

RITORNO ALLO SPORT DOPO ROTTURA DEL LEGAMENTO CROCIATO ANTERIORE: PUNTI CRITICI DI VALUTAZIONE

A. ORSINI¹, F. ROGNINI²

¹Preparatore Atletico Centro di Medicina Riabilitativa Sport and Anatomy, Università di Pisa,

²Preparatore Atletico Professionista (FIGC) – Dottore in Scienze Motorie, Università di Pisa

RIASSUNTO

“Quando posso tornare a giocare?”

Il ritorno allo sport dopo ricostruzione del legamento crociato anteriore (ACLR) rimane, ancora oggi, un dibattito decisionale clinico/riabilitativo difficile e non strutturato su valutazioni condivise ed omogenee che coinvolge molti professionisti.

Le evidenze scientifiche sono componenti fondamentali per l’ottimizzazione dell’intero processo riabilitativo ma soprattutto per identificare una continuità assistenziale che presuppone obiettivi chiari e strategie cliniche/riabilitative per una somministrazione ottimale del “*Training Load* Riabilitativo”.

Sebbene non si possa garantire che un infortunio non si ripeta quando l’atleta ritorna allo sport, ci sono diversi fattori che se presi in considerazione possono aiutare a capire l’entità del rischio di tornare a giocare.

Parole chiave: LCA · Ritorno allo Sport · Test · Infortunio

ABSTRACT

“When can I go back to playing?”

The return to sport after reconstruction of the anterior cruciate ligament (ACLR) remains, even today, a difficult and unstructured clinical/rehabilitative decision-making debate on shared and homogeneous evaluations involving many professionals.

Scientific evidence is fundamental components for optimizing the entire rehabilitation process but above all for identifying a continuity of care that requires clear objectives and clinical/rehabilitation strategies for optimal administration of the “Rehabilitation Training Load”.

Although there is no guarantee that an injury will not recur when the athlete returns to sport, there are several factors that, if taken into consideration, can help to understand the extent of the risk of returning to play.

Key words: ACL · Return to Sport · Test · Injury

Dopo la ricostruzione del legamento crociato anteriore (LCA), c’è una mancanza di consenso scientifico sui criteri usati per il ritorno allo sport (RTS) senza restrizioni [1]. Gli attuali criteri sembrano non essere abbastanza specifici o sensibili per determinare quando un paziente è davvero pronto per il ritorno in campo, in particolare ad un livello accettabile di rischio di lesioni e prestazioni.

I test e i parametri utilizzati per valutare il ritorno in campo sono quindi per lo più basati su opinioni soggettive. Ciò solleva la questione se gli attuali test RTS siano abbastanza sensibili da eludere differenze clinicamente rilevanti [2, 3].

Secondo una revisione con meta-analisi di Wiggins et al. [4] gli autori hanno mostrato un allarmante rischio del 7% di recidiva omolaterale e dell’8% dell’arto controlaterale. Questo rischio totale del 15% aumenta al 23% per gli atleti con meno di 25 anni; per questo sottogruppo il rischio di recidiva omolaterale e controlaterale è rispettivamente del 10% e 13%. Rispetto agli adolescenti che non hanno subito infortunio, un giovane atleta che torna allo sport dopo ACLR può avere un rischio da 30 a 40 volte maggiore di lesione ACL. Il 35–45% dei pazienti sottoposti a ACLR non fa ritorno allo sport [5,6]. Anche negli ambienti spor-

tivi d'élite, in genere il 20-25% degli atleti non è in grado di RTS dopo ACLR [7,8].

Di recente un lavoro molto interessante di Arden CL [9] pubblicato su Br. J. Sports Med. ha esaminato 69 articoli, presenti in letteratura, per un totale di 7.556 persone osservate. Viene evidenziato, in questa sistematica *review* e meta-analisi [9], come:

- a) l'81% circa dei pazienti ritorna a fare attività sportiva dopo la chirurgia ricostruttiva;
- b) il 55% ritorna allo sport agonistico;
- c) il 65% ritorna al loro livello di performance pre-lesione.

Prendiamo in considerazione alcuni dei criteri più utilizzati per il RTS dopo ACLR.

TEMPO DI RECUPERO

Il tempo, dopo la ricostruzione del legamento crociato anteriore, è il criterio più utilizzato per valutare la prontezza per il ritorno allo sport [10]. Questo è stato l'unico criterio utilizzato per gli atleti nel processo decisionale di ritorno all'attività sportiva negli studi pubblicati tra il 1986 e il 1989. Dal 1990, il tempo dopo ACLR ha rappresentato circa il 50% dei criteri RTS totali riportati in letteratura [11] (Figura 1).

Sebbene questa tempistica sia altamente variabile (da 12 settimane a 12 mesi), la maggior parte degli studi ha tradizionalmente permesso l'RTS dopo 6 mesi [10] anche se la letteratura pubblicata di recente ha stabilito che il RTS potrebbe essere più lento del previsto e che i risultati migliori si ottengono dopo 9 mesi dalla ricostruzione [12,13]. Il rischio di sostenere una seconda lesione ACL è maggiore durante il primo periodo dopo RTS (6-12 mesi) [12,13,14-17]. Grindem e colleghi [12] hanno recentemente riportato una riduzione del 50% del rischio di lesioni al ginocchio (tutte le lesioni, non solo ACL) per ogni mese che RTS è in ritardo oltre i 6 mesi.

Non esiste consenso sulla tempistica ideale per RTS dopo ACLR, ma l'attuale dogma clinico è che l'RTS non dovrebbe essere consentito entro 6 mesi dalla ricostruzione [18,19]. Un fattore che è spesso considerato contribuire ad un aumento del rischio di rottura del trapianto di ACL, è il RTS prematuro senza seguire e soddisfare specifici criteri.

Dobbiamo tener presente però che il tempo dopo l'ACLR non è associato alle misure di esito funzionale e pertanto dovrebbero essere sviluppate valutazioni basate su criteri integrati.

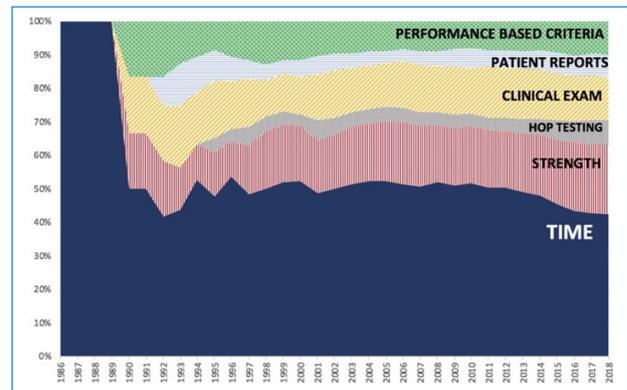


Fig. 1 - Utilizzo del tempo di recupero come criterio RTS dopo ACLR.

FORZA

La maggior parte degli studi misura il picco di forza e/o il lavoro totale dei muscoli flessori e dei muscoli estensori con strumentazione isocinetica o isometrica per valutare la forza muscolare dopo ACLR, anche se esiste un dibattito sulle misure di *outcome* più ottimali e la rilevanza funzionale di questa metodica svolta in una situazione a catena cinetica aperta [20].

Kyritsis et al. [14] hanno mostrato un rischio maggiore di 10,6 volte di reinfortunio di ACL dopo ACLR per ogni diminuzione del 10% nel rapporto flessori/estensori della gamba coinvolta.

La maggior parte degli studi si è concentrata esclusivamente sulla valutazione della forza muscolare del quadricipite dopo ACLR, sebbene una revisione sistematica di Petersen et al. [21] ha anche rilevato deficit nella forza dei muscoli dell'anca. Uno studio prospettico di Khayambashi et al. [22] ha riportato che un rotatore esterno e un abductore dell'anca debole hanno aumentato il rischio di lesioni ACL primarie senza contatto.

Il deficit accettabile sulla forza muscolare prima di tornare allo sport, come descritto da diversi autori, varia da studio a studio, ma va dal 10% al 35% [23,24,25-28]. Fuller [32] ha suggerito che l'atleta prima di tornare all'allenamento in team avrebbe dovuto recuperare almeno il 90% della forza muscolare. Hartigan et al. [30] ha richiesto

il 90% o più della forza del quadricipite prima di tornare allo sport. Van Grinsven et al.[31] ha accettato un deficit del rapporto flessori e estensori del 15% o meno per i loro pazienti prima di consentire loro di tornare alle attività sportive. La letteratura riporta che questi deficit continuano ad esistere anche dopo che gli individui tornano allo sport [32,33-35] ed è ancora più prolungato per quegli individui che hanno avuto un innesto con tendine rotuleo (BPTB) per la loro ricostruzione poiché i deficit nella forza del quadricipite sono più alti rispetto a coloro che avevano un innesto con semitendinoso e gracile [36].

Tipicamente, c'è una dipendenza eccessiva dalla forza muscolare massima dopo ACLR, con una considerazione limitata della capacità di sviluppare la forza in modo esplosivo [37].

La rapida stabilizzazione (<50 ms) delle articolazioni a seguito di perturbazioni meccaniche per prevenire lesioni [38] o attività atletiche esplosive come lo sprint running (100-120 ms) [39], comportano tempi di contrazione più brevi del tempo impiegato per produrre la massima forza volontaria isometrica, che è tipicamente nell'ordine di 300 ms [40]. Pertanto, la capacità di produrre forza durante attività sportive rapide può dipendere più dalla capacità di aumentare rapidamente la forza da bassi livelli, definita velocità di sviluppo della forza (RFD), che dalla massima forza muscolare. Pertanto, la RFD sembra essere un aspetto importante della funzione neuromuscolare e può richiedere un'ulteriore considerazione nei programmi di riabilitazione in fase avanzata [37]. La valutazione specifica della RFD dovrebbe essere inclusa nel percorso di recupero funzionale per supportare la progressione basata su criteri ottimali e il processo decisionale RTS. Poiché non vi sono raccomandazioni pubblicate per la valutazione della RFD dopo ACLR, si consiglia di avere un minimo del 90% di differenza rispetto al controlaterale, in linea con la ricerca sui test della forza muscolare massima [3].

Angelozzi et al. [41] hanno riportato casi di RFD del 30% a 6 mesi dopo ACLR nonostante il pieno ripristino della massima forza concentrica dell'estensore del ginocchio (97%). La RFD è stata ripristinata solo dopo 12 mesi a seguito di un programma specifico e gli autori hanno suggerito che la RFD potrebbe essere una misura aggiuntiva utile per determinare la prontezza all'RTS dopo un infortunio ACL.

TEST DI SALTO

Noyes et al. [42] hanno sviluppato un set di quattro prove di salto:

- a) *single-leg hop*;
- b) *triple hop*;
- c) *crossover hop*;
- d) *timed 6 m hop*.

Questi test (Figura 2), frequentemente utilizzati in letteratura per valutare le prestazioni "funzionali", sono diventati la base (oltre ai test isocinetici) di una batteria di test RTS [43,44,14,45,46,47]. L'adozione di questi test è probabilmente dovuta in parte alla loro utilità pratica e facilità di utilizzo. Le decisioni oggettive possono essere prese confrontando direttamente la gamba lesa con quella sana, creando un indice di simmetria degli arti (LSI). Punteggi superiori al 90% di LSI sono stati suggeriti come criterio clinico per "superare" e successivamente completare la riabilitazione [48,49]. Uno studio recente ha dimostrato che a 6 mesi dall'intervento ciascuno dei 4 test di salto poteva prevedere il ritorno ai livelli precedenti di sport dopo 2 anni [50] e che i pazienti con *single-leg hop* (SHD) e *triple hop* (THD) con punteggi superiori all'85% di LSI, al momento dell'RTS avevano maggiori probabilità di ritornare ai livelli precedenti [31]. In particolare, il *6 timed hop* (T6H) e il SHD hanno dimostrato di essere i predittori più forti per coloro che hanno maggiori probabilità di RTS [50,5,51].

Un limite di questa batteria di test è che consiste principalmente di movimenti rettilinei sul piano sagittale, con conseguente potenziale deficit di prestazioni funzionali clinicamente rilevanti in quanto durante le attività sportive, un atleta deve spostarsi in più direzioni.

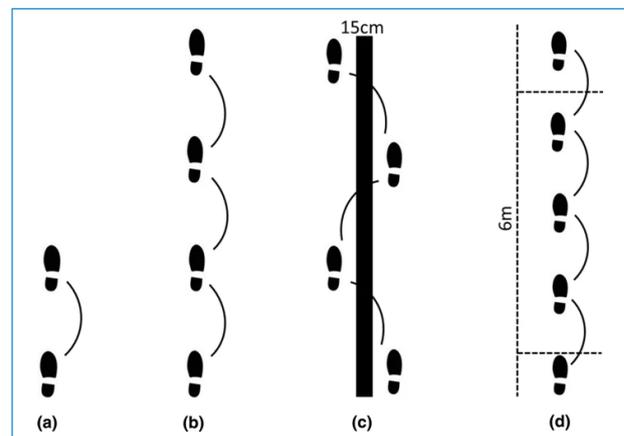


Fig. 2 - Hop Tests.

Sebbene i risultati dei test possano suggerire che sia stata raggiunta una simmetria accettabile tra gli arti, non tengono però conto delle informazioni su come il compito viene eseguito in termini di qualità del movimento. Il risultato quantitativo da solo potrebbe non essere sufficiente. Infatti, come dimostrato da Paterno et al. [52], uno scarso o anormale controllo neuromuscolare degli arti inferiori durante un atterraggio verticale può essere predittivo di una nuova lesione ACL; in particolare, un aumento del valgo del ginocchio ed un momento di abduzione del ginocchio sul piano frontale (Figura 3).

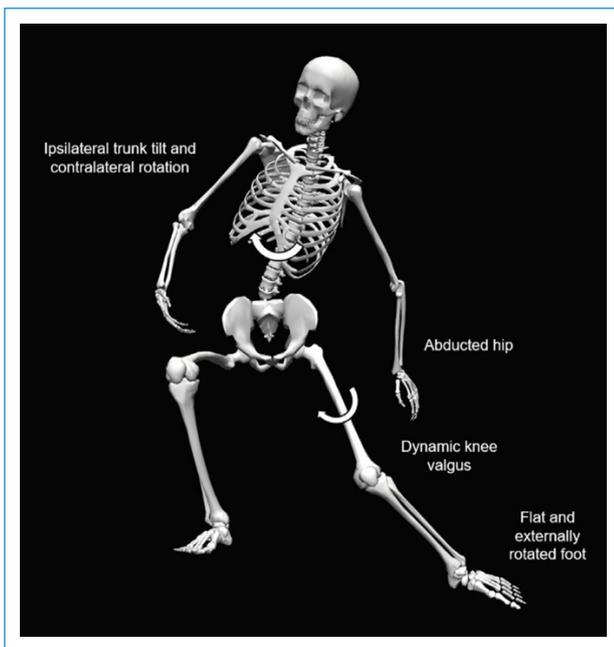


Fig. 3 - Anormale controllo neuromuscolare degli arti inferiori.

INFLUENZA DELL'AMBIENTE DURANTE I TEST

Durante l'attività l'atleta percepisce l'ambiente come mutevole, imprevedibile e deve elaborare rapidamente questi segnali visivi e spaziali specifici della situazione all'interno del sistema nervoso centrale (SNC) per sviluppare una risposta fisica appropriata mantenendo al contempo la stabilità dinamica del corpo. Questi segnali influenzano pertanto la cinematica di tutto il corpo e di conseguenza il carico sul ginocchio, come dimostrato dagli studi di Brown SR et al. & Almonroeder TG et al. [53,54].

Pertanto, si potrebbe sostenere che gli ambienti dovrebbero essere il più possibile realistici e specifici del contesto quando si valuta la capacità di RTS. Questo può essere stabilito includendo vincoli temporali, distrazione o occlusione del sistema visivo, aumentando il livello di incertezza del compito, eseguendo due compiti, o includendo fatica, fattori di stress psicologico, processo decisionale o combinazioni di questi fattori.

Tuttavia, la maggior parte dei test RTS dinamici attualmente utilizzati vengono eseguiti in un ambiente prevedibile, fisso o "chiuso". Questo può ridurre la capacità di trasferire i modelli appresi verso ambienti aperti tridimensionali altamente imprevedibili incontrati durante le attività atletiche.

Inoltre, la maggior parte degli atleti ha familiarità con i test poiché gli stessi compiti di movimento vengono spesso eseguiti e appresi durante la riabilitazione. Di conseguenza, un atleta può essere consapevole dei criteri per eseguire questi test con una qualità di movimento "ottimale", che può portare a situazioni in cui i medici valutano piuttosto un comportamento di movimento dell'atleta consapevole, internamente focalizzato e appreso invece della dinamica capacità di un atleta che sono legate a situazioni di gioco reali.

Una lesione ACL dovrebbe essere considerata come una lesione neurofisiologica, e non come patologia muscolo-scheletrica "semplice" con solo disfunzioni meccaniche o motorie locali [55,56]. Il sistema nervoso centrale, se non adeguatamente sollecitato durante il percorso riabilitativo, al momento del RTS può essere sovraccaricato portando ad una momentanea perdita di orientamento visivo-spaziale e diminuzione della stabilità dinamica dell'articolazione, con un potenziale aumento del rischio di lesioni secondarie da ACL [57,58].

FATICA E TRAINING LOAD

I test RTS vengono per lo più eseguiti in uno stato non affaticato. Tuttavia, la fatica può avere effetti dannosi su più variabili biomeccaniche e neuromuscolari durante i test che sono attualmente utilizzati per valutare la prontezza RTS negli atleti ACLR [60-64]. In uno studio di Augustsson et al. [59], tutti i pazienti ACLR hanno soddisfatto i cri-

teri RTS in uno stato non affaticato, mentre il 68% ha mostrato un LSI anormale quando affaticato. Inoltre, l'influenza della fatica sulla biomeccanica degli arti inferiori è ancora di più pronunciata durante atterraggi imprevisi, enfatizzando ulteriormente il ruolo interattivo della fatica e del processo decisionale dopo ACLR [64].

Sulla base della letteratura attuale, si può sostenere che testare gli atleti in uno stato affaticato può aumentare la capacità di rilevare deficit clinicamente rilevanti [65].

Sebbene la ricerca sia equivoca [66,67], l'affaticamento acuto simulato sperimentalmente ha comportato una riduzione della funzione neuromuscolare e un'alterata qualità dei movimenti [68,60,61,62,63,80,81], alcuni dei quali sono considerati "movimenti a rischio ACL" [64,69,70,71]. Inoltre, si traduce in un declino della capacità di generazione di forza dei muscoli, preferibilmente influenza la RFD rispetto alla forza massima [72] e può influenzare le prestazioni tecniche e la capacità decisionale [73].

È stato dimostrato che il condizionamento neuromuscolare, mentre si è affaticati, protegge contro il declino della forza [74].

Infine, l'affaticamento cumulativo nel corso di più sessioni di allenamento o partite potrebbe aumentare il rischio di infortunio degli atleti [75]. Pertanto, la gestione del carico dei giocatori e la riduzione al minimo dell'esposizione a carichi elevati sostenuti appare importante per la prevenzione degli infortuni. In una vasta gamma di sport, gli atleti con qualità fisiche superiori sono più resistenti alle lesioni [76-78]. Raggiungere e mantenere un carico ottimale durante il processo riabilitativo rimane un'importante considerazione clinica atta a decrementare i fattori di rischio di nuove lesioni [82]. Monitorare il carico di allenamento durante la settimana (carico acuto) contro la media delle precedenti quattro settimane di allenamento (carico cronico) fornisce un rapporto del carico di lavoro acuto/cronico [83]. Gli atleti più forti sono in grado di tollerare un carico acuto: cronico (ACWR) elevato [78,79], sottolineando l'importanza di sviluppare la fisicità dei giocatori per rafforzare la resistenza alla fatica. Inoltre, esporre i giocatori alla fatica durante il periodo di riabilitazione può anche prepararli meglio a tollerare le eccessive richieste di allenamento e limitare la perdita di forza associata all'attività sportiva su RTS [74].

L'ATLETA HA RIPRISTINATO IL PROPRIO PROFILO DI FITNESS SPECIFICO PER LO SPORT?

Una parte fondamentale dell'allenamento RTS è preparare gli atleti alle esigenze specifiche del loro sport. Si ritiene che ciò faciliti l'RTS ottimale, riduca il rischio di infortuni e migliori le prestazioni. Tuttavia, spesso manca l'attenzione per l'allenamento di fitness specifico per lo sport e per accertare se un atleta ha ripristinato sufficientemente il proprio profilo fitness specifico per lo sport.

Gli atleti devono avere un profilo fisico sufficiente per poter far fronte alle esigenze di allenamento e match play, oltre che eccellere nei loro sport.

In ambito calcistico gli sforzi più decisivi che portano a risultati / azioni importanti sono di natura anaerobica e spesso comportano cambi di direzione [84]. Pertanto, il ripristino dell'accelerazione esplosiva, della decelerazione e del cambio di direzione sembra un elemento essenziale dell'allenamento RTS.

Durante la partita, i giocatori registrano in genere una frequenza cardiaca media e di picco dell'85% e del 98%, rispettivamente [85]. Ciò rappresenta una media di circa il 70% della capacità aerobica massima (VO_2 max). Pertanto, i giocatori devono sviluppare un'ottima capacità cardiovascolare aerobica e anaerobica, in particolare la capacità di lavorare per periodi di tempo più lunghi a frequenze cardiache elevate, per competere senza gli effetti negativi dell'affaticamento. Ricerche recenti indicano che i calciatori non riescono a ripristinare completamente la loro forma aerobica (misurata come VO_2 max) 6 mesi dopo ACLR [86], indicando una maggiore necessità di stabilire le priorità e programmare il condizionamento cardiovascolare durante il periodo di recupero funzionale.

In sintesi, gli atleti devono essere fisicamente idonei a far fronte alle esigenze di allenamento e competizione. È importante disporre di un programma di ricondizionamento specifico per lo sport e garantire che un atleta abbia raggiunto il profilo fisico richiesto. Questo dipenderà dallo sport, dal sesso, dalla posizione, dallo standard di gioco e dal profilo sportivo del giocatore.

LA PRONTEZZA PSICOLOGICA

Negli ultimi anni, è diventato chiaro che il recupero fisico da solo non è sufficiente per garantire un RTS di successo [6]. Molti atleti con una buona funzione fisica non ritornano all'attività sportiva dopo ACLR [87], e l'importanza dei fattori psicologici è sempre più riconosciuta in letteratura [6,88].

Una recente revisione di fattori concomitanti che interessano RTS dopo ACLR ha rilevato che una minore paura di reinfortunio, una maggiore preparazione psicologica e una valutazione soggettiva più positiva della funzione del ginocchio hanno favorito il ritorno all'attività sportiva [6].

Sonesson et al. [89] hanno riscontrato che una maggiore motivazione durante la riabilitazione era associata al ritorno all'attività sportiva pre-lesione. Un altro studio ha mostrato che i pazienti che erano tornati a praticare attività fisica intensa dopo ACLR hanno riportato una maggiore prontezza, valutata con la scala di auto-efficacia del ginocchio (K-SES) [90], rispetto a coloro che non erano ritornati all'attività [91].

La scala ACL-Ritorno allo sport dopo l'infortunio (ACL-RSI) è stata sviluppata per valutare la prontezza psicologica dell'atleta a RTS [92]. Questo questionario di 12 voci valuta le emozioni, la fiducia e le valutazioni del rischio associate al ritorno allo sport dopo ACLR e ha dimostrato di discriminare tra gli atleti che sono tornati a praticare sport dopo ACLR e quelli che non l'hanno fatto [93]. A 4 mesi dopo l'ACLR, un punteggio limite ACL-RSI di 56 punti prevedeva RTS a 12 mesi, con una sensibilità del 58% e una specificità dell'83% [93].

Tuttavia, i fattori psicologici non vengono valutati sistematicamente durante la riabilitazione [94]. È stato proposto un cambio di paradigma dalla tradizionale valutazione RTS focalizzata sull'aspetto fisico verso un approccio più olistico in cui anche i fattori psicologici sono valutati in modo completo [94]. La valutazione e il riconoscimento precoce delle risposte psicologiche disfunzionali durante la riabilitazione possono consentire al medico di affrontare questi deficit modificabili con interventi mirati prima di RTS.

CONCLUSIONI

Non essendo presente un Consensus scientifico sul Ritorno allo Sport (RTS) dopo ricostruzione del legamento crociato anteriore, i criteri per il rientro all'attività sportiva presentano parametri non omogenei e spesso strutturati su valutazioni soggettive. La mancanza di una chiara terminologia condivisa accentua il disagio programmatico clinico/riabilitativo finalizzato al ritorno allo sport. La natura multifattoriale dell'RTS suggerisce l'utilizzo di una batteria di test piuttosto che un singolo test in isolamento, in quanto questo non sarebbe in grado di fornire informazioni sufficienti [95]. A conferma di questo riportiamo alcune raccomandazioni per guidare la scelta dei test RTS [96]:

1. Utilizzare una batteria di test;
2. Scegliere, dove possibile, attività non programmate rispetto ad attività programmate: quindi includere test con elementi decisionali reattivi;
3. Valutare la prontezza psicologica per tornare allo sport;
4. Monitorare il carico di lavoro interno ed esterno.

Con questo articolo abbiamo voluto fare chiarezza su alcuni punti critici di valutazione che dovrebbero essere presi in considerazione all'interno del processo decisionale relativo al ritorno allo sport dopo ricostruzione del LCA.

BIBLIOGRAFIA

1. Czuppon S., Racette B.A., Klein S.E., et al., *Variables associated with return to sport following anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review*, Br J Sports Med. 2014; 48(5): 356-364.
2. Feller J., Webster K.E., *Return to sport following anterior cruciate ligament reconstruction*, Int Orthop. 2013; 37(2): 285-290.
3. Thomee R., Kaplan Y., Kvist J., et al., *Muscle strength and hop performance criteria prior to return to sports after ACL reconstruction*, Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2011; 19(11): 1798-1805.
4. Wiggins A.J., Grandhi R.K., Schneider D.K., Stanfield D., Webster K.E., Myer G.D., *Risk of Secondary Injury in Younger Athletes After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review and Meta-analysis*, Am J Sports Med. 2016 Jan; 44(7): 1861-1876.
5. Ardern C.L., Webster K.E., Taylor N.F., Fellar J.A., *Return to pre-injury level of competitive sport after anterior cruciate ligament reconstruction surgery: two-thirds of patients have not returned by 12 months after surgery*, Am J Sports Med. 2011; 39: 538-543.

6. Ardern C.L., *Anterior cruciate ligament reconstruction not exactly a one-way ticket back to preinjury level: a review of contextual factors affecting return to sport after surgery*, Sports Health. 2015; 7(3): 224-230.
7. Lai C.C., Ardern C.L., Feller J.A., Webster K.E., *Eighty-three per cent of elite athletes return to preinjury sport after anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review with meta-analysis of return to sport rates, graft rupture rates and performance outcomes*, Br J Sports Med. 2018; 52(2): 128-138.
8. Zaffagnini S., Grassi A., Marcheggiani Muccioli G.M., et al., *Return to sport after anterior cruciate ligament reconstruction in professional soccer players*, Knee. 2014; 21(3): 731-735.
9. Ardern C.L., Taylor N.F., Feller J.A., et al., *Fifty-five per cent return to competitive sport following anterior cruciate ligament reconstruction surgery: an updated systematic review and meta-analysis including aspects of physical functioning and contextual factors*, Br J Sports Med 2014; 48: 1543-1552.
10. Barber-Westin S.D., Noyes F.R., *Factors used to determine return to unrestricted sports activities after anterior cruciate ligament reconstruction*, Arthroscopy. 2011; 27(12): 1697-1705.
11. Burgi C.R., Peters S., Ardern C.L., Magill J.R., Gomez C.D., Sylvain J., Reiman M.P., *Which criteria are used to clear patients to return to sport after primary ACL reconstruction? A scoping review*, Br J Sports Med 2019; 53: 1154-1161.
12. Grindem H., Snyder-Mackler L., Moksnes H., et al., *Simple decision rules can reduce reinjury risk by 84% after ACL reconstruction: the Delaware-Oslo ACL cohort study*, Br J Sports Med. 2016; 50(13): 804-808.
13. Nagelli C.V., Hewett T.E., *Should return to sport be delayed until two years after anterior cruciate ligament reconstruction? Biological and functional considerations*, Sports Med. 2017; 47: 221-232.
14. Kyritsis P., Bahr R., Landreau P., et al., *Likelihood of ACL graft rupture: not meeting six clinical discharge criteria before return to sport is associated with a four times greater risk of rupture*, Br J Sports Med. 2016; 50(15): 946-951.
15. Schlumberger M., Schuster P., Schulz M., et al., *Traumatic graft rupture after primary and revision anterior cruciate ligament reconstruction: retrospective analysis of incidence and risk factors in 2915 cases*, Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2015, doi:10.1007/s00167-015-3699.
16. Paterno M.V., Rauh M.J., Schmitt L.C., et al., *Incidence of second ACL injuries 2 years after primary ACL reconstruction and return to sport*, Am J Sports Med. 2014; 42(7): 1567-1573.
17. Laboute E., Savalli L., Puig P., et al., *Analysis of return to competition and repeat rupture for 298 anterior cruciate ligament reconstructions with patellar or hamstring tendon autograft in sportspeople*, Ann Phys Rehabil Med. 2010; 53(10): 598-614.
18. MacDonald P.B., Hedden D., Pacin O., et al., *Effects of an accelerated rehabilitation program after anterior cruciate ligament reconstruction with combined semitendinosus-gracilis autograft and a ligament augmentation device*, Am J Sports Med 1995; 23: 588-592.
19. Shelbourne K.D., Nitz P., *Accelerated rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction*, Am J Sports Med 1990; 18: 292-299.
20. Undheim M.B., Cosgrave C., King E., et al., *Isokinetic muscle strength and readiness to return to sport following anterior cruciate ligament reconstruction: is there an association? A systematic review and a protocol recommendation*, Br J Sports Med. 2015; 49(20): 1305-1310.
21. Petersen W., Taheri P., Forkel P., et al., *Return to play following ACL reconstruction: a systematic review about strength deficits*, Arch Orthop Trauma Surg. 2014; 134(10): 1417-1428.
22. Khayambashi K., Ghoddosi N., Straub R.K., et al., *Hip muscle strength predicts noncontact anterior cruciate ligament injury in male and female athletes: a prospective study*, Am J Sports Med. 2016; 44(2): 355-361.
23. Shelbourne K.D., Klootwyk T.E., Wilckens J.H., Mark S., *Ligament stability two to six years after anterior cruciate ligament reconstruction with autogenous patellar tendon graft and participation in accelerated rehabilitation program*, Am J Sports Med 1995; 23: 575-579.
24. Keays S.L., Bullock-Saxton J.E., Newcombe P., Keays A.C., *The relationship between knee strength and functional stability before and after anterior cruciate ligament reconstruction*, J Orthop Res 2003; 21: 231-237.
25. Kvist J., *Rehabilitation following anterior cruciate ligament injury: current recommendations for sports participation*, Sports Med 2004; 34: 269-280.
26. Moller E., Forssblad M., Hansson L., Wange P., Weidenhielm L., *Bracing versus nonbracing in rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized prospective study with 2-year follow-up*, Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2001; 9: 102-108.
27. Noyes F., Berrios-Torres S., Barber-Westin S., Heckmann T.P., *Prevention of permanent arthrofibrosis after anterior cruciate ligament reconstruction alone or combined with associated procedures: a prospective study in 443 knees*, Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2000; 8: 196-206.
28. Roi G.S., Creta D., Nanni G., Marcacci M., Zaffagnini S., et al., *Return to official Italian First Division soccer games within 90 days after anterior cruciate ligament reconstruction: a case report*, J Orthop Sports Phys Ther 2005; 35: 52-66.
29. Fuller C.W., Walker J., *Quantifying the functional rehabilitation of injured football players*, Br J Sports Med 2006; 40: 151-157.
30. Hartigan E.H., Zeni J. Jr., Di Stasi S., Axe M.J., Snyder-Mackler L., *Preoperative predictors for noncopers to pass return to sports criteria after ACL reconstruction*, J Appl Biomech 2012; 28: 366-373.
31. Van Grinsven S., van Cingel R.E., Holla C.J., van Loon C.J., *Evidence-based rehabilitation following anterior cruciate ligament reconstruction*, Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2010; 18: 1128-1144.
32. Schmitt L.C., Paterno M.V., Hewett T.E., *The impact of quadriceps femoris strength asymmetry on functional performance at return to sport following anterior cruciate ligament reconstruction*, J Orthop Sports Phys Ther 2012; 42: 750-759.
33. Eitzen I., Holm I., Risberg M.A., *Preoperative quadriceps strength is a significant predictor of knee function two years after anterior cruciate ligament reconstruction*, Br J Sports Med 2009; 43: 371-376.
34. Roewer B.D., Di Stasi S.L., Snyder-Mackler L., *Quadriceps strength and weight acceptance strategies continue to improve two years after anterior cruciate ligament reconstruction*, J Biomech 2011; 44: 1948-1953.
35. Myer G.D., Martin L. Jr., Ford K.R., Paterno M.V., Schmitt L.C., et al., *No association of time from surgery with functional deficits in athletes after anterior cruciate ligament reconstruction: evidence for objective return-to-sport criteria*, Am J Sports Med 2012; 40: 2256-2263.

36. Xergia S.A., McClelland J.A., Kvist J., Vasiliadis H.S., Georgoulis A.D., *The influence of graft choice on isokinetic muscle strength 4-24 months after anterior cruciate ligament reconstruction*, Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2011; 19: 768-780.
37. Buckthorpe M., Roi G.S., *The time has come to incorporate a greater focus on rate of force development training in the sports injury rehabilitation process*, Muscle Tendon Ligament J. 2017; 7(3): 435-441.
38. Krosshaug T., Nakamae A., Boden B.P., et al., *Mechanisms of anterior cruciate ligament injury in basketball: video analysis of 39 cases*, Am J Sports Med. 2007; 35: 359-367.
39. Beneke R., Taylor M.J., *What gives Bolt the edge-A.V. Hill knew it already!*, J Biomech. 2010; 43(11): 2241-2243.
40. Thorstensson A., Karlsson J., Viitasalo H.T., Luhtanen P., Komi P.V., *Effect of strength training on EMG of human skeletal muscle*, Acta Physiol Scand. 1976; 98: 232-236.
41. Angelozzi M., Madama M., Corsica C., et al., *Rate of force development as an adjunctive outcome measure for return-to-sport decisions after anterior cruciate ligament reconstruction*, J Orthop Sports Phys Ther. 2012; 42(9): 772-780.
42. Noyes F.R., Barber S.D., Mangine R.E., *Abnormal lower limb symmetry determined by function hop tests after anterior cruciate ligament rupture*, Am J Sports Med. 1991; 19(5): 513-518.
43. Toole A.R., Ithurburn M.P., Rauh M.J., Hewett T.E., Paterno M.V., Schmitt L.C., *Young athletes cleared for sports participation after anterior cruciate ligament reconstruction: How many actually meet recommended return-to-sport criterion cut offs?*, J Orthop Sports Phys Ther. 2017; 47(11): 825-833.
44. Grindem H., Snyder-Mackler L., Moksnes H., Engebretsen L., Risberg M.A., *Simple decision rules reduce injury risk after anterior cruciate ligament reconstruction: the Delaware-Olso cohort study*, Br J Sports Med. 2016; 50(13): 804-808.
45. Edwards P.K., Ebert J.R., Joss B., Ackland T., Annear P., Buelow J-U., et al., *Patient characteristics and predictors of return to sport at 12 months after anterior cruciate ligament reconstruction: the importance of patient age and postoperative rehabilitation*, Orthop J Sports Med. 2018, <https://doi.org/10.1177/2325967118797575>.
46. Gokeler A., Welling W., Benjamese A., Lemmink K., Seil R., Zaffagnini S., *A critical analysis of limb symmetry indices of hop tests in athletes after anterior cruciate ligament reconstruction: a case control study*, Orthop Traumatol Surg Res. 2017; 103: 947-951.
47. Davies G.J., *Individualizing the return to sports after anterior cruciate ligament reconstruction*, Oper Tech Orthop. 2017; 27: 70-78.
48. Fitzgerald G.K., Axe M.J., Snyder-Mackler L., *A decision-making for returning patients to high-level activity with non-operative treatment after anterior cruciate ligament rupture*, Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2000; 8: 76-82.
49. Munro A.G., Herrington L.C., *Between session reliability of four hop tests and the agility t test*, J Strength Cond Res. 2011; 25(5): 1470-1477.
50. Nawasreh Z., Logerstedt D., Cummer K., Axe M., Risberg M.A., Snyder-Mackler L., *Functional performance 6 months after ACL reconstruction can predict return to participation in same preinjury activity level 12 and 24 months after surgery*, Br J Sports Med. 2018; 52: 375-383.
51. Muller U., Kruger-Franke M., Schmidt M., Rosemeyer B., *Predictive parameters for return to pre-injury level of sport 6 months following anterior cruciate ligament reconstruction surgery*, Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2015; 23: 3623-3631.
52. Paterno M.V., Schmitt L.C., Ford K.R., Rauh M.J., Myer G.D., Huang B., et al., *Biomechanical measures during landing and postural stability predict second anterior cruciate ligament injury after anterior cruciate ligament reconstruction and return to sport*, Am J Sports Med. 2010; 38(10): 1968-1978.
53. Brown S.R., Brughelli M., Hume P.A., *Knee mechanics during planned and unplanned sidestepping: a systematic review and meta-analysis*, Sports Med. 2014; 44(11): 1573-1588.
54. Almonroeder T.G., Garcia E., Kurt M., *The effects of anticipation on the mechanics of the knee during single-leg cutting tasks: a systematic review*, Int J Sports Phys Ther. 2015; 10(7): 918-928.
55. Kapreli E., Athanasopoulos S., *The anterior cruciate ligament deficiency as a model of brain plasticity*, Med Hypotheses. 2006; 67(3): 645-650.
56. Grooms D., Appelbaum G., Onate J., *Neuroplasticity following anterior cruciate ligament injury: a framework for visual-motor training approaches in rehabilitation*, J Orthop Sports Phys Ther. 2015; 45(5): 381-393.
57. Swanik C.B., *Brains and sprains: the brain's role in noncontact anterior cruciate ligament injuries*, J Athl Train. 2015; 50(10): 1100-1112.
58. Swanik C.B., Covassin T., Stearne D.J., et al., *The relationship between neurocognitive function and noncontact anterior cruciate ligament injuries*, Am J Sports Med. 2007; 35(6): 943-948.
59. Augustsson J., Thomee R., Karlsson J., *Ability of a new hop test to determine functional deficits after anterior cruciate ligament reconstruction*, Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2004; 12(5): 350-356.
60. Santamaria L.J., Webster K.E., *The effect of fatigue on lower-limb biomechanics during single-limb landings: a systematic review*, J Orthop Sports Phys Ther. 2010; 40(8): 464-473.
61. Webster K.E., Santamaria L.J., McClelland J.A., et al., *Effect of fatigue on landing biomechanics after anterior cruciate ligament reconstruction surgery*, Med Sci Sports Exerc. 2012; 44(5): 910-916.
62. Gokeler A., Eppinga P., Dijkstra P.U., et al., *Effect of fatigue on landing performance assessed with the landing error scoring system (LESS) in patients after ACL reconstruction. A pilot study*, Int J Sports Phys Ther. 2014; 9(3): 302-311.
63. Frank B.S., Gilsdorf C.M., Goerger B.M., et al., *Neuromuscular fatigue alters postural control and sagittal plane hip biomechanics in active females with anterior cruciate ligament reconstruction*, Sports Health. 2014; 6(4): 301-308.
64. Borotikar B.S., Newcomer R., Koppes R., et al., *Combined effects of fatigue and decision making on female lower limb landing postures: central and peripheral contributions to ACL injury risk*, Clin Biomech (Bristol, Avon). 2008; 23(1): 81-92.
65. Bien D.P., Dubuque T.J., *Considerations for late stage ACL rehabilitation and return to sport to limit re-injury risk and maximize athletic performance*, Int J Sports Phys Ther. 2015; 10(2): 256-271.
66. Barber-Westin S.D., Noyes F.R., *Effect of fatigue protocols on lower limb neuromuscular function and implications for anterior cruciate ligament injury prevention training: a systematic review*, Am J Sports Med. 2017; 45(14): 3388-3396.
67. Benjaminse A., Webster K.E., Kimp A., Meijer M., Gokeler A., *Revised approach to the role of fatigue in anterior cruciate lig-*

- ament injury prevention: a systematic review with meta-analyses, *Sports Med.* 2019; <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01052-6>.
68. De Ste Croix M.B., Priestly A.M., Lloyd R.S., Oliver J.L., *ACL injury risk in elite female soccer: Changes in neuromuscular control of the knee following soccer specific fatigue*, *Scand J Med Sci Sports.* 2015; 25(5): e531-538.
 69. Mohr M., Krstrup P., Bangsbo J., *Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue*, *J Sports Sci.* 2003; 21(7): 519-528.
 70. McLean S.G., Fellin R.E., Suedekum N., Calabrese G., Passerallo A., Joy S., *Impact of fatigue on gender-based high-risk landing strategies*, *Med Sci Sports Exerc.* 2007; 39: 502-514.
 71. Sanna G., O'Connor K.M., *Fatigue-related changes in stance leg mechanics during sidestep cutting manoeuvres*, *Clin Biomech.* 2008; 23: 946-954.
 72. Buckthorpe M., Pain M.T., Folland J.P., *Central fatigue contributes to the greater reductions in explosive than maximal strength with high-intensity fatigue*, *Exp Physiol.* 2014; 99(7): 964-973.
 73. Russell M., Benton D., Kingsley M., *The effects of fatigue on soccer skills performed during a soccer match simulation*, *Int J Sports Physiol Perform.* 2011; 6(2): 221-233.
 74. Small K., McNaughton L., Greig M., Lovell R., *Effect of timing of eccentric hamstring strengthening exercises during soccer training: implications for muscle fatigability*, *J Strength Cond Res.* 2009; 23: 1077-1083.
 75. Dupont G., Nedelec M., McCall A., et al., *Effect of 2 soccer matches in a week on physical performance and injury rate*, *Am J Sports Med.* 2010; 38(9): 1752-1758.
 76. Gabbett T.J., Ullah S., Finch C.F., *Identifying risk factors for contact injury in professional rugby league players—applicability of the frailty model for recurrent injury*, *J Sci Med Sport.* 2012; 15: 496-504.
 77. Malone S., Hughes B., Doran D.A., Collins K., Gabbett T.J., *Can the workload-injury relationship be moderated by improved strength, speed and repeated-sprint qualities?*, *J Sci Med Sport.* 2019; 22(1): 29-34.
 78. Malone S., Roe M., Doran D.A., Gabbett T.J., Collins K., *Protection against spikes in workload with aerobic fitness and playing experience: the role of the acute: chronic workload ratio on injury risk in gaelic football*, *Int J Sports Physiol Perform.* 2017; 12: 393-401.
 79. Bizzini M., Hancock D., Impellizzeri F., *Suggestions from the field for return to sports participation following anterior cruciate ligament reconstruction: soccer*, *J Orthop Sports Phys Ther.* 2012; 42(4): 304-312.
 80. Van Melick N., van Rijn L., Nijhuis-van der Sanden M.W.G., Hoogeboom T.J., van Cingel R.E.H., *Fatigue affects quality of movement more in ACL-reconstructed soccer players than in healthy soccer players*, *Knee Surg Traumatol Arthrosc.* 2018; <https://doi.org/10.1007/s00167-018-5149-2>.
 81. Thorlund J.B., Aagaard P., Madsen K., *Rapid muscle force capacity changes after soccer match play*, *Int J Sports Med.* 2009; 30(4): 273-278.
 82. Gabbett T.J., Hulin B.T., Blanch P., et al., *High training work loads alone do not cause sports injuries: how you get there is the key issue*, *Br J Sports Med* 2016; 50: 444-445.
 83. Blanch P., Gabbett T.J., *Has the athlete trained enough to return to play safely? The acute: chronic workload ratio permits clinicians to quantify a player's risk of subsequent injury*, *Br J Sports Med* 2016; 50: 471-475.
 84. Faude O., Koch T., Meyer T., *Straight sprinting is the most frequent action in goal situations in professional soccer*, *J Sports Sci.* 2012; 30: 625-631.
 85. Bangsbo J., *The physiology of soccer—with special reference to intense intermittent exercise*, *Acta Physiol Scand.* 1994; 151(suppl. 619): 1-155.
 86. Almeida A.M., Santos Silva P.R., Pedrinelli A., Hernandez A.J., *Aerobic fitness in professional soccer players after anterior cruciate ligament reconstruction*, *PLoS One.* 2018; 13(3): e0194432; <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194432>.
 87. Ardern C.L., Webster K.E., Taylor N.F., et al., *Return to sport following anterior cruciate ligament reconstruction surgery: a systematic review and meta-analysis of the state of play*, *Br J Sports Med.* 2011; 45(7): 596-606.
 88. Everhart J.S., Best T.M., Flanigan D.C., *Psychological predictors of anterior cruciate ligament reconstruction outcomes: a systematic review*, *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2015; 23(3): 752-762.
 89. Sonesson S., Kvist J., Ardern C., et al., *Psychological factors are important to return to pre-injury sport activity after anterior cruciate ligament reconstruction: expect and motivate to satisfy*, *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2016; doi:10.1007/s00167-016-4294-8.
 90. Thomee P., Wahrborg P., Borjesson M., et al., *A new instrument for measuring self-efficacy in patients with an anterior cruciate ligament injury*, *Scand J Med Sci Sports.* 2006; 16(3): 181-187.
 91. Hamrin Senorski E., Samuelsson K., Thomee C., et al., *Return to knee-strenuous sport after anterior cruciate ligament reconstruction: a report from a rehabilitation outcome registry of patient characteristics*, *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2016; doi:10.1007/s00167-016-4280-1.
 92. Webster K.E., Feller J.A., Lambros C., *Development and preliminary validation of a scale to measure the psychological impact of returning to sport following anterior cruciate ligament reconstruction surgery*, *Phys Ther Sport.* 2008; 9(1): 9-15.
 93. Ardern C.L., Taylor N.F., Feller J.A., et al., *Psychological responses matter in returning to preinjury level of sport after anterior cruciate ligament reconstruction surgery*, *Am J Sports Med.* 2013; 41(7): 1549-1558.
 94. Ardern C., Kvist J., *What is the evidence to support a psychological component to rehabilitation programs after anterior cruciate ligament reconstruction?*, *Curr Orthop Pract.* 2016; 27(3): 263-268.
 95. Shrier I., *Strategic Assessment of Risk and Risk Tolerance (StARRT) framework for return-to-play decision-making*, *Br J Sports Med* 2015; 49: 1311-1315.
 96. Ardern C.L., Glasgow P., Schneiders A., et al., *Consensus statement on return to sport from the First World Congress in Sports Physical Therapy*, Bern. *Br J Sports Med* 35 2016; 2016: 853-864.

CORRISPONDENZA:

Alessio Orsini

Centro di Medicina Riabilitativa Sport and Anatomy – Università di Pisa

Via di Gargalione 25 56121 Pisa – Italy

Tel.: +39 348 9197437

Email: alessio.orsini@unipi.it

Federico Rognini

Via Statale Abetone 214 56017 San Giuliano Terme (PI) – Italy

Tel.: +39 340 6505571

Email: rognini.federico@gmail.com