di Pressione (COP) anteriormente.

Questi risultati suggeriscono che la ridotta dorsiflessione della caviglia può essere dovuta allo spostamento anteriormente della linea COP. Quando la COP viene traslata anteriormente, l'articolazione astragalo-crurale viene dorsiflessa passivamente e quindi flessa attivamente plantare per ripristinare l'equilibrio. La flessione plantare attiva sposta il COP posteriormente in modo che la linea di gravità venga spostata anteriormente per mantenere l'equilibrio⁵⁵. È stato riscontrato che questi diversi schemi cinematici dei due gruppi influenzano i fattori cinetici all'atterraggio.

I due gruppi hanno diminuito l'oscillazione posturale lungo il piano sagittale, ma senza mostrare una differenza nei valori. Invece, non sono stati riscontrati miglioramenti nell'oscillazione medio-laterale.

Tenendo conto che il controllo in senso latero-mediale è a carico dell'articolazione sottoastragolica, mentre in senso antero-posteriore a carico della tibio-astragolica, si ipotizza che gli esercizi di queste due modalità d'allenamento migliorino il controllo della seconda delle due.

Il presente studio presenta diversi limiti che meritano di essere presi in considerazione:

- Difficoltà nel generalizzare gli effetti dell'allenamento perché i soggetti erano limitati a un piccolo numero di giovani atleti maschi dimostrativi di Taekwondo. Pertanto, i risultati non possono essere applicati alle atlete a causa delle differenze biomeccaniche.
- Lo studio è stato condotto durante la stagione regolare e gli esercizi diversi dall'intervento non sono stati controllati. Il presente studio non ha affrontato la persistenza degli effetti di ASE e PE.

Dati i risultati positivi, ma le differenze strategiche nel raggiungimento di questi si può pensare in un'integrazione di tali esercizi per verificare se l'unione possa favorire delle strategie migliori.

Il terzo studio valuta gli effetti neuromuscolari dell'esercizio pliometrico sul controllo posturale dei giocatori di basket maschili. I soggetti reclutati sono 16 e sono stati divisi in due gruppi messi a confronto: Gruppo pliometrico + basket, dove i partecipanti inclusi in questo gruppo erano sottoposti ad un allenamento pliometrico combinato con un allenamento di pallacanestro e il gruppo Basket che non compiva l'allenamento pliometrico.

L'allenamento pliometrico è stato effettuato 2 giorni con un distacco di 72h tra uno e l'altro alla settimana nel corso di 6 settimane, prima dell'allenamento di basket.

La sessione aveva una durata di 50 minuti compreso il tempo dedicato al riscaldamento, stretching e defaticamento andando quindi a compiere un lavoro pliometrico effettivo di circa 35 minuti.

Ai soggetti è stato richiesto di compiere gli esercizi con il massimo sforzo (Box jump, squat jump, salti laterali, ecc...) e tra ogni esercizio una pausa di 2 minuti.

La valutazione del controllo posturale è stata compiuta attraverso il test dell'equilibrio dell'escursione a stella (SEBT) in quanto questa misurazione è stata ritenuta da studi valida.

Sono state considerate 8 direzioni:

- Antero-Laterale

- Anteriore
- Antero-Mediale
- Postero-Mediale
- Posteriore
- Postero-Laterale
- Laterale

Nel pre-test le misurazioni erano simili, mentre nel post-test di 6 settimane gli individui dell'allenamento pliometrico hanno presentato un miglioramento in tutte le direzioni, mentre il gruppo di controllo in nessuna.

Si ipotizza, ribadendo gli effetti neuromodulatori descritti negli studi precedenti, che le dinamiche che possono aver influenzato i miglioramenti nel test SEBT potrebbero essere l'attivazione muscolare, le proprietà neuromuscolari e la propriocezione, in quanto hanno una forte relazione con le prestazioni SEBT.

Tuttavia gli esercizi pliometrici compiuti in questo studio non hanno tenuto conto della dinamica specifica dell'atterraggio, che è un aspetto fondamentale in particolare per soggetti che già soffrono di CAI. Nonostante ciò, gli autori hanno ritenuto non essere necessarie queste accortezze in quanto si tratta di soggetti sani che praticano uno sport a livello agonistico e quindi già per questo migliori della popolazione media negli aspetti inerenti alla funzione di mantenimento di equilibrio.

Sarebbe però corretto considerare questo aspetto per migliorare ulteriormente la capacità di equilibrio e ridurre le probabilità di infortunio conferendo ai giocatori una percezione della posizione articolare migliore e così anche uno schema motorio più adatto all'attenuare gli stress causati dall'urto nel momento dell'atterraggio al suolo.

Il quarto studio si concentra anch'esso come il terzo nel mondo del basket, ma questa volta i soggetti fanno parte del genere femminile. Lo scopo, anche in questo caso, è la valutazione degli effetti dell'esercizio pliometrico sulla capacità di controllo posturale e di cambiare direzione.

Si ritiene importante l'analisi di studi che considerano il basket femminile, in quanto alcuni studi riportano che rispetto agli uomini le donne siano più suscettibili ad infortunio con un rapporto M:F 1-2/4.

Altri studi supportano che il controllo posturale delle giocatrici e giocatori di basket sia minore rispetto ad altri sport dinamici.

Il gruppo di controllo continuava ad essere sottoposto all'allenamento di pallacanestro, mentre il gruppo pliometrico ha inserito anche questa tipologia di esercizio nel planning dell'allenamento.

I gruppi sono composti anche in questo caso da un numero piuttosto limitato: 12 e 13 partecipanti, il che è un limite dello studio.

L'allenamento è stato protratto per 8 settimane con la frequenza di due giorni a settimana separati da un intervallo di 48h.

Le esercitazioni di salto unilaterale e bilaterale, compresi i salti orizzontali e verticali, sono state eseguite sul piano sagittale, su una superficie stabile. In termini di intensità dell'allenamento, volume e altezza dei salti è stato rispettato il principio del sovraccarico progressivo, iniziando con tecniche di esercizio a intensità più bassa, monoarticolari e meno complesse, e procedendo a intensità più elevate, esercizi multiarticolari e più complesse tecniche. Gli atleti sono stati

incoraggiati verbalmente al massimo sforzo senza ginocchio valgo, con l'obiettivo di migliorare l'efficienza e la potenza dei salti.

Il controllo posturale è stato valutato sfruttando l'uso di una piattaforma a 3 estensimetri.

L'equilibrio è stato testato in modo completo per analizzare le vie nervose che agiscono in questa funzione. Infatti, sono state compiute le valutazioni ad occhi aperti, occhi chiusi, in condizioni di stabilità e di instabilità con un terreno mobile. La stabilità è stata poi valutata in direzione medio-laterale e antero-posteriore.

Il tutto compiuto a piedi nudi per conferire maggiore stabilità ed evitare un inquinamento del test dato dalle calzature, con le mani appoggiate a livello delle creste iliache mantenendo lo sguardo su un bersaglio fisso posto a distanza di 2 metri.

Come dati utili per valutare il controllo posturale gli autori hanno sfruttato la registrazione dello spostamento del Centro di Pressione, tenendo conto della lunghezza totale dello spostamento e della velocità.

I dati hanno mostrato miglioramenti nel gruppo pliometrico, ma non nel gruppo di controllo.

I risultati positivi nella capacità di cambiare direzione riflettono una capacità di adattamento neurale migliore così come una maggiore velocità di conduzione nervosa, una riduzione del tempo necessario per l'attivazione muscolare volontaria e una migliore coordinazione tra il segnale del sistema nervoso centrale e il feedback propriocettivo. Le componenti percettive alla base includono un cambiamento di direzione, anticipazione e processi decisionali, una migliore coordinazione intermuscolare e una migliore strategia di reclutamento delle unità motorie .

Il presente studio mostra il valore pratico di sostituire una parte del normale regime di allenamento di basket delle giocatrici con 8 settimane di allenamento pliometrico in stagione. Questo programma migliora le capacità fisiche da sfruttare nelle routine di allenamento quotidiane e per migliorare le prestazioni dei giocatori durante la stagione di gioco. Inoltre la capacità di cambio di direzione e il controllo posturale sul piano medio-laterale e una tendenza alla regolazione dell'equilibrio del ginocchio possono anche ridurre il rischio di infortuni. I risultati attuali dovrebbero aiutare allenatori e preparatori fisici nella loro ricerca per otti

L'ultimo articolo selezionato confronta l'esercizio pliometrico con l'esercizio resistivo rispetto la forza muscolare e la funzione post-distorsione acuta laterale di primo o secondo grado di caviglia in soggetti di numero 22 atleti di età tra i 20 e 35 anni di entrambi i sessi, che ne sono affetti da 3 settimane, quanto, in base al processo di guarigione del legamento la fase di riparazione o la fase fibroblastica richiedono fino a 3 settimane per massimizzare il contenuto di collagene e quindi rinforzare i legamenti lesionati.

L'allenamento è protratto per un tempo di 6 settimane e gli individui inseriti nel programma hanno soddisfatto i prerequisiti per l'allenamento pliometrico raccomandato da Tippet e Voight includono:

- Test di power squat positivo con un peso pari al 60 percento del peso corporeo dell'individuo eseguito cinque volte in 5 secondi.
- Capacità di eseguire una gamba in piedi per 30 secondi con gli occhi aperti e chiusi prima dell'inizio dell'allenamento pliometrico.

- Capacità di mantenere il controllo statico e dinamico del peso corporeo con lo squat a gamba singola.

I partecipanti sono stati sottoposti a 4 test funzionali della caviglia presi dal protocollo di Kaiokken che parrebbe essere efficiente a definire la stabilità funzionale, la forza, resistenza ed equilibrio.

Oltre a i test che valutano le qualità del controllo posturale, lo studio ha analizzato il rapporto della coppia di picco inversori e eversori di caviglia rispetto al peso, a velocità di 30°/s e 120°/s. Si pensa che questo dato sia fondamentale perché diversi studi riportano una diminuzione della forza degli eversori e inversori nei casi di distorsione di caviglia. I dati del rapporto sono stati selezionati per verificare le espressioni di potenza ad una velocità ridotta (30°/s) e d elevata (120°/s).

Il programma del gruppo pliometrico è strutturato secondo le indicazioni degli autori Piper e Erdmann che tengono conto dell'intensità e del volume.

In queste 6 settimane il volume è variato aumentando da 90 a 140 contatti e l'intensità (sforzo e velocità) anche.

L'allenamento è stato compiuto 2 giorni a settimana.

Il gruppo resistivo, invece, ha allenato i muscoli che agiscono a livello del distretto della caviglia nei diversi piani di movimento con un allenamento che prevedeva l'applicazione di una resistenza manuale o di altre resistenze date dal peso del corpo che dura dai 3 a i 5 secondi per un totale di 10 ripetizioni.

Alla fine delle 6 settimane sono stati rivalutati i 4 test e si è identificato un miglioramento in entrambi i gruppi, ma in modo più efficace nel gruppo pliometrico.

Si ritiene che l'efficacia maggiore del gruppo pliometrico sia dovuta ai meccanismi neurofisiologici precedentemente descritti. Tuttavia, gli autori sottolineano dei limiti dello studio dovuti ad un campione ridotto di soggetti.

Per quanto riguarda la valutazione della coppia isocinetica di eversori e inversori rispetto al peso corporeo a velocità di 30°/s e 120°/s, sia il gruppo pliometrico che il gruppo resistivo hanno aumentato in modo significativo questo rapporto.

11. CONCLUSIONI

L'obiettivo dello studio è di trovare nella letteratura scientifica delle evidenze sugli effetti dell'esercizio pliometrico nel trattamento dell'instabilità di caviglia .

Il pensiero che ci ha mosso nella ricerca è la possibilità che l'esercizio pliometrico venga inserito nel protocollo di allenamento degli atleti. Infatti, come riportato da alcuni studi, oltre ad essere un ottimo esercizio per migliorare la performance sportiva ^{37,42}, può essere utile per la prevenzione dell'instabilità di caviglia.

Per supportare quest'idea ci siamo basati sui risultati analizzati dalla letteratura. I risultati hanno riportato diversi esiti a favore dell'utilizzo di questa modalità di esercizio. Come detto in precedenza la cronicizzazione dell'instabilità di caviglia provoca deficit di equilibrio, propiocezione, forza, controllo posturale, mancanza di stabilità articolare, ecc... Per queste ragioni gli articoli analizzati hanno individuato degli outcome basati su tali deficit per verificare se

l'esercizio pliometrico fosse un allenamento valido o meno. Infatti, alcuni articoli si sono concentrati maggiormente sul miglioramento dell'equilibrio, altri sulla biomeccanica di atterraggio come negli studi di Lee ⁴⁵ e di Huang ⁵¹, altri sul recupero degli altri deficit causati dalla cronicizzazione dell'instabilità (propriocezione, forza, controllo posturale, ecc...).

Gli studi considerati presentano dei limiti, che mettono in dubbio la totale validità dell'esercizio pliometrico come un goal standard del trattamento dell'instabilità di caviglia.

Infatti la maggior parte degli studi analizzati

- Presentano dei campioni ridotti di atleti.
- Non trattano le distorsioni mediali e alte di caviglia.
- Non sottolineano le differenze di outcome tra i soggetti maschili e femminili.
- Non propongono l'allenamento per oltre 8 settimane.
- Non riportano dati sugli effetti a lungo termine.
- Ecc...

Inoltre alcuni studi presentano dei dati contrastanti sostenendo che l'instabilità di caviglia possa essere gestita tramite un atterraggio morbido (flex anca e ginocchio > 90°) garantito da una migliore co-attivazione muscolare di agonisti e antagonisti che riducono le oscillazioni sul piano frontale e sagittale dell'articolazione come riportato dagli studi ^{37,49,50}. Tuttavia lo studio di Cherni ⁵³ ha mostrato che non ci sono stati miglioramenti nella riduzione dell'oscillazione posturale sul piano frontale.

Il lavoro di ricerca effettuato invita ad approfondire l'efficacia dell'esercizio pliometrico nel trattamento e prevenzione dell'instabilità di caviglia, in particolare per l'elevata incidenza (10-30%) che presenta nel mondo dello sport.

Tale lavoro potrebbe essere d'aiuto ad ulteriori futuri studi che come noi hanno l'obiettivo di integrare l'esercizio pliometrico nel programma di allenamento per tutelare l'atleta.

Si invita a trovare informazioni utili ad escogitare e programmare un piano d'allenamento valido, cercando di eliminare i limiti riportati e chiarire le discordanze riscontrate.

BIBLIOGRAFIA

1. Saki, F., Yalfani, A., Fousekis, K., Sodejani, S. H. & Ramezani, F. Anatomical risk factors of lateral ankle sprain in adolescent athletes: A prospective cohort study. *Phys. Ther. Sport* **48**,

26–34 (2021).

2. Kisner, C., & Colby, L. A. (2013). *Esercizio terapeutico. Fondamenti e tecniche (3 edizione)*. Padova: Piccin-Nuova Libreria.
3. Kapandji, I. A. (2011). *Anatomia funzionale*. Monduzzi.
4. F, B., E, T., C, M. & Y, T. Chronic ankle instability: biomechanics and pathomechanics of ligaments injury and associated lesions. *Orthop. Traumatol. Surg. Res. OTSR* **96**, (2010).
5. Chen, E. T., Borg-Stein, J. & McInnis, K. C. Ankle Sprains: Evaluation, Rehabilitation, and Prevention. *Curr. Sports Med. Rep.* **18**, 217–223 (2019).
6. Roemer, F. W. *et al.* Ligamentous Injuries and the Risk of Associated Tissue Damage in Acute Ankle Sprains in Athletes: A Cross-sectional MRI Study. *Am. J. Sports Med.* **42**, 1549–1557 (2014).
7. Dt, F., Y, H., Lk, C., Ps, Y. & Km, C. A systematic review on ankle injury and ankle sprain in sports. *Sports Med. Auckl. NZ* **37**, (2007).
8. Williams, G. N., Jones, M. H. & Amendola, A. Syndesmotic ankle sprains in athletes. *Am. J. Sports Med.* **35**, 1197–1207 (2007).
9. Herzog, M. M., Kerr, Z. Y., Marshall, S. W. & Wikstrom, E. A. Epidemiology of Ankle Sprains and Chronic Ankle Instability. *J. Athl. Train.* **54**, 603–610 (2019).
10. Beynnon, B. D., Vacek, P. M., Murphy, D., Alosa, D. & Paller, D. First-time inversion ankle ligament trauma: the effects of sex, level of competition, and sport on the incidence of injury. *Am. J. Sports Med.* **33**, 1485–1491 (2005).
11. Gribble, P. A. *et al.* Evidence review for the 2016 International Ankle Consortium consensus statement on the prevalence, impact and long-term consequences of lateral ankle sprains. *Br. J. Sports Med.* **50**, 1496–1505 (2016).
12. Vuurberg, G. *et al.* Diagnosis, treatment and prevention of ankle sprains: update of an evidence-based clinical guideline. *Br. J. Sports Med.* **52**, 956 (2018).
13. Doherty, C. *et al.* The incidence and prevalence of ankle sprain injury: a systematic review and meta-analysis of prospective epidemiological studies. *Sports Med. Auckl. NZ* **44**, 123–140 (2014).

14. Attenborough, A. S. *et al.* Chronic Ankle Instability in Sporting Populations. *Sports Med.* **44**, 1545–1556 (2014).
15. Delahunt, E. & Remus, A. Risk Factors for Lateral Ankle Sprains and Chronic Ankle Instability. *J. Athl. Train.* **54**, 611–616 (2019).
16. McKay, G. D., Goldie, P. A., Payne, W. R. & Oakes, B. W. Ankle injuries in basketball: injury rate and risk factors. *Br. J. Sports Med.* **35**, 103–108 (2001).
17. Kobayashi, T., Tanaka, M. & Shida, M. Intrinsic Risk Factors of Lateral Ankle Sprain: A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Health* **8**, 190–193 (2016).
18. Hertel, J. & Corbett, R. O. An Updated Model of Chronic Ankle Instability. *J. Athl. Train.* **54**, 572–588 (2019).
19. Hertel, J. & Corbett, R. O. An Updated Model of Chronic Ankle Instability. *J. Athl. Train.* **54**, 572–588 (2019).
20. Hiller, C. E., Refshauge, K. M., Bundy, A. C., Herbert, R. D. & Kilbreath, S. L. The Cumberland ankle instability tool: a report of validity and reliability testing. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* **87**, 1235–1241 (2006).
21. Docherty, C. L., Arnold, B. L. & Hurwitz, S. Contralateral force sense deficits are related to the presence of functional ankle instability. *J. Orthop. Res. Off. Publ. Orthop. Res. Soc.* **24**, 1412–1419 (2006).
22. Docherty, C. L. & Arnold, B. L. Force sense deficits in functionally unstable ankles. *J. Orthop. Res. Off. Publ. Orthop. Res. Soc.* **26**, 1489–1493 (2008).
23. Sousa, A. S. P., Leite, J., Costa, B. & Santos, R. Bilateral Proprioceptive Evaluation in Individuals With Unilateral Chronic Ankle Instability. *J. Athl. Train.* **52**, 360–367 (2017).
24. Cf, L., Cy, C. & Cw, L. Dynamic ankle control in athletes with ankle instability during sports maneuvers. *Am. J. Sports Med.* **39**, (2011).
25. Ardakani, M. K., Wikstrom, E. A., Minoonejad, H., Rajabi, R. & Sharifnezhad, A. Hop-Stabilization Training and Landing Biomechanics in Athletes With Chronic Ankle Instability: A Randomized Controlled Trial. *J. Athl. Train.* **54**, 1296–1303 (2019).
26. Feger, M. A. *et al.* Effects of 4-week impairment-based rehabilitation on jump-landing

- biomechanics in chronic ankle instability patients. *Phys. Ther. Sport Off. J. Assoc. Chart. Physiother. Sports Med.* **48**, 201–208 (2021).
27. Kim, H., Son, S. J., Seeley, M. K. & Hopkins, J. T. Altered movement strategies during jump landing/cutting in patients with chronic ankle instability. *Scand. J. Med. Sci. Sports* **29**, 1130–1140 (2019).
 28. Fraser, J. J., Feger, M. A. & Hertel, J. CLINICAL COMMENTARY ON MIDFOOT AND FOREFOOT INVOLVEMENT IN LATERAL ANKLE SPRAINS AND CHRONIC ANKLE INSTABILITY. PART 2: CLINICAL CONSIDERATIONS. *Int. J. Sports Phys. Ther.* **11**, 1191–1203 (2016).
 29. Wikstrom, E. A. & Hubbard, T. J. Talar positional fault in persons with chronic ankle instability. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* **91**, 1267–1271 (2010).
 30. Hubbard, T. J., Hertel, J. & Sherbondy, P. Fibular position in individuals with self-reported chronic ankle instability. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* **36**, 3–9 (2006).
 31. Hubbard, T. J. & Hertel, J. Anterior positional fault of the fibula after sub-acute lateral ankle sprains. *Man. Ther.* **13**, 63–67 (2008).
 32. Herzog, M. M. *et al.* Ankle Sprains in the National Basketball Association, 2013-2014 Through 2016-2017. *Am. J. Sports Med.* **47**, 2651–2658 (2019).
 33. Cumps, E., Verhagen, E. & Meeusen, R. Prospective Epidemiological Study of Basketball Injuries During One Competitive Season: Ankle Sprains and Overuse Knee Injuries. *J. Sports Sci. Med.* **6**, 204–211 (2007).
 34. Markovic, G. & Mikulic, P. Neuro-musculoskeletal and performance adaptations to lower-extremity plyometric training. *Sports Med. Auckl. NZ* **40**, 859–895 (2010).
 35. Ramirez-Campillo, R. *et al.* Methodological Characteristics and Future Directions for Plyometric Jump Training Research: A Scoping Review. *Sports Med.* **48**, 1059–1081 (2018).
 36. Fukutani, A., Isaka, T. & Herzog, W. Evidence for Muscle Cell-Based Mechanisms of Enhanced Performance in Stretch-Shortening Cycle in Skeletal Muscle. *Front. Physiol.* **11**, 609553 (2021).
 37. Ramirez-Campillo, R. *et al.* The effects of plyometric jump training on physical fitness attributes

- in basketball players: A meta-analysis. *J. Sport Health Sci.* S2095-2546(20)30169–1 (2020)
doi:10.1016/j.jshs.2020.12.005.
38. Davies, G., Riemann, B. L. & Manske, R. CURRENT CONCEPTS OF PLYOMETRIC EXERCISE. *Int. J. Sports Phys. Ther.* **10**, 760–786 (2015).
 39. Chmielewski, T. L., Myer, G. D., Kauffman, D. & Tillman, S. M. Plyometric exercise in the rehabilitation of athletes: physiological responses and clinical application. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* **36**, 308–319 (2006).
 40. Doherty, C. *et al.* Single-leg drop landing movement strategies in participants with chronic ankle instability compared with lateral ankle sprain ‘copers’. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc. Off. J. ESSKA* **24**, 1049–1059 (2016).
 41. Kurokawa, S., Fukunaga, T., Nagano, A. & Fukashiro, S. Interaction between fascicles and tendinous structures during counter movement jumping investigated in vivo. *J. Appl. Physiol. Bethesda Md 1985* **95**, 2306–2314 (2003).
 42. Ramirez-Campillo, R. *et al.* Effects of Plyometric Jump Training on Physical Fitness in Amateur and Professional Volleyball: A Meta-Analysis. *Front. Physiol.* **12**, 636140 (2021).
 43. Lu, Z. *et al.* The Effect of 6-Week Combined Balance and Plyometric Training on Dynamic Balance and Quickness Performance of Elite Badminton Players. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **19**, 1605 (2022).
 44. Oxfeldt, M., Overgaard, K., Hvid, L. G. & Dalgas, U. Effects of plyometric training on jumping, sprint performance, and lower body muscle strength in healthy adults: A systematic review and meta-analyses. *Scand. J. Med. Sci. Sports* **29**, 1453–1465 (2019).
 45. Lee, H. M., Oh, S. & Kwon, J. W. Effect of Plyometric versus Ankle Stability Exercises on Lower Limb Biomechanics in Taekwondo Demonstration Athletes with Functional Ankle Instability. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **17**, E3665 (2020).
 46. Huang, P.-Y., Jankaew, A. & Lin, C.-F. Effects of Plyometric and Balance Training on Neuromuscular Control of Recreational Athletes with Functional Ankle Instability: A Randomized Controlled Laboratory Study. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **18**, 5269 (2021).
 47. Hass, C. J., Bishop, M. D., Doidge, D. & Wikstrom, E. A. Chronic ankle instability alters central

- organization of movement. *Am. J. Sports Med.* **38**, 829–834 (2010).
48. Zhang, S. N., Bates, B. T. & Dufek, J. S. Contributions of lower extremity joints to energy dissipation during landings. *Med. Sci. Sports Exerc.* **32**, 812–819 (2000).
49. Chimera, N. J., Swanik, K. A., Swanik, C. B. & Straub, S. J. Effects of Plyometric Training on Muscle-Activation Strategies and Performance in Female Athletes. *J. Athl. Train.* **39**, 24–31 (2004).
50. Zhang, L. Q. & Wang, G. Dynamic and static control of the human knee joint in abduction-adduction. *J. Biomech.* **34**, 1107–1115 (2001).
51. Huang, P.-Y., Chen, W.-L., Lin, C.-F. & Lee, H.-J. Lower extremity biomechanics in athletes with ankle instability after a 6-week integrated training program. *J. Athl. Train.* **49**, 163–172 (2014).
52. Asadi, A., Saez de Villarreal, E. & Arazi, H. The Effects of Plyometric Type Neuromuscular Training on Postural Control Performance of Male Team Basketball Players. *J. Strength Cond. Res.* **29**, 1870–1875 (2015).
53. Cherni, Y. *et al.* Eight Weeks of Plyometric Training Improves Ability to Change Direction and Dynamic Postural Control in Female Basketball Players. *Front. Physiol.* **10**, 726 (2019).
54. Ismail, M. M., Ibrahim, M. M., Youssef, E. F. & El Shorbagy, K. M. Plyometric training versus resistive exercises after acute lateral ankle sprain. *Foot Ankle Int.* **31**, 523–530 (2010).
55. Mitchell, A., Dyson, R., Hale, T. & Abraham, C. Biomechanics of ankle instability. Part 2: Postural sway-reaction time relationship. *Med. Sci. Sports Exerc.* **40**, 1522–1528 (2008).