UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE
FACOLTÀ DI MEDICINA E CHIRURGIA

Corso di Laurea in Fisioterapia

EFFICACIA DELL'ESERCIZIO TERAPEUTICO INTEGRATO NEL MIGLIORARE CAMMINO, TROFISMO E DOLORE IN PAZIENTI OPERATI DI LCA E MENISCO STUDIO OSSERVAZIONALE

Relatore:
D.ssa Cristina Brunelli

Tesi di Laurea di:
Margherita Lazzari

Correlatore:
D.ssa Marta Curzi

A.A. 2021-2022

INDICE

1. IL GINOCCHIO 1

1.1 Anatomia del ginocchio 1

1.2 Biomeccanica del ginocchio 12

2. LESIONE DEL LEGAMENTO CROCIATO ANTERIORE (LCA) E MENISCO 21

2.1 Epidemiologia, fattori di rischio e meccanismi di infortunio del LCA e menisco 21

2.2 Modalità di intervento dopo lesione LCA 29

2.3 Modalità di intervento dopo lesione meniscale 31

2.4 La riabilitazione dopo ricostruzione LCA, LCA+meniscectomia parziale, LCA+sutura meniscale, stato dell'arte 33

3. RIABILITAZIONE IN ACQUA 41

3.1 Generalità 41

3.2 Proprietà dell'acqua 43

3.3 Le leggi fisiche 46

3.4 Effetti terapeutici dell'acqua 50

3.5. Valutazione del paziente ed organizzazione di una seduta di riabilitazione in acqua 53

3.6. Controindicazioni 57

4- WALKER VIEW 58

4.1 Caratteristiche 58

4.2 Controindicazioni 63

4.3 Test: Gait Analysis 64

5- PARTE SPERIMENTALE 74

5.1 Protocollo riabilitativo sperimentale 74

5.2 Presentazione dello studio osservazionale prospettico 78

5.2.1 Introduzione 78

5.2.2 Dichiarazione d'intenti 78

5.2.3 Scopo della tesi 79

5.2.4 Popolazione dello studio 79

5.3. Materiali e metodi 80

5.3.1 Criteri di ricerca 80
5.3.2 Intervento eseguito 81
5.3.3 Misure di outcome – Indicatori di risultato 83
5.3.4 Timing di valutazione 84

6. RISULTATI 85

7. DISCUSSIONE 101

8. CONCLUSIONI 104

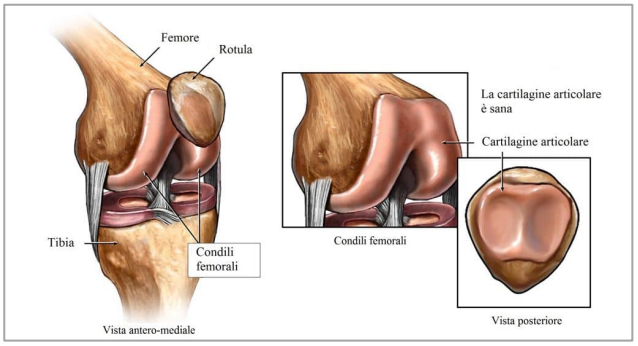
BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA 105

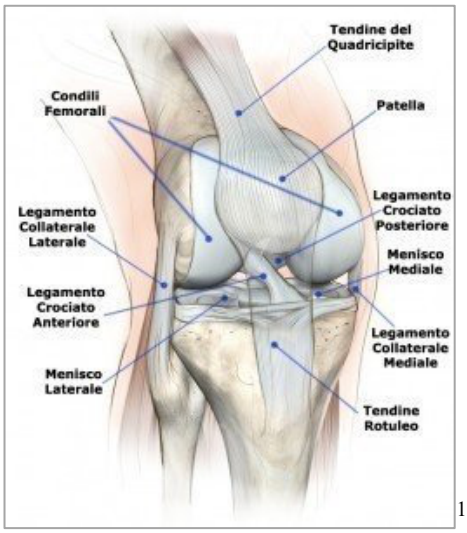
1. IL GINOCCHIO

1.1 Anatomia del ginocchio

L'articolazione del ginocchio è una delle più grandi e complesse articolazioni del corpo che unisce lo scheletro della coscia a quello della gamba, contribuendo sia alla statica sia alla deambulazione. Funzionalmente è considerata un ginglimo angolare che permette la flesso-estensione, anche se consente modesti movimenti di tipo rotatorio quando il ginocchio è flesso e il piede non poggia a terra [1].

Le ossa coinvolte nell'articolazione del ginocchio sono: *femore, tibia e patella.* All'interno della stessa capsula articolare sono comprese due articolazioni: la ***femoro-tibiale*** che si stabilisce tra i due condili del femore (mediale e laterale) e le facce articolari superiori dei rispettivi condili tibiali (piatti tibiali), e la ***femoro-patellare*** tra la superficie patellare del femore e la faccia posteriore della patella. Anatomicamente la femoro-tibiale è considerata una doppia condiloartrosi, mentre la femoro-patellare è classificata come un ginglimo angolare.





[1]

Figura 1 Anatomia del ginocchio

Superfici articolari

L'epifisi distale del femore è costituita da due superfici convesse di forma ovalare rivestite da cartilagine articolare, i *condili femorali* distinti in *mediale e laterale*. Questi non sono paralleli tra loro, ma i loro assi maggiori anteroposteriori sono diretti da dietro in avanti e convergono nella superficie patellare anteriormente; inoltre il mediale diverge

[1] https://www.fisioterapiarubiera.com/anatomia-del-ginocchio/

maggiormente ed è anche più stretto e lungo rispetto al laterale. Posteriormente i condili sono separati da una profonda depressione, la *fossa intercondiloidea,* [2] che, non essendo una superficie articolare, è priva di rivestimento cartilagineo. Anteriormente sono uniti dalla superficie articolare, la *faccia patellare*, che si articola con la patella.
C'è una certa diversità dei capi articolari: medio-lateralmente abbiamo una buona congruenza con i relativi piatti tibiali, mentre in antero-posteriore avremo una minor congruenza soprattutto nel condilo laterale. I due condili si trovano sullo stesso piano orizzontale quando l'osso è in posizione anatomica. La forma ovalare però determina che non esiste un centro di rotazione fisso, ma questo varia nei movimenti di flesso estensione del ginocchio.

L'estremità prossimale della tibia è costituita da due sporgenze, i condili laterale e mediale, le cui facce articolari superiori, rivestite da cartilagine, risultano relativamente pianeggianti e vengono denominati *piatti tibiali laterale e mediale*. In senso antero posteriore si ha un piatto tibiale mediale leggermente concavo che combacia bene con la convessità del condilo mediale del femore, mentre il piatto tibiale laterale è più convesso, quindi avremo una minore congruità con il condilo laterale del femore. I piatti tibiali sono separati dall'eminenza intercondilare, costituita dai due tubercoli intercondilari laterale e mediale. Anteriormente e posteriormente all'eminenza intercondilare sono presenti le rispettive aree intercondiloidee anteriore e posteriore, che danno attacco ai legamenti crociati del ginocchio [1].

La *superficie articolare della patella* corrisponde a gran parte della faccia posteriore ed è rivestita da cartilagine articolare. È dunque una superficie liscia che viene suddivisa da una cresta verticale in due faccette articolare un po' concave, di cui una laterale più ampia e una mediale di minori dimensioni, che si articolano con la faccia patellare del femore.

Le cavità glenoidee della tibia non hanno una forma idonea ad accogliere i condili del femore. Per questo, per aumentare la congruità tra le superfici articolari del femore e della tibia sono interposte delle strutture fibrocartilaginee, i menischi.

Menischi

I menischi, distinti in laterale e mediale, sono due cuscinetti fibrocartilaginei interposti tra i condili del femore e i piatti tibiali. Entrambi hanno forma a mezzaluna e sezione triangolare dove il margine esterno è spesso, mentre quello interno è più sottile. Il menisco mediale ha le estremità tra loro distanti e per tale motivo viene paragonato alla lettera "C"; quello laterale invece è quasi circolare e ricorda una "O". La loro superficie superiore, concava, è in rapporto con i condili del femore; quella inferiore, quasi piana, aderisce al piatto tibiale corrispondente; quella laterale, verticale, è la parte più spessa dei menischi (6 mm per il menisco mediale e 8 mm per il laterale) ed entrambi aderiscono alla capsula articolare medianti i *legamenti coronari laterale e mediale.* Questi sono degli ispessimenti della capsula che collegano il menisco alla tibia. Permettono una certa libertà in senso rotatorio, mentre lo vincolano di più in direzione antero posteriore. Questi legamenti sono riccamente vascolarizzati, perciò in caso di lesione vanno incontro a riparazione.

I menischi sono ancorati alla tibia tramite le corna anteriori e posteriori. In particolare, le due estremità del menisco laterale si inseriscono anteriormente e posteriormente all'eminenza intercondilare, rispettivamente mediante i *legamenti meniscali anterolaterale* e *posterolaterale*; stessa cosa avviene per le estremità del menisco mediale che si inseriscono nell'area intercondilare anteriore, davanti all'origine del legamento crociato anteriore, e posteriore mediante i *legamenti meniscali anteromediali* e *posteromediali.*

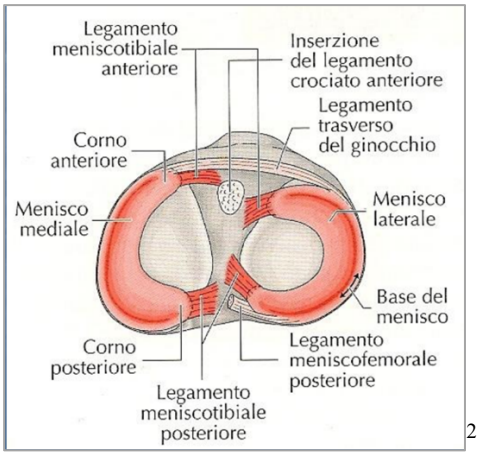
Il menisco mediale è connesso perifericamente alla capsula articolare e al legamento collaterale mediale. Il menisco laterale ha connessioni capsulari meno importanti e non si connette con il legamento collaterale laterale perché è interposto il tendine del muscolo popliteo; la parte posteriore del menisco laterale invia un robusto legamento, il *legamento menisco-femorale posteriore*, al legamento crociato posteriore e al condilo mediale del femore con lo scopo di agire come mezzo di contenzione secondario per il ginocchio, aiutando il legamento crociato posteriore ed è anche coinvolto nel controllo del movimento del menisco laterale [1].

I menischi sono uniti anteriormente tra loro dal *legamento trasverso del ginocchio*, che è responsabile del movimento sincrono dei menischi.

I menischi sono strutture che hanno lo scopo di aumentare la congruenza tra le superfici articolari del femore e della tibia in quanto triplicano l'area di contatto articolare, inoltre concorrono nel ridurre i picchi di pressione sui condili, in particolare trasferiscono il carico assiale generato e lo ridistribuiscono in forze circonferenziali. I menischi sono fonte di propriocezione, stabilizzano il ginocchio, se sottoposti a carico spingono il liquido sinoviale ricco di nutrienti all'interno della cartilagine articolare e sono fondamentali per il controllo dei movimenti del ginocchio. Ciò determina che la loro assenza porta all'insorgenza di lesioni degenerative delle strutture articolari, particolarmente della cartilagine, con lo sviluppo di fenomeni artrosici.

I menischi sono poco vascolarizzati. Non più del 30% della loro porzione periferica, infatti, è provvista di branche delle arterie genicolate provenienti dalla capsula articolare. Questo implica che solo le lesioni più marginali che cadono all'interno della zona vascolarizzata hanno possibilità riparativa; mentre lesioni localizzate nella zona non vascolarizzata non guariscono spontaneamente e, a seconda dei casi, possono essere trattate chirurgicamente.

I menischi sono innervati dal punto di vista propriocettivo e nocicettivo solo nel terzo esterno.



[2]

Figura 2 Menischi

[2] https://www.dmsi.unich.it/sites/st08/files/l022_-_il_ginocchio_dott._amoroso.pdf

Capsula articolare

È un manicotto di spessore variabile [2] che collega l'estremità inferiore del femore e l'estremità superiore della tibia; internamente allo strato fibroso è presente la membrana sinoviale. La capsula articolare incorpora l'articolazione patellofemorale e i due compartimenti dell'articolazione tibiofemorale. La capsula articolare, nella sua parte anteriore, è sostituita dalla patella. La capsula fibrosa dell'articolazione del ginocchio si ispessisce in alcuni punti a costituire i legamenti intrinseci. Posteriormente al condilo laterale della tibia è incompleta perché attraversata dal tendine del muscolo popliteo. La membrana sinoviale dalla superficie posteriore dell'articolazione si riflette anteriormente per avvolgere i due legamenti crociati, che in tal modo risultano intracapsulari ma extrasinoviali e quindi esclusi dalla cavità articolare. Si viene a costituire pertanto una piega sinoviale disposta su un piano sagittale, la *piega sinoviale infrapatellare*, che divide la cavità articolare in due cavità, destra e sinistra. La membrana sinoviale si riflette anche verso l'alto, in profondità rispetto alla parte distale del muscolo quadricipite femorale, estendendosi per circa 5 cm sopra la patella, a costituire la *borsa soprapatellare*. Oltre a questa borsa, ci sono numerose altre borse sinoviali associate al ginocchio, tra cui la *borsa sottocutanea prepatellare*, in quanto i tendini di questa regione decorrono parallelamente alle ossa e quindi, durante i movimenti articolari, vengono messi in tensione [1].

Nel ginocchio mobilità e stabilità giocano un ruolo pressoché equivalente; allo scopo di preservare tale equivalenza, esiste un *apparato capsulo-legamentoso* che svolge la funzione di stabilizzatore delle componenti ossee.

Legamenti del ginocchio

La capsula articolare viene rinforzata da cinque legamenti extracapsulari: *legamento patellare* (o rotuleo), *legamento collaterale fibulare* (o laterale), *legamento collaterale tibiale* (o mediale), *legamento popliteo obliquo* e *legamento popliteo arcuato* [1].

Il *legamento patellare* è un nastro spesso e robusto che stabilizza anteriormente l'articolazione del ginocchio ed è la continuazione distale del tendine del muscolo quadricipite femorale, che sotto la patella prende il nome di legamento patellare per inserirsi poi sulla tuberosità della tibia. Su ciascun lato si unisce ai *retinacoli laterale e mediale della patella,* che sono costituiti da fascicoli che mostrano diverso orientamento

e derivano da consistenti espansioni aponeurotiche dei muscoli vasti mediale e laterale e della fascia che li riveste. I retinacoli contribuiscono alla stabilizzazione del ginocchio su ciascun lato della patella e a mantenere quest'ultima in situ, in corrispondenza della faccia patellare del femore. Lo spazio tra la faccia posteriore del legamento patellare e la rima articolare è occupato dal voluminoso *corpo adiposo infrapatellare* (di Hoffa), che ha una forma piramidale con base sul legamento patellare [1] e è sede di propriocettori e quindi è integrato nelle funzioni di regolazione dell'articolazione del ginocchio, inoltre contribuisce all'equilibrio della pressione nello spazio interno del ginocchio.

Il *legamento collaterale fibulare* è un robusto cordone cilindrico che va dall'epicondilo laterale del femore alla testa della fibula. Esso è separato dal menisco laterale per la presenza del tendine del muscolo popliteo [1].

Il *legamento collaterale tibiale*, di aspetto nastriforme, unisce l'epicondilo mediale del femore all'estremità superiore della faccia mediale della tibia, aderendo al menisco mediale [1]. È una struttura non distinguibile dalla capsula, rappresenta un suo ispessimento. È il principale stabilizzatore contro le forze in valgo. In particolare, a 25° di flessione quasi l'80% della stabilità è data dal collaterale mediale. Se andiamo verso l'estensione contribuiscono maggiormente anche altre strutture come le capsule e i legamenti crociati. È più debole rispetto al legamento collaterale fibulare e più frequentemente esposto a lesioni. Entrambi i legamenti collaterali vengono messi in tensione durante tutto il range di flesso-estensione, ma sono particolarmente tesi in massima estensione. Entrambi aumentano di tensione quando si va verso l'estensione e l'extrarotazione, contribuendo quindi alla stabilità del ginocchio nella stazione eretta.

Il *legamento popliteo arcuato* rinforza la capsula articolare posteriormente e si inserisce sulla testa della fibula, passando a ponte sopra il muscolo popliteo per poi disperdersi nella parte posteriore della capsula articolare. Limita il movimento di iperestensione del ginocchio [1].

Il *legamento popliteo obliquo*, altro legamento che contribuisce alla stabilità posteriore del ginocchio, è un'espansione tendinea ricorrente del muscolo semimembranoso che si disperde nel connettivo della parte posteriore della capsula articolare [1]. Contrasta l'estensione del ginocchio.

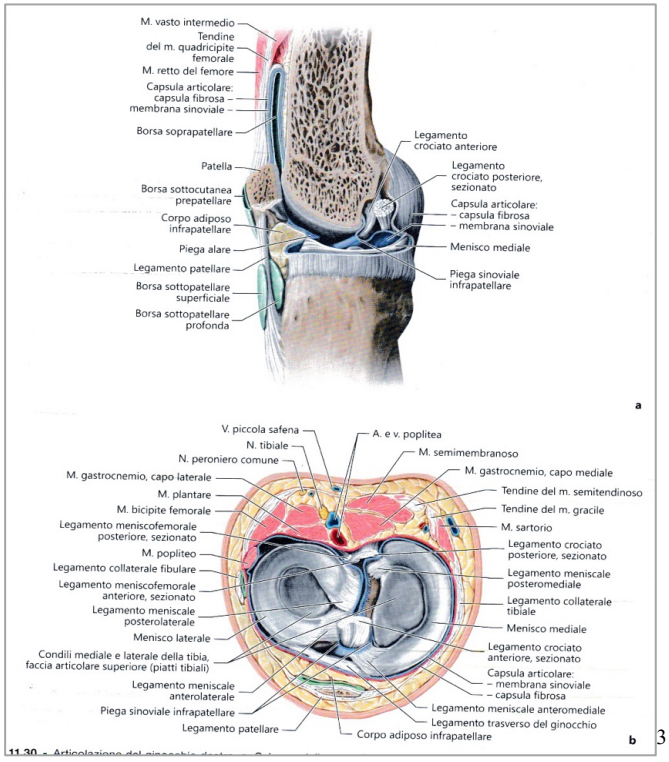
All'interno della capsula articolare del ginocchio sono presenti due importanti legamenti: i *legamenti crociati, anteriore e posteriore.* Essi sono intracapsulari e extrasinoviali e

perciò esclusi dalla cavità articolare. Sono fondamentali per la stabilità multiplanare del ginocchio, in particolare sul piano sagittale. I legamenti crociati rappresentano i mezzi di unione più importanti tra il femore e la tibia. Sono posti al centro dell'articolazione del ginocchio e il loro nome deriva dal fatto che si dispongono come la lettera "X", ovvero si incrociano obliquamente sia nel paino sagittale che nel piano frontale, in particolare l'incrociarsi e l'avvolgersi dei legamenti crociati, nel passaggio dalle inserzioni tibiali a quelle femorali, avvengono in quanto i punti di inserzione tibiale si trovano all'incirca su un piano sagittale, mentre quelli femorali sono più vicini al piano frontale. Sono anche fonte di propriocezione perché possiedono recettori propriocettivi.

Il *legamento crociato anteriore (LCA)* è lungo in media 3 cm, origina dall'area intercondilare anteriore della tibia e si porta in alto, indietro e lateralmente per inserirsi sulla superficie mediale del condilo laterale del femore. È composto da 2 fasci: anteromediale e posterolaterale. Il fascio anteromediale contribuisce alla stabilità posteroanteriore, mentre quello posterolaterale contribuisce alla stabilità rotatoria e previene un eccesso di rotazione interna. A livello funzionale i due fasci rappresentano un'unica entità, a volte si potrebbe avere una lesione parziale dove si lesiona più frequentemente il fascio anteromediale. Quest'ultimo è teso in tutto il range di flesso-estensione aumentando i suoi valori nei range estremi di movimento. Il fascio posterolaterale tende ad essere più teso verso l'estensione. Questo vuol dire che in estensione abbiamo una maggiore tensione del LCA ed esso impedisce lo scivolamento anteriore della tibia o lo scivolamento posteriore del femore sulla tibia. Con il ginocchio flesso ad angolo retto, l'integrità del LCA non permette lo spostamento anteriore della tibia [1]. È il principale stabilizzatore per la forza di taglio anteriore fino a 15° di flessione. Man mano che la flessione aumenta intervengono anche stabilizzatori secondari. Una lesione di LCA si associa ad un aumento del rischio di osteoartrosi aumentando le traslazioni a livello del condilo e del piatto tibiale mediale.

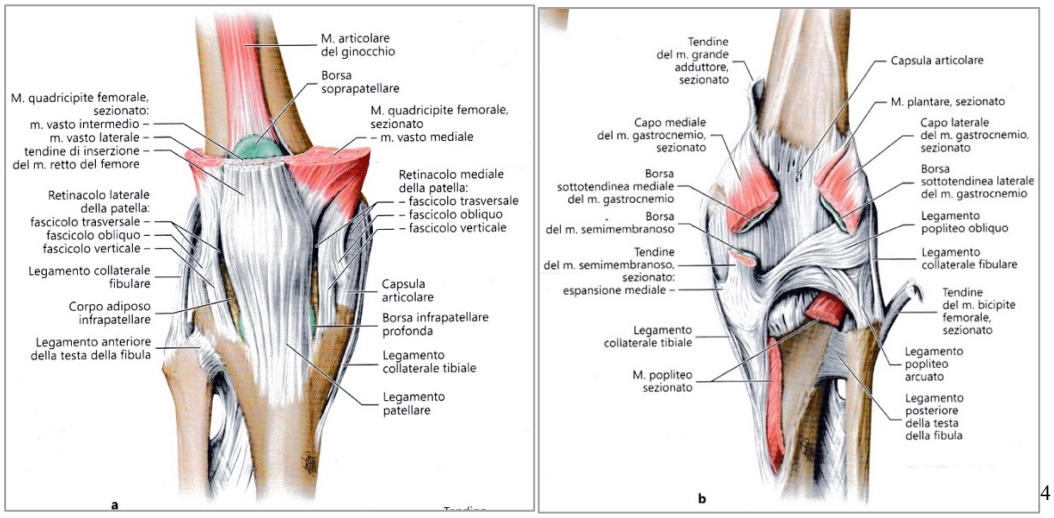
Il *legamento crociato posteriore (LCP)*, più robusto di quello anteriore, origina dall'area intercondilare posteriore della tibia. Si dirige in alto, in avanti e medialmente per poi inserirsi sulla superficie laterale del condilo mediale del femore [1]. È composto da due fasci e sono presenti anche due legamenti di rinforzo: il legamento menisco femorale anteriore (Humphrey) e il legamento menisco femorale posteriore (Wrisberg) che vanno dal corno posteriore del menisco laterale al condilo femorale mediale con decorso

anteriore e posteriore al LCP. Il legamento crociato posteriore viene messo in tensione nella flessione del ginocchio, impedendo lo scivolamento anteriore del femore sulla tibia o lo scivolamento posteriore della tibia. Con il ginocchio flesso ad angolo retto la tibia non può essere spostata posteriormente perché trattenuta dal LCP [1].



[3]

Figura 3 Articolazione del ginocchio destro. a) Schema della capsula articolare. b) Menischi e legamenti visti dall'alto



[4]

Figura 4 Articolazione del ginocchio. a) Visione anteriore. b) Visione posteriore

[3], [4] Morroni M. (2017); "Anatomia funzionale e imaging, sistema locomotore", Edi-Ermes

Muscoli del ginocchio

In base all'azione che essi svolgono possiamo suddividere i muscoli in estensori, flessori e rotatori del ginocchio.

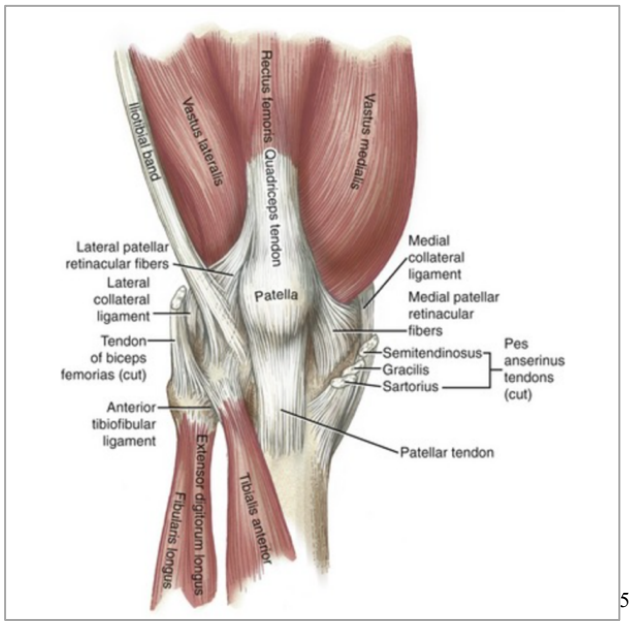
1) Muscoli estensori del ginocchio
   - *Quadricipite femorale*: muscolo anteriore della coscia che abbraccia quasi interamente la diafisi femorale. È costituito da quattro parti (o capi) distinti: vasto mediale, vasto intermedio, vasto laterale e retto del femore e nella parte distale della coscia i quattro tendini convergono in un unico e robusto tendine, il tendine quadricipitale, che si inserisce alla base e ai margini della patella e quindi, tramite il legamento patellare, alla tuberosità tibiale. I tre vasti sono monoarticolari e si inseriscono rispettivamente nel labbro mediale della linea aspra, nella superficie anteriore del femore e nel labbro laterale della linea aspra, mentre il retto del femore è biarticolare e si inserisce prossimalmente nella spina iliaca anteriore inferiore. Il muscolo quadricipite femorale è il principale muscolo estensore del ginocchio e il retto del femore interviene anche nella flessione dell'anca [2][3].
   - *Tensore della fascia lata*: muscolo corto e fusiforme localizzato anterolateralmente all'anca [1]. Origina dalla spina iliaca anteriore superiore e per mezzo del tratto ileotibiale si inserisce sul condilo laterale della tibia. È principalmente un muscolo flessore della coscia ma vista l'inserzione del tratto ileotibiale partecipa alla stabilizzazione laterale dell'articolazione del ginocchio ed estende debolmente la gamba sulla coscia.
2) Muscoli flessori del ginocchio
   - *Bicipite femorale, semitendinoso, semimembranoso*: insieme costituiscono il gruppo dei muscoli ischiocrurali. Tutti e tre condividono alcune caratteristiche come l'inserzione sulla tuberosità ischiatica (con l'eccezione del capo breve del bicipite femorale), sono muscoli biarticolari che permettono l'estensione dell'articolazione dell'anca e la flessione dell'articolazione del ginocchio e sono tutti innervati dal nervo sciatico. Il *muscolo bicipite femorale* è il più laterale dei muscoli ischiocrurali e presenta due capi, lungo e breve. Superiormente, il capo lungo, più superficiale, si inserisce sull'osso dell'anca, mentre il capo breve, più profondo, si fissa sul femore. Il tendine comune si va ad inserire sulla testa della fibula. Il *muscolo semitendinoso* è un muscolo fusiforme con un tendine terminale

lungo e sottile; è situato, insieme con il muscolo semimembranoso, sul lato mediale della coscia. È in posizione più superficiale rispetto al muscolo semimembranoso e si estende dall'anca alla tibia dove con il suo tendine terminale si espande a ventaglio sulla parte superiore della faccia mediale del corpo della tibia, dove va a costituire il piano più profondo della zampa d'oca. Il *muscolo semimembranoso* è un ampio muscolo il cui nome deriva dalla forma membranosa appiattita del suo tendine di inserzione prossimale. Il tendine di inserzione distale si divide in tre porzioni: una parte discendente che si inserisce direttamente sulla faccia posteriore del condilo mediale della tibia (tendine diretto); una seconda parte che, decorrendo in alto e in fuori, va a rinforzare, con il nome di legamento popliteo obliquo, la parte posteriore della capsula dell'articolazione del ginocchio; infine c'è una terza parte, con decorso anteriore, che termina anteriormente al condilo mediale della tibia (tendine riflesso) [1].

- *Muscoli gracile e sartorio*: insieme al già citato semitendinoso formano la zampa d'oca superficiale. Il *muscolo gracile* è un lungo muscolo nastriforme e il più mediale tra i muscoli della coscia. È un muscolo biarticolare che va dal ramo inferiore del pube fino alla faccia mediale dell'estremità superiore della diafisi della tibia. Il *muscolo sartorio*, stretto e nastriforme, è il più lungo muscolo del corpo, attraversa la coscia obliquamente, estendendosi dalla spina iliaca anteriore superiore fino alla faccia mediale dell'estremità superiore della diafisi della tibia [1].
- *Muscoli gastrocnemio e popliteo*: muscoli posteriori della gamba. Il *muscolo gastrocnemio* è un muscolo superficiale molto potente, costituito da due capi, laterale e mediale, chiamati anche gemelli laterale e mediale. Si inseriscono prossimalmente sulle linee sopracondilari laterale e mediale del femore, i capi poi convergono per unirsi inferiormente alla fossa poplitea, per poi inserirsi sulla superficie posteriore del calcagno. Il muscolo gastrocnemio è un muscolo biarticolare che attraversa sia l'articolazione del ginocchio sia l'articolazione talocrurale e partecipa quindi anche alla flessione della gamba. Il *muscolo popliteo* invece attraversa solo l'articolazione del ginocchio (muscolo monoarticolare). È situato nel fondo della parte inferiore della fossa poplitea. È un muscolo breve e appiattito, con decorso obliquo, che unisce il condilo laterale del femore

all'estremità superiore della faccia posteriore del corpo della tibia. È considerato il muscolo che sblocca l'articolazione del ginocchio all'inizio della flessione quando il ginocchio è ancora completamente esteso, ma l'intervento del muscolo popliteo nella flessione del ginocchio è trascurabile sia per la ridotta sezione fisiologica del muscolo sia per il braccio minimo di leva. Infine, il muscolo popliteo stabilizza posteriormente l'articolazione del ginocchio, in quanto impedisce lo scivolamento anteriore del femore in flessione.

3) Muscoli rotatori del ginocchio
   - *Bicipite femorale e tensore della fascia lata* sono rotatori esterni della tibia sul femore (il tensore della fascia lata agisce solo a ginocchio flesso)
   - *Muscoli sartorio, gracile, semitendinoso, semimembranoso e popliteo* sono rotatori interni della tibia sul femore (gracile, sartorio, semitendinoso e semimembranoso agiscono a ginocchio flesso, popliteo agisce come rotatore interno della tibia a catena cinetica aperta o, quando la tibia è fissa, ruota esternamente il femore sulla tibia).



[5]

Figura 5 Muscoli e legamenti del ginocchio

[5] Neumann D.A. (2017) Kinesiology of the Musculoskeletal System, Foundations for Rehabilitation (3rd edition)

1.2 Biomeccanica del ginocchio

L'articolazione del ginocchio è considerata anatomicamente una doppia condiloartrosi ma l'imponente apparato legamentoso fa sì che meccanicamente funzioni come un ginglimo angolare.

Il ginocchio può essere definito come un'articolazione dotata di 6 gradi di libertà: 3 gradi di movimenti rotatori (flesso/estensione, adduzione/abduzione, intrarotazione/extrarotazione) e 3 gradi di movimento traslatorio (antero/posteriore, medio/laterale, trazione/compressione). Dal punto di vista osteocinematico attivamente può compiere solo 2 gradi di movimento: flesso/estensione e rotazione esterna/interna.

L'asse trasversale, attorno al quale si realizzano i movimenti di flessoestensione, viene convenzionalmente indicato come passante orizzontalmente per i condili del femore, circa all'altezza degli epicondili. L'asse di rotazione invece è verticale e il suo centro migra, in estensione è più anteriore e superiore, mentre in flessione si sposta inferiormente e posteriormente.

L'articolazione del ginocchio abbina due funzioni contrastanti: possedere una notevole stabilità in estensione quando è maggiormente sottoposta alla forza peso e avere una grande mobilità in flessione, requisito necessario per la corsa e l'appoggio del piede al suolo.

L'articolazione del ginocchio è meccanicamente debole, e viene stabilizzata dalla potenza e dall'azione dei muscoli e dei tendini che la circondano (stabilizzatori attivi) e dai legamenti tra femore e tibia (stabilizzatori passivi).

Ampiezze dei movimenti di flesso-estensione e rotazione assiale del ginocchio:

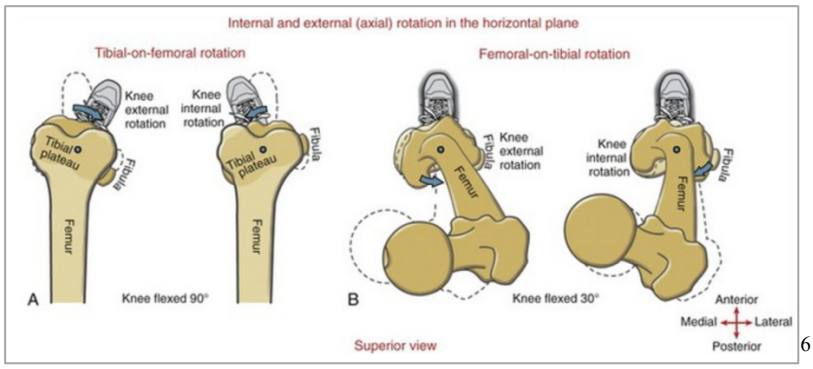
- estensione: passiva +5°/+10° (iperestensione), attiva 0°;
- flessione: passiva 150°, attiva 140° ad anca flessa – 120° ad anca estesa;
- Rotazione assiale (solo a ginocchio flesso): intrarotazione attiva 30°, passiva 30°-35°; extrarotazione attiva 40°, passiva 45°-50°;
- Rotazione assiale "automatica": si realizza a inizio flessione con intrarotazione e a termine estensione con extrarotazione [2],[3].

La rotazione della gamba è permessa solo a ginocchio flesso perché in questo modo c'è lo sblocco articolare fra l'eminenza intercondiloidea della tibia e l'incisura

intercondiloidea del femore, perché si detendono i legamenti collaterali e si detendono parzialmente i legamenti crociati.

L'extrarotazione è più rappresentata rispetto all'intrarotazione con un rapporto che può anche arrivare a 2:1. L'extrarotazione è sempre determinata dal movimento della tibia: avrò una extrarotazione di tibia in catena cinetica aperta (CCA) quando questa ruota esternamente, ma la avrò anche quando sarà il femore a ruotare internamente in catena cinetica chiusa (CCC). Il movimento del ginocchio per convenzione è determinato sempre dalla posizione tibiale. I movimenti di intra e extra rotazione variano molto con il grado di flessione del ginocchio: è massimo intorno ai 90° di flessione e si riduce con il ginocchio in estensione.

Solitamente viene molto più usata la massima estensione del ginocchio rispetto alla massima flessione.



[6]

Figura 6 Rotazione (assiale) interna e esterna del ginocchio destro

Artrocinematica dell'articolazione tibio-femorale

La flessione è il movimento della gamba che porta la faccia posteriore del polpaccio verso la faccia posteriore della coscia; l'estensione è il movimento opposto.

Nella flessione il movimento dei condili del femore dipende da una combinazione di scivolamento e rotolamento. All'inizio della flessione i condili del femore cominciano a rotolare all'indietro senza scivolare; poi, ad opera dei legamenti, il movimento di scivolamento in avanti sulla tibia diventa sempre più importante (la superficie dei condili del femore, infatti, è superiore a quella dei piatti tibiali), tanto che alla fine della flessione lo scivolamento prevale sul rotolamento [1]. Per il condilo mediale il rotolamento ha luogo soltanto durante i primi 10-15° di flessione, per il condilo laterale il rotolamento

[6] Neumann D.A. (2017) Kinesiology of the Musculoskeletal System, Foundations for Rehabilitation (3rd edition)

prosegue fino a 20° di flessione. Nell'estensione il femore scivola indietro sulla tibia e rotola in avanti alla fine dell'estensione.

Tutto questo avviene in catena cinetica chiusa (CCC), ovvero avremo il movimento del condilo femorale con un rotolamento e scivolamento in direzioni opposte (Roll e slide posteriore); mentre in catena cinetica aperta (CCA) avremo un rotolamento e scivolamento per quanto riguarda la componente mediale nella stessa direzione (swing e glide anteriore).

Rotolamento e scivolamento avvengono con un rapporto non lineare. In flessione avremo un maggior scivolamento dei condili (traslato posteriormente rispetto al piatto tibiale), mentre in estensione il rotolamento diventa preponderante.

Da una risonanza magnetica si può notare che in massima flessione:

- il condilo mediale è leggermente traslato posteriormente, si posiziona superiormente al menisco mediale;
- il condilo laterale si va quasi a sublussare posteriormente, con il corno posteriore che si sublussa posteriormente.

Nel condilo mediale sostanzialmente si nota che da 0° a 110° di flessione si ha poca traslazione, la maggior parte della traslazione si ha dopo i 110°.

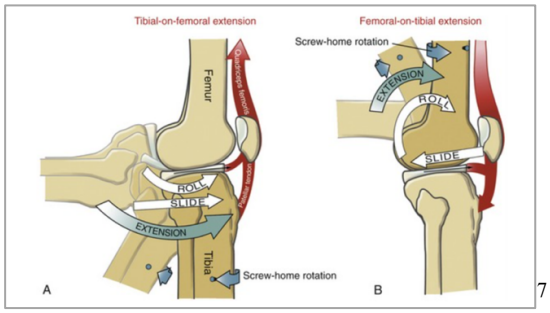
Il condilo laterale si nota che trasla molto di più, inizia subito per poi aumentare progressivamente la sua traslazione posteriore fino alla massima flessione.

La traslazione avviene anche in senso medio laterale, soprattutto per quanto riguarda il condilo femorale mediale: nei primi 90° c'è maggior traslazione in medio laterale rispetto all'antero posteriore.

Se i due condili traslano posteriormente in maniera diversa, questo implica che ci sarà una rotazione a livello del ginocchio. Il condilo mediale, che trasla meno posteriormente, fa da perno alla rotazione esterna del femore durante il movimento di flessione (rotazione interna di ginocchio, tenendo in considerazione la tibia), inizia fin dai primi gradi di flessione e viene detta rotazione accoppiata del ginocchio ed è del tutto involontaria, ma ci deve essere per sbloccare il ginocchio dalla sua posizione di stabilità massima (estensione). Questo movimento è guidato dalla contrazione del popliteo che è l'unico rotatore interno che ha un buon braccio di leva a ginocchio esteso. Il movimento rotatorio dalla flessione all'estensione presuppone quindi una rotazione interna del femore con rotazione esterna della tibia e viene chiamato screw home rotation. È una sorta di chiave

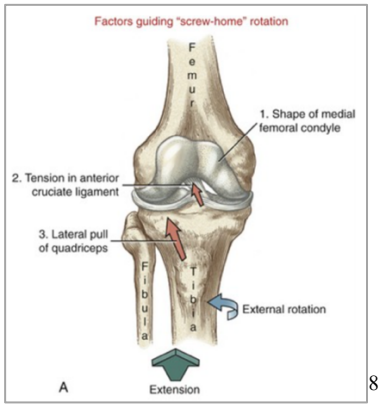
per il ginocchio in quanto consente di bloccare il ginocchio in massima estensione aumentandone la stabilità. È determinato da: forma del condilo femorale mediale, tensione LCA, azione del quadricipite femorale.

Dai 90° ai 150° di flessione del ginocchio, entrambi i condili femorali ruotano esternamente e traslano posteriormente. Questo se vogliamo è in antitesi con la regola concavo convesso di Kaltenborn (in flessione, siccome la tibia è concava, dovremmo traslare posteriormente la tibia per recuperare un movimento di flessione). In realtà in questi gradi abbiamo una traslazione opposta rispetto alla regola concavo convesso. La ragione per cui i movimenti di rotazione sono possibili solo in flessione dipende dalla messa in tensione dell'apparato capsulolegamentoso in estensione. I movimenti di rotazione (esterna e interna) sono limitati dalla tensione delle strutture articolari; in particolare, la rotazione esterna della gamba è limitata dai legamenti collaterali, mentre la rotazione interna è limitata dai legamenti crociati.



[7]

Figura 7 Artrocinematica attiva dell'estensione del ginocchio. A) prospettiva tibiale su femorale B) prospettiva femorale su tibiale



[8]

Figura 8 Meccanismo 'screw home rotation'

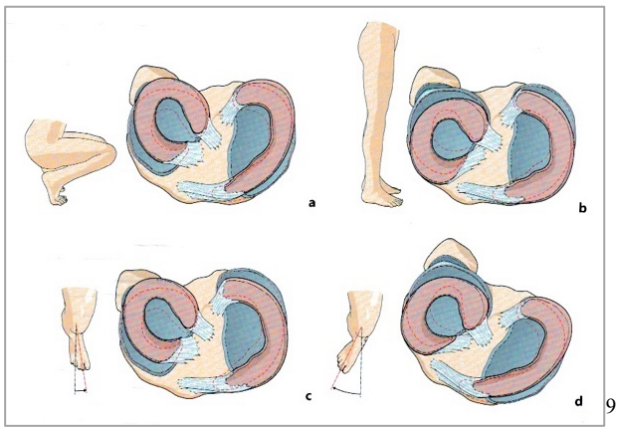
[7], [8] Neumann D.A. (2017) Kinesiology of the Musculoskeletal System, Foundations for Rehabilitation (3rd edition)

Spostamenti dei menischi

Come già detto precedentemente, i menischi risultano fissati ai piatti tibiali attraverso le corna anteriori e posteriori e ciò permette loro di adattarsi ai movimenti dei condili femorali sulla tibia. Analizziamo i loro spostamenti nei movimenti.

Nella flesso-estensione il punto di contatto tra condili femorali e piatti tibiali si sposta posteriormente in flessione e anteriormente in estensione; i menischi, in particolare in CCC, seguono questo movimento dei condili. Il menisco laterale arretra il doppio rispetto al menisco mediale. Nello spostamento si deformano (maggiormente l'esterno). Nell'estensione il maggior raggio di curvatura dei condili sulle superfici articolari tibiali determina il maggior contatto dei menischi con le superfici articolari e mette in tensione i legamenti collaterali. Nella flessione il minor raggio di curvatura dei condili sulle superfici articolari tibiali comporta una minor superficie di contatto dei menischi con i condili e detensiona i legamenti collaterali.

Nella rotazione assiale i menischi seguono sempre i movimenti dei condili sui piatti tibiali. Durante la rotazione esterna il menisco laterale va anteriormente rispetto alla superficie articolare tibiale, mentre il menisco mediale si sposta posteriormente. Durante la rotazione interna il menisco mediale va anteriormente rispetto alla superficie articolare tibiale, mentre il menisco laterale si sposta posteriormente [3].



[9]

Figura 9 Movimenti dei menischi sulla tibia destra durante la flessione (a), l'estensione (b), la rotazione interna (c) e la rotazione esterna (d)

[9] Morroni M. (2017); "Anatomia funzionale e imaging, sistema locomotore", Edi-Ermes

Spostamenti della rotula

Anche la patella, terzo elemento osseo dell'articolazione del ginocchio, deve adeguarsi ai cambiamenti dei rapporti tra femore e tibia. Nell'articolazione tra la troclea femorale e la faccia posteriore della patella la stabilità è garantita per la maggior parte dalla profondità della troclea femorale; i legamenti concorrono alla stabilità verso l'estensione, cioè quando la patella è meno a contatto con la troclea femorale.

Nella flessione del ginocchio con il femore fissato (si muove la tibia) la faccia articolare (o posteriore) della patella guarda in alto; se invece la tibia è fissata e si muove il femore, la patella si orienta all'indietro e in basso. Quindi nella flessione la patella trasla inferiormente rispetto al femore, e superiormente nell'estensione.

In realtà si ha poco contatto tra le superfici articolari ed è massimo tra i 90° e i 60° (solo il 30% dell'area di contatto).

Il movimento della patella avviene in senso longitudinale e in senso medio laterale: in massima flessione la patella è leggermente laterale, a 90°-60° si inizia a spostare medialmente, in massima estensione si trova leggermente mediale (movimento a c della patella). Questo movimento rotuleo viene descritto come tracking patellare.

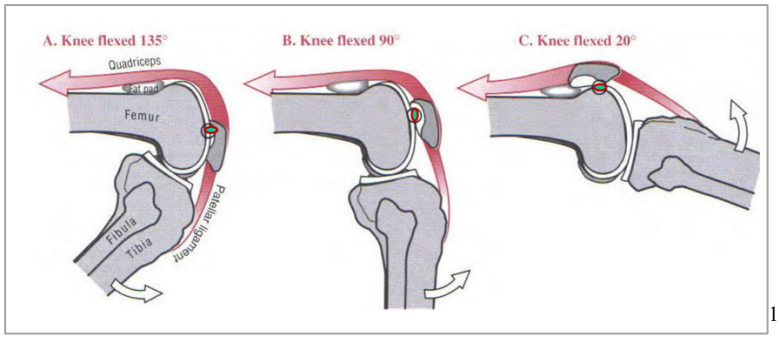
L'articolazione patello femorale è sottoposta a forti pressioni ed è per questo che ha lo spessore cartilagineo maggiore di ogni altra articolazione (4-5 mm) e la regione sottoposta a maggiore carico è quella laterale.

La patella ha un effetto stabilizzante, in quanto riduce l'avanzamento dei condili del femore nella flessione del ginocchio, alleggerendo pertanto il lavoro del legamento crociato posteriore e delle strutture capsulari dorsali dell'articolazione del ginocchio; fornisce una superficie ossea capace di far fronte alla compressione che viene esercitata sul tendine del muscolo quadricipite femorale quando si sta in ginocchio; la spessa cartilagine ialina della faccia posteriore della patella, insieme con la funzione lubrificante del liquido sinoviale, riduce notevolmente lo sfregamento (attrito) che si verifica nei movimenti di flessione ed estensione durante la corsa; permettendo lo spostamento anteriore del tendine rispetto all'asse articolare, la patella aumenta il braccio di leva del muscolo quadricipite femorale, ponendolo, nella sua azione nei confronti della tibia, in una posizione di vantaggio meccanico [1] e va a distribuire uniformemente le forze sull'osso sottostante.

La forza di reazione generata dal quadricipite genera la patello femoral joint reaction force (PFJRF) che è uguale e opposta alla risultante della tensione del tendine quadricipitale e il tendine patellare. È diretta superiormente, posteriormente e lateralmente. È di tipo compressivo, aumenta via via che si flette il ginocchio ed è sempre e comunque posteriore, perché i vasti, inserendosi posteriormente alla linea aspra del femore, determinano sempre un'azione compressiva del quadricipite anche in massima estensione.

La forza laterale del quadricipite è diretta anche lateralmente, quindi tenderebbe a lussare la patella. Per questo viene contrastata da 3 fattori: la forma del condilo laterale, la tensione del retinacolo mediale e del legamento patello-femorale mediale, la contrazione del vasto mediale obliquo (azione dinamica).

Nella rotazione assiale nel piano frontale, in posizione neutra, il tendine rotuleo è leggermente obliquo in basso e in fuori. Nell'intrarotazione il femore ruota esternamente trascinando in fuori la patella e il tendine rotuleo diventa obliquo in basso e in dentro. Nell'extrarotazione il femore ruota internamente trascinando in dentro la patella e il tendine rotuleo diventa obliquo in basso e in fuori [3].



[10]

Figura 10 Cinematica dell'articolazione femoro-patellare durante l'estensione attiva della tibia sul femore

Ruolo meccanico dei legamenti crociati

I legamenti crociati assicurano la stabilità antero-posteriore del ginocchio, permettono i movimenti a cerniera mantenendo sempre a contatto le superfici articolari. Sia che il femore ruoti all'esterno, sia che la tibia ruoti all'interno, si incontra sempre la tensione dei legamenti crociati.

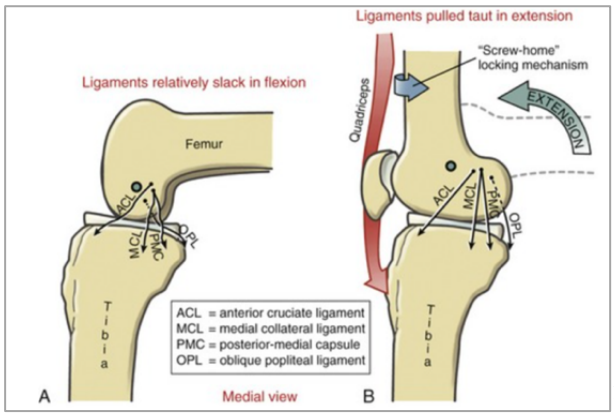
[10] Neumann D.A. (2017) Kinesiology of the Musculoskeletal System, Foundations for Rehabilitation (3rd edition)

I legamenti crociati hanno un ruolo prioritario nel movimento di scivolamento e rotolamento dei condili femorali sulla superficie tibiale. Nella flessione il LCA è responsabile dello scivolamento dei condili in avanti combinato con un rotolamento verso dietro. Nell'estensione il LCP è responsabile dello scivolamento dei condili indietro con il rotolamento in avanti. In particolare, ricordiamo che il LCA viene messo in tensione durante l'estensione del ginocchio, impedendo l'eccessivo scivolamento anteriore della tibia o lo scivolamento posteriore del femore sulla tibia; il LCP viene messo in tensione nella flessione del ginocchio, impedendo lo scivolamento anteriore del femore sulla tibia o lo scivolamento posteriore della tibia.

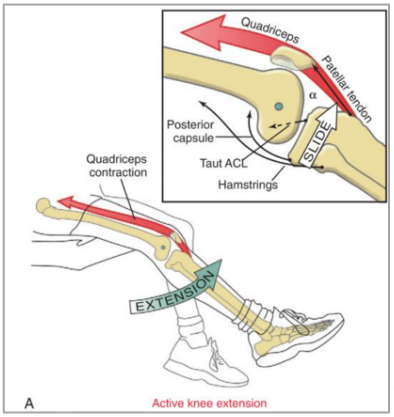
Il LCA è sottoposto alla forza di traslazione anteriore generata dal quadricipite verso la massima estensione. Infatti il quadricipite è considerato come l'antagonista del LCA. Questa traslazione potrebbe creare problemi dopo una ricostruzione di LCA quando si chiede di effettuare una contrazione isometrica con ginocchio vicino all'estensione. Si può notare anche che una contrazione isometrica del quadricipite con un ginocchio flesso a 90° non produce tensione a livello di LCA. Questo perché il quadricipite inverte la sua forza di taglio dall'estensione alla flessione intorno ai 45° di flessione, passando da anteriore a posteriore.

Il LCA è il principale stabilizzatore per la forza di taglio anteriore fino a 15° di flessione. Man mano che la flessione aumenta, intervengono anche stabilizzatori secondari, infatti a 90° la stabilità è garantita anche dal legamento collaterale mediale (LCM). Questo vuol dire che se effettuiamo un test di traslazione anteriore a 0-15° di flessione andremo a sollecitare direttamente il LCA; se lo facciamo a 90° si sollecitano anche altre strutture.

Il LCP è il freno principale alla traslazione tibiale anteroposteriore, in particolare con un ginocchio flesso a 90° e oltre. Verso l'estensione abbiamo un minor aumento di traslazione perchè intervengono freni secondari come il postero lateral corner (PLC) che è un insieme di strutture essenziale per la stabilità del ginocchio limitando l'estensione, la rotazione esterna e il varismo. Gli antagonisti del LCP sono gli Hamstrings, in quanto la loro contrazione determina una forza di taglio posteriore in tutto il range di flessione.



11



12

Figura 11 Allungamento relativo di LCM, legamento popliteo obliquo, capsula posteriore e LCA durante l'estensione di femore su tibia

Figura 12 Interazione tra contrazione muscolare e variazione di tensione nel LCA

Angolo Q

Sul piano frontale il femore è situato diagonalmente nella coscia, mentre la tibia è quasi verticale nella gamba. Questa situazione produce un angolo, a livello del ginocchio, fra gli assi delle due ossa. Questo angolo, chiamato clinicamente angolo Q (o angolo femororotuleo), è costituito da una linea immaginaria tracciata dalla spina iliaca anteriore superiore al centro della patella e da una seconda linea che unisce la tuberosità della tibia e il centro della patella [1]. Con il ginocchio in estensione corrisponde a circa 12° nell'uomo ed è maggiore nella donna a causa del maggior diametro trasverso della pelvi. Esistono: anglo Q statico e angolo Q dinamico (in un atterraggio).

[11] [12] Neumann D.A. (2017) Kinesiology of the Musculoskeletal System, Foundations for Rehabilitation (3rd edition)

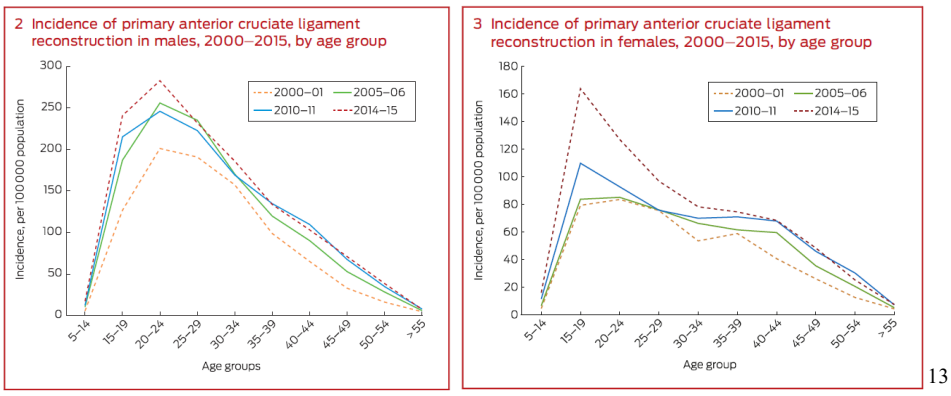
2. LESIONE DEL LEGAMENTO CROCIATO ANTERIORE (LCA) E MENISCO

2.1 Epidemiologia, fattori di rischio e meccanismi di infortunio del LCA e menisco

Epidemiologia lesione LCA

Le lesioni legamentose e meniscali sono abbastanza frequenti, soprattutto in ambito sportivo. L'incidenza di **rottura del LCA** nella popolazione europea (di età compresa tra i 10 e i 64 anni) è pari a 81 casi all'anno su 100.000 persone [4]. Solo negli USA si contano approssimativamente più di 250.000 infortuni e circa 100.000 operazioni chirurgiche di ricostruzione LCA annuali [5].

Una ricerca realizzata nel 2018 da un team australiano [6] mostra come la distribuzione delle lesioni del LCA interessi maggiormente la popolazione di giovane età e, in particolare, per il genere maschile l'età compresa tra i 20 e i 24 anni mentre per quello femminile la fascia d'età tra i 15 e i 19 anni (*fig.13*).



[13]

Figura 13 Incidenza di infortunio primario del LCA relativo all'età nel genere maschile e femminile [6]

Ovviamente l'incidenza maggiore sulla popolazione si ha nell'ambito sportivo dove, ogni anno, il 3% degli atleti a livello amatoriale e il 15% degli atleti di alto livello subisce un infortunio del LCA [7].

Gli sport più a rischio sono quelli caratterizzati da impatti ad alta energia col terreno (es. atterraggi monopodalici), da movimenti di pivoting e improvvise decelerazioni come nel

[13] Zbrojkiewicz D., Vertullo C., Grayson J. E.: "*Increasing rates of anterior cruciate ligament reconstruction in young Australians, 2000-2015*" Med. J. Aust., 2018; 208(8):354-358.

calcio, il basket, la pallavolo e lo sci [8] [9]. Inoltre, da un punto di vista di genere, le femmine riportano un rischio relativo (RR) tra le 2.4 e le 9.7 volte superiore rispetto ai maschi se considerati i medesimi sport [10] [11].

Meccanismi di infortunio del LCA

Le lesioni legamentose e meniscali possono essere da contatto (15%) o lesioni non da contatto o indiretto.

Le lesioni da contatto possono essere causate da:

- trauma anteriore che può verificarsi a ginocchio iperesteso (avremo lesione a LCA o PLC), o a ginocchio flesso (avremo lesione a LCP);
- forza laterale (avremo lesione a LCM e strutture mediali)
- forza mediale (avremo lesione a LCL e strutture laterali/PLC)
- contusione (avremo lesione a LCM).

Le lesioni non da contatto o contatto indiretto possono verificarsi:

- a ginocchio esteso (avremo lesione a LCA o sub-lussazione rotulea)
- a ginocchio flesso (avremo lesione a LCA o menisco).

Da un punto di vista epidemiologico [12]:

- LCA 20,3% di tutte le lesioni sportive, le atlete donne hanno un rischio aumentato di 1,5 volte rispetto agli uomini, indipendentemente dal livello di partecipazione;
- LCP da 0,65% a 44% di tutte le lesioni legamentose, dipende dal setting. Aumenta molto nel caso di incidenti automobilistici e in sport da contatto;
- LCM 7,9% di tutte le lesioni sportive;
- LCL 4% spesso sono parte di lesione multilegamentosa che coinvolge anche il PLC
- Lesioni legamentose multiple di ginocchio 0,8/100000 persona all'anno.

Si è visto che le lesioni combinate più frequenti sono:

- LCA + menisco mediale 23,4%
- LCA + LCM nel 17,6%
- LCA + menisco laterale nel 9,9%.

Per quanto riguarda le lesioni del legamento crociato anteriore il meccanismo traumatico non da contatto è il più frequente, compreso tra il 70 e 85% di tutte le lesioni sport

correlate. Queste lesioni spesso avvengono dopo un atterraggio da un salto, cambi di direzione, movimenti di taglio con decelerazione o di pivot con il ginocchio quasi esteso e il piede fissato a terra.

Il meccanismo tipico è lo stress in valgo che può avvenire durante un atterraggio, un movimento laterale e un contatto laterale; il meccanismo atipico avviene invece in iperestensione, varismo associato a intrarotazione.

In uno studio del 2020 di Della Villa [13] su rotture di LCA in calciatori professionistici è emerso che l'88% delle lesioni si è verificato senza contatto diretto del ginocchio, quindi il 12% si è verificato per contatto diretto. Tuttavia le lesioni da contatto indiretto (44%) erano frequenti quanto le lesioni senza contatto (44%), sottolineando quindi l'importanza della perturbazione meccanica.

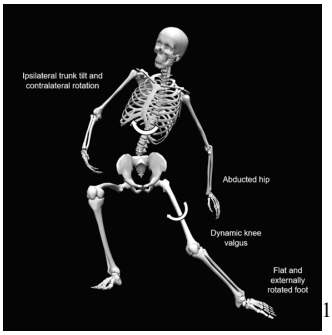
I quattro modelli situazionali principali per le lesioni del LCA senza contatto o contatto indiretto sono:

- Pressing
- Contrasto
- Recupero equilibrio dopo aver calciato
- Atterraggio da un salto

I dati di questo studio supportano la letteratura esistente che mostra che le lesioni del LCA si verificano generalmente nella flessione iniziale del ginocchio, con carico dinamico del ginocchio in valgo. [14], [15],[16], [17], [18], [19] Da IC (contatto iniziale) a IF (contatto iniziale più 40 ms), non si è verificato alcun cambiamento negli angoli del piano sagittale su articolazioni diverse dal ginocchio, con un aumento medio di 22,5° della flessione del ginocchio. Da una prospettiva del piano sagittale a IF stimato, il tronco è rimasto eretto (0°), con flessione dell'anca simile (37,5°), maggiore flessione del ginocchio (40°) e caviglia neutra (0°), con piede piatto piantato (89%). Sul piano frontale, il tronco è rimasto inclinato omolateralmente (5°), con maggiore prevalenza della rotazione del tronco verso il lato illeso (83%). L'anca è rimasta abdotta nella maggior parte dei casi (72%), con una maggiore prevalenza di ginocchio valgo (81%) e piede ruotato esternamente (66%). Il posizionamento intersegmentale più frequente a IF è riportato in *figura 14*.

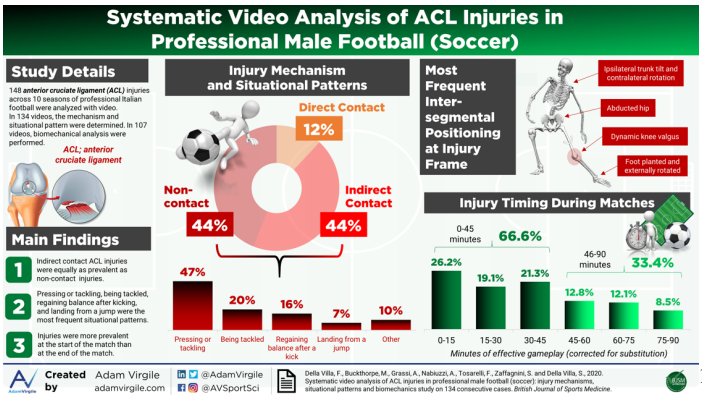
Le lesioni del LCA si verificano in genere con una forza di reazione al suolo diretta verticalmente da tre a quattro volte la massa corporea (2000–3000 N). [15] In questo

scenario sul piano sagittale, queste forze sarebbero probabilmente concentrate preferenzialmente sul ginocchio, predisponendolo alla lesione. Questa strategia preferenziale di carico del ginocchio è stata accompagnata da movimenti del piano frontale e trasversale alterati, ritenuti essenziali nella lesione del LCA. [20] Sono stati trovati ginocchio valgo e carico di tipo valgo da IC a IF, in modo simile a quanto trovato da autori precedenti. [18], [19] Allo stesso modo, il movimento di abduzione dell'anca era comune, [18], [19] con un aumento significativo della rotazione interna dell'anca e/o dell'adduzione (movimento mediale della coscia) da IC a IF nella maggior parte dei casi (69%). Questo comune aumento del movimento sul piano frontale è probabilmente dovuto all'elevato momento di abduzione del ginocchio, determinato dall'abduzione dell'anca [21], [22] su una posizione del piede orientata lateralmente e piantata fuori dalla base di appoggio. [21], [23]



[14]

Figura 14 Meccanismo frequentemente osservato per lesioni LCA senza contatto



[15]

Figura 15 Video Analisi sistematica degli infortuni LCA nel calcio professionistico maschile

[14] ,[15] Della Villa F, Buckthorpe M, Grassi A*, et al* 'Systematic video analysis of ACL injuries in professional male football (soccer): injury mechanisms, situational patterns and biomechanics study on 134 consecutive cases' British Journal of Sports Medicine 2020

Negli sport a più alta incidenza di infortunio del LCA sono stati individuati dei particolari movimenti che, se eseguiti fuori controllo e coordinazione, possono correlarsi ad un infortunio e sono [4]:

- cambio di direzione;
- atterraggio monopodalico;
- decelerazione / frenata;

Questi movimenti sono comuni a molti sport e si ripetono più e più volte nel corso di una partita o di un allenamento. Maggiori sono l'intensità dell'attività e la velocità con cui vengono eseguiti, maggiore potrebbe essere il rischio di lesione [4].

Ai tre movimenti sopracitati si attribuisce l'associazione causale del momento in valgo-dinamico del ginocchio per cui si intende un mal allineamento posturale di svariati segmenti corporei dovuto a un deficit di forza muscolare, di coordinazione ed equilibrio che determinano questo pattern motorio disfunzionale [24].

Il valgo-dinamico è stata descritto in letteratura come la posizione del corpo in cui l'articolazione del ginocchio collassa medialmente ed è considerato il principale meccanismo di infortunio del LCA [25] [26] [4]. Questa posizione rappresenta una combinazione di:

- adduzione e rotazione interna del femore;
- flessione ginocchio 10-30°;
- abduzione e rotazione esterna tibiale;
- eversione di caviglia;

Sul piano frontale nel valgo dinamico la Forza di Reazione al Suolo – Ground Reaction Force (GRF), diretta verso il centro di massa del corpo (COM), passa lateralmente all'articolazione del ginocchio generando un maggiore momento in valgismo ed è stato dimostrato, da uno studio anatomico su cadaveri, come questa particolare configurazione posturale determini un aumento di tensione al LCA e il conseguente aumento di rischio di infortunio [27].

Il meccanismo traumatico tipico considera 3 fattori potenzialmente dannosi:

- attivazione eccentrica del quadricipite a ginocchio leggermente flesso o completamente esteso
- caduta in valgo
- eccessiva rotazione esterna del ginocchio.

Quando avviene il meccanismo traumatico solitamente avviene una sublussazione del piatto tibiale esterno che può causare un trauma secondario ad altri tessuti come: osso, cartilagine articolare, menischi, LCM.
L'80% delle lesioni di LCA sono associate a bone bruises (lesione osteocondrale acuta) del condilo laterale o della superficie posterolaterale tibiale per elevate forze compressive o momento valgizzante [28].

Fattori di rischio non modificabili [29]:

- genere femminile;
- gola intercondiloidea più piccola;
- volume di LCA minore;
- posterior tibial slope più verticale;
- angolo Q aumentato;
- lassità legamentosa;
- allineamento dell'arto: aumentata pronazione sottoastragalica, eccessivo drop naviculare, ginocchio recurvato;
- precedente lesione LCA;
- predisposizione genetica.

Fattori di rischio modificabili:

- <u>Intrinseci</u>
    - BMI alto;
    - deficit neuromuscolare e biomeccanici;
    - stato ormonale, fase preovulatoria aumenta il rischio di lesione LCA;
    - condizione fisica (forza/potenza muscolare, resistenza alla fatica, articolarità, equilibrio posturale);
    - condizione psicologica (competività, motivazioni, percezione del rischio).
- <u>Estrinseci</u>
    - calzature;
    - superfici di gioco;
    - condizioni atmosferiche;
    - livello della competizione;
    - tipo di sport.

Per quanto riguarda i deficit neuromuscolari e biomeccanici, le donne tendono ad avere una dominanza quadricipitale maggiore rispetto agli uomini con rapporto hamstring/quadricipite maggiore. Il rapporto H/Q dovrebbe essere maggiore del 60%. Le donne sollevano di più con il quadricipite rispetto agli hamstring. Rispetto agli uomini le donne mostrano una minor flessione d'anca e ginocchio, aumentato valgismo di ginocchio, aumentata intrarotazione di anca e extrarotazione di tibia durante la discesa dal salto o manovre di cutting e pivoting.
Questo implica strategie di atterraggio più rigide e un valgo dinamico aumentato.

Epidemiologia lesione meniscale

Le **lesioni meniscali** possono essere di origine traumatica o degenerativa. Quelle di origine traumatica sono più frequenti tra i giovani e gli sportivi e avvengono in seguito ad una violenta sollecitazione che supera la massima resistenza del tessuto cartilagineo che li compone. Dal punto di vista epidemiologico si è visto che in Svizzera il 57% erano presenti in ginocchia sintomatiche e il 36% in ginocchia asintomatiche, negli USA il 32% in ginocchia sintomatiche e il 23% in ginocchia asintomatiche, negli atleti è asintomatica nel 31,1% dei casi [32].
In letteratura si è visto che tutte le popolazioni sono soggette a lesioni meniscali quando il ginocchio è sottoposto a una forza esterna che provoca una torsione. La prevalenza delle lesioni meniscali è di circa il 12%-14%, con un'incidenza approssimativa di 61 casi ogni 100000 persone [31][33]. Le lesioni acute legate a traumi sono prevalenti nelle popolazioni giovani attive e in quelle impegnate in attività sportive.
D'altra parte, le lesioni degenerative del menisco colpiscono la popolazione anziana. Costituiscono il 30% di tutte le lesioni meniscali con un picco di incidenza di 41-50 anni negli uomini e 61-70 nelle donne

Vi è una maggiore incidenza di lesioni meniscali con lesione del legamento crociato anteriore (ACL) che varia dal 22% all'86% [31]. La lesione acuta del LCA era principalmente associata a rotture del menisco laterale mentre la lesione cronica dell'ACL era associata a rotture del menisco mediale [34]. Negli Stati Uniti, degli 850.000 casi stimati all'anno, dal 10% al 20% degli interventi chirurgici ortopedici comporta la

chirurgia del menisco con oltre 50.000 meniscectomie e 3.000 riparazioni meniscali eseguite ogni anno [31], [33] [35].

Meccanismi di infortunio del menisco

In particolare, le lesioni meniscali sono causate da una combinazione di carico assiale e forze di rotazione che creano una forza di taglio sul menisco [30]. In altri casi la rottura meniscale può verificarsi in seguito a movimenti di iperflessione o iperestensione. Le lesioni traumatiche sono spesso verticali o oblique e si possono estendere dal corno posteriore verso il corno anteriore mantenendo un'inserzione anteriore e posteriore.
Le lesioni degenerative invece si sviluppano lentamente e sono secondarie allo stress cumulativo correlato all'età e alla degenerazione del tessuto meniscale che con il passare degli anni diventa più fragile e meno elastico. Queste lesioni possono essere o meno secondarie ad un trauma, a differenze delle lesioni acute [31].

I sintomi sono in genere dolore, gonfiore, cedimento dell'articolazione e fenomeno di blocco del movimento causato dai frammenti di menisco che interferiscono o con la normale mobilità del ginocchio.

Fattori di rischio non modificabili [34]:

- il sesso, dove l'incidenza negli uomini è 2,5 volte maggiore rispetto alle donne [36];
- piatto tibiale biconcavo;
- un menisco discoide;
- persone con allineamento degli arti inferiori;
- lassità legamentosa.

Fattori di rischio modificabili [34]:

- indice di massa corporea elevato;
- alcune occupazioni, come accovacciarsi, sollevare e trasportare pesi, salire le scale;
- atleti e persone impegnate in attività legate allo sport.

2.2 Modalità di intervento dopo lesione LCA

La rottura del LCA è un evento traumatico molto grave per quanto riguarda la stabilità articolare del ginocchio e quindi potrebbe, se non trattata, essere l'evento determinante per la cessazione dell'attività.

L'intervento chirurgico ha lo scopo di ricostituire nel miglior modo possibile la condizione strutturale articolare pre-traumatica rimpiazzando il LCA originario, danneggiato o lacerato completamente, con componenti sostitutive in grado di soddisfare le richieste di carico biomeccaniche del ginocchio.

La chirurgia non è l'unica strada percorribile a seguito di un danno al LCA in quanto è possibile optare anche per un trattamento di tipo conservativo. Questa scelta è complessa e deve tenere conto di numerosi elementi quali: età del paziente, grado di instabilità, presenza o meno di lesioni associate (menisco, cartilagine o altri legamenti) ed anche livello di attività sportiva praticata. La lesione del LCA nei giovani e negli sportivi pone in genere un'indicazione all'intervento chirurgico. Nel caso in cui non si proceda alla ricostruzione chirurgica, a volte viene consigliato al paziente l'astensione dalle attività sportive o dalle attività lavorative/ricreative pesanti che, facendo accumulare nuovi traumi, possono portare il ginocchio a sviluppare artrosi [37] o a lesionare anche le altre strutture sane.

Il compito della chirurgia è quindi quello di ricreare le condizioni strutturali del ginocchio mentre l'obiettivo della fisioterapia è quello di ripristinarne completamente la funzionalità e di condurre il paziente a riacquisire le performances pre-infortunio, oltre che istruirlo ed allenarlo allo scopo di prevenire eventuali recidive.

Esistono svariati trattamenti chirurgici per la ricostruzione del LCA. Di seguito viene riportata una panoramica generale delle tecniche attualmente più in uso:

- **Ricostruzione con Semitendinoso e Gracile (ST-GR):** questa tecnica è attualmente la più esercitata in assoluto in ambito chirurgico del LCA ed ha superato negli ultimi anni il metodo utilizzante il tendine rotuleo. La tecnica è semplice, facilmente riproducibile e standardizzabile e viene eseguita in artroscopia (senza aprire l'articolazione). L'intervento consiste nel ricostruire il legamento lesionato con alcuni tendini della coscia (semitendinoso e gracile) prelevati dallo stesso arto attraverso una piccola incisione sotto il ginocchio, vengono fatti passare all'interno del ginocchio e fissati in due tunnel ossei, uno

nel femore e uno nella tibia, con placchette metalliche o altro materiale riassorbibile. I tempi di fissazioni del neo-legamento nel caso di ricostruzione con semitendinoso e gracile sono di 12 settimane [38], [39]. Il ST-GR da minor dolore anteriore dl ginocchio, minor dolore all'accovacciamento e maggior riduzione di forza degli ischiocrurali ad un anno. Nella fase riabilitativa bisognerà rispettare i tempi di guarigione dei muscoli flessori della coscia da cui è stato effettuato il prelievo.

- **Ricostruzione con Tendine Rotuleo:** l'intervento consiste nel sostituire il legamento lesionato con una porzione di tendine rotuleo prelevato dallo stesso ginocchio. Questo intervento viene eseguito in artroscopia, ovvero senza aprire l'articolazione. Il tendine prelevato viene fatto passare all'interno del ginocchio e fissato nei tunnel ossei con viti o altro materiale riassorbibile, andando così a sostituire il legamento lesionato. I tempi di fissazione del neo-legamento sono 8 settimane. Questo tipo di intervento tende ad indebolire l'apparato estensore del ginocchio e pertanto carichi eccessivi in riabilitazione possono causare fastidiose tendinopatie a carico del tendine rotuleo e del tendine quadricipitale ritardando i tempi di recupero.
- **Ricostruzione con Allograf (tendine da donatore):** prevede l'impianto di un tendine prelevato da un donatore. In questo caso il vantaggio è che non è necessario prelevare materiale dallo stesso paziente ed indebolire quindi altre parti della muscolatura mentre le criticità sono rappresentate da un maggior rischio di trasmissione di malattie, tempi più lunghi di fissazione dell'innesto e un sensibile indebolimento della forza dello stesso [40]. La ricostruzione con allograft viene utilizzata solitamente in caso di interventi di revisione o in caso di ricostruzione di più legamenti in uno stesso momento.

Il BPTB graft (autograf con il tendine patellare) è quello statisticamente più stabile, ma con possibile rischio di lag sign e dolore femoro-rotuleo. Preferibile nei soggetti di sesso femminile che presentano dominanza quadricipitale e ridotta forza del complesso hamstring post trauma distorsivo.

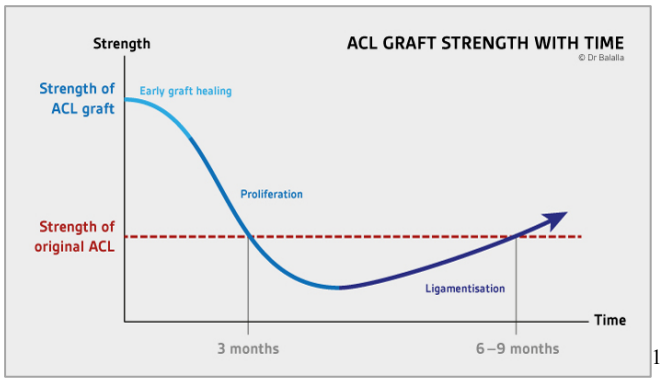
HT graft (autograf con gli hamstring) presenta buone qualità meccaniche in vitro ma più lento attecchimento osseo [41], [42]. HT è considerato il graft che presenta maggior forza meccanica ai test in vitro [42].

Le proprietà meccaniche del graft sono influenzate dalla fase di rimodellamento che ha una durata potenziale di circa 120 mesi [43].

È presente un'enorme variabilità di dati in letteratura; la fase di rimodellamento del BPTB graft è più rapida del HT graft (6-7 mesi vs 12 mesi) [43].

I cambiamenti biologici a cui il neo-legamento viene sottoposto sono innumerevoli.

Studi recenti [44] [45] dimostrano che la forza del graft è massima nella prima fase del processo di guarigione e tende a raggiungere il minimo dai 3 ai 6 mesi risultando più vulnerabile meccanicamente e metabolicamente a causa di interazioni indotte dal sistema immunitario, per poi riprendere forza nella fase successiva (*figura 15*).



[16]

Figura 16 Forza dell'innesto del neo-legamento nel tempo

Questi dati giustificano l'importanza del rispetto dei tempi di recupero per il ritorno allo sport.

2.3 Modalità di intervento dopo lesione meniscale

La lesione del menisco è una delle più frequenti che si verificano nel ginocchio, soprattutto in ambito sportivo. Come abbiamo visto precedentemente, il menisco è una struttura quasi completamente avascolare, cioè priva di vasi sanguigni (zona bianca), con la sola eccezione del margine periferico che si inserisce sulla capsula articolare (zona rossa). Questo spiega perché nella maggior parte dei casi in seguito a lesione non sia capace di andare incontro spontaneamente a processi riparativi e di guarigione.

[16] https://kneesurgerysydney.com.au/acl-recovery/

Per quanto riguarda la lesione meniscale traumatica, la fase immediatamente successiva all'evento è uguale per tutti i casi, ovvero si procede con crioterapia e riposo, con lo scopo di diminuire dolore e gonfiore. In seguito, in base alla gravità e alla sede della lesione e ai sintomi del soggetto, le strade da percorrere sono fondamentalmente due:

- Trattamento conservativo: se il ginocchio è stabile e funzionale, senza segni di blocco articolare. È sufficiente lavorare con una buona fisioterapia. La terapia non riuscirà ad intervenire sulla riparazione del menisco ma agirà per la riduzione dei sintomi, il recupero articolare, il rinforzo propriocettivo, la rieducazione del passo fondamentale dopo un trauma.
- Trattamento chirurgico: quando il ginocchio è limitato nella mobilità, magari perché un frammento di menisco si interpone nella rima articolare, è necessario intervenire chirurgicamente. Inizialmente il trattamento chirurgico asportava completamente il menisco ma, negli anni, studi hanno dimostrato che gran parte dei pazienti che si sottoponevano all'asportazione totale andavano poi incontro ad artrosi o patologie degenerative del ginocchio. Oggi infatti le tecniche chirurgiche tendono a salvaguardare il più possibile il menisco, viste anche le sue importanti funzioni, e si opta generalmente per due tipi di intervento che si eseguono entrambi in artroscopia:
    - **Sutura meniscale o meniscopessi**: nei casi in cui la lesione si trovi nella zona maggiormente vascolarizzata del menisco e quindi ci siano buone possibilità di riparazione dei tessuti. Vengono posizionati dei veri e propri punti di sutura per accostare i margini della lesione, verificandone poi la stabilità.
    - **Meniscectomia selettiva**: in cui viene asportata solo la parte lesionata del menisco mantenendo la restante porzione per proteggere la cartilagine.

2.4 La riabilitazione dopo ricostruzione LCA, LCA+meniscectomia parziale, LCA+sutura meniscale, stato dell'arte

L'obiettivo ultimo della fisioterapia in una persona che pratica attività sportiva è quello di mettere tale persona in condizione di ritornare a praticare il proprio sport in modo ottimale, ottenendo le medesime performance sportive della condizione atletica pre-infortunio. In realtà il tasso di ritorno al livello di gioco pre-infortunio per gli atleti non professionisti dopo ricostruzione di LCA è del 65%, con solo il 55% dei pazienti che torna a praticare sport agonistici [46]. Fattori psicologici come la fiducia nei propri mezzi, la capacità di controllo e la paura del reinfortunio hanno influenza sul processo riabilitativo e sul ritorno al gioco dopo ricostruzione di LCA [47][48]. Anche la compliance del paziente è un elemento predittivo fondamentale per raggiungere gli outcome, infatti si è visto come pazienti completamente complianti hanno un tasso di RTS intorno all'85%, mentre pazienti con compliance inferiore intorno al 50% di RTS [49].

In realtà la **riabilitazione dopo intervento di LCA** è un percorso lungo e faticoso che dovrebbe cominciare immediatamente dopo la sua ricostruzione e proseguire fino a 9-12 mesi, a seconda degli obiettivi finali di lavoro o di gioco del paziente. Questo periodo riabilitativo è necessario per consentire il ripristino della forza del neo-legamento e il ritorno allo sport ad alta intensità o al lavoro fisicamente impegnativo [50][51].

Quando possibile, la prima fase dell'intervento fisioterapico dovrebbe iniziare già in fase pre-operatoria. L'obiettivo iniziale è quello di risolvere il quadro infiammatorio, poi dare priorità al recupero del ROM (in particolare la completa estensione di ginocchio) e infine al miglioramento della forza muscolare. È stato dimostrato come eseguire un programma di fisioterapia pre-operatorio migliori gli outcome post-operatori garantendo una minore rigidità di ginocchio e, più in generale, un accorciamento dei tempi di recupero [4].

Una revisione sistematica del 2016 [50] ha messo in evidenza come il progetto riabilitativo sia in prevalenza stabilito in relazione al tempo trascorso dall'intervento chirurgico. Questo tipo di approccio *"TIME-BASED"* è configurato principalmente sul processo di rimodellamento del neo-legamento ponendo in secondo piano gli outcome funzionali della persona.

Tuttavia, poiché in verità non è possibile stabilire a priori l'evoluzione temporale del recupero globale della persona, in quanto ogni singolo caso ha una molteplicità di variabili tale da renderlo unico, lo stesso articolo [50] indica come, invece, sia più

ragionevole determinare un percorso terapeutico basato sulla funzionalità. Questo approccio fisioterapico, per l'appunto chiamato *"FUNCTION-BASED",* si suddivide in fasi funzionali (o "semafori") con una progressione basata su obiettivi. Questo è relativamente nuovo nella riabilitazione, ma assicura un percorso più su misura per il paziente [52][53]. I pazienti possono iniziare la fase successiva solo se vengono raggiunti obiettivi specifici della fase precedente e questi devono essere confermati con test oggettivi [50]. Se invece l'obiettivo non è stato raggiunto si deve tornare indietro e cercare di capirne il motivo.

Nonostante sia uno degli argomenti più discussi in letteratura, ancora oggi non ci sono della linea guida di trattamento e gestione best practice. Non esiste nessun protocollo validato per la riabilitazione del legamento crociato anteriore.
Non esiste quindi un approccio riabilitativo LCA gold standard ma, una riabilitazione basata su criteri è considerata essere la migliore strategia di gestione attraverso la programmazione di fasi e il raggiungimento di obiettivi intermedi [54]. Il processo di recupero funzionale può essere suddiviso in 5 fasi tempo e obiettivo dipendente: fase pre-operatoria, precoce-iniziale, intermedia, avanzata-finale (RTP), return to sport (RTS) [55].

La riabilitazione pre-operatoria mira a preparare il soggetto all'intervento, normalizzando il pattern del cammino, la funzionalità del ginocchio, minimizzando il versamento articolare e migliorando il reclutamento qualitativo del quadricipite. La letteratura scientifica mette in luce che la pre-riabilitazione, ovvero un programma pre-chirurgico di 5–6 settimane si traduce in esiti post chirurgici a breve e lungo temine sensibilmente migliori rispetto a coloro che non la attuano [56][57].

La fase iniziale è focalizzata sul controllo e riduzione del dolore e del gonfiore, sul recupero di una sufficiente mobilità articolare tale da permettere l'esecuzione di attività di vita quotidiana e un miglioramento della percezione e reclutamento del quadricipite [58].
Il deficit iniziale del quadricipite non è debolezza ma inibizione muscolare artrogenica (AMI), un processo per cui l'insufficiente attivazione del quadricipite è causata da

un’inibizione neurale mediata da: dolore, gonfiore, infiammazione. Le unità motorie ad alta soglia vengono in gran parte inibite e silenziate dal sistema nervoso centrale.

I criteri necessari da soddisfare nella fase iniziale per poter poi passare alla fase intermedia sono [55]:

- dolore, non superiore a 2/10 scala NRS;
- gonfiore, stroke test<1;
- estensione completa, sia attiva che passiva;
- flessione, almeno 120°;
- reclutamento quadricipite;
- pattern cammino normalizzato.

Il dolore e il gonfiore sono due parametri necessari da normalizzare il più velocemente possibile in quanto considerati barriere al recupero neuro-motorio.

L’estensione completa inoltre permette un reclutamento di maggior qualità del quadricipite. Mentre un cattivo reclutamento dopo 5 settimane post intervento è da considerare predittivo per una debolezza futura a 6 mesi.

Il carico immediato dovrebbe essere tollerato solo se c'è un modello di andatura corretto (se necessario con le stampelle) e nessun dolore, versamento o aumento della temperatura durante la deambulazione o poco dopo la deambulazione. La crioterapia potrebbe eventualmente essere applicata nella prima settimana postoperatoria per ridurre il dolore [59]. Durante la prima settimana si può cominciare con esercizi isometrici del quadricipite per riattivarlo, quando non provocano dolore [60], [61]. In aggiunta l'elettrostimolazione può essere utile per rieducare la contrazione volontaria del muscolo quadricipite durante le prime settimane postoperatorie [62], [63].

Le principali considerazioni per la fase intermedia possono essere raggruppate in 3 categorie [55]:

- forza muscolare;
- qualità di movimento;
- fitness cardio-respiratorio.

Per ottimizzare i risultati dopo la riabilitazione, l'allenamento neuromuscolare dovrebbe essere aggiunto all'allenamento della forza secondo Gokeler *et al* [64] e Kruse *et al* [65] L'allenamento neuromuscolare è definito come un allenamento che migliora le risposte motorie inconsce stimolando segnali afferenti e meccanismi centrali responsabili del controllo dinamico dell'articolazione [66].
Nella letteratura sulla riabilitazione dopo ACLR c'è una mancanza di focus sulla valutazione e sull'allenamento della qualità del movimento come misura del recupero neuromuscolare. L'importanza di concentrarsi maggiormente sulla qualità del movimento è sottolineata dal fatto che la funzione neuromuscolare e la biomeccanica alterate dopo l'ACLR potrebbero essere un fattore di rischio per una seconda lesione del LCA [70], [71], [72]. Un miglioramento della qualità del movimento può essere osservato come effetto dell'apprendimento motorio.
Una volta che si è ripristinato un buon movimento svolto in maniera corretta si può aggiungere l'allenamento della forza [64].

Quando il quadricipite viene riattivato, in sostituzione degli esercizi isometrici devono essere utilizzati esercizi concentrici e successivamente eccentrici, a condizione che il ginocchio non reagisca con versamento o dolore. L'allenamento della forza del quadricipite può essere eseguito in CCC e CCA. Gli esercizi concentrici CCC possono essere eseguiti dalla settimana 2 dopo l'intervento [50]. Le revisioni di Gokeler [64] e Kruse [65] ritengono che un training eccentrico del quadricipite (CCC) può essere introdotto con sicurezza 3 settimane dopo ricostruzione di LCA e potrebbe essere più efficace nel recuperare la forza del quadricipite.
Per gli esercizi in CCA dovrebbe esserci una distinzione tra ACLR con innesto BPTB (tendine patellare) o innesto HS (tendini gracile-semitendinoso). Per BPTB, gli esercizi CCA possono essere avviati da 4 settimane dopo l'intervento in un ROM ristretto di 90–45° ed è consentita una resistenza extra, ad esempio, su una macchina leg extension. Anche per l'HS, gli esercizi CCA possono essere avviati a partire da 4 settimane dopo l'intervento in un ROM ristretto di 90–45°, ma senza aggiungere peso extra nelle prime 12 settimane per prevenire l'allungamento dell'innesto [67],[68]. Il ROM può essere aumentato a 90–30° nella 5° settimana, a 90–20° nella 6° settimana, a 90–10° nella 7° settimana e al ROM completo nella settimana 8 per entrambi i tipi di innesto [69].

La priorità chiave della riabilitazione in fase intermedia è il ripristino almeno sub-totale della forza del complesso estensorio del ginocchio.
Tale parametro dovrebbe essere non superiore al 20% di differenza entro la fine della fase intermedia, elemento necessario per strutturare l'ultimo stage del processo riabilitativo. Deficit superiori al 20% stanno a significare scarsa funzionalità dell'intero arto inferiore e rischio di re-injury futuro.
È importante pianificare un programma che esponga il soggetto a tutti i tipi di carico e soprattutto che crei una tolleranza incrementale.
Il carico viene dissipato a livello del sistema neuro-muscolare e assorbito passivamente da strutture tendinee, legamentose e ossee. Un deficit di forza significherebbe una minor capacità di assorbimento eccentrica degli stress meccanici durante compiti motori ad alta richiesta ed una maggior dipendenza da complessi articolari per l'assorbimento passivo.
È quindi importante comprendere come il carico viene distribuito a livello del sistema neuro-muscolo-scheletrico analizzando e interpretando la cinematica del movimento.
La pianificazione nel breve periodo deve essere ragionata quindi in termini di [73]:

- picco di carico tensile e forze di taglio sul legamento in relazione al tempo biologico;
- volume di lavoro complessivo;
- soggettività.

Dunque, un elemento chiave per la progressione degli esercizi è conoscere l'impatto che questi hanno sul neo-legamento.
Gli studi di Escamilla e colleghi del 2012 [74] hanno cercato di analizzare questo argomento:

- gli esercizi in catena cinetica chiusa riducono gli stress sul neo-legamento;
- gli esercizi con maggior flessione di tronco aumentano il reclutamento degli hamstring e quindi la protezione sul neo-legamento;
- gli esercizi non-weight bearing (NWB) e weight-bearing (WB) con un angolo di flessione > 60° producono minimo stress sul legamento;
- il picco di strain sul legamento viene raggiunto tra i 10 e 15 gradi di flessione in catena cinetica aperta;
- una leg extension isometrica a 60° produce 0% di strain mentre a 15° produce 4%.

Ancora, rapide accelerazioni e decelerazioni, cambi di direzione e atterraggi da box ad una gamba presentano alti livelli di stress sul neo-legamento vicini ai 1800N.

Oltre alla sfera meramente meccanica, è importante analizzare la percezione del soggetto. Tutti gli esercizi che vengono somministrati dovrebbero essere pain free o almeno tollerabili per il soggetto, soprattutto quelli ad alto carico.
La progressione tra un esercizio e l'altro o tra un carico e l'altro dovrebbe avvenire solamente quando il soggetto è in grado di gestire il compito senza dolore e senza reazioni edemigene indotte nelle successive ore post training. Questo perché, come ribadito in precedenza, gonfiore e dolore sono due limitatori che ridurrebbero l'output motorio [73]. L'obiettivo riabilitativo è dunque creare una progressione di movimento e di carico tollerabile per il soggetto.

L'ultima fase riabilitativa è quella definita avanzata, dove gli obiettivi sono quelli di tradurre in termini sport-specifici le abilità e capacità create in un ambiente closed skill. Qui il lavoro di strength training, power training, agility, speed training dovrà essere mantenuto in parallelismo a compiti sport specifici ricreando situazioni di gioco il più realistiche possibili sotto ogni punto di vista: situazionale, motivazionale, di fatica, distrattivo [75].
L'obiettivo dell'ultima fase è rendere il soggetto rispondente a stimoli variabili e distrattivi in contesti di gioco caotici e complessi in modo da mettere in grande difficoltà e in situazione di problem solving il sistema nervoso centrale [75].

In ultimo, è da analizzare anche la sfera emotiva-affettiva e comportamentale del soggetto ricordando che elementi come la paura potrebbero giocare un ruolo cardine nel re-injury. Uno studio prospettico di 2 anni [51] ha mostrato che nei primi 2 anni dopo la ricostruzione del LCA il 30% delle persone che sono tornate allo sport di livello I ha subito un reinfortunio rispetto all'8% di coloro che hanno praticato sport di livello inferiore. Per ogni mese in cui il ritorno allo sport è stato ritardato, fino a 9 mesi dopo la ricostruzione del LCA, il tasso di reinfortunio del ginocchio è stato ridotto del 51%. Inoltre una forza del quadricipite più simmetrica prima del ritorno allo sport ha ridotto significativamente il tasso di reinfortunio del ginocchio.

Concludendo, la riabilitazione del LCA è estremamente complessa e multi-disciplinare e comporta innumerevoli abilità da parte del clinico: capacità di monitoraggio e programmazione a lungo termine basata su criteri di progressione, rispetto di tempi biologici, conoscenza dei fondamentali cinematici e cinetici, capacità di monitorare il dosaggio terapeutico dell'esercizio, conoscenza della biomeccanica dell'esercizio e infine capacità comunicative, relazionali e motivazionali da parte del clinico.

Nel caso in cui oltre a una lesione del LCA ci sia concomitante anche una lesione del menisco, in base alla sede di lesione si deciderà di proseguire, oltre che con ricostruzione del LCA, con una meniscectomia parziale o con una sutura meniscale.
La lesione meniscale coincidente è un fattore da considerare nel recupero dopo l'ACLR, poiché l'integrità del menisco è importante per la protezione dell'innesto del LCA ricostruito, la salute delle articolazioni a lungo termine e la prevenzione dello sviluppo dell'artrosi [76]. Questi risultati hanno portato a una tendenza crescente nell'affrontare il menisco con la riparazione (sutura) o la meniscectomia parziale entrambe eseguite al momento dell'ACLR. Uno studio nazionale ha rilevato che l'incidenza delle riparazioni meniscali al momento dell'ACLR è aumentata del 73% tra il 2002 e il 2014 [77]. Sebbene la meniscectomia parziale sia eseguita più spesso al momento dell'ACLR, [76] l'aumento della riparazione del menisco è particolarmente importante perché può influenzare la riabilitazione postoperatoria e limitare il carico o il ROM. Con questa tendenza in aumento, è importante essere consapevoli dei limiti e di come i vari interventi chirurgici influenzino il ritorno alle attività.

Nel caso di **ricostruzione del LCA e annessa meniscectomia parziale**, il protocollo riabilitativo risulta essere uguale a quello utilizzato in caso di ricostruzione di LCA isolato, ovvero carico parziale per le prime settimane e recupero graduale del ROM, riduzione del dolore e del versamento, riduzione dell'adesione del tessuto cicatriziale, miglioramento dell'attivazione del quadricipite e una volta che la ferita è asciutta si prosegue anche con la riabilitazione in acqua.

Nel caso in cui invece oltre alla **ricostruzione del LCA** venga eseguita anche una **sutura meniscale**, il protocollo riabilitativo deve subire delle variazioni. Gli obiettivi della riabilitazione si concentreranno inizialmente sulla protezione del processo di guarigione del menisco, in modo che possa cicatrizzare e ritornare alla sua funzionalità, e del legamento. Per tale scopo, il ginocchio dovrà essere protetto da una ginocchiera articolata, la flessione dell'articolazione non dovrà superare i 90° per i primi 30 giorni dall'intervento chirurgico e c'è divieto di carico o carico sfiorato sempre per i primi 30 giorni. Nelle fasi successive sarà consentito un incremento dell'arco di movimento, oltre ad un carico progressivo. Anche in caso di ricostruzione LCA e sutura meniscale, una volta rimossi i punti di sutura e quando la ferita risulta asciutta si prosegue con la riabilitazione in acqua facendo particolare attenzione a svolgere esercizi in scarico, quindi con tavolette, tubi galleggianti, in acqua alta, senza eseguire i vari tipi di andature e esercizi in carico almeno fino al nullaosta da parte del medico. Una volta concesso il carico si proseguirà con la rieducazione del passo, recupero del ROM completo, esercizi propriocettivi, per poi arrivare, intorno al 3° mese a esercizi di rinforzo a catena cinetica chiusa (CCC) e progressivo recupero del trofismo a catena cinetica aperta (CCA).

3. RIABILITAZIONE IN ACQUA

3.1 Generalità

La riabilitazione in acqua è considerata un vero e proprio approccio valutativo e riabilitativo globale che sfrutta l'acqua come setting terapeutico e come elemento che determina modificazioni dei comportamenti biomeccanici e riorganizzazione delle interazioni sensomotorie al fine di raggiungere, tramite strategie terapeutiche, degli obiettivi specifici di recupero con tempi e modalità non sperimentabili a secco.

È un approccio basato su un graduale e delicato adattamento nei confronti dell'ambiente "acqua" e delle leggi fisiche che lo governano. Si sfruttano le sue proprietà fisiche (spinta idrostatica, resistenza idrodinamica, spinta di galleggiamento).

Le applicazioni dell'idrochinesiterapia possono essere estese a tutti i campi della riabilitazione e in particolare alle patologie ortopediche, reumatiche infiammatorie, [78] ma anche patologie neurologiche e lesioni midollari.

È inoltre possibile incrementare o diminuire la difficoltà dell'esercizio facendo riferimento ad alcuni parametri, tra questi figurano l'uso di ausili di differente volume, ampiezza e disposizione, la variazione del livello dell'acqua che comporterà una maggiore o minore incidenza della spinta idrostatica sulla forza di gravità e viceversa, l'appoggio parziale del paziente su un sostegno fisso fino a giungere al galleggiamento, la variazione dei volumi polmonari attraverso un'adeguata respirazione e la variazione della velocità con cui viene proposto l'esercizio in acqua [78].

La riabilitazione in acqua viene considerata parte integrante di un programma riabilitativo ed è quindi complementare alle altre strategie indicate per il trattamento di una determinata patologia.
Ciò sta a significare che solitamente un paziente non viene trattato esclusivamente in acqua per raggiungere la guarigione o comunque una condizione di benessere dal suo stato patologico; diciamo che l'obiettivo primario è quello di rendere il paziente più autonomo in questo "nuovo" ambiente. L'esercizio in acqua permette di vivere un'esperienza di tipo globale che coinvolge la sfera motoria, sensoriale, intellettiva, psicologica. Ciò è dovuto al fatto che in acqua il soggetto sviluppa una motricità e una sensorialità diverse da quelle a cui è abituato sulla terra: percepisce il proprio corpo in

maniera diversa, si ha la sensazione di essere avvolti e sospesi grazie al potere dell'acqua e si può vivere un'esperienza veramente piacevole.

L'ambiente acquatico possiede caratteristiche fisiche peculiari ed analizzando tali caratteristiche e le conseguenze che hanno sul corpo umano immerso, risulta evidente la necessità di effettuare un percorso di adattamento alla nuova condizione. In acqua l'essere umano affronta i vincoli che essa gli impone, rappresentati da fattori facilitanti e da fattori destabilizzanti che lo condizionano e lo impegnano a livello cognitivo, psicologico, sociale, motorio e sensoriale. Per questo l'esperienza in acqua è un'esperienza globale, in cui è coinvolta l'intera personalità del soggetto e nella quale l'apprendimento avviene attraverso la pratica [79].

Compiere un percorso di adattamento, dunque, significa raggiungere un grado di acquaticità tale da permettere al paziente di percepire e riconoscere il proprio corpo nell'ambiente acquatico, di controllare tutte le posture possibili e di essere in grado di passare da una postura all'altra, di gestire l'immersione e la respirazione. In altre parole, il paziente deve sentirsi a proprio agio nell'acqua, vivere un'esperienza di piacere e benessere, e raggiungere l'autonomia [79]. Non è necessario saper nuotare, e non è certo ciò che ci si prefigge come obiettivo della riabilitazione in acqua.

In un ambiente come l'acqua le reazioni di un corpo sono molto diverse che in palestra o nel lettino del terapista. È importante quindi proporre esercizi che tengano conto delle caratteristiche fisiche dell'ambiente e delle loro conseguenze sul corpo umano immerso.

In alcuni casi l'utilizzo dell'acqua a scopo terapeutico permette al paziente di anticipare l'inizio della riabilitazione post-operatoria o post-traumatica e ciò consente di ottenere benefici dal punto di vista sia fisiologico che psicologico.

L'esercizio in acqua, grazie alla diminuzione della componente ponderale per riduzione dell'effetto della gravità, permette di evitare alcuni inconvenienti che si verificano spesso durante le fasi iniziali della riabilitazione sulla terra, come microtraumi, situazioni infiammatorie, versamenti articolari, dolore, affaticamento, elementi che obbligano il paziente a interrompere le sedute e provocano ritardo nel recupero funzionale. [80] Inoltre il recupero dell'articolarità viene nettamente accelerato per effetto del rilassamento muscolare diffuso e la diminuzione del dolore intrarticolare, evitando così l'insorgenza del meccanismo di "blocco articolare" di autodifesa tipico in presenza di carico gravitazionale.

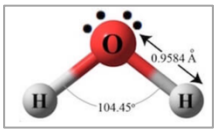
L’acqua consente quindi di lavorare in sicurezza sulle strutture lesionate e contemporaneamente mantenere attive anche quelle sane, migliorando così la consapevolezza del proprio corpo e la sua capacità funzionale.

Il corpo rappresenta una superficie recettoriale attraverso la quale l’uomo dialoga con il mondo esterno per porre il sistema nervoso centrale, attraverso delle ipotesi percettive, nella condizione di dover ricercare e quindi elaborare informazioni adeguate a risolvere i problemi posti dal rapporto relazionale con il contesto. In acqua, infatti, aumentano le afferenze esterocettive perché la pressione idrostatica provoca un “effetto guanto” sulle porzioni del corpo immerse in acqua e quest’effetto, unito al galleggiamento, stimola i recettori cutanei della pelle e genera un feedback al soggetto. Tutto ciò induce anche miglioramenti nella capacità di coordinazione [80].

3.2 Proprietà dell’acqua

Per comprendere al meglio quali siano i cardini su cui si basa l’utilizzo dell’acqua per scopi riabilitativi e dei suoi effetti sul corpo umano immerso, è necessario avere qualche nozione riguardo le proprietà dell’acqua.

Dal punto di vista chimico, l’acqua è un composto formato dagli atomi di due elementi diversi: l’idrogeno e l’ossigeno, posti in modo tale da rendere la molecola molto stabile, cioè difficilmente scomponibile.



[17]

Figura 17 Molecola acqua

La sua molecola consiste di due atomi di idrogeno e un atomo di ossigeno e questa particolare struttura della molecola dell’acqua dà a questa sostanza delle proprietà che la rendono unica e indispensabile per gli esseri viventi.

Sono state elencate almeno 37 anomalie dell’acqua, cioè comportamenti anomali che l’acqua ha rispetto ad altri composti chimicamente simili:

•alto punto di fusione

•alto punto di ebollizione

•alto punto critico

[17] https://www.chimica-online.it/download/molecola-dell-acqua.htm

•alta tensione superficiale
•alta viscosità
•si contrae quando fonde
•la sua densità aumenta all'aumentare della temperatura (fino a 3.984°C)
•bassa compressibilità
•alto calore specifico.
Le proprietà fisiche e chimiche dell'acqua sono straordinariamente complicate e non ancora completamente note e capite [81].
Tra le proprietà fisiche ci sono: la forma, la massa, la forza peso, la densità, la tensione superficiale, la rifrazione, la viscosità, la conducibilità termica, il calore specifico.

In natura, l'acqua si presenta sotto diverse *forme*: forma solida, forma liquida, forma gassosa. L'acqua si trasforma dallo stato solido allo stato liquido fino anche a modificarsi in gas e viceversa. I continui scambi avvengono grazie all'energia del sole.

La *densità* è la massa per unità di volume. A differenza della maggior parte delle altre sostanze, per le quali la forma solida presenta una densità maggiore rispetto alla forma liquida, il ghiaccio è meno denso dell'acqua liquida. La densità dell'acqua è infatti massima a 4 °C, temperatura alla quale l'acqua è liquida e la sua densità è pari a 1000 Kg/m^3. Ciò è dovuto appunto alla natura dei legami idrogeno che tengono le molecole dell'acqua liquida più strette di quanto non lo siano allo stato solido.

La *tensione superficiale* è la forza di attrazione tra le molecole dello strato superficiale dell'acqua nell'interfaccia con l'aria. Questa proprietà porta a maggiore densità dello strato superficiale e maggiore resistenza allo spostamento [81]. Infatti un arto che si muove attraverso la superficie dell'acqua compie maggiore quantità di lavoro rispetto ad un arto mantenuto sott'acqua ed utilizzando apparecchiature sulla superficie dell'acqua si ha un aumento della resistenza al movimento.

La *rifrazione* è quando la luce incidente sulla superficie di un fluido è deviata. La distorsione visuopercettiva dipende dalle dimensioni, dalla distanza, dalla lunghezza, dall'orientamento, dalla posizione [81].

La *viscosità* è la forza che si oppone al moto di un corpo in un fluido. Deriva dall'attrito tra le molecole dell'acqua e quelle delle superfici del corpo immerso. Crea resistenza al movimento [81]. Il coefficiente di viscosità è inversamente proporzionale alla temperatura del fluido. La resistenza di un liquido è la forza che ostacola l'avanzamento di un corpo nel liquido stesso poiché quest'ultimo deve spezzare la tensione superficiale del fluido; dipende dalla sua viscosità, dal regime del flusso (laminare o turbolento) e dalla sezione del corpo immerso.
Ci sono almeno due vantaggi principali nell'usare la resistenza dell'acqua [80]:

- l'acqua agisce come una resistenza accomodante perché eguaglia la forza applicata dal soggetto e quindi la probabilità di un peggioramento o di un nuovo infortunio si riduce moltissimo;
- l'acqua agisce come una resistenza variabile perché è possibile modificare la velocità del movimento dell'arto durante ogni ripetizione del gesto. Mano a mano che aumenta la velocità di spostamento in acqua, la resistenza infatti aumenta in maniera esponenziale migliorando il trofismo generale e il controllo neuromotorio del soggetto immerso. Infine, le turbolenze acquatiche stimolano il miglioramento dell'equilibrio del paziente.

Un'altra proprietà dell'acqua è la *conducibilità termica*, ovvero la capacità del fluido di condurre il calore, venticinque volte superiore a quella dell'aria. L'utilità terapeutica dell'acqua dipende in gran parte da entrambe le sue capacità di conservare il calore e di trasferirlo. Queste proprietà di conduzione trovano una utile e versatile applicazione in riabilitazione. L'acqua potrebbe essere usata come oggetto terapeutico a diverse temperature.
Il *calore specifico* è la quantità di calore necessaria ad alzare o abbassare la temperatura di 1g d'acqua. Il calore specifico dell'acqua è maggiore di quasi tutte le altre sostanze e poiché l'acqua costituisce una gran parte degli esseri viventi, questo fattore fa sì che la temperatura corporea dei viventi sia costante. L'acqua assorbe molto calore ma non aumenta la sua temperatura.
Se si considera la temperatura dell'acqua e del corpo umano, differenti temperature producono differenti effetti. Il rapporto di raffreddamento di un corpo è proporzionale

alla differenza di temperatura tra il corpo e ciò che lo circonda (Legge di Newton). La temperatura corporea nel corso di una leggera attività aumenterebbe di 3°C ogni ora se il corpo non disperdesse calore. Il meccanismo di dispersione principale è la convezione, prodotta dal flusso del sangue dal cuore verso la cute ed i polmoni dove incontra l'aria più fredda [81]. La perdita di calore avviene infatti attraverso le vie respiratorie e, soprattutto, attraverso la cute con la sudorazione. Nel corpo umano è necessario che il calore prodotto con i processi metabolici di base e con l'attività muscolare possa essere ceduto all'esterno, per evitare che la temperatura interna salga eccessivamente e provochi conseguenze negative sull'organismo. Per avere una perdita di calore sopportabile per i tempi di una seduta riabilitativa (intorno ai 45 minuti), la temperatura dell'acqua deve essere vicina a quella della cute, ovvero tra i 30 e i 32°C.

Quando un corpo è immerso in acqua fredda (<20°C) produce vasocostrizione e bradicardia.

Il consumo di ossigeno aumenta <26°C.

Una temperatura tra 28 e 30°C è indicata al lavoro con atleti.

L'immersione in acqua >34°C produce vasodilatazione e tachicardia.

L'immersione in acqua tra 34 e 38°C riduce la rigidità articolare e la spasticità, eleva la soglia del dolore e migliora la circolazione [81].

3.3 Le leggi fisiche

Ci sono numerosi principi di dinamica che la riabilitazione in acqua deve studiare e applicare:

- Principio di Archimede: un corpo completamente o parzialmente immerso in un fluido riceve una spinta dal basso verso l'alto, pari al peso del volume del fluido spostato. Quindi il vantaggio che la persona riceve è diretto: quando entra nell'acqua c'è un'immediata riduzione degli effetti della gravità sul corpo. Un corpo immerso in acqua è soggetto a gravità (dal baricentro verso il basso) e galleggiamento (dal centro del volume d'acqua spostato verso l'alto). Il movimento sulla Terra è influenzato dalla forza di gravità F=mg. In acqua questa forza è controbilanciata dalla spinta idrostatica che dipende dalla massa del corpo immerso. La presenza di queste due forze contrastanti e i diversi punti di applicazione delle stesse introducono un nuovo elemento per l'analisi del

movimento: la teoria del metacentro. Il metacentro è il punto d'incontro dell'asse verticale di un corpo immerso con l'asse della spinta di galleggiamento. È il punto teorico risultante dei punti di applicazione della gravità e della spinta idrostatica [81].

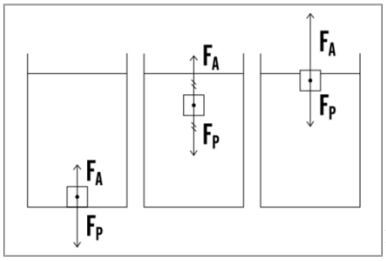
Figura 18 Schema del galleggiamento

È necessario definire quelli che sono il centro di gravità (CG) ed il centro di galleggiamento (CGA). Come centro di gravità, o baricentro, si intende il punto di un corpo pesante in cui si può immaginare concentrato tutto il suo peso ed è il punto di applicazione della forza di gravità che è diretta verso il basso. Al contrario, il centro di galleggiamento è il punto di applicazione delle forze di pressione di un fluido su di un corpo immerso, è il baricentro del fluido spostato dal corpo e da lì parte una retta diretta verso l'alto. È quindi evidente che un oggetto o un corpo resteranno sospesi o affonderanno a seconda che la forza di gravità sarà maggiore, uguale o minore alla forza di galleggiamento.

$F_A = m_{fl}g$ e quindi $F_A = \rho_{fl}V_{imm}g$

La formula della spinta di Archimede ci permette quindi di esprimerla come prodotto tra la densità del fluido ρ_{fl}, il volume immerso del corpo V_{imm} (a seconda che il corpo sia parzialmente o completamente immerso) e l'accelerazione di gravità g.

La spinta di Archimede tende quindi a spingere i corpi verso l'alto contrastando la forza di gravità che invece attira i corpi verso il basso. Si possono così creare diverse situazioni a seconda dei valori delle forze in gioco [82].



[18]

Figura 19 Possibili situazioni a seconda che la spinta di Archimede sia più o meno intensa della forza peso

1) Nel primo caso la forza peso è più intensa della spinta di Archimede (F_p>F_A) e quindi il corpo affonda;
2) Nel secondo caso le due forze sono uguali in modulo (F_p=F_A) per cui il corpo è in perfetto equilibrio. Di conseguenza il corpo si mantiene fermo nella sua posizione ovunque venga collocato all'interno del fluido;
3) Nel terzo caso invece è la forza di Archimede ad essere più intensa di quella della gravità (F_p<F_A), quindi se il corpo viene completamente immerso tende a risalire verso l'alto accelerando, fino a emergere e a raggiungere una posizione di equilibrio in cui galleggia con una parte del proprio volume immersa.

   Quindi, che un corpo non solido, come quello umano, galleggi oppure no, non dipende tanto dalla materia di cui è composto ma dalla densità totale del corpo, inclusi gli spazi aerei. La densità dell'acqua è pari a 1000 Kg/m^3. La maggior parte delle sostanze che compongono il corpo umano hanno una densità più alta di quella dell'acqua. Il muscolo ha una densità di 1050 Kg/m^3, le ossa di 1800 Kg/m^3, mentre lo strato adiposo di 940 Kg/m^3. Nell'insieme quindi il corpo umano ha una densità media di 980 Kg/m^3, minore perciò di quella dell'acqua e di conseguenza esso galleggerà.

   Se un corpo ha una densità relativa minore di 1, galleggerà poiché il peso dell'oggetto è minore del peso del volume di acqua spostata.

   Se la densità relativa è appena maggiore di 1, galleggerà appena sotto la superficie dell'acqua.

   La densità relativa esprime un altro importante rapporto, e cioè quello tra le parti sommerse e quelle che non lo sono. Ad esempio, se il corpo di un giovane ha una densità relativa di 0,98 significa che la parte sommersa è il 98% ed il rimanente 2% è fuori dall'acqua.

[18] https://www.youmath.it/lezioni/fisica/idrostatica-fluidodinamica/3225-spinta-di-archimede.html

Se la densità relativa è maggiore di 1, il corpo affonderà. Questo però affonderà con un ritmo di discesa rallentata dalla forza di spinta verso l'alto data dal galleggiamento. Avremo pertanto un'apparente perdita di peso da parte di quel volume del corpo immerso per un ammontare uguale al peso del volume d'acqua che esso ha spostato. Quindi se prendiamo in considerazione un corpo parzialmente immerso, ad esempio una persona in piedi con il livello dell'acqua fino alla base del collo, questo subirà una perdita di peso pari al volume di acqua spostata dalla parte del corpo immerso.

Se consideriamo la densità media del corpo umano 980 Kg/m^3, essendo questa minore della densità dell'acqua, la parte immersa dovrebbe avere una perdita di peso totale, infatti se la testa e il collo non emergessero, la persona galleggerebbe, grazie appunto alla sua bassa densità. Possiamo dire quindi che il peso o carico che grava sugli arti inferiori, e che permette appunto al corpo di stare in appoggio sul fondo, è dato dal peso della parte del corpo non immersa e quindi non sottoposta alla spinta idrostatica. Di conseguenza, maggiore sarà la parte di corpo che emerge e maggiore sarà la percentuale di carico sugli arti inferiori [81].

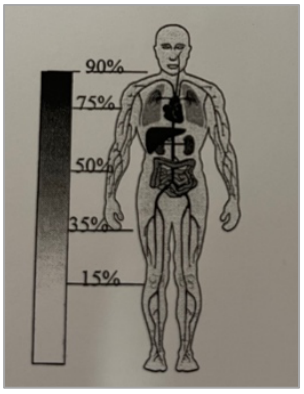


Figura 20 Percentuale della forza di galleggiamento in base al livello di immersione

La forza di galleggiamento dell'acqua diminuisce l'effettivo peso di un individuo in proporzione al grado di immersione: il carico assiale sulla colonna vertebrale e il peso che grava sulle articolazioni, in particolare sulle anche, sulle ginocchia e sulle caviglie, si riduce proporzionalmente all'aumentare della profondità di immersione. Quando il livello dell'acqua arriva al petto del soggetto, la forza peso è circa il 40% del peso totale del corpo, mentre quando arriva alla vita, ad esempio facendo salire il paziente su un rialzo, il valore della forza peso aumenta approssimativamente al 60%. L'abilità a controllare le forze compressive sulle

articolazioni, variando i gradi di immersione, è di primaria importanza nella prescrizione e nell'attuazione degli esercizi terapeutici.

- Principio di Pascal: la pressione di un liquido in stato di quiete è costante in ogni punto di un piano orizzontale in esso tracciato. Se si esercita su una parte del liquido una pressione, questa si trasmette con pari intensità in ogni parte del liquido ed in ogni direzione. Questa pressione è nota come Pressione Idrostatica ed è la forza esercitata per unità di area. L'unità di misura è il Pascal (Pa) che esprime newton/metro^2. La pressione in un liquido aumenta con la profondità ed è correlata alla densità. L'acqua esercita una pressione di 1 mmHg per ogni 1,36 cm di profondità. Un corpo immerso fino a 120 cm è soggetto ad una pressione sugli arti inferiori pari a 88,9 mmHg, generalmente superiore alla pressione diastolica (per questo ha effetto sugli edemi) [81].

  Un effetto molto importante della pressione idrostatica è la stimolazione dei recettori cutanei: il soggetto deve riuscire ad adattarsi a questa nuova situazione che modifica le informazioni del sistema propriocettivo, percependo il movimento dei propri arti e del proprio corpo attraverso il sistema sensoriale esterocettivo.
- Principio di inerzia: fondamentale per raggiungere e mantenere una determinata postura. Secondo questo principio il movimento avviene non tanto sfruttando la resistenza dell'acqua ma attraverso le modificazioni dei raggi di movimento e dei punti di applicazione della forza di gravità e della controspinta idrostatica [81].

3.4 Effetti terapeutici dell'acqua

Il lavoro in acqua ha numerosi effetti sul corpo andando ad influenzare [81]:

- la dinamica ventilatoria;
- la gittata e la frequenza cardiaca;
- la termoregolazione, sia del sistema nervoso che del sistema endocrino;
- la forza e la forma;
- lo schema corporeo;
- la percettività.

Questi effetti però variano anche in base alla temperatura dell'acqua.

L’immersione in acqua fredda porta [81]:

- ipotermia;
- vasocostrizione;
- aumento frequenza respiratoria;
- ipertensione;
- riduzione sensibilità cutanea;
- ipertonia;
- pallore;
- macerazione della cheratina.

Al contrario, l’immersione in acqua calda porta [81]:

- ipertermia;
- vasodilatazione;
- aumento metabolico;
- aumento frequenza respiratoria;
- ipotensione;
- riduzione sensibilità cutanea;
- ipotonia;
- rossore;
- sudorazione;
- macerazione della cheratina.

Gli effetti terapeutici dell’acqua quindi sono [81]:

- analgesia;
- decontrazione;
- rilassamento;
- libera escursione articolare;
- modificazione tono e trofismo;
- migliore circolazione;
- migliore stato della cute;
- effetti psicologici;
- effetti pedagogici.

L'esercizio terapeutico in acqua ha lo scopo di ottenere modificazioni stabili del comportamento motorio sulla terraferma, sfruttando gli effetti contesto dipendenti dell'acqua, con strategie rieducative specifiche.

I vantaggi dell'esercizio in acqua sono [81]:

- graduazione del carico assiale e articolare;
- mobilizzazione articolare senza evocazione di dolore migliorando il ROM;
- modulazione del tono muscolare;
- diminuisce la dolorabilità soggettiva;
- controllo delle simmetrie corporee;
- riduzione e controllo dei 'compensi' funzionali;
- stimolazione propriocettiva globale;
- miglioramento emodinamico e circolatorio;
- impegno cardiovascolare ridotto, con miglioramento della soglia di fatica;
- possibilità di esercizio attivo e globale;
- migliore autonomia motoria;
- migliora l'atteggiamento psicologico;
- promuove la socializzazione.

Gli effetti fisici dell'immersione sono [81]:

Effetto viscosità	Effetto massaggiante sui tessuti superficiali; eutrofico sul microcircolo; drenante sull'edema
Effetto resistenza	Rallentamento con effetto "isocinetico"; aumento del lavoro muscolare
Effetto scia	Potenziamento dell'effetto resistenza; effetto massaggiante
Effetto termico	Vasodilatazione generale; miorilassamento; miglioramento microcircolo; attivazione metabolica, comfort, cinetica cardiaca
Effetto galleggiamento	Instabilità posturale; riduzione peso; riduzione sinergie antigravitarie; riduzione tono muscolare; riduzione sinergie patologiche
Rotazione metacentrica	Instabilità posturale; amplificazione sinergie globali simmetriche; amplificazione afferenze esterocettive
Effetto turbolenza	Effetto massaggiante; destabilizzazione posturale, sollecita le reazioni di aggiustamento globali

3.5. Valutazione del paziente ed organizzazione di una seduta di riabilitazione in acqua

Prima di iniziare un percorso riabilitativo in acqua bisogna valutare [81]:

- tipologia di danno (cronologia della patologia di base), eventuali interventi chirurgici e programma rieducativo impostato;
- aspetti neurofunzionali (forza e tono muscolare, sensibilità, ROM, dolore, cognitività…) e autonomia nei trasferimenti;
- acquaticità individuale precedente alla patologia;
- controindicazioni e limiti all'attività in acqua;
- conoscenza dell'eventuale piano farmacoterapico;
- prescrizione medica;
- definizione degli obiettivi a breve e a lungo termine e le priorità;
- osservazione della persona nel contesto terapeutico, quindi nel caso dell'acqua osservazione relativa all'adattamento spontaneo globale in posture diverse con grado crescente di difficoltà; osservazione relativa alla capacità di mantenere o modificare posture diverse in condizioni di perturbazione; osservazione relativa alle strategie utilizzate per recuperare l'equilibrio.

Le operazioni da pianificare quindi sono [81]:

- la valutazione globale della persona;
- la valutazione in funzione del trattamento;
- il piano di lavoro (strategie terapeutiche e priorità, tempo e frequenza delle sedute, selezione degli opportuni ausili, necessità di assistenza);
- la valutazione e misurazione dei risultati ottenuti;
- la programmazione della continuità riabilitativa;
- le modalità di integrazione nel progetto riabilitativo individuale.

Per sviluppare un protocollo riabilitativo in acqua è necessario conoscere le caratteristiche fisiche di questo elemento, in modo tale da essere competenti in questa "metodica" riabilitativa con i suoi principi applicativi, le sue indicazioni e controindicazioni. Inoltre, è necessario anche analizzare le variabili che ci permettono di modulare o graduare i movimenti in acqua e di conseguenza di sviluppare un adeguato programma riabilitativo [81].

Tra queste variabili troviamo:

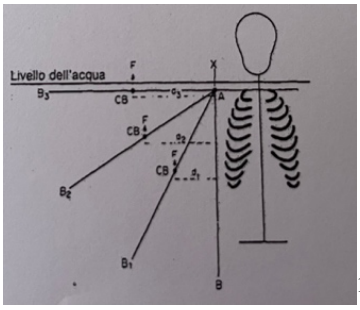
- il livello di immersione;
- la lunghezza della leva;
- la velocità di esecuzione;
- la posizione di partenza;
- l'utilizzo di galleggianti;
- l'utilizzo di attrezzi non idrodinamici.

Proviamo ora ad analizzare la variabile lunghezza della leva. Prendendo in considerazione la forza di galleggiamento applicata ad una leva vincolata ad un punto, che rappresenta il fulcro, avremo che la leva ruoterà intorno al punto fisso creando così quello che viene chiamato momento di forza.

$$M = F \times D$$

Dove F è la forza ascendente di galleggiabilità, D è la distanza, rappresentata dalla retta perpendicolare che va dall'asse del fulcro che chiameremo X al centro di galleggiamento. Nella posizione con la leva allineata alla verticale quindi, essendo la distanza uguale a zero, non c'è effetto girevole, ma appena la leva arriva in superficie l'effetto è incrementato.

Nel corpo umano la leva è formata dagli arti ed X (fulcro) è rappresentato dall'articolazione su cui si realizza il movimento. Quando X è rappresentato dall'articolazione della spalla e gli arti superiori sono invece rappresentati da AB, il momento di forza e quindi l'effetto rotante di galleggiabilità si incrementa col crescere del grado di abduzione, ovvero man mano che l'arto si avvicina alla superficie dell'acqua.



[19]

Figura 21 Forza di galleggiamento applicata ad una leva immersa a 3 differenti angoli

[19] Alison T. Skinner-Ann M. Thomson 'La rieducazione in acqua. Tecnica duffield', 2008

Se la lunghezza della leva diminuisce perché il braccio è piegato al gomito, il centro di galleggiabilità si avvicina ad X e la distanza D è più piccola, perciò il momento di forza ascendente sarà minore.
La galleggiabilità perciò avrà un maggiore effetto su una leva lunga piuttosto che su una leva corta. Il momento di galleggiabilità aumenta, e quindi funge da aiuto al movimento (per la mobilità articolare), quando l'arto si muove più vicino o anche verso la superficie dell'acqua e se la leva diviene più lunga.
Per cui quando si devono rinforzare muscoli deboli o eseguire mobilizzazioni, con una leva più lunga ed un movimento più vicino all'orizzontale si otterrà il maggior aiuto dalla forza ascendente.
Al contrario quando il movimento è effettuato contro la forza ascendete, ci sarà una resistenza al movimento. Il momento di galleggiabilità diminuisce, e quindi funge da resistenza al movimento (per il rinforzo muscolare), quando l'arto si avvicina alla posizione verticale e quando si ha una leva più corta.
La resistenza data dal galleggiamento è maggiore se esercita la sua azione su una leva più lunga e vicino alla posizione orizzontale.
Il galleggiamento quindi può essere usato in varie forme: come aiuto, come sostegno o come resistenza.
La galleggiabilità può essere usata per aiutare il movimento quando l'articolazione si muove verso la superficie dell'acqua e per opporsi ad esso quando l'arto è mosso dalla superficie dell'acqua verso la posizione verticale sommersa.
La progressione in questo caso si realizza modificando la lunghezza del braccio di leva del segmento interessato. La serie e la difficoltà dei movimenti può essere aumentata variando la posizione di partenza e il livello di immersione [81].

In piscina è possibile realizzare una successione ideale di esercizi, sfruttando con intelligenza i diversi effetti della forza ascendente, le variazioni di lunghezza della leva dell'arto in movimento e dell'impiego di galleggianti. Come sulla terraferma, il ritmo della progressione dipenderà dalle capacità del paziente.
L'esercizio in acqua si integra con l'esercizio "a secco" sinergicamente.
Il recupero in acqua segue un cammino progressivo e sequenziale. L'esercizio in acqua necessita di conoscenza, esperienza e "fantasia" da parte del fisioterapista.

La prima seduta in acqua si tratta sempre di una seduta valutazione-trattamento, viene svolta singolarmente e serve al paziente per consentire il corretto adattamento a questo nuovo ambiente, e al terapista per fare una valutazione globale della persona ed impostare il piano di lavoro con i suoi obiettivi.

In linea di massima la riabilitazione in acqua si compone di due o tre sedute settimanali per un periodo variabile in relazione al grado di disabilità individuale.

La riabilitazione in acqua consiste nel far svolgere al paziente vari esercizi, molte volte simili a quelli che si eseguono in palestra, con il corpo parzialmente immerso in acqua. È possibile dividere gli esercizi in quattro grandi categorie mirate a:

- recupero degli schemi motori (deambulazione, corsa, scale, pedalata, balzi ecc);

Foto 1 Camminata

Foto 2 Esercizio di rinforzo su step con tavoletta

- miglioramento della mobilità articolare e dell'equilibrio (esercizi di mobilizzazione attiva/passiva, esercizi di stretching, esercizi di controllo);

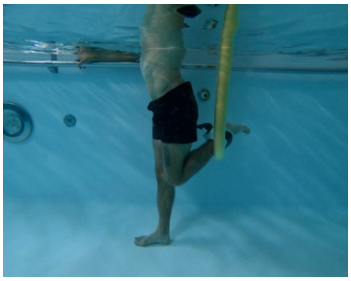


Foto 3 Esercizio di mobilizzazione con cavigliera e tubo galleggiante

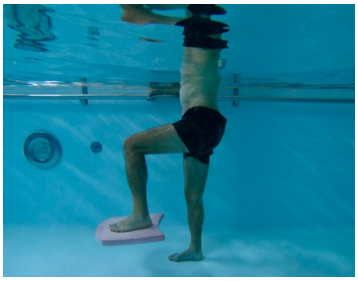


Foto 4 Esercizio di rinforzo con tavoletta

- miglioramento del tono muscolare (esercizi a CCA e CCC, concentrici ed eccentrici)

Foto 5 Squat su step

Foto 6 Squat su step con controcorrente

- recupero del gesto sportivo (esercizi a CCC in acqua meno profonda, skip, balzi, affondi, spostamenti laterale, fitness cardiovascolare ecc).

Foto 7 e 8 Squat monopodalico con controcorrente

Per aumentare la difficoltà degli esercizi, come abbiamo visto, sarà sufficiente aumentarne l'ampiezza del movimento, la velocità oppure utilizzare un equipaggiamento che crei resistenza come galleggianti o il flusso contro corrente. Si può inoltre giocare sul grado di profondità dell'acqua, diminuendola mano a mano che il paziente tollera carichi maggiori, come viene fatto, per esempio, anche per ripristinare funzionalità quotidiane come salire e scendere le scale a differenti livelli dell'acqua.

3.6. Controindicazioni

La riabilitazione in acqua, come abbiamo visto, rappresenta un'attività utile ed ideale per molti soggetti. Tuttavia in alcuni casi ci possono essere delle controindicazioni relative, come nel caso di [81]:

- presenza di qualsiasi tipo di ferita non completamente cicatrizzata o di piaghe
- infezioni della pelle
- stati febbrili
- infezioni gastrointestinali
- infezioni mucotiche
- malattie cardio-vascolari
- malattie renali
- incontinenze
- stati epilettogeni
- perforazione dei timpani
- insufficienza respiratoria grave
- ipertensione arteriosa grave e instabile
- ipotensione.

4- WALKER VIEW

4.1 Caratteristiche

Il dispositivo WalkerView è un sistema di valutazione e riabilitazione che permette di migliorare la qualità del movimento per mezzo di una completa analisi della deambulazione e della corsa; l'interfacciamento si estende ad un'utenza di ordine patologico con focus applicativi su pazienti di tipo ortopedico e neurologico, utenza di normotipi per prevenzione infortuni e traumi, utenza di soggetti sportivi che vogliono valutare il loro assetto biomeccanico con test specifici e ricercare l'aumento delle performance.

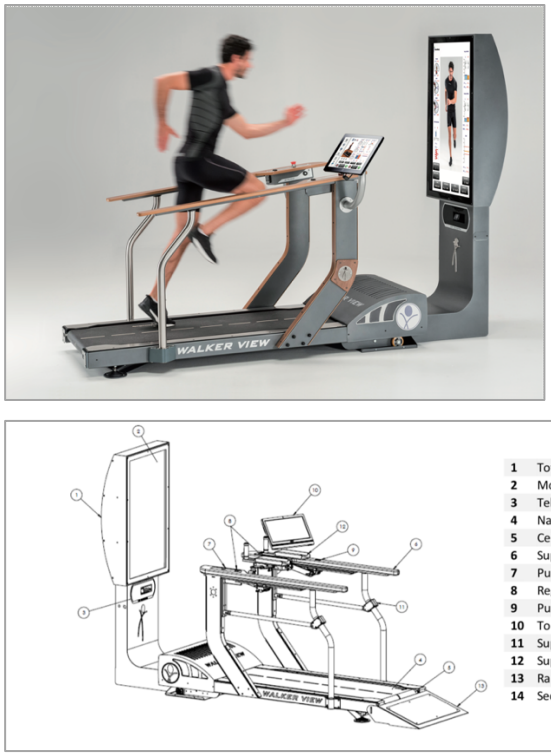
Gli operatori che utilizzano il dispositivo per applicazioni mediche devono essere adeguatamente formati al fine di avere il pieno controllo del sistema. Questo può essere un terapista, un medico, un laureato in Scienze Motorie o qualsiasi altro supervisore qualificato.

La Gait Analysis, ovvero l'Analisi Computerizzata della Deambulazione, è lo studio sistematico della locomozione e più precisamente ricondotto allo studio del Movimento Umano. Nasce per focalizzarsi in maniera del tutto precisa, per mezzo di una sofisticata strumentazione, sulla meccanica del corpo e l'attività di tutto l'apparato locomotore (focus specifico sulle articolazioni). Viene utilizzata principalmente per valutare e quindi pianificare il trattamento di soggetti in condizioni tali da compromettere la loro capacità deambulatoria. Inoltre, in ambito sportivo e della biomeccanica del movimento, comunemente, è utilizzata per aiutare gli atleti in modo più efficiente ad identificare i problemi di postura legati o relativi a lesioni di diversa origine ed entità.

I test di valutazione funzionale offerti dal sistema Walker View rispondono ai requisiti di base di un test:

- Oggettività: senza influenza di valutazioni personali
- Validità: misurazioni effettuate con esattezza e strumenti adeguati
- Attendibilità: nelle medesime condizioni si ottengono risultati simili
- Ripetibilità: a distanza di tempo i test si possono eseguire in condizioni simili alle precedenti

I Test effettuati con il sistema Walker View possono collocarsi tra le più moderne metodiche di indagine delle capacità funzionali del soggetto offrendo una valutazione: oggettiva, non invasiva, di breve durata, di facile somministrazione, specifica che risponde ai nuovi metodi di lavoro (prevenzione, riabilitazione, riprogrammazione dei sistemi di controllo posturale, economia e aumento della performance) [83].



[20]

Figura 22 Illustrazione prodotto

Il dispositivo Walker View è dotato di un PC Control Touch-Screen 16'', di LCD Monitor 49'' per realtà virtuale e biofeedback, Gait Analysis attraverso Camera 3D e Piattaforma di Forza, Camera 3D integrata per il motion capture.

[20] Dal Manuale Clinico 'Walker View', Tecnobody

Il tappeto sensorizzato

Figura 23 il tappeto sensorizzato

Nel dettaglio la base del sistema *Walker View* sembra quella di un normale treadmill, ma solo apparentemente, in quanto al suo interno la base d'appoggio è sospesa ad una matrice di celle di carico in grado di rilevare i carichi d'appoggio del soggetto durante la normale deambulazione o la corsa. Il dettaglio del nastro sensorizzato del sistema *Walker View* che colpisce di più è la sottile linea tratteggiata posta centralmente (un normale tappeto fitness ha un nastro completamente nero senza alcun riferimento). La linea bianca al centro del nastro sensorizzato ha lo scopo di dividere il carico articolare del soggetto [21] in due parti speculari: emisoma sinistro ed emisoma destro. Questo parametro è di fondamentale importanza sia in fase valutativa (la discrepanza dei due carichi totali non deve essere superiore al 5%) sia in fase di training. Infatti all'interno del software Gait Trainer il programma sottopone al paziente una serie di indicatori su come ristabilire al meglio il proprio carico al suolo soprattutto dopo una forte destabilizzazione post traumatica [84].

La telecamera 3D

Figura 24 la telecamera tridimensionale

La telecamera 3D, posta frontalmente al sistema Walker View, è il cuore di tutto il sistema. Grazie a questo sofisticato sensore si è potuto realizzare il sogno di molti terapisti e trainer: trasformare il classico specchio in uno specchio digitale in grado di rilevare ogni singolo movimento angolare con precisione ed affidabilità. Questa magia tecnologica è realizzata dalla telecamera 3D di Walker View dotata di due ottiche, una classica per la ripresa 2D in alta risoluzione (HD) ed una rivoluzionaria a raggi infrarossi. L'elaborazione [22] elettronica delle due ottiche ad elevatissima tecnologia permette la ricostruzione in tempo reale del soggetto "digitalizzandolo" e trasformandolo in un'immagine virtuale detta "Avatar". L'operatore ruotando il punto d'osservazione

[21], [21] dal Catalogo Walker View, Tecnobody

grazie al pc touch screen, può valutare l'atleta-paziente su tutti i piani d'osservazione, come se il soggetto fosse immerso in uno spazio tridimensionale con infiniti specchi tutti attorno a lui. La potenza di questo sistema è che il tutto avviene proprio d'innanzi al runner-paziente in tempo reale, non in post elaborazione, e quindi può mettere in atto tutte le sue strategie correttive a feedback [84].

F-Sensor

I sensori inerziali F-Sensor, applicati direttamente sul dorso del piede, si sincronizzano automaticamente al computer di Walker View. In questo modo il sistema visualizza in modo automatico tutti i parametri fondamentali del piede in situazione dinamica come prono-supinazione e flesso-estensione del piede nella fase di attacco *(heel strike*), prono-supinazione e flesso-estensione del piede nella fase di stacco *(toe off)*.

Figura 25 i F-Sensor

Un'altra caratteristica distintiva dei sensori inerziali F-Sensor è che funzionano anche quando non sono [23] collegati a Walker View. In questo modo il paziente e l'atleta possono camminare o correre per un massimo di 3 minuti non sul treadmill ma all'interno della palestra o anche all'esterno su diverse superfici d'appoggio [84].

F-Sensor permette una valutazione degli angoli di rotazione del piede sul piano sagittale (flessione dorsale-plantare) e sul piano frontale (prono-supinazione) al fine di valutare la qualità dell'interazione tra piede e suolo. Far indossare al soggetto gli appositi calzari o le fasce contenitive ed accertarsi di posizionare gli F- Sensor con la testa dell'omino TecnoBody verso la caviglia e di posizionare correttamente quello di destra sul piede destro del soggetto, quello di sinistra sul piede sinistro. In particolare calzari e quindi F-Sensor devono trovarsi in linea tra il centro dei due malleoli e il secondo dito del piede ed alla stessa altezza.

Il sensore F-Sensor misura l'orientamento del piede rispetto al suolo. Prima dell'inizio di un'acquisizione, viene eseguita una fase statica in cui il sensore F-Sensor capisce come è stato montato sul piede del soggetto e lo ripristina. In questo modo il piede inizia da un angolo uguale a 0 che corrisponde al piede orizzontale, parallelo al suolo.

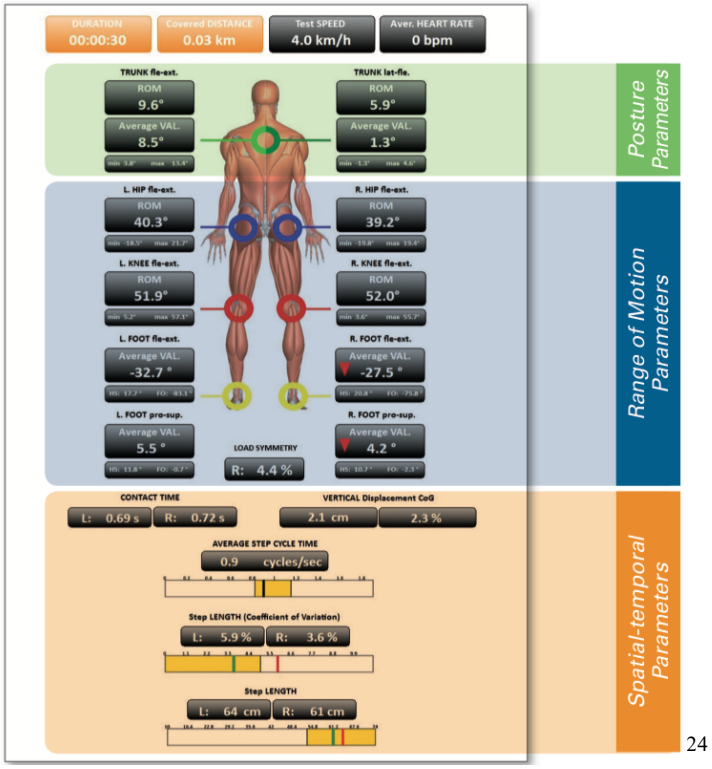
[23] dal Catalogo Walker View, Tecnobody

Quando la punta è sollevata sul piano sagittale, l'angolo del piede rispetto al suolo aumenta, mentre quando il tallone è sollevato e la punta è abbassata, l'angolo del piede diminuisce. Questo movimento è descritto dal parametro "Piede flex-est".
Quando il movimento del piede avviene sul piano frontale, l'interno del piede si alza e l'esterno del piede si abbassa, quindi viene eseguita una supinazione e l'angolo del piede è positivo.
Al contrario, quando l'interno del piede viene abbassato e l'esterno del piede si alza, viene emessa una pronazione e l'angolo del piede è negativo. Questo movimento è descritto dal parametro "Piede pro-sup" [83].

La Valutazione

L'elemento veramente sorprendente del sistema Walker View è la sua capacità di valutare la marcia (Gait Analysis) e la corsa (Run Analysis) con semplicità ed immediatezza.
La specifica tecnica fondamentale richiesta al sistema Walker View in fase di progettazione era proprio quella di rispondere ad una domanda che tutti gli operatori del settore si fanno: "come cammina e/o corre il mio paziente/atleta?".
Walker View, grazie alla sua telecamera 3D e alla base sensorizzata riesce a fornire un'accurata valutazione della deambulazione e della corsa. Il tutto avviene in soli 30" anche senza dover applicare alcun marcatore al corpo del soggetto ma in modo semplice e naturale.
Al termine della prova il sistema Walker View fornisce un accurato Report evidenziando i valori medi del controllo posturale, i Range of Motion delle articolazioni e i principali e fondamentali parametri spazio-temporali [84].

Report



[24]

Figura 26 Report

La validazione clinica ha riportato una precisione notevole del sistema Walker View considerando anche nullo l'errore intraoperatore dei classici sistemi a telecamera.

L'obiettivo applicativo dichiarato di Walker View non è quello di sostituire l'alta precisione e l'accuratezza dei classici sistemi di Motion Capture bensì quello di creare un ponte tra questo mondo e quello dell'attività clinica quotidiana dove semplicità e velocità sono i requisiti principali.

4.2 Controindicazioni

Ci sono alcune controindicazioni assolute all'utilizzo di questo dispositivo (la loro presenza deve essere esclusa prima dell'uso del treadmill) che riguardano perlopiù patologie gravi quali: infarto miocardico acuto (negli ultimi 2 giorni), angina pectoris instabile, aritmia cardiaca e/o emodinamica limitata, stenosi aortica massiva sintomatica, insufficienza cardiaca non compensata/non controllata, embolia polmonare acuta o infarto polmonare, miocardite, pericardite, endocardite acuta, dissezione acuta dell'aorta, sindrome coronarica acuta, flebo trombosi acuta delle estremità inferiori, infezioni

[24] Dal Catalogo Walker View, Tecnobody

febbrili, trombosi acuta, ferite recenti, ad es. dopo un intervento chirurgico (chirurgia generale), frattura acuta, epilessia, emicrania acuta, ambliopia, disordini vestibolari.

Tra le controindicazioni relative (l'attività può essere iniziata se i possibili benefici superano i rischi. La decisione deve essere presa dal medico prima dell'uso del treadmill) ci sono: stenosi della coronaria principale sinistra, malattia dell'arteria principale, malattia di una valvola cardiaca, di gravità moderata, squilibrio elettrolitico accertato, ipertonia arteriosa (RR > 200 mmHg sist. > 110 mmHg diast.) , tachiaritmia o bradiaritmia, cardiomiopatia ipertrofica e altre forme di ostruzione del tratto di efflusso, blocco atrioventricolare di grado più elevato, anemia, disturbi fisici e/o mentali che causino incapacità di svolgere esercizio fisico in modo adeguato, dispositivi medici parzialmente invasivi (sonde, infusori, cateteri, fissatori esterni ecc.), pacemaker cardiaco, disabilità visiva (visione < 30% secondo OMS), gravidanza, disco danneggiato o malattia traumatica della colonna vertebrale, infiammazioni [83].

4.3 Test: Gait Analysis

Il Walker View utilizza una telecamera a tempo di volo che permette di avere informazioni relative alla cinematica del soggetto durante l'utilizzo del treadmill, questo macchinario è molto sensibile agli indumenti indossati dal soggetto. Perciò per migliorare la qualità dei dati dei report del device è molto importante assicurarsi di far indossare al soggetto l'abbigliamento adeguato ovvero è da preferire vestiti di colore chiaro, corti e non troppo larghi in modo da rendere ben visibile le varie articolazioni e far sì che la prova sia ripetibile e oggettiva.

I test presenti all'interno del Walker View sono 5 [83]:

- Gait Analysis
- Run Analysis
- Test Balke
- 6 Minuti Test Walk
- Test Cooper

Noi analizzeremo esclusivamente il Gait Analysis.

GAIT ANALYSIS [83]

Il movimento prodotto durante una camminata è molto complesso, una raffinatissima interazione fra diversi muscoli e articolazioni.
La Gait Analysis si traduce nello studio della deambulazione e dell'attività locomotoria. È in pratica lo studio del moto, l'osservazione e misurazione dei movimenti, della meccanica del corpo e dei parametri spazio-temporali.
Si valutano le condizioni che influenzano la capacità motoria, si identificano problemi posturali o semplicemente si cercano soluzioni per aumentare l'efficienza sportiva. Con la Gait analysis si definisce e si ridisegna il contesto deambulatorio attraverso l'uso di apparecchiature sofisticate e integrate tra di loro.
La durata della prova è variabile ed impostabile tra 30" e 120".
Attraverso l'utilizzo del modulo di analisi del passo è possibile ottenere un report specifico comprendente dati relativi sia al ROM tronco, ROM anche, ROM ginocchia e ROM piedi (con sensori piedi opzionali, F-Sensor); sia quelli relativi alla gestione del carico, lunghezze del passo, tempi di contatto, coefficiente di variazione della lunghezza del passo, spostamento verticale del centro di gravità (COG), distanza percorsa dal soggetto, frequenza cardiaca.

Il posizionamento del paziente:

La posizione dell'utente è standardizzata:

- durante la fase statica, prima dell'avvio del test, l'utente deve essere posizionato centralmente sul tappeto, avendo cura di non ruotarsi, non flettere le ginocchia e non appoggiare le mani sui supporti laterali durante l'acquisizione dei parametri della fase statica;
- durante l'esecuzione del test, il paziente rimane centralmente sul tappeto, variando la velocità con i tasti laterali "+" e "- ".

All'utente verrà richiesto di camminare il più normalmente possibile su una superficie piana per la durata selezionata del test. L'utente dovrà adattarsi alla velocità costante impostata dall'operatore.

Configurazione del test:

- *Scelta dell'utilizzo dei F-Sensor*

  La prima schermata di setting del test riguarda l'utilizzo dei sensori piedi F-Sensor. Il device dà la possibilità di eseguire il test sia sul treadmill Walker View sia camminando fuori dal tappeto Overground.

- *Scelta della tipologia di soggetto da testare*

  Andando a premere il pulsante relativo alla prova di Gait Analysis il device offre la possibilità di eseguire una prova specifica per il paziente che abbiamo di fronte, in quanto permette di scegliere tra quale tipologia di patologia è affetto il soggetto, oppure se è un normotipo.

- *Scelta della velocità e tempo del test*

  Dopo aver selezionato la tipologia di soggetto che abbiamo di fronte la macchina permette di scegliere che tipologia di utilizzo del tradmill vogliamo eseguire:

  - Velocità impostata fissa: come un tradizionale treadmill, selezionando a priori la velocità del test
  - Velocità fissa da warm up: qualora non si conosca la reale velocità dell'utilizzatore si può selezionare l'ultima velocità raggiunta durante la fase di riscaldamento Warm Up.

  È possibile anche nascondere o mostrare il video del soggetto durante sia il riscaldamento sia durante la prova attraverso il tasto Nascondi Feedback.
  In questa schermata è possibile inoltre selezionare la velocità della prova.

- *Selezione del riscaldamento*

  Tramite la schermata della scelta del riscaldamento è possibile effettuare due scelte: evitare oppure settare il riscaldamento. Si consiglia di attivare il warm-up con il fine di aiutare il paziente a stabilizzarsi alla velocità richiesta o a scegliere la velocità più adatta, senza quindi falsare i risultati del test.

- *Warm-up In corso (se è stata selezionata l'opzione)*

  Nella schermata iniziale, dopo una breve fase di calibrazione dell'altezza del soggetto e del peso applicato al nastro, si possono osservare i parametri di velocità, dell'analisi e quanto manca alla fine del warm-up. Durante la fase di warm-up la velocità è

tranquillamente modificabile. In questa fase risulta molto importante andare ad effettuare una rampa di incremento della velocità adeguata alle capacità del paziente, senza turbare la sua sensibilità al fine di non modificare i risultati della prova stessa. Durante questa fase il paziente con il terapista può sperimentare differenti velocità senza curarsi della lunghezza del settaggio del warm-up, in quanto è facilmente riducibile iniziando subito la prova di analisi.

- *Stop and Go (se attivata l'opzione warm up)*
  Tramite lo schermo touch screen è possibile "tagliare" i tempi del warm-up premendo il tasto stop and go.

Gestione del video:

Attraverso i pulsanti sopra al video nello schermo touchscreen c'è la possibilità di:

- mostrare a schermo il video dell'utilizzatore privo dello scheletro;
- mostrare l'avatar al posto del video della persona, con la possibilità di ruotarlo e mostrare tutti i piani;
- inserire una griglia al di sopra del video del soggetto per enfatizzare le eventuali asimmetrie posturali del soggetto.

Errori

Gli errori comuni durante l'esecuzione di questo test possono essere diversi e divisibili in due categorie.

Da parte del paziente:

- spostamento dei piedi sui supporti laterali del tappeto (per riposarsi);
- accelerazioni o decelerazioni importanti (idealmente si deve raggiungere una velocità stabile);
- rotazioni del tronco o movimenti inappropriati (esempio: parlare con l'operatore) durante l'esecuzione del test, possono incidere negativamente sui dati posturali finali.

Da parte dell'operatore:

- errata comunicazione dell'abbigliamento idoneo al paziente: t-shirt e pantaloncini corti, per cui la camera 3D possa leggere chiaramente la flesso/estensione delle

ginocchia. Evitare indumenti neri e/o lucidi se possibile, se la t-shirt risulta troppo larga, è preferibile riporla dentro i pantaloni;

- errate richieste da parte dell'operatore al paziente.

Prima dell'esecuzione del test è fortemente consigliato, con tutti i pazienti che si imbattono per la prima volta nell'utilizzo di un treadmill, utilizzare la funzione di "avvio rapido" per spiegare come funziona il device e provare ad aumentare e diminuire la velocità fino al raggiungimento di un livello sicuro e confortevole.

Descrizione parametri test:

La macchina fornisce dei risultati riguardanti sia la qualità della performance effettuata con dati sull'analisi posturale e cinematica, sia le informazioni spazio-tempo medie tenute dall'utente. I parametri posturali rappresentano la media di tutti i movimenti eseguiti dall'utente durante l'analisi effettuata, può essere soggetta a cambiamenti o piccole variazioni che ovviamente fanno parte della naturale variazione che ogni soggetto possiede.

I parametri descritti dal sistema sono i seguenti.

- *Durata e distanza della prova.*
- *Tronco flessione estensione.*
- *Tronco flessione laterale.*
- *Anche sul piano sagittale.*
- *Ginocchia sul piano sagittale:*

  informazioni relative alla cinematica delle ginocchia sia destra sia sinistra indicando i seguenti valori:

  - ROM: gradi totali medi di spostamento dal valore di estensione a quello di flessione [61.9° - 56.2°]
  - Min: media di tutte le estensioni del ginocchio [0.9°- 3.2°]
  - Max: media di tutte le flessioni del ginocchio [66.5° - 59.7°]

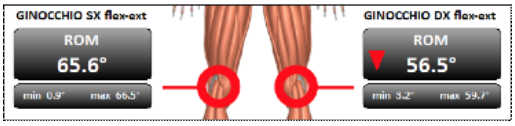


Figura 27 Ginocchia

- *Piedi flesso estensione.*
- *Piedi prono supinazione.*

- *Velocità utilizzata.*
- *Simmetria del carico:*

  informazioni relative alla gestione del carico tra appoggio destro e sinistro: Sx o Dx indicano l'arto che sta subendo più carico di picco. Il valore della simmetria del carico è espresso in percentuale (%) ed indica la differenza dai due emilati durante il picco del carico. Il valore espresso non è in relazione al peso del soggetto ma al reale carico che il soggetto applica durante la sua locomozione. Questo valore è fortemente influenzato da differenti fattori:

  - peso del soggetto;
  - velocità della camminata o corsa;
  - dalla capacità del soggetto di ammortizzare il carico;
  - dalle caratteristiche personali del ciclo del passo.
- *Tempo di contatto.*
- *Tempo di passo medio.*
- *Lunghezza passo*:

  questo valore indica quanti cm ha effettuato il paziente di lunghezza del semi-passo medio sia relativo al piede destro sia sinistro. Il Walker View intende come lunghezza del passo destro (es DX: 75cm) la distanza intercorsa tra l'alluce del piede sinistro (Toe Off) al tallone del piede destro (Heel Strike). Quindi quando si notano differenze importanti e significative tra destra e sinistra bisogna sempre tenere a mente che il piede controlaterale stava eseguendo una fase di stance che ha permesso o forzato il piede in analisi ad ottenere una lunghezza del passo tale.

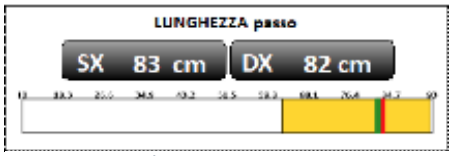


Figura 28 Lunghezza passo

- *Lunghezza passo (Coefficiente di Variazione)*:

  calcolando la lunghezza del passo media è possibile andare a valutare anche la sua variazione relativa alla lunghezza. Questo valore in letteratura è, per velocità normotipo, inferiore al 5% di variazione. Quindi quanto il soggetto ha ottenuto una lunghezza stabile senza grande variazione. Il coefficiente di variazione è espresso in percentuale quindi per calcolarlo in cm assoluti è possibile prendere il valore medio di lunghezza del passo

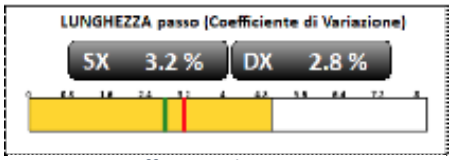


Figura 29 Coefficiente di variazione

destro e calcolarne la sua variazione (es Lunghezza DX 75cm, variazione DX 7.3% = Variazione assoluta 5,4 cm). È importante ricordare che, essendo la variazione espressa in %, è sempre correlata alla lunghezza del passo quindi a velocità particolarmente lente, quindi a lunghezze del passo molto corte il valore in percentuale tende ad aumentare di molto anche per indicare pochi cm.

- *Oscillazione verticale del centro di gravità COG (centre of gravity).*

Consigli sull'interpretazione dei simboli espressi dal pannello risultati:

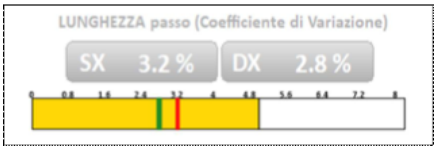


Figura 30 Banda gialla di normalità

Le fasce gialle indicano i dati in letteratura di normalità rispetto a quel dato. I valori rappresentati dalle linee verticali rossa e verde, rappresentano rispettivamente il valore sinistro e destro.

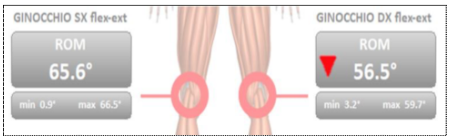


Figura 31 Red Flag

Il triangolo rosso (Red Flag) indica una differenza percentuale tra i due emilati maggiore del 10%. Questo può essere facilmente riconosciuto come "campanello di allarme", spostando il focus dell'attenzione del terapista, mostrano una differenza importante tra i due emilati.

Grafici relativi alla cinematica

La terza pagina di analisi del passo è riferita esclusivamente ai grafici cinematici e dinamici del test effettuato. I grafici della cinematica sono un riassunto di tutta la prova di Gait Analysis eseguita dal paziente. Infatti per ogni passo compiuto viene preso il segnale di cinematica delle varie articolazioni e ne viene calcolato il segnale medio all'interno del ciclo del passo per tutta la durata del test, in modo da avere un confronto immediato tra i due emisomi.

Durante la camminata, viene definita da 0% a 100% l'intervallo del ciclo del passo (consequenzialità di appoggio destro, sinistro e destro). Le fasi principali sono rappresentate dallo stance (appoggio), rappresentante circa il 60% del ciclo del passo, e la fase di swing (sospensione, avanzamento dell'arto), rappresentante circa il 40% del ciclo del passo. Attraverso il grafico Gantt sarà quindi possibile studiare il valore di riferimento normotipo durante le varie fasi del ciclo del passo da 0 a 100%, per poi successivamente confrontare queste fasi con il test reale effettuato dal paziente, analizzando il discostamento tra il valore normotipo e non normotipo, differenziando le diverse fasi del ciclo del passo in concomitanza con le bande cinematiche.

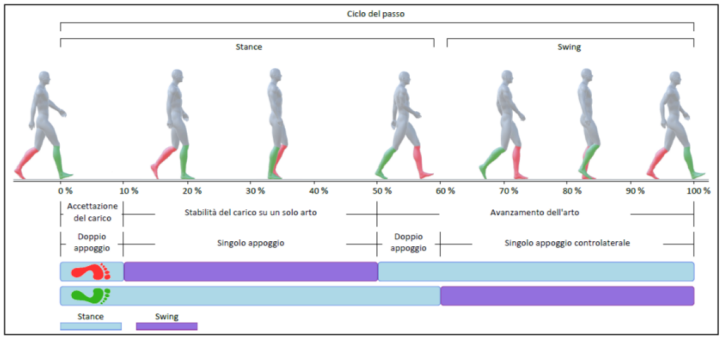


Figura 32 Info-grafica ciclo del passo durante la camminata

Carico durante la camminata:

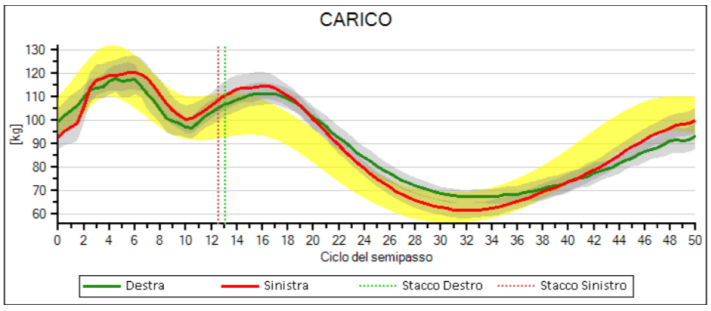


Figura 33 Grafico carico del cammino

Rispetto ai grafici sottostanti (anca, ginocchia, piedi), in cui l'intervallo 0-100 rappresenta il ciclo del passo, in questo caso il carico viene normalizzato rispetto alla fase di semipasso (intervallo 0-50%). Nella *figura 33* prendendo in considerazione la linea verde, relativa alla rappresentazione della componente verticale della forza dell'arto destro, l'istante 0% corrisponde all'Appoggio DX e l'istante 50% corrisponde all'Appoggio SX. La stessa dinamica si ripete per la componente verticale della forza del lato sinistro (linea rossa): l'istante 0% corrisponde all'Appoggio SX e l'istante 50% corrisponde all'inizio

dell'Appoggio DX. Pertanto le curve includono dallo 0% al 10-12% anche la prima fase di doppio appoggio che corrisponde all'accettazione del carico. Tale rappresentazione grafica dipende dal piano unico sensorizzato del Walker View che non separa nel doppio appoggio le due componenti verticali della forza ma le include considerando la spinta dell'arto che rimane dietro e l'impatto al suolo dell'arto che è avanti (accettazione del carico).

Le linee colorate (rossa e verde) devono essere il più sovrapposte possibile tra di loro (ciò indica poca differenza nella gestione del carico destro e sinistro). Queste linee devono essere entrambe all'interno della fascia normativa gialla.

Le linee verticali tratteggiate devono essere il più sovrapposte possibile tra loro solamente nell'analisi del cammino (ciò indica che lo stacco del piede destro e sinistro avviene nello stesso momento del ciclo del passo). Il grafico tra lo 0% e la linea verticale tratteggiata (rossa o verde) intende la fase di Double Stance.

Il grafico tra la linea verticale tratteggiata (rossa o verde) e il 50% indica la fase di Single Stance.

La differenza di altezza tra picco destro e sinistro definisce anche la simmetria di carico mostrata nel pannello risultati.

Nel caso del carico la fascia gialla di normalità oltre ad essere normalizzata rispetto alla velocità viene anche normalizzata rispetto al peso del soggetto. Pertanto è fondamentale che il soggetto durante la fase statica non si appoggi alle barre laterale, al fine di stimarne il peso corretto.

Anche, ginocchia e piedi:

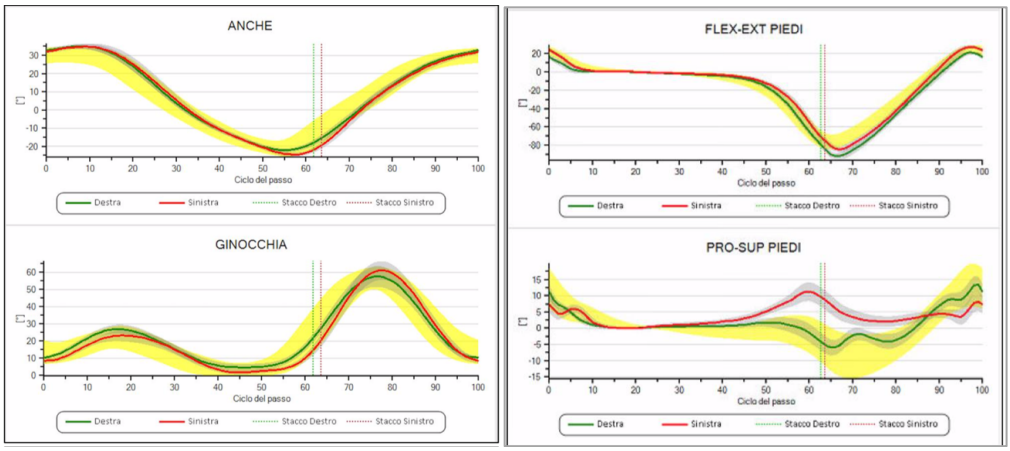


Figura 34 Grafici di anche, ginocchia e piedi

Il segnale di anca destra viene diviso in cicli del passo e temporalmente normalizzato in un intervallo che va da 0 a 100. Di conseguenza avremo tanti segnali in cui l'istante che corrisponde allo 0% sull'asse delle ascisse è l'istante di appoggio DX (Heel Strike) e l'istante del 100% è l'istante di appoggio DX consecutivo. Quindi supponendo di aver compiuto 50 appoggi DX, otterremo 49 cicli del passo e 49 segnali di cinematica normalizzati. Questi 49 segnali vengono elaborati in modo da calcolare il segnale medio, che nel grafico corrisponde al segnale colorato (verde per il lato DX e rosso per il lato SX). I grafici di anche, ginocchia e piedi vengono estrapolati con lo stesso metodo. Il segnale rappresentato dalle bande grigie chiare identifica la deviazione standard, più precisamente in questa ampiezza ricadono il 68% di tutti i segnali acquisiti durante l'analisi.

Le barre verticali tratteggiate corrispondono all'istante in cui è avvenuto lo stacco del piede dal nastro.
In un soggetto normotipo le barre verticali sono molto vicine e questo indica che il soggetto rimane in appoggio sul piede destro (Single Stance) lo stesso tempo con cui rimane sul piede sinistro. Inoltre nei grafici viene mostrata in giallo la fascia di normalità, entro la quale il segnale acquisito dovrebbe ricadere affinché il soggetto appena analizzato possa essere classificato come normotipo sano. La fascia di normalità viene normalizzata in base alla velocità selezionata, pertanto varia al variare della stessa.
Anche qui le linee colorate (rossa e verde) devono essere il più sovrapposte possibile tra di loro e ciò indica poca differenza nei momenti di flesso/estensione destro e sinistro.
Le linee verticali tratteggiate devono essere il più sovrapposte possibile tra loro, nel caso della camminata.

5. PARTE SPERIMENTALE

5.1 Protocollo riabilitativo sperimentale

Per questo studio abbiamo sviluppato un protocollo riabilitativo sperimentale sulla base di quello del professor Zini e della sua equipe adottato dal Centro Myolab di Jesi dopo ricostruzione del legamento crociato anteriore.

Come la letteratura indica [50],[52],[53], anche in questo protocollo le tappe riportate sono da considerare dei tempi indicativi in cui raggiungere determinati obiettivi. Ogni paziente ha i propri tempi di recupero, il cui raggiungimento dello scopo in un tempo successivo non va considerato un fallimento e non deve essere fonte di scoraggiamento per il paziente e per chi lo assiste.

Questo programma suggerisce alcuni esercizi tipici per ogni fase, ma dovrebbero essere sempre individualizzati. Questo protocollo sperimentale è stato suddiviso in 5 fasi:

• Fase pre-operatoria: recupero dall'infortunio e preparazione alla chirurgia
• Fase 1: recupero dalla chirurgia
• Fase 2: forza e controllo neuromuscolare
• Fase 3: corsa, agilità e atterraggi
• Fase 4: ritorno allo sport

FASE PRE-OPERATORIA – recupero dall'infortunio e preparazione alla chirurgia

Sebbene le persone vorrebbero operarsi il prima possibile, è importante che il ginocchio guarisca dall'infortunio e riprenda un buon livello di forza e funzionalità prima dell'intervento chirurgico. Si è visto infatti come il raggiungimento di alcuni obiettivi prima della chirurgia porti, a 2 anni dopo l'intervento, a risultati migliori rispetto a quei pazienti che non raggiungono questi obiettivi [56], [57].

Gli esercizi e le attività durante questa fase tipicamente includono cicli regolari di ghiaccio per ridurre il gonfiore, esercizi di mobilità, esercizi aerobici a bassa intensità (es: cyclette) ed esercizi progressivi di forza.

Vengono preparati i bastoni canadesi e si addestra al loro utilizzo e a come graduare il carico. Viene valutato l'edema, il range articolare, vengono illustrati i primi esercizi per il recupero dell'estensione, del ROM e del tono muscolare.

Obiettivi da raggiungere nella fase preoperatoria sono:

- educazione;

- riduzione del gonfiore e dolore;
- ottenere il completo ROM articolare, in particolare l'estensione di ginocchio completa;
- ottenere (almeno) il 90% della forza di quadricipite e hamstring rispetto alla gamba controlaterale;
- cammino non alterato;
- controllo neuromuscolare.

Una volta poi eseguito l'intervento si passa alla fase post-operatoria.

FASE 1:

RECUPERO DALLA CHIRURGIA *DAL 1° AL 15 GIONO*

La ricostruzione chirurgica del LCA è un evento traumatico per il ginocchio ed è necessario un periodo di riposo e recupero dopo l'operazione. Sebbene si è tentati di voler subito guadagnare forza ed escursione articolare, la cosa migliore è permettere al ginocchio di stabilizzarsi per almeno 1-2 settimane con esercizi basici di mobilità, contrazioni isometriche del quadricipite, ghiaccio e compressione. Esercizi e attività tipiche di questa fase includono cicli regolari di ghiaccio sul ginocchio e sul punto del prelievo dell'innesto, compressione del ginocchio e della gamba, contrazioni isometriche del quadricipite ed esercizi di mobilità leggeri per migliorare la flesso-estensione del ginocchio.

Si addestra il paziente al corretto schema del passo con il Walker View.

Antidolorifici e altri farmaci dovrebbero essere usati solo dopo aver consultato il medico.

RECUPERO DALLA CHIRURGIA *DAL 15° AL 30° GIORNO*

Dopo la rimozione dei punti di sutura che avviene intorno al 15° giorno, si inizia il massaggio della cicatrice che viene insegnato al paziente così da eseguirlo anche in autonomia a casa. Si prosegue con gli esercizi isometrici e le mobilizzazioni fino ad arrivare a circa 120° di flessione e, una volta che la ferita risulta asciutta, si integrerà al lavoro a secco anche la riabilitazione in acqua per le successive 3-4 settimane.

In acqua verranno eseguiti i vari tipi di camminata (in avanti, indietro, sulle punte, laterale, a ginocchia alte), mobilizzazioni passive e attivo-assistite del ginocchio con tubi galleggianti e cavigliere, esercizi di rinforzo con tavolette, squat, esercizi di controllo neuromotorio con il flusso contro corrente, scale, stretching, esercizi in acqua alta.

A secco si eseguono esercizi di controllo neuromuscolare (ad esempio con il paziente prono ad occhi chiusi, il fisioterapista posiziona il ginocchio del paziente flesso ad un certo angolo e si chiede di rimetterlo nella stessa posizione). Aumento del carico alla deambulazione: orientativamente dovrebbe proseguire con un bastone canadese intorno alla 2° settimana e dovrebbe essere a carico libero in 3°-4° settimana. A partire dalle 3°-4° settimana è utile eseguire la cyclette a sellino alto e senza resistenza.
Gli obiettivi più importanti della fase acuta quindi sono:

- riduzione dolore e gonfiore;
- estensione completa di ginocchio, sia attiva che passiva;
- controllo del quadricipite, che non significa una forza completa ma che il quadricipite possa essere attivato normalmente dal paziente;
- corretto schema del passo;
- controllo neuromuscolare.

FASE 2:

FORZA E CONTROLLO NEUROMUSCOLARE *DAL 30° AL 90° GIORNO*

Si prosegue integrando il lavoro in acqua e in ambulatorio.
Gli obiettivi di questa fase sono:

- il recupero completo del ROM;
- riguadagnare forza muscolare, equilibrio e una coordinazione di base.

Esercizi e attività tipiche durante questa fase comprendono affondi, step-up, squat, ponte, sollevamenti sulle punte, rinforzo dei muscoli abduttori dell'anca, esercizi per il core e per l'equilibrio, rieducazione al cammino e attività aerobiche senza impatto come pedalare, nuotare e camminare.
Si inizia generalmente con esercizi semplici a corpo libero fino ad arrivare a un misto di esercizi di resistenza, equilibrio e coordinazione da svolgere in palestra.
Si eseguono esercizi isometrici con peso aumentato progressivamente, esercizi in CCC con ROM 0°-45° (step, squat, ponte) e in CCA dalla 4° settimana con ROM 90°-45° aumentato gradualmente e senza resistenza. Si iniziano esercizi propriocettivi con e senza ausili ed esercizi di coordinazione. Intorno al 3° mese si aggiungono anche la abductor machine, la adductor machine, la leg press ed esercizi propedeutici alla corsa.

È importante in questa fase "ascoltare" il ginocchio e progredire solo quando il ginocchio lo permette. L'aumento del dolore e/o gonfiore sono i due sintomi tipici che indicano che il ginocchio non sta tollerando il carico.

FASE 3:

CORSA, AGILITA', ATTERRAGGI *DAL 90° AL 180° GIORNO*

Si eseguono esercizi di rinforzo con resistenza e carico progressivo, esercizi propriocettivi avanzati (esercizi in monopodalica con focus esterno, tavoletta propriocettiva, cuscino propriocettivo). Se sono sati raggiunti gli obiettivi precedenti si inizia la corsa rettilinea. *Inoltre in* questa fase che prevede il ritorno alla corsa si eseguono esercizi di agilità, salti e balzi, oltre alla continuazione di un programma di forza e controllo neuromuscolare in palestra. Si continuano esercizi di rinforzo, test isocinetico che dovrà raggiungere l'85% del controlaterale, esercizi propriocettivi sempre più dinamici. Si introducono cambi di direzione, salti ed esercizi propedeutici al ritorno allo sport specifico.

FASE 4:

RITORNO ALLO SPORT *DAL 180° IN POI*

Questa fase dovrebbe essere altamente individualizzata e gli esercizi e gli allenamenti che sono abituali per l'atleta, quando non è infortunato, dovrebbero essere integrati nel programma.

Il focus principale non dovrebbe essere incentrato solo sul rendere pronto il ginocchio per lo sport, ma l'intera persona. Il ginocchio deve essere stabile e forte, con una biomeccanica e i pattern neuromuscolari ottimali. Ma l'atleta deve avere fiducia e deve essere mentalmente pronto per ritornare in campo, e ciò avverrà dopo continui allenamenti e situazioni di gioco.

Devono continuare ad essere eseguiti esercizi di forza, equilibrio, atterraggi e agilità, con particolare enfasi sulla progressione dell'allenamento, inizialmente con restrizioni e successivamente senza fino al progressivo ritorno alla pratica sportiva e alla competizione.

Nel caso di **ricostruzione del LCA e meniscectomia parziale o sutura meniscale** il protocollo si basa su quanto riportato al paragrafo 2.4 di questo lavoro di Tesi.

5.2 Presentazione dello studio osservazionale prospettico

5.2.1 Introduzione

La lesione del legamento crociato anteriore è un infortunio disabilitante e molto comune che colpisce soprattutto la popolazione giovane sportiva.

Nonostante le odierne tecniche chirurgiche e gli innumerevoli programmi riabilitativi, questo tipo di infortunio continua ad essere uno dei peggiori a cui può andare incontro uno sportivo.

La riabilitazione dopo intervento al LCA è un percorso lungo e faticoso, che richiede costanza, sudore e una buona compliance da parte del paziente.

5.2.2 Dichiarazione d'intenti

Ho avuto l'esperienza di provare sulla mia pelle cosa significa andare incontro a questo tipo di lesione ed è proprio questo il motivo che mi ha spinto ad affrontare questo argomento di Tesi.

Due anni fa ho subìto l'intervento di ricostruzione del legamento crociato anteriore e ho avuto l'opportunità di svolgere il mio percorso di riabilitazione proprio al Centro Myolab con la fisioterapista, nonché correlatrice di questo lavoro di tesi, Marta Curzi, utilizzando proprio il percorso qui proposto.

Questo infortunio, oltre a tutto il percorso di tirocinio, mi ha permesso di capire cosa significa stare da entrambe le parti: prima come paziente e poi come futura fisioterapista. Mi ritengo fortunata perché ho potuto capire cosa vuol dire e come ci si sente ad essere 'paziente', con le sue paure, le sue richieste, la voglia di tornare come prima; ma anche cosa significa essere 'fisioterapista', con amore, passione e la voglia di aiutare ed accompagnare il paziente in questo percorso.

Da tutto ciò è nato lo spunto per questo lavoro di Tesi.

Ho quindi deciso di approfondire la lesione del legamento crociato anteriore e menisco ed ho sperimentato un protocollo riabilitativo integrando il lavoro in acqua e a secco per verificare come questo tipo di trattamento possa essere efficace al fine di migliorare il percorso riabilitativo.

5.2.3 Scopo della tesi

Lo scopo del presente studio è valutare l'efficacia dell'esercizio terapeutico in acqua integrato al protocollo riabilitativo a secco nel migliorare dolore, trofismo e funzionalità del cammino in tre gruppi di pazienti con esiti di intervento di LCA, meniscectomia e sutura meniscale.

Questo studio confronta le varie misure di outcome nei tre gruppi e ne analizza le differenze.

5.2.4 Popolazione dello studio

Il gruppo di studio è stato diviso in 3 sottogruppi in base al tipo di lesione subìta e al tipo di intervento chirurgico affrontato.

Il gruppo di studio è formato da 12 soggetti di entrambi i sessi, precisamente 8 maschi e 4 femmine, di età compresa tra i 21 e 50 anni con un media di 32,1 anni.

Il primo gruppo, denominato GRUPPO A, comprende tutti coloro che hanno avuto una lesione isolata del LCA sottoposta a riparazione chirurgica mediante impianto autologo di tendini gracile e semitendinoso;

il secondo gruppo, denominato GRUPPO B, comprende tutti coloro che hanno avuto una lesione di LCA con associata lesione meniscale e sono stati sottoposti a riparazione chirurgica di LCA con la stessa metodica sopra riportata e meniscectomia selettiva;

il terzo gruppo, denominato GRUPPO C, comprende tutti coloro che hanno avuto una lesione di LCA con associata lesione meniscale ma sono stati sottoposti, oltre a riparazione chirurgica di LCA con la stessa metodica, a sutura meniscale.

Il GRUPPO A è formato da 6 soggetti, il GRUPPO B da 4 soggetti e il GRUPPO C da 2. Tra questi, 2 soggetti avevano già subìto una lesione di LCA controlaterale negli scorsi anni.

Un paziente ha abbandonato lo studio dopo il primo mese di riabilitazione per problemi organizzativi, per cui è stato preso in considerazione solo per la prima valutazione.

5.3. Materiali e metodi

5.3.1 Criteri di ricerca

La banca dati utilizzata per consultare la letteratura in questo studio è Pubmed.

Per i criteri di ricerca del presente studio ho utilizzo il modello P.I.C.O.
Nel dettaglio:
la lettera "P" sta per popolazione: i soggetti del gruppo sperimentale che hanno partecipato allo studio sono stati individuati tra i pazienti in trattamento riabilitativo presso il centro "Myolab Kos Group Jesi s.r.l" di Jesi (AN) nel periodo tra gennaio e settembre 2022;
la lettera "I" sta per intervento: tutti i pazienti hanno seguito il protocollo integrato relativo alla loro patologia;
la lettera "C" sta per confronto: il confronto viene effettuato tra i tre gruppi, diversi per patologia ma che seguono lo stesso programma riabilitativo;
la lettera "O" sta per outcome: dolore, ROM, trofismo e lunghezza del passo.

All'inizio dello studio sono stati definiti i seguenti criteri di inclusione ed esclusione per arruolare i soggetti partecipanti.
CRITERI DI INCLUSIONE:

- soggetti di entrambi i sessi;
- soggetti di età non superiore ai 50 anni;
- soggetti atleti praticanti sport a qualsiasi livello agonistico o semplice attività motoria;
- soggetti sottoposti a intervento chirurgico artroscopico di ricostruzione del LCA mediante impianto autologo di tendini gracile e semitendinoso e soggetti con associata lesione meniscale sottoposti a meniscectomia selettiva o sutura meniscale.

CRITERI DI ESCLUSIONE:

- Soggetti con altre comorbidità.

5.3.2 Intervento eseguito

Tutti i pazienti iniziavano il percorso riabilitativo nella prima settimana post operatoria. Ogni gruppo ha seguito il suo programma riabilitativo sotto la guida del fisioterapista. Si sono sottoposti tutti allo stesso numero di sedute di fisioterapia settimanali, in genere 3 volte alla settimana e, in seguito alla rimozione dei punti di sutura e una volta che la ferita risultava asciutta, tutti hanno integrato al loro programma la riabilitazione in acqua 2 volte alla settimana con l'aggiunta di 1 volta a secco per una durata media di circa 4-6 settimane, per poi proseguire con il lavoro in palestra. Il lavoro viene svolto interamente al "Centro Myolab" in quanto è dotato di stanze ambulatoriali per la fisioterapia, di una piscina riabilitativa e di una palestra con Walker View dove completare il lavoro fino al return to play.

I pazienti, mentre seguivano il loro protocollo, sono stati sottoposti dalla sottoscritta alle valutazioni riguardo le misure di outcome.

Tabella 1 Ricostruzione LCA con ST-GR: protocollo riabilitativo

	Fase temporale	**Tipo di seduta**	**Setting**
	Fase pre-operatoria	• Controllo dolore e gonfiore • Estensione completa • Recupero tono-trofismo muscolare • Ripristino schema del passo normale • Educazione e preparazione all'intervento	-Ambulatorio
FASE 1	1°-15° giorno	• Controllo dolore e versamento • Mobilizzazione passiva e attivo-assistita (importante estensione completa e flessione a 90°) • Esercizi isometrici • Carico parziale 30-50% • Valutazione dolore, ROM e trofismo • Gait Analysis con Walker View • Training della deambulazione con Walker View	-Ambulatorio
	15°-30° giorno	• Scollamento cicatrice • Mobilizzazione passiva e attiva-assistita fino a 120° di flessione • Esercizi isometrici • Ripristino del corretto schema del passo • Controllo neuromuscolare • Riabilitazione in acqua (mobilizzazione passiva e attivo-assistita, esercizi di rinforzo per gli arti inferiori senza e successivamente con ausili come cavigliere, tavolette, tubi galleggianti, vari tipi di camminate, esercizi di stretching, esercizi in acqua alta)	-Ambulatorio -Vasca riabilitativa
FASE 2	30°-90° giorno (2°-3° mese)	• Recupero ROM completo • Riabilitazione in acqua (vari tipi di camminate, mobilizzazione passiva e attivo-assistita, esercizi di rinforzo e controllo motorio, esercizi di fitness cardiovascolare, esercizi con il contro corrente) • Esercizi isometrici con peso, abductor machine, adductor machine, leg press • Esercizi in CCC con ROM 0°-45° • Esercizi in CCA con ROM 90°-45° con aumento graduale del ROM e senza resistenza • Esercizi propriocettivi con e senza ausili • Valutazione dolore, ROM e trofismo a 2 mesi • Gait Analysis con Walker View a 2 mesi	-Vasca riabilitativa -Palestra
FASE 3	90°-180° giorno (4°-6° mese)	• Esercizi di rinforzo con resistenza e carico progressivo • Esercizi propriocettivi avanzati (con particolare riferimento agli esercizi sul piano sagittale e in forma sempre più dinamica) e poi sempre più dinamici • Corsa rettilinea • Corsa a zig-zag e laterale, cambi di direzione • Esercizi sport specifici • Valutazione dolore, ROM e trofismo a 4 mesi • Gait Analysis con Walker View a 4 mesi	-Palestra
FASE 4	Dal 180° giorno (7° mese)	• Progressivo ritorno alla pratica sportiva (rieducazione in palestra e sul campo con training isocinetico, esercizi propriocettivi, esercizi per il recupero del gesto atletico)	-Palestra -Campo da gioco

5.3.3 Misure di outcome – Indicatori di risultato

Le misure di outcome prese in considerazione in questo studio sono:

- Dolore mediante somministrazione al paziente della scala NRS (*Numeric Rating Scale*). Questa è una scala numerica unidimensionale quantitativa di valutazione del dolore a 11 punti; la scala prevede che l'operatore chieda al paziente di selezionare il numero che meglio descrive l'intensità del suo dolore, da 0 a 10, in quel preciso momento;
- Range articolare (ROM) mediante goniometro. La misurazione è stata fatta sia per il ROM passivo che attivo, in estensione da supino e in flessione da prono, per entrambi gli arti;
- Trofismo della coscia mediante centimetro a nastro. La misurazione è stata fatta da supino, a muscolo rilassato, a 10 cm e 15 cm dal margine superiore della patella, per entrambi gli arti e viene confrontata la differenza;
- Lunghezza del passo mediante Walker View. Per questo studio è stato scelto di fare il Gait Analysis con l'aggiunta dell'utilizzo degli F-Sensor che vengono fissati con gli appositi calzari sul Walker View. Si sceglie la tipologia di paziente ortopedico selezionando la durata del test di 30'' e velocità fissa da warm-up. Si seleziona warm-up manuale per far prendere familiarità con il treadmill e verrà poi scelta la velocità più comoda al paziente con la quale cammina solitamente. Viene mostrato l'avatar sul piano sagittale al posto del video della persona in modo tale da non influenzarla.

  Vengono date tutte le informazioni necessarie al paziente: camminare normalmente mantenendosi nella stessa posizione sul tappetto senza accelerazioni o decelerazioni importanti, non toccarsi le varie parti del corpo mentre si effettua il test, non ruotare il tronco, non spostare i piedi sui supporti laterali del tappeto per riposarsi.

  Una volta effettuato il test, si discute con il paziente circa i risultati ottenuti e dove eventualmente focalizzare il lavoro.

5.3.4 Timing di valutazione

Le valutazioni sono state effettuate entro 15 giorni dall'intervento (T1) che corrisponde alla Fase 1 del protocollo sperimentale utilizzato, a 60 giorni (T2) che corrisponde alla Fase 2 del protocollo e a 120 giorni (T3) che corrisponde alla Fase 3.
Riassumendo:

- T1 (FASE 1): entro 15 giorni dall'intervento
- T2 (FASE 2): 60 giorni (2 mesi) dall'intervento
- T3 (FASE 3): 120 giorni (4 mesi) dall'intervento

Non sono stati effettuati i test sia nella fase preoperatoria del protocollo che nell'ultima fase che comprendeva un lavoro di riatletizzazione in palestra.

È da specificare però che la valutazione a T1 della Gait Analysis è stata effettuata in tempi diversi nei vari gruppi:

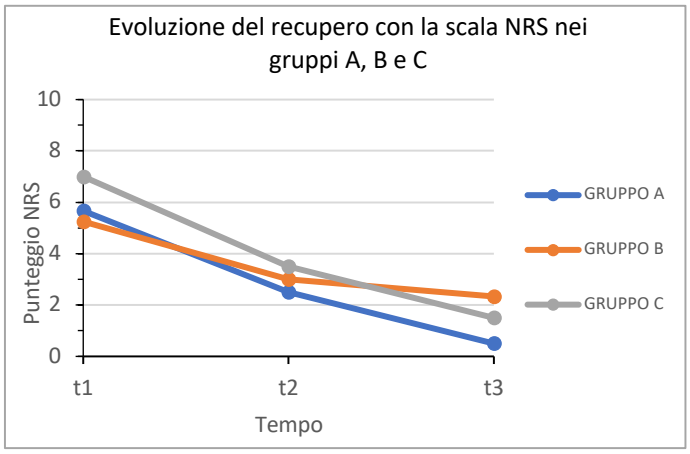
- GRUPPO A e GRUPPO B a 15 giorni, non avendo alcuna limitazione di carico ma semplice carico a tolleranza;
- GRUPPO C a 30 giorni, avendo da protocollo divieto di carico fino a quella data.

6. RISULTATI

Di seguito vengono riportati sia in formato tabulare che graficamente il riepilogo dei risultati ottenuti per ogni misura di outcome presa in considerazione:

- *DOLORE con la scala NRS*

In questo paragrafo sono illustrati i risultati relativi al dolore dei pazienti mediante la scala NRS (Numeric Rating Scale). Si ricorda che questa scala ha un punteggio che va da 0 a 10, dove 0 indica l'assenza completa di dolore e 10 il massimo dolore provato.



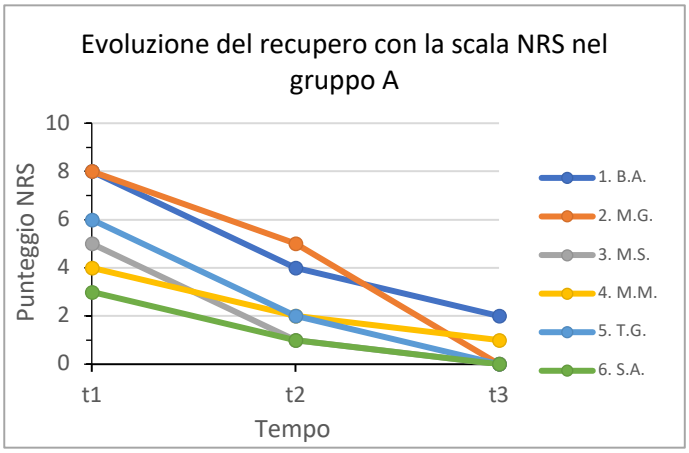
	t1	t2	t3
GRUPPO A	5,67	2,5	0,5
GRUPPO B	5,25	3	2,33
GRUPPO C	7	3,5	1,5

Il grafico mostra l'andamento del dolore in funzione del tempo nei 3 gruppi di pazienti analizzati in questo studio. Si considera la media dei punteggi ad ogni tempo e per ogni gruppo.

Dal grafico si nota subito che tutti e 3 i gruppi hanno mostrato una significativa diminuzione del dolore nell'arco del tempo, come da protocollo.

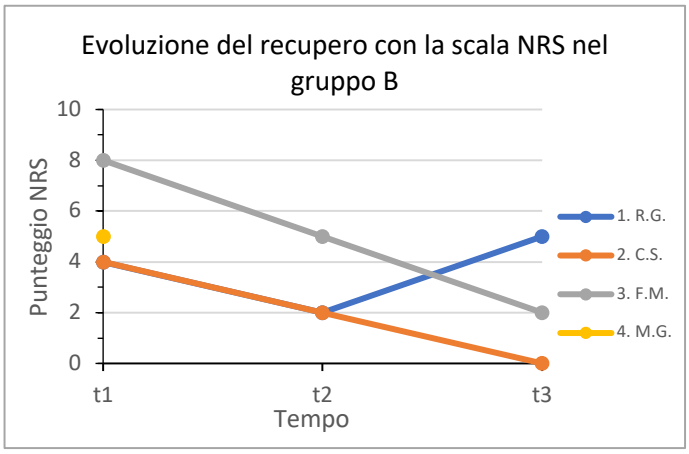
In particolare, il gruppo A è quello che ha avuto un miglioramento più importante arrivando a t3 con un punteggio molto vicino allo 0. Anche il gruppo C è andato bene sotto questo punto di vista, nonostante sia quello che a t1 presentava maggior dolore, con una media di 7, per poi diminuire linearmente fino a t3. Il gruppo B invece è quello rimasto un po' più stazionario, c'è stato comunque un miglioramento ma a t3 il dolore era ancora oltre il 2. Ciò è dovuto in particolare ad un soggetto di questo gruppo che, durante il periodo di riabilitazione, ha subìto un trauma che gli ha recato un aumento del dolore alla zona del menisco.

Andando ad analizzare nel dettaglio l'andamento del dolore nei soggetti di ogni singolo gruppo:



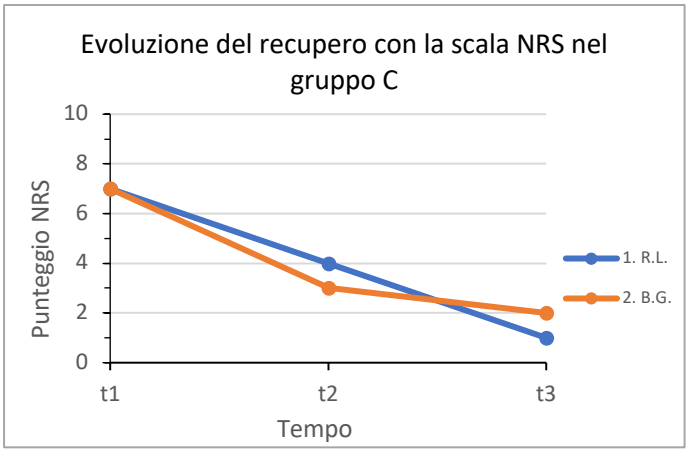
NRS – GRUPPO A

	t1	t2	t3
1. B.A.	8	4	2
2. M.G.	8	5	0
3. M.S.	5	1	0
4. M.M.	4	2	1
5. T.G.	6	2	0
6. S.A.	3	1	0



NRS – GRUPPO B

	t1	t2	t3
1. R.G.	4	2	5
2. C.S.	4	2	0
3. F.M.	8	5	2
4. M.G.	5	/	/



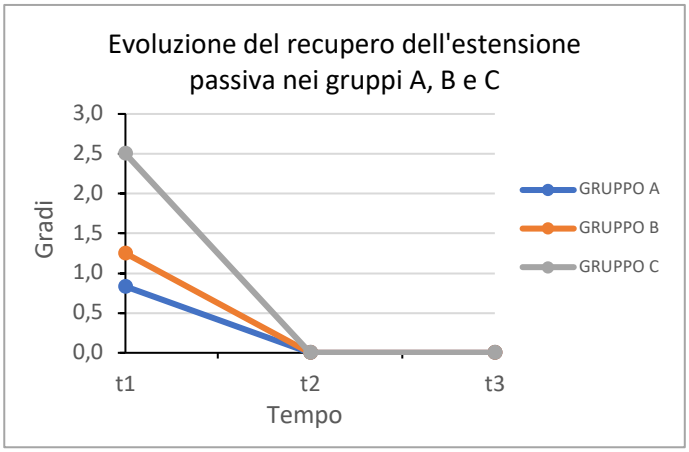
NRS – GRUPPO C

	t1	t2	t3
1. R.L.	7	4	1
2. B.G.	7	3	2

- *RANGE ARTICOLARE (ROM) mediante goniometro*

  In questo paragrafo sono illustrati i risultati relativi al Range of Motion (ROM) sia passivo che attivo misurati mediante goniometro. Si è deciso di prendere la misura dell'estensione da supino e la misura della flessione da prono.

  - ESTENSIONE PASSIVA



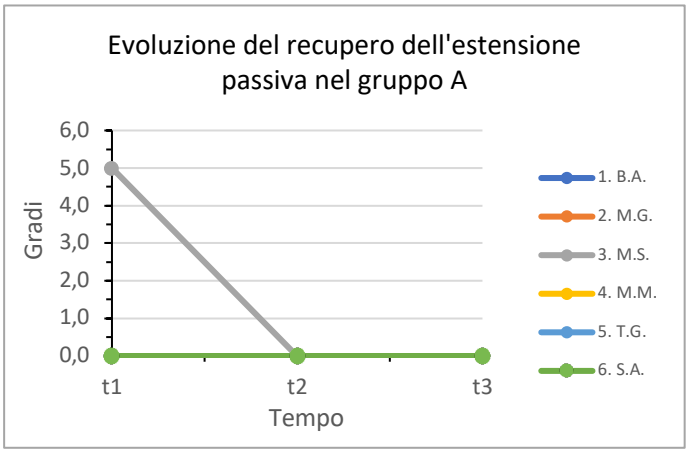
	t1	t2	t3
GRUPPO A	0,83	0	0
GRUPPO B	1,25	0	0
GRUPPO C	2,5	0	0

Il grafico mostra l'evoluzione del recupero dell'estensione passiva dell'arto operato in funzione del tempo nei 3 gruppi di pazienti analizzati in questo studio. Si considera la media dei gradi ad ogni tempo e per ogni gruppo.

Sappiamo che il recupero della completa estensione è uno degli obiettivi fondamentali da raggiungere già in fase acuta. Dal grafico si può notare come ciò si sia verificato per tutti e 3 i gruppi a t2 e mantenuto poi anche a t3, mentre a t1 si può vedere come il gruppo C sia quello che aveva un maggior deficit di estensione con una media di 2,5° e come il gruppo A sia invece quello che presentava un deficit di estensione minore.

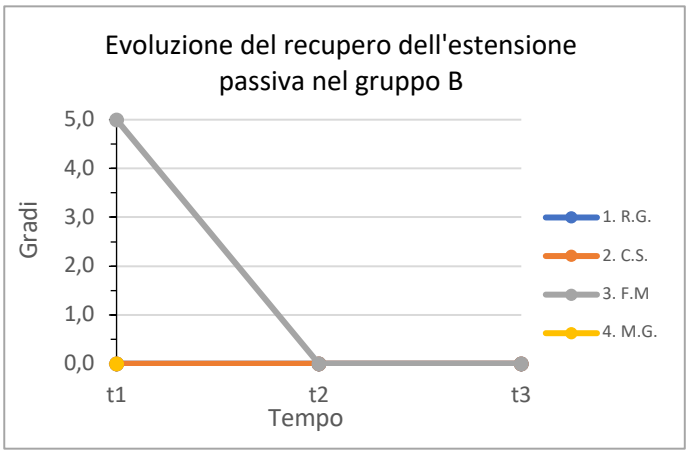
È comunque da specificare che in generale tutti i pazienti hanno raggiunto un'estensione completa di 0° a t2 e soltanto un paziente per ciascun gruppo ha presentato un deficit di circa 5° di estensione a t1.

Andando ad analizzare nel dettaglio l'andamento del recupero dell'estensione passiva nei soggetti di ogni singolo gruppo:



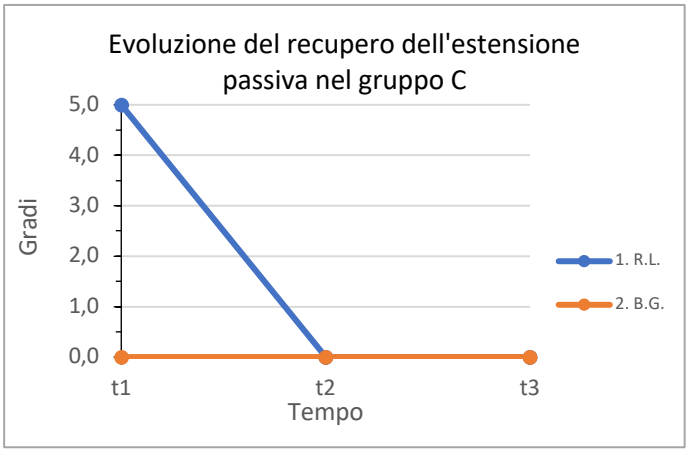
ESTENSIONE PASSIVA –GRUPPO A

	t1	t2	t3
1. B.A.	0	0	0
2. M.G.	0	0	0
3. M.S.	5	0	0
4. M.M.	0	0	0
5. T.G.	0	0	0
6. S.A.	0	0	0



ESTENSIONE PASSIVA – GRUPPO B

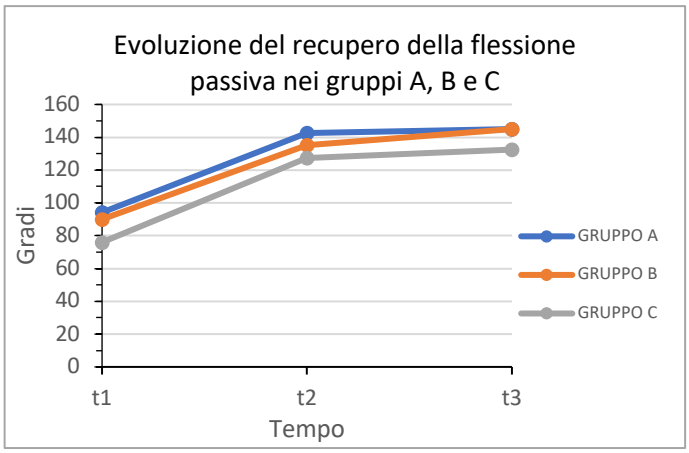
	t1	t2	t3
1. R.G.	0	0	0
2. C.S.	0	0	0
3. F.M	5	0	0
4. M.G.	0	/	/



ESTENSIONE PASSIVA –GRUPPO C

	t1	t2	t3
1. R.L.	5	0	0
2. B.G.	0	0	0

- FLESSIONE PASSIVA



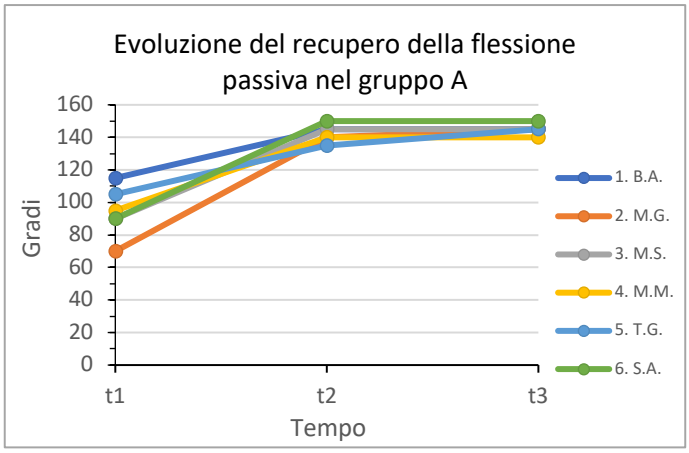
	t1	t2	t3
GRUPPO A	94,17	142,5	145
GRUPPO B	90	135	145
GRUPPO C	76	127,5	132,5

Il grafico mostra l'evoluzione del recupero della flessione passiva dell'arto operato in funzione del tempo nei 3 gruppi dello studio. Si considera sempre la media dei gradi ad ogni tempo e per ogni gruppo.

Anche la flessione è uno degli obiettivi da raggiungere nei primi mesi dall'intervento. È però da specificare che il gruppo C, avendo subìto un intervento di ricostruzione di LCA e sutura meniscale, ha da protocollo una limitazione della flessione che non deve superare i 90° nei primi 30 giorni. Infatti, come si nota dal grafico il gruppo C a t1 raggiunge un grado di flessione minore rispetto agli altri due gruppi. Ciò si verifica però anche a t2 e t3, arrivando alla fine ad una flessione in media di 132,5° che risulta molto minore rispetto ai 145° raggiunti dai gruppi A e B.

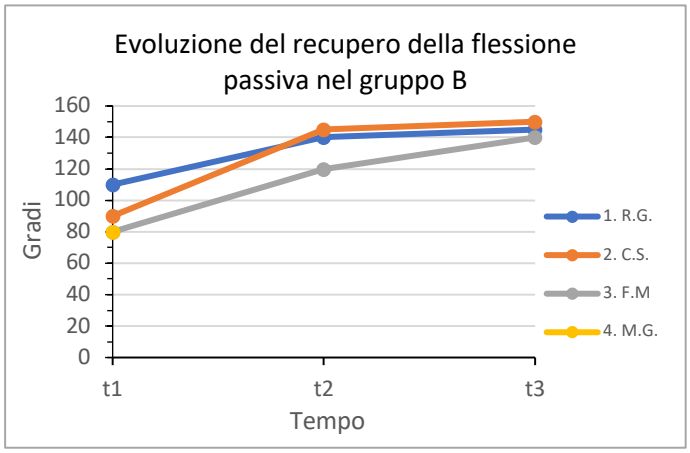
Un'altra caratteristica da analizzare in questo grafico è a t2. Mentre il gruppo A raggiunge il massimo della flessione già a questo tempo per poi confermarlo anche al tempo 3, il gruppo B a t2 presenta una flessione di 135° di media, quindi minore rispetto alla sua massima flessione di 145° che raggiungerà a t3.

Andando ad analizzare nel dettaglio l'andamento del recupero della flessione passiva nei soggetti di ogni singolo gruppo:



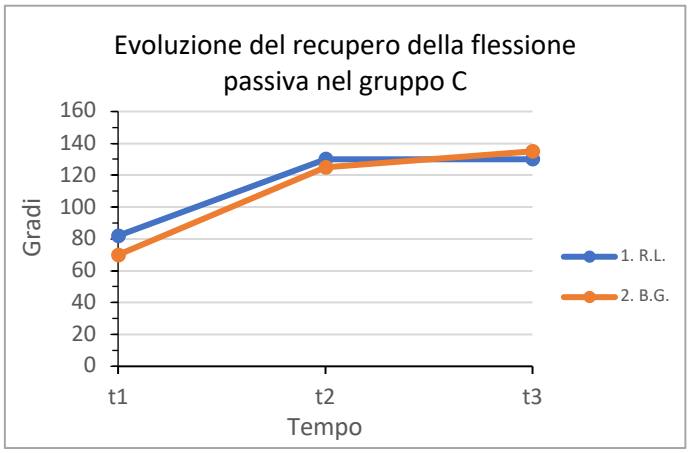
FLESSIONE PASSIVA – GRUPPO A

	t1	t2	t3
1. B.A.	115	145	145
2. M.G.	70	140	145
3. M.S.	90	145	145
4. M.M.	95	140	140
5. T.G.	105	135	145
6. S.A.	90	150	150



FLESSIONE PASSIVA – GRUPPO B

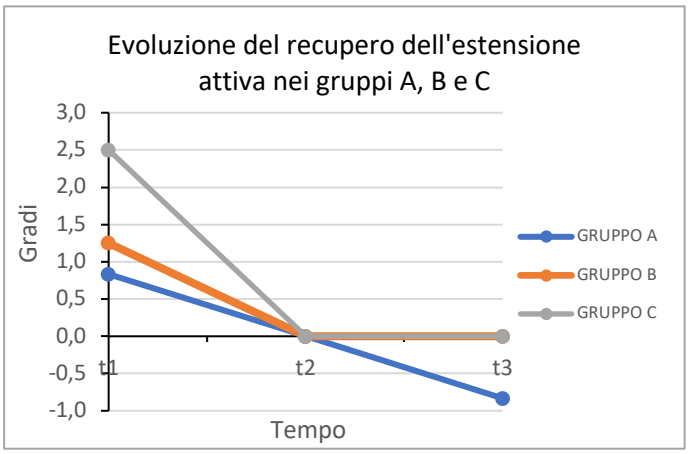
	t1	t2	t3
1. R.G.	110	140	145
2. C.S.	90	145	150
3. F.M	80	120	140
4. M.G.	80	/	/



FLESSIONE PASSIVA – GRUPPO C

	t1	t2	t3
1. R.L.	82	130	130
2. B.G.	70	125	135

- ESTENSIONE ATTIVA

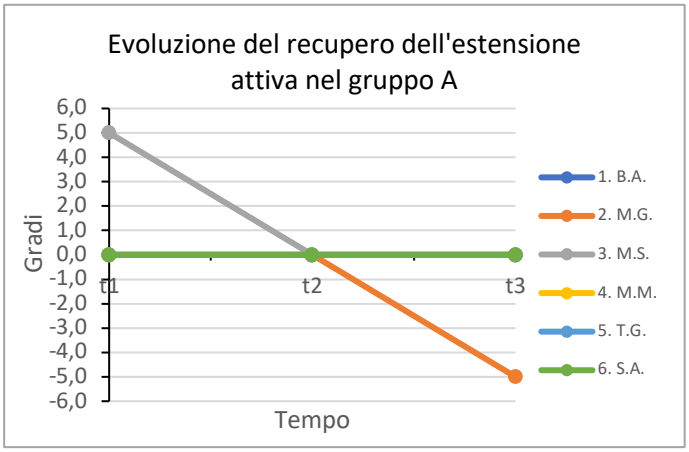


	t1	t2	t3
GRUPPO A	0,83	0	-0,83
GRUPPO B	1,25	0	0
GRUPPO C	2,5	0	0

Il grafico mostra l'evoluzione del recupero dell'estensione attiva dell'arto operato in funzione del tempo nei 3 gruppi dello studio. Si considera sempre la media dei gradi di estensione a ogni tempo e per ogni gruppo.

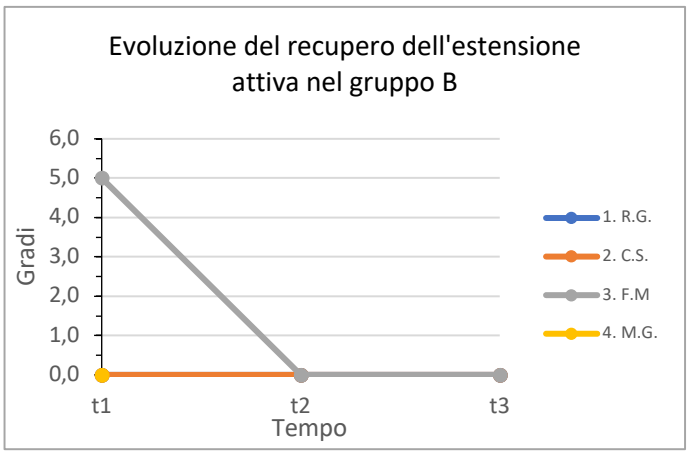
Anche in questo grafico, come in quello dell'estensione passiva, non ci sono particolari dati da sottolineare, se non il fatto che anche qui il gruppo C è quello che a t1 presentava un maggior deficit di estensione. Tutti e 3 i gruppi hanno comunque recuperato l'estensione attiva completa a t2 e t3. Nel gruppo A due soggetti avevano iperestensione del ginocchio controlaterale e, secondo il protocollo, l'obiettivo è recuperarla anche nel ginocchio operato. Di questi, uno è riuscito a recuperare l'iperestensione di 5° a t3, mentre un'altra paziente che aveva un'iperestensione di 10° non è riuscita.

Andando ad analizzare nel dettaglio l'andamento del recupero dell'estensione attiva nei soggetti di ogni singolo gruppo:



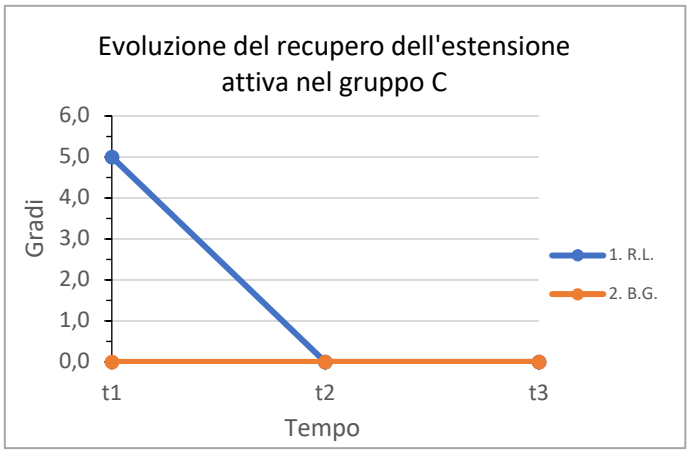
ESTENSIONE ATTIVA – GRUPPO A

	t1	t2	t3
1. B.A.	0	0	0
2. M.G.	0	0	-5
3. M.S.	5	0	0
4. M.M.	0	0	0
5. T.G.	0	0	0
6. S.A.	0	0	0



ESTENSIONE ATTIVA – GRUPPO B

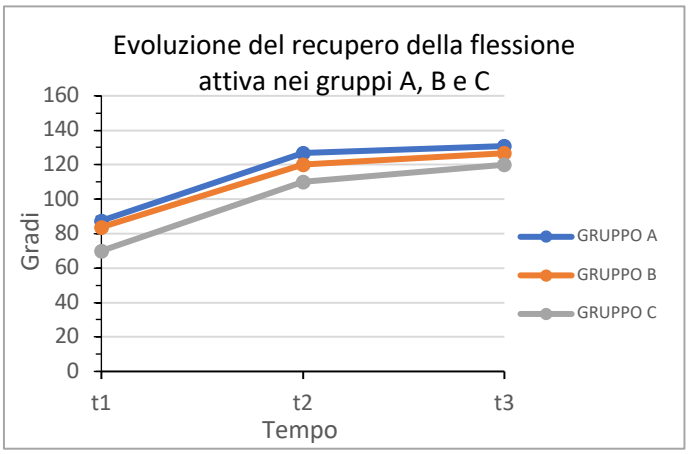
	t1	t2	t3
1. R.G.	0	0	0
2. C.S.	0	0	0
3. F.M	5	0	0
4. M.G.	0	/	/



ESTENSIONE ATTIVA – GRUPPO C

	t1	t2	t3
1. R.L.	5	0	0
2. B.G.	0	0	0

- FLESSIONE ATTIVA

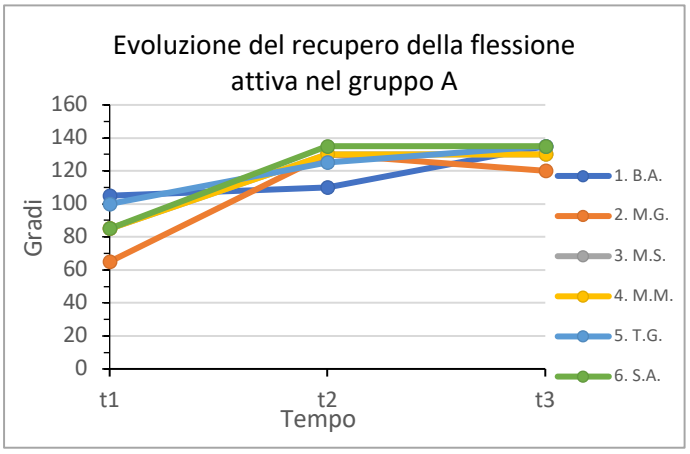


	t1	t2	t3
GRUPPO A	87,5	126,67	130,83
GRUPPO B	83,75	120	126,67
GRUPPO C	70	110	120

Il grafico mostra l'evoluzione del recupero della flessione attiva dell'arto operato in funzione del tempo nei 3 gruppi dello studio. Si considera sempre la media dei gradi di estensione a ogni tempo e per ogni gruppo.

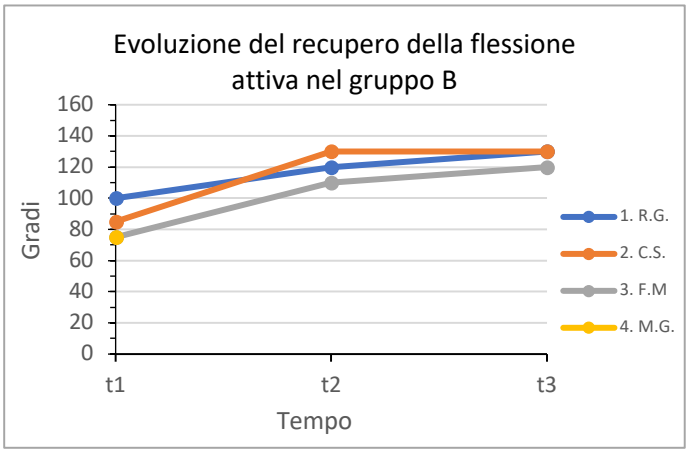
Anche in questo caso vale lo stesso discorso della flessione passiva nel gruppo C, ovvero c'è una limitazione della flessione da rispettare per i primi 30 giorni. Infatti, la flessione attiva a t1 per il gruppo C è inferiore rispetto a quella degli altri gruppi, per poi comunque avere un miglioramento a t2 e t3, sempre però restando leggermente inferiore agli altri gruppi, fino ad arrivare ad una flessione attiva di circa 130° di media.

Andando ad analizzare nel dettaglio l'andamento del recupero della flessione attiva nei soggetti di ogni singolo gruppo:



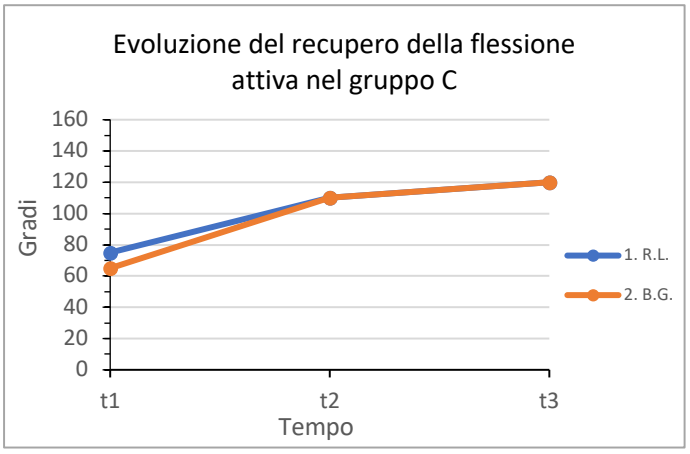
FLESSIONE ATTIVA – GRUPPO A

	t1	t2	t3
1. B.A.	105	110	135
2. M.G.	65	130	120
3. M.S.	85	130	130
4. M.M.	85	130	130
5. T.G.	100	125	135
6. S.A.	85	135	135



FLESSIONE ATTIVA – GRUPPO B

	t1	t2	t3
1. R.G.	100	120	130
2. C.S.	85	130	130
3. F.M	75	110	120
4. M.G.	75	/	/



FLESSIONE ATTIVA – GRUPPO C

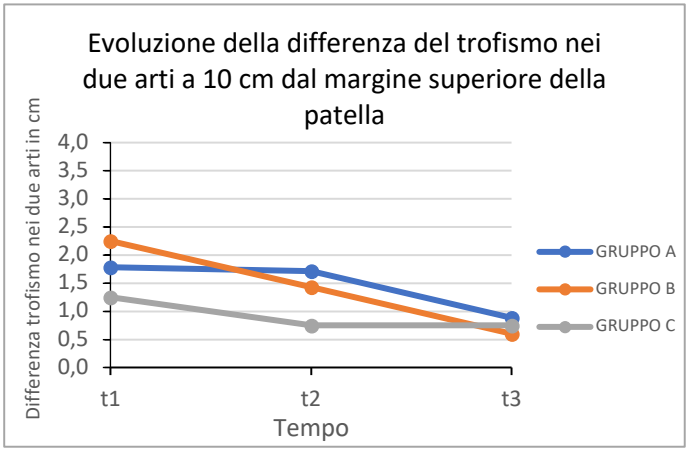
	t1	t2	t3
1. R.L.	75	110	120
2. B.G.	65	110	120

- *TROFISMO DELLA COSCIA mediante centimetro a nastro*

In questo paragrafo sono illustrati i risultati relativi al trofismo della coscia misurati mediante centimetro a nastro. Si ricorda che la misurazione viene fatta da supino a muscolo rilassato a 10 cm e a 15 cm dal margine superiore della patella.

Vista la differenza che può intercorrere tra i pazienti a causa della differente fisicità e del sesso, nei grafici che seguono si è deciso di considerare la differenza del trofismo della coscia tra i due arti a 10 cm e a 15 cm dal margine superiore della patella.

- DIFFERENZA DEL TROFISMO NEI DUE ARTI A 10 CM



	t1	t2	t3
GRUPPO A	1,78	1,72	0,88
GRUPPO B	2,25	1,43	0,6
GRUPPO C	1,25	0,75	0,75

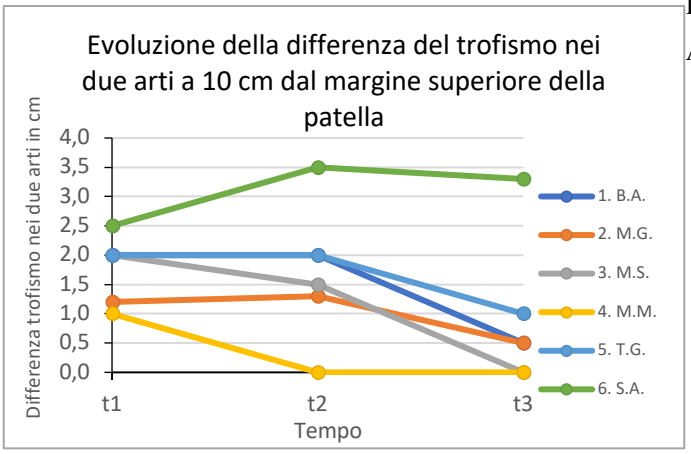
Il grafico mostra l'evoluzione della differenza del trofismo tra i due arti a 10 cm dal margine superiore della patella in funzione del tempo nei 3 gruppi dello studio. Si considera sempre la media delle differenze a ogni tempo e per ogni gruppo.

L'obiettivo della riabilitazione è recuperare anche il trofismo muscolare e quindi far sì che non si crei una differenza importante tra i due arti a livello della coscia.

Dal grafico è possibile notare come tutti e 3 i gruppi hanno avuto un miglioramento a t3, arrivando ad ottenere una differenza inferiore ad 1 cm. Il gruppo B in particolare è stato quello che ha avuto una riduzione della differenza più lineare partendo a t1 come il gruppo che presentava una differenza più importante, con una media di 2,25 cm, un calo graduale a t2, per poi arrivare infine a t3 ad avere una differenza tra i due arti di 0,6 cm, minore quindi rispetto agli altri gruppi.

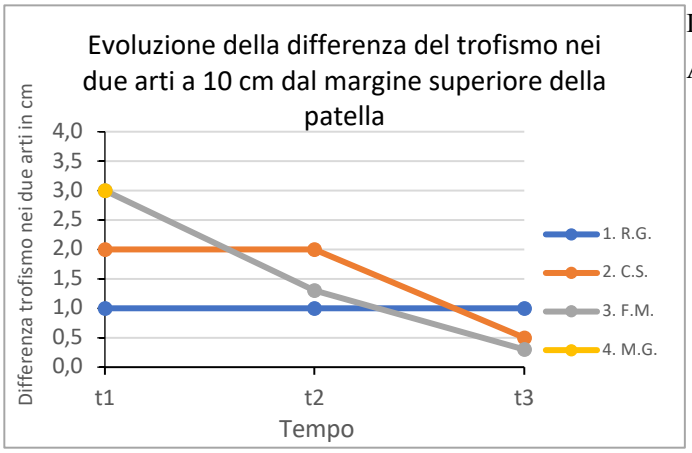
Il gruppo C è invece stato il gruppo più costante partendo da t1 con una differenza di media di 1,25 cm ed arrivare a t2 e t3 mantenendo la stessa differenza di 0,75 cm.

Andando ad analizzare nel dettaglio l'andamento della differenza del trofismo tra i due arti a 10 cm nei soggetti di ogni singolo gruppo:



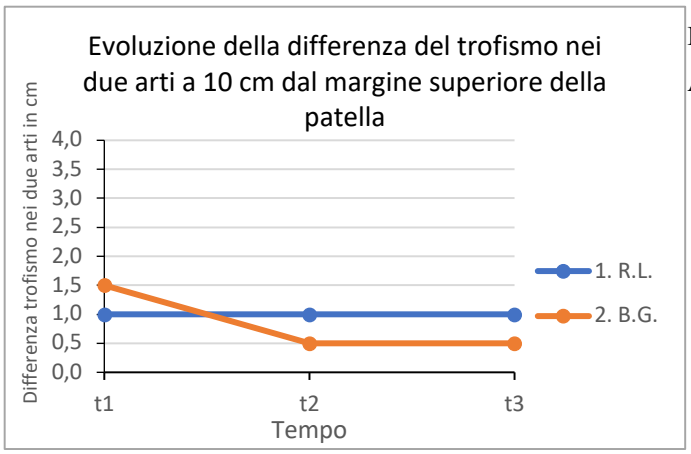
DIFFERENZA TROFISMO NEI DUE ARTI A 10 CM – GRUPPO A

	t1	t2	t3
1. B.A.	2	2	0,5
2. M.G.	1,2	1,3	0,5
3. M.S.	2	1,5	0
4. M.M.	1	0	0
5. T.G.	2	2	1
6. S.A.	2,5	3,5	3,3



DIFFERENZA TROFISMO NEI DUE ARTI A 10 CM – GRUPPO B

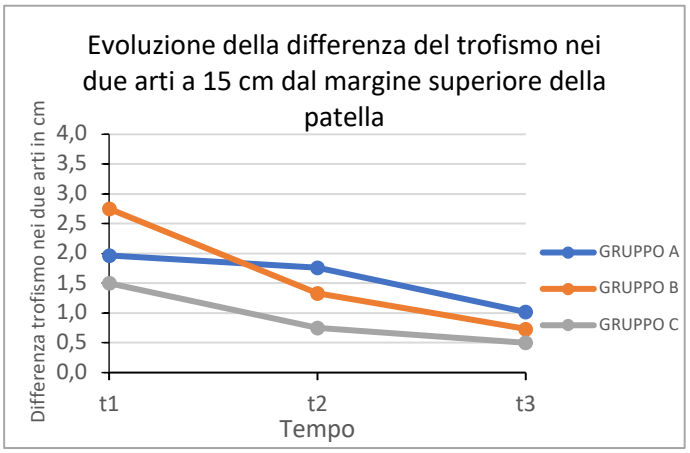
	t1	t2	t3
1. R.G.	1	1	1
2. C.S.	2	2	0,5
3. F.M.	3	1,3	0,3
4. M.G.	3	/	/



DIFFERENZA TROFISMO NEI DUE ARTI A 10 CM – GRUPPO C

	t1	t2	t3
1. R.L.	1	1	1
2. B.G.	1,5	0,5	0,5

- DIFFERENZA DEL TROFISMO NEI DUE ARTI A 15 CM

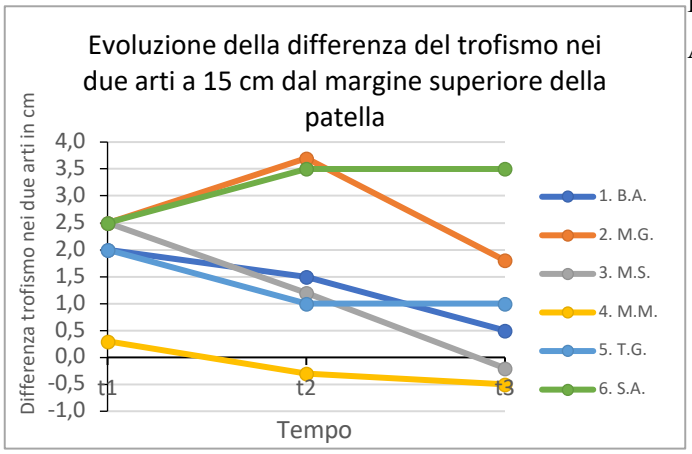


	t1	t2	t3
GRUPPO A	1,97	1,77	1,02
GRUPPO B	2,75	1,33	0,73
GRUPPO C	1,5	0,75	0,5

Il grafico mostra l'evoluzione della differenza del trofismo tra i due arti a 15 cm dal margine superiore della patella in funzione del tempo nei 3 gruppi dello studio. Si considera sempre la media delle differenze a ogni tempo e per ogni gruppo.

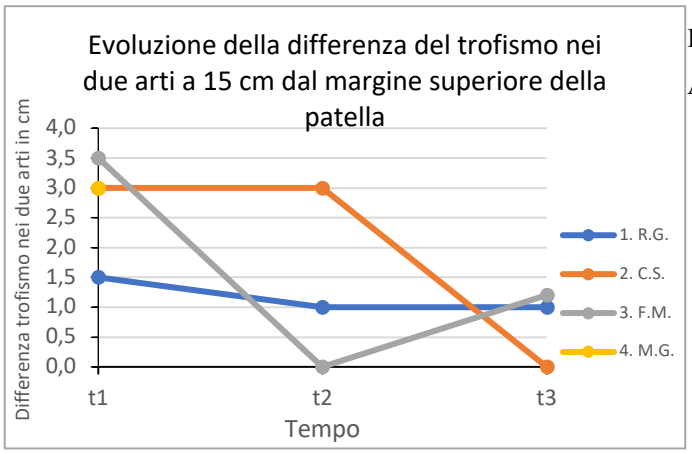
Dal grafico è possibile notare come anche in questo caso tutti e 3 i gruppi hanno avuto con il tempo una riduzione della differenza tra i due arti. Il gruppo C risulta essere il migliore in tutti i tempi, partendo con una differenza di media di 1,5 cm per arrivare a t3 con una differenza di 0,5 cm. Il gruppo B, invece, risulta essere quello che ha avuto un miglioramento più netto da t1 a t2, partendo con una differenza notevole di 2,75 cm di media ed arrivando a t2 con una differenza di 1,33 cm, migliorando ulteriormente a t3. L'andamento del gruppo A da t1 a t2 è stato invece piuttosto costante, per poi comunque migliorare a t3.

Andando ad analizzare nel dettaglio l'andamento della differenza del trofismo tra i due arti a 15 cm nei soggetti di ogni singolo gruppo:



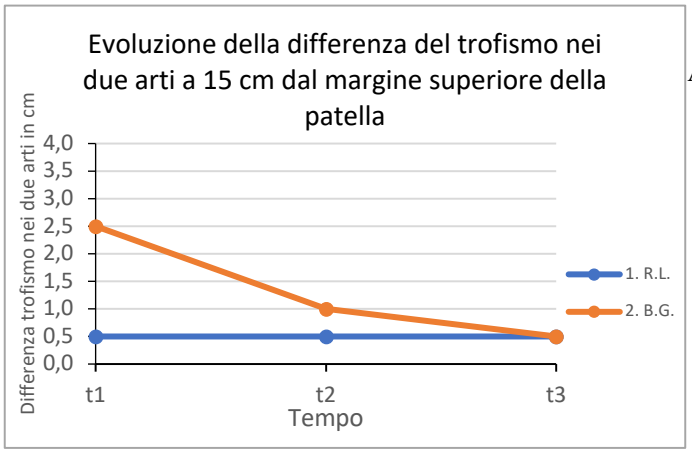
DIFFERENZA TROFISMO NEI DUE ARTI A 15 CM – GRUPPO A

	t1	t2	t3
1. B.A.	2	1,5	0,5
2. M.G.	2,5	3,7	1,8
3. M.S.	2,5	1,2	-0,2
4. M.M.	0,3	-0,3	-0,5
5. T.G.	2	1	1
6. S.A.	2,5	3,5	3,5



DIFFERENZA TROFISMO NEI DUE ARTI A 15 CM – GRUPPO B

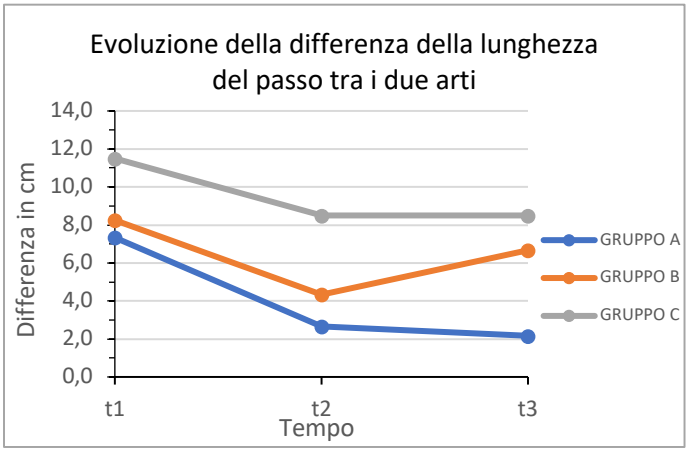
	t1	t2	t3
1. R.G.	1,5	1	1
2. C.S.	3	3	0
3. F.M.	3,5	0	1,2
4. M.G.	3	/	/



DIFFERENZA TROFISMO NEI DUE ARTI A 15 CM – GRUPPO C

	t1	t2	t3
1. R.L.	0,5	0,5	0,5
2. B.G.	2,5	1	0,5

- *LUNGHEZZA DEL PASSO mediante WALKER VIEW*

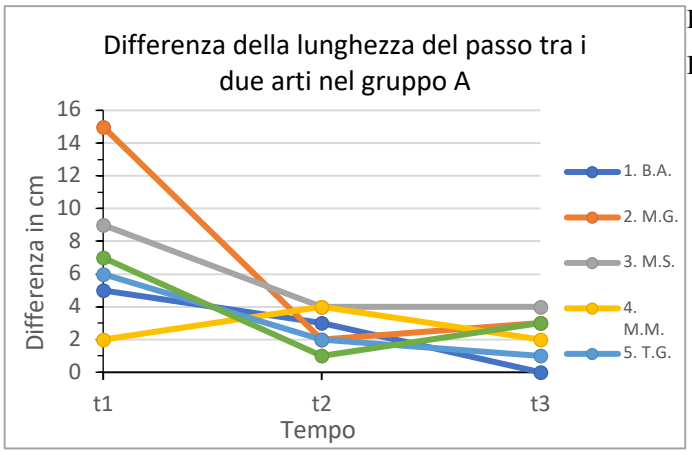


	t1	t2	t3
GRUPPO A	7,33	2,67	2,17
GRUPPO B	8,25	4,33	6,67
GRUPPO C	11,5	8,5	8,5

Il grafico mostra l'evoluzione della differenza in valore assoluto della lunghezza del passo tra i due arti. Si considera sempre la media delle differenze a ogni tempo e per ogni gruppo.

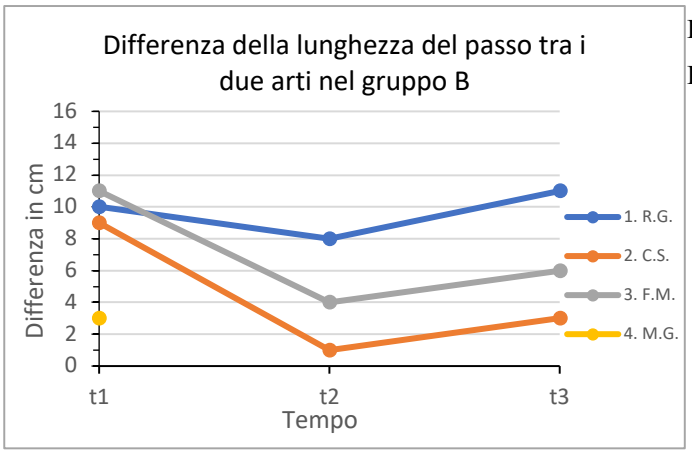
Dal grafico è possibile notare come in tutti i gruppi permane una differenza notevole della lunghezza del passo. In particolare, a t1 questa risulta essere molto importante con tutti i gruppi che presentano una differenza di oltre 7 cm tra un arto e l'altro. A t2 in tutti i gruppi la differenza decresce. Tra t2 e t3 è curioso notare come solamente nel gruppo A c'è un'ulteriore diminuzione della differenza che risulta essere di circa 2 cm, mentre nel gruppo B questa differenza addirittura aumenta arrivando ad essere oltre i 6 cm e nel gruppo C resta costante e comunque importante, di 8,5 cm.

Andando ad analizzare nel dettaglio l'andamento della differenza della lunghezza del passo tra i due arti nei soggetti di ogni singolo gruppo:



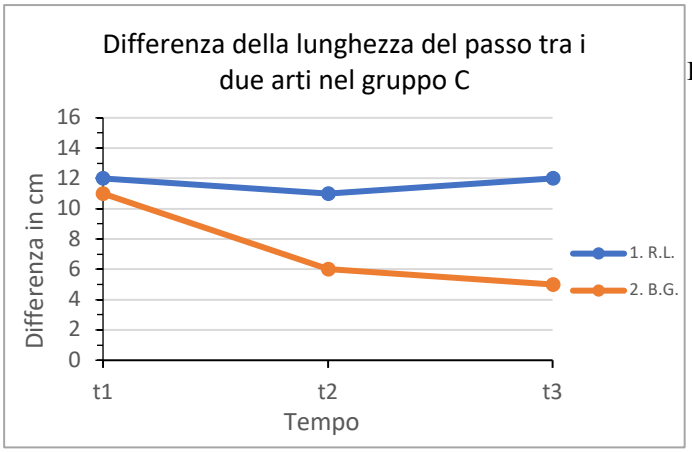
DIFFERENZA DELLA LUNGHEZZA DEL PASSO – GRUPPO A

	t1	t2	t3
1. B.A.	5	3	0
2. M.G.	15	2	3
3. M.S.	9	4	4
4. M.M.	2	4	2
5. T.G.	6	2	1
6. S.A.	7	1	3



DIFFERENZA DELLA LUNGHEZZA DEL PASSO – GRUPPO B

	t1	t2	t3
1. R.G.	10	8	11
2. C.S.	9	1	3
3. F.M.	11	4	6
4. M.G.	3	/	/



DIFFERENZA DELLA LUNGHEZZA DEL PASSO - GRUPPO C

	t1	t2	t3
1. R.L.	12	11	12
2. B.G.	11	6	5

7. DISCUSSIONE

In questo studio osservazionale un primo obiettivo è stato quello di valutare alcuni indicatori in tre gruppi di pazienti con differenti patologie durante la somministrazione di un protocollo riabilitativo integrato.
Un secondo obiettivo è stato quello di confrontare le varie misure di outcome per vedere quale tra i tre interventi ha avuto un recupero migliore nel tempo. Si è deciso di analizzare questi 3 gruppi per vedere come la compromissione del menisco e la conseguente differenziazione della tecnica chirurgica possano aver inficiato i risultati.

Dall'analisi delle misurazioni eseguite è emerso che, per quanto riguarda il **dolore**, tutti i gruppi hanno mostrato un netto miglioramento. Il gruppo C era quello che a t1 presentava maggior dolore e ciò può far pensare che la riparazione del menisco ne sia responsabile, soprattutto in un primo momento dopo l'operazione. A t3 invece solo il gruppo A non presentava dolore. Da questo possiamo dedurre che la patologia meniscale, presente negli altri due gruppi, lascia ancora al tempo 3 una lieve nota di dolore, fastidio o alterazione nella percezione del ginocchio rispetto a chi ha subìto l'intervento solo di LCA. Infatti un paziente del gruppo B, sottoposto a ricostruzione LCA e meniscectomia, ha riportato un aumento del dolore a t3 nella porzione mediale del ginocchio soprattutto nell'estensione a CCA.

Per quanto riguarda il **range articolare**, tutti i pazienti hanno raggiunto gli obiettivi di estensione completa e un buon grado di flessione. Tutti hanno raggiunto **l'estensione passiva** a t2, mentre a t1 un solo paziente per ciascun gruppo ha mostrato un deficit di circa 5°. In questo caso però il campione poco rappresentativo per ogni gruppo non può farci dedurre che l'interessamento del menisco, in particolare la sutura, abbia inciso in questo outcome.
Per **l'estensione attiva** vale la stessa cosa di quella passiva. Ovvero tutti i pazienti hanno raggiunto l'estensione attiva completa a t2, riuscendo ad attivare in maniera corretta il quadricipite (es. schiacciando il ginocchio contro il lettino), con un paziente del gruppo A che è riuscito a recuperare a t3 l'iperestensione. Non si può però considerare i 2,5° di deficit di estensione del gruppo C a t1 come una correlazione tra deficit di estensione e sutura meniscale a causa del basso numero di soggetti in questo gruppo.

Per la **flessione passiva** è da premettere che il gruppo C, con la sutura meniscale, aveva una limitazione di 90° alla flessione per i primi 30 giorni. Si può notare come però questo gruppo rimanga sempre meno performante rispetto agli altri, raggiungendo a t3 una flessione passiva limitata a circa 130°. È possibile quindi dire che l'intervento di sutura meniscale influisce sulla flessione passiva creando rigidità negli ultimi gradi. Il gruppo A e il gruppo B hanno invece raggiunto l'obiettivo di 90° di flessione della Fase 1 del protocollo e, mentre il gruppo A ha raggiunto l'obiettivo del recupero completo del ROM alla Fase 2, il gruppo B, con meniscectomia, nonostante un miglioramento in t2, raggiungerà la massima flessione solamente nella Fase 3 del protocollo.
Anche per la **flessione attiva** vale la stessa cosa di quella passiva. A questo punto è lecito chiedersi se la limitazione a 90° di flessione per i primi 30 giorni del gruppo C possa inficiare il raggiungimento di buoni gradi di flessione. Una possibile causa potrebbe derivare dal fatto che in acqua, avendo limitazione e divieto di carico per 30 giorni, per il gruppo C il lavoro dovrà essere differenziato, evitando soprattutto esercizi come camminate, mobilizzazioni con il tubo galleggiante, squat, sostituendoli con esercizi isometrici con il flusso contro corrente, esercizi con tavolette ed in acqua alta.

Sappiamo come il **tono e il trofismo** dell'arto possano essere fortemente interessati durante questo genere di interventi. Il trofismo di entrambi gli arti è stato misurato a 2 differenti altezze dal margine superiore della patella. Ho potuto verificare come una differenza tra i due arti sia alquanto comune ed è possibile notare ciò già nella Fase 1 della riabilitazione. Il protocollo adottato ha inciso positivamente nel recupero del trofismo, in quanto tutti i gruppi sono riusciti a diminuire il gap tra i due arti, anche se non ancora pienamente a t3.

Il ripristino del corretto schema del passo è uno degli obiettivi della valutazione ed è strettamente legato al ROM delle articolazioni coinvolte e alla velocità con cui si cammina. L'obiettivo ultimo è ricreare un cammino più fluido possibile, senza asimmetrie importanti nel carico e nella **lunghezza del passo**. Si è deciso in questo caso di analizzare quest'ultima in quanto risulta essere il parametro più semplice da chiarire al paziente.

Dai risultati emersi si può notare come questo sia l'obiettivo più ostico da raggiungere a mio parere. A t1 la differenza di lunghezza del passo tra i due arti è significativa in tutti e 3 i gruppi: conseguenza abbastanza prevedibile in quanto gran parte dei pazienti tendevano ad accorciare il passo con l'arto sano visto che la fase di stance (o appoggio) era sull'arto operato a causa di un certo timore nel fidarsi ancora di questo arto, cosa che è sicuramente contemplata e normale al tempo t1 dove ancora non si è terminato lo svezzamento dalle canadesi. È curioso però vedere come, ad eccezione del gruppo A operato solo di LCA, negli altri due gruppi permane ancora una notevole differenza nella lunghezza del passo fino a t3. Ritengo quindi che i pazienti operati di LCA con interessamento del menisco abbiano bisogno di implementare maggiormente il lavoro di riabilitazione sul ripristino del corretto schema del passo sperimentando maggiormente i vari tipi di camminata in acqua, anche con il flusso contro corrente, esercizi di accettazione e tolleranza al carico, training della deambulazione mediante Walker View.

Limiti dello studio

Il principale limite di questo studio è rappresentato dalle ridotte dimensioni del campione (12 pazienti) che si è riuscito a reclutare in questo ristretto arco temporale. In particolare, come il campione in ciascun gruppo sia disomogeneo, con 6 pazienti nel gruppo A, 4 nel gruppo B e solo 2 nel gruppo C. Per questo motivo anche i risultati delle medie ottenute da questi dati, su cui sono stati eseguiti i calcoli e relative deduzioni, possono essere stati maggiormente influenzati dalla disomogeneità del campione.

L'abbandono anche di un solo paziente in uno dei gruppi, infatti, è stato percepito in modo significativo.

L'altro limite di questo studio è che il ristretto arco temporale di 4 mesi, durante il quale sono state svolte le valutazioni su ciascun paziente, non permette di vederne i risultati a lungo termine.

Da un punto di vista metodologico non è stato possibile costituire un gruppo di controllo in quanto tutti i pazienti considerati in questo studio hanno ricevuto il trattamento riabilitativo sulla base dello stesso protocollo integrato.

8. CONCLUSIONI

Attraverso questo studio è emerso che la somministrazione del protocollo integrato ha portato miglioramenti nel tempo di tutti gli indicatori valutati nei tre gruppi di pazienti. Ciò è stato maggiormente evidente nel gruppo A, operato solamente di LCA, il quale ha mostrato una miglior evoluzione del recupero del dolore, range articolare, lunghezza del passo e buoni risultati anche nel recupero del trofismo. Il gruppo che si è invece rivelato meno performante in quasi tutti gli indicatori è stato il gruppo C, operato di LCA e sutura meniscale, probabilmente a causa delle limitazioni avute nel primo mese di riabilitazione. Si è visto inoltre come l'interessamento meniscale non ha portato a significativi miglioramenti nella differenza di lunghezza del passo nell'arco temporale esaminato. Si ritiene perciò doveroso incrementare il lavoro di ripristino del corretto schema del passo in soggetti operati di LCA e menisco.

Per concludere, questo protocollo integrato proposto è risultato comunque efficace in questo genere di interventi e la riabilitazione in acqua unita all'utilizzo e la valutazione mediante Walker View si sono rivelati due interessanti e utili proposte riabilitative.

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

[1] Morroni M. (2017); "*Anatomia funzionale e imaging, sistema locomotore*", Edi-Ermes.

[2] Travan L., Favaro F., Rossitti P., Iona L. (2003); "*Dall'anatomia al movimento*", Poletto Editore, 196-202.

[3] Nicoletti R., Borghi A.M. (2007); "*Il controllo motorio*", il Mulino editore.

[4] Brukner P. & Khan K.:"*Anterior cruciate ligament injuries*". In Brukner P. & Khan K. "Clinical Sports Medicine", Mc Graw Hill Education, 2012; pag. 639 – 663.

[5] Griffin L., Albohm M., Arendr E., Bahr R., Beynnon B.D., Demaio M., Dick R.W., Engebretsen L., Garret W.E: Hannafin J.A.: "*Understanding and preventing non-contac anterior cruciate ligament injuries*" Am. J. Sports Med., 2006; 34(9):1512-32.

[6] Zbrojkiewicz D., Vertullo C., Grayson J. E.: "*Increasing rates of anterior cruciate ligament reconstruction in young Australians, 2000-2015*" Med. J. Aust., 2018; 208(8):354-358.

[7] Moses B., Orchard J.: "*Systematic Review: annual incidence of ACL injury and surgery in various population*" Sports Med., 2012; 20(3-4):157-79.

[8] Montalvo A., Schneider D., Webster K.E., Yut L., Galloway M.T., Heidt R.S., Kaeding C.C.: "*Anterior Cruciate Ligament Injury Risk in Sport: A Systematic Review and Meta- Analalysis of Injury Incidence by Sex and Sport Classification*" J. Athl. Train., 2019; 54(5):472– 482.

[9] Brukner P. & Khan K.: "*Anterior cruciate ligament injuries*". In Brukner P. & Khan K. "Clinical Sports Medicine", Mc Graw Hill Education, 2017; pag. 737 – 755.

[10] NFHSA "*2008-09 High School Athletics Participation Survey*" National Federation of State Hight School Association, 2009.

[11] Joseph A.M., Collins C., Henke N.M., Yard N.M., Fielda S.K., Comstock R.D.: "*A multisport epidemiologic comparison of anterior cruciate ligament injuries in hight school athletics*" J. Athl. Train., 2013; 48(6):810-7.

[12] Majewski M, Susanne H, Klaus S. "*Epidemiology of athletic knee injuries: A 10-year study*." Knee. 2006 Jun;13(3):184-8.

[13] Della Villa F, Buckthorpe M, Grassi A, et al "*Systematic video analysis of ACL injuries in professional male football (soccer): injury mechanisms, situational*

patterns and biomechanics study on 134 consecutive cases" British Journal of Sports Medicine 2020;54:1423-1432.

[14] Cochrane JL, Lloyd DG, Buttfield A, et al "*Characteristics of anterior cruciate ligament injuries in Australian football*". J Sci Med Sport 2007; 10:96–104.

[15] Koga H, Nakamae A, Shima Y, et al "*Mechanisms for noncontact anterior cruciate ligament injuries: knee joint kinematics in 10 injury situations from female team handball and basketball*". Am J Sports Med 2010; 38:2218–25.

[16] Krosshaug T, Nakamae A, Boden BP, et al "*Mechanisms of anterior cruciate ligament injury in basketball: video analysis of 39 cases*." Am J Sports Med 2007; 35:359–7.

[17] Olsen O-E, Myklebust G, Engebretsen L, et al "*Injury mechanisms for anterior cruciate ligament injuries in team handball: a systematic video analysis*." Am J Sports Med 2004; 32:1002–12.

[18] Waldén M, Krosshaug T, Bjørneboe J, et al "*Three distinct mechanisms predominate in non-contact anterior cruciate ligament injuries in male professional football players: a systematic video analysis of 39 cases.*" Br J Sports Med 2015; 49:1452–60.

[19] Koga H, Nakamae A, Shima Y, et al "*Hip and ankle kinematics in noncontact anterior cruciate ligament injury situations: video analysis using model-based image matching.*" Am J Sports Med 2018; 46:333–40.

[20] McLean SG, Huang X, Su A, et al "*Sagittal plane biomechanics cannot injure the ACL during sidestep cutting*." Clin Biomech 2004; 19:828–38.

[21] Dempsey AR, Lloyd DG, Elliott BC, et al "*Changing sidestep cutting technique reduces knee valgus loading.*" Am J Sports Med 2009; 37:2194-200.

[22] Powers CM "*The influence of abnormal hip mechanics on knee injury: a biomechanical perspective*." J Orthop Sports Phys Ther 2010; 40:4251.

[23] Sheehan FT, Sipprell WH, Boden BP "*Dynamic sagittal plane trunk control during anterior cruciate ligament injury*." Am J Sports Med 2012; 40:1068–74.

[24] Hewett T.E., Ford R., Hoogenboom B.J., Myer G.D.: "*Understandig and preventing ACL injures: current biomechanical and epidemiologic considerations - Update 2010*" N. Am. J. Sports Phys. Ther., 2010; 5(4):234-251.

[25] Acevedo R., Rivera-Vega A., Miranda G., Micheo W.: "*Anterior Cruciate Ligament Injury: Identification of Risk Factors and Prevention Strategies*" Cur. Sports Med. Rep., 2014; 13(3):187-191.

[26] Paterno M.V., Schmitt L., Ford K., Rauh M., Myer G.D., Huang B., Hewett T.E.: "*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.

[27] Markolf K., Burchfield D., Shapiro M., Shepard M.F., Finerman G.A., Slauterbeck J.L.: "*Combined knee loading states that generate high anterior cruciate ligament forces*" J. Orthop. Res., 1995; 13(6):930–935.

[28] Patel SA, Hageman J, Quatman CE, Wordeman SC, Hewett TE. "*Prevalence and location of bone bruises associated with anterior cruciate ligament injury and implications for mechanism of injury: a systematic review*." Sports Med. 2014 Feb;44(2):281-93.

[29] Wetters N, Weber AE, Wuerz TH, Schub DL, Mandelbaum BR. "*Mechanism of Injury and Risk Factors for Anterior Cruciate Ligament Injury*." *Oper Tech Sports Med.* 2015.

[30] Fox AJ, Wanivenhaus F, Burge AJ, Warren RF, Rodeo SA. "*The human meniscus: a review of anatomy, function, injury, and advances in treatment*." Clin Anat. 2015 Mar;28(2):269-87.

[31] Valdez G., Haque A., Chang R.G., "*Meniscus injuries of the knee*." Dec 2021; https://now.aapmr.org/meniscus-injuries-of-the-knee/ 2021.

[32] Beals CT, Magnussen RA, Graham WC, Flanigan DC. "*The Prevalence of Meniscal Pathology in Asymptomatic Athletes.*" Sports Med. 2016 Oct;46(10):1517-24.

[33] Logerstedt D, Snyder-Mackler L. "*Knee pain and mobility impairments: meniscal and articular lesions.*" J Orthop Sports Phys Ther. 2010 June; 40(6): A1–A35.

[34] Luvsannyam E, Jain MS, Leitao AR, Maikawa N, Leitao AE. "*Meniscus Tear: Pathology, Incidence, and Management.*" Cureus. 2022 May 18;14(5).

[35] Abrams, Geoffrey D., et al. "*Trends in Meniscus Repair and Meniscectomy in the United States, 2005-2011*." The American Journal of Sports Medicine. 2013; 41:2333–39.

[36] Adams BG, Houston MN, Cameron KL. "*The Epidemiology of Meniscus Injury*." Sports Med Arthrosc Rev. 2021 Sep 1;29(3).

[37] Ior.it http://www.ior.it/curarsi-al-rizzoli/ginocchio-lesione-del-legamento-crociato-anteriore.

[38] Scheffler SU, Unterhauser FN, Weiler A. "*Graft remodeling and ligamentization after cruciate ligament reconstruction.*" Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2008;16(9):834-42.

[39] Scheffler S, Becker R. "*Graft Remodeling and bony ingrowth after anterior cruciate ligament reconstruction*." In: Doral MN, Karlsson J, editors. Sports injuries: prevention, diagnosis, treatment and rehabilitation. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2015. p. 1077-87.

[40] Zeng C., Gao S., Li H., Yang T., Luo W., Li Y., Lei GH.: "*Autograft Versus Allograft in Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Meta-analysis of Randomized Controlled Trials and Systematic Review of Overlapping Systematic Reviews*" Arthroscopy, 2016; 32(1):153-63.

[41] Chen CH, Chuang TY, Wang KC, Chen WJ, Shih CH. "*Arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction with quadriceps tendon autograft: clinical outcome in 4-7 years.*" Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2006 Nov;14(11):1077-85.

[42] Shani RH, Umpierez E, Nasert M, Hiza EA, Xerogeanes J. "*Biomechanical Comparison of Quadriceps and Patellar Tendon Grafts in Anterior Cruciate Ligament Reconstruction*." Arthroscopy. 2016 Jan;32(1):71-5.

[43] Zaffagnini S, De Pasquale V, Marchesini Reggiani L, Russo A, Agati P, Bacchelli B, Marcacci M. "*Electron microscopy of the remodelling process in hamstring tendon used as ACL graft."* Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2010 Aug;18(8):1052-8.

[44] DeFroda SF, ODonnell RM, Fadale PD, Owens BD, Fleming BC. "*The role of magnetic resonance imaging in evaluating postoperative ACL reconstruction healing and graft mechanical properties: a new criterion for return to play?*" Phys Sportsmed. 2021 May;49(2):123-129.

[45] https://kneesurgerysydney.com.au/acl-recovery/

[46] Ardern CL, Taylor NF, Feller JA, et al. "*Fifty-five percent return to competitive sport following anterior cruciate ligament surgery: an updated systematic review and meta-analysis including aspects of physical functioning and contextual factors*." Br J Sports Med 2014; 48:1543–52.

[47] Everhart JS, Best TM, Flanigan DC. "*Psychological predictors of anterior cruciate ligament reconstruction outcomes: a systematic review*." Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2015; 23:752–62.

[48] te Wierike SC, van der Sluis A, van den Akker-Scheek I, et al. "*Psychosocial factors influencing the recovery of athletes with anterior cruciate ligament injury: a systematic review*." Scand J Med Sci Sports 2012; 23:527–40.

[49] Della Villa F, Andriolo L, Ricci M, Filardo G, Gamberini J, Caminati D, Della Villa S, Zaffagnini S. "*Compliance in post-operative rehabilitation is a key factor for return to sport after revision anterior cruciate ligament reconstruction.*" Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2020 Feb;28(2):463-469.

[50] van Melick N, van Cingel REH, Brooijmans F, et al. "*Evidence-based clinical practice update: practice guidelines for anterior cruciate ligament rehabilitation based on a systematic review and multidisciplinary consensus*" British Journal of Sports Medicine 2016;50:1506-1515.

[51] 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; 50:804–8.

[52] Zaffagnini S, Grassi A, Marcheggiani Muccioli GM, et al "*Return to sport after anterior cruciate ligament reconstruction in professional soccer players*." Knee 2014; 21:731–5.

[53] Della Villa S, Boldrini L, Ricci M, et al. "*Clinical outcomes and return-to-sports participation of 50 soccer players after anterior cruciate ligament reconstruction through a sport-specific rehabilitation protocol*." Sports Health 2012; 4:17–24.

[54] Badawy CR, Jan K, Beck EC, Fleet N, Taylor J, Ford K, Waterman BR. "*Contemporary Principles for Postoperative Rehabilitation and Return to Sport for Athletes Undergoing Anterior Cruciate Ligament Reconstruction*." Arthrosc Sports-Med Rehabil. 2022 Jan 28;4(1): e103-e113.

[55] Buckthorpe M, Della Villa F. "*Optimising the 'Mid-Stage' Training and Testing Process After ACL Reconstruction*." Sports Med. 2020 Apr;50(4):657-678.

[56] de Valk EJ, Moen MH, Winters M, Bakker EW, Tamminga R, van der Hoeven H. "*Preoperative patient and injury factors of successful rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction with single-bundle techniques."* Arthroscopy. 2013 Nov;29(11):1879-95.

[57] Shaarani SR, O'Hare C, Quinn A, Moyna N, Moran R, O'Byrne JM. "*Effect of prehabilitation on the outcome of anterior cruciate ligament reconstruction."* Am J Sports Med. 2013 Sep;41(9):2117-27.

[58] Herrington L, Myer G, Horsley I. "*Task based rehabilitation protocol for elite athletes following Anterior Cruciate ligament reconstruction: a clinical commentary*." Phys Ther Sport. 2013 Nov;14(4):188-98.

[59] Martimbianco AL, Gomes da Silva BN, de Carvalho AP, et al. "*Effectiveness and safety of cryotherapy after arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction. A systematic review of the literature."* Phys Ther Sport 2014; 15:261–8.

[60] Isberg J, Faxén E, Brandsson S, et al. "*Early active extension after anterior cruciate ligament reconstruction does not result in increased laxity of the knee*." Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2006; 14:1108–15.

[61] Shaw T, Williams MT, Chipchase LS. "*Do early quadriceps exercises affect the outcome of ACL reconstruction? A randomized controlled trial*." Austr J Phys 2005; 51:9–17.

[62] Imoto AM, Peccin S, Melo Almeida GJ, et al. "*Effectiveness of electrical stimulation on rehabilitation after ligament and meniscal injuries: a systematic review*." Sao Paulo Med J 2011; 129:414–23.

[63] Kim KM, Croy T, Hertel J, et al. "*Effects of neuromuscular electrical stimulation after anterior cruciate ligament reconstruction on quadriceps strength, function, and patient-oriented outcomes: a systematic review*." J Orthop Sport Phys Ther 2010; 40:383–9.

[64] Gokeler A, Bisschop M, Benjaminse A, et al. "*Quadriceps function following ACL reconstruction and rehabilitation: implications for optimization of current practices*." Knee Surg Sports Traumatol 2014; 22:1163–74.

[65] Kruse LM, Gray B, Wright RW. "*Rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction. A systematic review*". J Bone Joint Surg Am 2012; 94:1737–48.

[66] Risberg MA, Mørk M, Jenssen HK, et al. "*Design and implementation of a neuromuscular training program following anterior cruciate ligament reconstruction*." J Orthop Sports Phys Ther 2001; 31:620–31.

[67] Fukuda TY, Fingerhut D, Coimbra Moreira V, et al. "*Open kinetic chain exercises in a restricted range of motion after anterior cruciate ligament reconstruction. A randomized controlled trial*." Am J Sports Med 2013; 41:788–94.

[68] Heijne A, Werner S. "*Early versus late start of open kinetic chain quadriceps exercises after ACL reconstruction with patellar tendon or hamstring grafts: a prospective randomized outcome study*." Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2007; 15:402–14.

[69] van Grinsven S, van Cingel RE, Holla CJ, et al. "*Evidence-based rehabilitation following anterior cruciate ligament reconstruction."* Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2010; 18:1128–44.

[70] 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**:492–501.

[71] Paterno MV, Schmitt LC, Ford KR, 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; 38:1968–78.

[72] Swärd P, Kostogiannis I, Roos H. "*Risk factors for a contralateral anterior cruciate ligament injury*." Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2010; 18:277–91

[73] Buckthorpe M, Tamisari A, Villa FD. "*A ten task-based progression in rehabilitation after acl reconstruction: from post-surgery to return to play - a clinical commentary*." Int J Sports Phys Ther. 2020 aug;15(4):611-623.

[74] Escamilla RF, Macleod TD, Wilk KE, Paulos L, Andrews JR. "*Anterior cruciate ligament strain and tensile forces for weight-bearing and non-weight-bearing exercises: a guide to exercise selection."* J Orthop Sports Phys Ther. 2012 Mar;42(3):208-20.

[75] Buckthorpe M. "*Optimising the Late-Stage Rehabilitation and Return-to-Sport Training and Testing Process After ACL Reconstruction."* Sports Med. 2019 Jul;49(7):1043-1058.

[76] Noyes FR, Barber-Westin SD. "*Treatment of meniscus tears during anterior cruciate ligament reconstruction*". Arthroscopy. 2012;28(1):123–130.

[77] Herzog MM, Marshall SW, Lund JL, Pate V, Mack CD, Spang JT. "*Trends in incidence of ACL reconstruction and concomitant procedures among commercially insured individuals in the United States, 2002-2014*." Sports Health. 2018;10(6):523–531.

[78] https://www.anik.it/tecniche-di-base-idrokinesiterapia/la-riabilitazione-in-acqua-intervista-a-anik/

[79] Broglio Arrigo, Tai Giampaolo (2015). "*La riabilitazione in acqua*", in Maddali Bongi Susanna (édité par), La riabilitazione multidisciplinare del malato reumatico, Maddali e Bruni, Firenze, p. 75-83.

[80] https://www.gvdr.it/idrochinesiterapia-riabilitazione-motoria-in-acqua/

[81] Bortone A., Palmieri M.S. 'Corso Base: "*La riabilitazione in acqua*"', 2007

[82] https://www.youmath.it/lezioni/fisica/idrostatica-fluidodinamica/3225-spinta-di-archimede.html

[83] Manuale Clinico Walker View, Tecnobody

[84] Catalogo Walker View, Tecnobody