



# Ita. J. Sports Reh. Po.

Italian Journal of  
Sports Rehabilitation and Posturology



Open Access Journal - ISSN 2385-1988 [online] - IBSN 007-111-19-55  
Società Scientifica Italiana di Riabilitazione e Posturologia dello Sport

**2** 2018



Italian Journal of Sports Rehabilitation and Posturology

# Ita. J. Sports Reh. Po.

Italian Journal of  
Sports Rehabilitation and Posturology

990

## Training neuromuscolari in età pediatrica. Valutazione della letteratura per un corretto protocollo applicativo nella prevenzione delle lesioni del LCA in soggetti scheletricamente immaturi.

Autori: Rosario D'Onofrio<sup>1</sup>, Pasquale Tamburrino<sup>2</sup>, Vincenzo Manzi<sup>3</sup>, Agostino Tucciarone<sup>4</sup>, Rudy Tavana<sup>5</sup>, Jaymin Bhatt<sup>6</sup>, Antonio Pintus<sup>7</sup>, Antonio Bovenzi<sup>8</sup>, Luigi Febbrari<sup>9</sup>, Andrea Licciardi<sup>10</sup>, Carlo Boldorini<sup>11</sup>

<sup>1</sup> Master Universitario in Posturologia, Rehab Conditioning Specialist e Athletic Trainers in Rehabilitation Certification, Sapienza Università di Roma - Roma

<sup>2</sup> Ortopedico e Medico dello Sport, Libera Associazione Medici del Calcio – Roma

<sup>3</sup> Preparatore Fisico - FC Torino Calcio – Torino

<sup>4</sup> Ortopedico e Medico dello Sport. Istituto Ortopedico Chirurgico Traumatologico (ICOT) – Latina

<sup>5</sup> Ortopedico e Medico dello Sport Responsabile Sanitario F.C Torino Calcio

<sup>6</sup> Musculoskeletal Physiotherapist, Aash Arthroscopy Center, Ahmedabad, Gujarat – India.

<sup>7</sup> Preparatore Fisico - FC Real Madrid – Madrid

<sup>8</sup> Preparatore Fisico - FC Torino Calcio – Torino

<sup>9</sup> Preparatore Fisico – HNK Hajduk Spalato - Croazia

<sup>10</sup> Preparatore Fisico – Primavera FC Torino Calcio – Torino

<sup>11</sup> Fisioterapista dello Sport – Roma

## Abstract

**Background.** Le lesioni all'articolazione del ginocchio indipendentemente dall'età, dal sesso sono comuni in molti sports aventi gestualità ricollegabili a Jumping, cutting e pivoting. Le atlete hanno, come evidenziato nella letteratura scientifica, un rischio più elevato di lesioni al Legamento Crociato Anteriore (LCA). In età pediatrica attualmente la letteratura sottolinea come vi è un incremento, percentuale importante dell'incidenza di queste lesioni dai 5 ai 14 anni. Viene rappresentata anche una importante percentuale di lesioni all'arto controlaterale (32%). Il trattamento chirurgico, nei pazienti scheletricamente immaturi rimane, comunque impegnativo e controverso. **Obiettivo.** Strutturare una scansione della letteratura atta a verificare se training preventivi neuromuscolari hanno un'influenza positiva nel ridurre le lesioni del legamento crociato anteriore in età pediatrica ed adolescenziale. Ricercare e definire, ove possibile, anche i tempi e le modalità applicative dei training neuromuscolari atti a decrementare il rischio di lesioni del LCA in età pediatrica. **Metodo.** Abbiamo eseguito, per effettuare una Systematic Reviews, una analisi della letteratura in base agli articoli di Reporting. A questo scopo sono stati visionati i database PubMed, Medline, utilizzando le seguenti combinazioni di parole chiave, "Pediatric ACL Injury", "ACL injuries in adolescent", "Female ACL injury", "Neuromuscular Training". Sono stati presi in considerazione, per questa revisione, articoli esclusivamente scritti in lingua inglese. **Risultato.** Sono stati riscontrati, inserendo la Key word: ACL, su PubMed : 25.280 scientific&medical abstracts/citations, mentre su PubMed Central 20.899 full-text journal articles. Gli articoli relativi alle lesioni in età pediatrica adolescenziale sono stati 501 articoli su Pubmed e 1990 su Pubmed Central. Sono stati ritenuti idonei per la nostra ricerca 88 articoli scientifici datati dal 1979 ad 2017. Dall'analisi effettuata, emerge come Training Neuromuscolari (NMT) in età pediatrica/adolescenziale si correlano, se collocati in età pre - puberale e puberale, con un positivo decremento delle lesioni del legamento crociato anteriore. I risultati indicano che la profilassi efficace del NMT è influenzata dall'età dei partecipanti, dal dosaggio del NMT, dalla frequenza dal tipo e numero di esercizi e livello di complessità. **Conclusioni.** "Neuromuscular prevention programs" della durata di 20 min. possono ridurre l'incidenza delle lesioni del lca in età pediatrica fino al 72%. L'efficacia rimane strutturata a parametri fissi e protocolli di training comprendenti "balance, strength, power, and agility drills exercises". E' opportuno sottolineare come ad oggi, però nessuna ricerca ha studiato longitudinalmente l'espressività posturale/biomeccanica durante l'età pediatrica/l'adolescenziale atta a decrementare i fattori di rischio di lesioni del LCA.. Pertanto, ulteriori ricerche ed indagini scientifiche su questo argomento sono giustificate. **Study Design.** Clinical Review (D'Onofrio R., Tamburrino P., Manzi V., Tucciarone A., Tavara R., Bhatt J., Pintus A., Bovenzi A., Febbrari L., Licciardi A. Boldorini C. - Training neuromuscolari in età pediatrica. Valutazione della letteratura per un corretto protocollo applicativo nella prevenzione delle lesioni del LCA in soggetti scheletricamente immaturi. - Ita. J. Sports Reh. Po. 2018; 5; 2; 990 – 1012; ISSN 2385-1988 [online] IBSN 007-111-19 – 55; CGIJ OAJI 0,101)

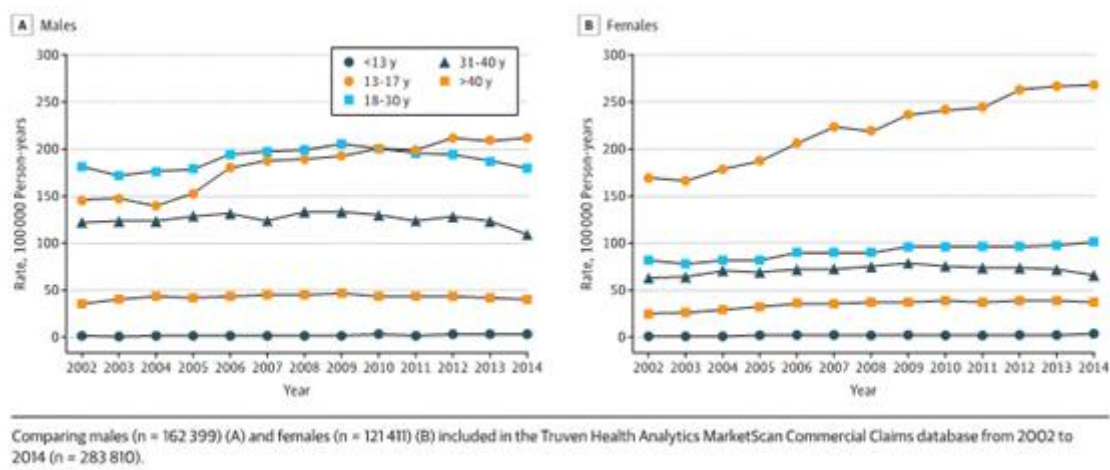
**Key Words:** "Pediatric ACL Injury", "ACL injuries in adolescent", "Female ACL injury", "Neuromuscular Training", Children injury, Adolescents injury Skeletally Immature

## Introduzione

Il numero di lesioni al Legamento Crociato Anteriore riportate in atleti scheletricamente immaturi è aumentato notevolmente negli ultimi anni.<sup>2,4,19</sup> Mackenzie<sup>3</sup> in un lavoro recentissimo del 2017 ha sottolineato come nelle ragazze e nei ragazzi dai 13 ai 17 anni vi è un incremento assoluto delle ricostruzioni del LCA<sup>3</sup> (Grafico.1). Le ragioni di questo aumento percentuale includono il crescente numero di bambini e adolescenti che partecipano a sports competitivi. Il Trend dei praticanti rimane ancor oggi a vantaggio dei ragazzi per il 66% sulle ragazze 34%.<sup>1</sup>

L'insuccesso della ricostruzioni e le lesioni all'arto controlaterale sono di frequente riscontro maggiormente nei bambini e negli adolescenti che negli adulti.

Gli atleti in età pediatrica ritornano allo sport, dopo la ricostruzione LCA, con un percentuale elevata (91%). Purtroppo, la percentuale d'incidenza, come emerge da un lavoro recente di Dekker (2017),<sup>80</sup> di una seconda lesione è alta (32%).<sup>80</sup> All'interno di questa popolazione, un ritorno allo sport affrettato, improprio ed inadeguato è predittivo di una futura seconda lesione del LCA.



**Grafico.1** - Andamento per anno dell'incidenza percentuale delle lesioni in relazione all'età su 13 studi analizzati<sup>3</sup> (da: Mackenzie M *JAMA Pediatr.* 2017;171(8):808-810.)<sup>3</sup>

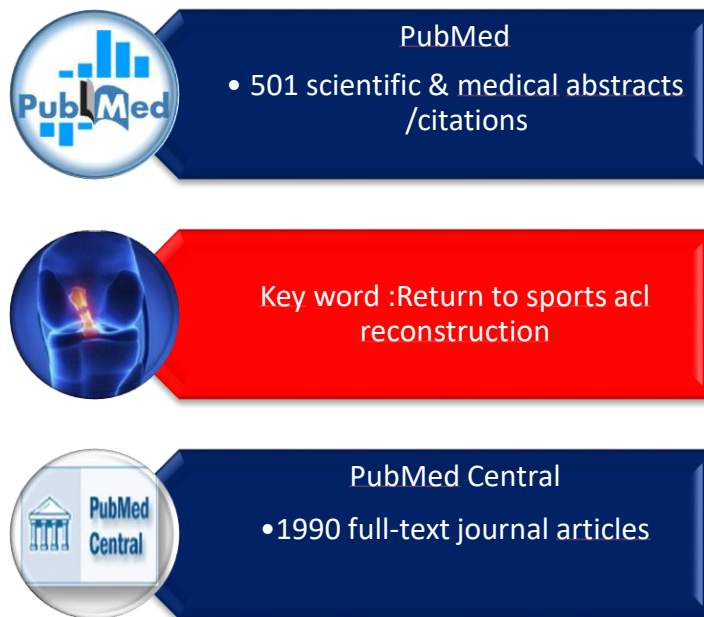
La letteratura recente, dimostra, come il trattamento chirurgico delle lesioni del LCA nei bambini,<sup>81</sup> supporta miglioramenti funzionali e una diminuzione dei rischi di lesione meniscale e / o condrale. Il trattamento conservativo, nelle lesioni del LCA, nei pazienti adolescenti o pre - adolescenti, riporta spesso risultati deludenti con una altissima incidenza di lesioni meniscali, condrali, instabilità post - traumatiche con un conseguenziale degrado precoce dell'ambiente articolare. Di fatto sempre più chirurghi, supportati dalle evidenze scientifiche, si sono orientati verso una ricostruzione del Legamento Crociato Anteriore in acuto, anche in pazienti immaturi di scheletro.

La riabilitazione è cruciale nel trattamento delle lesioni del LCA, in particolare in una popolazione pediatrica/adolescenziale.<sup>82</sup> La strutturazione di protocolli specifici e l'ottimizzazione dell'organizzazione può portare a un ritorno ottimale all'attività fisica ed allo sport nei tempi e nelle modalità atte a ridurre al minimo il rischio di re-lesioni.<sup>80,82</sup>

Una riabilitazione di successo, in età pediatrica, richiede una comunicazione efficace tra l'intero team assistenziale, inclusi il paziente, la famiglia, il terapeuta, gli allenatori e il chirurgo ortopedico al fine di ottimizzare il processo di riabilitazione e ritorno all'attività sportiva. .

Negli anni gli articoli scientifici sul Legamento Crociato Anteriore (LCA) del ginocchio sono stati su PubMed Central 20.899 full -text journal articles. Gli articoli relativi alle lesioni in età pediatrica adolescenziale sono stati 501 articoli su Pubmed e 1990 su PubMed Central (Figura 1). All'interno di questa letteratura pochi gli studi hanno affrontato longitudinalmente gli aspetti preventivi e riabilitativi di queste lesioni.<sup>2</sup> Non

si riscontrano, in particolar modo, molti studi sulle strategie preventive ovvero sui training neuro muscolari, con protocolli strutturati e validati, atti a decrementare la percentuale di queste lesioni <sup>3</sup>in età pediatrica.



**Figura 1.** - Trend degli articoli scientifici, sulle lesioni del legamento crociato anteriore in età pediatrica adolescenziale.

Per cui, questo nostro articolo vuole essere una narrativa scientifica basata su una revisione sistematica della letteratura per identificare se “NeuroMuscular training” rientrano qualitativamente e con efficacia nei protocolli di intervento preventivi delle lesioni del LCA in età pediatrica.<sup>4</sup>

È necessaria un'identificazione dei contenuti scientifici sui fattori di rischio modificabili (Figura 2) per progettare programmi di prevenzione per i bambini in età pre -puberale e puberale. C'è la necessità di studi multicentrici internazionali su algoritmi sulla prevenzione e riabilitazione atti ad aumentare la conoscenza dei risultati a breve e lungo termine. Programmi di prevenzione, per decrementare il rischio di lesioni del LCA in età pediatrica/adolescenziale dovrebbero avere, comunque, secondo noi, un maggiore attenzione anche alle simmetrie di espressività posturo/gestuali oltre che alle attivazioni neuromuscolari.<sup>5</sup>

Injury Mechanism Component	Underlying Neuromuscular Imbalance	Targeted Neuromuscular Intervention Component
Knee adduction during landing	Ligament dominance	Train for proper technique
Low flexion angle in landing	Quadriceps dominance	Strength\en posterior chain
Asymmetrical landings	Leg dominance	Train side\side symmetry
Inability to control center of mass	Trunk dominance (“Core Dysfunction”)	Core stability & perturb training

**Figura 2.** - Fattori di rischio modificabili .Relazione tra meccanismo lesivo, “Neuromuscular Imbalance e Neuromuscular intervention” per la prevenzione delle lesioni del legamento crociato anteriore nelle atlete <sup>83</sup>(da : Hewett T. N Am J Sports Phys. Ther. 2010 Dec; 5(4): 234–251.)<sup>83</sup>

Uno studio prospettico ha riferito che future lesioni del Legamento Crociato Anteriore (LCA) sono state predette con precisione del 91% in atleti femminili quando queste utilizzano aggiustamenti posturali anomali del tronco e del complesso hip – lumbo – pelvico. Storie di Low Back Pain sono espresse come indicatori per future lesioni del LCA.<sup>6</sup>

Un lavoro recente di Khayambashi,<sup>7</sup> suggerisce che le procedure di screening atte a valutare il rischio di lesioni LCA dovrebbero includere anche una valutazione della forza isometrica abduttori /adduttori dell'anca<sup>7,11</sup> e / o della forza di rotazione esterna dell'anca.<sup>7</sup>

Questo studio,<sup>7</sup> tra l'altro, ha dimostrato come l'arto dominante, e non il sesso, influisce sulle strategie di attivazione neuromuscolare, negli atleti Under 12, in particolar modo durante i cambi di direzione e dribbling. Così ormai è noto come le ragazze presentano maggiori momenti di valgo adattativo dinamico del ginocchio durante atterraggi, cambi di direzione e dribbling.<sup>8,9,10</sup>

Diversi studi biomeccanici<sup>5,6,8,9,31,36</sup> hanno mostrato come momenti predittivi di lesioni future di LCA durante l'atterraggio dopo un salto, in giovani atleti femminili siano ricollegabili: a) momenti gestuali asimmetrici, b) decremento del controllo neuromuscolare del tronco c) eccessiva abduzione del ginocchio ed adduzione femorale d) limitato range articolare del ginocchio.<sup>6,8,9</sup> Bisogna ulteriormente evidenziare come il rischio decisamente elevato di lesioni del LCA nelle ragazze/donne rispetto ai ragazzi/uomini è considerato di natura multifattoriale (anatomici, ormonali e biomeccanici).<sup>52</sup>

## Epidemiologia

Lavori presenti in letteratura evidenziano e supportano come la percentuale di lesioni del LCA in età pediatrica ed adolescenziale sono in continuo aumento. L'incremento è particolarmente drammatico in sports come il calcio (Foto 1), basket, volley e ginnastica artistica<sup>56,57,58,59,60</sup> con le ragazze che rappresentano la massima incidenza.



**Foto 1.** Incremento delle lesioni del LCA in età pediatrica in particolar modo in sports come calcio, basket, volley e ginnastica artistica.<sup>56,57,58,59</sup>

Shea mostra che queste lesioni, in atleti scheletricamente immaturi rappresentano circa il 31% di tutte le lesioni al ginocchio nei calciatori tra i 5 e 18 anni di età.<sup>58,80</sup>

Studi effettuati alla fine degli anni '70 e all'inizio degli anni '80 riportavano una incidenza della rottura LCA, in individui scheletriche immaturi tra l'1,0% e il 3,4%.<sup>78</sup>

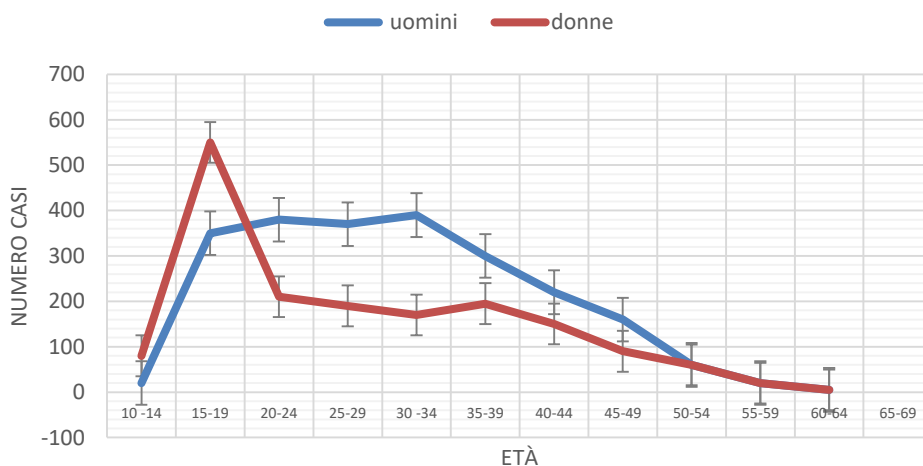
Per Beck<sup>61</sup> negli ultimi 20 anni, il numero di lesioni del LCA tra i bambini e gli adolescenti di età compresa tra i 6 e 18 anni sono aumentate del 2,3% all'anno.

Le femmine hanno un'incidenza significativamente maggiore, ad eccezione del fasce di età tra i 17- 18 anni con un picco di incidenza a 16 anni per le femmine e 17 anni per i maschi. Shaw<sup>62</sup> sostiene che in nello stato di Victoria, Australia, le lesioni del LCA sono aumentate del 147,8% da 2,74 per 100.000 di popolazione nel 2005/2006 al 6,79 per 100.000 nel 2014/2015. La maggioranza (96,9%) di queste lesioni erano collocate tra i 10 e 14 anni.<sup>62</sup>

Anche per Dodwell<sup>63</sup> la percentuale di ricostruzione del LCA per 100.000 persone di età compresa tra 3 e 20 anni è in costante crescita negli ultimi 20 anni: dal 17,6 % nel 1990 al 50,9 % nel 2009, con una età massima di 17 anni e minima 9 anni. Il tasso di ricostruzione LCA nei pazienti maschi è stato di circa il 15% superiore a quello delle femmine.

Oggi Mackenzie<sup>3</sup> riporta un incremento assoluto delle ricostruzioni del LCA nelle ragazze e nei ragazzi dai 13 ai 17 anni.

Uno studio di Renstrom<sup>85</sup> ha pubblicato dati di studi norvegesi che evidenziavano complessivamente 2.793 operazioni di ricostruzione del LCA, in 18 mesi, effettuate in 57 ospedali. Ciò corrisponde ad un'incidenza annuale di interventi di ricostruzione primaria di LCA di 34 per 100 000 cittadini (85 per 100 000 cittadini nel principale gruppo di età a rischio di età compresa tra 16 e 39 anni). Il numero delle operazioni LCA differisce tra i sessi nel secondo decennio della vita, con le femmine che hanno le ricostruzioni più alte nell'età di 15-19 anni (Grafico.2)



**Grafico 2.** Distribuzione di pazienti nel Norwegian National Knee Ligament Registry in relazione all'età e al sesso. (da: Renstrom P, . *Br J Sports Med.* 2008;42(6):394-412)<sup>85</sup>

### Le Lesioni del LCA in età pediatrica

Il trattamento delle lesioni del crociato anteriore in età pediatrica è diventato un argomento di dibattito, molto acceso, nella letteratura internazionale. Non c'è una

omogeneità relativa alla gestione conservativa o chirurgica delle lesioni del legamento crociato anteriore (LCA) nel paziente scheletrico immaturo.

Il clinico in sede chirurgica si trova davanti alla necessità di stabilizzare il ginocchio con una ricostruzione e il bisogno di evitare una “..growth plate (physeal) injury..” una lesione alla fisi femorale (distale) e tibiale (Prossimale). D’altro canto ritardare l’intervento chirurgico fino alla maturità scheletrica ha spesso dimostrato, nella maggior parte dei casi clinici di provocare esiti sfavorevoli a causa di concomitanti lesioni meniscali e condrali in questa popolazione di pazienti.

Così ,studi recenti<sup>88</sup> che riportano tassi di insuccesso del 15-25% delle ricostruzioni.<sup>88</sup> Si sottolinea come, in questo contesto, l’educazione del paziente e del caregiver diventa di fondamentale importanza.<sup>88</sup>

Nel corso degli anni nella pratica clinica sono state messe a punto differenti tecniche chirurgiche che includono: sutura termino-terminale del legamento, ricostruzione physeal-sparing, tecnica trans-fisaria parziale, tecnica trans-fisaria completa.<sup>87</sup> I dati della letteratura mostrano risultati migliori con ricostruzione del LCA rispetto alle tecniche di sutura del legamento stesso. Le tecniche a risparmio delle fisi non offrono vantaggi rispetto alle tecniche che prevedono un drilling trans-fisario; tuttavia non è chiaro se tali tecniche possano provocare deficit della crescita dei segmenti ossei interessati.<sup>87</sup> I dati della letteratura mostrano rischi maggiori di deviazioni assiali post-operatorie e di sviluppo di dismetrie nei bambini sottoposti a ricostruzione del LCA al di sotto dei 12 anni di età. I risultati migliori sono stati ottenuti con l’utilizzo degli hamstring quadruplicati rispetto alle tecniche che prevedono l’utilizzo del BPTB e con fissazione del graft distante dalla rima articolare. Il timing di intervento chirurgico resta controverso: la letteratura mostra risultati soddisfacenti con ricostruzioni in acuto sia con ricostruzioni posticipate.<sup>87</sup> (Figura 3)



**Figura 3** - Le radiografie preoperatorie mostrano lo stadio di Tanner 2 in una ragazza di 13 anni con lesione del legamento crociato anteriore nel ginocchio sinistro. (da Dei Giudici L. *Journal of Orthopaedic Surgery* 2016;24(3):307-11)<sup>87</sup>

### Letteratura e criteri di ricerca

La nostra ricerca si è sviluppata effettuando l’analisi della letteratura sui database PubMed, Medline. Abbiamo utilizzato le seguenti combinazioni di key word : “Pediatric ACL injury” , “ACL injuries in adolescent”, “Female ACL injury”, “Neuromuscular training”, “Children injury” “Adolescents injury”, “Skeletally immature”.



Di tutti gli articoli recensiti abbiamo ritenuti idonei 88 studi dal 1979 al 2017 che soddisfano i criteri di inclusione. Gli abstract, e i dati inediti sono stati inclusi nell'analisi finale. Durante questo processo, le discrepanze nell'inclusione e di esclusione di studi sono stati discussi tra gli autori di questa review.

### **Cronologia delle fasi dello sviluppo**

Per collocare questo lavoro all'interno delle varie fasi di sviluppo abbiamo fatto riferimento alla Tanner Scale<sup>79,81</sup> (conosciuta anche come Tanner Stages), la quale è una scala dello sviluppo fisico dei bambini adolescenti, adulti.

Per semplicità, il termine "gioventù" si riferisce a bambini (stadi 1 e 2 della maturazione sessuale - circa fino all'età di 11 anni in ragazze e 13 anni in ragazzi) e adolescenti (stadi 3 e 4 della maturazione sessuale - circa dai 12 anni ai 18 anni in ragazze e dai 14 ai 18 anni nei ragazzi).<sup>20 79,81</sup>

### **La prevenzione delle lesioni del LCA in età pediatrica : i punti chiave del programma di training neuromuscolare .**

Sugimoto<sup>19,28</sup> sostiene come l'efficacia di un programma di training neuromuscolare, preventivo, si basa su quattro componenti <sup>19</sup> :

- a) l'età in cui istituire l'intervento preventivo,
- b) dosaggio da prescrivere,
- c) esercizi da includere,
- d) frequenza,
- e) volume,
- f) feedback da dare all'atleta.

Quando un programma di NMT è strutturato, solo uno dei quattro componenti chiave è stata osservata una riduzione percentuale del rischio di infortuni LCA del 17-18%.

La letteratura indica che una profilassi efficace del NMTP è influenzata dall'età dei partecipanti dosaggio al NMT, tipo e numero di esercizi e livello di complicità.<sup>18,19,20</sup>

### **“Core training” neuromuscolari**

Deficit neuromuscolare della "core" possono compromettere la stabilità dinamica e l'allineamento del arto inferiore provocando un maggiore incremento del momento di adduzione femorale e abduzione del ginocchio che eleva notevolmente i fattori di rischio di lesioni del LCA.<sup>8,12,13</sup>

Così come sostenuto da Hodges<sup>14,15</sup> l'attività muscolare della core nella sequenza temporale di molte attività atletiche,<sup>1</sup> precede l'attivazione dei muscoli dell'arto inferiore.<sup>5</sup> Studi retrospettivi su pazienti con distorsioni della caviglia<sup>17</sup> mostrano un ritardo nell'insorgenza del muscolo l'attivazione dei muscoli del complesso hip -lumbo pelvico.<sup>13,16,17</sup>

La mancanza di controllo neuromuscolare del complesso della core durante movimenti gestuali tecnico - atletici può predisporre gli atleti a lesioni agli arti inferiori ed a un Low Back Pain (LBP).<sup>84</sup> Storie di LBP possono alterare stabilmente il controllo della core

durante l'atterraggio.<sup>21,22,84</sup> Così training neuromuscolari personalizzati possono migliorare e controllare, durante l'atterraggio dopo un salto, i movimenti anomali di lateralità<sup>30</sup> e/o torsionali.<sup>84</sup>

Uno studio di Hewett<sup>8</sup> ha evidenziato come atleti femminili che hanno partecipato ad un programma di "Core training" hanno avuto una diminuzione del 72% dell'incidenza di lesioni al legamento crociato anteriore chiaramente rispetto atleti femminili che non hanno partecipato al "Core training".<sup>8,31</sup>

### **Influenza del riscaldamento**

Solo due studi hanno dimostrato che il rischio di lesioni LCA, negli adolescenti, può essere decrementato utilizzando un programma di riscaldamento completo.<sup>23,24</sup> Un programma di warm-up, strutturato appositamente per questo obiettivo è stato introdotto negli adolescenti in Svezia (Knäkontroll, SISU Idrottsböcker ©, Svezia, 2005).<sup>25</sup> e condiviso dalla Swedish Football Association (FA) in collaboration with the Swedish Handball Federation, the Swedish Basketball Federation and the Swedish Floorball Federation.

Questo protocollo contiene sei esercizi incentrati sul controllo neuromuscolare del ginocchio e stabilità della core:

1) one-legged knee squat, 2) pelvic lift, 3) two-legged knee squat, 4) the bench, 5) the lunge, 6) jump/landing.<sup>25</sup>

Ogni esercizio è suddiviso in quattro step di difficoltà progressiva. Ogni Associazione / Federazione ha adeguato, la progressione degli esercizi al proprio specifico sport.

Gli esercizi sono stati preceduti da 5 minuti di corsa a bassa intensità. Il tempo totale della seduta era ancorato intorno ai 10-15 minuti.

Gli autori, di questo lavoro,<sup>25</sup> concludono che il programma di warm up può essere efficace nel ridurre l'incidenza di lesioni al ginocchio.

L'efficacia del programma di riscaldamento pre e post allenamento /gara sulla riduzione dell'incidenza delle lesioni al ginocchio, tuttavia, non sono stati valutati estensivamente nella letteratura.

### **Efficacia dei NMT sulla prevenzione delle lesioni LCA in età adolescenziale**

Training neuromuscolari (NeuroMuscular training NMT) sembrano essere efficaci nella prevenzione della lesione del LCA.<sup>26,27,37,38,39</sup>

Diversi protocolli NMT sono emersi in letteratura<sup>29</sup> che mirano a prevenire lesioni del legamento crociato anteriore in giovani atlete. Comunque è giusto sottolineare come timing, frequenza e la durata ideali di tali interventi nei bambini e negli adolescenti non sono omogenei.<sup>32,33</sup>

In un recente studio longitudinale, Ford<sup>36</sup> ha osservato come le ragazze già nella fase puberale hanno una anomala alterazione della biomeccanica/posturale nelle fasi dell'atterraggio dopo un salto.

Una recente meta-analisi ha riscontrato una riduzione del rischio di lesione del LCA pari al 56% negli atleti femminili dopo programmi di prevenzione che incorporano NMT.<sup>28</sup> Sulla base dell'apprendimento delle abilità motorie, la preadolescenza può fornire una finestra "ottimale" per formare e sviluppare competenze di movimento fondamentali di lunga durata nei ragazzi e nelle ragazze.<sup>34,35,40,41</sup>

## Tipologia dell'esercizio e dosaggio

Sebbene la letteratura sottolinea l'importanza dei training neuro muscolari per la prevenzione delle lesioni del LCA negli adolescenti <sup>26,27,37,38,39</sup> non ci sono sufficienti Evidenze, nell'applicabilità pratica relative al dosaggio ottimale.

Studi dimostrano che gli atleti più giovani rispondono positivamente ai training neuromuscolari <sup>48,49,50,51</sup> rispetto agli atleti adulti.

Non esiste un consenso sugli esercizi e dosaggi, volume, frequenza ottimali <sup>18</sup> che dovrebbero essere inseriti in un personal training NMT. (tabella 1). Utilizzando, però "stimolazioni diverse", è stata dimostrata una riduzione importante del rischio di lesioni del LCA del 68%,<sup>28</sup> rispetto alla proposta di training monotoni e stereotipati.

Sugimoto <sup>28</sup> sottolinea come l'efficacia dei NMT progettati per ridurre le lesioni del LCA nei giovani atleti femminili se associati a Training tipo a) balance , b) pliometrici, c) potenziamento muscolare d) controllo dell'articolazioni prossimali al ginocchio (definiti dalla letteratura internazionale "Proximal control training") <sup>42</sup> rappresentano momenti di decremento percentuale importanti delle lesioni all'articolazione del ginocchio.

Gli esercizi di balance, presi isolatamente hanno dimostrato una riduzione del 41% della percentuale di infortuni relative al LCA rispetto ad una riduzione del 66% se questi inseriti all'interno di PNMT.<sup>18,42</sup>

Diversi studi che incorporano questo protocollo/sequenza di esercizi hanno dimostrato una riduzione del 17-26% delle "Ground Reaction Force "(GRF) durante l'atterraggio dopo 6-9 settimane di training.<sup>37,43</sup>

Uno degli esercizi di potenziamento più comunemente incorporati nei programmi PNMT è il "Russian/Nordic hamstring curl hamstring." Gli ischio-crurali sono un antagonista del quadricipite, in quanto controllano le anterior shear force femoro - tibiali prodotte dall'attività del quadricipite.<sup>44</sup>

Questo è importante perché il fascio anteriore-mediale del LCA è sotto tensione massima intorno ai 30° di flessione del ginocchio.<sup>44</sup> Pertanto, il potenziamento muscolare degli "Hamstring" può controbilanciare la forza di taglio anteriore femoro - tibiale prodotta dal quadricipite e può proteggere, incrementando il picco di forza del Hamstring,<sup>37,45,46,47</sup> il legamento crociato anteriore .

Così programmi NMTP (Neuromuscular Training Program) hanno mostrato che in 8 settimane di training la forza isocinetica dei flessori del ginocchio è aumentata del 9,8% .<sup>18,44</sup>

Quando, viene strutturato, un NMTP (NeuroMuscular Training Program) la riduzione percentuale dei fattori di rischio è risultato pari al 72% nelle fasce di età tra 14-18 anni e del 52% in quelle tra i 19-20 anni.<sup>37</sup>

Myer <sup>48</sup> ha documentato negli atleti più giovani che hanno eseguito NMT rispetto agli atleti adulti un decremento percentuale delle lesioni del Legamento Crociato Anteriore (LCA). Comunque in letteratura esistono, anche diversificati risultati sul decremento delle lesioni del LCA attraverso l'utilizzo programmi di NMT.<sup>53,54</sup>

Studi<sup>18,42</sup> mostrano un legame tra instabilità dei segmenti prossimali dell'arto inferiore e lesioni LCA.<sup>18,42</sup>

Authors /Year	Sports	Age (mean±SD)	Type	Length	Frequency	Weekly time spent during in season
Hewett (1999)	Soccer, volleyball basketball	14 – 18 yr	Stretching, Pliometrics Weight training	60-90 Minutes	3 days per week in pre season	N/A
Soderman 2000	Soccer	20.4±5.4	Balance with balance boards	10 – 15 minutes	Each day for 30 days. 3 days per week rest of the season	10–15 min
Heidt (2000)	Soccer	14 – 18 yr (range)	Cardiovascular, Plyometrics, Strength, flexibility, agility, and sports specific drills	75 minutes	3 days per week in pre season	N/A
Petersen (2005)	Handball	19.4 yr	Education, balance-board exercise, jump training	10 minutes	3 times per week in pre season. Once per week for rest of the season	10 min
Mandelbaum (2005)	Soccer	14–18 yr (range)	Basic warm-up, stretching, strengthening, plyometrics, and agility	20 minutes	2–3 times per week in in-season	40–60 min
Pfeiffer et al. (2006)	Soccer Volleyball Basketball	14–18 yr (range)	Plyometrics	20 minutes	2 times per week in inseason	40 min
Steffen (2008)	Soccer	15.4 yr	Core stability, balance, plyometrics	15 minutes	15 consecutive sessions. Once a week for rest of the season	15 min
Kiani (2010)	Soccer	14.7 yr	Core strengthening, balance	20–25 minutes	2 days per week for 2 months. Once a week for rest of the season	20–25 min
LaBella (2011)	Soccer Basketball	16.2 yr	Strengthening, plyometrics, balance, agility	20 minutes	3 times per week in preand inseason	60 min
Walden (2012)	Soccer	14.0 yr	Core stability, balance, jump-landing with knee alignment feedback	15 minutes	2 times per week.	30 min

**Tabella 1** –Studi relative alle sperimentazioni cliniche delle diversificate applicabilità pratiche del NMT. (da : Sugimoto *Sports Med.* 2014 April ; 44(4): 551–562. - modificato 2017)<sup>18</sup>

Un motivo potenziale per spiegare la disparità sulle percentuali di riduzione delle lesioni del LCA può essere correlato al “dosaggio” dei programmi NMT. Recenti studi clinici<sup>29,53, 55,56</sup> che hanno utilizzato NMT come intervento per gli atleti femminili per ridurre la lesione del LCA ha concluso che l'effetto NMT è probabilmente connesso alla dose.

Alcuni studi clinici<sup>55,56</sup> hanno evidenziato che pochi minuti di NMT non raggiungono percentuali di decremento desiderabili dei fattori di rischio di lesioni in età pediatrica/adolescenziale.

L'analisi attuale della letteratura suggerisce che la durata NMTP è di 20 minuti che rappresentano il "Gold Time" per sessione sia durante la fase pre - season che nella fase season.

La durata e la frequenza dei NMT però sembrano essere fattori estremamente importanti per l'efficacia della prevenzione delle lesioni a carico del legamento crociato anteriore in età pediatrica/adolescenziale anche se il volume ottimale di NMT non è noto.

In studi<sup>18,19</sup> le sedute di NMT sono state classificate per:

- a) basso volume (fino a 15 minuti alla settimana),
- b) volume moderato (15-30 minuti a settimana),
- c) volume elevato (> 30 minuti alla settimana).

Non esistono linee guida universali per la durata e la frequenza della NMT. Una review di Sugimoto<sup>18</sup> raccomanda come tempo ideale 20 minuti di NMT eseguito più volte alla settimana sia durante il pre-season che durante la season per prevenire lesioni LCA.

Si sottolinea come training, di 20 minuti eseguiti una volta la settimana durante la stagione sportiva possono ridurre il rischio di lesioni del LCA 38-39% del rischio di lesioni del LCA.

Un'altra meta-analisi<sup>65</sup> che ha valutato l'efficacia dei programmi NMT per ridurre l'incidenza di LCA negli atleti femminili ha riferito che l'intervento combinato pre e post season di NMT<sup>65</sup> è il processo più efficace per ridurre l'incidenza delle lesioni del LCA.

### **Quando iniziare un training neuromuscolare**

Training integrativi neuromuscolari sono modelli di formazione concettuale strutturato come un programma di training supplementare. Questi sono di vitale importanza per i giovani le cui capacità cognitive e motorie sono altamente "plastiche." Interventi e stimolazioni adeguati all'età possono essere ancora più vantaggiosi per i giovani con un minore potenziale genetico per lo sviluppo e la competenza delle capacità motorie.<sup>67,68</sup>

La letteratura<sup>6,8,18,19,20,24,29</sup> sottolinea come la pietra angolare del training integrativo neuromuscolare, in età pediatrica ed adolescenziale è l'istruzione. Questa deve essere appropriata in relazione all'età con un programma che include varietà, progressione e intervalli di recupero adeguati.<sup>66</sup>

Come per qualsiasi attività fisica o sportiva, la partecipazione dei giovani in attività integrative di training neuromuscolare comporta un certo grado di rischio intrinseco di lesioni muscolo-scheletriche. Tuttavia, quando i bambini e gli adolescenti sono adeguatamente istruiti e il training coordinativo neuromuscolare è coerente con le esigenze e le capacità individuali, il rischio di lesioni può essere molto inferiore a quello di altre attività sportive e ricreative in cui i bambini e gli adolescenti partecipano regolarmente.

Pertanto, appropriati protocolli integrativi di addestramento neuromuscolare rappresentano meno rischi per i bambini e gli adolescenti rispetto alle attività sportive tradizionali e ricreative.

Le atlete in età puberale che hanno partecipato a training integrativi hanno dimostrato un miglioramento del controllo neuromuscolare dell'arto inferiore del 13,4% dal primo al secondo anno di test.<sup>66</sup> Inoltre, la forza dei flessori è stata significativamente maggiore sia nei gruppi puberali che post-puberali che hanno partecipato a esercizi di training di forza.

Il miglioramento della qualità del movimento riflette probabilmente i cambiamenti adattativi naturali nei modelli di contrazione degli adduttori e Abduttori sia dell'anca che del ginocchio.<sup>69,70</sup>

La crescita muscolo scheletrica durante la pubertà, in assenza di sufficienti adattamenti neuromuscolari adeguati, può facilitare lo sviluppo di meccaniche anormali durante determinate attività<sup>36,72</sup>

Brent<sup>71</sup> ha dimostrato che la forza degli abduttori dell'anca rispetto nei maschi migliora con ogni gruppo di età successivo (da 11 a 17 anni). Al contrario, la resistenza degli abduttori dell'anca non cambia nelle femmine nella stessa fascia di età. Questi risultati possono indicare che i protocolli integrativi di training neuromuscolare dovrebbero includere esercizi di potenziamento con una applicabilità attuativa pratica per le bambine prima dell'età di 11 anni ; prima che avvenga una specifica riduzione della forza degli abduttori all'anca.<sup>71</sup>

I dati preliminari indicano protocolli integrativi di training neuromuscolare implementati (Figura 4) in preadolescenza (Tanner 1), adolescenti precoci (Tanner 2) possono indurre artificialmente lo "spurt neuromuscolare" (definito come l'adattamento naturale dell'incremento potenza, forza e coordinazione che si verifica con l'aumento dell'età cronologica e stadio maturazionale nei ragazzi adolescenti).

La partecipazione regolare a un programma di training neuromuscolare multiforme che inizia durante il pre - season e include istruzioni sulla biomeccanica di movimento può ridurre il rischio di lesioni sportive nei giovani atleti.<sup>73</sup>

Così, appropriati protocolli integrativi di training neuromuscolare rappresentano meno rischi per i bambini e adolescenti rispetto alle attività sportive tradizionali e ricreative.

Partecipazione regolare a programmi integrativi di training neuromuscolare che includono esercizi di potenziamento muscolare e esercizi pliometrici (single and double-leg hops and jumps) con istruzioni qualificate e con un modello progressivo strutturato sono state trovate atte a migliorare la biomeccanica funzionale e le capacità e ridurre, così, il numero di lesioni sportive nei giovani atleti.<sup>39,53</sup>

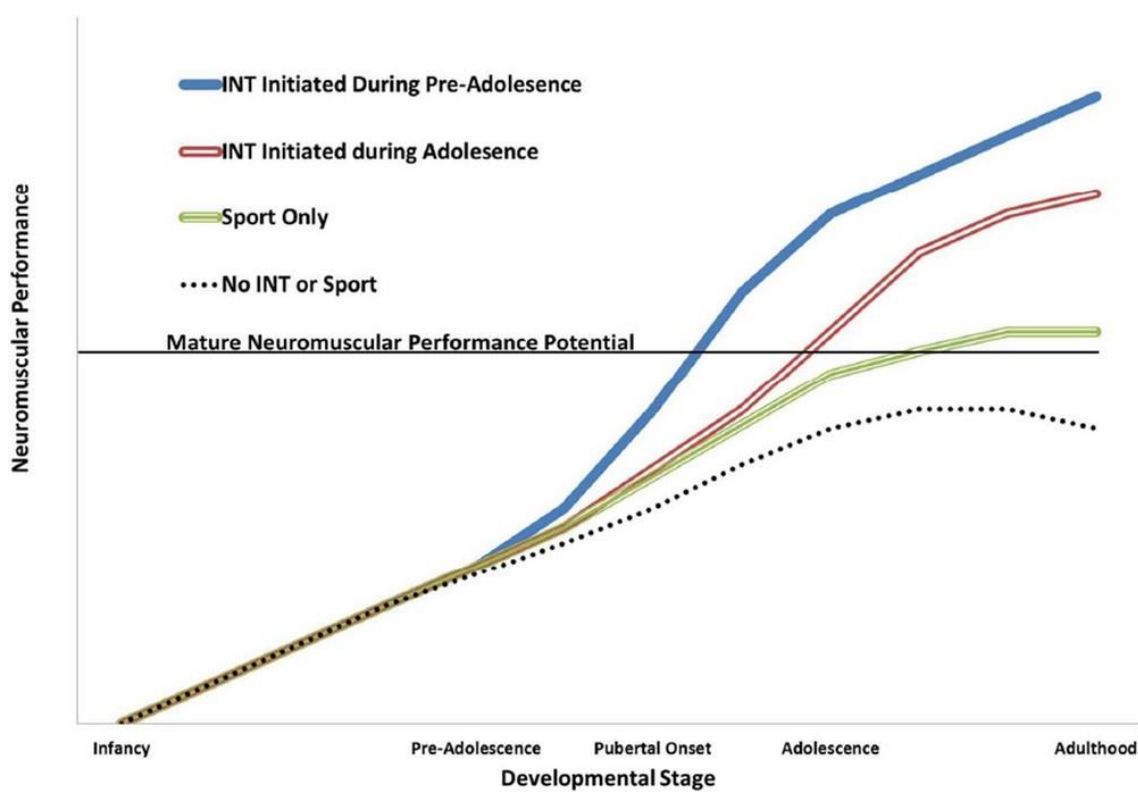
### **Influenza dell'età**

Evidenze dimostrano che gli atleti più giovani hanno risultati migliori dai NMT rispetto agli atleti adulti. In un recente studio, un decremento delle lesioni del Legamento Crociato Anteriore (LCA) sono state documentate negli atleti più giovani che hanno eseguito NMT rispetto agli atleti più anziani che hanno anche eseguito NMT.<sup>48</sup>

Tra gli studi esaminati, due hanno utilizzato programmi di training neuro muscolari NMT identici per i calciatori femminili con età diverse.<sup>23,53</sup>

Un confronto dei risultati di questi due studi dimostra che i giocatori di calcio femminile di 14-18 anni hanno dimostrato una riduzione dell'81% (88% nel primo anno

e 74% nel secondo anno) nell'incidenza di lesioni.<sup>53</sup> Nei giocatori di calcio femminili (età media di 19,9 anni) erano del 70%.<sup>23</sup> È teorizzato che la funzione senso motoria sia più adattabile quando gli individui sono in fase di sviluppo.<sup>74</sup>



1003

**Figura.4** Modello concettuale che confronta gli effetti del neuromuscular training integrativi applicati in tempi diversi nei giovani. Viene rappresentato l'inizio di queste tecniche integrative di formazione durante la pre-adolescenza (blu) e l'adolescenza (rossa) che probabilmente miglioreranno la capacità e le prestazioni motorie. Si suggerisce che la formazione integrativa neuromuscolare avviata in pre-adolescenza e mantenuta in adolescenza massimizzerà il potenziale per ottenere la capacità ottimale acquisita, nell'età adulta. (da: Myer G. Curr Sports Med Rep. 2011; 10(3): 155–16)<sup>20</sup>

Cambiamenti asimmetrici strutturali e posturo-biomeccaniche, variazioni ormonali e decremento della forza sono associati ad un aumento del rischio di lesioni nelle atlete. Queste mutazioni emergono dopo l'inizio della crescita puberale e sembrano coincidere con la prevalenza di picco massimo di incidenza delle lesioni del lca<sup>36,48,72,76</sup> Alcuni studi<sup>31,36,72</sup> dimostrano che la "musculoskeletal growth" durante la pubertà, in assenza del corrispondente adattamento neuromuscolare negli atleti, può facilitare lo sviluppo di fattori di rischio individuali. Questi possono essere, predittivi per lesioni del LCA quali: a) squilibri nel rapporto quadricipite – ischio crurali, b) ipovalidità funzionale dell'anca c) decremento del controllo neuromuscolare del ginocchio.<sup>31,36,72</sup> Differenze tra prestazioni neuromuscolari tra maschi e femmine questi sono state riportate emergere intorno al tempo del "pubertal maturation".<sup>36</sup> L'assenza di controllo neuromuscolare dell'articolazione del ginocchio, può essere causa principale di un aumento del rischio di lesioni negli atleti femminili nella fase post-pubertali. Tuttavia, il motivo per cui gli atleti femminili non hanno la capacità di

mantenere un allineamento posturo – biomeccanico adeguato nella fase di atterraggio dopo un salto resta legato, secondo alcuni autori anche alla stabilità e al controllo neuromuscolare del tronco.<sup>45,48,54,64,71,72,75</sup>

Quatman-Yates<sup>86</sup> sottolinea come il rapporto percentuale tra i muscoli quadricipite e flessori diminuiscono da stadi pre-pubertali a quelli pubertali ( $p < .05$ ).

Quando emerge dalla letteratura può essere interpretato come le probabilità di incorrere in una lesione del LCA erano 1,7 volte più elevate nella tarda adolescenza rispetto agli adolescenti pre- adolescenti (mid-teens).<sup>20, 76,77</sup>

Allo stesso modo, le probabilità di lesioni LCA in giovani adulti (stadio 5 Tanner scale) è stato osservato essere 3,6 volte più elevato rispetto agli adolescenti o pre-adolescenti (mid-teens) dopo neuromuscular training. La letteratura indica che l'efficacia profilassi del NMT è più pronunciata in atleti nella fase pre puberale e puberale.<sup>20,76,77</sup> I risultati di questa revisione indicano che gli atleti che si sottopongono a training di NMTP durante le fasi pre – pubertali e puberali possono essere più efficaci per prevenire lesioni LCA.

### Conclusioni

Le lesioni del Legamento Crociato Anteriore (LCA) sono in continuo aumento sia per i maschi che per le femmine scheletricamente immaturi. E' stato evidenziato recentemente come nelle ragazze e nei ragazzi dai 13 ai 17 anni vi è un incremento assoluto delle ricostruzioni del LCA. Le femmine sono maggiormente rappresentate con un elevata percentuale di rischio. Esaminando attentamente i programmi NMT strutturati come suggerisce la letteratura scientifica sembrano collegarsi con una maggiore riduzione delle lesioni del legamento crociato anteriore. La nostra revisione della letteratura sottolinea l'efficacia della NMT con una riduzione dell'incidenza di una lesione LCA del 72%. In contrapposizione nonostante la larga diffusione nella pratica quotidiana dei training neuromuscolari nello sport, negli adulti, gli infortuni in particolar modo le lesioni al LCA hanno subito un notevole incremento soprattutto nelle re - injury.





*Corrispondenza dell'autore :  
Dr.Rosario D'Onofrio , Email : r.donofrio@alice.it*

1005

## Reference

1. NCYS report on trends and participation in organized youth sports. Book NCYS report on trends and participation in organized youth sports. National Council on Youth Sports Web site; City: 2008.
2. Moksnes H, Grindem H. Prevention and rehabilitation of paediatric anterior cruciate ligament injuries. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2016;24(3):730–736.
3. Mackenzie M. Incidence of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Among Adolescent Females in the United States, 2002 Through 2014 *JAMA Pediatr.* 2017;171(8):808-810.
4. Magnussen RA, Meschbach NT, Kaeding CC, Wright RW, Spindler K. ACL graft and contralateral ACL tear risk within ten years following reconstruction: a systematic review. *JBJS Rev.* 2015;3(1):00052.
5. Del Bel MJ. Effect of limb dominance and sex on neuromuscular activation patterns in athletes under 12 performing unanticipated side-cuts. *J Electromyogr Kinesiol* 2017 Oct;36:65-72
6. Zazulak BT, Hewett TE, Reeves NP, Goldberg B, Cholewicki J. Deficits in neuromuscular control of the trunk predict knee injury risk: a prospective biomechanical-epidemiologic study. *Am J Sports Med.* 2007;35(7):1123–1130.
7. Khayambashi K Hip Muscle Strength Predicts Noncontact Anterior Cruciate Ligament Injury in Male and Female Athletes: A Prospective Study. *Am J Sports Med* 2016 Feb;44(2):355-61. doi: 10.1177/0363546515616237. Epub 2015 Dec 8.
8. Hewett TE, Myer GD, Ford KR, et al. Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury risk in female athletes: a prospective study. *Am J Sports Med.* 2005;33(4):492–501.
9. Holden S, Boreham C, Delahunt E. Sex differences in landing biomechanics and postural stability during adolescence: a systematic review with meta-analyses. *Sports Med.* 2016;46(2):241–253.29.
10. Moksnes H, Grindem H. Prevention and rehabilitation of paediatric anterior cruciate ligament injuries. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2016;24(3):730–736.
11. Lang PJ Prevention, treatment, and rehabilitation of anterior cruciate ligament injuries in children. *Open Access J Sports Med* 2017 Jun 12;8:133-141.
12. Hewett TE, Zazulak BT, Myer GD, Ford KR. A review of electromyographic activation levels, timing differences, and increased anterior cruciate ligament injury incidence in female athletes. *Br J Sports Med.* 2005;39:347-350. –
13. Zazulak BT, Ponce PL, Straub SJ, Medvecky MJ, Avedisian LA, Hewett TE. The effect of gender on hip muscle activity during landing. *J Orthop Sports PhysTher.* 2005;35:292-299.
14. Hodges PW, Richardson CA. Contraction of the abdominal muscles associated with movement of the lower limb. *PhysTher.* 1997;77: 132-144.
15. Hodges PW, Richardson CA. Feedforward contraction of transversus abdominis is not influenced by the direction of arm movement. *Exp Brain Res.* 1997;114:362-370

16. Beckman SM, Buchanan TS. Ankle inversion injury and hypermobility: effect on hip and ankle muscle electromyography onset latency. *Arch Phys Med Rehabil.* 1995;76:1138-1143.
17. Bullock-Saxton JE, Janda V, Bullock MI. The influence of ankle sprain injury on muscle activation during hip extension. *Int J Sports Med.* 1994;15:330-334
18. Sugimoto D, Myer GD, Foss KD, Hewett TE. Dosage effects of neuromuscular training intervention to reduce anterior cruciate ligament injuries in female athletes: meta- and subgroup analyses. *Sports Med.* 2014;44(4):551–562.
19. Sugimoto D, Myer GD, Barber Foss KD, Pepin MJ, Micheli LJ, Hewett T. Critical components of neuromuscular training to reduce ACL injury risk in female athletes: meta-regression analysis. *Br J Sports Med.* 2016;50(20):1259–1266.
20. Myer G. *When to initiate integrative neuromuscular training to reduce sports-related injuries in youth?* *Curr Sports Med Rep.* 2011 ; 10(3): 155–16
21. Reeves NP, Cholewicki J, Milner TE. Muscle reflex classification of low-back pain. *J Electromyogr Kinesiol.* 2005;15:53-60. .
22. Radebold A, Cholewicki J, Panjabi MM, Patel TC. Muscle response pattern to sudden trunk loading in healthy individuals and in patients with chronic low back pain. *Spine.* 2000;25: 947-954
23. Gilchrist J, Mandelbaum BR, Melancon H, Ryan GW, Silvers HJ, Griffin LY, Watanabe DS, Dick RW, Dvorak J: A randomized controller trial to prevent noncontact anterior cruciate ligament injury in female collegiate soccer players. *Am J Sports Med* 2008, 36:1476-1483
24. Griffin LY, Kirkendall DT, Garrett W Jr: Effectiveness of a neuromuscular and proprioceptive training program in preventing anterior cruciate ligament injuries in female athletes. *Am J Sports Med* 2005, 33:1003-1010.
25. Martin Häggglund, Markus Waldén and Isam Atroshi, Preventing knee injuries in adolescent female football players - design of a cluster randomized controlled trial, 2009, *BMC Musculoskeletal Disorders* , (10), 75
26. Sadoghi P, von Keudell A, Vavken P. Effectiveness of anterior cruciate ligament injury prevention training programs. *J Bone Jt Surg Am.* 2012; 94(9):769–776.
27. Gagnier JJ, Morgenstern H, Chess L. Interventions designed to prevent anterior cruciate ligament injuries in adolescents and adults: a systematic review and meta-analysis. *Am J Sports Med.* 2013;41(8): 1952–1962.
28. Sugimoto D, Myer GD, Foss KD, Hewett T. Specific exercise effects of preventive neuromuscular training intervention on anterior cruciate ligament injury risk reduction in young females: meta-analysis and subgroup analysis. *Br J Sports Med.* 2015;49(5):282–289.
29. LaBella CR, Huxford MR, Grissom J, et al. Effect of neuromuscular warm-up on injuries in female soccer and basketball athletes in urban public high schools: cluster randomized controlled trial. *Arch Pediatr Adolesc Med.* 2011; 165:1033–1040. [PubMed: 22065184
30. Myer GD, Brent JL, Ford KR, Hewett TE. A pilot study to determine the effect of trunk and hip focused neuromuscular training on hip and knee isokinetic strength. *Br J Sports Med.* 2008; 42:614–619.

31. Myer GD, Ford KR, Barber Foss KD, Goodman A, Ceasar A, Rauh MJ, Divine JG, Hewett TE. The incidence and potential pathomechanics of patellofemoral pain in female athletes. *Clin Biomech.* 2010;25:700–707
32. Moksnes H Prevention and rehabilitation of paediatric anterior cruciate ligament injuries. *Knee Surg Sport Traumatol Arthrosc* 2016 Mar;24(3):730-6.
33. Myer GD, Ford KR, Brent JL, Hewett TE. The effects of plyometric versus dynamic balance training on power, balance and landing force in female athletes. *J Strength Cond Res.* 2006; 20:345–353.
34. Gallahue, DL.; Ozmun, JC. *Understanding motor development: infants, children, adolescents, adults.* McGraw Hill; Boston: 2006.
35. Lubans DR, Morgan PJ, Cliff DP, Barnett LM, Okely AD. Fundamental movement skills in children and adolescents: review of associated health benefits. *Sports Med.* 2010; 40:1019–1035. [PubMed: 21058749]
36. Ford KR, Shapiro R, Myer GD, Van Den Bogert AJ, Hewett TE Longitudinal sex differences during landing in knee abduction in young athletes. *Med Sci Sports Exerc.* 2010 Oct; 42(10):1923-31.
37. Hewett TE, Stroupe AL, Nance TA, Noyes FR. Plyometric training in female athletes. Decreased impact forces and increased hamstring torques. *Am. J. Sports Med.* 1996; 24:765–773. [PubMed:8947398]
38. Myer GD, Ford KR, Brent JL, Hewett TE. Differential neuromuscular training effects on ACL injury risk factors in “high-risk” versus “low-risk” athletes. *BMC Musculoskelet Disord.* 2007;8:1–7. [PubMed: 17204151]
39. Myer GD, Ford KR, Palumbo JP, Hewett TE. Neuromuscular training improves performance and lower-extremity biomechanics in female athletes. *J Strength Cond Res.* 2005; 19:51–60. [PubMed: 15705045]
40. Rosengren KS, Geert JP, SavelsberghK. Development and learning: a TASC-based perspective of the acquisition of perceptual-motor behaviors. *Infant Behavior and Development.* 2003; 26:473–494.
41. Hands B. Changes in motor skill and fitness measures among children with high and low motor competence: a five-year longitudinal study. *J Sci Med Sport.* 2008; 11:155–162. [PubMed: 17567536]
42. Dempsey AR, Lloyd DG, Elliott BC, et al The effect of technique change on knee loads during sidestep cutting. *Med Sci Sports Exerc*2007;39:1765–73.
43. Vescovi JD, Canavan PK, Hasson S Effects of a plyometric program on vertical landing force and jumping performance in college women. *Phys Ther Sport* 2008;9:185–92.
44. Amis AA, Dawkins GP Functional anatomy of the anterior cruciate ligament. Fibre bundle actions related to ligament replacements and injuries. *J Bone Joint Surg Br* 1991;73:260–7.
45. Lim BO, Lee YS, Kim JG, et al Effects of sports injury prevention training on the biomechanical risk factors of anterior cruciate ligament injury in high school female basketball players. *Am J Sports Med*2009;37:1728–34

46. De Marche Baldon R, Lobato DF, Carvalho LP, et al Effect of functional stabilization training on lower limb biomechanics in women. *Med Sci Sports Exerc*2012;44:59–65
47. Morgan KD, Donnelly CJ, Reinbolt J Elevated gastrocnemius forces compensate for decreased hamstrings forces during the weight-acceptance phase of single-leg jump landing: implications for anterior cruciate ligament injury risk. *J Biomech*2014;47:3295–302
48. Myer GD, Sugimoto D, Thomas S, Hewett T. The influence of age on the effectiveness of neuromuscular training to reduce anterior cruciate ligament injury in female athletes: a meta-analysis. *Am J Sports Med.* 2013;41(1):203–215
49. Hootman JM, Dick R, Agel J. Epidemiology of collegiate injuries for 15 sports: summary and recommendations for injury prevention initiatives. *J Athl Train.* 2007 Apr-Jun;42:311–319. [PubMed: 17710181]
50. Hewett TE, Lindenfeld TN, Riccobene JV, et al. The effect of neuromuscular training on the incidence of knee injury in female athletes. A prospective study. *Am J Sports Med.* 1999; 27:699– 706. [PubMed: 10569353]
51. Kiani A, Hellquist E, Ahlqvist K, et al. Prevention of soccer-related knee injuries in teenaged girls. *Arch Intern Med.* 2010 Jan 11.170:43–49. [PubMed: 20065198]
52. Griffin LY, Albohm MJ, Arendt EA, et al. Understanding and preventing noncontact anterior cruciate ligament injuries: a review of the Hunt Valley II meeting, January 2005. *Am J Sports Med.* 2006; 34:1512–1532. [PubMed: 16905673]
53. Mandelbaum BR, Silvers HJ, Watanabe DS, et al. Effectiveness of a neuromuscular and proprioceptive training program in preventing anterior cruciate ligament injuries in female Athletes: 2-year follow-up. *Am J Sports Med.* 2005; 33:1003–1010. [PubMed: 15888716]
54. Soderman K, Werner S, Pietila T, et al. Balance board training: prevention of traumatic injuries of the lower extremities in female soccer players? A prospective randomized intervention study. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy: official journal of the ESSKA.* 2000; 8:356–363.
55. Myklebust G, Engebretsen L, Braekken IH, et al. Prevention of anterior cruciate ligament injuries in female team handball players: a prospective intervention study over three seasons. *Clin J Sport Med.* 2003; 13:71–78. [PubMed: 12629423]
56. Steffen K, Myklebust G, Olsen OE, et al. Preventing injuries in female youth football--a cluster randomized controlled trial. *Scand J Med & Sci in Sports.* 2008; 18:605–614. [PubMed: 18208428]
57. Dodwell ER, Lamont LE, Green DW, Pan TJ, Marx RG, Lyman S 20 years of pediatric anterior cruciate ligament reconstruction in New York State. *Am J Sports Med.* 2014 Mar; 42(3):675-80.
58. Shea KG, Grimm NL, Ewing CK, Aoki SK Youth sports anterior cruciate ligament and knee injury epidemiology: who is getting injured? In what sports? When? *Clin Sports Med.* 2011 Oct; 30(4):691-706.
59. Werner BC, Yang S, Looney AM, Gwathmey FW Jr Trends in Pediatric and Adolescent Anterior Cruciate Ligament Injury and Reconstruction *J Pediatr Orthop.* 2016 Jul-Aug; 36(5):447-52
60. Arbes S, Resinger C, Vécsei V, Nau T The functional outcome of total tears of the anterior cruciate ligament (ACL) in the skeletally immature patient. *Int Orthop.* 2007 Aug; 31(4):471-5.
61. Beck NA, Lawrence JTR ACL Tears in School-Aged Children and Adolescents Over 20 Years. *Pediatrics* 2017 Mar;139(3). pii: e20161877. doi: 10.1542/peds.2016-1877.

62. Shaw L. Trends in Pediatric and Adolescent Anterior Cruciate Ligament Injuries in Victoria, Australia 2005–2015 *Int Environ Res Public Health* 2017 Jun 14 (6) :599 .
63. Dodwell ER , Lamont LE 20 years of pediatric anterior cruciate ligament reconstruction in New York State. *Am J Sports Med* 2014 Mar;42(3):675-80.
64. Werner BC Trends in Pediatric and Adolescent Anterior Cruciate Ligament Injury and Reconstruction. *J PediatrOrthop*2016 Jul-Aug;36(5):447-52.
65. Yoo JH, Lim BO, Ha M, et al. A meta-analysis of the effect of neuromuscular training on the prevention of the anterior cruciate ligament injury in female athletes. *Knee Surg Sports Traumatol Arthr.* 2010; 18:824–830.
66. Lopes VP, Rodrigues LP, Maia JA, Malina RM Scand Motor coordination as predictor of physical activity in childhood *J Med Sci Sports.* 2011 Oct; 21(5):663-9
67. Hands B Changes in motor skill and fitness measures among children with high and low motor competence: a five-year longitudinal study.,*J Sci Med Sport.* 2008 Apr; 11(2):155
68. Ploughman M. D Exercise is brain food: the effects of physical activity on cognitive function. *ev Neuro rehabil.* 2008 Jul; 11(3):236-40.
69. Lloyd DG, Buchanan TSJ Strategies of muscular support of varus and valgus isometric load sat the human knee. *Biomech.* 2001 Oct; 34(10):1257-67.
70. Tibone JE, Antich TJ, Fanton GS, Moynes DR, Perry Functional analysis of anterior cruciate ligament instability. *J Am J Sports Med.* 1986 Jul-Aug; 14(4):276-84.
71. Brent JL, Myer GD, Ford KR, Hewett TE. A Longitudinal Examination of Hip Abduction Strength in Adolescent Males and Females. *Am. J. Sports Med.* 2011 Under Review.
72. Hewett TE, Myer GD, Ford KR Decrease in neuromuscular control about the knee with maturation in female athletes. *J Bone Joint Surg Am.* 2004 Aug; 86-A(8):1601-8.
73. Faigenbaum AD Resistance training among young athletes: safety, efficacy and injury prevention effects *br. J. Sports Med* 2010 Jan 44 (1): 56 – 63
74. Morrison S, Sosnoff JJ. Age-related changes in the adaptability of neuromuscular output. *Journal of motor behavior.* May; 2009 41(3):274–283. [PubMed: 19366659]
75. Hewett TE, Myer GD. The mechanistic connection between the trunk, hip, knee, and anterior cruciate ligament injury. *Exerc Sport Sci Rev.* 2011; 39:161–166.
76. Myer GD, Faigenbaum AD, Chu DA, et al. Integrative training for children and adolescents: techniques and practices for reducing sports-related injuries and enhancing athletic performance. *Phys Sports med.* 2011; 39:74–84. [PubMed: 21378489]
77. Myer GD, Ford KR, Divine JG, Wall EJ, Kahanov L, Hewett TE. Longitudinal assessment of noncontact anterior cruciate ligament injury risk factors during maturation in a female athlete: a case report. *J Athl Train.* 2009; 44:101–109.
78. Clanton, T.; DeLee, J.; Sanders, B.; Neidre, A. Knee ligament injuries in children. *J. Bone Jt. Surg.* 1979, 61, 1195–1201.
79. Chipkevitch E Clinical assessment of sexual maturation in adolescents *J Pediatr (Rio J)* 2001; 77 (Supl. 2): S135-S142

80. Dekker TJ Return to Sport After Pediatric Anterior Cruciate Ligament Reconstruction and Its Effect on Subsequent Anterior Cruciate Ligament Injury. *J Bone Joint Surg. Am* Jun 7;99(11):897-904. 2017
81. Vikas Trivedi Pediatric ACL Injuries: A Review of Current Concepts *The Open Orthopaedics Journal*, 2017, Volume 11 379
82. Elliot M. Greenberg Rehabilitation considerations for all epiphyseal ACL Reconstruction *Int J Sports Phys Ther.* 2012 Apr; 7(2): 185–196.
83. Hewett T, Understanding and preventing ACL Injuries: Current Biomechanical and Epidemiologic Consideration - Update 2010 *N Am J Sports Phys Ther.* 2010 Dec; 5(4): 234–251.
84. R. D’Onofrio, P. Tamburrino, G. Papa, G. Rando, A. Tucciarone, V. Manzi, A. Pintus, A. Bovenzi, L. Febbrari, J. Van de Rakt ; Meccaniche posturali del Lumbo-Pelvic-Hip Complex in atleti con Low Back Pain. Implicazioni per un corretto approccio riabilitativo – funzionale. *Ita J Sports Reh Po* 2018; 5 ; 1 814 – 840 ISSN 2385-1988 [online] IBSN 007-111-19-55 CGIJ OAJI :0,101
85. Renstrom P, Ljungqvist A, Arendt E, et al. Non-contact ACL injuries in female athletes: an International Olympic Committee current concepts statement. *Br J Sports Med.* 2008;42(6):394–412 )
86. Quatman-Yates C.A. Longitudinal Evaluation of Maturational Effects on Lower Extremity Strength in Female Adolescent Athletes *Pediatr PhysTher* 2013 Fall; 25(3): 271–276.
87. Dei Giudici L. Arthroscopic transphyseal anterior cruciate ligament reconstruction in adolescent athletes *Journal of Orthopaedic Surgery* 2016;24(3):307-11
88. Peterson D.C. Pediatric anterior cruciate ligament reconstruction outcomes *Curr Rev Musculoskelet Med* (2016) 9:339–347.







# **Ita. J. Sports Reh. Po.**

Italian Journal of  
Sports Rehabilitation and Posturology

