

**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI GENOVA  
FACOLTÀ DI MEDICINA E CHIRURGIA**

**MASTER IN RIABILITAZIONE DEI DISORDINI  
MUSCOLO-SCHELETRICI**  
**A.A. 2013/2014**

Candidato: Dott. FT Francesco Bottaro

***“Gli esercizi di controllo neuromuscolare per il tronco sono realmente efficaci nella prevenzione delle lesioni del LCA?”***

Relatore: Dott. FT OMT Marcello Girardini



## **INDICE**

<b>1. ABSTRACT.....</b>	<b>pag. 3</b>
<b>2. INTRODUZIONE.....</b>	<b>pag. 6</b>
<b>2.1 Background.....</b>	<b>pag. 6</b>
<b>2.1.1 Fattori di rischio per lesione del LCA.....</b>	<b>pag. 6</b>
<b>2.1.2 La Core stability.....</b>	<b>pag. 10</b>
<b>3. MATERIALI E METODI.....</b>	<b>pag. 13</b>
<b>3.1 Criteri di inclusione.....</b>	<b>pag. 13</b>
<b>3.2 Criteri di esclusione.....</b>	<b>pag. 14</b>
<b>3.3 Diagramma di flusso.....</b>	<b>pag. 15</b>
<b>4. RISULTATI.....</b>	<b>pag. 16</b>
<b>5. DISCUSSIONE.....</b>	<b>pag. 22</b>
<b>6. CONCLUSIONI.....</b>	<b>pag. 38</b>
<b>7. BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>pag. 40</b>

## 1. ABSTRACT

### BACKGROUND

Le lesioni del Legamento Crociato Anteriore (LCA) sono danni relativamente comuni a carico dell'articolazione del ginocchio, che avvengono principalmente durante l'attività sportiva: esse sono tipicamente lesioni da non-contatto e le femmine sono maggiormente esposte a questo infortunio fino ad 8 volte rispetto ai maschi.

I fattori che predispongono ad una lesione del LCA sono molteplici e, secondo le attuali evidenze, agiscono in combinazione determinando un effetto potenziato rispetto al caso in cui agissero singolarmente: uno di essi, secondo uno studio pubblicato nel 2007 di B.T. Zazulak e coll. è il controllo neuromuscolare del tronco.

Secondo quanto emerso dallo studio dell'autore, infatti, un diminuito controllo neuromuscolare della muscolatura della Core aumenta il rischio di lesione del LCA.

### OBIETTIVI

Scopo di questo elaborato è di analizzare le prove ad oggi presenti che supportino l'utilizzo di training neuromuscolari della Core Unit come possibile strumento per ridurre il rischio di lesioni del LCA.

### RISORSE DATI

La ricerca è stata effettuata attraverso la consultazione delle banche dati di PubMed, PubMed Central e dell'Ateneo dell'Università degli studi di Genova.

Sono state utilizzate le seguenti parole chiave: anterior cruciate ligament injury, prevention, trunk, exercise, training.

### RISULTATI

La stringa di ricerca utilizzata è stata la seguente: ("anterior cruciate ligament injury" AND prevention) AND trunk) AND (exercise OR training).

Essa ha permesso di individuare 161 risultati (152 su PubMed Central e 9 su PubMed).

I titoli e gli abstract sono stati analizzati per identificare quelli di interesse per la trattazione secondo i seguenti criteri di inclusione:

- Articoli in lingua inglese;
- Articoli di cui fosse disponibile il full text;
- Articoli che indagassero il ruolo del tronco nella stabilità dinamica di ginocchio;
- Articoli che indagassero la relazione tra la cinematica del tronco e il rischio di lesione del LCA;

Inoltre sono stati applicati i seguenti criteri di esclusione:

- “case report” ;
- Articoli che, al momento della ricerca, risultavano non ancora pubblicati;

In base a ciò, sono stati individuati 15 articoli pertinenti al quesito della tesi cui si è aggiunto un ulteriore articolo come articolo di cross-referencing.

Le pubblicazioni esaminate per la revisione (n=11) possono essere suddivise in due gruppi: n=6 di esse sono revisioni narrative della letteratura che indagano il rapporto teorico fra deficit di controllo neuromuscolare del tronco e lesione del LCA, proponendo alcuni programmi di esercizi volti a prevenire tale infortunio, n=5 di esse sono casi clinici controllati che suggeriscono come esercizi di controllo del tronco durante le attività ad alto impatto, maggiormente a rischio di lesione del LCA, siano strategie di feed-forward la cui applicazione potrebbe rivelarsi utile per prevenire tale infortunio.

## **CONCLUSIONE**

Al fine di avere un impatto significativo circa la riduzione dell'incidenza della lesione del LCA, dalla letteratura esaminata pare che un programma di training che comprenda esercizi di controllo della posizione del tronco e dell'arto inferiore possa essere efficace: ad oggi, non è stato elaborato un programma di solo training neuromuscolare per il tronco avente lo scopo di ridurre l'incidenza di lesione del LCA.

Future ricerche dovranno essere condotte con lo scopo di verificare, con dati

misurabili e riproducibili, se programmi di training per il controllo neuromuscolare della Core possano risultare efficaci per ridurre il rischio di lesione del LCA.

## 2. INTRODUZIONE

L'incidenza delle lesioni del LCA è pari a 1 per 1000 della popolazione (Jenning A. e coll., 1994) e per la maggior parte (circa il 60%) esse si verificano in assenza di meccanismi da contatto, durante la fase di carico e con un movimento patologico in valgo del ginocchio associato a rotazione esterna tibiale (Kobayashi H. e coll., 2010).

Tali lesioni hanno importanti conseguenze in termini di:

- disabilità a medio-lungo termine e incidenza sulla qualità di vita dell'individuo che spesso non ritorna al livello di attività sportiva pre-trauma (Smith H.C. e coll., 2012);
- elevati costi socio-economici: si stima infatti che il costo per una ricostruzione, e successiva riabilitazione, del LCA si aggiri intorno ai 17000-25000 \$, per un totale di oltre 850 milioni di dollari annui solo negli Stati Uniti (Hewett T.E. e coll., 2010);
- precoce insorgenza di osteoartrosi (OA) post-traumatica al ginocchio (Dempsey A.R. e coll., 2007);
- aumentato rischio di un secondo evento lesionale a carico del ginocchio, indipendentemente dal trattamento chirurgico effettuato (Smith H.C. e coll., 2012).

Le femmine sono esposte a tale infortunio da 2 a 8 volte maggiormente rispetto ai maschi (Kobayashi H. e coll., 2010) ed il motivo alla base di una tale disparità di genere è molto probabilmente multifattoriale (Hewett T.E. e coll., 2010).

### 2.1 Background

#### 2.1.1 Fattori di rischio per lesione del LCA

L'identificazione di fattori associati ad un maggiore rischio di incorrere nella lesione del LCA durante l'attività fisica e/o sportiva è diventata, nel tempo, un focus importante nella ricerca in campo muscolo scheletrico: ciò non solo permette di capire e comprendere a fondo il meccanismo lesionale, ma aiuta ad individuare i soggetti maggiormente esposti a tale rischio e ad intervenire su di

essi attuando programmi d'intervento mirati.

Sono stati condotti numerosi studi riguardo al rischio di lesione del LCA ma la maggior parte di essi hanno investigati campioni molto piccoli, di conseguenza i risultati hanno un significato insufficiente per trarre conclusioni certe (Smith H.C. e coll., 2012); gli autori concordano tuttavia sul fatto che si debba parlare di numerosi fattori (anatomici, ormonali, biomeccanici e neuromuscolari) che, agendo in combinazione, influenzano il rischio di lesione del LCA (Hewett T.E. e coll., 2010).

I fattori di rischio per lesione del LCA sono di due categorie: estrinseci o intrinseci.

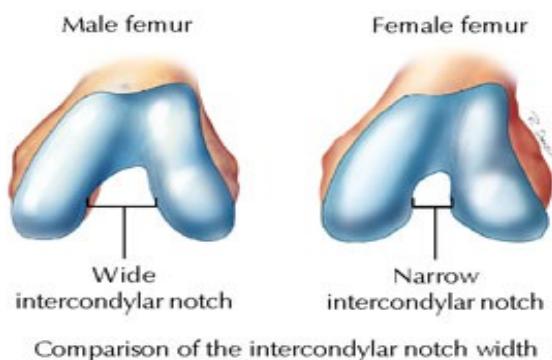
I fattori di rischio estrinseci sono costituiti da: condizioni esterne all'atleta ovvero il tipo di attività fisica e/o sportiva, livello agonistico, situazioni ambientali, tipo di superficie di gioco e equipaggiamento utilizzato durante la performance.

I fattori di rischio intrinseci comprendono le caratteristiche proprie dell'individuo e possono essere di diversi tipi: anatomici, ormonali, biomeccanici (Smith H.C. e coll., 2012).

Nei paragrafi successivi verranno esplicitati i fattori di rischio appartenenti ad ogni categoria.

### Fattori di rischio anatomici

Sul versante femorale, la larghezza della gola intercondiloidea, ovvero lo spazio che ospita il Legamento Crociato Anteriore sul versante femorale, è importante in quanto e la sua dimensione è direttamente proporzionale a quella del legamento stesso (Smith H.C. e coll., 2012).



*Fig. 1 Differenze anatomiche della gola intercondiloidea in base al sesso*

Sul versante tibiale, la morfologia dei piatti tibiali ha un ruolo importante per quanto riguarda il controllo della trasmissione delle forze (in particolare forze di tipo compressivo e traslazionale) attraverso il ginocchio, in particolare l'orientamento antero-posteriore dei piatti tibiali (Tibial slope) e la profondità della superficie concava del piatto tibiale mediale.

Infatti, un'aumento del Tibial slope in direzione postero-inferiore (condizione che si verifica quando l'angolo di elevazione del margine tibiale anteriore rispetto al posteriore è maggiore di 7°), se associata ad una diminuita profondità del piatto tibiale mediale favorisce la traslazione anteriore tibiale sul femore determinando un maggiore stress sul LCA (Smith H.C. e coll., 2012).



*Fig. 2 Effetto destabilizzante verso la traslazione anteriore tibiale in caso di Tibial Slope >7°*

La lassità articolare generalizzata e la conseguente lassità del ginocchio, in direzione anteroposteriore, pone il LCA in una condizione di aumentato rischio lesionale (Smith H.C. e coll., 2012).

Uno studio prospettico condotto su cadetti della United States Military Academy ha infine indicato come un aumento del Body Mass Index (BMI) potrebbe essere correlato ad un incremento del rischio di lesione del LCA, ma unicamente nel sesso femminile (Smith H.C. e coll., 2012).

#### Fattori di rischio ormonali e di crescita

Le fluttuazioni ormonali che avvengono durante il ciclo mestruale possono indurre cambiamenti nel metabolismo del LCA, riducendo la sua resistenza ed esponendolo ad un maggior rischio di lesione.

È stata documentata da Myer e coll. una relazione tra la crescita di soggetti e la lesione del LCA: in seguito al picco di crescita che avviene durante la pubertà, si verifica un differente sviluppo neuromuscolare tra maschi e femmine sia in termini di reclutamento muscolare sia in termini di forza muscolare erogata.

In una situazione in cui la crescita ossea della tibia e del femore (e il conseguente innalzamento della posizione del baricentro) rende più difficile il controllo del tronco e l'associato incremento del BMI produce un aumento delle forze agenti sull'articolazione del ginocchio, un maggior sviluppo muscolare, come quello dei maschi, permette un minore stress sulle strutture articolari durante le attività ad alto impatto (Myer G.D. e coll., 2008).

#### Fattori di rischio biomeccanici

Da quanto emerge in letteratura, la maggior parte delle lesioni del Legamento Crociato Anteriore avviene secondo la sequenza “Knee-in Toe-out”, ovvero con un movimento in valgo del ginocchio associato a rotazione esterna tibiale (Kobayashi H. e coll., 2010).

Kobayashi H. e coll., in linea con la maggior parte degli studi analizzati, indicano che le femmine sono esposte a tale lesione da 2 a 8 volte maggiormente rispetto ai maschi.

In aggiunta a questo, femmine e maschi utilizzano strategie motorie diverse durante compiti analoghi: in particolare sono documentate differenze della cinematica tronco-arto inferiore durante le attività ad alto impatto in carico (Graci V. e coll., 2012).

Le femmine, se comparate coi maschi, nell'eseguire la task motoria mostrano un minor grado di flessione di tronco sul piano sagittale ( $p=0,006$ ), un minor grado di rotazione di tronco sul piano trasverso verso l'arto inferiore in carico ( $p=0,039$ ) ed una lateroflessione di tronco sul piano frontale verso l'arto inferiore in carico.

Una postura eretta determina un maggiore stress sull'articolazione del ginocchio per effetto delle forze complessive (Graci V. e coll., 2012).

La rotazione verso l'arto inferiore in carico predispone ad un collasso in valgo dell'articolazione del ginocchio e rotazione esterna tibiale in quanto strettamente

connessa ad un incremento della rotazione interna dell'anca (Graci V. e coll., 2012).

La lateroflessione verso l'arto inferiore in carico enfatizza il medial collapse valgizzante al ginocchio, portando la proiezione del baricentro lateralmente ad esso (Dempsey A.R. e coll., 2008 et Graci V. e coll., 2012).

### **2.1.2 La Core stability**

In letteratura **si definisce core stability “la capacità del corpo di mantenere o ritornare alla posizione di equilibrio in seguito ad una perturbazione”**: in quest'ottica la stabilità funzionale del complesso coxo-lombo-pelvico è un requisito fondamentale per trasmettere le forze agli arti inferiori e, nel contempo, per controbilanciare le forze di reazione del terreno provenienti dagli arti inferiori.

Come si evince da diversi studi di Hodges e Richardson (del 1996 e del 1997) la co-contrazione dei muscoli trasverso dell'addome e multifido è di tipo anticipatorio: questi muscoli, contraendosi, garantiscono stabilità prima ancora che avvenga il movimento.

Tali strutture sono dunque fondamentali per il corretto trasferimento dei carichi tra tronco ed arti inferiori.

Zazulak e coll. nel 2007 hanno investigato, in uno studio di coorte condotto su un campione di 277 atleti sani (140 femmine e 137 maschi, senza alcuna storia di infortunio a carico del ginocchio), il potenziale collegamento tra deficit di controllo neuromuscolare del tronco (sistema attivo) ed infortuni a carico dell'articolazione del ginocchio, ipotizzando che una diminuita capacità di garantire stabilità al sistema coxo-lombo-pelvico (per deficit di reclutamento della muscolatura della core) potesse predisporre ad un'alterata cinematica tronco-arto inferiore e condurre l'individuo ad una più alta probabilità di infortunio.

Per fare questo, hanno misurato la capacità di riposizionamento del tronco dopo una perturbazione inaspettata indotta dall'esterno conservando i dati raccolti come baseline ed assumendo che un aumento dello spostamento del tronco dalla posizione di partenza (o un mancato ritorno ad essa) dopo la perturbazione è probabilmente un indicatore di un potenziale impairment

neuromuscolare a carico della Core.

Un follow-up di 3 anni ha poi permesso di raccogliere i dati inerenti agli infortuni a carico del ginocchio che i soggetti esaminati avevano subito: 25 in totale (11 femmine e 14 maschi), di cui 11 lesioni legamentose (5 femmine e 6 maschi) e, nello specifico, 6 lesioni LCA (4 femmine e 2 maschi).

Confrontando i dati della baseline con quelli del follow-up, gli autori hanno osservato come i soggetti che avevano dimostrato una ridotta capacità di riposizionamento del tronco, testimoniata da:

- a) un aumento dello spostamento del tronco dalla posizione neutra a 150 ms dalla perturbazione indotta
- b) da un aumento dello spostamento massimo del tronco dalla posizione neutra erano i più esposti a:
  - infortuni al ginocchio ( $p<0.05$  per a,  $p<0,001$  per b);
  - infortuni al ginocchio di origine legamentosa ( $p<0,01$  per a,  $p<0,05$  per b);
  - infortuni al ginocchio a carico del LCA ( $p<0,05$  per a,  $p<0,01$  per b).

I dati emersi confermano l'ipotesi iniziale: uno scarso controllo neuromuscolare del tronco (e quindi un impairment a carico della Core) è associato ad un aumentato rischio di infortunio al ginocchio e, in particolare, a lesione del LCA ( $p<0,05$ , nelle femmine).

Un'ulteriore analisi dei dati ha mostrato poi che delle tre direzioni di perturbazione indotta (flessione, estensione e lateroflessione) la lateroflessione si è dimostrata il fattore più predittivo di infortuni a carico di ginocchio, ai legamenti ed al LCA (odds ratio rispettivamente 1,9; 2,0; 2,2) con una sensibilità del 100% ed una specificità del 72%.

Lo studio di Zazulak dimostra che deficit del controllo neuromuscolare della muscolatura della core predispongono a infortunio a carico di ginocchio, legamenti ed LCA.

Una diminuzione del controllo neuromuscolare della core può contribuire ad un aumento dello stress in valgo del ginocchio per cui programmi di allenamento comprendenti esercizi di Core stability, potenzialmente, potrebbero diminuire il rischio infortunio, avvalorando la teoria secondo cui il controllo neuromuscolare della Core sia legato alla stabilità dinamica del ginocchio (Zazulak B.T. e coll.,

2007).

Partendo da tali considerazioni, l'obiettivo di questa revisione è stato quello di indagare quanto gli esercizi per il controllo neuromuscolare del tronco possano realmente essere una strategia efficace per prevenire le lesione del LCA.

### 3. MATERIALI E METODI

Il processo di revisione della letteratura è stato condotto allo scopo di identificare tutti gli studi pubblicati che analizzassero l'efficacia degli esercizi di controllo neuromuscolare del tronco per la prevenzione delle lesioni del LCA.

La ricerca è stata effettuata attraverso la consultazione delle banche dati di PubMed, PubMed Central e dell'Ateneo dell'Università degli studi di Genova.

Sono state utilizzate le seguenti parole chiave: **anterior cruciate ligament injury, prevention, trunk, exercise, training.**

La stringa di ricerca utilizzata è la seguente:

**(("anterior cruciate ligament injury" AND prevention) AND trunk) AND (exercise OR training)**

La stringa di ricerca utilizzata ha permesso di individuare 161 risultati (152 su PubMed Central e 9 su PubMed).

I titoli e gli abstract sono stati analizzati per identificare quelli di interesse per la trattazione. In seguito è stata effettuata una valutazione più approfondita attraverso la lettura del testo integrale. In funzione di ciò sono stati esclusi 146 articoli in quanto ritenuti non pertinenti.

#### 3.1 Criteri di inclusione

Alla ricerca sono stati applicati i seguenti criteri di inclusione:

- Articoli in lingua inglese;
- Articoli di cui fosse disponibile il full text;
- Articoli che indagassero il ruolo del tronco nella stabilità dinamica di ginocchio;
- Articoli che indagassero la relazione tra la cinematica del tronco e il rischio di lesione del LCA;

## 3.2 Criteri di esclusione

Alla ricerca sono stati applicati i seguenti criteri di esclusione:

- Articoli non in lingua inglese;
- Articoli di cui non fosse disponibile il full text;
- “case report” ;
- Articoli presentanti un abstract non pertinente;
- Articoli che, al momento della ricerca, risultavano non ancora pubblicati;

Anche se non emersi dalla ricerca bibliografica ci si è riservato di includere articoli riportanti informazioni utili per rispondere al quesito oggetto di indagine (related articles).

I risultati della ricerca hanno rilevato 15 articoli pertinenti al quesito della tesi.

Le diverse pubblicazioni indagano i fattori di rischio per lesioni del LCA, il rapporto fra deficit di controllo neuromuscolare del tronco e lesione del LCA e propongono programmi di esercizi volti a prevenire tale infortunio.

La maggior parte degli articoli evidenzia differenze di genere nella cinematica tronco-arti inferiori.

Gli articoli inclusi inizialmente (n=15) sono stati analizzati e suddivisi, in base al contenuto, in:

- articoli di background (n=4).
- articoli di revisione (n=11).

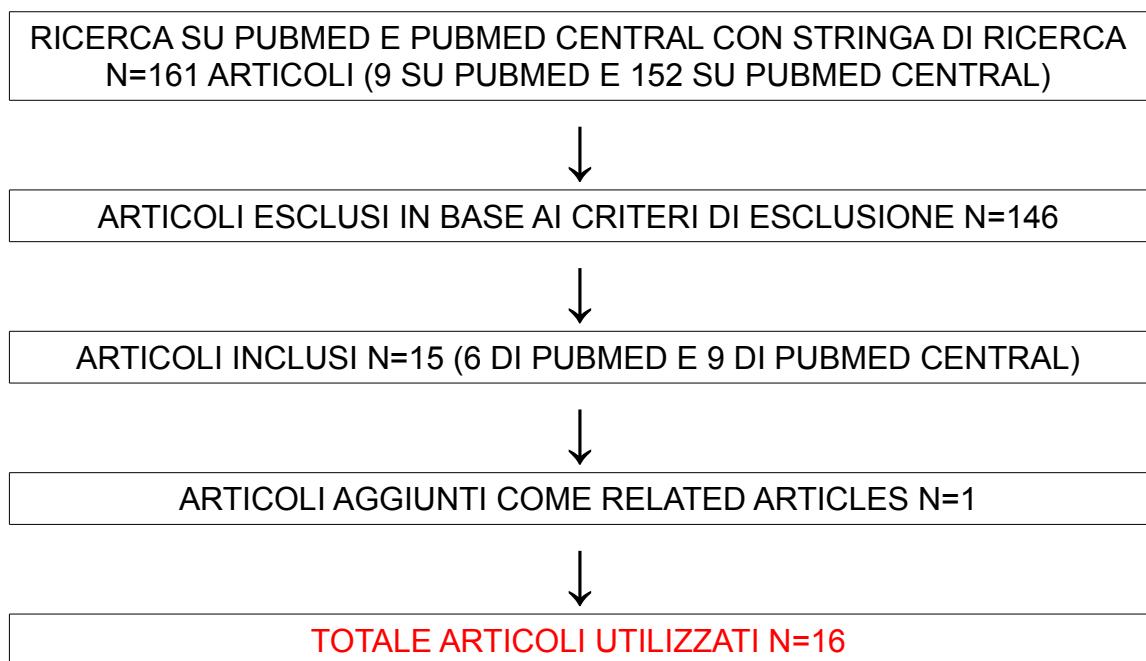
In seguito è stato aggiunto agli articoli di background un ulteriore articolo in quanto la maggior parte degli studi analizzati ne faceva riferimento come punto cardine.

**Si è arrivati dunque alla composizione finale di 16 studi selezionati: 5 articoli di background e 11 articoli di revisione.**

Le pubblicazioni esaminate per la revisione (n=11) possono essere suddivise in due gruppi: n=6 di esse sono revisioni narrative della letteratura che indagano il rapporto teorico fra deficit di controllo neuromuscolare del tronco e lesione del LCA, proponendo alcuni programmi di esercizi volti a prevenire tale infortunio, n=5 di esse sono casi clinici controllati che suggeriscono come esercizi di

controllo del tronco durante le attività ad alto impatto, maggiormente a rischio di lesione del LCA, siano strategie di feed-forward la cui applicazione potrebbe rivelarsi utile per prevenire tale infortunio.

### 3.3 Diagramma di flusso



## 4. RISULTATI

Qui di seguito viene esposta la tabella riassuntiva degli 11 articoli che sono stati analizzati per la revisione.

SOMMARIO DEGLI ARTICOLI INCLUSI NELLA REVISIONE				
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	OBIETTIVO	MATERIALI E METODI	PROTOCOLLO DI INTERVENTO	RISULTATI
<b>Influence of Trunk Flexion on Hip and Knee Kinematics during a controlled Drop Landing.</b> J.T. Blackburn, D.A. Padua, 2007. <u>Studio clinico controllato</u>	Valutare le differenze nella cinematica di anca e ginocchio in relazione alla posizione del tronco durante l'atterraggio.	N=40 soggetti (20 M e 20 F) sani e fisicamente attivi. Analisi della cinematica tronco-arti inferiori effettuata con sistema di markers e Motion Monitor motion capture system.	Scendere da uno scalino (h=60 cm) ed atterrare con entrambi gli arti inferiori. Il primo trial doveva essere effettuato con la strategia preferita dal soggetto (Preferred), il secondo trial doveva essere effettuato con una maggior flessione anteriore del tronco (eseguita attivamente dal soggetto) durante l'atterraggio (Flexed).	La flessione anteriore del tronco produce una maggiore flessione a carico di ginocchio ( $>31^\circ$ , $p<0,001$ ) ed anca ( $>22^\circ$ , $p<0,001$ ) durante l'atterraggio, rispetto ad una posizione del tronco verticale o neutra.
<b>Sagittal-Plane Trunk Position, Landing Forces, and Quadriceps Electromyographic Activity.</b> J.T. Blackburn, D.A. Padua, 2009. <u>Studio clinico controllato.</u>	Determinare l'effetto della flessione anteriore del tronco durante l'atterraggio in relazione all'attivazione del M. Quadriceps.	N=40 soggetti (20 M e 20 F) sani, fisicamente attivi. Analisi cinematica tronco-arti inferiori con sistema di markers e MotionMonitor motion capture; analisi del M. QF con EMG del Vasto Lat.; analisi della forza di reazione del terreno con pedana.	Scendere da uno scalino (h=60 cm) ed atterrare con entrambi gli arti inferiori. Il primo trial doveva essere effettuato con la strategia preferita dal soggetto (Preferred), il secondo trial doveva essere effettuato con una maggior flessione anteriore del tronco (eseguita attivamente dal soggetto) durante l'atterraggio (Flexed).	La flessione anteriore del tronco durante l'atterraggio determina una diminuzione della forza di reazione del terreno ( $p<0,001$ ) e della ampiezza elettromiografica del M. Quadriceps ( $p<0,001$ ), indipendentemente dal genere del soggetto esaminato.

<b>Changing Sagittal Plane Body Position during Single-leg Landings Influences the Risk of non-contact Anterior Cruciate Ligament Injury.</b>  <u>Y. Shimokochi, J.P. Ambegaonkar, E.G. Meyer, S.Yong Lee, S.J. Shultz, 2012.</u>  <u>Studio clinico controllato.</u>	Esaminare gli effetti di diverse posizioni del tronco (strategia preferita dal soggetto, flessione anteriore, estensione)	N=20 soggetti (10 M e 10 F) sani, fisicamente attivi.	Saltare da un gradino (h=30 cm per le femmine, h=45 cm per i maschi) effettuando un atterraggio monopodalico. Per ogni posizione del tronco in fase di atterraggio sono stati eseguiti 5 trial.	La flessione anteriore del tronco, rispetto alla posizione in estensione, ha mostrato una minore forza di reazione del terreno ( $p<0,01$ ), un minore momento estensorio al ginocchio ( $p<0,01$ ), una maggior attivazione del M. Gastrocnemio Mediale e Laterale ( $p<0,01$ ) ed una minore attivazione del M. Quadricep (p<0,01).
<b>Dynamic Sagittal-plane Trunk Control during Anterior Cruciate Ligament Injury</b>  <u>W. Sipprell, B.P. Boden, F.T. Sheehan, 2012.</u>  <u>Caso clinico controllato.</u>	Indagare il ruolo della posizione del tronco (sul piano sagittale) nel meccanismo patologico di lesione del LCA.	Analisi di 20 video di atleti ripresi durante un infortunio causante una lesione al LCA e confronto con 20 video di atleti che eseguivano le stesse manovre ma che non si traducevano in una lesione.	Misurazione della distanza normalizzata con la lunghezza del femore fra COM (centro di massa) e BOS (punto bisettore della linea tra piede e terreno al primo contatto con quest'ultimo) detta COM_BOS, dell'angolo compreso tra la linea centrale bisettrice del tronco e la verticale passante per il COM (TrunkG), e l'angolo compreso tra la linea centrale bisettrice della coscia e la verticale (LimbG).	Gli atleti infortunati per lesione del LCA presentavano una maggior COM_BOS ( $p<0,001$ ), un LimbG maggiore di 16° ( $p=0,004$ ) ed un TrunkG minore di 12° ( $p=0,016$ ) rispetto ai sani, senza differenza di genere.

<p><b>The Interaction of Trunk-Load and Trunk-Position Adaptations on Knee Anterior Shear and Hamstrings Muscle Forces during Landing</b></p> <p><b>A.S. Kulas, T.Hortobágyi, P. DeVita, 2010.</b></p> <p><u>Caso clinico controllato.</u></p>	<p>Valutare l'effetto tra un incremento del carico sul tronco (associato agli adattamenti posturali) sulla traslazione anteriore tibiale e sulla forza muscolare a livello del ginocchio.</p>	<p>N=21 soggetti (10 M e 11 F) sani, fisicamente attivi.</p> <p>Analisi della cinematica tronco-arti</p> <p>inferiori effettuata con sistema di markers e 6-camera motion analysis system.</p>	<p>Esecuzione di 8 atterraggi bipodalici in due differenti situazioni: senza alcun carico (NOLOAD) e con un carico (10% BMI del soggetto), anteriormente e posteriormente in modo simmetrico, tramite un giubbetto (LOAD).</p> <p>In base alla strategia messa in atto dai soggetti durante la task LOAD essi sono stati suddivisi in due gruppi: trunk flexors e trunk extensors.</p>	<p>Un incremento di carico determina, a livello del ginocchio, un aumento della traslazione anteriore tibiale solo nel gruppo trunk extensors (<math>p=0,006</math>) ed un aumento dell'attività del M. Quadriceps, indipendente dalla strategia usata dal soggetto; ma provoca altresì un aumento significativo dell'attività dei MM. Hamstrings solo nel gruppo trunk flexors (<math>p=0,002</math>).</p>
<p><b>The Influence of Core Musculature Engagement on Hip and Knee Kinematics in Women during a Single-leg Squat</b></p> <p><b>M. Shirey, M. Hurlbutt, N. Johansen, G.W. King, S.G. Wilkinson, D.L. Hoover, 2012.</b></p> <p><u>Studio di coorte in laboratorio.</u></p>	<p>Determinare come l'attivazione intenzionale della muscolatura del tronco influenzzi la cinematica a livello di anca e ginocchio durante uno squat monopodale</p> <p>previa valutazione della capacità dei soggetti di reclutare la Core Unit (tramite test di reclutamento della muscolatura descritto da Sahrmann).</p>	<p>N=14 F, sane e fisicamente attive. Analisi della cinematica tronco-arti</p> <p>inferiori effettuata tramite sistema di markers applicati sul corpo dei soggetti e tramite due camere applicate a Ariel Performance Analysis System.</p>	<p>In base al test di Sahrmann i soggetti sono stati suddivisi in LOWCORE (punteggio di 0) e HIGHCORE (punteggio di 1 o 2).</p> <p>È stato poi richiesto ai partecipanti di eseguire uno squat monopodale sulla gamba dominante scendendo da una pedana con due modalità: con il reclutamento attivo della muscolatura della Core (CORE) o senza tale attivazione muscolare (NOCORE).</p>	<p>Durante la task in cui si richiedeva il reclutamento attivo della muscolatura della Core si è osservata una maggior stabilità del complesso coxo-lombo-pelvico testimoniata da un minor spostamento dell'anca sul piano frontale (<math>p=0,01</math>), un maggiore ROM in flessione di ginocchio (<math>p=0,009</math>): tali dati sono migliori nel gruppo LOWCORE (rispettivamente <math>p=0,001</math> e <math>p=0,021</math>).</p>

<p><b>Rationale and Implementation of Anterior Cruciate Ligament Injury Prevention Warm-Up Program in Female Athletes</b></p> <p><b>D.P. Bien, 2011.</b></p> <p><u>Revisione narrativa.</u></p>	<p>Ricercare in letteratura la possibile efficacia di training incentrati sui fattori di rischio neuromuscolari per diminuire il rischio di lesione LCA.</p>	<p>Keywords utilizzate: "knee", "training", "prevention" e "women" keyword s "knee", "training", "prevention" e "women".</p>	<p>Fattori predisponenti lesione LCA: biomeccanica di anca e ginocchio, attivazione dei MM. Hamstrings, leg dominance, muscolatura della Core, meccanismi di feedforward; proposta di training per diminuire l'impatto di ciascun fattore: esercizi pliometrici, propriocettivi, di agilità e di stretching.</p> <p>L'autore suggerisce che per poter misurare i fattori di rischio che predispongono i soggetti a lesione del LCA sarebbe utile utilizzare strumenti quali dinamometri, video, test funzionali (Single-leg hop for distance, Triple hop for distance, 6-m timed hop, Crossover hop, Star Excursion Balance Test)</p>
<p><b>Understanding and Preventing ACL Injuries: Current Biomechanical and Epidemiologic Considerations</b></p> <p><b>T.E. Hewett, K.R. Ford, B.J. Hoogenboom, G.D. Myer, 2010.</b></p> <p><u>Revisione narrativa.</u></p>	<p>Identificare, tra i fattori di rischio neuromuscolari e biomeccanici di lesione del LCA, gli squilibri che predispongono all'infortunio e proporre un programma di intervento atto ad abbassarne l'impatto.</p>	<p>Gli autori hanno analizzato le sequenze video di infortuni causanti lesioni del LCA.</p>	<p>L'analisi delle sequenze video dimostra che alla base della lesione vi sono quattro performance motorie:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- il ginocchio collassa in valgo (Ligament dominance);</li> <li>- il ginocchio è rigido (Quadriceps dominance);</li> <li>- il peso è pressoché totalmente su un solo arto (Leg dominance);</li> <li>- il tronco si inclina lateralmente verso l'arto in appoggio (Trunk dominance).</li> </ul> <p>Viene in seguito presentato un programma di intervento specifico per ognuna di esse (fatta eccezione per la Ligament dominance):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- esercizi pliometrici e reclutamento dei MM. Hamstrings per diminuire l'impatto della Quadriceps dominance;</li> <li>- single-leg balance e single-leg hopping techniques per migliorare il gesto funzionale evitando la strategia di Leg dominance;</li> <li>- esercizi di dynamic Core stabilization per la Trunk (Core dysfunction) dominance.</li> </ul> <p>L'autore identifica infine nel Tuck Jump Exercise uno strumento utile, sia in fase valutativa che come misura di Outcome, a mettere in evidenza le strategie motorie che sottendono alla lesione da non-contatto del LCA.</p>

<p><b>Trunk and Hip Control Neuromuscular Training for the Prevention of Knee Joint Injury.</b></p> <p><b>G.D. Myer, D.A. Chu, J.E. Brent, T.E. Hewett, 2008.</b></p> <p><u>Revisione narrativa.</u></p>	<p>Identificare i meccanismi del tronco predisponenti lesione del LCA, proporre un training per diminuire l'impatto di tali fattori.</p>	<p>Gli autori hanno esaminato la letteratura utilizzando le seguenti keywords “trunk control”, “Neuromuscular”, “Dynamic Valgus”.</p>	<p>Deficit del reclutamento muscolare della Core predispongano a lesione del LCA in quanto determinano un aumento dello stress in valgo al ginocchio. La spiegazione alla base di tale affermazione risiede nel picco di crescita adolescenziale (con conseguenti alterazioni biomeccaniche dell'intero corpo) delle femmine, popolazione ad alto rischio di lesione LCA.</p> <p>Viene inoltre proposto un programma di intervento chiamato Neuromuscular Training Targeted to the Trunk (TNMT) che prevede esercizi a difficoltà crescente (con compiti più complessi, con utilizzo di pedane instabili e swissball..) di diverse task motorie quali controllo del tronco durante gesti specifici, stabilità del tronco, Tuck jump con progressive difficoltà, esercizi specifici per gli hamstring, esercizi di rinforzo del tronco in flessione, estensione e lateroflessione.</p>
<p><b>The Mechanistic Connection Between the Trunk, Knee and Anterior Cruciate Ligament Injury</b></p> <p><b>T.E. Hewett, G.D. Myer, 2011.</b></p> <p><u>Revisione narrativa.</u></p>	<p>Indagare la relazione tra Core Deficit e sovraccarichi a livello di ginocchio che si possano tradurre in lesione del LCA e l'eventuale risposta ad un training mirato per la prevenzione della lesione del LCA.</p> <p>Identificare il rapporto tra il tronco e gli arti inferiori sia dal punto di vista biomeccanico che da quello neuromuscolare</p>	<p>Gli autori hanno esaminato la letteratura utilizzando le seguenti keyword “knee injury”, “high risk biomechanics”, “ACL injury prevention”, “neuromuscular control”, “female sports injuries” e “identification of knee injury risk factors”.</p>	<p>Gli autori affermano che un diminuito controllo del tronco può condurre ad un aumento dello stress sul ginocchio (che si traduce in una lesione del LCA) sia per meccanismi meccanici che per meccanismi puramente neuromuscolari.</p> <p>Non potendo agire sulla componente meccanica, indicano che si debba avviare un programma di intervento volto a minimizzare l'impatto dei meccanismi neuromuscolari nella lesione del LCA che duri almeno 6 settimane, ma non propongono alcun training a questo proposito.</p>

<p><b>Reducing the Risk of Non-contact Anterior Cruciate Ligament Injuries in the Female Athlete</b></p> <p><b>S.D. Barber-Westin, F.R. Noyes, S. Tatalo Smith, T.M. Campbell, 2009.</b></p> <p><u>Revisione narrativa.</u></p>	<p>Esaminare le attuali evidenze circa i fattori di rischio per lesione del LCA negli atleti di sesso femminile e i programmi di training neuromuscolari proposti in letteratura per diminuire il rischio di lesione.</p>	<p>Gli autori hanno esaminato la letteratura in lingua inglese pubblicata dal 1994 al 2009 usando le keywords “ACL prevention”, “ACL injury risk factors”, “neuromuscular retraining” e “ACL noncontact injury”.</p>	<p>Suddivisione dei fattori di rischio per lesione del LCA in: genetici, ambientali, anatomici (e relative differenze di genere), biomeccanici e neuromuscolari.</p> <p>Presentazione di training neuromuscolari per diminuire il rischio di lesione del LCA:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sportsmetrics™, un programma di 3 sedute/sett. (per 6 settimane) da 60/90 minuti che prevede una valutazione iniziale tramite serie di tests ed un successiva programma di training neuromuscolare di tronco ed arti inferiori e di allenamento al gesto funzionale.</li> </ul> <p>Tale programma ha dimostrato la capacità di diminuire l'incidenza di lesione del LCA solo nella popolazione femminile (<math>p=0,02</math>);</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- the prevent injury and enhance performance program (PEP), programma di warm-up dalla durata di 20 minuti studiato per soggetti che praticano calcio che prevede 3 attività di riscaldamento, 5 esercizi di stretching per tronco ed arti inferiori, 5 esercizi di rinforzo muscolare, 3 esercizi pliometrici e 3 esercizi di agilità sport-specifica, ha dimostrato un'effettiva riduzione dell'incidenza di lesione del LCA (<math>p&lt;0,001</math>).</li> </ul> <p>L'autore, tuttavia, non compara l'efficacia dei due programmi proposti, né indica quale dei due è maggiormente consigliato.</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

## 5. DISCUSSIONE

Dai risultati emersi dagli articoli esaminati, si evince come vi sia una correlazione tra controllo neuromuscolare del tronco e cinematica degli arti inferiori.

La lesione del LCA avviene frequentemente con movimenti combinati al ginocchio di stress in valgo, rotazione esterna tibiale e ginocchio molto vicino all'estensione (Barber-Westin S.D. e coll., 2009).

Come evidenziato nella revisione della letteratura di T.E. Hewett e coll. nel 2010, il meccanismo lesionale del LCA ha molteplici componenti, maggiormente evidenti in sequenze video di infortuni a carico del LCA di soggetti di sesso femminile, non totalmente originanti e dipendenti da movimenti del ginocchio:

- Ligament dominance: si stima che la lesione avvenga in tempi talmente brevi (<100 ms) che nemmeno un'attivazione muscolare riflessa riesce a svilupparsi in quanto essa necessita di almeno 128 ms (Krosshaug T. e coll., 2007).

Non potendo mettere in atto strategie di attivazione muscolare protettive in tempi ragionevoli, parte della forza di reazione del terreno, che passa lateralmente al centro articolare del ginocchio spingendo lo stesso verso un collasso in valgo, viene assorbita dai tessuti articolari e peri-articolari.

- Leg dominance: condizione che si verifica quando il soggetto utilizza un solo arto inferiore per atterrare, convergendo quasi la totalità di peso corporeo su di esso.

- Quadriceps dominance: strategia motoria usata per stabilizzare il ginocchio nella fase di atterraggio dal salto, in cui si assiste ad una tendenza ad utilizzare preferenzialmente il M. Quadriceps.

Tale strategia induce però una forza di traslazione anteriore sulla tibia tramite il tendine patellare.

- Trunk (Core dysfunction) dominance: condizione di disfunzione della cinematica di tronco durante il gesto specifico: in seguito all'iniziale contatto con il terreno il tronco va in lateroflessione verso l'arto inferiore in carico che "collassa" in valgo.

T.E. Hewett e G.D. Myer, in una successiva revisione del 2011 hanno

evidenziato come, in base a quanto disponibile in letteratura, il movimento del tronco influenzi il carico sul ginocchio attraverso due modi principali: dal punto di vista meccanico e dal punto di vista neuromuscolare.

Meccanicamente, la lateroflessione fa sì che il vettore della forza di reazione del terreno si trovi ad essere lateralmente rispetto al ginocchio ed agisca con un braccio di leva maggiore relativamente al centro articolare, mentre dal punto di vista neuromuscolare si assiste ad una attivazione dei MM. Adduttori in risposta alla perturbazione sul piano frontale del tronco per controbilanciare il torque in abduzione che la forza di reazione del terreno imprime passando essa esternamente al centro articolare dell'anca. Queste due condizioni, in combinazione, concorrono ad aumentare il valgo dinamico al ginocchio con relativo stress sul LCA (Hewett T.E. e coll., 2011).

Eccessivi spostamenti del tronco sul piano frontale sono dunque associati ad un aumento del torque in valgo del ginocchio, che a sua volta è uno dei fattori che sottendono la lesione del LCA: un deficit della muscolatura che stabilizza il tronco può aumentare il rischio di lesione del LCA (Shirey M. e coll., 2012).

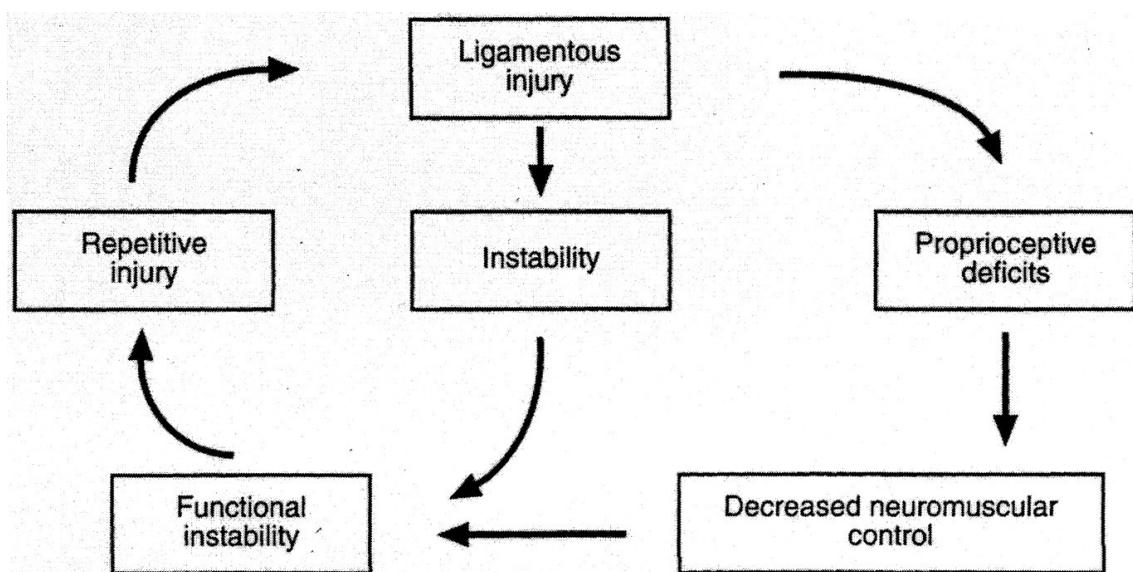


Fig. 3 Relazione tra controllo neuromuscolare e rischio di lesione legamentosa.

Shirey M. e coll. nel 2012 hanno dimostrato come l'attivazione della muscolatura stabilizzatrice del tronco (mm. Multifido e Trasverso dell'Addome) eserciti un'influenza sulla cinematica di anca e ginocchio: analizzando con un sistema di telecamere 3-D motion analysis l'esecuzione di uno squat monopodalico effettuato prima senza (gruppo NOCORE), e poi con (gruppo CORE) la contrazione attiva da parte dei soggetti della muscolatura della Core si è dimostrato che il gruppo CORE mostrava un minor spostamento -e, di conseguenza, una maggior stabilità- dell'anca sul piano frontale ( $p=0,01$ ) e un maggiore ROM in flessione di ginocchio ( $p=0,009$ ): entrambe strategie che riducono le forze di stress per il LCA.

Il test di Sahrmann valuta la capacità di reclutamento da parte del soggetto della Core Unit: esso consiste in 5 livelli, a difficoltà crescente, di controllo della posizione neutra spinale.

Il test prevede che il soggetto, in posizione supina, stabilizzi la propria colonna lombare in posizione neutra durante durante le 5 task richieste, a difficoltà incrementale, mentre l'esaminatore palpa ventralmente il trasverso dell'addome (medialmente alle SIAS), e dorsalmente il multifido (lateralmente ai processi spinosi delle vertebre lombari), ricercando la contrazione attiva da parte del soggetto.

In base al punteggio registrato al test, l'autore aveva suddiviso il campione in due gruppi, relativamente alla capacità di reclutare attivamente la muscolatura della Core durante il test di Sahrmann: gruppo LOWCORE e gruppo HIGHCORE.

I risultati dello studio sono migliori nel gruppo LOWCORE (rispettivamente: nelle task CORE si assiste ad una diminuzione degli spostamenti sul piano frontale dell'anca  $p=0,001$  e ad un aumento del ROM in flessione del ginocchio  $p=0,021$ ) e ciò potrebbe essere un risultato che depone in favore di un programma di allenamento per la prevenzione delle lesioni del LCA che comprenda anche esercizi di training neuromuscolare per la muscolatura della Core.

Nello studio di Shirey e coll. sono presenti delle limitazioni: il test di Sahrmann è stato utilizzato per valutare la capacità dei soggetti di reclutare attivamente la muscolatura della Core ma non è stato effettuato alcun protocollo di

misurazione che indichi che i soggetti abbiano la identica capacità di reclutare i muscoli della Core sia nella posizione di valutazione (Sahrmann test in posizione supina) sia nel gesto richiesto durante l'esperimento (Single-leg Squat) e inoltre non è possibile quantificare l'effettiva attivazione della Core da parte del soggetto: l'utilizzo di un EMG durante lo stesso setting sperimentale permetterebbe di ovviare ad entrambe le problematiche.

Un'ulteriore limitazione è il numero molto limitato del campione (N=14) e l'eterogeneità dello stesso: età=22±1,2 anni; altezza=170,7±6,2 cm; peso=62,8±8,5 kg.

La biomeccanica del movimento e la forza muscolare possono essere modificate ed allenate con programmi di training neuromuscolare (T.E. Hewett e G.D. Myer, 2011).

Un programma di intervento di training neuromuscolare, per indurre una effettiva diminuzione del rischio di lesione del LCA deve durare almeno 6-8 settimane (D.P. Bien, 2011) e può ridurre l'incidenza di lesione del LCA fino al 72% (Hewett T.E. e coll., 2005).

In base a quanto è emerso dalla letteratura analizzata, gli interventi di training sono principalmente multimodali in quanto si va ad agire su molteplici fattori che predispongono alla lesione del LCA e, con programmi strutturati si interviene cercando di modificare le strategie motorie scorrette.

Gli studi esaminati riportano programmi di intervento che non vengono supportati da dati obiettivi, dunque, seppur essi partano da presupposti teorici dimostrati, non possono essere confermati da una validità statistica.

Nella revisione della letteratura di Hewett T.E. e coll. del 2010, in cui sono state esaminate le sequenze video di infortuni determinanti lesione del LCA, gli autori hanno identificato diverse strategie motorie che predispongono all'infortunio ed hanno proposto uno strumento di valutazione che permette ai clinici di identificarle per poi correggerle in sede di trattamento: il Tuck Jump Exercise for 10 seconds.

Tale esercizio, molto faticoso e di difficile esecuzione, se esaminato con un semplice sistema di telecamere (sul piano sagittale e frontale) permette non

solo di identificare i deficit su cui lavorare in sede di trattamento, ma può essere utilizzato come misura di Outcome per verificare l'effettivo apprendimento di strategie motorie più sicure e che determinano minori forze stressanti per il LCA.

Sempre nella revisione del 2010, Hewett e coll. hanno individuato nella **Quadriceps dominance** una strategia motoria del meccanismo lesionale: controllare l'arto inferiore utilizzando preferenzialmente il M. Quadricepse al posto della muscolatura posteriore (MM. Hamstrings) significa utilizzare un singolo muscolo, con una singola inserzione che garantisce stabilità e controllo.

Il reclutamento dei MM. Hamstrings, invece, permetterebbe il controllo da parte di più inserzioni tendinee che possono essere selettivamente utilizzate per garantire stabilità all'arto inferiore durante i gesti funzionali (in particolare sul piano frontale); questo gruppo muscolare, inoltre, è primariamente coinvolto nella flessione di ginocchio, posizione che permette, in fase di atterraggio, un assorbimento delle forze migliore, in quanto fa sì che le articolazioni siano in una posizione di vantaggio meccanico (Hewett TE. e coll., 2010).

La contrazione dei MM. Hamstrings, migliora la stabilità dinamica del ginocchio prevenendo nel contempo la traslazione anteriore della tibia (se agiscono in toto) e i movimenti di rotazione tibiali (agendo unilateralemente): in particolar modo, l'attivazione MM. Hamstrings mediiali (MM. Semitendinoso e Semimembranoso) previene il momento in valgo al ginocchio e la rotazione esterna tibiale (Bien D.P., 2011): per questo motivo tali gruppi muscolari vanno reclutati richiedendo preferenzialmente contrazioni eccentriche che enfatizzino particolarmente il carico di lavoro proprio sul gruppo mediale, deputato al controllo della rotazione esterna tibiale: il Russian Hamstring Curl pare essere l'esercizio più adatto a tale scopo (Hewett T.E. e coll., 2010, Bien D.P., 2011).



*Fig. 4 Russian Hamstrings Curl*

Nei programmi di intervento volti a rinforzare i MM. Hamstrings per diminuire la Quadriceps dominance illustrati dagli autori sono proposti anche esercizi pliometrici come serie di salti verticali con posizione di partenza ad anche e ginocchia flesse a 90° (Hewett T.E. e coll., 2010, Bien D.P., 2011).

Un'altra possibile strategia che potrebbe determinare una diminuzione della Quadriceps dominance è quella che prevede una maggiore flessione anteriore del tronco in fase di atterraggio: una postura eretta in fase di assorbimento della forza peso dopo il salto aumenta la tendenza ad usare il M. Quadriceps come stabilizzatore del ginocchio.

Un atterraggio con il tronco maggiormente flesso anteriormente determina una diminuzione dello stress in traslazione anteriore esercitato dal tendine patellare (in quanto diminuisce, verticalizzandosi, l'angolo formato dal tendine patellare e dall'asse longitudinale tibiale), una diminuzione dell'angolo di elevazione del LCA rispetto al plateau tibiale ed un aumento dell'efficienza del reclutamento dei MM. Hamstrings (Bien D.P., 2011).

Anche un'eventuale **Leg dominance**, se presente in fase valutativa, va corretta: essa è presente se si riscontrano differenze di forza muscolare tra gli arti inferiori dello stesso soggetto maggiori del 20% (Myer G.D. e coll., 2004).

Single leg balance (meglio se abbinati a perturbazioni) e Single leg hopping technique sono esercizi utili per individuare e correggere eventuali anomalie e differenze (Bien D.P., 2011).

L'inabilità di controllare precisamente il tronco nelle tre dimensioni a causa di deficit di controllo neuromuscolare dei muscoli della Core implica un aumento del rischio di lesione del LCA e prende il nome di **Trunk (Core Dysfunction) dominance** (Hewett T.E. e coll., 2010).

Programmi di training neuromuscolare per migliorare il controllo del tronco devono includere esercizi che agiscano sulla muscolatura della Core, a funzione stabilizzatoria: esercizi di coscientizzazione, reclutamento, controllo (soprattutto durante le attività ad alto impatto, in particolare quelle che espongono maggiormente a lesioni del LCA come salti, atterraggi e cambi di direzione) e rinforzo dei mm. Multifido e Trasverso dell'addome.

Gli studi esaminati, oltre agli esercizi propri di reclutamento e co-contrazione di mm. Multifido e Trasverso dell'addome, propongono come interventi efficaci per

il rinforzo di tale muscoli il “Superman” exercise e il Power Wheel roll-out: tali esercizi infatti coinvolgono in maniera specifica la muscolatura della Core evitando eventuali compensi da parte di altri gruppi muscolari (Bien D.P., 2011).



*Fig. 5 e 6: Esercizi di reclutamento M. Multifido (a destra) e Trasverso dell'addome (a sinistra)*



*Fig. 7 Richiesta di Co-contrazione MM. Multifido e Trasverso dell'addome*



*Fig. 8 “Superman” exercise*



*Fig. 9 Power Wheel roll-out*

Altri esercizi per ridurre l'impatto della Trunk dominance sono gli esercizi propriocettivi: principalmente consistono nel mantenimento dell'equilibrio monopodalico sull'arto interessato con l'aggiunta progressiva di pedane instabili o Swiss ball per incrementare la difficoltà di esecuzione (ulteriori progressioni di esercizi prevedono lo svolgimento con occhi chiusi, con perturbazioni dall'esterno, durante movimenti/esercizi svolti con gli arti superiori..) (Hewett T.E. e coll., 2010).

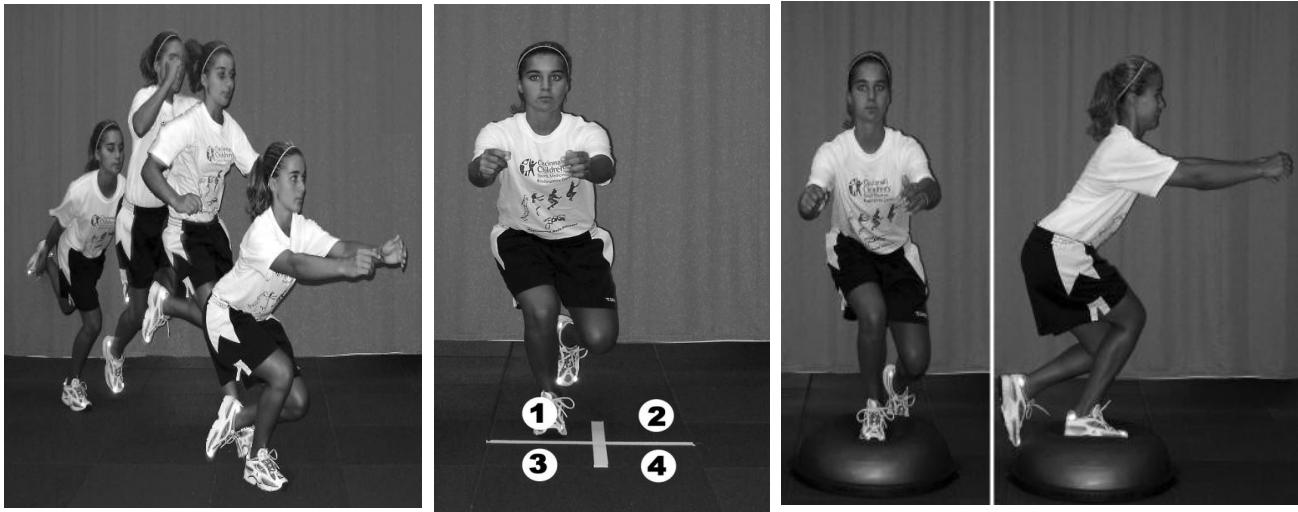


Fig. 10 Alcune proposte di esercizi propriocettivi per il controllo dell'equilibrio monopodalico

Due, tra gli studi esaminati, propongono programmi di intervento consistenti in esercizi di controllo neuromuscolare maggiormente strutturati.

Tali programmi partono dal presupposto che, identificati i fattori di rischio neuromuscolari per lesione del LCA (quali quadriceps dominance, leg dominance, trunk -core dysfunction- dominance, deficit di propriocezione, scorrette strategie durante gesti funzionali, atterraggi, cambi di direzione...), si intervenga per abbassarne l'impatto sul soggetto e sul suo rischio di lesione del LCA: tale affermazione, corretta da un punto di vista logico, non ha valore se non sostenuta da alcuna evidenza scientifica né dato obiettivo.

Nella revisione della letteratura di G.D. Myer e coll. del 2008 viene presentato un programma di training neuromuscolare chiamato Neuromuscular Training Targeted to the Trunk (TNMT) che prevede esercizi a difficoltà crescente (con compiti più complessi, con utilizzo di pedane instabili e Swissball) di diverse task motorie quali controllo del tronco durante gesti specifici, stabilità del tronco,

Tuck jump exercise, esercizi specifici per il reclutamento ed il rinforzo dei MM. Hamstrings, esercizi di rinforzo del tronco in flessione, estensione e lateroflessione.

Tale programma di allenamento, secondo l'autore, ha mostrato un aumento del controllo della cinematica di tronco ed arto inferiore e quindi può rappresentare uno strumento per abbassare il rischio di lesione del LCA ma non possediamo né dati di baseline né dati di follow-up che ci permettano di valutare, con metodi rigorosi e scientificamente significativi, l'efficacia del programma proposto.

Nel 2009, S.D. Barber-Westin e coll., in una revisione della letteratura, riportano due programmi di training neuromuscolare proposti per prevenire la lesione del LCA:

- il primo, chiamato Sportsmetrics™, è un programma di allenamento dalla durata di 6 settimane che prevede 3 sessioni di allenamento settimanali da 60/90 minuti. Tale programma include una valutazione iniziale tramite diversi tests (single-leg hops, drop-jumps, vertical jumps, flexibility, agility and speed tasks) seguita da una serie di esercizi di salto con particolare attenzione alla postura, alla forma ed alla tecnica di esecuzione e da un programma di rinforzo muscolare dei muscoli della Core e dell'arto inferiore in toto.

Secondo quanto riportato da S.D. Barber-Westin, il programma Sportsmetrics™, migliorando l'allineamento dell'arto inferiore nei gesti funzionali ed il controllo del tronco grazie agli esercizi per la Core, aumentando la forza dei MM. Hamstrings e l'angolo di flessione di ginocchio durante l'atterraggio, e diminuendo gli spostamenti dell'anca sul piano frontale, ha dimostrato la capacità di diminuire l'incidenza di lesione del LCA solo nella popolazione femminile ( $p=0,02$ ) in quanto l'incidenza nelle femmine allenate non differisce da quella dei maschi non allenati (Hewett T.E. e coll., 1999).

- il secondo programma proposto è specifico per una determinata popolazione: i calciatori. The prevent injury and enhance performance program (PEP), programma di warm-up dalla durata di 20 minuti che prevede 3 attività di riscaldamento, 5 esercizi di stretching per tronco ed arti inferiori, 5 esercizi di rinforzo muscolare, 3 esercizi pliometrici con particolare enfasi sulle strategie di controllo del tronco durante la fase di atterraggio e 3 esercizi di agilità sport-specifica, ha dimostrato (in uno studio di Mandelbaum B.R. e coll. del 2005)

un'effettiva riduzione dell'incidenza di lesione del LCA ( $p<0,001$ ) nella femmine calciatrici.

Dagli articoli esaminati emerge un ulteriore dato meritevole di approfondimento: il controllo del tronco, soprattutto nelle fasi di atterraggio, è una variabile rilevante ed un fattore che può predisporre ad una lesione del LCA.

Nel 2007 J.T. Blackburn e D.A. Padua hanno pubblicato uno studio che esaminava proprio quest'aspetto: in questo studio, condotto su un campione di 40 individui sani e fisicamente attivi (20 femmine e 20 maschi), si richiedeva di scendere da uno scalino alto 60 cm ed atterrare con entrambi gli arti inferiori contemporaneamente, con il destro che doveva appoggiare su una piattaforma che registrava la forza di reazione del terreno.

La prima task doveva essere eseguita dagli individui con la strategia per loro più naturale, senza istruzioni da parte degli sperimentatori (Preferred), mentre successivamente è stata richiesta una seconda task da eseguire aumentando la flessione anteriore del tronco in fase di atterraggio (Flexed).

Grazie ad un sistema di markers applicati su precisi punti di repere sul corpo dei soggetti e ad un sistema di registrazione del movimento chiamato Motion Monitor è stato possibile acquisire i dati relativi alla cinematica di tronco ed arti inferiori durante i due trials sia al contatto iniziale con il terreno (initial ground contact, IGC) e al momento di picco della fase di carico (definito come l'intervallo tra IGC e il picco di flessione di ginocchio, LOADING).

I risultati mostravano come nell'esecuzione Flexed si poteva riscontrare un incremento della flessione di tronco, anca e ginocchio ( $p<0,001$ ); per di più la differenza tra Flexed e Preferred era statisticamente significativa per l'anca sia in IGC che in LOADING ( $p<0,001$  per entrambe), mentre per il ginocchio solo in LOADING ( $p<0,001$ ).

La flessione di ginocchio implica che il tendine patellare che si trovi ad essere maggiormente parallelo all'asse tibiale (Zheng N. e coll., 1998), ciò determina una diminuzione della traslazione anteriore della tibia indotta dal tendine stesso (Nisell R. e coll., 1989 e Li G. e coll., 1999) e, di conseguenza, dello stress sul LCA (Durselen L. e coll. 1995, Beynnon B.D. e coll., 1995 e Withrow T.J. e coll., 2006b).

Anche l'angolo di elevazione del LCA rispetto al plateau tibiale è influenzato

dalla flessione del ginocchio in quanto decresce con il progredire di quest'ultima fino a che il LCA non si trovi sostanzialmente parallelo al plateau tibiale dopo i 90° di flessione (Zheng N. e coll., 1998 e Li G. e coll., 2006).

In ultima analisi si può rilevare come la flessione del ginocchio influenzi anche l'attività dei MM. Hamstrings in quanto dopo i 100° il loro angolo di inserzione sulla tibia è parallelo al plateau tibiale (Zheng N. e coll., 1998), in una posizione per loro ottimale al fine contrastare la traslazione anteriore della tibia indotta dal M. Quadriceps.

Questo studio suggerisce che la flessione anteriore di tronco durante la fase di atterraggio potrebbe essere una strategia utile per proteggere il LCA da eventuali lesioni, ma il risultato è influenzato da alcune limitazioni dello studio: non è del tutto chiaro come l'angolo di flessione del tronco possa effettivamente diminuire il rischio di lesione del LCA, il concetto di flessione anteriore di tronco non è stato accuratamente descritto né misurato.

Sarebbe stato inoltre interessante analizzare i risultati suddividendo il campione in base al sesso, per verificare se vi fosse una correlazione tra strategia di atterraggio messa in atto e incidenza di lesione del LCA nella popolazione femminile: le femmine, atterrando da un salto, dimostrano una postura del tronco maggiormente verticale o neutra rispetto ai maschi cui è associata una diminuita flessione sul piano sagittale a carico di anca e ginocchio (Graci V. e coll., 2012), queste strategie potrebbero essere un possibile fattore che spieghi un'incidenza di infortunio così alta nella popolazione femminile.

J.T. Blackburn e D.A. Padua nel 2009 hanno proposto un secondo studio, eseguito con lo stesso setting sperimentale, condotto su un campione di 40 individui sani e fisicamente attivi (20 maschi e 20 femmine), con lo scopo di rilevare l'influenza della flessione anteriore del tronco durante la fase di atterraggio sull'attività elettromiografica del M. Quadriceps.

La strumentazione era la stessa dello studio pubblicato nel 2007 ma ad essa si aggiungeva l'EMG del M. Quadriceps effettuata tramite elettrodo di superficie (sEMG) posizionato parallelamente alla direzione del potenziale di azione sul Vasto Laterale. La prima task doveva essere eseguita dagli individui con la strategia per loro più naturale, senza istruzioni da parte degli sperimentatori (Preferred), mentre successivamente è stata richiesta una seconda task da

eseguire aumentando la flessione anteriore del tronco in fase di atterraggio (Flexed).

La misurazione con EMG dell'attivazione quadricipitale ha evidenziato che essa diminuisce se si induce una maggiore flessione anteriore del tronco durante l'atterraggio ( $p<0,001$ ), questo non differisce in base al sesso dell'individuo.

In aggiunta, da questo studio emerge che durante l'atterraggio Flexed diminuisce il picco verticale della forza di reazione del terreno ( $p<0,001$ ) e che questo dato era più evidente negli individui di sesso femminile ( $p=0,001$ ).

I risultati suggeriscono come la flessione anteriore del tronco durante la fase di atterraggio determini una diminuzione dell'attività del M. Quadriceps e la forza verticale di reazione del terreno: questi dati, in linea con quelli pubblicati dagli autori nel 2007, tendono a confermare che la flessione del tronco in fase di atterraggio sia una strategia che diminuisca il rischio lesionale a carico del LCA in quanto migliora l'abilità dell'arto inferiore di assorbire le forze di atterraggio.

Questo studio ha tuttavia delle limitazioni in quanto non è possibile misurare effettivamente la quantità di stress cui è sottoposto il LCA durante le due prove, inoltre non è chiaro se il cambiamento di posizione del tronco verso la flessione sia realmente applicabile ad un training di prevenzione della lesione del LCA: infatti se una maggior flessione anteriore del tronco influenza negativamente la performance dell'atleta, l'applicabilità di questa strategia in sede di riabilitazione al gesto sport-specifico sarà limitata.

Nel 2010 A.S. Kulas e coll. hanno indagato gli effetti di diverse posizioni del tronco e diversi carichi applicati al tronco stesso sulla traslazione anteriore tibiale e sulla forza muscolare applicata al ginocchio durante la fase di atterraggio.

Lo studio, condotto su 21 individui (10 maschi e 11 femmine) sani e fisicamente attivi, prevedeva l'esecuzione di 2 set da 8 performance di atterraggio bipodalico in due condizioni: senza alcun carico applicato al tronco (NOLOAD) e con un'aggiunta di un carico (pari al 10% del BMI del soggetto) applicato anteriormente e posteriormente al tronco tramite l'utilizzo di un giubbino (TRUNKLOAD); in base all'adattamento della posizione del tronco mostrato durante l'esecuzione TRUNKLOAD gli individui sono stati suddivisi in due gruppi: Trunk Extensors e Trunk Flexors.

Grazie ad un sistema di markers applicati su precisi punti di repere sul corpo dei soggetti e ad un sistema di registrazione del movimento chiamato Visual 3D è stato possibile acquisire i dati relativi alla cinematica di tronco e degli arti inferiori dei partecipanti, mentre per stimare le forze muscolari applicate al ginocchio è stato ricostruito un modello biomeccanico dell'articolazione.

I risultati mostravano come nella condizione TRUNKLOAD si assisteva ad un aumento della traslazione anteriore tibiale nel gruppo Trunk Extensors, ma non nel gruppo Trunk Flexors ( $p=0,006$ ), mentre nella condizione NOLOAD non si assisteva ad alcuna differenza tra gruppi.

Indipendente dai gruppi si è dimostrata anche la forza esercitata dal M. Quadriceps, che aumentava all'aumentare del carico applicato al soggetto; la forza esercitata dai MM. Hamstrings risultava maggiore nel gruppo Trunk Flexors solamente nella condizione TRUNKLOAD ( $p=0,002$ ).

Lo studio suggerisce che sia la flessione anteriore del tronco che l'aumento del carico al tronco determinino cambiamenti nella cinematica del ginocchio: in risposta ad un aumento del carico vi è un aumento della traslazione anteriore tibiale dipendente dalla strategia motoria di adattamento del tronco messa in atto dall'individuo.

Il gruppo Trunk Flexors ha adottato una strategia che minimizza l'aumento della traslazione anteriore tibiale e che risulta, dunque, migliore per proteggere l'articolazione del ginocchio e il LCA; in aggiunta a ciò, il gruppo Trunk Flexors ha dimostrato una risposta muscolare che contribuisce a diminuire gli stress applicati al LCA, con un'attivazione maggiore dei MM. Hamstrings.

Pertanto lo studio suggerisce che la flessione del tronco durante la fase di atterraggio possa rappresentare una strategia utile in caso di training di prevenzione di lesioni al LCA.

Lo studio di A.S. Kulas e coll., ha notevoli limitazioni: le forze muscolari sono state calcolate tramite un modello biomeccanico articolare e non tramite EMG, e tale metodologia permette di fare delle stime, ma non di calcolare effettivamente l'attivazione muscolare; lo studio non prevede di calcolare direttamente le forze applicate al LCA, ma le si desumono dalla misurazione della traslazione anteriore tibiale, infine il campione studiato è numericamente piuttosto limitato.

Y. Shimokochi e coll. nel 2012 ha condotto uno studio con lo scopo di esaminare l'effetto di diverse posizioni del tronco sul piano sagittale sulla cinematica e sull'attivazione muscolare dell'arto inferiore durante un atterraggio monopodalico.

Lo studio è stato eseguito su un campione di 20 individui (10 maschi e 10 femmine) sani e fisicamente attivi a cui è stato richiesto di effettuare un atterraggio monopodalico scendendo da una piattaforma di altezza variabile in base al sesso (h=30 cm per le femmine, h=45 cm per i maschi) e mantenere la posizione finale per almeno 2 secondi.

Sono stati richiesti ai soggetti 5 trial per ognuno dei seguenti stili: atterraggio con la strategia adottata in modo naturale dal soggetto (SSL), atterraggio sulle punte e con il tronco flesso in avanti (LFL) e atterraggio sui talloni e con il tronco in posizione eretta (URL).

Grazie ad un sistema di markers applicati su precisi punti di repere sul corpo dei soggetti e ad un sistema di registrazione del movimento chiamato 3D electromagnetic tracking system sono stati acquisiti i dati relativi alla cinematica di tronco ed arti inferiori e con una piattaforma è stata registrata la forza di reazione del terreno.

I risultati elaborati mostrano che durante i trials LFL (con una maggiore flessione anteriore del tronco) si osserva una minore forza di reazione del terreno ( $p<0,01$ ), un minore momento estensorio al ginocchio ( $p<0,01$ ), una maggior attivazione del M. Gastrocnemio Mediale e Laterale ( $p<0,01$ ) ed una minore attivazione del M. Quadricep (p<0,01), indipendentemente dal sesso dell'individuo.

In base ai risultati emersi pare che LFL sia una strategia migliore per proteggere il LCA da lesioni in quanto permetterebbe di diminuire il momento di estensione al ginocchio e l'attivazione quadricipitale, fattori che determinano una traslazione anteriore della tibia (Nisell R. e coll., 1989 e Li G. e coll., 1999) e, di conseguenza, un aumento dello stress sul legamento stesso (Durselen L. e coll. 1995, Beynnon B.D. e coll., 1995 e Withrow T.J. e coll., 2006b).

Lo studio presenta alcune limitazioni: il campione esaminato è molto limitato e non è possibile misurare il carico applicato al LCA durante le diverse esecuzioni di atterraggio, per cui l'interpretazione dei risultati si basa solamente su ipotesi

teoriche precedentemente esposte.

W. Sipprell e coll. nel 2012 hanno analizzato 40 sequenze video: 20 di esse mostravano infortuni, diagnosticati in seguito tramite MRI come lesioni del LCA, occorsi ad atleti durante diverse manovre sportive in atterraggio monopodalico, altri 20 mostravano atleti che eseguivano le stesse manovre, ma che non si procuravano una simile lesione legamentosa.

Lo studio voleva indagare il ruolo della posizione del tronco (sul piano sagittale) nel meccanismo patologico di lesione del LCA: a tal fine gli autori hanno ipotizzato che, se la proiezione verticale sul terreno del centro di massa (COM) è posizionata posteriormente rispetto alla base d'appoggio (BOS) durante il primo contatto col terreno (determinando di conseguenza una maggiore distanza COM\_BOS) l'atleta sia maggiormente esposto al rischio per lesione da non contatto del LCA.

La prima misura di interesse effettuata è stata la distanza tra COM (punto centrale di un ellisse delineante il tronco dell'atleta) e BOS (punto bisettore della linea tra piede e terreno al primo contatto con quest'ultimo).

La distanza (COM\_BOS) è stata poi normalizzata dividendola per la lunghezza del femore.

Altre misurazioni effettuate sono state: l'angolo compreso tra la linea centrale bisettrice del tronco e la verticale passante per il COM (TrunkG), e l'angolo compreso tra la linea centrale bisettrice della coscia e la verticale (LimbG).

I risultati dell'analisi delle sequenze video hanno mostrato come gli atleti infortunati per lesione del LCA presentavano una distanza COM\_BOS maggiore rispetto ai sani ( $p<0,001$ ), un LimbG 16° maggiore rispetto ai sani ( $p=0,004$ ) ed un TrunkG 12° minore rispetto ai sani ( $p=0,016$ ), senza differenza di genere.

Lo studio suggerisce dunque che una posizione del tronco posteriore (vale a dire più verticale o verso l'estensione) rispetto alla base d'appoggio sia un fattore che predisponga alla lesione da non-contatto del LCA.

Lo studio di W. Sipprell ha alcune limitazioni: prima fra tutte il fatto che le sequenze video raccolte, di qualità non uniforme, non sono e non possono essere rappresentative della totalità dei meccanismi patologici provocanti lesioni da non-contatto del LCA, inoltre non è possibile, analizzando i video,

stabilire il momento della lesione del LCA e, di conseguenza, la posizione corporea che ne ha favorito l'insorgenza, infine, dal momento che gli atleti nelle riprese sono vestiti, è difficoltoso identificare punti di repere che permettano misurazioni accurate.

## 6. CONCLUSIONI

La lesione del LCA, in base alla letteratura presa in esame nel presente elaborato, è da considerarsi, con tutta probabilità, di origine multifattoriale.

Ad oggi non è chiaro quale, tra i numerosi fattori di rischio che entrano in gioco nella patomeccanica lesionale, sia quello dominante: molto probabilmente sia i fattori di rischio intrinseci (anatomici, ormonali, biomeccanici, neuromuscolari) che i fattori di rischio estrinseci entrano in gioco determinando un'esposizione alla lesione del LCA maggiore di quella che avrebbero se agenti singolarmente.

Gli articoli analizzati propongono strategie di training neuromuscolare diverse e molto eterogenee ed anche gli studi che prevedono un intervento mirato alla prevenzione della lesione del LCA comprendenti esercizi di controllo neuromuscolare del tronco non sempre sono supportati da dati numerici statisticamente significativi.

Gran parte di essi, infatti, assunti i fattori di rischio che predispongono alla lesione del LCA, propongono programmi di training basati su evidenze teoriche, incentrati su tali fattori predisponenti.

Interventi aventi lo scopo di ridurre al minimo l'impatto potenzialmente dannoso sul LCA di strategie motorie quali Quadriceps dominance e Leg dominance sono da considerarsi parte integrante del training, tanto quanto l'educazione e la progressiva automatizzazione da parte dell'atleta di meccanismi di feed-forward LCA-protettivi come l'aumento della flessione anteriore di tronco nella fase di atterraggio in attività ad alto impatto e ad alto rischio di lesione.

Esercizi per aumentare il controllo della posizione del tronco sul piano sagittale durante gesti che hanno mostrato essere legati alla lesione da non-contatto del LCA paiono essere una componente da includere in un programma di allenamento di prevenzione e circa la metà degli articoli analizzati per la presente revisione ne consiglia l'utilizzo in fase di trattamento.

Una seconda componente da includere nel training che emerge dalla revisione degli articoli analizzati riguarda gli esercizi per la muscolatura della Core: tali elaborati, partendo da dati prevalentemente teorici, concordano sulla relazione tra rinforzo della muscolatura della Core e riduzione del rischio da lesione del LCA (secondo T.E. Hewett e coll., 2010 dal 30 all'80%).

In base a quanto è emerso dalla revisione della letteratura, la ragione di questa relazione risiede non solo nei fattori di rischio che predispongono l'individuo all'infortunio, ma anche nella patomeccanica della lesione stessa: essa è comunemente una lesione da non-contatto dovuta a perturbazioni inaspettate e non previste della posizione del tronco del soggetto che creano una "cascata" di eventi biomeccanici e cinematici a carico dell'arto inferiore: un progressivo aumento dell'adduzione e rotazione interna a livello dell'anca, un aumento del momento in valgo a livello del ginocchio, una rotazione esterna tibiale associata ad eversione del piede in appoggio possono determinare, se associate con altri fattori di rischio, lesione del LCA.

Appare dunque ragionevole che vi sia la necessità di intervenire a monte, facendo sì che il tronco sia in grado di poter far fronte a perturbazioni non considerate: ecco che il concetto di Core Stability trova per questo scopo la sua massima applicazione clinica.

Al fine di avere un impatto significativo circa la riduzione dell'incidenza della lesione del LCA, dalla letteratura esaminata pare che un programma di training che comprenda esercizi di controllo della posizione del tronco e dell'arto inferiore possa essere efficace: seppur non vi sia, ad oggi, un programma di solo training neuromuscolare per il tronco strutturato e validato (tutti gli articoli esaminati prevedevano anche -ma non solo- esercizi di controllo neuromuscolare per il tronco), si può affermare che, molto probabilmente, la risposta al quesito che ha mosso la stesura di questo elaborato è affermativa.

Future ricerche dovranno essere condotte con lo scopo di elaborare programmi di controllo neuromuscolare della Core strutturati ed indagare statisticamente, quanto questi possano risultare efficaci per ridurre il rischio di lesione del LCA.

Questo permetterebbe di poter ragionare su dati numerici inconfutabili e di avere a disposizione lavori che possano superare l'attuale eterogeneità di quelli presenti in letteratura.

## 7. BIBLIOGRAFIA

1. Mechanisms of the Anterior Cruciate Ligament Injury in Sports Activities:  
A Twenty-Year Clinical Research of 1,700 Athletes

H Kobayashi, T Kanamura, S Koshida, K Miyashita, T Okado, T Shimizu, K Yokoe.

2. Risk Factors for Anterior Cruciate Ligament Injury: A Review of the Literature — Part 1: Neuromuscular and Anatomic Risk

HC Smith, P Vacek, RJ Johnson, JR Sauterbeck, J Hashemi, S Shultz, BD Beynon.

3. Deficits in Neuromuscular Control of the Trunk Predict Knee Injury Risk: A Prospective Biomechanical-Epidemiologic Study

Zazulak BT, Hewett TE, Reeves NP, Goldberg B, Cholewicki J.

4. Understanding and Preventing ACL Injuries: Current Biomechanical and Epidemiologic Consideration – Update 2010

TE Hewett, KR Ford, BJ Hoogenboom, GD Myer.

5. Gender Differences in Trunk, Pelvis and Lower Limb Kinematics during a Single Leg Squat

V Graci, LR Van Dillen, GB. Salsich.

6. The Effect of Technique Change on Knee Loads during Sidestep Cutting.

Dempsey AR, Lloyd DG, Elliott BC, Steele JR, Munro BJ, Russo KA.

7. The Influence of Core Musculature Engagement on Hip and Knee Kinematics in Women during a Single Leg Squat

M Shirey, M Hurlbutt, N Johansen, GW King, SG Wilkinson, DL Hoover.

8. Rationale and Implementation of Anterior Cruciate Ligament Injury Prevention Warm-up Programs in Female Athletes

DP Bien.

9. Reducing the Risk of Noncontact Anterior Cruciate Ligament Injuries in the Female Athlete

SD Barber-Westin, FR Noyes, S Tutalo Smith, TM Campbell.

10. The Mechanistic Connection Between the Trunk, Hip, Knee, and Anterior Cruciate Ligament Injury

TE Hewett, GD Myer.

11. Trunk and Hip Control Neuromuscular Training for the Prevention of Knee Joint Injury

GD Myer, DA Chu, JE Brent, TE Hewett.

**12. Influence of Trunk Flexion on Hip and Knee Joint Kinematics during a Controlled Drop Landing**

JT Blackburn, DA Padua.

**13. Sagittal-Plane Trunk Position, Landing Forces and Quadriceps Electromyographic Activity**

JT Blackburn, DA Padua.

**14. The Interaction of Trunk-Load and Trunk-Position Adaptations on Knee Anterior Shear and Hamstrings Muscle Forces during Landing**

AS Kulas, T Hortobágyi, P DeVita.

**15. Dynamic Sagittal-Plane Trunk Control during Anterior Cruciate Ligament Injury**

W Sipprell, BP Boden, FT Sheehan.

**16. Changing Sagittal Plane body position during single-leg landings influences the risk of non-contact anterior cruciate ligament injury.**

Y Shimokochi, JP Ambegaonkar, EG Meyer, SY Lee, SJ Shultz.