

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Scienze Biomediche

Corso di Laurea Triennale in Scienze Motorie

Tesi di Laurea

**TENDINOPATIA ROTULEO-PATELLARE: APPROFONDIMENTO
SULLE CAUSE, LA PATOGENESI E LE STRATEGIE DI GESTIONE
DEL RECUPERO OTTIMALE**

Relatore: Prof. Martino Franchi

Laureando: Alberto Faorlin

N° di matricola: 2011736

Anno Accademico 2022/2023

INDICE

INTRODUZIONE	5
CONTESTO E BACKGROUND DELLA TENDINOPATIA	6
TIPOLOGIE DI LESIONI TENDINEE	6
RUOLO E FUNZIONE DEI TENDINI NELL'APPARATO LOCOMOTORE	7
SCOPI E OBIETTIVI DELLA TESI	7
QUESITI	8
EPIDEMIOLOGIA	8
DEFINIZIONE, CLASSIFICAZIONE E SINTOMATOLOGIA DELLA TENDINOPATIA ROTULEA	8
<i>Sintomatologia:</i>	8
<i>Quale porzione è colpita?</i>	8
DIFFERENZA TRA TENDINI E QUANTI TIPI DI TENDINI ESISTONO. DIFFERENZA TRA TENDINE DI POSIZIONAMENTO ED ENERGY STORING TENDON	9
FATTORI DI RISCHIO PER LA TENDINOPATIA ROTULEA	10
CLASSIFICAZIONE E FASI DELLA PATOLOGIA	10
TIPI DI TENDINOPATIA:	12
PREVALENZA NELLA POPOLAZIONE	12
INCIDENZA TRA DONNE E UOMINI	12
EZIOLOGIA	13
FATTORI EZIOLOGICI E PREDISPONENTI LA TENDINOPATIA	13
FATTORI INTRINSECI	14
<i>Mal allineamento anatomico</i>	14
<i>Discrepanza degli arti e caratteristiche genetiche</i>	15
<i>Gruppo sanguigno ABO</i>	15
<i>Invecchiamento</i>	15
<i>Composizione corporea e limitazioni</i>	16
FATTORI ESTRINSECI	17
<i>Allenamento errato</i>	17
<i>Condizioni ambientali</i>	19
<i>Attrezzatura errata:</i>	19
ANATOMIA E FISIOLOGIA DEL TESSUTO TENDINEO	20
DESCRIZIONE ANATOMICA DEI TENDINI:	20
<i>Parti del tendine:</i>	20
<i>Entesi: Fibrose e fibrocartilaginee</i>	20
SUDDIVISIONE DEI VASTI DEL MUSCOLO QUADRICIPITE FEMORALE	22
TENDINE ROTULEO LOCALIZZAZIONE/SEZIONE:	22
TENDINE ROTULEO COME "MUSCLE TENDON UNIT"	23
STRUTTURA DEL TENDINE (MATRICE INTERFASCICOLARE)	24
COMPONENTI COLLAGENOSI E NON COLLAGENOSI	24
ALTRI COMPONENTI:	25
<i>Elastina</i>	25
<i>Sostanza fondamentale</i>	25
<i>Proteoglicani</i>	25
BIOMECCANICA DEL TENDINE	26
RISPOSTE MECCANICO BIOLOGICHE	26
RUOLO DEL CALCIO NEI TENOCITI	27
PROTEINA PIEZO1	27

<i>Interazione tra PIEZO1 e Calcio (Ca²⁺)</i>	28
ANGOLO DI MASSIMO STRESS SUL TENDINE	29
RUOLO DELLE FORZE DI TAGLIO SUL TENDINE ROTULEO:.....	29
RUOLO DELLE FORZE DI COMPRESSIONE E DI TRAZIONE SUL TENDINE ROTULEO.....	31
RESISTENZA ALLA TRAZIONE DEL TENDINE ROTULEO	31
COME CALCOLARE STRESS E STRAIN.	32
<i>Curva stress strain del collagene</i>	34
ISTOLOGIA E ASPETTO ISTOPATOLOGICO DEL TENDINE AFFETTO DA	
TENDINOPATIA	35
ASPETTO ISTOLOGICO TRAMITE IMMAGINI.....	35
FENOMENI INFIAMMATORI E FENOMENI DEGENERATIVI:.....	36
TEORIA DELL'ICEBERG	37
MATERIALI E METODI PER LA DIAGNOSI.....	39
ESAMI FISICI E TEST CLINICI SPECIFICI PER LA TENDINOPATIA.....	39
SINTOMI E SEGNI	40
METODI DI IMAGING	40
PREVENZIONE TENDINOPATIA ROTULEA.....	42
STRATEGIE DI PREVENZIONE	42
<i>L'importanza della flessibilità:</i>	43
<i>L'importanza dello stretching</i>	43
ASPETTI NEGATIVI DELLO STRETCHING:	45
L'IMPORTANZA DELLE SUPERFICI E DEI FATTORI ESTRINSECI:.....	45
PROGRAMMA DI ALLENAMENTO PER LA RIABILITAZIONE:.....	46
METODOLOGIA DELL'ALLENAMENTO.....	46
TRATTAMENTO TENDINOPATIA ROTULEA.....	47
OBIETTIVO DELLA RIABILITAZIONE:.....	47
PRIMA FASE: IL RIPOSO	48
L'ESERCIZIO ECCENTRICO PER LA RIABILITAZIONE:.....	49
<i>Significato di eccentrico:</i>	49
<i>Varianti dello squat:</i>	50
SQUAT SU PEDANA DECLINATA	50
<i>Studio 1:</i>	50
<i>Studio 2:</i>	52
<i>Studio 3:</i>	52
<i>Studio 4:</i>	52
<i>Studio 5:</i>	53
<i>Studio 6:</i>	53
<i>Studio 7 (extra):</i>	53
PROPOSTE PER UN PROGRAMMA DI RIABILITAZIONE:.....	54
CONFRONTO TRA UNILATERALE E BILATERALE NELLO SQUAT DECLIANTO	54
<i>Frequenza:</i>	55
<i>Esecuzione:</i>	55
<i>Aumento del carico per la progressione:</i>	56
ESERCIZIO CONCENTRICO, ISOMETRICO E PARAGONI	56
<i>Significato di concentrico</i>	56
<i>Allenamento Isometrico</i>	58
<i>Significato di isometria</i>	58
<i>Vantaggi dell'allenamento isometrico</i>	59
ALLENAMENTO ISOTONICO	59
<i>Significato di isotonico</i>	59

ALLENAMENTO ISOMETRICO VS ALLENAMENTO ISOTONICO	60
TERAPIE FISICHE E OPZIONI TERAPEUTICHE AVANZATE	61
<i>Terapia con onde d'urto extracorporee (ESWT).....</i>	<i>61</i>
<i>Corticosteroidi.....</i>	<i>61</i>
ALTRI METODI:.....	61
<i>Crioterapia:</i>	<i>61</i>
<i>Tecniche di terapia manuale.....</i>	<i>62</i>
<i>Applicazione di calore:.....</i>	<i>62</i>
<i>Taping e tutore.....</i>	<i>62</i>
<i>Esercizi propriocettivi.....</i>	<i>63</i>
<i>Ultrasuoni.....</i>	<i>63</i>
<i>I Fans</i>	<i>63</i>
<i>Proposta 1.....</i>	<i>63</i>
<i>Proposta 2:</i>	<i>64</i>
<i>Proposta (3).....</i>	<i>65</i>
CONCLUSIONE	66
CONSIDERAZIONI PERSONALI	67
BIBLIOGRAFIA	69

INTRODUZIONE

Il tendine è un tessuto connettivo fibroso con un'elevata resistenza alla trazione che funziona per trasferire il carico dal muscolo all'osso.

“Alcuni tendini hanno una funzione aggiuntiva nell'immagazzinare e rilasciare il carico meccanico durante le attività del ciclo di allungamento-accorciamento come correre, saltare e lanciare” [1]

Questa funzione del tendine serve a migliorare le prestazioni e aumentare l'efficienza del movimento umano [2]. Un paradosso è che i tendini progettati per immagazzinare e rilasciare energia soccombono anche a lesioni da sovraccarico tendineo o tendinopatia. Per esempio, il tendine rotuleo accumula e successivamente rilascia notevoli quantità di energia durante il salto, il che potrebbe spiegare la frequente insorgenza (fino al 50%) della tendinopatia rotulea tra gli atleti di alto livello nel mondo della pallavolo. [3], [4]

Questa tesi si propone di esaminare in dettaglio le tendinopatie rotuleo-patellari, approfondendo le diverse variabili coinvolte nella loro eziologia, nella progressione della patologia e nell'ottimizzazione delle strategie terapeutiche. Attraverso una revisione accurata della letteratura scientifica e una raccolta di dati empirici, verranno esplorati i fattori che contribuiscono allo sviluppo di questa condizione, i meccanismi patogenetici sottostanti e le modalità di trattamento più efficaci. [5]

CONTESTO E BACKGROUND DELLA TENDINOPATIA

Tipologie di lesioni tendinee

Due tipi di tendini possono essere categorizzati, inclusi quelli che principalmente funzionano per trasmettere carichi (ad esempio, tendini patellari e tendini d'Achille) e quelli che principalmente trasmettono movimenti (ad esempio, tendini flessori).

Le lesioni tendinee possono essere distinte in due categorie principali: lesioni acute e lesioni croniche. Le prime, come lacerazioni e rotture, sono spesso legate a situazioni sportive e presentano un carattere improvviso. Le seconde, invece, sono identificate come tendinopatia e si caratterizzano per il dolore, l'infiammazione e, in stadi avanzati, per la presenza di lipidi dannosi, proteoglicani e tessuti calcificati all'interno delle lesioni tendinee. [6]

Il ginocchio del saltatore, noto anche come tendinopatia rotulea, si verifica spesso in individui impegnati in attività che richiedono contrazioni muscolari intense e ripetute del quadricipite. Questa condizione è caratterizzata da dolore localizzato alla giunzione tra il tendine rotuleo e la parte inferiore della rotula (vedi figura a lato [7]). Inoltre, tramite una risonanza

magnetica è possibile individuare zone specifiche in cui è evidente un aumento dell'intensità del segnale. Gli studi clinici hanno anche rivelato che gli atleti che sottopongono i loro tendini rotulei a carichi più elevati e ad angoli di flessione del ginocchio più pronunciati sono a maggior rischio di sviluppare questa condizione.

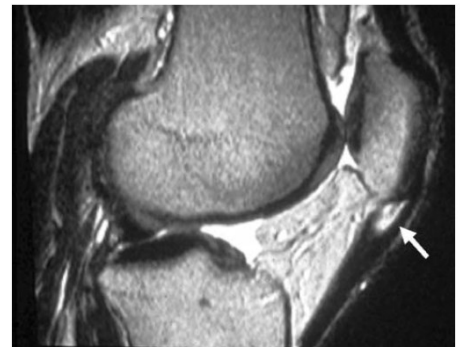


Figure 1. MRI scan of a patient with jumper's knee (patellar tendinopathy), demonstrating the classic location of the lesion (arrow) associated with this condition.

Ruolo e funzione dei tendini nell'apparato locomotore

I tendini svolgono un ruolo essenziale nel collegare i muscoli alle ossa e sono esposti ad alcune delle forze meccaniche più intense nel nostro corpo. Durante movimenti caratterizzati da una rapida accelerazione del corpo, come lo sprint e i salti, i tendini agiscono come una sorta di "catapulta biomeccanica," immagazzinando e rilasciando energia. Questo meccanismo consente all'unità muscolo-tendinea di generare una potenza molto superiore a quella che il muscolo da solo sarebbe in grado di produrre.

Il tendine rotuleo ricopre due importanti funzioni:

- Aiuta a mantenere la rotula nella posizione corretta
- Supporta il quadricipite femorale nell'azione di estensione del ginocchio, azione che è fondamentale in attività come la camminata, la corsa, il salto ecc.

Senza il tendine rotuleo, la rotula slitterebbe verso l'alto e viene meno la leva che aiuta a estendere il ginocchio (e la gamba).

Il tendine rotuleo è una struttura indispensabile al corretto funzionamento del ginocchio.

Scopi e obiettivi della tesi

L'obiettivo principale di questa tesi è approfondire la comprensione della tendinopatia rotulea, concentrandosi sulla posizione delle lesioni nel tendine rotuleo, che è ancora oggetto di dibattito. Si esamina l'ipotesi che la tensione eccessiva nelle fibre posteriori durante la flessione del ginocchio possa contribuire alle lesioni, ma studi recenti hanno sollevato domande su questa teoria. Inoltre, si esplora l'idea che la tendinopatia del tendine rotuleo possa essere una risposta adattativa a forze di compressione sia sull'aspetto prossimale che posteriore del

tendine. Si suggerisce che un cambiamento nell'equilibrio tra carico a compressione e a tensione possa influenzare la vulnerabilità del tendine alle lesioni. L'obiettivo generale è chiarire le cause e i meccanismi della tendinopatia rotulea, con l'obiettivo finale di sviluppare strategie di gestione e trattamento più efficaci per questa comune condizione.

Quesiti

- **DOMANDA:** solo il lavoro eccentrico (ALLUNGAMENTO) può portare a miglioramento ed adattamento?
- **DOMANDA:** L'esercizio eccentrico è la scelta migliore per il trattamento delle tendinopatie?
- **DOMANDA:** Il tendine è responsivo?

EPIDEMIOLOGIA

Definizione, classificazione e sintomatologia della tendinopatia rotulea

Sintomatologia:

La sintomatologia associata al tendine rotuleo, come evidenziata da [8] è caratterizzata da diverse caratteristiche cliniche distintive. Uno dei sintomi principali è il dolore localizzato nella zona inferiore della rotula. Questo dolore tende ad aumentare con l'estensione del ginocchio, soprattutto durante attività che coinvolgono il tendine rotuleo nella gestione dell'energia, come il salto. È importante notare che il dolore tende a comparire durante il carico e, di solito, diminuisce quasi immediatamente quando il carico viene rimosso.

Quale porzione è colpita?

I risultati di uno studio condotto da Haraldsson B.T [9], indicano che la tendinopatia rotulea è principalmente legata alla parte prossimale e posteriore del

tendine rotuleo. Quando il ginocchio è completamente esteso e il quadricipite è sotto carico, lo sforzo di trazione è uniforme sia nella regione anteriore che posteriore. Tuttavia, quando il ginocchio è flesso, la deformazione aumenta nella parte anteriore ma diminuisce nella parte posteriore. Di conseguenza, gli autori suggeriscono che la porzione posteriore del tendine potrebbe non essere soggetta a carichi significativi durante il movimento di flessione.

Questi risultati sono stati nettamente contrastati da quelli in [10] che hanno dimostrato che il carico del quadricipite delle ginocchia di cadavere in flessione causava una maggiore sollecitazione sul lato posteriore rispetto al lato anteriore del tendine rotuleo. Gli studi in questo caso, si sono basati su campioni cadaverici più vecchi (~59 e 73 anni) che potrebbero non riflettere necessariamente le proprietà tendinee delle persone più giovani che sono tipicamente affette da questa patologia. I risultati chiave emersi da questa analisi indicano che nelle giovani persone di sesso maschile, i fasci di tessuto connettivo nella parte anteriore del tendine rotuleo hanno presentato un picco più elevato in termini di tensione massima, punto di snervamento e modulo tangente rispetto alla regione posteriore.

Differenza tra tendini e quanti tipi di tendini esistono. Differenza tra tendine di posizionamento ed energy storing tendon

I tendini vengono classificati in due tipi in base a se sono avvolti all'interno di una guaina tendinea o sono solo parzialmente circondati da un paratenone. Una guaina tendinea è un involucro sinoviale a doppio strato tipicamente situato attorno ai tendini dove ci sono pulegge ossee o legamenti. Il paratenone, un tessuto connettivo lasso che consente un movimento più libero del tendine, di solito si trova adiacente a un tendine che si allunga in modo lineare. Un paratenone tipico è osservato nel tendine d'Achille. Quando il paratenone è combinato con l'epitenone, talvolta è chiamato peritenone o peritendine. [11]

Tuttavia, uno dei tipi di tendini più interessanti da studiare sono i cosiddetti "energy-storing tendons" o tendini che accumulano energia. Questi tendini hanno una struttura speciale e svolgono un ruolo fondamentale nell'attività fisica.

Alcuni esempi di tendini che accumulano energia sono: il tendine d'Achille (tendine calcaneale), che collega il muscolo del polpaccio al tallone e il tendine del quadricipite, che è coinvolto nel salto. Questo tendine è noto per la sua capacità di immagazzinare energia elastica durante la contrazione muscolare e rilasciarla quando si salta o si corre, contribuendo così alla propulsione del corpo.

Fattori di rischio per la tendinopatia rotulea

Nell'articolo *“Prevention and Treatment of Overuse Tendon Injuries di Gregory P. Hess, William L. Cappiello, Robert M. Poole and Stephen C. Hunter”* [12] sono stati elencati 6 meccanismi (comunemente presenti durante l'esercizio) sono responsabili delle lesioni dei tendini:

1. la tensione viene applicata rapidamente;
2. la tensione viene applicata obliquamente;
3. il tendine è sotto tensione prima del carico (pre-caricato);
4. il muscolo adiacente è innervato al massimo;
5. stimoli o forze esterne allungano il muscolo adiacente; e/o
6. il tendine è relativamente debole o insufficiente rispetto al muscolo.

Classificazione e fasi della patologia

1. fase della **tendinopatia reattiva** (reactive tendinopathy)
2. fase della **disgregazione tendinea** (tendon disrepair) chiamata anche fase del fallimento del processo riparativo (failed healing process)
3. fase della **tendinopatia degenerativa** (degenerative tendinopathy)

Table II. Functional classification scheme for overuse tendon injury (after Curwin & Stanish 1984)

Level	Symptom description	Level of sports performance
1	No pain	Normal
2	Pain only with extreme exertion	Normal
3	Pain with exertion and for 1 to 2 hours afterward	Normal or slightly decreased
4	Pain during and after any vigorous activities	Somewhat decreased
5	Pain during activity, forcing termination	Markedly decreased
6	Pain during daily activities	Unable to perform

La prima fase, chiamata “tendinopatia reattiva o acuta” come descritto nell’articolo [12], che può manifestarsi anche in maniera sintomatica, si nota un accumulo in loco di citochine e fattori che influenzano il sistema immunitario che causano un’iniziale infiammazione con proliferazione cellulare.

Tale squilibrio causa l’insorgenza del dolore. Il passaggio dalla fase di tendinopatia reattiva a quello di tendinite degenerativa corrisponde alla fase del “failed healing” (fallimento del processo auto riparativo) che causa la disgregazione tendinea.

“Se il soggetto ha continuato, nonostante la condizione infiammatoria del tendine, a caricare la struttura o gli ha dato troppo riposo (non stimolando allo stesso modo il recupero spontaneo e un potenziale ritorno a una condizione normale) allora il tendine inizia a disgregarsi andando in contro a una tendinopatia degenerativa cronica [12]”

Il passaggio tra la fase di tendinopatia reattiva e la fase di tendinopatia degenerativa è dunque in atto e assume il carattere di non reversibilità. In questa fase, il tendine subisce cambiamenti strutturali permanenti che rendono difficile o impossibile per il tendine sviluppare forza tensile in modo efficace ma nonostante questo il paziente può continuare a essere asintomatico.

Tipi di tendinopatia:

Le tipologie di tendinopatia sono riassunte nella tabella proposta da “*Patellar tendinopathy: some aspects of basic science and clinical management* K M Khan, N Mafulli, B D Coleman, J L Cook, J E Taunton [13]”

Table 2 Pathological classification of tendon disorders (from Clancy²¹)

Pathological label	Concept (macroscopic pathology)	Histological finding
Tendinosis	Intratendinous degeneration (commonly due to aging, microtrauma, vascular compromise)	Non-inflammatory intratendinous collagen degeneration with fibre disorientation, hypocellularity, scattered vascular ingrowth, occasional local necrosis or calcification
Paratenonitis	Inflammation of the outer layer of the tendon (paratenon) alone, whether or not the paratenon is lined by synovium	Inflammatory cells in the paratenon or peritendinous areolar tissue
Paratenonitis with tendinosis	Paratenon inflammation associated with intratendinous degeneration	Inflammatory cells in the paratenon or peritendinous areolar tissue with loss of tendon collagen, fibre disorientation, scattered vascular ingrowth and no prominent intratendinous inflammation
Tendinitis	Symptomatic degeneration of the tendon with vascular disruption and inflammatory repair response	Acute haemorrhage and tear, inflammation superimposed on existing degeneration. Includes the conditions of tendon strain and tear. ¹

Prevalenza nella popolazione

La prevalenza di giocatori di basket in questo studio [14] potrebbe essere spiegata dal fatto che la clinica dalla quale è stata selezionata la popolazione per lo studio, tratta principalmente atleti di questo sport. Il basket è notoriamente associato a un elevato rischio di sviluppare la tendinopatia rotulea essendo uno sport di salto. Studi precedenti hanno riportato che lesioni da sovraccarico all'articolazione del ginocchio, inclusa la tendinopatia rotulea, costituiscono circa il 15% di tutte le lesioni tra i giocatori professionisti di basket.

Incidenza tra donne e uomini

L'incidenza delle tendinopatie rotulee varia tra donne e uomini [14], con il genere che emerge come un fattore genetico chiave. Questo legame tra genere e tendinopatia è stato ulteriormente esplorato considerando l'effetto degli estrogeni.

“Dopo l'inizio della menopausa, si è notato che le donne mostrano un incremento della predisposizione alla tendinopatia terminale del tendine d'Achille. Questo suggerisce che gli estrogeni potrebbero avere un ruolo protettivo nei confronti dei tendini.” [15]

In un secondo studio [14], per evitare pregiudizi dovuti alla predominanza di soggetti di sesso maschile negli studi, la quale potrebbe influenzare la raccolta dati, è stato condotto uno studio prospettico che ha incluso tutti i membri di squadre di basket maschili e femminili selezionate a caso. Nonostante questo approccio che ha consentito di minimizzare i pregiudizi di accertamento, l'anomalia del tendine rotuleo era comunque confermata ecograficamente più frequente negli uomini rispetto alle donne.

Questi risultati suggeriscono un possibile ruolo del genere nel rischio di lesioni tendinee. Tuttavia, afferma (J L Cook et al. [14]) affinché possiamo ottenere una comprensione completa di tali differenze, è essenziale condurre ulteriori ricerche al fine di indagare in profondità i meccanismi sottostanti che contribuiscono a queste disparità di sesso.

EZIOLOGIA

Fattori eziologici e predisponenti la tendinopatia

Recenti ricerche genetiche si sono focalizzate sull'approfondire la comprensione dell'eziologia di questa patologia, analizzando le sequenze del DNA che potrebbero essere implicati nelle alterazioni tendinee. Alcuni polimorfismi (Federica Rosso et al. [6]) sono stati recentemente

identificati nel gene del collagene V, insieme a variazioni genetiche nell'inibitore della metalloproteinasi di tipo II e in altri geni (come ADAMTS14). Questi geni

Table III. Factors associated with overuse tendon injuries (after Renstrom & Johnson 1985)

Intrinsic
Malalignment: excessive pronation, femoral neck anteversion, other orthopaedic disorders
Limb length discrepancy
Muscular imbalance
Muscular insufficiency
Extrinsic
Training errors: distance, intensity, hill work, technique, fatigue, others
Surfaces
Environmental conditions
Footwear and equipment

sembrano essere collegati all'aumento o alla diminuzione dell'insorgenza delle tendinopatie.

Le cause di questa condizione sono molteplici e comprendono una combinazione di elementi **intrinseci** ed **estrinseci** che possono contribuire alla degenerazione e all'infiammazione dei tendini.

Fattori intrinseci

Mal allineamento anatomico

Un ampio volume di studi si è dedicato a esaminare il coinvolgimento dei fattori intrinseci nello sviluppo di tali lesioni [12], con particolare enfasi posta sui problemi endogeni legati al malallineamento. Il movimento subtalare, che può essere il doppio dei 6-8° riscontrati nella persona media durante la camminata, promuove significativamente la tendinite d'Achille e altre lesioni agli arti inferiori, come la tendinopatia rotulea.

Nel contesto dell'analisi condotta su corridori soggetti a infortuni [16] è stato osservato che una percentuale di circa il 60% presentava una condizione di sovrapronazione, un fattore di notevole rilevanza. Va altresì considerato che la sovrapronazione potrebbe agire come una sorta di meccanismo compensatorio per controbilanciare il malallineamento in varo riscontrato al ginocchio o alla tibia. Questa condizione, in effetti, è stata associata a un ampio spettro di lesioni legate all'attività di corsa [17], tra cui tendinite rotulea e tendinite d'Achille.

Un'accentuata antiversione del collo femorale (come illustrato nella figura) rappresenta un diverso tipo di malallineamento, capace di generare una rotazione interna degli arti inferiori (noto come "in-toeing") e di alterare le forze vettoriali che agiscono sulle unità muscolotendinee dell'arto inferiore. Questo processo può risultare ulteriormente complesso

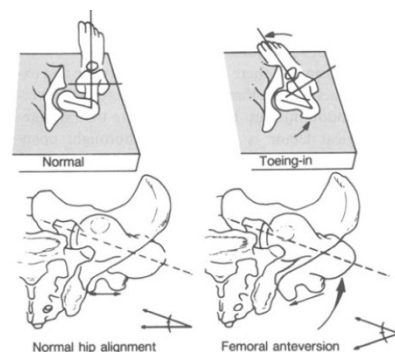


Fig. 2. Femoral neck anteversion can cause in-toeing and a change in vector forces to the lower extremity musculotendinous units.

a causa di altre risposte compensatorie, quali la rotazione esterna della tibia o la pronazione del piede. In definitiva, questo può comportare un incremento dello sforzo applicato sull'articolazione patellofemorale e sul tendine rotuleo, così come sull'articolazione della caviglia e sul tendine d'Achille [18].

L'iperpronazione, una delle conseguenze funzionali più comuni di questi malallineamenti intrinseci, è facilmente trattabile con ortesi correttive costruite adeguatamente [16], [19]. La correzione di una pronazione eccessiva e prolungata con le ortesi consente al piede di funzionare in modo più efficiente durante la deambulazione e riduce lo stress sulle articolazioni e sui legamenti circostanti, nonché sui tendini [19], [20].

Discrepanza degli arti e caratteristiche genetiche

Ulteriori fattori intrinseci che potrebbe contribuire a generare complicazioni per il tendine rotuleo sono: la discrepanza nella lunghezza degli arti inferiori [17] l'insufficienza muscolare. Quest'ultimo è stato identificato anche nei bambini delle scuole elementari che, oggi, sono più alti ma più pesanti e meno in forma dei loro predecessori [21]. Teoricamente, l'insufficienza muscolare può colpire qualsiasi sito muscolotendineo nel corpo e può causare una vasta gamma di problemi, dall'epicondilite al tendine rotuleo [12].

Gruppo sanguigno AB0

Un altro aspetto intrinseco secondo [22] potrebbe derivare dalle caratteristiche genetiche di un individuo. Sono stati proposti il gruppo sanguigno ABO e la struttura molecolare del tendine come possibili fattori che possono influenzare la predisposizione individuale alla tendinopatia.

Invecchiamento

L'invecchiamento ha un impatto negativo sui tendini e sulla probabilità di lesioni da sovraccarico [12].

“La frequenza più alta di fallimenti sembra corrispondere a un'età superiore ai 30 anni, momento in cui il deterioramento progressivo del collagene rende il tendine più suscettibile alle lesioni”. [23]

I cambiamenti che avvengono con l'invecchiamento riguardano il contenuto di collagene che aumenta in contemporanea all'elastina e la matrice di proteoglicani che diminuiscono relativamente, suggerendo una minore elasticità. In relazione a questo concetto, il contenuto di acqua diminuisce dall'80% alla nascita a circa il 30% in età avanzata [24]. Mentre il ricambio del collagene nei tendini è inizialmente relativamente basso, diminuisce ulteriormente con l'età, così come l'attività dei tenoblasti, ritardandone forse la capacità riparativa. Anche le vie metaboliche utilizzate per la produzione di energia nei tendini cambiano da aerobiche a più anaerobiche, chiudendo alla fine alcune vie come il ciclo di Krebs. È probabile che la somma di queste diminuzioni dell'elasticità e della velocità riparativa, insieme a una produzione di energia alterata, contribuisca alle lesioni da sovraccarico legate all'età, in questo caso anche la tendinopatia rotulea. Secondo [22] invece, nello studio intitolato “*Management of Tendinopathy*” Ci sono buone prove che i tendini non degenerano con l'età in quanto tale, ma una riduzione dei proteoglicani e un aumento dei collegamenti incrociati man mano che un tendine invecchia rende i tendini più rigidi, meno elastici e meno capaci di tollerare il carico. Pertanto, le persone anziane esposte solo a carichi tendinei moderati non dovrebbero necessariamente avere un aumento della tendinopatia.

Composizione corporea e limitazioni

La composizione corporea è stata recentemente collegata alla tendinopatia; è stato dimostrato che una maggiore circonferenza della vita aumenta la prevalenza della tendinopatia rotulea. Inoltre, altri studi suggeriscono che sia le tendinopatie degli arti superiori sia quelle degli arti inferiori aumentano quando aumentano i livelli di tessuto adiposo.

“La limitazione della dorsiflessione della caviglia, insieme alla mancanza di flessibilità, è stata implicata nello sviluppo delle tendinopatie di Achille e rotulea”. [8]

La flessibilità sembra essere collegata alla tendinopatia degli arti [11] influenzando il carico del tendine, ma il meccanismo di questa relazione non è chiaro. Esistono diverse teorie proposte riguardo alla sua patogenesi, tra cui spiegazioni basate su cause vascolari, meccaniche e legate a conflitti. Tuttavia, tra queste, la spiegazione più frequentemente avanzata è quella del sovraccarico tendineo cronico e ripetitivo.

Fattori estrinseci

“I fattori estrinseci associati alle lesioni da sovraccarico dei tendini sono considerati come la causa predominante (fino al 75%) delle sindromi da sovraccarico e delle lesioni tendinee.” [25]

I fattori estrinseci sono elementi esterni o ambientali che influenzano o contribuiscono a una determinata situazione, condizione o processo. Nel contesto delle lesioni da sovraccarico o delle tendinopatie, i fattori estrinseci includono elementi come l'allenamento errato, l'ambiente in cui si svolge l'attività fisica, l'uso improprio dell'attrezzatura, la superficie su cui si pratica l'attività, la temperatura e altre variabili esterne che possono influenzare il corpo e i tessuti. In breve, i fattori estrinseci sono elementi esterni che possono contribuire o causare effetti dannosi sul tendine rotuleo.

Allenamento errato

Pendenza del terreno: I fattori estrinseci solitamente derivano da errori nell'allenamento facilmente correggibili come ad esempio quelli legati alla pendenza del terreno su cui si corre. Correre in salita o salire le scale può aggravare la tendinite rotulea. Inoltre, il correre in discesa spesso provoca un

allungamento eccessivo della falcata, con compressione e irritazione accentuate sull'epicondilo laterale e sulla banda ileotibiale [26].

Affaticamento e sovraccarico:

“Un adeguato allenamento porta all'ipertrofia muscolotendinea e all'aumento della vascolarità, diminuendo così l'affaticamento. Se un muscolo viene esercitato quando è già affaticato, la sua capacità di contrazione è inferiore e ha difficoltà nell'assorbire l'energia da shock e stress ripetuti” [27]

In tali circostanze [12] il tendine subirà gradualmente tensioni, lacerazioni e in definitiva, rottura.

L'effetto del sovraccarico [15] non si limita al cambiamento dei costituenti della matrice (come collagene e proteoglicani), ma induce una reazione cruciale nei tenociti, mirata a adattare la matrice al carico. Questo sforzo esercitato sulla matrice viene comunicato alle cellule, influenzando il processo di sintesi delle proteine ed enzimi. Il carico di trazione può persino provocare una deformazione del nucleo cellulare nel suo contesto. Nei fibroblasti del tendine umano, lo stress meccanico aumenta la produzione sia della prostaglandina E28,190 che del leucotriene B4,97, mediatori che potrebbero contribuire ai cambiamenti rilevati nelle condizioni di tendinopatia.

Inoltre, c'è un aspetto interessante da considerare nella discussione sulla tendinopatia rotulea. Si suggerisce [15] che durante il movimento di flessione dell'arto, la parte inferiore della rotula potrebbe esercitare una compressione sul tendine rotuleo. Questa compressione potrebbe diventare particolarmente rilevante in situazioni in cui il punto di attacco del tendine (entesi) è precedentemente danneggiato.

Nel tessuto tendineo, come in molti altri sistemi biologici, le cellule sono in costante processo di rinnovamento. Tuttavia, se lo stress eccessivo supera la capacità di riparazione, può verificarsi una lesione da sovraccarico nel tendine.

Con un'attività aumentata, viene depositato più collagene per fornire alla fine maggiore resistenza. Tuttavia, in queste fasi iniziali di attività con un rapido ricambio del collagene, il legame covalente, l'ipertrofia, l'aumento della vascolarizzazione e altri processi di maturazione necessari per la resistenza rimangono indietro. L'unità muscolo-tendinea [12] può trovarsi di fronte a una richiesta o un carico che è aumentato troppo rapidamente, in modo che i suoi processi di riparazione e crescita di base siano sopraffatti. È durante questo periodo che possono verificarsi stiramenti, lacerazioni e altri infortuni da sovraccarico.

Sottoallenamento:

"Nonostante l'eccesso di stress possa avere un effetto catabolico sui tendini, è importante notare che anche il sotto-caricamento dei tendini può essere dannoso. Il "sottoutilizzo" dei tendini, infatti, potrebbe contribuire alla comparsa della tendinopatia." [28]

In questo studio si pone attenzione alla risposta meccano-biologica dei tenociti ai vari regimi di carico di trazione. Questi studi [15] hanno sollevato l'ipotesi che le cause per la cascata degenerativa sia la risposta catabolica delle cellule tendinee alla sottostimolazione meccano-biologica.

Condizioni ambientali

Le condizioni ambientali, come un ambiente freddo, [12] possono ritardare il riscaldamento dei muscoli e dei tendini. Questo può compromettere le funzioni degli enzimi muscolari, inibendo la loro capacità di contrazione e la capacità di assorbire gli impatti, aumentando il rischio di tensioni, lacerazioni e lesioni da sovraccarico. In breve, le condizioni ambientali giocano un ruolo importante nelle lesioni da sovraccarico.

Attrezzatura errata:

Un telaio di bicicletta troppo piccolo, ad esempio, oppure un sellino troppo basso aumentano la flessione del ginocchio e possono causare problemi patellofemorali o altri problemi al ginocchio. [12]

ANATOMIA E FISIOLOGIA DEL TESSUTO TENDINEO

Descrizione anatomica dei tendini:

Parti del tendine:

Il tendine rotuleo, noto anche come tendine patellare, costituisce la connessione tra la rotula e la tuberosità della tibia all'interno dell'articolazione del ginocchio. Questa struttura rappresenta la parte inferiore del tendine comune del muscolo quadricipite femorale. Presenta una conformazione piatta, è notevolmente robusto con una lunghezza di circa 8 cm e una larghezza di 3,5/4 cm.

Entesi: Fibrose e fibrocartilaginee

L'entesi [11] è un'area specializzata di tessuti connettivi composta da fibre fibrose o fibrocartilaginee, situata nei punti di ancoraggio dei tendini, dei legamenti e delle capsule articolari all'osso. La sua funzione principale è quella di trasmettere le forze contrattili generate dai muscoli alla struttura scheletrica. Le entesi fibrose si trovano in luoghi in cui i tendini si collegano sia al periostio dell'osso che direttamente all'osso stesso. Questi legami sono solitamente distribuiti su una vasta area dell'osso.

*“Le **entesi fibrose** sono comuni nei tendini più corti, dove la forza muscolare si diffonde su una superficie di attacco ampia, come ad esempio l'attacco del grande gluteo all'osso femorale posteriore. [11]*

Le entesi fibrocartilaginee si verificano dove i tendini si inseriscono in apofisi o epifisi prive di periostio.” [11]

Queste connessioni avvengono attraverso una transizione graduale dal tessuto tendineo all'osso attraverso quattro diverse zone di tessuto:

1. tessuto connettivo fibroso denso
2. fibrocartilagine non calcificato
3. fibrocartilagine calcificato
4. osso

La composizione dei tendini [12] è prevalentemente composta da elastina e collagene, intrecciati all'interno di una matrice gelatinosa di proteoglicani e acqua. In particolare, il collagene costituisce in media circa il 70% del peso totale del tendine. Questi componenti vengono sintetizzati dai fibroblasti e si dispongono secondo un intricato schema gerarchico, contribuendo alla formazione strutturale del tendine stesso (vedi Figura I a lato).

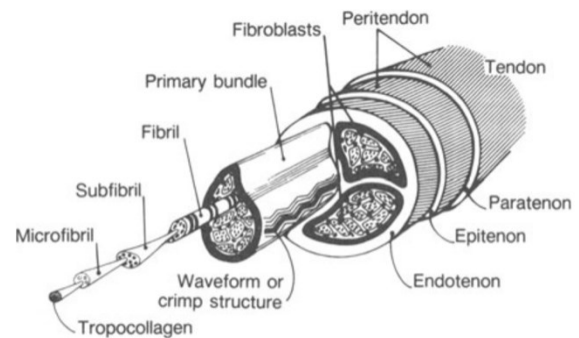


Fig. 1. Structure of tendon.

Le componenti di un tendine quindi sono [12]

- **Guaina (sinoviale):** strato esterno del tendine. Produce un fluido lubrificante chiamato liquido sinoviale, che aiuta il tendine a scivolare meglio.
- **Fibrille:** unità di base di un tendine, rappresentano le strutture collagene più piccole.
- **Endotenone:** guaina di tessuto connettivo lasso investe gruppi di fibrille in fasci chiamati fascicoli. Oltre a consentire ai gruppi di muoversi l'uno rispetto all'altro, l'endotenone trasporta vasi sanguigni, nervi e linfatici.

- **Epitenone:** una sottile guaina di tessuto connettivo, circonda l'intero tendine ed è contigua sulla sua superficie interna all'endotenone. Il paratenone, che in alcuni casi avvolge l'epitenone, permette il libero movimento del tendine contro il tessuto appena citato.
- **Peritendine:** composto da epitenone e paratenone.
- **Fibre di Sharpey:** Fibre di collagene che collegano il tendine all'osso.

Suddivisione dei vasti del muscolo quadricipite femorale

Con sede nel **compartimento anteriore della coscia**, il quadricipite femorale è un complesso di ben quattro muscoli [12]:

- Il **muscolo vasto laterale** che origina, in parte, dal grande troncantere e, in parte, dalla cosiddetta linea aspra del femore, e termina sul bordo laterale (o esterno) della rotula;
- Il **muscolo vasto intermedio** che trae origine dalle superfici anteriore e laterale del corpo del femore e termina alla base del triangolo che rappresenta idealmente la rotula;
- Il **muscolo vasto mediale** che origina, in parte, dalla linea intertrocanterica anteriore e, in parte, dalla già citata linea aspra del femore, e conclude il proprio percorso sul bordo mediale (o interno) della rotula;
- Infine, il **muscolo retto femorale** che trae origine dall'ilio e termina, come il vasto intermedio, alla base del triangolo che rappresenta in modo ideale la rotula.

All'interno di questo quadro, il tendine rotuleo si colloca come l'elemento anatomico che raggruppa i tendini dei quattro capi terminali del quadricipite femorale e li salda, oltre che sulla rotula, anche sulla tuberosità tibiale.

Tendine rotuleo localizzazione/sezione:

Il tendine rotuleo, l'estensione del tendine comune di inserzione del muscolo quadricipite femorale, si estende dal polo inferiore della rotula alla tuberosità tibiale. Ha una larghezza di circa 3 cm nel piano coronale e una profondità di 4-5

mm nel piano sagittale. Macroscopicamente appare scintillante, fibroso e di colore bianco [29].

Quando il tema della discussione è il tendine rotuleo, la zona di rotula, l'osso sesamoide più grande del nostro corpo posizionata anteriormente al ginocchio, di maggiore interesse è l'apice del triangolo ideale che rappresenta questo particolare osso sesamoide: è sui margini, sulla faccia anteriore e sulla faccia posteriore dell'apice della rotula, infatti, che trova inserzione l'estremità iniziale (o estremità prossimale) del legamento rotuleo.

Tendine rotuleo come “Muscle tendon unit”

L'unità muscolo-tendine (UMT) coinvolge la connessione tra i muscoli e i tendini, attraverso la quale vengono generate e trasmesse le forze contrattili. Le fibre muscolari non solo trasmettono forza ai tendini, ma interagiscono anche con essi a causa delle loro proprietà meccaniche.

Secondo [11], il complesso muscolo-tendine-entesi rappresenta l'unità funzionale della locomozione ed è utile per considerare le patologie muscolo-scheletriche. Il suo scopo è trasmettere la forza da un osso all'altro, consentendo il movimento dello scheletro e fornendo una stabilizzazione dinamica. La struttura generale dell'unità classica muscolo-tendine-entesi include

- 1) un muscolo che ha un'origine e un'inserzione;
- 2) un tendine che si unisce al muscolo attraverso una giunzione miotendinea
- 3) un'entesi, dove il tendine si inserisce sull'osso.

Giovani: In un individuo ancora in fase di crescita scheletrica, il punto più debole nell'unità muscolo-tendine-entesi è l'osso, in particolare la placca di crescita cartilaginea situata alle epifisi e alle apofisi. Le fratture da avulsione sono più comuni durante lo scatto di crescita adolescenziale, legate ai rapidi cambiamenti di altezza durante l'adolescenza.

Adulti: Nel giovane adulto, il sito più debole nell'unità muscolo-tendine-entesi è la giunzione miotendinea. La giunzione miotendinea ha una capacità di

assorbimento dell'energia inferiore rispetto a tendine o muscolo ed è quindi ad alto rischio di cedimento.

Anziani: Con l'invecchiamento, il punto di rottura si sposta verso il tendine, cosa che è raramente riscontrata nei bambini e nei giovani adulti. Quando la rottura avviene all'interno della sostanza di un tendine, è quasi sempre dovuta all'anormalità del tendine, tipicamente causata da tendinosi degenerativa. [11]

Struttura del tendine (matrice interfascicolare)

La più piccola unità strutturale all'interno del tendine [11] è il tropocollagene che si aggrega per formare microfibrille. Le microfibrille sono aggregate in fibrille, le fibrille in fibre, le fibre in fasci di fibre e i fasci di fibre in fascicoli che si combinano per formare il tendine vero e proprio.

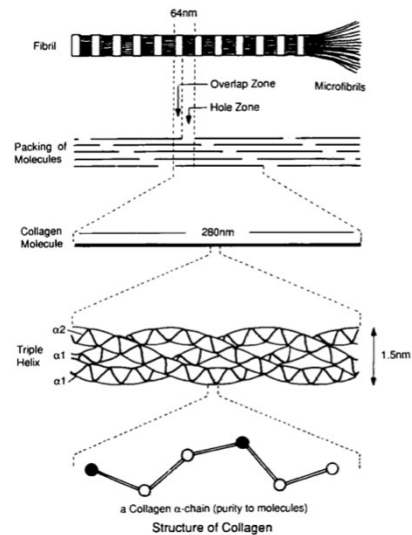
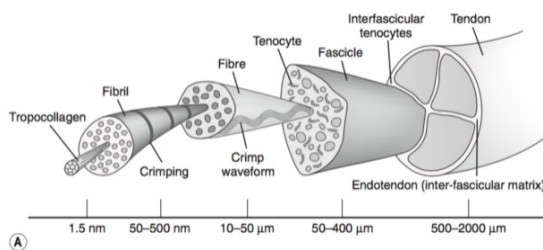


Fig. 2. The microstructure of collagen. Three alpha chains coil to form a triple-stranded helical rod (from ref. 1).

Componenti collagenosi e non collagenosi

Nel contesto dei tendini, il ruolo del collagene gioca un ruolo fondamentale nel fornire resistenza alla trazione, nella stabilizzazione delle articolazioni e nella trasmissione delle forze muscolari. In tutto sono stati riconosciuti più di 12 diversi tipi di collagene, che possono essere suddivisi in 2 tipi: collagene formante di fibre o non formante di fibre.

I tipi I, II e III sono collagene formanti fibre e costituiscono la maggior parte del collagene tendineo [30]. Di questi, il tipo I rappresenta circa il 90% del collagene nel corpo ed è il principale collagene dei tendini. Gli altri tipi di collagene non formano fibre.

Il tenocita produce una molecola precursoria, il pro-collagene, che viene secreto e quindi diviso per formare il tropo-collagene. Le fibrille di collagene vengono quindi assemblate attraverso legami incrociati non covalenti. I legami incrociati covalenti poi legano le fibrille nella tipica tripla elica che conferisce alla proteina più forte del corpo.

Altri componenti:

Elastina

L'elastina [30] è necessaria nelle strutture che subiscono grandi cambiamenti di lunghezza in assenza di alcun cambiamento permanente nella struttura. C'è solo una piccola quantità di elastina nei tendini, infatti rappresenta meno dell'1% del peso secco del tendine.

Sostanza fondamentale

Gran parte delle proprietà viscoelastiche del tendine sono dovute alla sua sostanza fondamentale. La capacità di legare l'acqua dei proteoglicani, dei glicosaminoglicani, delle proteine plasmatiche e altre piccole molecole contribuisce a stabilizzare lo scheletro di collagene del tendine.

- Le porzioni di tendine per le forze di trazione: basso contenuto di proteoglicani e alti livelli di collagene
- Porzione di tendine per le forze di attrito e compressione: alto contenuto di proteoglicani e bassi livelli di collagene

Proteoglicani

Un componente secondario dei tendini è il proteoglicano [30] che costituisce dallo 0,1% al 20% del peso secco del tendine, a seconda di fattori come età, sede e storia del carico meccanico. I proteoglicani rappresentano una famiglia diversificata di proteine glicosilate che contengono numerosi polisaccaridi solfati (glicosaminoglicani o GAG). Il componente predominante del proteoglicano nel tendine è un dermatan solfato a basso peso molecolare. Proteoglicani di peso molecolare più elevato sono presenti nelle regioni fibrocartilaginee del tendine, che sono sottoposte a carichi compressivi in vivo.

Le proprietà di compressione del tessuto e il comportamento viscoelastico sono determinate dalla presenza di un gran numero di GAG cariche negativamente, che attraggono molecole d'acqua nel tessuto.

BIOMECCANICA DEL TENDINE

Risposte meccanico biologiche

Le lesioni dei tendini e i loro meccanismi sottostanti sono stati oggetto di grande interesse nel campo della medicina dello sport. I recenti progressi nell'interpretazione delle risposte meccanobiologiche dei tendini hanno posto interesse sull'interazione tra il carico meccanico e i processi cellulari. In particolare, il lavoro condotto [31] ha fornito preziose intuizioni nei comportamenti meccanotrasduttivi dei tendini, indagando le risposte meccanico-biologiche del tendine attraverso un modello in vivo (modello di corsa su tapis roulant del topo) e un modello in vitro

- **Modelli in vivo:** la corsa su tapis roulant aumentava l'espressione di fattori di crescita meccanici e potenziava la proliferazione delle cellule staminali tendinee (TSC). Il tapis roulant moderato sovraregolava i geni correlati ai tenociti (ad esempio, il collagene di tipo I) senza interferire con i geni non correlati ai tenociti, al contrario della corsa intensiva, ha influenzato sulla sovraregolazione di entrambi.

- **Modelli in vitro:** un basso allungamento meccanico delle TSC aumentava l'espressione dei geni correlati ai tenociti al contrario di un alto allungamento meccanico dei TSC che influenzava entrambi.

Gli autori [6] hanno concluso che un carico meccanico eccessivo può causare cambiamenti anabolici nei tendini può portare allo sviluppo di tendinopatie degenerative.

Ruolo del calcio nei tenociti

Nell'articolo [32], si fa riferimento a un esperimento in cui sono state analizzate le risposte dei tenociti (cellule dei tendini) a stimoli meccanici. È stato scoperto che queste cellule rispondono a seconda del livello e della velocità di allungamento del tessuto. Sono stati testati vari tassi di deformazione e si è notato che c'era una differenza nelle risposte del calcio (Ca^{2+}) nelle cellule a diverse velocità di allungamento. Il flusso di calcio Ca^{2+} viene influenzato dal PIEZO1 (vedi paragrafo dopo). La risposta delle cellule tendinee al cambiamento di lunghezza del tessuto è influenzata sia dalla velocità con cui avviene il cambiamento che dall'entità dell'allungamento stesso. A basse velocità di deformazione, ogni tenocita mostrava più segnali di Ca^{2+} . Invece, ad alte velocità di deformazione, le cellule mostravano una sola risposta di Ca^{2+} quando il tendine veniva stirato. Inoltre, era necessario un maggiore allungamento più intenso del tessuto per ottenere una risposta di Ca^{2+} .

Proteina PIEZO1

Di cosa si tratta?

Piezo1 [32] è una proteina di membrana che funge da sensore meccanico nei mammiferi, inclusi gli esseri umani. Questa proteina è coinvolta nella percezione e nella trasduzione dei segnali meccanici (meccanotrasduzione), un processo importante che si verifica nel nostro corpo e che è fondamentale per molte funzioni fisiologiche come:

- regolazione del flusso di sangue e della pressione arteriosa
- capacità di percepire la posizione del nostro corpo nello spazio (propriocezione)
- respirazione

Tutti questi eventi si basano su meccanismi a livello molecolare che trasformano le forze meccaniche, in segnali biologici. Questo avviene spesso attraverso l'azione di proteine situate nella membrana delle cellule (PIEZO1)

Interazione tra PIEZO1 e Calcio (Ca²⁺)

La proteina Piezo1 ha un impatto significativo sul flusso di calcio (Ca²⁺). Piezo1, essendo un meccanosensore, svolge un ruolo fondamentale nella regolazione della concentrazione di calcio all'interno delle cellule. Quando il tessuto subisce tensioni meccaniche, come ad esempio durante il movimento o lo stress fisico, i canali ionici Piezo1 vengono attivati, consentendo l'ingresso di ioni calcio nelle cellule. Questo processo innalza i livelli di calcio all'interno della cellula, che a sua volta avvia una serie di risposte cellulari.

Le ricerche in questo campo [32] stanno cercando di delineare il ruolo specifico di Piezo1 nel regolare il flusso di calcio e come questo possa influenzare le funzioni cellulari in diverse condizioni fisiologiche e patologiche.

Nonostante i notevoli progressi compiuti negli ultimi anni nella ricerca sui canali ionici e sui recettori attivati meccanicamente, i meccanosensori presenti nei tendini, che rappresentano uno dei tessuti più sottoposti a sollecitazioni meccaniche nel corpo umano, non sono stati ancora individuati e analizzati.

Angolo di massimo stress sul tendine

In un recente studio [7] sono stati eseguiti test meccanici sul tendine rotuleo per valutare la sua risposta a diverse condizioni di deformazione e angolazione del ginocchio. I risultati hanno mostrato che la deformazione aumenta significativamente quando il ginocchio è flesso a 60 gradi, come avviene durante un atterraggio da un salto. La deformazione localizzata media a un PPTA (Patella-patellar tendon angle) di 162° (corrispondente a un angolo di flessione del ginocchio di 0°) era entro il 10% della deformazione applicata al tendine. Tuttavia, quando il PPTA è stato ridotto a 145° (corrispondente a un angolo di flessione del ginocchio di 60°), la deformazione localizzata media è aumentata fino a quasi il doppio della deformazione applicata

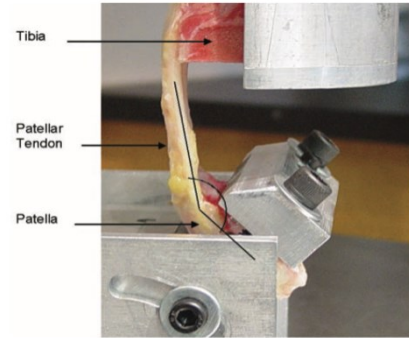


Figure 3. The specimen mounted in a custom-made jig with the tibia on top, and the patella rotated and fixed at a predetermined patella-patellar tendon angle of 145°.

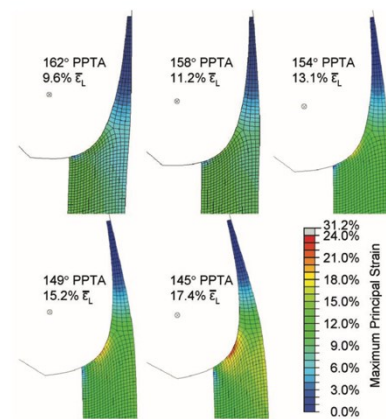


Figure 6. Principal strain distribution and mean localized principal strain ($\bar{\epsilon}_L$) within the patellar tendon at 10% strain with varying patella-patellar tendon angles (PPTAs). Note that the region of localized high strain intensifies as the PPTA decreases. The circled \times indicates the center of rotation of the patella.

Ruolo delle forze di taglio sul tendine rotuleo:

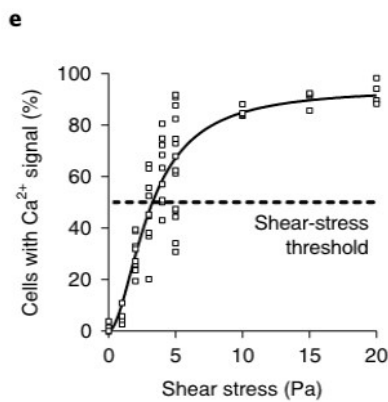
Poiché il collagene, una sostanza con grande resistenza meccanica ma scarsa elasticità, è il componente strutturale predominante, il tendine è forte e in grado di resistere bene alle forze di tensione o stiramento [12]. Tuttavia, è meno in grado di sopportare le forze di taglio e compressione trasmesse dai muscoli.

Lo stress di taglio provoca segnali di calcio (Ca^{2+}) nei tenociti isolati. Quando il tessuto si allunga, le fibre di collagene, che sono fondamentali nella struttura esterna, scivolano tra loro. I tenociti sono situati tra queste fibre e sono quindi sottoposti a uno stress meccanico di taglio. Dal momento che il movimento delle fibre è il principale modo in cui i fasci tendinei si estendono, ci siamo chiesti se lo

stress di taglio fosse il principale fattore scatenante dei segnali meccanici nei tenociti. I risultati dell'analisi condotta in questo studio, suggeriscono che i livelli di stress di taglio possano variare in parti diverse dei tenociti, con livelli massimi intorno alle parti più strette e minimi attorno al centro delle cellule.

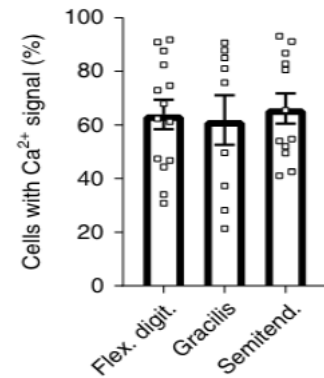
L'effetto dell'esposizione dei tenociti allo stress da taglio [32] un fenomeno che si manifesta quando il tessuto si allunga, ha indotto una risposta significativa di calcio (Ca^{2+}). L'entità di questo stimolo meccanico ha avuto un impatto sulla percentuale di cellule che hanno reagito, nonché sull'ampiezza e sulla durata della

risposta di calcio. Queste osservazioni sono in accordo con i risultati emersi dalla ricerca condotta dal gruppo di [32].

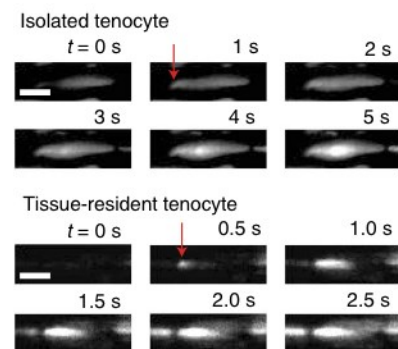


Decreased stretch-induced Ca^{2+} response and stiffness in fascicles from tenocyte-targeted Piezo1-knockout mice

Una risposta di Ca^{2+} in circa il 50% dei tenociti è indotta da uno stress di taglio, Insieme, ciò conferma il ruolo dello stress di taglio come stimolo meccanico chiave per i tenociti, che mostrano una simile reattività in tutte le regioni analizzate (Flex digit., gracile e semitendinoso)



Abbiamo notato che i segnali di Ca^{2+} iniziano tipicamente alla periferia della cellula sia nei tenociti isolati che in quelli residenti nel tessuto (figura a lato) [33]



Ruolo delle forze di compressione e di trazione sul tendine rotuleo

Il modello di studio ricavato da [7] ha dimostrato che le principali sollecitazioni meccaniche nella regione della deformazione erano parallele all'asse lungo dei fascicoli del tendine rotuleo, indicando una forza di trazione piuttosto che di compressione che agisce su quest'area del tendine.

Immagini rappresentative dei segnali di Ca^{2+} che originano dalla periferia della cellula (indicati dalle frecce) osservati in centinaia di cellule, sia in vitro sia in situ.

Secondo [30] quando il muscolo si contrae, l'allungamento del tendine che ne risulta porta a tre esiti:

- In primo luogo, la compliance di un tendine rende difficile mantenere stabile un'articolazione poiché i cambiamenti di forza portano a cambiamenti nella lunghezza del tendine. Al contrario, il controllo dei compiti motori fini è più facile perché la forza necessaria per il cambiamento è ridotta da piccoli cambiamenti nella lunghezza del muscolo.
- In secondo luogo, i tendini allungati immagazzinano energia elastica che viene rilasciata al rinculo riducendo efficacemente il lavoro del muscolo.
- In terzo luogo, lo stiramento del tendine richiede che il muscolo debba accorciarsi più di quanto normalmente sarebbe necessario.

Resistenza alla trazione del tendine rotuleo

Quando il tendine è a riposo, appare a onde di fibre e dei fibrilli di collagene al microscopio, ma questa forma cambia con l'applicazione di una forza di tensione o stress che causa deformazione (2%). Se viene allungato oltre il 4% della sua lunghezza originale, le fibre di collagene perdono la forma ondulata e si rettificano [33], con una risposta del tendine lineare allo stress. Il tendine recupera la forma ondulata quando la tensione si riduce. Tuttavia, tra il 4% e l'8% di allungamento, le fibre di collagene iniziano a scorrere l'una sull'altra, causando la rottura della loro struttura reticolare [12].

Aumentando la forza applicata e la deformazione del tendine, si mette a rischio l'integrità strutturale del tessuto, il che può portare a danni, rotture e indebolimenti del tendine stesso. Anche se normalmente le forze fisiche causano deformazioni inferiori al 4%, alcune attività sportive superano questa soglia, generando microtraumi cumulativi che gradualmente indeboliscono il tendine e aumentano il rischio di lesioni da sovraccarico. Un esempio chiaro di questo concetto è la variazione delle forze che il tendine rotuleo deve sopportare a seconda dell'attività svolta:

- camminata 0,5 kN,
- atterraggio da un salto 8 kN,
- corsa veloce 9 kN
- weight-lifting addirittura 14,5 kN.

Come calcolare stress e strain.

Stress longitudinale: Rapporto tra la forza normale (forza agente perpendicolarmente all'area) e l'area su cui la forza è applicata. (forza per unità di area).

Strain: Deformazione longitudinale: Misura della deformazione di un mezzo dovuta all'applicazione di uno stress longitudinale. Viene anche definita come il rapporto tra la variazione di lunghezza e la lunghezza iniziale. Lo "strain" è un termine utilizzato per indicare la deformazione o l'allungamento di un materiale sotto l'effetto di una sollecitazione meccanica (stress).

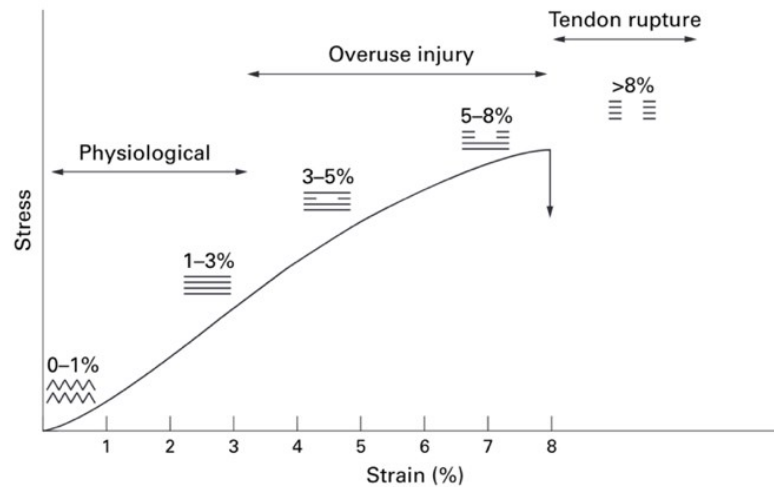


Figure 1 Stress-strain curve for tendon. Adapted from Leadbetter.²⁰

Le proprietà biomeccaniche di un tendine normale [30] sono meglio espresse da una curva di stress-deformazione.

L'angolazione della curva rappresenta un indicatore della rigidità del materiale in analisi. Nel contesto della curva di stress-deformazione, la prima sezione corrisponde alla fase denominata "toe", in cui avviene un processo di appiattimento della struttura ondulata o a onde che caratterizza il collagene in stato di riposo. Dopo questa fase iniziale, l'angolazione della curva di stress-deformazione inizia a crescere in maniera più accentuata, indicando che è richiesta una forza maggiore per allungare le fibre di collagene. È proprio in questa fase lineare che possono manifestarsi danni microscopici nel materiale, soprattutto quando l'allungamento delle fibre supera il 4%. Tuttavia, è interessante notare che una volta che una fibra di collagene si estende di oltre il 10%, il materiale raggiunge il suo punto di rottura, segnando il limite oltre il quale non può più sostenere l'allungamento senza subire danni significativi.

Curva stress strain del collagene

Un'altra rappresentazione fornita da [34], raffigura la sezione iniziale della curva rappresenta la fase "toe", caratterizzata dalla rimozione dell'eccesso di sovrapposizione delle fibre di collagene. Successivamente, nella regione lineare successiva, si manifesta un aumento pronunciato dell'angolazione mentre le fibre di collagene si allungano

longitudinalmente. In questo tratto successivo alcune delle fibre di collagene subiscono

danneggiamento, contribuendo a un deterioramento microscopico. Il culmine della curva rappresenta il punto di rottura macroscopico, ovvero il danneggiamento irreversibile.

Questo dimostra che i danni ai tendini possono derivare da uno stress non uniforme, causando danni ripetitivi localizzati alle fibre. Questa [15] spiega l'accumulo graduale di danni nei tendini nel tempo.

Uno studio condotto su giocatori professionisti di calcio condotto da Jonathan D. Rees e colleghi [15] a rilevato cambiamenti patologici nei tendini d'Achille e rotuleo, anche in assenza di sintomi evidenti, suggerendo una connessione con lo stress funzionale. Questo significa che, nonostante i giocatori non avessero necessariamente dolore o sintomi manifesti, erano comunque presenti segni di deterioramento nei loro tendini. Inoltre, è emerso che un maggiore numero di ore di allenamento settimanali era correlato a una maggiore probabilità di sviluppare la tendinopatia rotulea. In modo simile, un aumento delle sessioni di allenamento settimanali era associato all'insorgenza della tendinopatia rotulea.

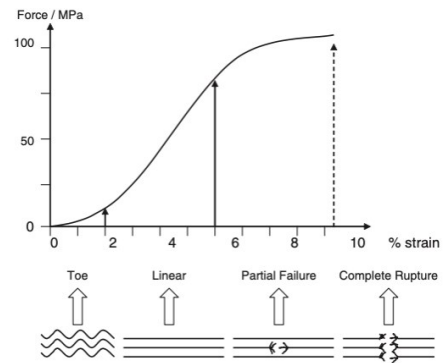


Figure 2. Stress-strain relationship for progressive loading of a tendon showing 3 distinct regions (toe, linear, and partial failure) prior to complete rupture. Approximate stress forces (MPa) and strain values (% strain) are shown. Reproduced with permission from Rees JD, Wilson AM, Wolman RL. Current concepts in the management of tendon disorders. *Rheumatology*. 2006;45:508-521.

ISTOLOGIA E ASPETTO ISTOPATOLOGICO DEL TENDINE AFFETTO DA TENDINOPATIA

Aspetto istologico tramite immagini

Sono stati descritti molteplici pattern istologici di tendinosi tra cui ipossica, ialina, mucoide, fibrinoide, lipoide, calcificante e fibrocartilaginea. Queste forme spesso coesistono, risultando in aspetti di imaging variabili e sovrapposti [11]. Di questi processi, domina la degenerazione mucoide, con conseguente ispessimento del tendine e un leggero ingrigimento dell'intensità del segnale alla risonanza magnetica. All'ecografia (vedi immagine a lato [15]), la degenerazione del tendine mostra ispessimento con perdita di un normale pattern fibrillare ecogeno.

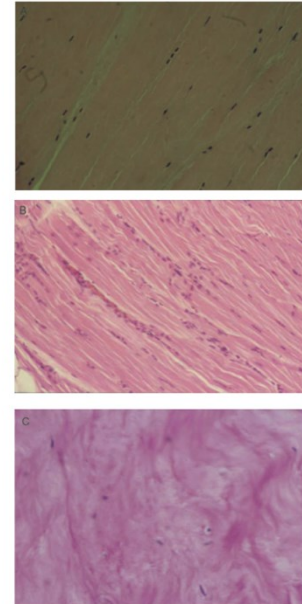


Figure 1. Histopathologic changes seen in tendinopathy demonstrating a lack of an inflammatory response. A, normal tendon with scattered elongated cells. B, slightly pathologic tendonous tissue with islands of high cellularity and initial disorganization. C, highly degenerated tendon with some chondroid cells; there is a distinct lack of inflammatory infiltrate. Reproduced with kind permission of Springer Science and Business Media from Benazzo F, Mosconi M, Maffulli N. Hindfoot tendinopathies in athletes. In: Maffulli N, Renström P, Leadbetter WB, eds. *Tendon Injuries: Basic Science and Clinical Medicine*. London: Springer; 2005:178-186.

- Prima immagine: tendine sano con cellule allungate sparse.
- Seconda immagine: tessuto tendineo leggermente patologico con celle isolate e leggera disorganizzazione.
- Terza immagine: tendine altamente danneggiato con mancanza di infiltrato infiammatorio

Nel lavoro di [14] sono stati esaminati istologicamente dodici tendini con PT. In tutti i casi si è osservata una relativa espansione del tessuto tendineo con perdita della netta demarcazione dei fasci di collagene osservata nei tendini normali. Inoltre, si è verificata la perdita del normale schema di polarizzazione denso omogeneo. Il tessuto anomalo ha mostrato la separazione e la rottura delle fibre di

collagene alla microscopia ottica di polarizzazione, accompagnata da un aumento della sostanza fondamentale mucoide confermato dalla colorazione “blu Alcian”.

Il massimo cambiamento mucoide era presente prossimalmente nel sito di inserimento. È importante notare che non sono state osservate cellule infiammatorie in nessun campione.

Il processo di tendinopatia [35] coinvolge sia la matrice di collagene che i tenociti. Normalmente, le fibre di collagene nei tendini sono strettamente raggruppate in modo parallelo, ma i campioni tendinopatici alla risonanza mostrano arricciature disuguali e irregolari, allentamento e aumento dell'ondulazione delle fibre di collagene, con un aumento del tipo III collagene riparativo.

Fenomeni infiammatori e fenomeni degenerativi:

Studi istologici su pazienti con tendinopatia accertata mostrano costantemente un'infiammazione minima o assente. Generalmente mostrano anche ipercellularità, una perdita dell'aspetto del collagene strettamente legato, un aumento del contenuto di proteoglicani, e comunemente neovascolarizzazione. Questa è stata definita una "risposta di guarigione fallita". In sintesi [15], sebbene solo due studi abbiano fornito risultati istologici sulle fasi iniziali della malattia, le prove provenienti dai modelli animali di tendinopatia indotta suggeriscono che un processo infiammatorio potrebbe essere coinvolto solo nella fase iniziale della malattia, ma non sembra essere presente durante la sua propagazione e progressione, tranne nei casi più acuti caratterizzati da contrazioni muscolari estreme prolungate.

Dal punto di vista istologico [6], c'è una “disorganizzazione” nelle fibre di collagene associata a fibrosi, aumento della cellularità e vascolarizzazione. L'infiammazione gioca un ruolo fondamentale nella prima fase della patologia. A causa del continuo stress sul tendine, i tenociti producono più citochine e interleuchine, provocando alcune microfratture nelle fibre di collagene.

Il dolore, l'edema e l'infiammazione [12] sono le prime risposte a un infortunio da sovraccarico del tendine. Oltre a questi, il calore, l'arrossamento, il gonfiore e occasionalmente crepitio, possono essere altri sintomi che segnalano un problema. Nelle prime fasi della manifestazione della patologia, la risposta infiammatoria durante la fase acuta è benefica per la guarigione, ma dovrebbe essere limitata a 1-3 giorni. Se la fase infiammatoria persiste a causa di un sovraccarico continuo o di una cura inadeguata, le fasi successive della riparazione vengono ritardate e possono verificarsi ulteriori danni. Di conseguenza, eliminare questa risposta infiammatoria con l'amministrazione di anestetici/analgesici durante l'attività continua può ritardare o interrompere la guarigione [33]. Dopo circa 48 ore, la risposta infiammatoria è seguita dalla proliferazione della sostanza fondamentale e dalla formazione delle proteine del collagene, che completano i classici 14 giorni di guarigione proliferativa.

Dopo la rottura dell'equilibrio tra processi di rigenerazione e processi distruttivi, che caratterizza le tendinopatie, si verifica un processo patogenetico che coinvolge la produzione di citochine infiammatorie, fattori proangiogenici e radicali liberi. Questi elementi provocano una graduale degenerazione del tessuto tendineo, che a loro volta causano sintomi dolorosi. [36]

Teoria dell'iceberg

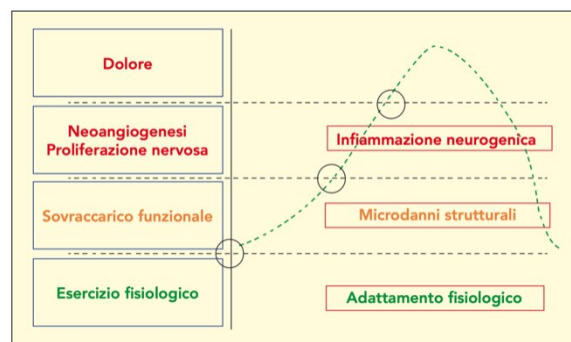


Figura 3 Teoria dell'iceberg: la cascata patogenetica che contraddistingue l'insorgenza della tendinopatia è illustrata attraverso i vari livelli di un ipotetico iceberg, la cui base è formata dalla condizione di rispetto fisiologico e la punta dall'insorgenza della sintomatologia algica (da Abate et al.).

La teoria dell'iceberg [36], offre un'interessante prospettiva per comprendere meglio la connessione tra infiammazione e degenerazione nelle tendinopatie. Secondo questa teoria (Figura in alto), i vari eventi che si verificano in una

tendinopatia possono essere paragonati alle diverse parti di un iceberg. La base rappresenta la situazione normale e quindi in condizioni fisiologiche del tendine. All'inizio della tendinopatia emergono due fasi: **asintomatica e sintomatica**, con il dolore che segna il passaggio tra di esse. L'esercizio fisico, se moderato, aumenta la resistenza del tendine, ma oltre una soglia si possono innescare microtraumi che portano a due possibili esiti diversi (break point).

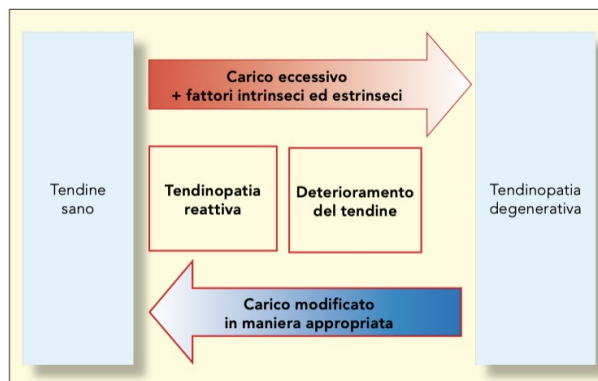


Figura 4 Un eccessivo carico funzionale unitamente a predisposizioni di tipo intrinseco ed estrinseco, possono condurre a una tendinopatia, mentre un carico funzionale modulato in maniera appropriata ne può limitare l'insorgenza.

-Il tendine può recuperare adeguatamente se viene data una pausa rigenerativa, che richiede un bilanciamento appropriato dei carichi di lavoro. Ciò favorisce i processi di rigenerazione rispetto a quelli traumatici, mantenendo così l'equilibrio funzionale del tessuto tendineo. Al contrario, senza una pausa rigenerativa sufficiente, i processi di distruzione superano quelli rigenerativi nel tendine, portando alla manifestazione di una tendinopatia conclamata (Vedi Figura in alto).

Da qui è possibile trarre una considerazione:

- La definizione di tendinopatia [37], in sostanza, risiede nell'alterazione dell'equilibrio che normalmente esiste quando il tendine è sottoposto a carichi di lavoro adeguati. la linea di confine che demarca lo sconfinamento tra un carico di lavoro fisiologico, che permetta l'omeostasi delle condizioni tendinee, e un carico di lavoro non fisiologico, responsabile della rottura di questo delicato equilibrio, è estremamente labile.

MATERIALI E METODI PER LA DIAGNOSI

Esami fisici e test clinici specifici per la tendinopatia

L'accurata diagnosi con cui si identificano le anomalie del tessuto tendineo è fondamentale per valutare la gravità della lesione e il trattamento che ne consegue. Anche se l'imaging è il gold standard per la diagnosi, includendo sia l'ecografia in tempo reale (US) ad alta risoluzione che la risonanza magnetica (MRI), il primo sospetto è clinico, basato sull'anamnesi e sull'esame clinico.

Cook et al. hanno testato in giovani cestisti la riproducibilità e l'utilità clinica della palpazione manuale del tendine per la diagnosi di PT:

- **Tendinopatia sintomatica:** 68% di sensibilità e il 9% di specificità, e 17% dei valori predittivi positivi e negativi
- **Tendinopatia asintomatica:** 56% di sensibilità, il 47% di specificità e il 22% di valore predittivo positivo

Sebbene la palpazione fosse un test affidabile, era moderatamente sensibile, ma non specifica nei tendini sintomatici.

Per la diagnosi clinica di PT è stato introdotto da [22] un metodo chiamato "*test del Royal London Hospital*". La positività di questo test è data quando la dolorabilità suscitata palpando il tendine in posizione rilassata (ginocchio esteso) diminuisce o scompare quando il tendine viene palpato sotto tensione (ginocchio flesso).

Nei pazienti sintomatici al PT, il test del Royal London Hospital ha mostrato una sensibilità inferiore e una specificità maggiore rispetto alla palpazione manuale.

Devono essere eseguiti entrambi i test per una corretta diagnosi clinica di PT.

Quando è presente solo un test di palpazione positivo, esso può non essere necessariamente associato a tendinopatia rotulea, mentre la positività di entrambi i test clinici è fortemente associata alla comparsa ecografica di tendinopatia rotulea.

La valutazione delle immagini deve essere eseguita solo come ulteriore test di conferma.

Sintomi e segni

I sintomi della tendinopatia rotulea possono includere dolore, rigidità e sensibilità intorno all'area anteriore della rotula o al tendine patellare. Per 57 degli atleti dello studio intitolato “*A cross sectional study of 100 athletes with jumper's knee managed conservatively and surgically*” [14], è stata effettuata un'ecografia (sonography). In tutti i casi, è stata presente un'area ipoecogena ecografica nell'attacco prossimale della rotula del tendine patellare sintomatico. Questa regione corrispondeva all'area di sensibilità alla palpazione

Metodi di imaging

I metodi di imaging [8] sono fondamentali per la diagnosi e la valutazione delle tendinopatie, poiché consentono di visualizzare le strutture tendinee e individuare eventuali anomalie. L'imaging PT però, non conferma il dolore; infatti, le anomalie intratendinee possono essere osservate utilizzando l'ecografia in soggetti asintomatici. L'imaging seriale non è raccomandato perché, spesso, i sintomi migliorano senza modifiche all'ecografia o alla risonanza magnetica

- **Ecografia (sonografia):** Questo è un metodo di imaging che utilizza onde sonore ad alta frequenza per creare immagini in tempo reale delle strutture interne. L'ecografia è spesso utilizzata per valutare le tendinopatie in quanto è non invasiva, economica e può fornire dettagli ad alta risoluzione delle strutture del tendine, aree di infiammazione, lesioni o cambiamenti nella struttura del tessuto. L'ecografia può essere utile quando i sintomi e i segni delle lesioni tendinee sono equivoci e non specifici. È più accurato della radiografia normale o della xeroradiografia nella valutazione dei tessuti molli e nelle valutazioni ultrasoniche del tendine di Achille, dei tendini della mano, della cuffia dei rotatori e del tendine patellare

L'ecografia ha mostrato una caratteristica regione ipoecogena alla giunzione del polo inferiore della rotula e della superficie profonda del tendine rotuleo. L'esame istopatologico ha mostrato la separazione e la rottura delle fibre di collagene alla microscopia ottica di polarizzazione e un aumento della sostanza di base mucoide coerente con il danno del collagene del tendine senza infiammazione.

Conclusioni: il ginocchio del saltatore ha il potenziale per essere una condizione debilitante per una persona sportiva. Circa il 33% degli atleti che si sono presentati in una clinica di medicina dello sport con il ginocchio del saltatore non sono stati in grado di tornare allo sport per più di sei mesi. [14]

- **Risonanza Magnetica (RM):** La RM [13] è un potente strumento di imaging che utilizza campi magnetici e onde radio per visualizzare i tessuti molli, inclusi i tendini. La RM può rivelare danni, infiammazioni e altre anomalie nei tendini, consentendo una valutazione accurata delle condizioni patologiche [8]. La MRI, secondo lo studio di [11]). quando i tendini vengono orientati a 55 gradi rispetto al campo magnetico principale e vengono acquisiti con un basso tempo di eco (TE), si osserva un aumento del segnale tendineo (cosa che non accade con sequenze a lungo TE). Questo fenomeno è noto come "angolo magico". A differenza dell'ecografia, la risonanza magnetica può anche visualizzare tendini distinti da quelli circostante, fluido infiammatorio o tessuto cicatriziale e rappresentare strutture localizzate in profondità. Attualmente la sua applicazione ha dei limiti considerevoli, a partire dai costi, dalla mancanza di una disponibilità diffusa e di problemi tecnici come la produzione commerciale limitata di bobine di superficie dedicate.



- **Tomografia computerizzata (TC):** La TC impiega raggi X per generare immagini che mostrano sezioni trasversali del corpo. Tuttavia quest'ultima è spesso scelta in misura minore rispetto ad altri metodi di imaging, poiché fornisce meno informazioni dettagliate sui tessuti molli rispetto all'ecografia e la RM.
- **Imaging ad ultrasuoni Doppler:** Questo tipo di ecografia permette di valutare il flusso sanguigno in alcune aree d'interesse, elemento utile per valutare l'infiammazione e la vascolarizzazione anomala dei tendini.
- **L'imaging a onde di taglio sovrasoniche (SSI):** grazie alle immagini ad alta risoluzione che fornisce dei tessuti superficiali e profondi e alla capacità di ottenere dati elastici quantitativi locali in modo ultra veloce, questo metodo ha dimostrato superiorità nella valutazione delle proprietà meccaniche dei tessuti. [34]

In molti casi, può essere necessario combinare più metodi di imaging per ottenere una visione completa delle condizioni tendinee e per soddisfare le specifiche esigenze del paziente.

PREVENZIONE TENDINOPATIA ROTULEA

Strategie di prevenzione

Con l'aumento del numero di partecipanti alle attività sportive, si è acquisita una migliore conoscenza dei fattori intrinseci ed estrinseci che contribuiscono alle lesioni da sovraccarico. È chiaro che la maggior parte delle sindromi da sovraccarico tendineo non è solo reversibile, ma addirittura prevenibile. In questo capitolo mi occuperò di trattare al meglio l'argomento della prevenzione, per ridurre il rischio di sviluppare questa condizione dolorosa.

L'importanza della flessibilità:

L'equilibrio muscolare e la flessibilità ottimale dell'unità muscolotendinea rappresentano elementi chiave nella prevenzione della tendinopatia rotulea. L'adozione di tecniche adeguate [12], come il rafforzamento mirato e il corretto stretching, all'interno del programma di allenamento può contribuire a migliorare questa condizione. Aumentare l'ampiezza di movimento dell'unità muscolotendinea coinvolta e potenziarne la capacità di resistere ai microtraumi ripetitivi svolge un ruolo fondamentale nel prevenire lesioni. È imperativo combinare esercizi di forza con sessioni di flessibilità. Questo programma di flessibilità deve essere appositamente strutturato, coinvolgendo i muscoli e i tendini sollecitati nello specifico sport praticato.

Migliorare la flessibilità e la resistenza dell'unità muscolotendinea coinvolta è cruciale per la prevenzione delle lesioni. È essenziale integrare esercizi di forza con sessioni di flessibilità mirate, al fine di mantenere un movimento articolare funzionale ed efficiente. Il programma di flessibilità dev'essere adattato alle esigenze muscolari e tendinee specifiche richieste dalla pratica sportiva in questione [38].

L'importanza dello stretching

Lo stretching, un modo semplice e indolore per preparare i muscoli al movimento, deve essere eseguito correttamente. [38], [39]

Non esiste un solo tipo di stretching, per iniziare la classificazione dello stretching, bisogna cominciare da una prima divisione: il **metodo statico** (mantenimento della posizione per 15-30 sec) e il **metodo dinamico** (associato a gesti vivaci, ritmici, rimbalzati). Questi due metodi possono a loro volta essere eseguiti in 2 maniere diverse: **attiva** (attraverso la contrazione dei muscoli antagonisti) o **passiva** (con l'aiuto di elementi esterni).

Lo stretching del tendine ripristina la normale mobilità articolare e riduce la tensione sul tendine durante il movimento normale. Le unità muscolotendinee coinvolte sono spesso rigide poiché il paziente ha cercato di proteggere l'area e potrebbe non aver utilizzato normalmente l'articolazione per un certo periodo.

Inoltre, la rigidità del muscolo potrebbe essere stato un fattore predisponente all'infortunio al tendine inizialmente. L'effetto dello stretching [40], porta ad una diminuzione della rigidità (elemento negativo) cambiando le proprietà viscoelastiche. Lo stretching prolungato porta a uno stress ridotto all'interno del muscolo per una data lunghezza di tempo, diminuendo la rigidità muscolare. Esistono diverse tecniche per lo stretching. La tecnica ritenuta superiore è la tecnica contratto-rilascio-antagonista. Lo stretching balistico [40], in cui l'unità muscolotendinea viene allungata con un movimento rapido e scattante, dovrebbe essere evitato in quanto questa tecnica stimola la contrazione del muscolo, portando a uno stretching inefficace con il potenziale per infortuni. Di seguito una rapida classificazione di altri 8 metodi diversi di stretching citati nel libro intitolato *“Principi di metodologia del fitness”* di Antonio Paoli, Marco Neri, Antonio Bianco [41]:

- 1) Stretching balistico
- 2) Stretching dinamico
- 3) Stretching statico
- 4) Stretching statico attivo
- 5) PNF (Proprioceptive Neuromuscular Facilitation)
- 6) CRAC (Contract Relax Antagonist Contract)
- 7) CRS (Contrazione. Rilassamento, stretching)
- 8) Stretching globale attivo

Il concetto alla base dello stretching, molto discusso negli ultimi anni, è basato sul significato preciso della parola stessa. La natura della parola stretching è proprio: to stretch, oppure “allungamento muscolare”. Questo concetto è totalmente sbagliato perché impedisce di capire il ruolo dello stretching, che non comprende soltanto il lato muscolare ma tutte le componenti dell'apparato locomotore [41]. Due degli elementi elencati nel testo appena citato sui benefici provati o probabili [42] è la riduzione di stress fisico, elemento chiave già citato nei paragrafi precedenti per l'insorgenza di tendinopatie e l'aumento della flessibilità e dell'elasticità dei muscoli e dei tendini.

Aspetti negativi dello stretching:

In generale, è ampiamente accettato che migliorare la flessibilità di una combinazione di muscoli e tendini sia vantaggioso per migliorare le performance atletiche e ridurre il rischio di infortuni. Gli esercizi di stretching sono comunemente inclusi nei protocolli di riscaldamento e defaticamento. Tuttavia, nella letteratura scientifica sono stati riportati risultati contraddittori.

[42] ritengono che parte di queste divergenze possa essere spiegata considerando il tipo di sport praticato da un individuo. Gli sport che coinvolgono movimenti rapidi, come il calcio o il football, che richiedono cicli intensi di allungamento e contrazione muscolare (noti come cicli di allungamento-accorciamento), beneficiano da una buona flessibilità muscolotendinea. In questi casi, la capacità di immagazzinare ed erogare energia elastica attraverso una flessibilità adeguata può migliorare le prestazioni.

D'altra parte, quando l'attività sportiva implica movimenti meno intensi o cicli di allungamento-accorciamento limitati, come nel jogging, ciclismo o nuoto, la necessità di una flessibilità muscolotendinea estrema è meno evidente. In queste situazioni, gran parte della forza è generata attraverso il lavoro muscolare attivo (contrattile) che viene direttamente trasmesso al sistema articolare per produrre il movimento. Pertanto, l'utilità dello stretching e l'aumento conseguente della flessibilità potrebbero non avere un impatto significativo sulle prestazioni.

L'importanza delle superfici e dei fattori estrinseci:

Come precedentemente affrontato, le superfici di allenamento rivestono un ruolo cruciale nella prevenzione delle tendinopatie associate all'uso eccessivo. Queste superfici dovrebbero presentare una combinazione equilibrata tra ammortizzazione dell'impatto e stabilità. In altre parole, devono essere in grado di assorbire parte dello stress generato durante l'attività fisica, riducendo l'impatto sulle articolazioni e sui tendini, ma allo stesso tempo garantire una base solida per eseguire i movimenti in modo stabile. La scelta di una superficie inappropriata

può aumentare il rischio di lesioni tendinee, indipendentemente dalla qualità della superficie stessa. Ad esempio [12] una superficie troppo rigida può trasmettere eccessivamente lo stress alle strutture tendinee, mentre una superficie troppo morbida può compromettere la stabilità del corpo durante gli esercizi.

I metodi preventivi più comuni utilizzati per la PT [43] includono lo stretching statico, gli esercizi di stabilità del core, le ortesi plantari, le solette ammortizzanti e la terapia di sostituzione ormonale nelle donne. L'allenamento specifico per il calcio può ridurre la tendinopatia con una relazione dose-effetto tra la durata dell'allenamento e l'incidenza delle lesioni. [44] hanno riportato che gli esercizi eccentrici preventivi e lo stretching dei muscoli degli arti inferiori possono prevenire lo sviluppo di anomalie del tendine. Tuttavia, non è stata riscontrata un'impatto positivo sul rischio di lesioni. Ulteriori ricerche sono raccomandate per quanto riguarda la prevenzione della tendinopatia patellare.

Programma di allenamento per la riabilitazione:

Alcuni elementi fondamentali sono:

- **Esercizi eccentrici:** Gli esercizi eccentrici possono aiutare a rafforzare i tendini e prevenire la tendinopatia. Ad esempio, puoi eseguire squat eccentrici o affondi lenti e controllati.
- **Allenamento di stabilità del core:** Un core forte può contribuire a migliorare la biomeccanica delle gambe e ridurre lo stress sulle articolazioni. Ad esempio, esercizi come il plank, i mountain climber e gli esercizi con la palla medica.
- **Allenamento di flessibilità:** Continua a includere esercizi di stretching dopo l'allenamento per mantenere la flessibilità muscolare e tendinea.

Metodologia dell'allenamento

- **Progressione graduale:** Aumenta gradualmente l'intensità e la durata dell'allenamento nel corso delle settimane. Evita di fare troppo in fretta per evitare sovraccarichi e lesioni.

- **Riposo e recupero:** Assicurati di includere giorni di riposo attivo nella tua routine, permettendo ai muscoli e ai tendini di recuperare. Ad esempio [12], uno studio randomizzato su giocatori di pallavolo agonisti consisteva nel dividere in due gruppi gli atleti. Il gruppo di formazione, affetto da PT che continuavano ad allenarsi e quello di controllo, affetti da PT a riposo. I risultati hanno mostrato che non vi è stato alcun cambiamento nel punteggio VISA durante il periodo di intervento nel gruppo di formazione o di controllo, né vi è stato alcun cambiamento dopo 6 settimane o 6 mesi (periodi prestabiliti di follow-up). Ciò indica che potrebbe non essere possibile combinare la partecipazione sportiva e gli esercizi eccentrici due volte al giorno e che il carico totale sul tendine era troppo elevato, con conseguente aumento del dolore tendineo.

La prevenzione è una strategia a lungo termine. Eseguire regolarmente esercizi di rafforzamento, equilibrio e flessibilità può aiutare a mantenere la salute dei tendini e a ridurre il rischio di PT.

TRATTAMENTO TENDINOPATIA ROTULEA

Obiettivo della riabilitazione:

“L'obiettivo principale della riabilitazione è sviluppare la tolleranza al carico da parte del tendine affrontando inizialmente la riduzione del dolore, riduzione dell'infiammazione, introduzione del carico progressivo, ripristino della forza muscolare e ritorno all'attività sportiva” [43].

Questo capitolo mira a concentrarsi esclusivamente sul trattamento delle condizioni infiammatorie che coinvolgono il tendine rotuleo, escludendo deliberatamente i casi di lacerazione tendinea e altre situazioni specifiche.

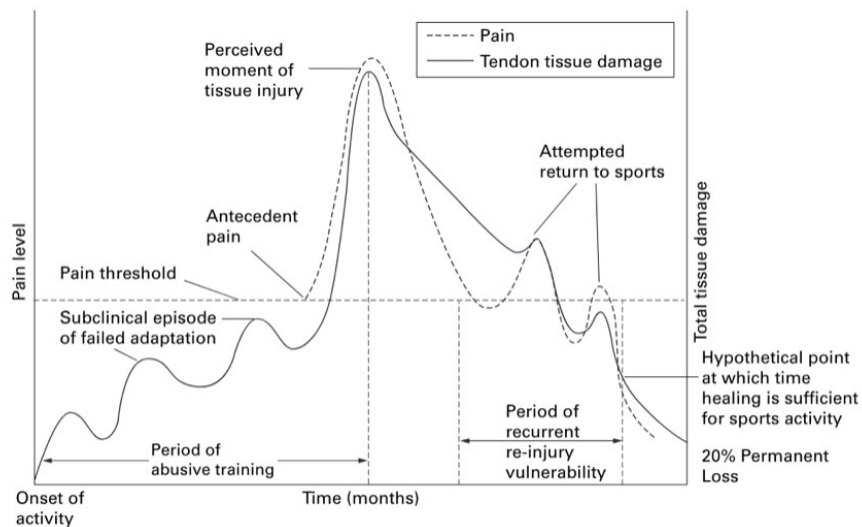


Figure 4 Schematic illustration of pain and tissue damage in overuse tendinopathy. Tendon pathology may begin well before symptoms arise. Therefore recovery may take months, even in patients who present with recent onset of symptoms. Adapted from Leadbetter.²⁰

Fonte immagine: [13]

Prima fase: il riposo

Nella fase acuta dell'infortunio, gli obiettivi immediati di trattamento sono il sollievo dal dolore e la limitazione della formazione di ematomi, del danno ai tessuti molli e della risposta infiammatoria. Il trattamento acuto include riposo, applicazione di ghiaccio durante le prime 72 ore e fasciatura a compressione [45]. La risposta infiammatoria nel tessuto connettivo durante la fase acuta è benefica per la guarigione ma dovrebbe essere limitata da 1 a 3 giorni. Se la fase infiammatoria persiste [12] a causa di un continuo sovraccarico o di cure inappropriate, le successive fasi di riparazione vengono ritardate e possono verificarsi ulteriori danni. L'edema infiammatorio ostacolerà la circolazione, causando cambiamenti ipossici. L'ambiente acido concomitante aumenta la distruzione proteolitica e può estendersi coinvolgendo strutture circostanti [33].

Con un sovraccarico prolungato o ricorrente può verificarsi un tipo di degenerazione tendinea e iperplasia angiofibrotica (abbondante crescita di tessuto fibroso e di vasi sanguigni (angio) in una determinata area del corpo). Durante la

fase acuta del trattamento, è consigliato limitare il carico sul peso e utilizzare le stampelle [40].

L'esercizio eccentrico per la riabilitazione:

L'allenamento eccentrico come opzione terapeutica per la tendinopatia è stato presentato per la prima volta da [33], con risultati incoraggianti. Prima di addentrarci nell'argomento però, è fondamentale fare qualche precisazione. Gli esercizi eccentrici coinvolgono l'allungamento attivo dell'unità muscolo-tendinea (vedi immagine a lato [15]).

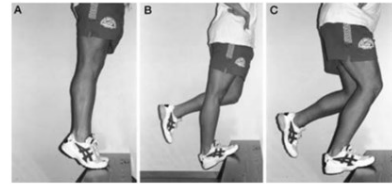


Figure 3. Eccentric loading of the right gastrocnemius muscle and Achilles tendon. From an upright body position and standing with all body weight on the forefoot and the ankle joint in plantar flexion lifted by the noninjured leg (A), the calf muscle is loaded eccentrically by having the patient lower the heel with the knee straight (B) and the knee bent (C). Three sets of 15 repetitions are performed twice per day, 7 days per week for 12 weeks. Image reproduced with permission from Alfredson H, Pietilä T, Jonsson P, Lorentzon R. Heavy-load eccentric calf muscle training for the treatment of chronic Achilles tendinosis. *Am J Sports Med.* 1998;26:360-366.

Significato di eccentrico:

L'allenamento eccentrico coinvolge il controllo attivo di un muscolo mentre si allunga sotto resistenza. In altri termini, si può parlare di un processo di “scarico” di un muscolo o di un tendine che consente un allungo controllato e graduale. L'allenamento eccentrico, al contrario del concentrico, si focalizza sull'allungamento del muscolo durante la contrazione. L'allenamento eccentrico [43] si basa sulla capacità del corpo di assorbire e dissipare energia, il che è particolarmente rilevante nei tendini che agiscono come “ammortizzatori”. Tali esercizi possono aumentare il rimodellamento delle fibre di collagene all'interno del tendine. Ciò porta l'unità muscolotendinea ad adattarsi allo stress derivante dall'attività fisica.

Varianti dello squat:

(vedi immagine a lato [46])

- Squat unilaterale
- Squat bilaterale
- Squat monopodalico con declino
- Squat bipodalico con declino
- Drop squat con eccentrica lenta
- Squat con carico solo su fase eccentrica

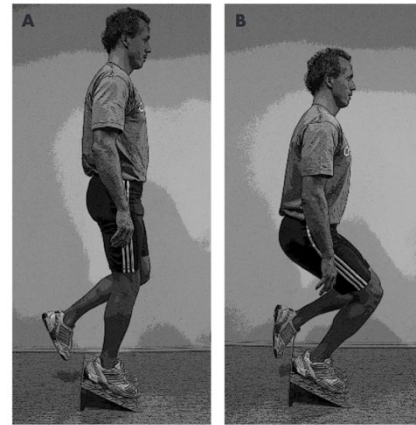


Figure 3 The patellar training programme. (A) Starting position for eccentric training on a 25° decline board with the entire weight on the injured leg. From this position, the knee was slowly flexed to 90°. (B) End position for eccentric training.

Squat su pedana declinata

Studio 1:

Sono state costruite due tavole inclinabili con un angolo regolabile da 0 a 40 gradi [47]. La tavola per la gamba dominante è stata posizionata sulla pedana di forza (Bertec 4060-08, Columbus, Ohio, USA). La cinematica nella vista sagittale è stata registrata tramite un sistema optoelettronico.

Questo studio [47] ha dimostrato chiaramente che eseguire uno squat su una gamba su una tavola inclinata con un angolo superiore a 15 gradi comporta un

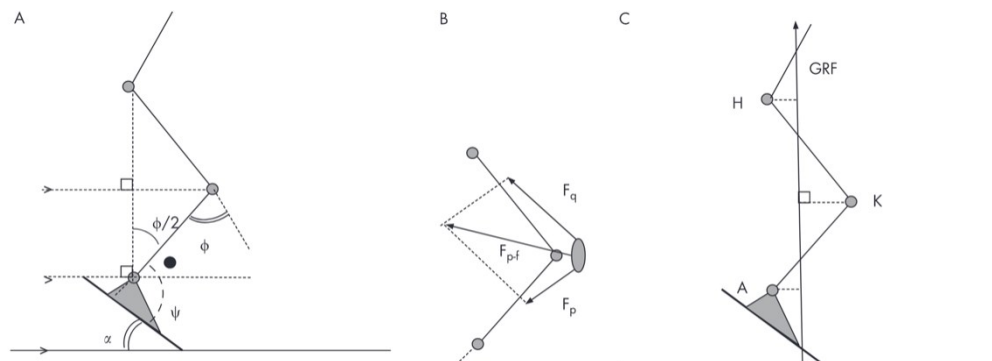


Figure 2 (A) Diagram to show the relationship between decline α , knee joint angle ϕ and ankle angle ψ . Note that $\psi - \alpha = 90^\circ - \phi/2$ (the angle with the dot). (B) Vector diagram to show the relationship between patellar tendon force F_p , quadriceps force F_q and patellofemoral contact force F_{p-f} . The ratio between F_p and F_q , and the angle between them, were obtained from the model of Buff *et al.*¹¹ (C) In a static approximation, the moments of hip (H), knee (K) and ankle (A) equal the ground reaction force (GRF) multiplied by the perpendicular distance from the joint to the GRF (dashed lines).

aumento del 40% del momento al ginocchio e, di conseguenza, della forza

esercitata sul tendine rotuleo, rispetto a quando lo stesso esercizio viene eseguito su una superficie piana. L'effetto sul momento all'anca è trascurabile a tutti gli angoli di inclinazione, mentre il momento alla caviglia è fondamentale e diminuisce all'aumentare dell'inclinazione.

Dal punto di vista meccanico, questi risultati possono essere spiegati nel seguente modo:

Considerando che il vettore della forza di reazione del terreno (GRF) è verticale, i momenti articolari o le forze che influenzano il ginocchio sono direttamente proporzionali alla grandezza della GRF moltiplicata per la distanza orizzontale dall'articolazione al vettore della GRF (figura 2c in alto).

Con angoli di inclinazione maggiori, il ginocchio può essere flesso maggiormente e la GRF viene spostata più lontano dall'articolazione del ginocchio, aumentando quindi il momento estensore del ginocchio. Tutto ciò può essere spiegato dalle caratteristiche della caviglia. Poniamo l'esempio di una superficie ad un angolo di inclinazione di 0 o 5 gradi (superficie piana):

“La caviglia è in una posizione di dorsiflessione estrema, di circa 56 gradi. In questa posizione, il momento passivo della caviglia è significativo, infatti il momento elevato alla caviglia implica una posizione più anteriore del punto di applicazione della GRF, e di conseguenza il momento al ginocchio risulterà inferiore a causa della dorsiflessione estrema. Inoltre, questa posizione è scomoda per il soggetto, il quale può sperimentare una sensazione di tensione nel polpaccio.” [47].

In breve, questo studio suggerisce che l'esecuzione dello squat su una superficie inclinata con angoli di inclinazione superiori a 15 gradi comporta un significativo aumento della forza massima sul tendine rotuleo, principalmente dovuto alla posizione della caviglia. Gli esercizi aggiuntivi con diverse posizioni della gamba controlaterale non hanno mostrato benefici significativi, tranne quando è stato

aggiunto un peso aggiuntivo di 10 kg in uno zaino, che ha portato a un aumento del 23% del momento al ginocchio.

Per prevenire la sindrome della rotula-femorale, raccomandiamo di evitare flessioni del ginocchio superiori a 60 gradi, come citato nel capitolo precedente.

“Angolo di massimo stress sul tendine” [7]

Studio 2:

Un secondo studio [48] ha confrontato due diversi regimi di esercizi eccentrici. Un gruppo ha eseguito esercizi utilizzando una pedana inclinata, mentre l'altro gruppo ha eseguito squat su una superficie piana. In questo studio, ai pazienti è stato chiesto di eseguire gli esercizi lentamente, due volte al giorno senza fare stretching o riscaldamento, e gli esercizi sono stati svolti provocando dolore al tendine. Lo studio ha dimostrato un effetto positivo evidente nel gruppo che ha utilizzato la pedana inclinata rispetto al gruppo che ha fatto gli squat tradizionali. Tuttavia, questo studio è stato limitato da un numero ridotto di pazienti.

Utilizzando lo stesso programma di allenamento eccentrico, nello stesso studio, si è potuto vedere che l'esercizio su superficie declinata ha portato a un miglioramento dei punteggi del dolore, mentre non è stata riscontrata alcuna variazione a breve termine nel gruppo che eseguiva gli squat regolari.

Studio 3:

Uno terzo studio [49] ha supportato miglioramenti maggiori nei giocatori elite di pallavolo con tendinopatia rotulea che hanno eseguito esercizi eccentrici utilizzando una pedana inclinata rispetto a quelli che hanno seguito un protocollo eccentrico tradizionale utilizzando uno scalino piatto da 10 cm.

Studio 4:

Un quarto studio condotto da [50] ha esaminato l'efficacia di due diversi protocolli di riabilitazione eccentrica della durata di 12 settimane, uno con un programma giornaliero di esercizi eccentrici su una pedana inclinata e un altro programma due volte a settimana utilizzando un dispositivo di allenamento con “*sovraccarico eccentrico Bromsman*”, che consiste in un bilanciere sospeso da cavi che può essere mosso verticalmente a una distanza e con una velocità scelte controllate da una macchina idraulica. Entrambi i gruppi hanno mostrato miglioramenti nel dolore e nei punteggi funzionali a 12 settimane, senza differenze tra i gruppi.

Studio 5:

Un quinto studio [46] condotto su giocatori elite di pallavolo che hanno continuato a competere durante il periodo di trattamento non ha riscontrato benefici dagli esercizi eccentrici rispetto a un gruppo di controllo che ha continuato ad allenarsi come al solito, sebbene il gruppo di trattamento eccentrico abbia rispettato solo il 59% del volume di esercizi raccomandato. Nel complesso, la ricerca attuale suggerisce che un programma di esercizi eccentrici con l'uso di una pedana inclinata in genere è stato più efficace rispetto ad altri regimi di allenamento, anche se i risultati sono stati variabili.

Studio 6:

Secondo uno studio intitolato [8] è stata confrontata chirurgia primaria con un programma di EE su una scheda di declino. Dopo 12 mesi si è verificato un miglioramento significativo in entrambi i gruppi senza differenze significative. Questa scoperta può dirci molto sull'efficacia e sul ridotto numero di rischi che comporta l'esercizio eccentrico a confronto con la chirurgia. Le cicatrici, le complicanze chirurgiche e il recupero prolungato sono solo alcune delle considerazioni che ci inducono a valutare se abbia senso sottoporsi a un intervento chirurgico o optare per la via degli esercizi eccentrici. Nel caso sia possibile risolvere la situazione attraverso l'esercizio, questa scelta risulterebbe preferibile.

Studio 7 (extra):

Un altro studio [51] si è concentrato questa volta sull'effetto degli esercizi eccentrici sulla sintesi del collagene (tendine d'Achille). Lo studio ha compreso un totale di 12 individui, di cui 6 in condizioni sane, mentre gli altri 6 mostravano tendinopatia di Achille. Questi partecipanti sono stati impegnati in un regime di esercizi eccentrici per un periodo di 12 settimane. Nei soggetti affetti da tendinopatia, è stato osservato che l'allenamento eccentrico favoriva l'aumento della produzione di collagene. In contrasto, questa reazione è rimasta invariata nei tendini sani. In particolare, si è registrato un incremento del collagene di tipo I nella zona circostante il tendine, il quale rappresenta il tipo predominante di collagene nei tendini sani. È importante notare che questo incremento è avvenuto senza un concomitante aumento del processo di degradazione del collagene. Tali modifiche si sono tradotte in una riduzione dei livelli di sensazione dolorosa.

Proposte per un programma di riabilitazione:

Di seguito viene proposto un mini programma per la riabilitazione da PT ricavato da [43].

Table 3 Eccentric squat programme for patellar tendinopathy. (As used at Allan McGavin Sports Medicine Centre, Vancouver, Canada) (modified from ref 17)

Weekly schedule			Resistance schedule	
Day	Sets	Repeats	Week	Instructions
1	3	8	1	No weight, slow drop
2	3	10	2	No weight, fast drop
3	3	12	3	2 kg each hand, fast drop
4	3	14	4	4 kg each hand, fast drop
5	3	16	5	6 kg each hand, fast drop
6	3	18	6	8 kg each hand, fast drop
7	3	20	After 6 weeks	Do 3x/week @ 8 kg, 3x20 repeats

Confronto tra unilaterale e bilaterale nello squat decliante

Nell'articolo proposto da *Quassim I. Muaidi* intitolato "Rehabilitation of patellar tendinopathy [43]" è stato effettuato uno studio prospettico di 12 settimane [50], sono stati eseguiti degli squat sia bilaterali che unilaterali in condizione di declino,

utilizzando una tavola di declino. I risultati raggiunti hanno riferito che entrambi i metodi erano ugualmente efficaci nella gestione del PT.

Metodologia dell'allenamento per il trattamento della tendinopatia rotulea:

Frequenza:

Esercizi eccentrici [52] mirati all'area interessata, 3 serie da 15 ripetizioni, 1-2 volte al giorno per almeno 12 settimane. Importante provocare dolore moderato durante la terapia senza eccessi. Coinvolgere entrambi gli arti nei diversi tipi di movimenti. Gradualità nell'aumento della velocità degli esercizi. I pazienti dovrebbero essere incoraggiati a riprodurre il dolore ai tendini durante le sessioni di terapia, ma il dolore non dovrebbe essere progressivo o disabilitante. Affrontare le debolezze nella catena cinetica prima di riprendere l'attività sportiva completa. La fase discendente (componente eccentrica) coinvolge la gamba interessata, mentre la fase ascendente coinvolge la gamba asintomatica.

Esecuzione:

Durante le prime 8 settimane [46] del periodo di trattamento ai soggetti non è stato permesso di continuare l'attività sportiva competitiva. Dopo 4 settimane del regime di allenamento eccentrico, potevano integrare con jogging lento su terreno piano, il ciclismo e le attività in acqua, se potevano essere eseguite senza dolore acuto al tendine rotuleo. Solamente dopo le 8 settimane ai pazienti è stato permesso di tornare gradualmente all'attività precedente.

Se entrambe le gambe sono ferite [46] i soggetti devono utilizzare le braccia per assistere durante la fase concentrica e di allenare una gamba alla volta. La componente eccentrica deve impiegare un tempo di 2 secondi, evitando di piegarsi in avanti, mantenendo la schiena il più verticale possibile durante lo squat. Lo squat raggiungeva i 90° di flessione del ginocchio, garantendo che i soggetti superassero i 60° di flessione del ginocchio, l'angolo articolare ritenuto a massimo carico sul tendine rotuleo. Ai soggetti veniva suggerito di esercitarsi nonostante il dolore durante l'allenamento, ma di interrompere se il dolore diventava

invalidante. Si raccomandava loro di avere un valore di dolore compreso tra 4 e 5 su una scala analogica visiva durante le sessioni di allenamento eccentrico (0, nessun dolore e 10, il dolore peggiore mai provato). Il carico veniva aumentato man mano che il dolore diminuiva, aggiungendo peso in uno zaino con incrementi di 5 kg. A coloro con dolore inferiore a 3-4 sulla scala VAS veniva consigliato di aumentare il peso. Ai giocatori con dolore superiore a 6-7 sulla VAS durante gli esercizi veniva suggerito di eseguire l'esercizio con meno peso.

Aumento del carico per la progressione:

Ai soggetti è stato chiesto di aumentare il carico con pesi in uno zaino una volta che l'esercizio poteva essere completato senza dolore. L'aumento del carico non avviene solo con l'aumento di peso durante l'esercizio. Il primo step per l'aumento di carico durante un esercizio, può avvenire con l'accorciamento dei tempi di esecuzione. Diminuendo il tempo nella fase d'interesse, quella eccentrica, si può andare ad aumentare lo stimolo sul tendine senza creare danni [46]

Esercizio concentrico, isometrico e paragoni

Nel contesto della riabilitazione, una delle strategie che ha attirato l'attenzione è l'uso degli esercizi concentrici. Questa metodologia di esercizio coinvolge la contrazione muscolare mentre il muscolo si accorcia, al contrario del metodo eccentrico, più comune.

Significato di concentrico

Quando il muscolo si contrae concentricamente [43], le teste di miosina, le proteine contrattili all'interno delle fibre muscolari, si legano ai siti di legame dell'actina, portando alla formazione di ponti trasversi e alla generazione di forza. Questa contrazione porta all'accorciamento del muscolo e al movimento articolare associato. Dal punto di vista anatomico, l'allenamento concentrico si riferisce all'attività muscolare in cui il muscolo si accorcia mentre genera forza. Questo

movimento è associato alla fase di sollevamento in esercizi come la flessione del ginocchio durante uno squat.

I principali motivi che portano all'utilizzo di questo metodo sono:

- **Aumento del flusso sanguigno:** durante la contrazione concentrica, il flusso sanguigno nel tessuto muscolo tendineo aumenta. Questo può contribuire a una migliore fornitura di nutrienti, ossigeno e fattori di crescita necessari per la riparazione e il recupero del tessuto tendineo
- **Ridurre la pressione sul tendine:** concentrandosi sulla fase di sollevamento del movimento, gli esercizi concentrici possono aiutare a ridurre la pressione e la tensione sul tendine rotuleo

Ecco alcuni esempi di esercizi concentrici che potrebbero essere inclusi nel trattamento della tendinopatia rotulea:

- **Leg Extension Machine:** La fase concentrica coinvolge l'estensione completa delle ginocchia sollevando il peso utilizzando i muscoli quadricipiti.
- **Squat Parziale:** Eseguire squat parziali concentrici concentrandosi sull'estensione delle ginocchia senza raggiungere la profondità completa dell'esercizio. Questo riduce il carico sul tendine rotuleo.
- **Step-Up:** Salire su una piattaforma o gradino utilizzando il muscolo quadricipite per sollevare il corpo. La fase concentrica si verifica durante la salita.
- **Leg Press:** La fase concentrica avviene quando si spinge il peso lontano dalla piattaforma.
- **Affondi:** Eseguire affondi concentrici utilizzando entrambe le gambe o una gamba alla volta, concentrandosi sull'estensione delle ginocchia durante la fase di sollevamento.

Allenamento eccentrico vs allenamento concentrico

L'allenamento eccentrico [4] può avere maggiori probabilità rispetto a quello concentrico di avere un effetto sul sistema nervoso [53], [54] sui meccanismi del dolore o sul muscolo tra le popolazioni cliniche.

Solo uno studio [55] ha indagato sugli esiti biochimici: l'efficacia degli squat eccentrici isolati rispetto all'allenamento resistito lento misto concentrico/eccentrico. Entrambi i regimi di esercizio hanno portato a una riduzione del dolore e a un miglioramento della funzione, ma i cambiamenti biochimici (aumento del contenuto di collagene e riduzione della glicazione) sono stati evidenti solo con l'allenamento resistito lento intenso. Inoltre, l'allenamento resistito lento intenso è stato associato a cambiamenti strutturali. Pertanto, nel complesso, non esistono evidenze solide a supporto dell'idea che il carico eccentrico sia più efficiente dei regimi di carico concentrico o altri regimi per la tendinopatia rotulea.

Allenamento Isometrico

Significato di isometria

L'isometria [43] si riferisce a contrazioni muscolari in cui la lunghezza del muscolo rimane costante, e questo tipo di esercizio è stato ampiamente studiato per il suo potenziale nell'alleviare il dolore e migliorare la funzione nelle condizioni di tendinopatia.

L'obiettivo principale è di attivare i muscoli senza causare movimento articolare, contribuendo così a ridurre il carico meccanico sul tendine affetto. Diversi meccanismi possono spiegare l'efficacia degli esercizi isometrici nel trattamento della tendinopatia rotulea. In primo luogo, gli esercizi isometrici possono ridurre l'eccitabilità dei recettori del dolore nel tessuto tendineo, fornendo un immediato sollievo dal dolore. Inoltre, l'attivazione isometrica dei muscoli circostanti può migliorare la stabilità articolare e ridurre lo stress meccanico sul tendine. Questo approccio può essere particolarmente utile nella fase iniziale di riabilitazione, quando il movimento può essere limitato a causa del dolore.

Vantaggi dell'allenamento isometrico

I principali motivi che portano all'utilizzo di questo metodo sono:

- **Aumento del flusso sanguigno:** precedentemente elencato anche per l'esercizio concentrico. Questo può favorire il processo di guarigione attraverso la fornitura di nutrienti e l'eliminazione dei metaboliti di scarto, contribuendo a mantenere l'integrità strutturale del tessuto.
- **Miglioramento dell'equilibrio:** Dal punto di vista biomeccanico, gli esercizi isometrici possono aiutare a migliorare l'equilibrio muscolare attorno all'articolazione, riducendo le tensioni asimmetriche sul tendine. Inoltre, l'assenza di movimento articolare durante gli esercizi isometrici consente di applicare carichi specifici sui muscoli coinvolti senza sollecitare eccessivamente il tendine.

Gli studi [43] dimostrano che l'esercizio isometrico è un metodo efficace per ridurre il dolore nel PT. Un recente studio [49] ha dimostrato che un esercizio di squat isometrico offerto agli atleti in stagione riduce il dolore in diversi sport e programmi. Si afferma che cinque ripetizioni di esercizi quadricipiti isometrici di 45 secondi su una macchina per l'estensione delle gambe inducono analgesia per diverse ore in pazienti con PT. Tuttavia, è importante personalizzare l'approccio e la selezione degli esercizi in base alle caratteristiche individuali del paziente e alla fase di riabilitazione. Uno squat spagnolo con un angolo di flessione del ginocchio di 70-90 gradi con il supporto di una fascia rigida fissata alla gamba può essere un'alternativa quando l'accesso alle attrezzature da palestra è limitato.

Allenamento isotonic

Significato di isotonic

L'allenamento isotonic è un tipo di esercizio fisico in cui il muscolo si accorcia e si allunga attraverso un'intera gamma di movimento mentre si applica una resistenza costante. In altre parole, durante l'allenamento isotonic, il muscolo si

contrae e si estende mentre si sposta un carico contro una forza di resistenza costante.

Proposte per un programma di riabilitazione:

Un programma di allenamento isotonico lento e intenso della durata di quattro settimane durante la stagione ha portato a un miglioramento del dolore negli atleti con tendinopatia rotulea [56].

Questi esercizi includevano 4 serie da 8 ripetizioni di contrazioni isotoniche singole della gamba su una macchina per l'estensione del ginocchio, estensioni dell'anca e abduzione con macchine per l'anca. La soddisfazione dei pazienti è risultata significativamente maggiore (70%) nel programma di esercizi di resistenza lenta e pesante rispetto al programma di allenamento eccentrico (22%).

Allenamento isometrico vs allenamento isotonico

La distinzione tra contrazione isometrica e contrazione isotonica riguarda semplicemente se vi è un cambiamento nella lunghezza delle fibre o dell'intera lunghezza del muscolo. Uno studio [57] ha esaminato sei giocatori di pallavolo affetti da tendinopatia rotulea tramite single-leg decline squat (SLDS). Lo scopo principale dello studio era confrontare l'efficacia dell'allenamento isometrico con l'allenamento isotonico nel trattamento della tendinopatia. La riduzione del dolore osservata dopo l'esercizio isometrico, secondo lo studio, potrebbe essere dovuta ai cambiamenti corticali osservati dai cambiamenti tissutali, cambiamenti corticali e/o al reclutamento dei pool di neuroni motori.

I risultati hanno dimostrato che una singola sessione di allenamento con contrazioni isometriche ha immediatamente ridotto il dolore al tendine e questo effetto è durato per almeno 45 minuti dopo l'intervento, a differenza delle contrazioni isotoniche dove ciò non è accaduto. Questi risultati sostengono quindi l'ipotesi che l'allenamento isometrico mostri una maggiore efficacia nel fornire effetti analgesici rispetto all'approccio isotonico.

Terapie fisiche e opzioni terapeutiche avanzate

Terapia con onde d'urto extracorporee (ESWT)

Per quanto riguarda la terapia fisica, la terapia con onde d'urto extracorporee (ESWT), generando tensioni elevate nel tendine, può produrre benefici analgesici attraverso la stimolazione della guarigione dei tessuti.

L'ESWT può:

- diminuire la trasmissione dei segnali del dolore al cervello attraverso l'iperstimolazione dell'area dolorante
- supportare la rigenerazione dei tessuti del tendine
- può distruggere la calcificazione dei tessuti.

Corticosteroidi

I glucocorticoidi [30] vengono spesso utilizzati nel trattamento delle lesioni sportive grazie ai loro potenti effetti anti-infiammatori. I glucocorticoidi inibiscono la sintesi del collagene e occasionalmente le iniezioni locali intorno ai tendini rotuleo e d'Achille possono precedere una rottura del tendine

Altri metodi:

Crioterapia:

La crioterapia cerca di ridurre il flusso sanguigno e il gonfiore nella zona dell'infortunio. In effetti, la combinazione di compressione e crioterapia agisce a livello microcircolatorio del corpo principale del tendine, con diminuzione del flusso sanguigno capillare, mantenimento della saturazione di ossigeno profondo nel tendine e facilitazione dell'efflusso venoso capillare. Durante le prime 72 ore di trattamento, il ghiaccio dovrebbe essere applicato per periodi di 20 minuti a intervalli di 1 ora. Questo metodo non è raccomandato prima della competizione o dell'allenamento in quanto potrebbe mascherare il dolore e portare infine a un nuovo infortunio. [43]

Questa terapia [15] può essere parte di un approccio più ampio nella gestione della tendinopatia, associata a esercizi specifici, terapie fisiche e altri interventi.

Tecniche di terapia manuale

Le tecniche di terapia manuale [15] sono comunemente impiegate, le più comuni sono):

- mobilizzazione dei tessuti molli
- massaggio per attrito dei tessuti profondi (DTFM).
- Massaggio trasverso profondo: utile per rompere eventuali aderenze o noduli presenti e migliorare la circolazione nella zona.
- Mobilizzazione della rotula: questa tecnica mira a ridurre l'irritazione del tendine causata da movimenti anomali della rotula

Applicazione di calore:

L'applicazione del calore aumenta la circolazione e favorisce la guarigione, il trattamento di contrasto fornisce una maggiore circolazione così come una diminuzione del gonfiore [45]. L'esercizio in concomitanza con l'uso delle modalità precedentemente descritte, ripristina la gamma di movimento, seguita da un aumento della forza. Durante questa fase sono raccomandati programmi di esercizi che includano un numero elevato di ripetizioni utilizzando un peso ridotto, rappresentando una filosofia di esercizi di resistenza progressiva. Questo tipo di programma di esercizi, produce l'effetto terapeutico di aumentare la circolazione e la guarigione senza causare ulteriori danni alla parte lesa [17], [33], [40]

Taping e tutore

Il taping e il tutore possono ridurre la tensione rotulea correggendo l'angolo tra la rotula e il tendine rotuleo. [43]

Esercizi propriocettivi

Nel programma riabilitativo [15] dovrebbero essere inclusi anche gli esercizi propriocettivi. Coinvolgono l'interazione tra il sistema nervoso, i recettori articolari, i muscoli, i tendini e i legamenti. [45]

Ultrasuoni

Gli ultrasuoni, applicati all'area prima dell'esercizio, possono aiutare a rendere il tessuto più suscettibile al rimodellamento regolando le sue forze di *trazione* [23]. Si ritiene inoltre che abbia profondi effetti riscaldanti che aiutano ad aumentare il flusso sanguigno e ridurre l'infiammazione.

I Fans

I Fans [22] sono un pilastro per la gestione del dolore tendinopatico ma sono utili solo a breve termine (7-14 giorni), ma non vi è alcun beneficio a lungo termine. I corticosteroidi sono stati utilizzati in varie tendinopatie. Rispetto alla terapia fisica, i corticosteroidi migliorano il dolore durante la deambulazione a 4 settimane, ma, mentre a 6 mesi il gruppo di terapia fisica ha avuto buoni risultati, il gruppo di corticosteroidi ha avuto una ricaduta.

Proposte di allenamento:

Proposta 1

1. Stretching statico tenuto per 15-30 secondi e ripetuto 3-5 volte.
2. Esercizio eccentrico, progredire da lento nei giorni 1 e 2, a moderato nei giorni 3-5, a veloce nei giorni 6 e 7. Quindi aumentare la resistenza esterna e ripetere il ciclo. Ripetere per tre serie di ripetizioni.
3. Stretching statico come nel punto 1.
4. Applicare ghiaccio per 5-10 minuti per ridurre gonfiore e dolore. [40]

Proposta 2:

[43]

Fase 1: Modulazione del dolore e gestione del carico:

Le fasi iniziali della riabilitazione dovrebbero concentrarsi sulla gestione del carico e sulla modulazione del dolore, specialmente nel caso degli atleti in stagione. La gestione del carico con l'esercizio isometrico. Tuttavia, è anche importante evitare l'interruzione completa delle attività poiché ciò potrebbe ridurre ulteriormente la capacità di carico del tendine. Ridurre il volume e la frequenza dell'allenamento, rimuovere attività ad alto carico come corsa, salto, ecc. dall'allenamento sono alcuni dei metodi più efficaci per la gestione del carico del tendine. Gli studi dimostrano che l'esercizio isometrico a medio range sostenuto è un metodo efficace per ridurre il dolore nella PT.

Fase 2: Esercizi di rafforzamento e progressione del carico:

Una volta che il paziente può eseguire esercizi isotonici con dolore minimo, possono essere avviati esercizi di resistenza lenta e esercizi eccentrici. Un protocollo di esercizi di resistenza lenta pesante per la PT è stato precedentemente suggerito da [58], consiste in:

“Squat, hack squat e leg press dall'estensione del ginocchio a 90° di flessione del ginocchio. L'allenamento di resistenza lenta pesante può migliorare le proprietà meccaniche del tendine e causare l'ipertrofia del tendine. È consigliabile una progressione graduale degli esercizi. Gli esercizi che coinvolgono un arto singolo possono essere eseguiti man mano che la condizione progredisce. La resistenza aggiuntiva può essere fornita attraverso cinture pesanti, giubbotti o borse con peso.” [58]

Fase 3: Rafforzamento funzionale e ritorno allo sport:

Il rafforzamento funzionale mira principalmente a migliorare i modelli di movimento e le carenze nella sequenza di azioni muscolari, oltre a potenziare la capacità del tendine di sopportare carichi elevati. Una volta ottimizzati questi

aspetti, l'allenamento può evolvere verso attività pliometriche e specifiche per la disciplina sportiva.

Proposta (3)

Il disegno dello studio [59] era uno studio controllato randomizzato con un intervento di 12 settimane di drop squat o esercizi di leg curl/estensione. La valutazione clinica e i test sono stati eseguiti al basale e a 6 e 12 settimane. Ai soggetti non è stato chiesto di astenersi dall'attività sportiva.

Il gruppo squat ha eseguito tre serie da 20 drop squat una volta al giorno cinque giorni alla settimana. I drop squat sono stati eseguiti da soggetti partendo da una posizione eretta e sbloccando rapidamente le ginocchia e abbassandosi fino a quando entrambe le cosce erano appena parallele al suolo. Ai soggetti è stato consigliato di usare i muscoli quadricipiti di entrambe le gambe per fermare la loro caduta appena prima che le cosce fossero parallele al suolo. Lo scopo dei drop squat era ottenere un elevato carico eccentrico. Quando il soggetto è stato in grado di eseguire facilmente tre serie da 20 cadute, è passato al livello successivo di lavoro (vedi tabella sotto).

I soggetti sono stati incoraggiati a ghiacciare i tendini rotulei dopo aver eseguito il programma di drop squat e ad aspettarsi un po' di dolore.

Una volta che il dolore al ginocchio del soggetto era completamente assente, ha iniziato un programma di corsa a giorni alterni iniziando con 1 km di corsa.

Table 1 Protocol used by subjects in the drop squat group

<i>Progression</i>	<i>Hand weights (kg)</i>			<i>Activity level</i>
	<i>Body weight 45–60 kg</i>	<i>Body weight 61–75 kg</i>	<i>Body weight 76–90 kg</i>	
Start	0	0	0	Modified rest
Level 1	2.3	2.3	4.5	Jogging—alternate days
Level 2	4.5	4.5	4.5	Half speed
Level 3	6.8	9.1	14	Three quarter speed
Level 4	9.1	14	18	Full speed daily running

CONCLUSIONE

In conclusione, la gestione della tendinopatia rotulea rimane un argomento in evoluzione e controverso nonostante le molte opzioni terapeutiche disponibili. La gestione conservativa, che include la gestione del dolore, il controllo del carico, la progressione graduale e il rafforzamento funzionale, è la preferita, con l'obiettivo di sviluppare la tolleranza al carico del tendine attraverso una serie di fasi. Gli esercizi eccentrici sono stati dimostrati efficaci, ma ci sono ancora molte domande irrisolte. La velocità dei movimenti eccentrici, il carico ideale, le ripetizioni, la frequenza e la durata del trattamento richiedono ulteriori ricerche. Inoltre, per comprendere appieno gli effetti positivi degli esercizi eccentrici nella tendinopatia rotulea, è necessario condurre ulteriori ricerche che esaminino i meccanismi sottostanti, compresi gli effetti sull'istologia, la struttura e la funzione del tendine. La gestione ottimale di questa condizione richiederà un approccio basato su evidenze sempre più solide e una migliore comprensione dei fattori che influenzano il successo del trattamento.

CONSIDERAZIONI PERSONALI

In questo ultimo capitolo di tesi, desidero esprimere una mia idea sull'argomento appena trattato. Ho iniziato questo percorso di stesura della tesi dopo una chiamata avvenuta prima dell'estate con il Professor Franchi, il quale avevo chiesto se si potesse trovare un argomento che potesse allinearsi con le mie passioni e interessi. L'oggetto della mia tesi è in perfetta sintonia con ciò che ha sempre catturato la mia attenzione, anche grazie alle esperienze passate come atleta: il Return to Play (RTP). Questo mondo mi affascina profondamente, poiché credo che sia di grande importanza per consentire a coloro che hanno sperimentato infortuni nel contesto sportivo di ritornare alle proprie amate passioni. La mia stessa esperienza passata con infortuni nello sport ha rafforzato questa convinzione.

Per quanto riguarda la tendinopatia rotulea, anche se non ho mai personalmente affrontato questa patologia, mi sento in grado di esprimere un'opinione su quale dei programmi di recupero possa essere, secondo la mia percezione, il metodo migliore. Per garantire un recupero ottimale da questa particolare forma di tendinopatia, ritengo che sia essenziale evitare un approccio monodimensionale. Invece, sarebbe preferibile adottare una strategia che combini efficacemente l'allenamento isometrico ed eccentrico con superficie declinata. Come evidenziato nel paragrafo relativo allo squat inclinato proposto nello studio (1), l'angolazione della superficie su cui eseguo lo squat, sia in modalità monopodalica che bipodalica, riveste un ruolo fondamentale nella biomeccanica delle forze, come discusso in precedenza. Per come la penso io, come esiste una progressione del carico che dev'essere personalizzata a seconda della risposta del soggetto, proporrei di eseguire inizialmente gli esercizi su tavoletta prima in condizioni di staticità bipodalica, così da eseguire degli squat a circuito chiuso che mi permettono di controllare correttamente la fase di discesa, con il supporto dell'arto controlaterale sano. Come visto anche a lezione con la Prof. Dalle Palle, ritengo essenziale un approccio funzionale all'esercizio, che mi permetta di soddisfare le richieste di controllo motorio e il "principio di azione funzione". Per spiegare in modo più chiaro questi due concetti chiave, il controllo motorio nell'allenamento funzionale si riferisce alla capacità di gestire e coordinare i movimenti del corpo

durante gli esercizi, concentrandosi sulla coordinazione, sulle condizioni dinamiche simili alla vita di tutti i giorni e sull'uso di esercizi che non richiedono macchine che limitino il movimento. Il principio di azione funzione si focalizza, come dice la parola, non solo sull'**azione** di un muscolo ma anche sulla sua **funzione**, elemento molto spesso trascurato. All'interno di questo termine, rientrano una serie di attivazioni miofasciali, elastiche, neurali e muscolari che rendono completa e totale l'espressione neuro motoria della catena cinematica stessa.

Come detto in precedenza quindi, non esiste un metodo monodimensionale per il trattamento di questa patologia, la combinazione di più metodi è la chiave per un recupero ottimale e funzionale.

RINGRAZIAMENTI:

Per concludere questo elaborato, desidero esprimere la mia profonda gratitudine nei confronti di alcune persone che ritengo fondamentali per il suo successo. Innanzitutto, desidero ringraziare il mio relatore, il Professore Martino Franchi. Le sue lezioni in classe sono ancora vivide nella mia memoria, ma ciò che ricordo ancor di più sono le parole che ha dedicato a ciascuno di noi. Queste parole sono rimaste con me nel tempo e continuano a ispirarmi. Ringrazio la mia famiglia, i miei genitori, Alessandro e Monica, per aver reso possibile tutto questo; mio fratello Tommaso, che è riuscito, nonostante fossimo stati sempre molto diversi, a ispirarmi nel mio percorso. Ha sempre trovato le parole giuste e ha dispensato preziosi consigli nei momenti in cui ne avevo bisogno. Ringrazio gli amici di Villotta, compagni di squadra, colleghi di università e tutte le persone nuove che ho potuto conoscere nella mia permanenza di 3 anni a Padova, poiché la loro presenza accanto a me ha reso il mio percorso significativamente più leggero e appagante. Ultimo, ma assolutamente non meno importante, desidero esprimere la mia sincera gratitudine a mio nonno Bruno. Fin dalla mia infanzia, con la sua straordinaria semplicità, è stato capace di creare per me preziosi momenti di tranquillità e introspezione, spazi che talvolta mi sfuggono nella vita quotidiana. Grazie infinite a tutti voi.

BIBLIOGRAFIA

- [1] H. L. Birch, «Tendon matrix composition and turnover in relation to functional requirements: *Tendon matrix composition and turnover*», *Int. J. Exp. Pathol.*, vol. 88, fasc. 4, pp. 241–248, ago. 2007, doi: 10.1111/j.1365-2613.2007.00552.x.
- [2] S. Fukashiro, D. C. Hay, e A. Nagano, «Biomechanical Behavior of Muscle-Tendon Complex during Dynamic Human Movements», *J. Appl. Biomech.*, vol. 22, fasc. 2, pp. 131–147, mag. 2006, doi: 10.1123/jab.22.2.131.
- [3] Ø. Lian, K. J. Holen, L. Engebretsen, e R. Bahr, «Relationship between symptoms of jumper's knee and the ultrasound characteristics of the patellar tendon among high level male volleyball players», *Scand. J. Med. Sci. Sports*, vol. 6, fasc. 5, pp. 291–296, feb. 2008, doi: 10.1111/j.1600-0838.1996.tb00473.x.
- [4] P. Malliaras e J. Cook, «Patellar Tendons with Normal Imaging and Pain: Change in Imaging and Pain Status over a Volleyball Season», *Clin. J. Sport Med.*, vol. 16, fasc. 5, pp. 388–391, set. 2006, doi: 10.1097/01.jsm.0000244603.75869.af.
- [5] P. Malliaras *et al.*, «Patellar tendon adaptation in relation to load-intensity and contraction type», *J. Biomech.*, vol. 46, fasc. 11, pp. 1893–1899, lug. 2013, doi: 10.1016/j.jbiomech.2013.04.022.
- [6] F. Rosso, D. E. Bonasia, U. Cottino, F. Dettoni, M. Bruzzone, e R. Rossi, «Patellar tendon: From tendinopathy to rupture», *Asia-Pac. J. Sports Med. Arthrosc. Rehabil. Technol.*, vol. 2, fasc. 4, pp. 99–107, ott. 2015, doi: 10.1016/j.asmart.2015.07.001.
- [7] M. Lavagnino, S. P. Arnoczky, N. Elvin, e J. Dodds, «Patellar Tendon Strain is Increased at the Site of the Jumper's Knee Lesion during Knee Flexion and Tendon Loading: Results and Cadaveric Testing of a Computational Model», *Am. J. Sports Med.*, vol. 36, fasc. 11, pp. 2110–2118, nov. 2008, doi: 10.1177/0363546508322496.
- [8] R. Aicale, A. Oliviero, e N. Maffulli, «Management of Achilles and patellar tendinopathy: what we know, what we can do», *J. Foot Ankle Res.*, vol. 13, fasc. 1, p. 59, dic. 2020, doi: 10.1186/s13047-020-00418-8.
- [9] B. T. Haraldsson, P. Aagaard, M. Krogsgaard, T. Alkjaer, M. Kjaer, e S. P. Magnusson, «Region-specific mechanical properties of the human patella tendon», *J. Appl. Physiol.*, vol. 98, fasc. 3, pp. 1006–1012, mar. 2005, doi: 10.1152/jappphysiol.00482.2004.
- [10] O. Basso, A. A. Amis, A. Race, e D. P. Johnson, «Patellar Tendon Fiber Strains: Their Differential Responses to Quadriceps Tension», *Clin. Orthop.*, vol. 400, pp. 246–253, lug. 2002, doi: 10.1097/00003086-200207000-00030.
- [11] A. Tadros, B. Huang, e M. Pathria, «Muscle-Tendon-Enthesis Unit», *Semin. Musculoskelet. Radiol.*, vol. 22, fasc. 03, pp. 263–274, lug. 2018, doi: 10.1055/s-0038-1641570.
- [12] G. P. Hess, W. L. Cappelletto, R. M. Poole, e S. C. Hunter, «Prevention and Treatment of Overuse Tendon Injuries», *Sports Med.*, vol. 8, fasc. 6, pp. 371–384, dic. 1989, doi: 10.2165/00007256-198908060-00005.
- [13] K. M. Khan, N. Maffulli, B. D. Coleman, J. L. Cook, e J. E. Taunton, «Patellar tendinopathy: some aspects of basic science and clinical management»,

- Br. J. Sports Med.*, vol. 32, fasc. 4, pp. 346–355, dic. 1998, doi: 10.1136/bjism.32.4.346.
- [14] J. L. Cook, K. M. Khan, P. R. Harcourt, M. Grant, D. A. Young, e S. F. Bonar, «A cross sectional study of 100 athletes with jumper's knee managed conservatively and surgically. The Victorian Institute of Sport Tendon Study Group.», *Br. J. Sports Med.*, vol. 31, fasc. 4, pp. 332–336, dic. 1997, doi: 10.1136/bjism.31.4.332.
- [15] J. D. Rees, N. Maffulli, e J. Cook, «Management of Tendinopathy», *Am. J. Sports Med.*, vol. 37, fasc. 9, pp. 1855–1867, set. 2009, doi: 10.1177/0363546508324283.
- [16] S. L. James, B. T. Bates, e L. R. Osternig, «Injuries to runners», *Am. J. Sports Med.*, vol. 6, fasc. 2, pp. 40–50, mar. 1978, doi: 10.1177/036354657800600202.
- [17] D. B. Clement, J. E. Taunton, G. W. Smart, e K. L. McNicol, «A Survey of Overuse Running Injuries», *Phys. Sportsmed.*, vol. 9, fasc. 5, pp. 47–58, mag. 1981, doi: 10.1080/00913847.1981.11711077.
- [18] W. G. Clancy, «Tendinitis and Plantar Fasciitis in Runners», *Orthopedics*, vol. 6, fasc. 2, pp. 217–233, feb. 1983, doi: 10.3928/0147-7447-19830201-12.
- [19] S. I. Subotnick, «Foot Orthoses: An Update», *Phys. Sportsmed.*, vol. 11, fasc. 8, pp. 103–109, ago. 1983, doi: 10.1080/00913847.1983.11708607.
- [20] R. D. D'Ambrosia, «Orthotic devices in running injuries», *Clin. Sports Med.*, vol. 4, fasc. 4, pp. 611–618, ott. 1985.
- [21] B. Kozar e R. M. Lord, «Overuse Injury in the Young Athlete: Reasons for Concern», *Phys. Sportsmed.*, vol. 11, fasc. 7, pp. 116–122, lug. 1983, doi: 10.1080/00913847.1983.11708588.
- [22] N. Maffulli, F. Oliva, M. Loppini, R. Aicale, F. Spiezia, e J. B. King, «The Royal London Hospital Test for the clinical diagnosis of patellar tendinopathy», *Muscle Ligaments Tendons J.*, vol. 07, fasc. 02, p. 315, gen. 2019, doi: 10.32098/mltj.02.2017.14.
- [23] P. Renström e R. J. Johnson, «Overuse Injuries in Sports A Review», *Sports Med.*, vol. 2, fasc. 5, pp. 316–333, 1985, doi: 10.2165/00007256-198502050-00002.
- [24] L. Perugia, F. Postacchini, e E. Ippolito, *The tendons: biology, pathology, clinical aspects*. Milano: Editrice Kurtis, 1986.
- [25] D. B. Clement, J. E. Taunton, e G. W. Smart, «Achilles tendinitis and peritendinitis: Etiology and treatment», *Am. J. Sports Med.*, vol. 12, fasc. 3, pp. 179–184, mag. 1984, doi: 10.1177/036354658401200301.
- [26] C. A. Noble, «Iliotibial band friction syndrome in runners», *Am. J. Sports Med.*, vol. 8, fasc. 4, pp. 232–234, lug. 1980, doi: 10.1177/036354658000800403.
- [27] J. V. Ciullo e B. Zarins, «Biomechanics of the musculotendinous unit: relation to athletic performance and injury», *Clin. Sports Med.*, vol. 2, fasc. 1, pp. 71–86, mar. 1983.
- [28] S. P. Arnoczky, M. Lavagnino, J. H. Whallon, e A. Hoonjan, «In situ cell nucleus deformation in tendons under tensile load; a morphological analysis using confocal laser microscopy», *J. Orthop. Res.*, vol. 20, fasc. 1, pp. 29–35, gen. 2002, doi: 10.1016/S0736-0266(01)00080-8.
- [29] M. E. Samuels e P. M. Campeau, «Genetics of the patella», *Eur. J. Hum. Genet.*, vol. 27, fasc. 5, pp. 671–680, mag. 2019, doi: 10.1038/s41431-018-0329-

6.

- [30] D. T. Kirkendall e W. E. Garrett, «Function and biomechanics of tendons», *Scand. J. Med. Sci. Sports*, vol. 7, fasc. 2, pp. 62–66, gen. 2007, doi: 10.1111/j.1600-0838.1997.tb00120.x.
- [31] J. Zhang e J. H.-C. Wang, «The Effects of Mechanical Loading on Tendons - An In Vivo and In Vitro Model Study», *PLoS ONE*, vol. 8, fasc. 8, p. e71740, ago. 2013, doi: 10.1371/journal.pone.0071740.
- [32] F. S. Passini *et al.*, «Shear-stress sensing by PIEZO1 regulates tendon stiffness in rodents and influences jumping performance in humans», *Nat. Biomed. Eng.*, vol. 5, fasc. 12, pp. 1457–1471, mag. 2021, doi: 10.1038/s41551-021-00716-x.
- [33] W. D. Stanish, S. Curwin, e M. Rubinovich, «Tendinitis: the analysis and treatment for running», *Clin. Sports Med.*, vol. 4, fasc. 4, pp. 593–609, ott. 1985.
- [34] K. M. M. E. Lima, J. F. S. Costa Júnior, W. C. D. A. Pereira, e L. F. D. Oliveira, «Assessment of the mechanical properties of the muscle-tendon unit by supersonic shear wave imaging elastography: a review», *Ultrasonography*, vol. 37, fasc. 1, pp. 3–15, gen. 2018, doi: 10.14366/usg.17017.
- [35] A. D'Addona, N. Maffulli, S. Formisano, e D. Rosa, «Inflammation in tendinopathy», *The Surgeon*, vol. 15, fasc. 5, pp. 297–302, ott. 2017, doi: 10.1016/j.surge.2017.04.004.
- [36] M. Abate *et al.*, «Pathogenesis of tendinopathies: inflammation or degeneration?», *Arthritis Res. Ther.*, vol. 11, fasc. 3, p. 235, 2009, doi: 10.1186/ar2723.
- [37] G. N. Bisciotti, *I tendini. Vol. 1, Anatomia ed aspetti generali*. Ferriera di Torgiano: Calzetti Mariucci, 2013.
- [38] B. Anderson, *Stretching*. Bolinas, Calif. : [New York]: Shelter Publications ; distributed in the US by Random House, 1980.
- [39] A. Dirix, A c. di, *The Olympic book of sports medicine*. in Encyclopaedia of sports medicine, no. 1. Oxford: Blackwell Scientific, 1988.
- [40] R. Sandmeier e P. A. F. H. Renström, «Diagnosis and treatment of chronic tendon disorders in sports», *Scand. J. Med. Sci. Sports*, vol. 7, fasc. 2, pp. 96–106, gen. 2007, doi: 10.1111/j.1600-0838.1997.tb00125.x.
- [41] A. Paoli, M. Neri, e A. Bianco, *Principi di metodologia del fitness*, 4. ed. Cesena (FC): Erika, 2016.
- [42] E. Witvrouw, N. Mahieu, L. Danneels, e P. McNair, «Stretching and Injury Prevention: An Obscure Relationship», *Sports Med.*, vol. 34, fasc. 7, pp. 443–449, 2004, doi: 10.2165/00007256-200434070-00003.
- [43] Q. I. Muaidi, «Rehabilitation of patellar tendinopathy», *J. Musculoskelet. Neuronal Interact.*, vol. 20, fasc. 4, pp. 535–540, dic. 2020.
- [44] U. Fredberg, L. Bolvig, e N. T. Andersen, «Prophylactic Training in Asymptomatic Soccer Players with Ultrasonographic Abnormalities in Achilles and Patellar Tendons: The Danish Super League Study», *Am. J. Sports Med.*, vol. 36, fasc. 3, pp. 451–460, mar. 2008, doi: 10.1177/0363546507310073.
- [45] S. C. Hunter e R. M. Poole, «The chronically inflamed tendon», *Clin. Sports Med.*, vol. 6, fasc. 2, pp. 371–388, apr. 1987.
- [46] H. Visnes e R. Bahr, «The evolution of eccentric training as treatment for patellar tendinopathy (jumper's knee): a critical review of exercise programmes», *Br. J. Sports Med.*, vol. 41, fasc. 4, pp. 217–223, feb. 2007, doi:

10.1136/bjism.2006.032417.

- [47] J. Zwerver, S. W. Bredeweg, A. L. Hof, e C. Purdam, «Biomechanical analysis of the single-leg decline squat * COMMENTARY», *Br. J. Sports Med.*, vol. 41, fasc. 4, pp. 264–268, feb. 2007, doi: 10.1136/bjism.2006.032482.
- [48] C. R. Purdam, P. Jonsson, H. Alfredson, R. Lorentzon, J. L. Cook, e K. M. Khan, «A pilot study of the eccentric decline squat in the management of painful chronic patellar tendinopathy», *Br. J. Sports Med.*, vol. 38, fasc. 4, pp. 395–397, ago. 2004, doi: 10.1136/bjism.2003.000053.
- [49] M. A. Young, J. L. Cook, C. R. Purdam, Z. S. Kiss, e H. Alfredson, «Eccentric decline squat protocol offers superior results at 12 months compared with traditional eccentric protocol for patellar tendinopathy in volleyball players», *Br. J. Sports Med.*, vol. 39, fasc. 2, pp. 102–105, feb. 2005, doi: 10.1136/bjism.2003.010587.
- [50] A. Frohm, T. Saartok, K. Halvorsen, e P. Renstrom, «Eccentric treatment for patellar tendinopathy: a prospective randomised short-term pilot study of two rehabilitation protocols», *Br. J. Sports Med.*, vol. 41, fasc. 7, pp. e7–e7, gen. 2007, doi: 10.1136/bjism.2006.032599.
- [51] H. Langberg *et al.*, «Eccentric rehabilitation exercise increases peritendinous type I collagen synthesis in humans with Achilles tendinosis», *Scand. J. Med. Sci. Sports*, vol. 0, fasc. 0, pp. 061120070736030-???, giu. 2006, doi: 10.1111/j.1600-0838.2006.00522.x.
- [52] A. Meyer, S. Tumilty, e G. D. Baxter, «Eccentric exercise protocols for chronic non-insertional Achilles tendinopathy: how much is enough?», *Scand. J. Med. Sci. Sports*, vol. 19, fasc. 5, pp. 609–615, ott. 2009, doi: 10.1111/j.1600-0838.2009.00981.x.
- [53] Y. Fang, V. Siemionow, V. Sahgal, F. Xiong, e G. H. Yue, «Greater Movement-Related Cortical Potential During Human Eccentric Versus Concentric Muscle Contractions», *J. Neurophysiol.*, vol. 86, fasc. 4, pp. 1764–1772, ott. 2001, doi: 10.1152/jn.2001.86.4.1764.
- [54] T. Hortobágyi *et al.*, «Greater initial adaptations to submaximal muscle lengthening than maximal shortening», *J. Appl. Physiol.*, vol. 81, fasc. 4, pp. 1677–1682, ott. 1996, doi: 10.1152/jappl.1996.81.4.1677.
- [55] C. Couppé, R. B. Svensson, K. G. Silbernagel, H. Langberg, e S. P. Magnusson, «Eccentric or Concentric Exercises for the Treatment of Tendinopathies?», *J. Orthop. Sports Phys. Ther.*, vol. 45, fasc. 11, pp. 853–863, nov. 2015, doi: 10.2519/jospt.2015.5910.
- [56] M. Van Ark *et al.*, «Do isometric and isotonic exercise programs reduce pain in athletes with patellar tendinopathy in-season? A randomised clinical trial», *J. Sci. Med. Sport*, vol. 19, fasc. 9, pp. 702–706, set. 2016, doi: 10.1016/j.jsams.2015.11.006.
- [57] E. Rio, C. Purdam, M. Girdwood, e J. Cook, «Isometric Exercise to Reduce Pain in Patellar Tendinopathy In-Season: Is It Effective “on the Road”?», *Clin. J. Sport Med.*, vol. 29, fasc. 3, pp. 188–192, mag. 2019, doi: 10.1097/JSM.0000000000000549.
- [58] M. Kongsgaard *et al.*, «Corticosteroid injections, eccentric decline squat training and heavy slow resistance training in patellar tendinopathy», *Scand. J. Med. Sci. Sports*, vol. 19, fasc. 6, pp. 790–802, dic. 2009, doi: 10.1111/j.1600-0838.2009.00949.x.

[59] L. J. Cannell, «A randomised clinical trial of the efficacy of drop squats or leg extension/leg curl exercises to treat clinically diagnosed jumper's knee in athletes: pilot study», *Br. J. Sports Med.*, vol. 35, fasc. 1, pp. 60–64, feb. 2001, doi: 10.1136/bjism.35.1.60.