

# Università degli Studi di Padova

CORSO DI LAUREA IN FISIOTERAPIA  
PRESIDENTE: *Ch.ma Prof.ssa Veronica Macchi*

## TESI DI LAUREA

IL SALTO CON L'ASTA: TRATTAMENTO RIABILITATIVO NELLA PREVENZIONE  
DEGLI INFORTUNI. REVISIONE DELLA LETTERATURA

Pole vault: rehabilitation treatment in injuries prevention.  
Literature review

RELATORE: Prof. Giovanni Volpe

LAUREANDO: Mattia Sartori

Anno Accademico 2021/2022

# Indice

<b>RIASSUNTO .....</b>	<b>1</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>2</b>
<b>INTRODUZIONE.....</b>	<b>3</b>
<b>CAPITOLO I – Aspetti anatomici</b>	
1.1 Rachide lombare .....	4
1.1.1 Biomeccanica del rachide lombare .....	5
1.2 Ischiocrurali.....	6
1.3 Spalla.....	7
<b>CAPITOLO II – Biomeccanica del salto con l’asta</b>	
2.1 Rincorsa.....	10
2.2 Stacco .....	11
2.3 Fase di volo.....	12
2.4 Atterraggio.....	14
<b>CAPITOLO III – Materiali e metodi</b>	
3.1 Ricerca.....	15
3.2 Criteri di inclusione ed esclusione.....	16
<b>CAPITOLO IV – Risultati</b>	
4.1 Epidemiologia .....	17
4.2 Rachide lombare.....	20
4.3 Ischiocrurali.....	24
4.4 Spalla.....	32
<b>CAPITOLO V – Discussione</b>	
5.1 Epidemiologia .....	37
5.2 Rachide lombare.....	38
5.3 Ischiocrurali.....	39
5.4 Spalla.....	41
<b>CONCLUSIONE.....</b>	<b>43</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>44</b>
<b>ALLEGATI.....</b>	<b>48</b>

## RIASSUNTO

Obiettivo: prevenire l'insorgenza di infortuni in atleti che praticano il salto con l'asta

Definizione del problema: il salto con l'asta è una disciplina dell'atletica leggera che richiede molti requisiti fisici e tecnici. In aggiunta, durante l'esecuzione del salto, l'atleta viene sottoposto ad una serie di forze e tensioni che possono provocare delle lesioni e costringerlo ad uno stop forzato anche per periodi molto lunghi

Materiali e metodi: la ricerca è stata impostata in due fasi. In un primo momento sono state individuate le strutture corporee più colpite e le modalità con cui esse generalmente avvengono. In seguito, le varie aree sono state approfondite singolarmente concentrandosi nell'individuazione di metodi di prevenzione. La ricerca è stata condotta utilizzando le principali banche di dati online, tra cui PubMed, PEDro, Google Scholar e Cochrane Library. Sono stati considerati studi osservazionali, RTC, review e linee guida pubblicati negli ultimi 10 anni.

Risultati e discussione: nella prima fase della ricerca sono risultati 23 articoli. Da questi ne sono stati selezionati 2 che rispettassero i criteri di inclusione. Essi hanno evidenziato che le strutture più colpite sono il rachide lombare, i muscoli ischiocrurali e l'articolazione della spalla. Inoltre, il momento dello stacco è stata la modalità lesiva più frequente.

La seconda fase ha prodotto 177 articoli. Una prima scrematura ha portato a visionare 32 articoli e, infine, ne sono stati selezionati 8. Da questi studi è risultato che per quanto riguarda il rachide, test come il FMS test e il SLR sono molto significativi nell'individuare i soggetti più a rischio, mentre per quanto riguarda la prevenzione esercizi dinamici e funzionali di rinforzo del core, così come tecniche posturali Mézières si sono rivelati efficaci anche nel lungo periodo.

Nel ricondizionamento e nella prevenzione degli ischiocrurali non è sufficiente la sola forza concentrica, ma bisogna allenare anche quella eccentrica ed isometrica per ottenere un controllo neuromuscolare sufficiente e migliorare la flessibilità e la resistenza delle fibre.

Con dei programmi di prevenzione per la spalla sono stati ottenuti ottimi risultati nella riduzione del numero di infortuni in una stagione. I programmi prevedevano l'esecuzione di esercizi di mobilità, allungamento ed equilibrio.

Conclusione: tutti i programmi di prevenzione, anche in sport diversi tra loro, hanno portato ad ottimi risultati in termini di riduzione del numero di infortuni e recidive. Per questo è consigliabile adottare questo tipo di metodi anche nel salto con l'asta, adattando gli esercizi proposti alle richieste funzionali di questa disciplina. Tutti gli studi, inoltre, sottolineano l'importanza della cura della tecnica e di un carico ottimale di lavoro per gli atleti evitando il sovraccarico. Di conseguenza, è fondamentale la collaborazione tra atleta, staff tecnico e staff sanitario.

La letteratura è ancora scarsa, tuttavia sono presenti studi che pongono buone basi per ricerche future.

## **ABSTRACT**

Objective: to prevent the occurrence of injuries in athletes who practice pole vaulting

Definition of the problem: pole vaulting is an athletics discipline that requires many physical and technical requirements. In addition, during the execution of the jump, the athlete is subjected to a series of forces and tensions that can cause injuries and force him to stop even for very long periods

Materials and methods: the research was set up in two phases. At first, the most affected body structures and the ways in which they generally occur were identified. Subsequently, the various areas were explored individually, focusing on the identification of prevention methods. The research was conducted using leading online databases, including PubMed, PEDro, Google Scholar, and Cochrane Library. Observational studies, RTCs, reviews and guidelines published in the last 10 years were considered.

Results and discussion: 23 articles were found in the first phase of the research. From these, 2 were selected that met the inclusion criteria. They highlighted that the most affected structures are the lumbar spine, hamstring muscles and the shoulder joint. Furthermore, the take-off phase was the most frequent injurious modality.

The second phase produced 177 articles. A first screening led to viewing 32 articles and, finally, 8 were selected. From these studies it was found that as regards the spine, tests such as the FMS test and the SLR are very significant in identifying the subjects most at risk, while about prevention, dynamic and functional exercises to strengthen the core, as well as postural techniques Mézières have also proved effective in the long term.

Concentric strength alone is not enough for hamstring reconditioning and prevention, but eccentric and isometric strength must also be trained to achieve sufficient neuromuscular control and improve flexibility and strength of the fibers.

With shoulder prevention programs, excellent results have been achieved in reducing the number of injuries in a season. The programs included the execution of mobility, stretching and balance exercises.

Conclusion: all the prevention programs, even in different sports, have led to excellent results in terms of reducing the number of injuries and relapses. For this reason, it is advisable to adopt this type of methods also in pole vaulting, adapting the proposed exercises to the functional requirements of this discipline. Furthermore, all the studies underline the importance of technical care and an optimal workload for athletes avoiding overload. Consequently, the collaboration between the athlete, the technical staff and the medical staff is essential.

The literature is still scarce, however there are studies that lay a good basis for future research

## INTRODUZIONE

Il salto con l'asta è una specialità sia maschile che femminile dell'atletica leggera nella quale l'atleta, dopo aver preso una breve rincorsa, imbuca l'asta e sfrutta la spinta che essa restituisce per cercare di superare un'asticella, sorretta da due ritti, senza farla cadere. Per ogni misura si hanno a disposizione tre tentativi e vince la competizione l'atleta che ha valicato l'asticella all'altezza più elevata, oppure, in caso di parità di misura chi ha commesso meno errori durante la gara.

Assieme al salto in alto fa parte della categoria dei salti in elevazione, ma contrariamente a quanto accade in questa disciplina, nel salto con l'asta la rincorsa è rettilinea e molto più simile a quella del salto in lungo. Inoltre, nel salto con l'asta, i pali che sorreggono l'asticella, chiamati "ritti", possono essere avvicinati o allontanati dalla buca a seconda delle esigenze dell'atleta.

Questa disciplina è un mix tra forza fisica e capacità acrobatiche e presenta anche una certa dose di pericoli. Per questi motivi è molto facile che gli atleti vadano incontro ad infortuni e che siano costretti a rinunciare all'attività sportiva per periodi di tempo più o meno lunghi.

La riabilitazione è certamente un aspetto fondamentale per il ritorno all'attività sportiva e per la riduzione del tasso di recidive. Tuttavia, un secondo elemento, a volte non molto considerato, che riguarda la figura del fisioterapista è di grande efficacia nel ridurre la quantità e la severità degli infortuni: si tratta della prevenzione. L'obiettivo di questa tesi è proprio quello di considerare l'aspetto preventivo piuttosto che quello riabilitativo per cercare di agire prima che una lesione si verifichi, anticipando o limitando il problema.

Sono stati considerati molti studi riguardanti il trattamento piuttosto che la prevenzione, in quanto la letteratura attuale è ancora molto scarsa a riguardo, con l'idea di estrarre i punti chiave di queste proposte terapeutiche per poi adattare in ottica preventiva. Oltre a questo, sono stati esaminati anche studi riguardanti altri sport con caratteristiche biomeccaniche ed epidemiologiche simili al salto con l'asta. L'obiettivo, anche in questo caso, è quello di estrapolare gli elementi che nei vari studi sono risultati validi ed efficaci e cercare di porre le basi per la creazione di un programma di prevenzione adatto al salto con l'asta.

# Capitolo I

## Aspetti anatomici

### 1.1 Rachide lombare

Il tratto lombare della colonna vertebrale collega il tratto dorsale con il sacro. Le lombari sono le vertebre più voluminose, poiché il peso del corpo che devono sorreggere è maggiore. Il corpo vertebrale è massiccio e le superfici superiore e inferiore hanno una forma ovoidale; le faccette articolari sono caratterizzate da un orientamento prevalentemente sagittale; il foro vertebrale ricorda una forma triangolare; i processi trasversi, più sottili, si proiettano in senso dorso-laterale; infine, i processi spinosi si proiettano in direzione dorsale. Dei piccoli processi mammillari si proiettano dalla faccia posteriore di ogni processo trasverso, e fungono da attracco per i muscoli multifidi, fondamentali per la stabilità del rachide. Le faccette articolari inferiori di L5 si articolano con le faccette superiori del sacro, e le articolazioni apofisarie L5-S1 sono un importante centro di stabilità antero-posteriore, in quanto sono più orientate verso il piano frontale rispetto alle altre lombari. Tale articolazione è definita come cerniera lombo-sacrale.

Sul piano frontale, il rachide lombare è lineare e simmetrico e la larghezza dei corpi vertebrali, così come la larghezza delle apofisi trasverse, aumenta regolarmente in senso cranio-caudale <sup>[1,2]</sup>.

Sul piano sagittale, sono riscontrabili le seguenti caratteristiche <sup>[3]</sup>:

- l'angolo lombo-sacrale formato tra l'asse di L5 e l'asse sacrale è in genere di 140°
- l'angolo sacrale formato dall'inclinazione della faccia superiore di S1 rispetto all'orizzontale è in genere di 30°
- l'inclinazione della linea tesa tra il promontorio e il bordo superiore della sinfisi pubica sul piano orizzontale, viene definito come angolo di inclinazione del bacino ed è in genere di 60°.

Per quanto riguarda il sistema legamentoso, i principali stabilizzatori sono il legamento longitudinale anteriore e posteriore. Il primo è una struttura lunga e spessa che a partire dal processo occipitale si estende fino al sacro sulla faccia anteriore della colonna, decorrendo sulla faccia anteriore del disco

intervertebrale e sulla faccia anteriore del corpo vertebrale. Il secondo si inserisce a partire dal processo basilare fino al canale sacrale e presenta inserzioni sulla faccia posteriore di ogni disco intervertebrale.

Annessi all'arco vertebrale vi sono: i legamenti gialli (faccia antero-inferiore della lamina vertebrale e la faccia postero-superiore di quella sottostante), i legamenti interspinosi, disposti sagittalmente tra le spinose delle varie vertebre, il legamento sovraspinoso che collega i processi spinosi e i legamenti intertrasversari, che uniscono i processi trasversi di due vertebre contigue.

### *1.1.2 Biomeccanica del rachide lombare*

I movimenti a carico del rachide lombare variano notevolmente da individuo a individuo ed in rapporto all'età. In linea generale si può affermare che l'estensione ha una ampiezza di 30° ed è associata ad un aumento della lordosi lombare; al contrario la flessione, avviene per un appiattimento della colonna ed ha una ampiezza di 40°. Per quanto riguarda l'inclinazione laterale, l'ampiezza varia dai 20° ai 30°, e per le rotazioni è di soli 5° [3,4]. I movimenti di flesso-estensione, rispetto ad altri sono molto ampi. Questo è dovuto all'orientamento delle faccette articolari che sono disposte secondo il piano sagittale. Durante il movimento di flessione, ogni corpo vertebrale si inclina rispetto a quello sottostante e scivola leggermente in avanti, diminuendo lo spessore del disco intervertebrale nella sua parte anteriore e aumentandolo in quella posteriore. Di conseguenza, il nucleo polposo è spinto posteriormente e la pressione aumenta sulle fibre posteriori dell'anulus fibroso. Durante questo movimento, vengono messi in tensione tutti i legamenti dell'arco posteriore.

Nell'esecuzione del movimento di estensione, invece, il corpo vertebrale si inclina in modo da assottigliare il disco intervertebrale posteriormente e allargarlo anteriormente; il nucleo polposo è spinto in avanti e la pressione aumenta sulle fibre anteriori dell'anulus fibroso. Allo stesso tempo, il legamento longitudinale anteriore viene posto in tensione e si crea un contatto tra le apofisi spinose nella parte posteriore, che limitano il movimento.

Durante il movimento di flessione laterale, le vertebre si inclinano dal lato della concavità dell'inclinazione andando a comprimere il disco intervertebrale in quel punto. Così, la tensione del legamento intertrasversario aumenta dal lato della convessità e diminuisce dal lato della concavità. Infine, il movimento di rotazione assiale a livello lombare è estremamente limitato a causa dell'orientamento delle faccette articolari verso il piano sagittale. Per tale ragione quando una vertebra ruota su quella sottostante questo movimento deve essere obbligatoriamente associato ad uno scivolamento del corpo vertebrale stesso. Le rotazioni, quindi, sollecitano il disco intervertebrale sia in torsione assiale che in scivolamento rendendo questi movimenti potenzialmente lesivi per la colonna lombare, specie se sotto carico o se associate a flessione anteriore del tronco.

## 1.2 Muscoli ischiocrurali

I muscoli ischiocrurali, o *hamstrings*, sono un insieme di muscoli che costituiscono la porzione posteriore della coscia e nello specifico sono: semimembranoso, semitendinoso e bicipite femorale. Tutti e tre questi muscoli sono fondamentali nel garantire la normale funzionalità degli arti inferiori del corpo. <sup>[1,4]</sup>.

Gli ischiocrurali vengono denominati in tale modo poiché originano tutti dall'ischio del bacino e si inseriscono in punti differenti sulla gamba (crurali). Più in particolare, il muscolo bicipite femorale è composto da due capi aventi origine in punti differenti: il capo lungo origina sulla tuberosità ischiatica, mentre il capo breve origina dalla linea aspra del femore. Entrambi i capi poi si riuniscono per andarsi ad inserire con un tendine comune a livello della testa del perone lateralmente (figura 1). I muscoli semitendinoso e semimembranoso originano anch'essi dalla tuberosità ischiatica del bacino e, occupando la parte postero-mediale della coscia, si inseriscono a livello della tibia medialmente (figura 2).

Grazie ai propri punti di origine e inserzione anatomica, i muscoli *hamstring* governano e regolano i movimenti di due articolazioni distinte, anca e ginocchio (eccezion fatta per il capo breve del bicipite femorale che ha influenza solo a livello del ginocchio). Nello specifico, questi muscoli sono in grado di estendere l'anca e flettere il ginocchio.

Inoltre, concorrono anche alla retroversione del bacino, appiattendolo la zona lombare e nella rotazione di ginocchio quando esso è flesso (bicipite femorale per la rotazione esterna, semitendinoso e semimembranoso per la rotazione interna).

Le caratteristiche appena elencate permettono a questi muscoli di avere un ruolo determinante in gesti motori come la camminata, la corsa, il salto e il calcio, durante i quali viene richiesto un grande controllo muscolare eccentrico.

Considerata la loro importanza in ottica funzionale, un equilibrio ottimale tra forza e lunghezza di questi muscoli è fondamentale in moltissime attività sportive. Non di rado, infatti, gli ischiocrurali (in particolar modo il bicipite femorale) vanno spesso incontro ad infortuni e lesioni anche per via di una loro scarsa performance muscolare.



Figura 1: capo lungo e capo breve del bicipite femorale



Figura 2: rispettivamente semitendinoso e semimembranoso

### 1.3 Spalla

Il cingolo scapolare rappresenta il complesso articolare della spalla ed è costituito da tre articolazioni sinoviali (gleno-omeroale, acromion-clavicolare, sterno-clavicolare) e due articolazioni funzionali (scapolo-toracica e sottodeltoidea). Coinvolgono diverse componenti ossee in rapporto tra loro, ovvero sterno, clavicola, coste, scapola e omero e sono in grado di assicurare un'estrema ampiezza di movimento all'arto superiore rispetto al tronco, in tutte le direzioni dello spazio. A sostegno delle articolazioni ossee, si trova una complessa organizzazione di legamenti e tendini, che insieme alla componente muscolare permettono l'esecuzione di movimenti dell'arto superiore di flesso/estensione, ante e retro-posizione, adduzione-abduzione, intra ed extra-rotazione, e circonduzione (Tabella 1) <sup>[1]</sup>.

Movimento	Ampiezza
Estensione-Flessione	50°-0-170°
Adduzione-Abduzione	75°-0-175°
Rotazione interna-esterna	110°-0-80°

Tabella 1: movimenti concessi dal cingolo scapolare e relativi gradi di movimento

Brevemente, le principali articolazioni del cingolo scapolare sono tre <sup>[2-4]</sup>:

- l'articolazione acromion-claveare è un'articolazione piana, dotata o meno di un disco cartilagineo interposto tra le faccette ossee, circondata da una capsula rinforzata dai legamenti acromion-clavicolari (superiore e inferiore), e dai due fasci del legamento coraco-acromiale (trapezoide e conoide). Nel complesso, queste strutture permettono movimenti di scivolamento della scapola

rispetto al tronco (in particolare, rotazione interna ed esterna) e, quindi, ampia libertà di orientamento della cavità glenoidea nello spazio e, di conseguenza, dell'arto superiore globalmente.

- La sterno-clavicolare è un'articolazione a sella con disco articolare cartilagineo interposto tra le faccette sternale e clavicolare. È stabilizzata dai legamenti sterno-clavicolare (anteriore e posteriore), interclavicolare e costo-clavicolare. Grazie a questa articolazione, i corretti rapporti tra le componenti ossee del cingolo scapolare vengono assicurati, durante i movimenti scapolari di elevazione, depressione, protrazione e retrazione.

-La gleno-omerale (GH), infine, è quella che tra le articolazioni "vere" del cingolo scapolare merita un'attenzione particolare. La GH è un'artrosi, costituita dal rapporto concavo/convesso della testa dell'omero con la cavità glenoidea della scapola.

Nella posizione anatomica, la testa omerale è diretta medialmente e superiormente, nonché posteriormente a causa della sua naturale retroversione. Questo orientamento pone la testa dell'omero nel piano scapolare e quindi direttamente contro la faccia della fossa glenoidea.

La testa dell'omero e la fossa glenoidea sono entrambi rivestiti da cartilagine articolare.

Inoltre, il volume potenziale della fossa è di circa il doppio rispetto allo spazio occupato dalla testa, questo consente all'articolazione una mobilità maggiore, dimostrata dal fatto che è possibile trazione di molto l'omero senza provocare lesioni ai tessuti circostanti.

L'articolazione GH è circondata da una capsula fibrosa che isola la cavità articolare dalla maggior parte dei tessuti circostanti e consente di mantenere all'interno della fossa una pressione negativa conferendo ulteriore stabilità. La capsula si attacca lungo il bordo della fossa glenoidea e si estende al collo anatomico dell'omero.

Una membrana sinoviale riveste la parete interna della capsula articolare, mentre una sua estensione riveste la porzione intracapsulare del tendine del capo lungo del bicipite brachiale.

La capsula articolare è relativamente sottile, perciò, per contenere ulteriormente le strutture sono presenti sia dei legamenti che una serie di muscoli stabilizzatori, i quali agiscono non solo nei gradi più estremi ma durante tutto l'arco di movimento.

Nello specifico queste strutture sono:

-legamenti gleno-omerale (superiore, medio e inferiore)

-legamenti coraco-omerale

-tendini della cuffia dei rotatori, formata dai muscoli sovraspinato, sottospinato, piccolo rotondo e sottoscapolare.

Traumi o lesioni spesso limitano il movimento della spalla, causando una significativa riduzione dell'efficacia dell'intero arto superiore.

Raramente un singolo muscolo agisce isolato a livello del complesso della spalla. I muscoli lavorano in sinergia per produrre azioni altamente coordinate che si esprimono su più articolazioni. La natura cooperativa dei muscoli della spalla aumenta la versatilità, il controllo e la gamma dei movimenti attivi.

Di conseguenza, debolezze di ogni singolo muscolo spesso interrompono il sequenziamento cinematico naturale dell'intera spalla, per cui eventuali deficit in uno di questi muscoli possono influenzare il potenziale di generazione della forza negli altri.

I muscoli possono indebolirsi a causa di malattie o lesioni riguardanti il sistema neuromuscolare o muscolo-scheletrico.

# Capitolo II

## Biomeccanica del salto con l'asta

Il salto con l'asta è uno sport impegnativo la cui prestazione richiede molti requisiti fisici e tecnici. Considerando il livello di energia trasferita dalla velocità orizzontale dell'atleta all'asta durante il piegamento della stessa, è presumibile che le tensioni e i carichi muscolo-scheletrici associati possano aumentare il rischio, o essere causa diretta di lesioni. Date le molteplici caratteristiche morfologiche, fisiche e tecniche dei saltatori e delle modalità di salto, si può ipotizzare che alcuni modelli di salto possano portare a un rischio di lesioni più elevato rispetto ad altri <sup>[5]</sup>.

Per comprendere i vari meccanismi di lesione è necessario conoscere in primis la biomeccanica e la tecnica ottimale del gesto tecnico.

Idealmente il salto viene suddiviso in quattro fasi: rincorsa, stacco, fase di volo e atterraggio <sup>[6]</sup>.

### 2.1 Rincorsa

Come accennato in precedenza, l'obiettivo principale della fase di rincorsa, o *run-up phase*, è quello di ottenere una grande velocità orizzontale da trasferire in direzione verticale al momento del salto, in modo che l'asta si pieghi correttamente e restituisca un'energia tale da permettere il superamento dell'asticella.

Il saltatore, da una parte, ha bisogno di acquisire molta velocità, ma, dall'altra, essa non può essere eccessiva per tre motivi: in primis, l'atleta deve portare il peso dell'asta che varia da 1,3kg a 3kg <sup>[7,8]</sup>; in secondo luogo, deve essere estremamente preciso nel posizionamento del piede di stacco, affinché possa mantenere un corretto allineamento durante la fase di volo <sup>[9]</sup>; infine, più la velocità orizzontale è elevata, più sarà impegnativo direzionare il gesto in senso verticale <sup>[10-13]</sup>.

La rincorsa, generalmente, è composta da 16-20 appoggi, per una distanza che può arrivare fino a 40-50m circa. Questa fase è molto simile alla corrispettiva dei salti in estensione (salto in lungo e salto triplo), nonostante il salto con l'asta appartenga alla categoria dei salti in elevazione (assieme al salto in alto). Infatti, è una corsa rettilinea e in progressione, ovvero si cerca di raggiungere la massima velocità negli ultimi appoggi antecedenti al salto.

L'atleta inizia la corsa impugnando l'asta verticalmente e a partire dagli ultimi sei appoggi inizia la fase di presentazione. In questo momento, l'attrezzo viene progressivamente abbassato, raggiungendo

l'orizzontalità in corrispondenza del quartultimo appoggio. Infine, con gli ultimi due appoggi viene completata la presentazione. I dati specifici vengono riportati dalla figura 3 [11].

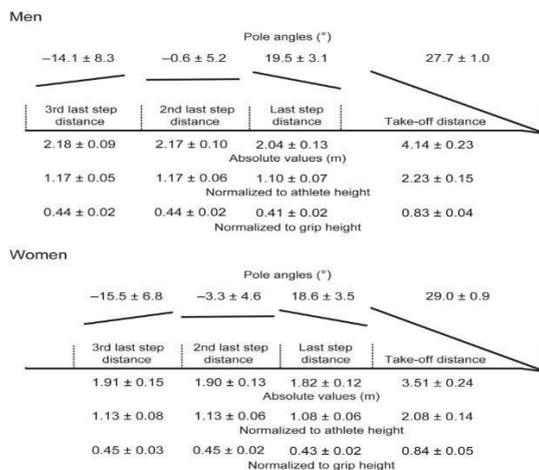


Figura 3: angoli che assume l'asta durante la fase di presentazione [11]

Altri dettagli da analizzare in questa fase del salto sono la velocità e la lunghezza dei passi.

È stato osservato [6,9] che, in genere, fino al terzultimo passo la velocità progressivamente aumenta e contemporaneamente i passi si fanno più corti.

Il penultimo passo vede un aumento della lunghezza e una conseguente diminuzione della velocità, in quanto la presentazione dell'asta inevitabilmente destabilizza l'atleta che è costretto a rallentare. Infine, al momento dello stacco si verifica un accorciamento notevole del passo con una nuova accelerazione dell'atleta. Quest'ultimo passaggio è fondamentale sia per la buona riuscita del salto, sia per la salute dell'atleta, in quanto permette di sollevare il proprio centro di massa e facilitare, così, il passaggio rincorsa orizzontale-salto verticale.

All'atleta, quindi, è richiesto, già in questa prima fase, un notevole sforzo muscolare e di controllo motorio. A partire dagli arti inferiori che devono consentire una corsa performante, bisogna considerare, inoltre, i muscoli deputati al controllo del tronco che, oltre alle funzioni che normalmente svolgono durante la corsa, devono sostenere il peso e gli sbilanciamenti provocati dall'asta. Infine, anche gli arti superiori svolgono un ruolo fondamentale, in quanto essi devono, sorreggere e gestire l'asta.

## 2.2 Fase di stacco

Questa è la fase più breve del salto, ma non per questo meno determinante. Anzi, già in questo momento, spesso, è possibile determinare la qualità e la buona riuscita dell'esecuzione del gesto atletico. Inoltre, secondo vari studi [5,6,14] è l'attimo che causa la gran parte delle lesioni, in quanto vi

è un intenso accumulo di tensioni derivate dalla rincorsa, dalla resistenza dell'asta che si piega, dal salto stesso e dall'allineamento dei segmenti corporei.

L'atleta deve completare l'imbucata cercando di non perdere l'energia cinetica guadagnata in precedenza con la rincorsa e, allo stesso tempo verticalizzare la direzione del salto. Per fare questo è necessario mantenere il proprio centro di massa elevato e sfruttare la forza elastica che l'asta restituisce e trasformarla in energia potenziale <sup>[15]</sup>. Le figure 4 e 5 evidenziano il corretto posizionamento dei segmenti corporei.

In questo caso si tratta di un saltatore destrorso, nei saltatori mancini, semplicemente, destra e sinistra si invertono sia negli arti superiori che negli inferiori.



Figura 4: ultimo contatto con suolo



Figura 5: fine della fase di stacco, inizio fase di volo

In particolare, è possibile osservare come nel preciso momento in cui l'atleta sta per staccarsi da terra (figura 4), la mano, destra sia esattamente allineata con il piede di stacco e come esso sia esteso e rimanga esteso anche nel momento successivo (figura 5). Questi fattori consentono una spinta ottimale, ai fini dell'elevazione.

Per quanto riguarda gli arti superiori, entrambi i gomiti devono essere quanto più estesi possibile per spingere e piegare l'asta; la spalla destra è elevata a 180° circa, mentre la sinistra è posizionata a circa 135°.

## 2.3 Fase di volo

Questa è la fase centrale di tutto il gesto tecnico, nonché la più complessa e acrobatica.

Può essere suddivisa a sua volta in due "sotto-fasi" <sup>[6]</sup>: un primo momento chiamato *pole support*, in cui l'atleta è ancora vincolato all'asta, e un secondo momento di *free flight*, ovvero quando il saltatore lascia l'attrezzo mentre è in volo e chiude il salto valicando l'asticella.

La *pole support phase* è così composta: un iniziale movimento a pendolo prevede che l'atleta sfrutti l'energia cinetica fornita da rincorsa e stacco per piegare correttamente l'asta e avanzare in aria; in

seguito, avviene la fase di raccolta, ovvero ginocchia e anche vengono flesse il più possibile verso il corpo, per accorciare il braccio di leva e rendere più prossimale il centro di massa (CM), favorendo la rotazione del corpo; le spalle scendono e le braccia spingono verso il basso mantenendo i gomiti estesi. Questo comporta tre benefici: l'atleta, pur guadagnando molta verticalità, mantiene una certa componente orizzontale, utile al raggiungimento del materassone al momento dell'atterraggio; il CM si solleva e con esso tutto il corpo; e la spinta elastica dell'asta viene ritardata quel che basta per accumulare ulteriore energia da restituire e per permettere al saltatore di eseguire tutti i passaggi utili al completamento del salto [16,17].

A questo punto l'asta inizia a restituire l'energia elastica accumulata sotto forma di energia potenziale. L'atleta, allo stesso tempo, deve sfruttare questo ritorno elastico per completare il gesto. Di conseguenza, il corpo si capovolge completamente, gli arti inferiori si estendono rapidamente e gli arti superiori continuano il movimento di spinta, questa volta flettendo il gomito del braccio sinistro (quello che impugna l'asta inferiormente). Atleta e asta ora dovrebbero essere pressoché paralleli tra loro e perpendicolari rispetto al terreno.

Infine, il saltatore deve ruotare attorno al proprio asse di  $180^\circ$  in modo da rivolgere il proprio ventre verso l'asticella da valicare per guadagnare ulteriori centimetri di altezza.

A questo punto, inizia la fase di volo libero.

Una volta avvenuta la rotazione, l'atleta esaurisce la spinta sull'asta con il braccio destro e si libera dell'attrezzo. In contemporanea, deve completare il salto valicando l'asticella.

In quest'ultima fase, l'astista avvicina il busto agli arti inferiori, con questi che passano al di là dell'asticella (Figura 6) e in ultimo momento estende il dorso e solleva il braccio destro per superare definitivamente con tutto il corpo l'asticella (Figura 7).



Figura 6: superamento dell'asticella



Figura 7: inizio fase di atterraggio

## 2.4 Atterraggio

Questa fase avviene in un secondo momento rispetto al valicamento dell'asticella, per cui non è determinante ai fini del salto. Tuttavia, assume ugualmente una certa rilevanza in quanto, secondo lo studio condotto da G. Rebella et al. <sup>[14]</sup> circa il 6% degli infortuni rilevati sono stati causati dall'atterraggio. Inoltre, è stato calcolato che durante la fase di caduta il peso corporeo aumenta dalle 40 alle 50 volte <sup>[18,19]</sup>. Risulta, quindi, fondamentale eseguire un corretto atterraggio.

L'obiettivo di questa fase è limitare quanto più possibile i traumi da caduta. Per cui, è assolutamente da evitare un atterraggio in piedi che andrebbe a sollecitare eccessivamente ginocchia e caviglie, in particolare, ma anche tutto il rachide.

L'ideale è, quindi, impattare il materasso con la schiena.

# Capitolo III

## Materiali e metodi

### 3.1 Ricerca

Lo scopo della tesi è individuare dei metodi di prevenzione nel salto con l'asta. In particolare, per i distretti corporei maggiormente esposti a forze e tensioni, ovvero quelli che vanno incontro a lesioni più facilmente. Lo studio prevede una revisione della letteratura disponibile che possa fornire delle basi su cui impostare, in futuro, dei programmi di prevenzione efficaci.

La ricerca è stata effettuata tramite le principali banche dati di articoli scientifici, nello specifico PubMed, PEDro, Cochrane Library, e Google Scholar.

L'indagine è avvenuta in più fasi e principalmente tramite la piattaforma PubMed. Inizialmente è stata eseguita una documentazione epidemiologica, in particolare, su quali fossero le sedi di infortunio più frequenti, il tipo e le modalità di lesione e i fattori di rischio biomeccanici. L'operazione, pertanto, è stata effettuata tramite le parole chiave "pole vault" e "injuries", utilizzando l'operatore booleano AND. I risultati verranno meglio approfonditi in seguito, ma per comprendere le operazioni successive della ricerca è utile sapere che rachide lombare, muscoli ischiocrurali e cingolo scapolare sono le aree più coinvolte.

A partire da queste informazioni, una seconda fase è stata impostata per indagare più approfonditamente le modalità di prevenzione sport specifiche che si possono effettuare per queste strutture.

La ricerca, di conseguenza, è proseguita in tre direzioni, una per tipo di lesione: in tutti e tre i casi le stringhe prevedevano le parole chiave "pole vault", "prevention" e "rehabilitation", mentre a seconda del tipo di infortunio sono state utilizzate le parole "low back injury", "hamstrings injury", oppure "shoulder injury". È stata inclusa anche la riabilitazione in quanto si ritiene che le tecniche riabilitative possano essere adattate anche nella prevenzione.

I risultati, in questo caso, sono stati scarsi e statisticamente insufficienti. Di conseguenza, è stato ampliato il bacino di ricerca, includendo anche altre discipline dell'atletica leggera come i salti in estensione e gli sprint (per rachide e ischiocrurali) e i lanci (per la spalla), in quanto è stato accurato che le modalità e le sedi di lesione solo le medesime, o comunque molto simili, ma la letteratura è molto più ampia.

Le stringhe di ricerca, pertanto, sono state così composte:

- low back injury AND (track and field OR jumpers OR pole vault) AND (prevention OR rehabilitation)
- hamstrings injury AND (track and field OR jumpers OR pole vault) AND (prevention OR rehabilitation)
- shoulder injury AND (track and field OR jumpers OR pole vault) AND (prevention OR rehabilitation)

Per quanto riguarda la piattaforma PEDro, inoltre, è stata eseguita una ricerca avanzata, inserendo nel campo “Abstract & title” le parole chiave “low back”, “hamstrings”, oppure “shoulder”; nel campo “therapy” è stato assegnato il valore “health promotion”, “education” e “skill training”; e nel campo “subdiscipline” è stato applicato il filtro “sport”. A causa della mancanza di letteratura, sono stati considerati anche altri sport al di fuori dell’atletica leggera, considerando, in particolare, quelli che prevedono movimenti e carichi simili al salto con l’asta, come, ad esempio, la ginnastica artistica ed altri sport che prevedono lanci ripetuti.

È stata, infine, effettuata una ricerca manuale per l’individuazione di articoli attinenti all’argomento di interesse, visionando la bibliografia di ciascun articolo consultato.

### **3.2 Criteri di inclusione ed esclusione**

Gli articoli sono stati presi in considerazione solo quando essi rispettavano le seguenti condizioni:

- Studi osservazionali, trial clinici e studi randomizzati controllati riguardanti gruppi di sportivi
- review, linee guida e case report riguardanti metodi di prevenzione o riabilitazione degli infortuni sopracitati
- articoli contenenti le parole chiave delle ricerche
- articoli pubblicati negli ultimi 10 anni
- articoli in lingua inglese

Non è stato inserito il filtro full text per visualizzare più materiale e in un caso è stato necessario contattare l’autore che gentilmente ha inviato l’articolo completo.

Sono stati esclusi gli articoli riguardanti infortuni che non rispettassero i criteri di inclusione appena citati.

# Capitolo IV

## Risultati

La prima parte della ricerca ha evidenziato 23 articoli. Di questi, ne sono stati individuati 2 che rispettassero i criteri di inclusione.

Gli articoli risultati dalla seconda fase, in totale, sono stati 177. In seguito alla rimozione dei duplicati e in base ai criteri di inclusione, sono stati ritenuti validi 32 articoli da analizzare più approfonditamente. A seguito di una seconda analisi più dettagliata, sono stati selezionati 8 articoli che verranno esposti in questo capitolo.

In seguito, vengono riportati i flow chart i diagrammi di flusso della ricerca.

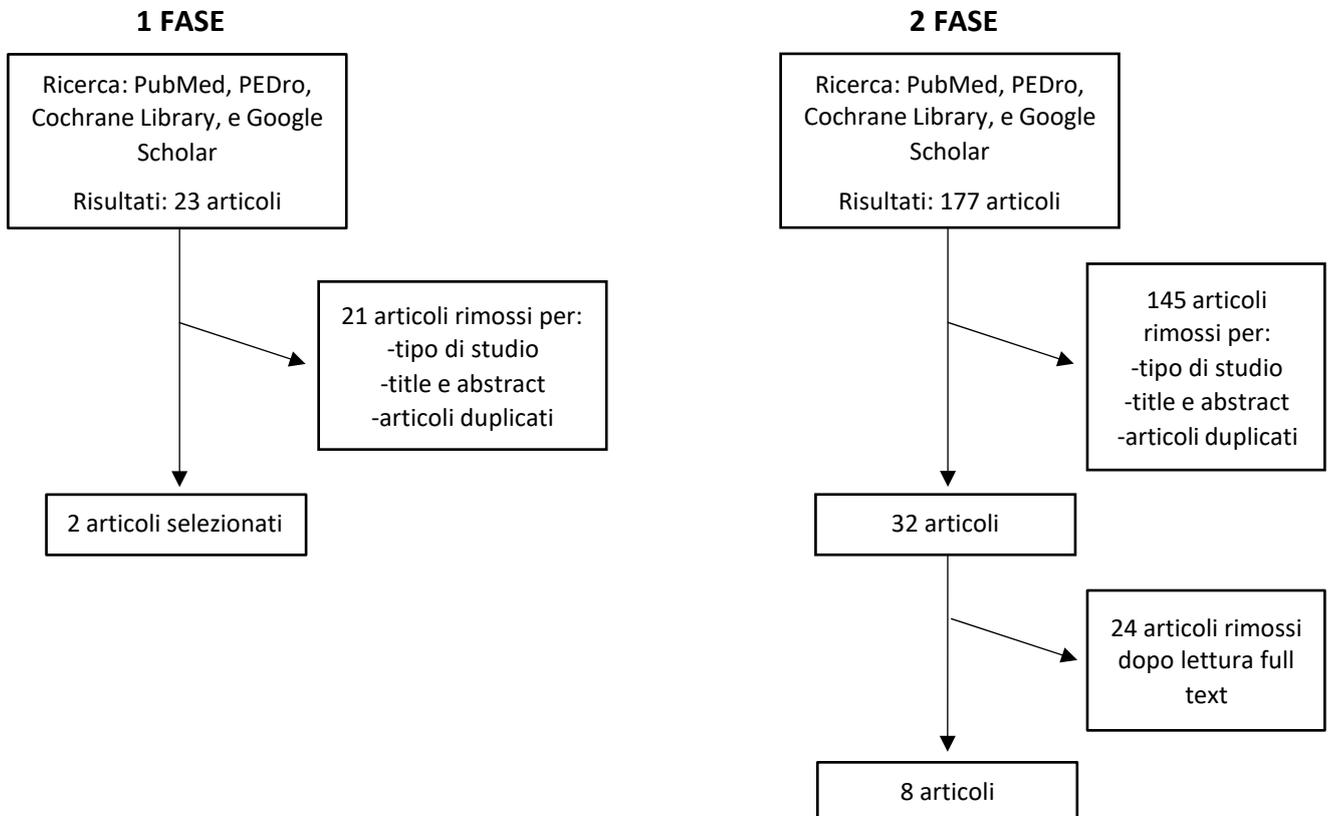


Grafico 1: flow-chart delle 2 fasi della ricerca

## 4.1 Ricerca epidemiologica

Gli articoli presi in considerazione per questa fase di ricerca sono uno studio prospettico condotto da G. Rebella <sup>[14]</sup> “*A prospective study of injury patterns in collegiate pole vaulters*” e uno studio osservazionale condotto da Frère et al. <sup>[5]</sup> “*Biomechanical Pole Vault Patterns Were Associated With a Higher Proportion of Injuries*”.

Il primo è un’analisi statistica che ha lo scopo di descrivere l’incidenza, le modalità e i rischi degli infortuni nei saltatori con l’asta frequentanti il college.

Nello studio sono stati coinvolti 135 atleti (83 maschi 52 femmine) provenienti da 15 università diverse nell’arco di una stagione agonistica.

L’età media è di  $20 \pm 1.4$  anni, la media dei record personali è di  $4,40\text{m} \pm 1,10\text{m}$  per gli uomini e di  $3,50\text{m} \pm 0,70\text{m}$  per le donne e la media delle stagioni agonistiche effettuate è di  $4,6 \pm 2,5$ .

I dati statistici sono stati raccolti tramite un questionario nel quale l’infortunio è stato definito come una lesione verificatasi durante una qualsiasi attività correlata al salto con l’asta che ha costretto l’atleta ad interrompere l’attività o a perdere allenamenti o competizioni.

I risultati sono stati i seguenti: l’area maggiormente colpita è stata il rachide lombare con il 16,7% dei casi, mentre i muscoli ischiocrurali sono stati la seconda struttura più coinvolta con il 13,9% dei casi. A seguire, l’arto superiore, in particolare la spalla, con l’8,3%. Inoltre, 1/3 degli infortuni lombari erano spondilolisi che nel 75% dei casi sono state *season ending*.

I principali tipi di lesione sono stati gli stiramenti (37,5%) che hanno colpito principalmente hamstring e la zona lombare, seguiti da distorsioni (18,1%), *stress reaction* (13,9%), tendiniti (11,1%) e fratture da stress-compresse spondilolisi (9,7%).

Il 67,1% di tutti gli infortuni è avvenuto eseguendo un salto, in particolare il 32,8% dei casi si è verificato al momento dello stacco. Questa fase del salto ha provocato l’83% di tutti gli infortuni lombari, tra cui il 100% delle spondilolisi, il 67% delle lesioni di spalla e il 40% degli stiramenti degli ischiocrurali.

L’altra causa di infortunio più frequente è stato lo stress generale con il 25,7% dei casi, mentre altre attività come sprint e balzi hanno contribuito al 7,1% delle lesioni, avvenute principalmente agli arti inferiori.

In seguito, sono stati descritti i principi dei meccanismi di lesione.

Lo stacco è la fase in cui più frequentemente avvengono infortuni. Il motivo, ipotizza l’autore, è perché il rachide viene costretto ad una forte iperestensione, mentre l’atleta si alza dal terreno. Inoltre, spesso accade che l’atleta allunghi eccessivamente l’ultimo passo, posizionando il piede in avanti

rispetto alla mano superiore che impugna l'asta. Così facendo, aumenta ulteriormente l'iperestensione e si abbassa l'angolo dell'asta. Questa riduzione dell'inclinazione ostacola il corretto trasferimento delle forze tra asta e atleta, il quale è costretto a dissipare più energia, ai danni del sistema muscolo-scheletrico che può andare incontro più facilmente a lesioni come stiramenti e distorsioni, oppure ad un accumulo di stress, causa principale delle spondilolisi.

Anche l'atterraggio è stato causa di lesioni, in quanto alcuni atleti hanno mancato il materasso oppure sono atterrati in piedi e non di schiena provocandosi delle distorsioni agli arti inferiori. In molti casi questo è dovuto all'inesperienza dei saltatori, in quanto questo tipo di infortuni è stato rilevato principalmente tra i ragazzi con meno anni di pratica.

Altre attività come pliometria, sollevamento pesi e sprint hanno evidenziato numerosi infortuni muscolari, in particolare agli hamstrings durante gli allenamenti di velocità.

È stato osservato, infine, che atleti con più anni di esperienza e con risultati migliori avevano circa il doppio del tasso di infortuni rispetto ad altri saltatori con meno stagioni agonistiche. Questo si può spiegare per tre ragioni: in primo luogo avendo compiuto molte più competizioni e allenamenti degli altri, semplicemente sono stati esposti più volte a rischi e lesioni; in secondo luogo, essendo saltatori di qualità, i carichi e l'intensità degli allenamenti è maggiore; infine, è stato osservato che da una prima lesione è molto più facile incorrere in una serie di lesioni future, per cui più stagioni possono significare più infortuni.

Il secondo studio, condotto da Frère et al. [5] si concentra molto nella relazione tra la biomeccanica e il rischio di infortunio.

È stata condotta una raccolta prospettica di dati biomeccanici durante i campionati nazionali francesi indoor nelle categorie assolute, U20 e U17, associata ad un questionario online rivolto agli atleti con l'obiettivo di indagare il volume degli allenamenti settimanali, gli anni di pratica della disciplina ed eventuali infortuni avvenuti nei 12 mesi precedenti. In tale questionario l'infortunio è stato definito come un qualsiasi dolore, disagio o lesione dell'apparato muscolo-scheletrico, verificatosi negli ultimi 12 mesi durante la pratica sportiva, indipendentemente dalle conseguenze sullo sport e sull'assistenza medica.

Grazie all'utilizzo di specifici supporti tecnologici è stato possibile registrare una serie di dati fondamentali nel comprendere le diverse tecniche di esecuzione degli atleti. In particolare, grazie ad una pedana optometrica è stato misurato: il tempo di contatto al suolo ( $t_c$ ), il tempo aereo ( $t_a$ ), la velocità (SR), la lunghezza (SL) e la asimmetria ( $SL_{asy}$ ) del passo, calcolata come differenza assoluta della distanza percorsa su tre falcate del piede sinistro meno la distanza percorsa su tre falcate del

piede destro. Infine, l'aggiustamento dell'ultimo passo ( $SL_{adj}$ ) è stato calcolato come differenza tra SL finale e la penultima SL.

Grazie ad una radar gun è stata misurata la velocità e l'incremento di essa negli ultimi metri ( $\Delta Spd$ ). Infine, per la fase di stacco è stata utilizzata una telecamera e l'azione è stata divisa in due momenti: la posizione 1 è quando l'atleta appoggia il piede di stacco mentre l'asta è piantata nella buca, e la posizione 2 è il momento immediatamente successivo, quando l'atleta inizia a staccarsi da terra, come raffigurato nella Figura 8.

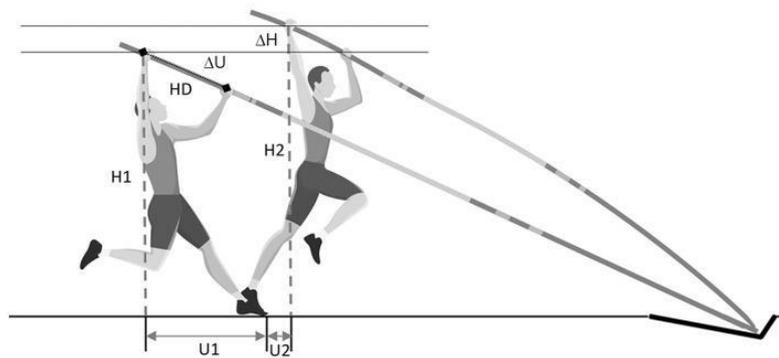


Figura 8: posizioni 1 e 2 valutate dallo studio

$H1$  e  $H2$  rappresentano l'altezza della mano più alta nelle due posizioni analizzate, mentre  $\Delta H$  è la differenza tra i due momenti.

$U1$  e  $U2$  rappresentano la distanza orizzontale tra il piede di stacco e la mano più alta e  $\Delta U$  è calcolato come  $\Delta U = U2 - U1$ ; se la mano si trova dietro al piede il valore di  $\Delta U$  è negativo.

Lo studio ha coinvolto un totale di 62 atleti divisi in 33 femmine e 29 maschi.

Confrontando le informazioni derivate dal questionario con i dati biomeccanici registrati è risultato che i parametri relativi alla fase di stacco ( $H2$  inferiore) e alla fase finale della rincorsa ( $Spd$  maggiore,  $SL_{adj}$ ,  $t_c$ ), nonché un volume di allenamento settimanale più elevato, sono stati associati a un maggiore rischio di lesione per ogni tipo di infortunio.

Questo conferma in parte le teorie degli autori che sostenevano che i parametri delle fasi di imbucata dell'asta e di stacco potessero essere associati con i rischi di infortuni, considerando le forze e le tensioni che caratterizzano questi momenti di conversione di energia. Tuttavia, dato il disegno retrospettivo della raccolta dei dati sugli infortuni, non è possibile trarre conclusioni circa il rapporto causa-effetto degli attuali parametri biomeccanici rispetto al loro ruolo nel verificarsi dell'infortunio, in quanto 48 atleti hanno affermato di aver avuto infortuni negli ultimi 12 mesi e quindi questi potrebbero essere la causa di una tecnica di esecuzione non ottimale.

Per questo gli autori sostengono l'importanza del curare bene la tecnica ponendo particolare attenzione ad H2, anche a costo di ridurre la velocità di rincorsa, in quanto altri studi (Brüggemann et al. [20] ) hanno dimostrato che questo non compromette la prestazione, anzi i migliori atleti sono proprio quelli con una H2 maggiore.

## 4.2 Rachide lombare

Per quanto riguarda gli infortuni al rachide lombare sono stati ritenuti validi due studi: “*The relationship between chronic low back pain and physical factors in collegiate pole vaulters: a cross-sectional study*” e “*Internal Risk Factors for Low Back Pain in Pole Vaulters and Decathletes: A Prospective Study*” entrambi condotto da Enoki et al. [21,22]

Lo scopo del primo studio è descrivere e analizzare le caratteristiche fisiche dei saltatori con l'asta con *low back pain* cronico (cLPB). Inoltre, si intende chiarire la relazione tra i risultati del *Functional Movement Screen* (FMS™) [23,24] (Figura 9) tra atleti con e senza cLBP. Gli autori hanno ipotizzato che il mal di schiena cronico sia correlato al ROM limitato dell'estensione dell'anca e della flessione della spalla.



Figura 9: esercizi valutativi eseguiti durante il FMS test

Il Functional Movement Screen™ (FMS™) è uno strumento di screening oggettivo composto da sette test di movimento (deep squat, passo a ostacoli, affondo in linea, mobilità di spalla, sollevamento attivo della gamba estesa, stabilità di tronco e stabilità rotatoria), volto a misurare la funzionalità del rachide. I punteggi di valutazione vanno da 0 a 3 con un massimo totale di 21 punti. Se durante una prova è presente dolore il punteggio da assegnare è 0. 14 è il punteggio cut-off.

Sono stati coinvolti 20 astisti (età media  $19,8 \pm 1,3$ ; altezza  $173,7 \pm 7,7$  cm; peso  $67,9 \pm 6,4$  kg). Sono stati esclusi atleti che al momento delle misurazioni presentassero dolori o ansia di non poter partecipare agli allenamenti.

Successivamente sono stati sottoposti ad un questionario per indagare la presenza di cLBP o meno, quale fosse la gamba di stacco, i record personali degli atleti e la storia dei loro infortuni, definiti come un evento che ha costretto l'atleta a cessare l'attività quel giorno o di saltare un allenamento/competizione successivi.

Da queste informazioni la popolazione è stata suddivisa in due gruppi: cLBP e non cLBP.

Tramite l'utilizzo di un dinamometro è stata misurata la forza isocinetica di ginocchio e anca nei movimenti di flessione ed estensione, in giorni diversi per escludere gli effetti della fatica.

ROM attivo e passivo di spalla, anca, ginocchio e caviglia, e l'elasticità muscolare sono stati misurati con i partecipanti stesi a lettino grazie ad una fotocamera e ad un software che ha analizzato le immagini. (Figura 10)

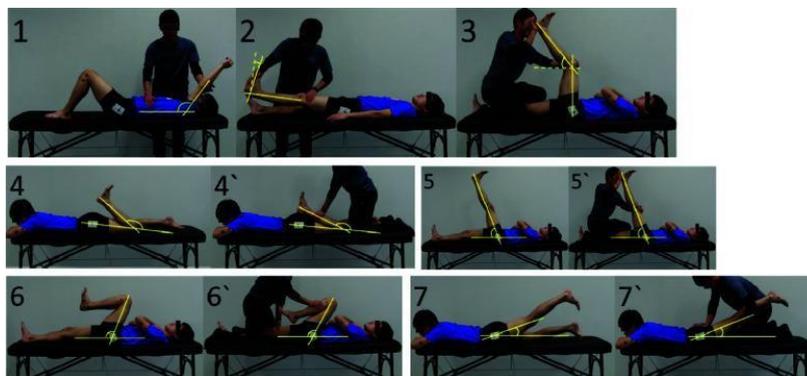


Figura 10: valutazione degli atleti

L'allineamento della colonna vertebrale è stato misurato in varie posizioni (posizione eretta, estensione e flessione con mani appoggiate alle ginocchia) utilizzando il sistema Spinal Mouse™ [25], in grado di misurare morfologia e funzionalità della colonna lungo il piano sagittale.

I risultati sono stati i seguenti:

- tutti i partecipanti hanno avuto una storia di LBP; 8 di questi sono stati inclusi nel gruppo cLBP
- non ci sono state differenze significative tra i due gruppi in età, peso, altezza e nella forza isocinetica di anca e ginocchio
- sono state osservate differenze significative nei record personali: gruppo cLBP  $4,45 \pm 0,56$  m e il gruppo LBP non cronico ( $4,96 \pm 0,34$  m)
- Single leg raise* (SLR) attivo sul lato della gamba di stacco nel gruppo cLBP ( $57,5 \pm 5,9$  °) era significativamente inferiore a quello nel gruppo LBP non cronico ( $71,5 \pm 12,8$  °);

- $\Delta$ SLR (differenza tra SLR attivo e SLR passivo) nel gruppo cLBP (lato gamba di stacco,  $18,1 \pm 6,9^\circ$ ; lato gamba principale,  $14,7 \pm 8,5^\circ$ ) era significativamente maggiore rispetto al gruppo LBP non cronico (lato gamba di stacco,  $9,5 \pm 6,1^\circ$ ; lato gamba principale,  $6,5 \pm 6,4^\circ$ ).

-Non ci sono state differenze significative tra i gruppi nell'angolo della cifosi toracica o nell'angolo della lordosi lombare in tre posizioni

-Sette partecipanti nel gruppo cLBP hanno avuto un punteggio complessivo del FMS<sup>TM</sup>  $\leq 14$ , mentre uno dei partecipanti aveva un punteggio  $\geq 15$

-Due partecipanti nel gruppo LBP non cronico hanno avuto un punteggio complessivo del FMS<sup>TM</sup>  $\leq 14$ , mentre dieci partecipanti avevano punteggi  $\geq 15$ .

-Non sono state osservate differenze significative in altri fattori tra i gruppi.

Questo studio presenta molte limitazioni: in primo luogo il numero dei partecipanti è molto limitato e si tratta esclusivamente di atleti maschi, per cui il sesso, le condizioni e i carichi degli allenamenti possono influenzare l'insorgenza di cLBP; in secondo luogo, questo studio non ha valutato i cambiamenti degenerativi della colonna lombare per fare una diagnosi effettiva, ma ha utilizzato solo un'autovalutazione del dolore. Inoltre, la storia di LBP è stata indagata utilizzando un questionario, in quanto non c'è una definizione comune di LBP; infine, non è possibile dimostrare una relazione di causa-effetto tra fattori fisici e cLBP.

In conclusione, questo studio ha evidenziato che gli astisti con cLBP presentano un record personale inferiore, SLR attivo della gamba di stacco minore,  $\Delta$ SLR su entrambe le gambe maggiore e i risultati del FMS  $\leq 14$  sono più frequenti, rispetto agli atleti senza cLBP.

Pertanto, potrebbe essere necessario esaminare il SLR (attivo e passivo) e i movimenti eseguiti durante il FMS<sup>TM</sup> per individuare i soggetti più a rischio di insorgenza di cLBP. Allo stesso tempo è opportuna migliorare la stabilità del tronco e dell'intera catena cinetica posteriore durante l'allenamento.

Il secondo studio individuato è stato condotto anch'esso da Enoki et al. <sup>[22]</sup> l'anno successivo al precedente, con lo scopo di determinare i fattori fisici determinanti il LBP in astisti del college. In questo caso sono stati considerati anche alcuni decatleti, in quanto tra le dieci specialità che compongono questa disciplina è presente il salto con l'asta.

Atleti con dolori o ansia di non poter partecipare agli allenamenti successivi sono stati esclusi.

Sono stati osservati 27 atleti nell'arco di un anno: 19 astisti (12 maschi, 7 femmine) e 8 decatleti (tutti maschi). Inizialmente, sono stati misurati parametri riguardanti anca e ginocchio, quali la forza isocinetica in flessione ed estensione associati al ROM sia attivo che passivo e l'elasticità muscolare.

I partecipanti sono stati quindi divisi in 2 gruppi utilizzando il valore mediano di ciascuna misurazione come riferimento: quelli al di sotto della media (gruppo basso) e quelli al di sopra della media (gruppo alto).

Le modalità con le quali i saltatori sono stati misurati sono le medesime dello studio precedente.

Gli atleti sono stati sottoposti, inoltre, ad un questionario per ottenere ulteriori informazioni utili quali, la gamba di stacco, precedenti infortuni e definire causa e caratteristiche del LBP. In questo caso, però, si è fatto affidamento alla classificazione sviluppata da Clarsen et al. (OSTRC) <sup>[26]</sup>, il quale riferisce che questo nuovo metodo consente di classificare il LBP con più precisione.

L'infortunio è stato definito come una lesione che ha costretto l'atleta a cessare l'attività e rinunciare ad allenamenti o competizioni successive.

Il LBP è stato definito come il verificarsi di dolore causato dall'allenamento correlato al salto con l'asta, che ha costretto l'atleta a cessare l'attività e rinunciare ad allenamenti o competizioni successive (perdita di tempo per infortunio [TLI]) o presumeva che la prestazione fosse limitata a causa del dolore (no perdita di tempo per infortunio [NTLI]).

Al verificarsi del LBP l'atleta veniva valutato da uno specialista e il dolore classificato in tre tipologie: da estensione lombare, da flessione lombare, oppure combinato.

Nella Tabella 2 vengono riportate le tipologie di LBP di tutti i partecipanti.

	LBP Occurrence		Type of LBP <sup>b</sup>		
	TLI	NTLI	Flexed	Extended	Combined
Male pole vaulters (n = 12)	5	2	2	2	3
Female pole vaulters (n = 7)	3	1	4	0	0
Decathletes (all male; n = 8)	3	1	3	0	1
Total (N = 27)	11	4	9	2	4

Tabella 2: dati LBP

Analizzando i dati e le misurazioni effettuate sugli atleti è stato possibile dedurre che il ROM bilaterale sia attivo che passivo dell'anca è un dato statisticamente rilevante per quanto riguarda l'insorgenza di LBP che sia cronico o meno e che comporti TLI o meno. Altri dati come l'articolari di spalla e ginocchio e l'allineamento posturale non sono risultati così significativi come era stato ipotizzato dagli autori prima dello studio.

È interessante osservare, inoltre, che nella maggior parte dei casi viene riferito un dolore in flessione, escludendo, quindi, le spondilolisi e gli altri infortuni associati ad una iperestensione della colonna. Questo studio suggerisce, quindi, di considerare anche i movimenti in flessione del saltatore che avvengono durante la rincorsa e la fase di swing.

Tuttavia, la correlazione tra LBP causato dalla flessione e la biomeccanica del salto con l'asta è da approfondire con ulteriori studi.

### 4.3 Ischiocrurali

Per questo gruppo muscolare la ricerca ha prodotto due risultati ritenuti validi.

Il primo degli studi selezionati è una pubblicazione britannica condotta da B. MacDonald et al. <sup>[27]</sup>, *“Hamstring rehabilitation in elite track and field athletes: applying the British Athletics Muscle Injury Classification in clinical practice”*, che utilizza *The British Athletics Muscle Injury Classification* (BAMIC) nella pratica clinica in atleti professionisti.

L'articolo è suddiviso in due parti: la prima esamina i principi generali della riabilitazione agli HS mentre la seconda discute di come questi principi vengono applicati alle tre tipologie di lesione descritte dalla BAMIC (miofasciale [classe a], giunzione muscolo-tendinea [classe b], intra-tendinea [classe c]).

Prima di tutto, tramite MRI, è necessario individuare il tipo di lesione e, a seconda della gravità, assegnare un grado da 0 a 4. Questo è fondamentale poiché differenti tipi e gradi di lesione comportano variazioni nei tempi di recupero e nelle modalità di intervento.

Assume grande importanza, inoltre, conoscere che tipo di attività svolge ogni muscolo: il bicipite femorale (BF) è soggetto al maggiore allungamento, il semitendinoso (ST) alla maggiore velocità di allungamento, mentre il semimembranoso (SM) agisce prevalentemente come stabilizzatore.

Il BF viene attivato maggiormente durante la fase di accelerazione dello sprint e durante lo swing finale del passo, il ST durante sprint alla velocità massima, mentre il SM ha un ruolo importante nell'assorbimento e nella generazione di potenza nelle fasi swing e stance.

Pertanto, la proposta di esercizi dovrebbe essere adattata al muscolo infortunato e al ripristino della sua funzionalità, limitando le alterazioni neuromuscolari che l'infortunio comporta. È stato, infatti, dimostrato che il controllo motorio è fondamentale per ottenere una corretta azione muscolare e, di conseguenza, anche nel prevenire future lesioni o recidive <sup>[28]</sup>.

Allo stesso modo, la cinematica alterata di anca e pelvi può essere un fattore predittivo di lesione: una limitazione in flessione o un'eccessiva antepulsione, non consentono ai muscoli di contrarsi in maniera ottimale, portandoli al sovraccarico. Queste alterazioni sono state osservate in molti soggetti con lesioni agli HS.

Un altro fattore da considerare per la salute di questi muscoli è la forza.

La forza eccentrica è fondamentale durante lo sprint, in particolare nella fase di swing. Essa permette l'allungamento delle fibre muscolari e il controllo dell'azione motoria, entrambi aspetti fondamentali

sia in ambito riabilitativo che preventivo di recidive, in quanto ogni lesione comporta modificazioni strutturali che predispongono il muscolo ad andare incontro a nuovi infortuni con più facilità.

La capacità di allungamento eccentrico, inoltre, riduce il rischio di lesioni a fronte di fattori non modificabili, come l'aumento dell'età e una storia di lesioni precedenti. Pertanto, deve essere parte integrante del condizionamento degli atleti.

In questo senso, con il *Nordic Hamstrings exercise* (NHE) ad alto carico sono stati ottenuti buoni risultati, tuttavia recentemente è stato osservato che anche un programma a basso carico da 2 serie di 4 ripetizioni svolte una volta a settimana ha portato a risultati simili.

Durante la prestazione sportiva, ulteriori adattamenti muscolari potrebbero richiedere allenamenti di forza alternativi, in particolare di forza isometrica. La contrazione degli HS può essere considerata isometrica alla fine della fase di oscillazione del passo. L'allenamento isometrico ad alto carico può, quindi, fornire uno stimolo più specifico correlato a questa richiesta funzionale. Tuttavia, sono necessarie ulteriori prove per confermare questi processi; inoltre, anche il carico eccentrico, nonostante l'allungamento complessivo dell'unità muscolo-tendinea, può determinare un allenamento isometrico dei fasci muscolari.

L'affaticamento è un altro aspetto che viene costantemente associato a questo tipo di infortuni poiché compromette il controllo neuro-muscolare [29-31]. È stato osservato, infatti, che è molto frequente che l'infortunio si verifichi nella parte finale di allenamenti incentrati sulla corsa.

L'allenamento della forza degli HS sotto affaticamento ha dimostrato effetti positivi sulla funzione muscolare e sulla riduzione dei tassi di infortunio. Sebbene i protocolli suggeriti per il NHE includano ripetizioni multiple, è normale avere un breve periodo di riposo tra le ripetizioni quando l'atleta torna alla posizione di partenza. L'esercizio *Single leg Roman Chair hold* (figura 11), con contrazioni muscolari di maggiore durata, è il più efficace nell'aumentare la resistenza. Ciò suggerisce che l'allenamento isometrico può essere un'utile aggiunta al carico eccentrico per allenare gli HS.



Figura 11: esecuzione *Single leg Roman Chair hold*

Esistono anche fattori estrinseci agli HS che possono compromettere la corretta attività di essi. Uno tra questi è il rachide. Sebbene ci siano prove limitate a sostegno dell'allenamento lombo-pelvico, si ritiene che un'adeguata gestione della colonna vertebrale e della funzione lombo-pelvica dovrebbe essere una componente della riabilitazione e della prevenzione delle lesioni degli ischiocrurali. Essi svolgono un ruolo stabilizzante sul bacino con inserzioni al legamento sacrotuberoso. Un movimento

aberrante del bacino o una perdita di forza in chiusura possono richiedere uno sforzo maggiore da parte degli HS e possono contribuire a deficit nella produzione di forza. Tuttavia, mancano prove a sostegno di un qualsiasi intervento di allenamento neuromuscolare lombo-pelvico. Gli autori suggeriscono un programma di allenamento olistico della forza della regione lombo-pelvica che coinvolga specifici piani di movimento biomeccanici (tabella 3). Sebbene non esista un gold standard per la misurazione della funzione addominale, e la riproducibilità dei comuni test di controllo motorio sia messa in dubbio, test come il sollevamento attivo della gamba dritta (SLR) hanno dimostrato affidabilità e validità e possono essere utilizzati per valutare il miglioramento della funzione lombo-pelvica.

**Tabella 3: ricondizionamento lombo-pelvico**

Funzione Lombo-pelvica	Piano di movimento	Esempi di esercizi
Controllo lombo-pelvico in flessione-estensione	Sagittale	Leg lowers/Aleknas (1/1a)
Controllo in rotazione	Coronale	Prone hold with arm lift (2)
Stabilità monopodalica	Frontale	TRX single-leg squat (3)
Aumento stabilità colonna	Trasverso/coronale	Palloff press (4)



*Figura 12: esercizi per ricondizionamento lombo-pelvico*

La seconda parte dell'articolo è riassunta dalle seguenti tabelle divise per tipo di lesione.

• **Tabella 4: LESIONE MIO-FASCIALE (Classe A)**

<b>Presentazione clinica</b>	Insorgenza improvvisa o graduale di dolore alla parte posteriore della coscia durante/dopo un/una allenamento/competizione	ROM e forza spesso mantenuti, in particolare rispetto alle lesioni di grado equivalente nelle classi b o c	L'edema tra gli strati fasciali, caratteristico di questa lesione può provocare dolore alla palpazione su un'area non specifica e ampia poiché la fascia è riccamente innervata
<b>Fisiologia guarigione</b>	Composta da più strati di fibre di collagene che avvolgono i muscoli, la fascia fornisce stabilità, dissipa stress e tensioni e facilita il movimento coordinato	Fase infiammatoria iniziale seguita da uno stadio fibrotico. A 7 giorni, i fibroblasti sono le cellule più numerose e la sintesi del collagene ha raggiunto il picco.	Il tessuto cicatriziale a distanza di 7 giorni possiede la metà della massima capacità di trazione. La capacità massima verrà raggiunta alla terza settimana
<b>Progressione carico</b>	Gestione dolore con farmaci o terapia manuale; aumentare ROM anca in caso di limitazioni antalgiche	<b>Progressione corsa:</b> esercizi per la corsa con dolore 4-5/10 che dovrebbe diminuire durante la prima settimana curando bene la tecnica	<b>Progressione allenamento forza:</b> normalmente è ben mantenuta; associare alla corsa un condizionamento adeguato agli HS
<b>Decisione RTFT</b>	Principalmente basato sull'esame clinico di ROM, forza, dolore alla palpazione e Askling H-test* [32], assieme al monitoraggio del ricondizionamento alla corsa	La lesione guarisce in tempi relativamente brevi (2-3 settimane)	Basso rischio di re-infortunio

\*test di flessibilità attiva degli ischiocrurali per determinare il ritorno sicuro allo sport dopo un infortunio

Example of running progressions for a female 400 m runner with 1a biceps femoris injury

Day	1	2	3	4	5	6	7	8
Daily rehabilitation goals	1. Low impact tissue loading	1. Functional loading of tissue 2. Re-establish foot mechanics	1. Low velocity eccentric load 2. Re-establish lumbo-pelvic control	1. Increase specific eccentric load on hamstring	1. Re-establish optimal running mechanics 2. Progress running volume	1. Transition to maximal speed running	1. Adaptation	1. Event-specific workout 2. Speed endurance

Tabella 5: esempio di progressione di corsa per una 400metrista con lesione 1a al BF

• **Tabella 6: LESIONE GIUNZIONE MUSCOLO-TENDINEA (Classe B)**

<b>Presentazione clinica</b>	Insorgenza improvvisa durante uno sprint o un salto	La capacità di generare forza del muscolo è compromessa poiché la funzione contrattile è ridotta	La contrazione di solito rivela dolore e debolezza; ROM ridotto poiché le fibre danneggiate sono dolorose da allungare
<b>Fisiologia guarigione</b>	La lesione induce una risposta delle cellule satellite che consentono una rapida rigenerazione muscolare. Si ottiene, quindi, un ripristino precoce della funzione muscolare	Fino a 10gg la cicatrice è il punto più debole del muscolo. Durante la terza settimana il collagene di tipo I matura e le fibre muscolari completano la rigenerazione	La comprensione di questi processi consente di adattare al meglio il piano riabilitativo per le esigenze fisiologiche dell'atleta
<b>Progressione carico</b>	<p><b>Progressione corsa:</b> più graduale che nel tipo (a); esercizi dinamici con poco allungamento (fase acuta); aumento volume e intensità graduale per aumentare ROM, forza ed elasticità; dolore non supera 3/10</p>	<p><b>Progressione allenamento forza:</b> vanno inclusi esercizi per sviluppare forza eccentrica, isometrica, resistenza ed elasticità; single-leg Romanian dead lift e nordic curl sono i più indicati. Inizialmente vanno proposti maggiori volumi e minori carichi. In seguito, aumentare il carico diminuendo il volume in quanto anche gli allenamenti di corsa saranno più intensi</p>	
<b>Decisione RTFT</b>	Principalmente basato sull'esame clinico di ROM, forza, dolore alla palpazione e Askling H-test, assieme al monitoraggio del ricondizionamento alla corsa		

Hamstring loading progressions for 2b distal biceps femoris injury

Week	1	2	3	4
Rehabilitation and adaptation aim	<ol style="list-style-type: none"> <li>Avoid inhibition</li> <li>Promote tissue healing</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Develop muscle fatigue resistance</li> <li>Emphasise hip dominant eccentric loading</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Progress eccentric loading at longer lengths</li> <li>Increase distal hamstring eccentric loading with knee dominant exercise</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Increase knee dominant eccentric loading</li> </ol>
Elongation stress	Low	Low-moderate	Moderate	High

Tabella 7: esempio di progressione di carico per una lesione 2b al BF distale

• **Tabella 8: LESIONE INTRATENDINEA (Classe C)**

<b>Presentazione clinica</b>	Insorgenza improvvisa, causato da meccanismi ad alta energia sprint o allungamenti improvvisi; perdita di ROM e forza; andatura antalgica	Minor dolore al tatto e allo <i>stretch</i> di quanto ci si aspetterebbe con una lesione così importante, poiché il tendine perde tensione	Con una significativa capacità contrattile è mantenuta e la lesione intratendinea è parziale, i sintomi possono migliorare rapidamente. Alto rischio recidiva
<b>Fisiologia guarigione</b>	La riparazione del tendine è caratterizzata dalla produzione di matrice extracellulare e da una cicatrice che richiede la sintesi e il rimodellamento del collagene per il ritorno della resistenza alla trazione	La fase di rimodellamento tendineo, (circa 6 settimane dopo la lesione) sostituisce il collagene di tipo III e la matrice extracellulare con il collagene di tipo I orientato longitudinalmente	Il consolidamento avviene nelle successive 6 settimane e la maturazione nell'arco di molti mesi. Tempi di recupero più lunghi dovuti dal lento adattamento del tendine
<b>Progressione carico</b>	<b>Progressione corsa:</b> aumento graduale di volume e intensità degli allenamenti; evitare picchi di carico riduce il rischio di recidive	<b>Progressione allenamento forza:</b> normalmente viene consigliato un lavoro eccentrico precoce, tuttavia secondo gli autori è preferibile un lavoro isometrico per non sovraccaricare eccessivamente le strutture; il carico va incrementato gradualmente per 12 settimane con 36-72h di riposo tra due sessioni per garantire la sintesi dei tessuti	
<b>Decisione RTFT</b>	Confronto con biomeccanica antecedente all'infortunio e test di forza; MRI può fornire dati utili sullo stato della lesione e, in casi di risultati positivi, è possibile accelerare la riabilitazione; tuttavia, non ci sono ancora evidenze sufficienti che supportino quest'ipotesi		

Hamstring loading progressions for 3c proximal biceps femoris injury

Week	1+2	3	4+5	6+7	8+9
Rehabilitation and adaptation aim	<ol style="list-style-type: none"> <li>Promote tissue healing</li> <li>Avoid inhibition</li> <li>Avoid tensile load on tendon</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Introduce low-load eccentric contractions with knee dominant exercises</li> <li>Build tissue capacity and fatigue resistance</li> <li>Increase isometric loads</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Increase eccentric loads at shorter lengths</li> <li>Introduce low-load eccentrics at longer tissue lengths with hip dominant exercises</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Increase eccentric loads at longer lengths</li> <li>Large fatigue resistance and strength endurance component</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>High eccentric loads at long length</li> <li>Maintain heavy isometric loading for tendon and aponeurotic adaptation</li> </ol>
Elongation stress	Low	Low	Moderate	Moderate-high	High

Tabella 9: esempio di progressione di carico per una lesione 3c al BF

La seconda pubblicazione è uno studio epidemiologico descrittivo eseguito Y. Sugiura et al. [33], “Prevention of Hamstring Injuries in Collegiate Sprinters”.

Gli autori hanno raccolto i dati epidemiologici di 613 atleti del college, allenati dallo stesso allenatore lungo l’arco di 24 stagioni dal 1988 al 2011. I metodi di allenamento e prevenzione negli anni sono stati modificati, pertanto le stagioni considerate per la ricerca sono state divise in tre periodi, ognuno dei quali presenta caratteristiche indipendenti dalle altre: nel primo periodo, dal 1988 al 1991, l’allenamento si è incentrato unicamente sullo sviluppo della forza; dal 1992 al 1999, il secondo periodo, è stato introdotto l’allenamento dell’agilità da affiancare a quello della forza; infine, nel terzo periodo, dal 2000 al 2011, il programma è stato composto da esercizi di forza, agilità e allungamento. Più nello specifico, la prevenzione durante il periodo 1 era basata unicamente sullo sviluppo della forza concentrica tramite macchine da palestra tradizionali. Nel periodo 2, l’agilità è stata allenata tramite esercizi ladder (Figura 13) e con ostacoli bassi; in più, è stata introdotta una macchina che permettesse di allenare gli estensori d’anca in modo concentrico. Nel periodo 3 per lo sviluppo della forza eccentrica sono stati eseguiti il NHE ed il *gluteus-hamstring raise* (Figura 14); lo stretching dinamico è stato eseguito con affondi ed esercizi con ostacoli.

In tutti i periodi la forza era parte dell’allenamento generale, mentre l’agilità e la flessibilità sono state allenate durante il riscaldamento individuale.

Nella Tabella 10 vengono riportati nello specifico gli esercizi e le ripetizioni.



Figura 13: esercizi con ladder



Figura 14: gluteus-hamstring raise

Description for Preventive Standard Program in Hamstring Injury		Period		
Objective and method	Action and/or Motion (Load)	1	2	3
<b>Strength</b>				
Weight machine	Knee flexors concentrically (3/5-4/5 of body weight × 10 repetitions × 3-5 sets)	•	•	•
	Hip extensors concentrically (4/5-5/5 of body weight × 10 repetitions × 3-5 sets)		•	•
Body weight	Knee flexors eccentrically (lean forward slowly × 30-60 seconds × 5 sets)			•
	Knee flexors eccentrically and hip extensors/knee flexors concentrically (lean forward, downward, and upward × 10-20 repetitions × 5 sets)			•
<b>Agility</b>				
Ladder	5 types of fast stepping in all directions (10 m × 4 repetitions)	•	•	
Mini-hurdle	4 types of one and/or both leg(s) with fast stepping (10 hurdles × 4 repetitions)	•	•	
<b>Flexibility</b>				
Dynamic stretching	3 types of stretching for muscles around hip joint (20 m × 1 repetition)			•

Tabella 10: diversi allenamenti lungo i 3 periodi

L'infortunio, in questo caso, è stato definito come una lesione agli ischiocrurali che ha costretto l'atleta all'interruzione degli allenamenti per almeno una settimana. L'andamento dell'incidenza di infortuni durante i tre periodi è stato il seguente: 137.9 per il periodo 1, 60.6 per il periodo 2 e 6.7 per il periodo 3.

Questa netta diminuzione del numero di infortuni si può spiegare considerando che nella corsa, tra la fase *late-swing* ed *early-contact*, agli ischiocrurali è richiesto un rapido cambio di contrazione da eccentrica a concentrica mentre anche il quadricipite influenza l'attività contrattile posteriore. Per eseguire tutto questo a velocità elevata è necessaria un'ottima coordinazione neuromuscolare e l'allenamento dell'agilità sviluppa proprio questa capacità motoria. [34-36]

Inoltre, Sugiura et al. [37] riportano che un deficit di forza degli estensori d'anca può contribuire negli infortuni agli hamstrings in quanto contribuendo anch'essi a questo movimento, possono andare incontro ad un affaticamento più facilmente. Infatti, un'altra differenza tra il primo e il secondo periodo è stata proprio l'aggiunta dell'allenamento degli estensori d'anca.

L'allenamento eccentrico e l'allungamento dinamico risultano efficaci poiché si è notato che molte delle lesioni avvengono durante la fase eccentrica della corsa. Pertanto, il rinforzo di questi due fattori risulta fondamentale nella prevenzione. È stato osservato che il NHE è l'esercizio migliore per lo sviluppo della forza eccentrica e che un aumento della flessibilità riduce la resistenza passiva durante l'allungamento eccentrico del muscolo, rendendo la contrazione più efficace e meno dispendiosa in termini di energia. Per quanto riguarda lo stretching statico, non è stato dimostrato che sia in grado di diminuire il rischio di infortunio, mentre è stato dimostrato che ha un effetto negativo in termini di prestazione se essa viene effettuata in un momento immediatamente successivo all'esecuzione dell'allungamento passivo.

## 4.4 Spalla

La parte ricerca inerente alla spalla non ha fornito risultati sport specifici del salto con l'asta o di salti in generale. Pertanto, sono stati selezionati studi riguardanti altri sport cercando che essi avessero biomeccanica e categorie di lesione simili a quelle del salto con l'asta.

In particolare, sono stati ritenuti validi due RTC riguardanti rispettivamente giocatori di pallamano e di baseball. In entrambi i casi lo scopo dello studio è verificare se un programma di prevenzione di infortuni alla spalla possa effettivamente ridurre le lesioni nel corso di una stagione.

Il primo, “*The Effect of Shoulder and Knee Exercise Programmes on the Risk of Shoulder and Knee Injuries in Adolescent Elite Handball Players: A Three-Armed Cluster Randomised Controlled Trial*”, è stato condotto da Asker et al. [38] in 18 squadre di pallamano svedesi con giocatori di età dai 15 ai 19 anni. Gli autori ipotizzano che un programma di rinforzo per spalla e ginocchio eseguito durante il *preseason* e poi mantenuto durante il riscaldamento prima di allenamenti e competizioni possa diminuire in maniera significativa il tasso di infortuni di queste due aree anatomiche. L’esposizione di questo articolo si concentrerà unicamente nelle questioni riguardanti la spalla.

I partecipanti dovevano avere i seguenti requisiti: avere un’età tra i 14 e 19 anni, avere un punteggio <40 nella Oslo Sports Trauma Research Center Overuse Injury Questionnaire (OSTRC-O) [26] in problemi riguardanti la spalla negli ultimi 7 giorni, non avere subito interventi chirurgici nell’ultimo anno. Successivamente sono stati suddivisi casualmente nel gruppo intervento (199 giocatori) e nel gruppo controllo (212).

Il programma di controllo di spalla si è concentrato sul rinforzo di spalla e tronco, sulla mobilità di tronco e sul carico di lancio (velocità e frequenza). Le serie di esercizi prevedevano cinque tipologie di lavori con quattro livelli di difficoltà ed un compagno di allenamento; inoltre, è stato incluso anche un programma per i lanci, in cui in quattro step progressivi sono stati aumentati velocità e frequenza di lancio. Dalla prima alla quarta settimana è stata aumentata la difficoltà degli esercizi, passando da un livello A ad un livello D. Una sessione dura dai 10 ai 15 minuti.

Di seguito alcuni esempi del programma per la spalla, negli allegati verrà riportato il programma completo.

## **Forza/controllo della spalla – Parte 1**

### Livello A: alzate ad Y con un elastico, 2-3x30 secondi

Elastico fissato a terra di fronte;  
Partendo con i gomiti leggermente flessi, sollevare entrambe le braccia mantenendo la larghezza delle spalle come a formare una “Y”; tornare alla posizione di partenza

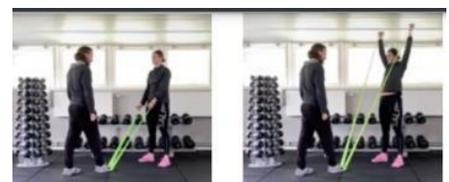


Figura 12: livello A

### Livello B: arciere con elastico, 2-3x30 secondi

Elastico fissato di fronte all’altezza delle spalle;  
Tirare l’elastico e ruotare il tronco come per tendere un arco; tornare alla posizione di partenza



Figura 13: livello B

### Livello C: rotazioni esterne con resistenza in posizione, 90-90 2-3x30 secondi

Elastico fissato di fronte all'altezza delle spalle;  
Posizionare braccio e gomito a 90° con l'avambraccio  
parallelo al terreno, quindi ruotare il braccio posizionando  
l'avambraccio perpendicolarmente al terreno



Figura 14: livello C

### Livello D: diagonali eccentriche, 2-3x30 secondi

Elastico fissato a terra; posizionare un piede avanti all'altro,  
dando il fianco all'elastico; aiutandosi con l'altro braccio  
sollevare diagonalmente la mano; lentamente tornare alla  
posizione di partenza



Figura 15: livello D

## **Programma per i lanci**

Gli autori consigliano di eseguire il programma di lanci ogni due giorni durante la *off-season* (giugno-agosto); iniziare dal livello A e progredire di settimana in settimana fino a raggiungere il livello D.

Livello A: 2 serie da 15 lanci al 50% della velocità massima e 10 lanci al 70% della velocità massima

Livello B: 2 serie da 15 lanci al 50% della velocità massima, 10 lanci al 70% della velocità massima e 5 lanci al 90% della velocità massima

Livello C: 2 serie da 15 lanci al 60% della velocità massima, 10 lanci all'80% della velocità massima e 5 lanci al 100% della velocità massima

Livello D: 2 serie da 15 lanci al 70% della velocità massima, 10 lanci al 90% della velocità massima e 10 lanci al 100% della velocità massima

Il gruppo di controllo è stato incaricato di allenarsi e giocare come al solito e non ha ricevuto alcun intervento di prova. Allenatori e giocatori hanno ricevuto informazioni che, se i programmi fossero stati efficaci, tutte le scuole avrebbero ricevuto istruzioni su entrambi i programmi di intervento.

I giocatori sono stati monitorati per un anno da maggio 2018 a maggio 2019, proponendo settimanalmente questionari di aggiornamento riguardanti il numero di ore di allenamento svolte, la condizione generale, il verificarsi di infortuni e il numero di volte in cui il programma di prevenzione

è stato eseguito. L'infortunio veniva definito come tale quanto nel caso in cui nella OSTRC-O si registrasse un punteggio >40, oppure in caso di qualsiasi problema rilevato alla spalla.

Per quanto riguarda la spalla, sono stati registrati 100 nuovi infortuni: 46 nel gruppo controllo, 33 nel gruppo del ginocchio (che non ha eseguito prevenzione alla spalla) e 21 nel gruppo della spalla. Inoltre, il gruppo della spalla ha avuto un 56% in meno di tempo perso per infortuni.

Questo dimostra che un programma di prevenzione può ridurre di più del 50% il numero di infortuni e il tempo perso a causa di essi. In particolare, il programma è più efficace se mirato alla struttura interessata, in quanto nel gruppo del ginocchio il numero di infortuni alla spalla non è diminuito significativamente, così come nel gruppo della spalla non sono risultate diminuzioni significative di infortuni al ginocchio.

Il secondo RTC, *“Throwing Injuries in Youth Baseball Players: Can a Prevention Program Help? A Randomized Controlled Trial”*, è stato condotto da Sakata et al. <sup>[39]</sup> con una popolazione di giovani giocatori di baseball. Gli autori, anche in questo caso, ipotizzano che un programma di prevenzione alla spalla possa ridurre in modo significativo il tasso di infortuni. 237 sono i giocatori selezionati per questo studio e poi divisi casualmente nel gruppo studio (117) e nel gruppo controllo (120). I due gruppi non presentano differenze significative nel numero di lanciatori e di infortuni subiti prima dello studio.

Il programma del gruppo intervento prevedeva l'esecuzione di 5 esercizi di allungamento per aumentare ROM di gomito (figura A-B), spalla (figura C-D) ed anca (figura E), 2 esercizi di mobilità dinamica per la coordinazione scapolo-toracica (figura F-G) e 2 esercizi di equilibrio (figura H-I). Le posizioni di stretching andavano mantenute per 10 secondi ed eseguite per una serie soltanto, mentre gli esercizi dinamici e di equilibrio erano composti da una serie di 10 ripetizioni. Il tutto ha una durata di circa 10 minuti ed era da eseguire durante il riscaldamento.

Durante i 12 mesi di follow up tutti gli atleti sono stati sottoposti ad un questionario dove venivano richiesti dati come l'insorgenza di infortuni, il ruolo nella squadra, la velocità di lancio della palla. Inoltre, sono stati misurati i valori del ROM di gomito, spalla e anca, la qualità dell'equilibrio e l'angolo di cifosi dorsale.

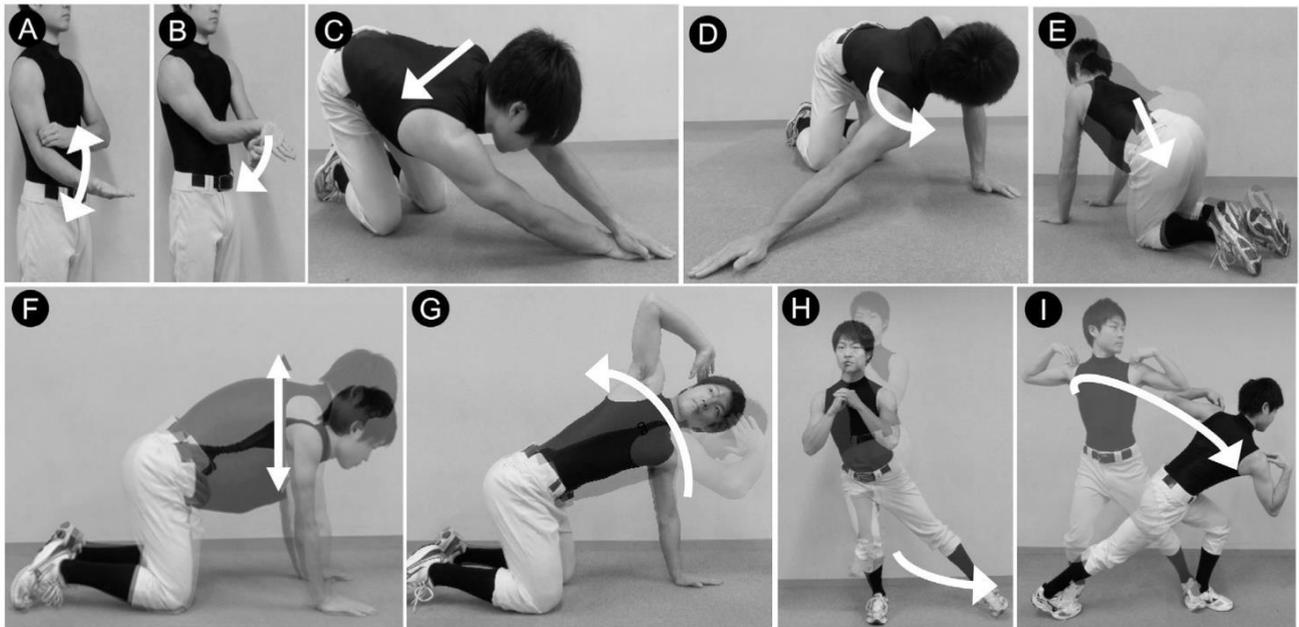


Figura 16:

A: massaggio bicipite brachiale; B: allungamento pronatori; C: allungamento spalla posteriore; D: allungamento spalla anteriore; E: allungamento posteriore anca; F: mobilizzazione colonna; G: rotazioni colonna; H: scivolamenti laterali in monopodalica; I: ginocchio al gomito controlaterale

I partecipanti sono stati visitati da un medico con più di 10 anni di esperienza ogni 4 mesi per valutare gli infortuni. Al termine dei 12 mesi sono stati rilevati 42 giocatori (38,2%) con infortuni a spalla e gomito del braccio dominante nel gruppo controllo; nel gruppo intervento, invece, ne sono stati rilevati 24 (22%). In aggiunta, nel gruppo controllo, i ROM di gomito, spalla e anca, così come l'allineamento toracico, sono migliorati e la velocità di lancio è aumentata, a prova del fatto che un programma di prevenzione non solo riduce gli infortuni ma è addirittura in grado di migliorare la prestazione poiché consente un migliore allineamento dei segmenti corporei.

In aggiunta, gli articoli “*Track and Field Throwing Sports: Injuries and Prevention*” di A. Meron et al. <sup>[40]</sup>, e “*Exercise-Based Muscle Development Programmes and Their Effectiveness in the Functional Recovery of Rotator Cuff Tendinopathy: A Systematic Review*” di J.G. Dominguez-Romero et al. <sup>[41]</sup>, sottolineano l'importanza del curare bene la tecnica di esecuzione dei gesti atletici e di dosare correttamente il carico degli allenamenti, in quanto la maggior parte degli infortuni riguardanti la spalla sono tendinopatie della cuffia dei rotatori dovute al sovraccarico. Inoltre, è fondamentale eseguire un programma di prevenzione che preveda l'esecuzione di esercizi con contrazioni concentriche, eccentriche ed isometriche, associati ad esercizi di stretching.

# Capitolo V

## Discussione

### 5.1 Epidemiologia

La parte di ricerca epidemiologica ha rivelato che il rachide lombare è la struttura che con più frequenza va incontro ad infortuni nei saltatori con l'asta frequentanti il college. Si tratta, quindi, di atleti non esordienti ma con una media di  $4,6 \pm 2,5$  stagioni agonistiche effettuate, per cui ci si aspetta che l'aspetto tecnico dell'esecuzione del salto sia di un buon livello. È importante considerare la tecnica, in quanto, questo fattore influisce molto sul tipo e le modalità di infortunio. A dimostrazione di questo, è stato considerato un altro studio svolto dallo stesso autore, G. Rebella, in un contesto di atleti frequentanti la scuola superiore <sup>[42]</sup>. Da questo articolo è emerso che la struttura più colpita è stata la caviglia e il momento che ha causato più infortuni è stato l'atterraggio.

Si è preferito considerare, quindi, una popolazione di studio con più esperienza per evitare che la tecnica d'esecuzione influisse eccessivamente sui risultati epidemiologici.

Altre tre sono le strutture particolarmente colpite nel salto con l'asta: i muscoli ischiocrurali, la spalla e la caviglia. Gli hamstrings con molta frequenza, le altre due aree, invece, presentano percentuali minori e molto simili. In questo caso, è stato preferito considerare solamente la spalla, in quanto, nel 67% dei casi questa struttura è stata lesionata durante la fase di stacco, momento primario tra le cause di infortunio anche di rachide e ischiocrurali. Le lesioni alla caviglia, invece, sono avvenute secondo altre modalità.

Anche il secondo studio citato, quello condotto da Frère et al. <sup>[5]</sup> supporta la tesi che sia lo stacco il momento più critico per la salute dell'atleta. In aggiunta, gli autori propongono degli accorgimenti che hanno il fine di salvaguardare le strutture muscolo-scheletriche dei saltatori, senza ridurre la prestazione atletica. Anche in questo caso sono stati considerati atleti di un buon livello tecnico, in quanto, tutti, dalle categorie giovanili alle categorie assolute, erano partecipanti ai campionati nazionali francesi.

Gli autori hanno osservato che una minore altezza di H2 e parametri degli ultimi passi di rincorsa come la velocità, gli aggiustamenti e le variazioni finali, possono essere fattori decisivi circa l'insorgenza di infortuni.

Tuttavia, entrambi gli studi presentano grosse limitazioni. Primi fra tutti lo scarso numero della popolazione di studio e l'impossibilità di definire un rapporto causa-effetto tra infortuni e tecnica di salto, in quanto entrambi studi retrospettivi; in secondo luogo, la storia degli infortuni è stata raccolta tramite un questionario self-report, per cui alcune informazioni potrebbero essere imprecise; infine, lo studio francese non considera fattori come il sesso, il peso e l'età degli atleti che potrebbero rilevanti a livello biomeccanico.

Nonostante i limiti appena elencati, questi studi pongono solide basi per studi futuri e forniscono già ora molte informazioni utili riguardo la prevenzione e non solo nel salto con l'asta.

## **5.2 Rachide lombare**

I due studi presi in considerazione per il rachide lombare sono stati condotti da Enoki et al. [21,22] in due anni consecutivi. Entrambi inizialmente hanno valutato ROM e forza di spalla, ginocchio e anca e l'allineamento posturale degli atleti, in quanto è stato ipotizzato che questi siano possibili fattori predisponenti il LBP. Inoltre, i partecipanti sono stati sottoposti al FMS, uno strumento di valutazione della funzionalità del rachide. Da quest'ultimo test in particolare è emerso che quasi la globalità del gruppo di atleti aventi cLBP ha totalizzato un punteggio inferiore a 14 punti, che, su un totale di 21 punti, rappresenta un rischio di infortunio elevato.

Il secondo studio, inoltre, ha classificato tre diversi tipi di dolore (da flessione, da estensione e combinato) e ha indagato se si è verificato un periodo di inattività dovuto all'infortunio (TLI) o meno (NTLI). Da queste considerazioni, è risultato che la maggior parte degli atleti lamentava dolori in flessione, escludendo quindi spondilolisi ed altri infortuni associati all'iperestensione della colonna, che nello studio di G. Rebella, erano risultati i più frequenti. Di conseguenza è importante considerare anche i movimenti in flessione del saltatore che avvengono durante la rincorsa e la fase di swing.

In entrambi gli studi, infine è emersa la correlazione tra LBP e il ROM dell'anca. Quest'ultimo valutabile passivamente, attivamente con il SLR e osservando l'atleta durante l'esecuzione del salto. Per quanto riguarda ginocchio e spalla non sono emerse evidenze che suggeriscano una correlazione tra queste articolazioni e il LBP in saltatori con l'asta. Nel caso del rachide non è tanto l'allineamento posturale ad influenzare l'insorgenza di dolori lombari, quanto il controllo motorio come dimostrato dal FMS test, che si è rivelato un valido strumento predittivo circa il LBP.

Pertanto, in ottica di prevenzione, si suggerisce di valutare l'articolarietà di entrambe le anche degli atleti ed eseguire il FMS test, in quanto da essi è possibile ricavare dati particolarmente rilevanti per l'individuazione di possibili soggetti a rischio LBP.

La revisione sistematica condotta da J.S. Thornton et al. <sup>[43]</sup> riguardante il trattamento di atleti con LBP conclude che con le attuali evidenze non esiste un esercizio terapeutico migliore di un altro in quanto tutti hanno portato buoni risultati anche a distanza di 12 mesi, l'importante è evitare il riposo. Esercizi mirati, dinamici e funzionali (sport specifici) sembrano avere maggiore efficacia. Inoltre, il rinforzo del core <sup>[44]</sup> sembra avere risultati migliori nel breve termine; nel lungo termine non ci sono state differenze significative a confronto con l'esercizio generale <sup>[35]</sup>.

Anche con la terapia manuale è stata riscontrata una diminuzione dei sintomi, secondo quanto riportato da H. Dvorak et al. <sup>[45]</sup>: tramite mobilizzazioni vertebrali si sono ottenuti miglioramenti nell'immediato sia in termini di dolore che di funzionalità della colonna. Per mantenere questi effetti nel lungo termine è comunque preferibile l'esecuzione di esercizi attivi.

Sono stati studiati anche degli esercizi posturali secondo tecnica Mézières nello studio condotto da O. Lena et al. <sup>[46]</sup> In questo RCT, 39 atlete di ginnastica ritmica sono state sottoposte ad un trattamento riabilitativo con metodo Mézières. Le sedute avevano una durata di 60' sono state ripetute 2-3 volte alla settimana per un totale di 24 settimane. Al termine dello studio le atlete del gruppo intervento, rispetto al gruppo controllo, presentavano valori migliori in termini di dolore, flessibilità e controllo motorio.

I metodi riportati riguardano il trattamento del LBP. Tuttavia, è possibile ipotizzare che queste tecniche, in quanto risolutive del dolore, possono essere utilizzate anche come metodi preventivi, in particolare nei soggetti individuati come più a rischio insorgenza di LBP.

Inoltre, come dimostrato dallo studio di Frère <sup>[5]</sup>, la prevenzione parte dalla corretta esecuzione del salto ponendo particolare attenzione allo stacco. Dai risultati di questo studio è, quindi, ipotizzabile che l'allenamento del salto verticale sia un ottimo strumento preventivo, che permette inoltre un miglioramento della performance.

### **5.3 Ischiocrurali**

In questo caso la ricerca non ha prodotto risultati sport specifici del salto con l'asta. Tuttavia, le lesioni agli hamstrings sono tra le più comuni in tutte le discipline dell'atletica leggera, in particolare tra gli sprinter e i saltatori. Pertanto, il primo dei due studi selezionati è una revisione sistematica condotta tra sprinter professionisti, basandosi sulla classificazione BAMIC, che a partire dal tipo e la gravità della lesione, propone risposte riabilitative e preventive mirate. L'articolo è incentrato sui velocisti, ma le soluzioni esposte possono essere applicate anche nei saltatori, in quanto, come affermano anche gli autori, il condizionamento muscolare richiesto nelle due discipline è equiparabile.

In aggiunta, in contemporanea alla realizzazione di questo studio, il protocollo è stato applicato in atleti professionisti britannici ed i risultati sono stati raccolti da N. Pollok et al. [47]

Al termine del periodo di studio il tasso di re-infortunio è stato del 2,9% e nessuno di questa era di tipo intradendineo. Normalmente il tasso di recidiva oscilla tra il 12% e il 25% e tende ad aumentare quando riguarda il tendine. Inoltre, anche il TRFT molto basso, come mostra la Tabella 11.

Time to return to full training in the different British Athletics Muscle Injury Classification (BAMIC) classes		
BAMIC	Number of injuries	Median TRFT (days (IQR, range))
0	16	9.0 (4.3, 4–17)
1a	6	12.0 (4.0, 9–16)
1b	19	17.0 (10.3, 8–32)
2a	4	19.0 (3.5, 14–21)
2b	11	19.0 (3.5, 11–36)
2c	7	35.0 (9.5, 25–43)
3a	1	17.0
3c	6	51.5 (23.8, 28–70)

TRFT, time to return to full training.

Tabella 11: TRFT nelle diverse lesioni registrate

È interessante confrontare questi dati con quelli del RTC condotto da Askling et al. [48] tra sprinter e saltatori professionisti svedesi. 66 partecipanti con diagnosi effettuata tramite MRI sono stati divisi in due gruppi casualmente. Il primo gruppo (28), chiamato protocollo L, prevedeva l'esecuzione di una riabilitazione incentrata principalmente in esercizi di allungamento e di forza eccentrica. Il secondo gruppo (28), chiamato protocollo C, prevedeva l'esecuzione del trattamento convenzionale per le lesioni muscolari, caratterizzato da una minore enfasi dell'allungamento miotendineo. I tempi di recupero medi sono stati di 49 giorni per il protocollo L e di 86 giorni per il protocollo C. Infine, durante il periodo di 12 mesi follow-up, sono stati rilevati solamente 2 re-infortuni (3%), entrambi del gruppo C.

Si nota già in questo studio una netta diminuzione del periodo di stop forzato per gli atleti che hanno eseguito un ricondizionamento bastato sull'esercizio eccentrico e di allungamento, ma i risultati dello studio britannico sono ancora migliori. Il tasso di re-infortunio, invece, è pressoché lo stesso, anche se lo studio svedese presenta un tempo di follow-up nettamente minore.

Un altro aspetto da considerare è il confronto tra la revisione britannica di Macdonald et al. [27] e la ricerca epidemiologica giapponese di Sugiura et al. [33] Nonostante il primo tratti di riabilitazione post infortunio e il secondo di prevenzione, si può osservare che le modalità di esercizio proposte siano molto simili. Entrambi affermano che la forza concentrica non è sufficiente per un condizionamento ottimale degli hamstrings e puntano molto sulla forza eccentrica e lo sviluppo di un'adeguata flessibilità muscolare. Entrambi, poi, confermano l'importanza della coordinazione neuromuscolare che si può migliorare con questo tipo di allenamento e che preferibile evitare un eccessivo affaticamento perché esso può compromettere questa importante funzione. A tal proposito Macdonald et al. [27] inseriscono nel loro programma anche l'allenamento isometrico che, invece, nel secondo

studio non viene considerato. Infine, i metodi applicati in questi studi hanno dimostrato ottimi risultati anche per quanto riguarda la prevenzione di lesioni recidive.

Per questi motivi si può concludere che riabilitazione e prevenzione sono due elementi strettamente relazionati tra loro, dove la prima può fornire nuovi metodi efficaci per la seconda e, allo stesso tempo una serie di esercizi funzionali in preparazione al gesto atletico, è in grado di ridurre sia il numero di infortuni che il periodo di stop forzato a causa di essi.

## 5.4 Spalla

La letteratura non è ancora provvista di studi specifici per la prevenzione di infortuni alla spalla nel salto con l'asta. Per ovviare a questa lacuna, sono state incluse nella ricerca anche altre discipline dell'atletica leggera, come i lanci, dove la scapolo-omerale è tra le articolazioni più sollecitate durante l'esecuzione del gesto tecnico. Tuttavia, i risultati sono stati scarsi anche in questo caso, pertanto sono stati considerati due RTC condotti tra squadre di pallamano e baseball, sport in cui le forze e le lesioni che riguardano la spalla possono essere comparabili con quelle del salto con l'asta.

Entrambi gli studi hanno dimostrato che un programma di prevenzione della durata di 10 minuti prima della prestazione sportiva può ridurre anche del 50% il numero di infortuni di una stagione agonistica. Gli sport sono differenti dal salto con l'asta ma anche baseball e pallamano lo sono tra di loro e, nonostante questo, le ipotesi stipulate dagli autori sono state dimostrate in ambedue le situazioni. Questo consente di ipotizzare che in tutti gli sport un programma di prevenzione avere una grande efficacia.

Le serie di esercizi proposte sono differenti tra i due studi. È opportuno, quindi, osservare ciò che hanno in comune poiché può fungere da base per ulteriori studi riguardanti altri sport. In entrambi gli articoli vengono proposti esercizi di allungamento, mobilità ed equilibrio. A partire da questi elementi sarà quindi possibile stipulare una serie di esercizi che andranno a migliorare, ad esempio l'elevazione delle braccia (soprattutto quella dominante), in particolare migliorando la forza isometrica ed eccentrica ed il controllo scapolare, in modo tale da rendere meno traumatico lo stacco per il saltatore.

Inoltre, altri studi <sup>[40,41]</sup> hanno confermato l'ipotesi che sia necessario un programma di miglioramento della forza e della mobilità, ma non solo. Essi sostengono anche che sia fondamentale curare la tecnica d'esecuzione e che non ci debba essere uno squilibrio tra il carico dell'allenamento e i tempi di recupero per l'atleta, in quanto la maggior parte degli infortuni avviene a causa del sovraccarico. A questo proposito è essenziale il ruolo dell'allenatore e la comunicazione tra atleta, coach e staff medico

# Conclusione

Il salto con l'asta è una delle discipline dell'atletica leggera che richiede più requisiti tecnici e fisici in assoluto. Oltre a questo, l'atleta al momento del salto è sottoposto a forti tensioni muscolo-scheletriche, potenzialmente dannose. Per questi motivi, il rischio di andare incontro a infortuni è elevato e i tempi di recupero possono rivelarsi molto lunghi.

La riabilitazione è certamente un aspetto fondamentale per un recupero ottimale e per scongiurare il verificarsi di recidive. Tuttavia, è molto importante cercare anche di evitare che un infortunio si verifichi, perciò un programma di prevenzione dovrebbe essere integrato con gli allenamenti, sia di tecnica che di potenziamento. Di conseguenza, è stata effettuata una revisione della letteratura con l'obiettivo di individuare degli elementi su cui impostare, in futuro, dei programmi di prevenzione sport specifici efficaci.

La letteratura riguardante questa disciplina è ancora piuttosto scarsa, ma quello che è emerso è che le strutture più colpite sono rachide lombare, muscoli ischiocrurali e l'articolazione della spalla e che la fase di stacco è quella che ha provocato più lesioni. Pertanto, i metodi di prevenzione dovranno basarsi a partire da questi dati.

Più nello specifico, tutti gli studi considerati, sono concordi nel fatto che la tecnica del salto è il primo fattore da considerare per evitare il verificarsi di infortuni. In secondo luogo, hanno sottolineato che è fondamentale bilanciare correttamente il carico agli atleti, in quanto il sovraccarico e lo stress sono tra le cause più frequenti di infortunio.

A fronte di questo è fondamentale che tra atleti, staff tecnico e staff sanitario si instauri un rapporto di fiducia e basato sulla comunicazione, altrimenti ogni direzione che ciascuno di questi tre elementi sceglie di intraprendere, potenzialmente può rivelarsi inefficace o addirittura controproducente.

In conclusione, la letteratura è ancora molto scarsa e l'argomento non è di grande interesse. Tuttavia, sono presenti degli studi di qualità su cui porre le basi per la ricerca futura che si dovrà concentrare sulla proposta e l'esecuzione di programmi di prevenzione specifici per il salto con l'asta, in modo tale da preservare la salute degli atleti migliorando in contemporanea le prestazioni sportive.

# BIBLIOGRAFIA

1. Saladin Kenneth S.; De Caro R. (cur.), (2017), Anatomia umana, Piccin-Nuova Libreria
2. Kapandji Adalbert Ibrahim,(2012), Anatomia funzionale, Monduzzi editoriale, Parma
3. Donald A. Neumann, (2016), Kinesiology of the Musculoskeletal System - Foundations for Rehabilitation, Elsevier - Mosby.
4. Carol A. Oatis, (2016), Kinesiology : The Mechanics and Pathomechanics of Human Movement Lippincott Williams
5. Edouard P, Sanchez H, Bourrilhon C, Homo S, Frère J, Cassirame J. Biomechanical Pole Vault Patterns Were Associated With a Higher Proportion of Injuries. *Frontiers in Sports and Active Living*. 2019;1. Accessed October 16, 2022. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fspor.2019.00020>
6. Biomechanical Analysis of the Pole Vault Event in: Journal of Applied Biomechanics Volume 10 Issue 2 (1994). Accessed October 16, 2022. <https://journals.humankinetics.com/view/journals/jab/10/2/article-p147.xml?content=pdf>
7. FIDAL - Federazione Italiana Di Atletica Leggera. [www.fidal.it](http://www.fidal.it). Accessed October 16, 2022. <https://www.fidal.it/>
8. Pole Vault. Accessed October 16, 2022. <https://www.worldathletics.org/disciplines/jumps/pole-vault>
9. Research Centre | Official Documents. Accessed October 16, 2022. <https://www.worldathletics.org/about-iaaf/documents/research-centre>
10. Schärer C, Lehmann T, Naundorf F, Taube W, Hübner K. The faster, the better? Relationships between run-up speed, the degree of difficulty (D-score), height and length of flight on vault in artistic gymnastics. *PLoS One*. 2019;14(3):e0213310. doi:10.1371/journal.pone.0213310
11. Kinematics of the Final Approach and Take-Off Phases in World-Class Men and Women Pole Vaulters - PMC. Accessed October 16, 2022. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9030511/>
12. Full article: Influence of pole carriage on sprint mechanical properties during pole vault run-up. Accessed October 16, 2022. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10255842.2017.1382872>
13. Linthorne NP, Weetman AHG. Effects of Run-Up Velocity on Performance, Kinematics, and Energy Exchanges in The Pole Vault. *J Sports Sci Med*. 2012;11(2):245-254.
14. Rebella G. A prospective study of injury patterns in collegiate pole vaulters. *Am J Sports Med*. 2015;43(4):808-815. doi:10.1177/0363546514564542

15. Bassement M, Garnier C, Goss-Sampson M, Watelain E, Lepoutre FX. Using EMGs and kinematics data to study the take-off technique of experts and novices for a pole vaulting short run-up educational exercise. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 2010;13(5):554-558. doi:10.1016/j.jsams.2009.07.001
16. Arampatzis A, Schade F, Brüggemann GP. Effect of the pole–human body interaction on pole vaulting performance. *Journal of Biomechanics*. 2004;37(9):1353-1360. doi:10.1016/j.jbiomech.2003.12.039
17. Catapult effect in pole vaulting: Is muscle coordination determinant? - ScienceDirect. Accessed October 16, 2022. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1050641111001544?via%3Dihub>
18. Incidenti e scarsa sicurezza, come può cambiare il salto con l’asta? Azzurri di Gloria. Published May 8, 2017. Accessed October 16, 2022. <https://azzurridigloria.com/news-atletica-leggera/come-puo-cambiare-salto-con-last/>
19. Boden BP, Boden MG, Peter RG, Mueller FO, Johnson JE. Catastrophic injuries in pole vaulters: a prospective 9-year follow-up study. *Am J Sports Med*. 2012;40(7):1488-1494. doi:10.1177/0363546512446682
20. Brüggemann: Biomechanical research project at the... - Google Scholar. Accessed October 16, 2022. [https://scholar.google.com/scholar\\_lookup?title=Biomechanical+Research+Project+at+the+Vlith+World+Championships+in+Athletics,+Athens+1997:+Final+report&author=A.+Arampatzis&author=F.+Schade&author=G.+P.+Br%C3%BCggemann&publication\\_year=1999&](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Biomechanical+Research+Project+at+the+Vlith+World+Championships+in+Athletics,+Athens+1997:+Final+report&author=A.+Arampatzis&author=F.+Schade&author=G.+P.+Br%C3%BCggemann&publication_year=1999&)
21. Enoki S, Kuramochi R, Murata Y, Tokutake G, Shimizu T. THE RELATIONSHIP BETWEEN CHRONIC LOW BACK PAIN AND PHYSICAL FACTORS IN COLLEGIATE POLE VAULTERS: A CROSS-SECTIONAL STUDY. *Int J Sports Phys Ther*. 2020;15(4):537-547.
22. Enoki S, Kuramochi R, Murata Y, Tokutake G, Sakamoto T, Shimizu T. Internal Risk Factors for Low Back Pain in Pole Vaulters and Decathletes: A Prospective Study. *Orthop J Sports Med*. 2021;9(2):2325967120985616. doi:10.1177/2325967120985616
23. Chapman RF, Laymon AS, Arnold T. Functional movement scores and longitudinal performance outcomes in elite track and field athletes. *Int J Sports Physiol Perform*. 2014;9(2):203-211. doi:10.1123/ijsp.2012-0329
24. Moran RW, Schneiders AG, Mason J, Sullivan SJ. Do Functional Movement Screen (FMS) composite scores predict subsequent injury? A systematic review with meta-analysis. *Br J Sports Med*. 2017;51(23):1661-1669. doi:10.1136/bjsports-2016-096938
25. Post RB, Leferink VJM. Spinal mobility: sagittal range of motion measured with the SpinalMouse, a new non-invasive device. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2004;124(3):187-192. doi:10.1007/s00402-004-0641-1
26. B C, G M, R B. Development and validation of a new method for the registration of overuse injuries in sports injury epidemiology: the Oslo Sports Trauma Research Centre (OSTRC) overuse injury questionnaire. *British journal of sports medicine*. 2013;47(8). doi:10.1136/bjsports-2012-091524

27. Macdonald B, McAleer S, Kelly S, Chakraverty R, Johnston M, Pollock N. Hamstring rehabilitation in elite track and field athletes: applying the British Athletics Muscle Injury Classification in clinical practice. *Br J Sports Med.* 2019;53(23):1464-1473. doi:10.1136/bjsports-2017-098971
28. Cameron ML, Adams RD, Maher CG, Misson D. Effect of the HamSprint Drills training programme on lower limb neuromuscular control in Australian football players. *J Sci Med Sport.* 2009;12(1):24-30. doi:10.1016/j.jsams.2007.09.003
29. Lieber RL, Fridén J. Muscle damage is not a function of muscle force but active muscle strain. *J Appl Physiol (1985).* 1993;74(2):520-526. doi:10.1152/jap.1993.74.2.520
30. Timmins RG, Opar DA, Williams MD, Schache AG, Dear NM, Shield AJ. Reduced biceps femoris myoelectrical activity influences eccentric knee flexor weakness after repeat sprint running. *Scand J Med Sci Sports.* 2014;24(4):e299-305. doi:10.1111/sms.12171
31. Samaan MA, Hoch MC, Ringleb SI, Bawab S, Weinhandl JT. Isolated Hamstrings Fatigue Alters Hip and Knee Joint Coordination during a Cutting Maneuver. *Journal of Applied Biomechanics.* 2015;31(2):102-110. doi:10.1123/JAB.2013-0300
32. Askling CM, Nilsson J, Thorstensson A. A new hamstring test to complement the common clinical examination before return to sport after injury. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2010;18(12):1798-1803. doi:10.1007/s00167-010-1265-3
33. Sugiura Y, Sakuma K, Sakuraba K, Sato Y. Prevention of Hamstring Injuries in Collegiate Sprinters. *Orthop J Sports Med.* 2017;5(1):2325967116681524. doi:10.1177/2325967116681524
34. Mero: Effects of supramaximal velocity on biomechanical... - Google Scholar. Accessed October 16, 2022. [https://scholar.google.com/scholar\\_lookup?journal=J+Appl+Biomech&title=Effects+of+supramaximal+velocity+on+biomechanical+variables+in+sprinting&author=A+Mero&author=P+V+Komi&volume=1&publication\\_year=1985&pages=240-252&](https://scholar.google.com/scholar_lookup?journal=J+Appl+Biomech&title=Effects+of+supramaximal+velocity+on+biomechanical+variables+in+sprinting&author=A+Mero&author=P+V+Komi&volume=1&publication_year=1985&pages=240-252&)
35. Mero A, Komi PV. Force-, EMG-, and elasticity-velocity relationships at submaximal, maximal and supramaximal running speeds in sprinters. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1986;55(5):553-561. doi:10.1007/BF00421652
36. Mero A, Komi PV, Rusko H, Hirvonen J. Neuromuscular and anaerobic performance of sprinters at maximal and supramaximal speed. *Int J Sports Med.* 1987;8 Suppl 1:55-60. doi:10.1055/s-2008-1025704
37. Sugiura: Effects of supramaximal running on stride... - Google Scholar. Accessed October 16, 2022. [https://scholar.google.com/scholar\\_lookup?journal=Adv+Exerc+Sports+Physiol&title=Effects+of+supramaximal+running+on+stride+frequency+and+stride+length+in+sprinters&author=Y+Sugiura&author=J+Aoki&volume=14&publication\\_year=2008&pages=9-17&](https://scholar.google.com/scholar_lookup?journal=Adv+Exerc+Sports+Physiol&title=Effects+of+supramaximal+running+on+stride+frequency+and+stride+length+in+sprinters&author=Y+Sugiura&author=J+Aoki&volume=14&publication_year=2008&pages=9-17&)
38. Asker M, Hägglund M, Waldén M, Källberg H, Skillgate E. The Effect of Shoulder and Knee Exercise Programmes on the Risk of Shoulder and Knee Injuries in Adolescent Elite Handball Players: A Three-Armed Cluster Randomised Controlled Trial. *Sports Med - Open.* 2022;8(1):91. doi:10.1186/s40798-022-00478-z

39. Sakata J, Nakamura E, Suzuki T, et al. Throwing Injuries in Youth Baseball Players: Can a Prevention Program Help? A Randomized Controlled Trial. *Am J Sports Med.* 2019;47(11):2709-2716. doi:10.1177/0363546519861378
40. Meron A, Saint-Phard D. Track and Field Throwing Sports: Injuries and Prevention. *Current Sports Medicine Reports.* 2017;16(6):391-396. doi:10.1249/JSR.0000000000000416
41. Dominguez-Romero JG, Jiménez-Rejano JJ, Ridao-Fernández C, Chamorro-Moriana G. Exercise-Based Muscle Development Programmes and Their Effectiveness in the Functional Recovery of Rotator Cuff Tendinopathy: A Systematic Review. *Diagnostics (Basel).* 2021;11(3):529. doi:10.3390/diagnostics11030529
42. Rebella GS, Edwards JO, Greene JJ, Husen MT, Brousseau DC. A prospective study of injury patterns in high school pole vaulters. *Am J Sports Med.* 2008;36(5):913-920. doi:10.1177/0363546507313571
43. Thornton JS, Caneiro JP, Hartvigsen J, et al. Treating low back pain in athletes: a systematic review with meta-analysis. *Br J Sports Med.* 2021;55(12):656-662. doi:10.1136/bjsports-2020-102723
44. Stuber KJ, Bruno P, Sajko S, Hayden JA. Core Stability Exercises for Low Back Pain in Athletes: A Systematic Review of the Literature. *Clinical Journal of Sport Medicine.* 2014;24(6):448-456. doi:10.1097/JSM.0000000000000081
45. Dvorak H, Kujat C, Brumitt J. Effect of therapeutic exercise versus manual therapy on athletes with chronic low back pain. *J Sport Rehabil.* 2011;20(4):494-504. doi:10.1123/jsr.20.4.494
46. Lena O, Todri J, Todri A, Gil JLM, Gallego MG. The Effectiveness of the Mézières Method in Elite Rhythmic Gymnastics Athletes With Low Back Pain: A Randomized Controlled Trial. *J Sport Rehabil.* 2020;29(7):913-919. doi:10.1123/jsr.2019-0204
47. Pollock N, Kelly S, Lee J, et al. A 4-year study of hamstring injury outcomes in elite track and field using the British Athletics rehabilitation approach. *Br J Sports Med.* 2022;56(5):257-263. doi:10.1136/bjsports-2020-103791
48. Askling CM, Tengvar M, Tarassova O, Thorstensson A. Acute hamstring injuries in Swedish elite sprinters and jumpers: a prospective randomised controlled clinical trial comparing two rehabilitation protocols. *Br J Sports Med.* 2014;48(7):532-539. doi:10.1136/bjsports-2013-093214
49. Wang XQ, Zheng JJ, Yu ZW, et al. A Meta-Analysis of Core Stability Exercise versus General Exercise for Chronic Low Back Pain. *PLoS One.* 2012;7(12):e52082. doi:10.1371/journal.pone.0052082

# ALLEGATI

## 2. Shoulder strength/control - Part 2

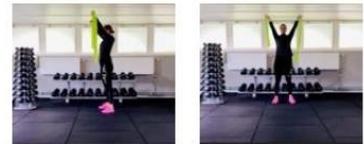
**Level A**  
*Instructions:* **Push plus on knees and forearms**  
 Elbows are placed beneath the shoulder.  
 Push the upper body up, protract the shoulder and hold for a second and go back to the starting position

2-3x30 seconds



**Level B**  
*Instructions:* **Overhead elastic band pull apart**  
 Stand shoulder wide with the arms in an overhead position.  
 Pull the band apart and hold for a second and then go back to the starting position

2-3x30 seconds



**Level C**  
*Instructions:* **Bench to push up**  
 Elbows are placed beneath the shoulder.  
 Push the upper body up, protract the shoulder and shift the position to a push up position and back to the starting position again.

2-3x30 seconds



**Level D**  
*Instructions:* **Superman walkouts**  
 Stand in a push up position. Move the feet as far as possible while maintaining the body in a straight line

2-3x15-30 seconds



**Partner exercise**  
*Instructions:* **Wheelbarrow with push plus/bench to push up**  
 Same as level C but the partner support the ankles

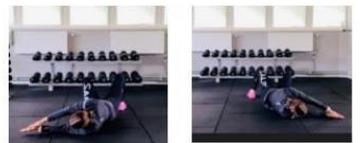
2-3x15-30 seconds



## 3. Upper body mobility

**Level A**  
*Instructions:* **Supine rotations**  
 Lay in a supine position with knees bent and feet on the ground. Put the hands together in front of the chest. Rotate the upper body as far as possible while maintaining the hands together.

2-3x30 seconds



**Level B**  
*Instructions:* **Rotations in a bench position on knees**  
 Elbows are placed beneath the shoulder and knees on the ground. Rotate the upper body by putting one arm under the body as far as possible and then rotate to the opposite direction.

2-3x30 seconds



**Level C**  
*Instructions:* **Rotation in a bench position on toes**  
 Same as Level B but support on toes instead of knees

2-3x15-30 seconds



**Level D**  
*Instructions:* **Rotations in a push up position**  
 Same as Level B but in a push up position instead

2-3x15-30 seconds



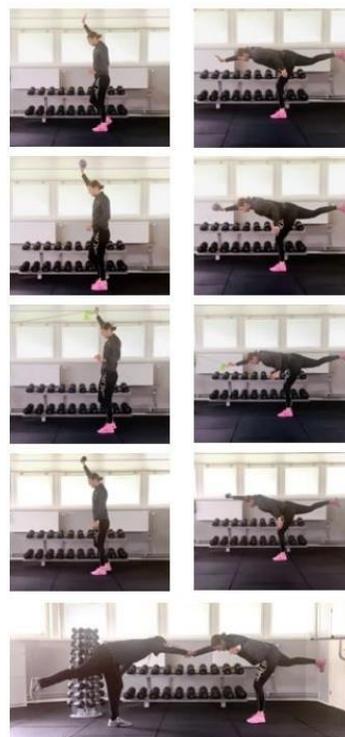
**Partner exercise**  
*Instructions:* **Rotation in push up position with passes**  
 Same as Level D but in the end position pass the ball to the partner

2-3x15-30 seconds



#### 4. The Diver with one arm in overhead positions

<p><b>Level A</b> <i>Instructions:</i></p>	<p><b>One arm diver in overhead position</b> Stand on one foot with the arm in an overhead position. Bend forward while maintaining the body in a straight line, performing a "T" and then go back to the starting position.</p>	<p>2-3x30 seconds</p>
<p><b>Level B</b> <i>Instructions:</i></p>	<p><b>One arm diver in overhead position with a ball</b> Same as level A but holding a ball</p>	<p>2-3x30 seconds</p>
<p><b>Level C</b> <i>Instructions:</i></p>	<p><b>One arm diver in overhead position with an elastic band</b> Same as level A but holding an elastic band that is fixated in front of the body.</p>	<p>2-3x30 seconds</p>
<p><b>Level D</b> <i>Instructions:</i></p>	<p><b>One arm diver in overhead position with a dumbbell</b> Same as level A but holding a dumbbell</p>	<p>2-3x30 seconds</p>
<p><b>Partner exercise</b> <i>Instructions:</i></p>	<p><b>One arm in diver overhead position arm wrestling</b> Same as level A but the partner pushing the arm downward</p>	<p>2-3x15 seconds</p>



#### 5. Trunk rotational strength

<p><b>Level A</b> <i>Instructions:</i></p>	<p><b>Resisted trunk rotations with elastic band</b> Stand shoulder wide with an elastic band fixated the side of the body. Hold the arms straight in front of the chest. Rotated the upper body as far as possible while maintaining the body in a straight line.</p>	<p>2-3x30 seconds</p>
<p><b>Level B</b> <i>Instructions:</i></p>	<p><b>Diagonal pattern in lunge position with elastic band</b> Stand in a lunge position with an elastic band fixated the behind the body. Hold the elastic band in an overhead position and rotate the upper body so the hands ends up at the front knee.</p>	<p>2-3x30 seconds</p>
<p><b>Level C</b> <i>Instructions:</i></p>	<p><b>Trunk rotation in throwing position with elastic band</b> Stand shoulder wide with an elastic band fixated the behind the body. Hold the arm in an overhead position. Rotate the upper body while maintaining the body in a straight line and the arm in the overhead position.</p>	<p>2-3x30 seconds</p>
<p><b>Level D</b> <i>Instructions:</i></p>	<p><b>Resisted throwing motion with elastic band</b> Stand with one foot in front of the other with an elastic band fixated the behind the body. Hold the arm in a throwing position and perform a throwing motion and go back to the starting position again.</p>	<p>2-3x30 seconds</p>
<p><b>Partner exercise</b> <i>Instructions:</i></p>	<p><b>Isometric trunk rotation</b> Maintain the body and arms straight while the partner pushes the arms from side to side.</p>	<p>2-3x15 seconds</p>

