

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Scienze Biomediche

Corso di Laurea Triennale in Scienze Motorie

Tesi di Laurea

Il ruolo del tessuto miofasciale nei D.O.M.S,
revisione della letteratura.

Relatore

Prof.ssa Carla Stecco

Laureando

Paolo Zampieri

Matricola: 1193003

Anno accademico 2021-2022

INDICE

Introduzione	pag. 1
Capitolo 1 Modi e metodi	pag. 3
Capitolo 2 Il tessuto connettivo	pag. 4
2.1 La funzione del tessuto connettivo	pag. 4
2.2 Le fibre del tessuto connettivo	pag. 5
2.3 La sostanza fondamentale amorfa	pag. 6
2.4 Il tessuto connettivo propriamente detto	pag. 6
2.5 Le componenti del tessuto connettivo intra ed extra muscolare	pag. 7
2.6 La fascia: struttura e funzioni	pag. 8
Capitolo 3 I DOMS	pag. 11
3.1 I DOMS: cosa sono?	pag. 11
3.2 Modelli patogenetici	pag. 12
Capitolo 4 Possibile coinvolgimento del tessuto connettivo	pag. 20
4.1 Danno strutturale: anatomia della fascia	pag. 20
4.2 Proprietà sensoriali della fascia	pag. 21
4.3 Possibili relazioni con i DOMS	pag. 23
4.4: Ricerche correlate	pag. 23
4.5: Implicazioni pratiche	pag. 25
Capitolo 5 Metodi per recupero dei DOMS	pag. 27
5.1 gli effetti del rilascio miofasciale nei DOMS	pag. 28
Capitolo 6: Conclusioni	pag. 30
Bibliografia	pag. 31

INTRODUZIONE

Questo trattato nasce da uno specifico interesse sui metodi e ricerche maggiormente accreditati sulla prevenzione e sul recupero dei DOMS (*delayed onset muscle soreness*).

In particolare, ho preso in esame un recente ambito della ricerca correlata ai DOMS, ovvero quella relativa al coinvolgimento della fascia profonda e del tessuto connettivo intramuscolare.

Ho voluto approfondire cioè se le tecniche di trattamento del tessuto miofasciale possano influenzare lo sviluppo ed il recupero di dolori a lunga insorgenza.

Le teorie fino ad ora accreditate (lattato muscolare, danno del sarcomero, processi infiammatori e radicali liberi) non sono in grado di spiegare in modo completo la formazione dei DOMS e gli aspetti fisiologici legati a questo fenomeno. Questa tesi prende in analisi alcune recenti ricerche scientifiche che hanno approfondito un ruolo ancora poco conosciuto del tessuto connettivo e del tessuto miofasciale in relazione alle dinamiche del tessuto muscolare.

CAPITOLO 1: Modi e metodi

Il materiale per sviluppare la tesi è stato cercato sulla piattaforma PubMed, inserendo le parole chiave: “Techniques to reduce muscle damage”, “DOMS and connective tissue”, “DOMS treatment” e “DOMS theories”. I risultati ottenuti da tale ricerca sono:

- Techniques to reduce muscle damage: 853 articoli
- DOMS treatment: 532 articoli
- DOMS and connective tissue: 30 articoli
- DOMS theories: 17 articoli

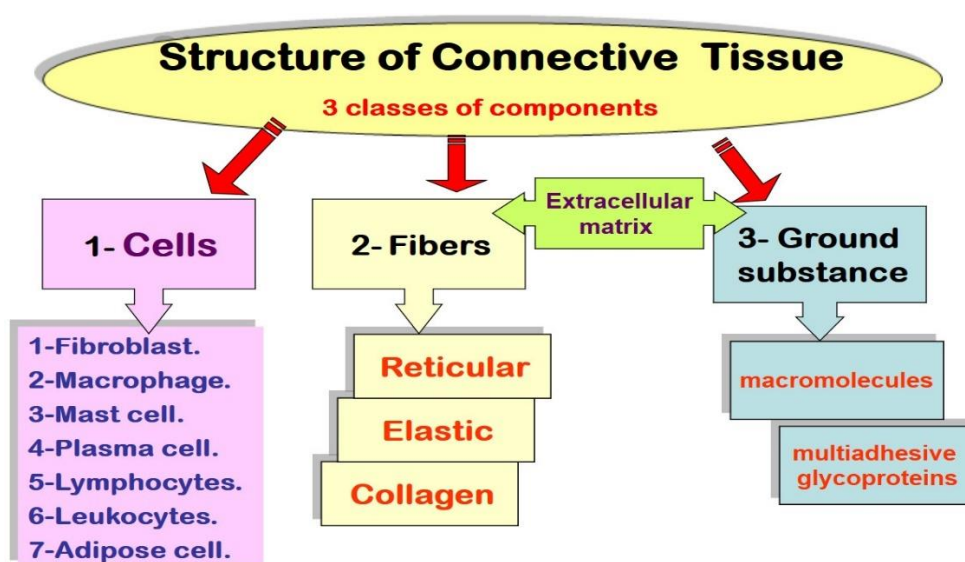
Di questi risultati sono stati approfonditi 30 articoli.

CAPITOLO 2: Il tessuto connettivo

2.1 La funzione del tessuto connettivo

Il tessuto connettivo ha una funzione, come suggerisce il nome, di connettere funzionalmente e strutturalmente tessuti con funzioni differenti e organi.

Una caratteristica che accumuna i vari tipi di tessuto connettivo è la abbondante matrice intercellulare che divide le cellule e che, in base alla tipologia di macromolecole (fibre elastiche, fibre collagene etc) che la compongono, ne caratterizzano struttura e funzione.



Cellule, fibre e matrice amorfa, nelle loro diverse composizioni, danno origine a una varietà di specifici tessuti fra loro molto diversi, che compongono ossa, cartilagini, sangue, tessuti emopoietici e tessuto connettivo propriamente detto.

A sua volta il TCPD, che andremo a trattare maggiormente in questa tesi, si divide in:

- tessuto connettivo lasso (o areolare)
- tessuto connettivo reticolare.
- tessuto connettivo elastico.
- tessuto connettivo denso (o compatto)

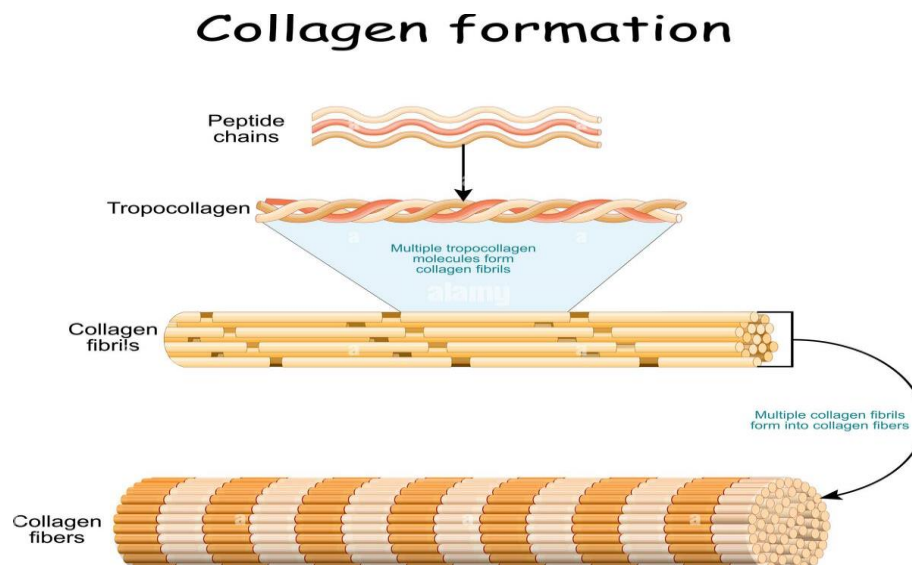
2.2 Le fibre del tessuto connettivo

Le fibre che compongono il tessuto connettivo sono principalmente di tre tipi:

1. collagene
2. reticolare
3. elastiche

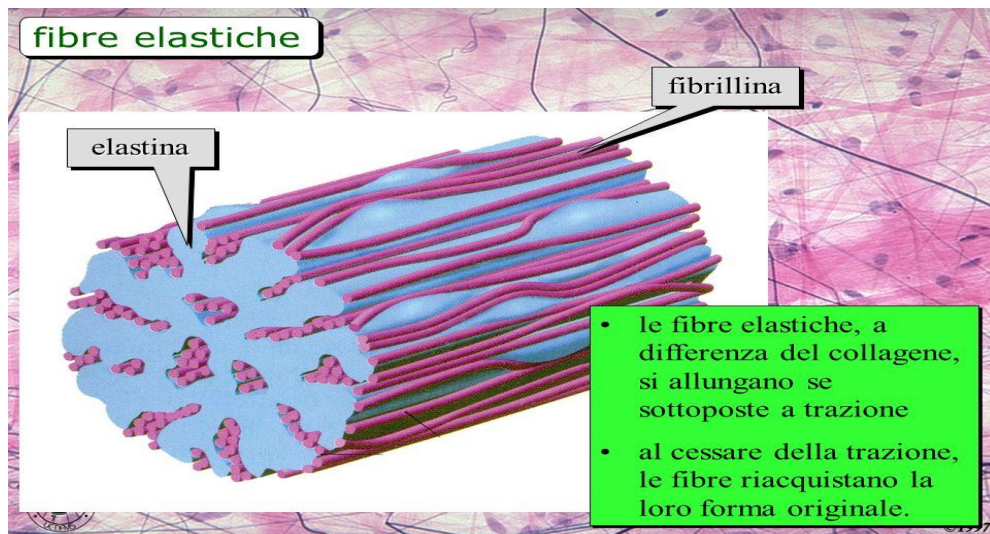
Le fibre collagene e le fibre reticolari sono costituite entrambe da molecole di tropocollagene, una glicoproteina a tripla elica, ma differiscono per la differente organizzazione molecolare; le fibre elastiche invece sono costituite da due catene proteiche differenti: fibrillina ed elastina. Le fibre di collagene rappresentano un quarto delle proteine dell'organismo, il che corrisponde approssimativamente al 6% del peso totale del corpo.

Esistono numerosi tipi di collagene e diverse proteine che hanno struttura polipeptidica largamente assimilabile al collagene.



La prevalenza di uno specifico tipo di fibre caratterizza quindi la proprietà del tessuto.

Una ricca presenza di fibre collagene, ad esempio, conferisce al tessuto una certa resistenza meccanica, mentre le fibre elastiche danno origine a tessuti che recuperano facilmente le dimensioni originali, quando sottoposte a trazione. Le fibre reticolari, diversamente, hanno una funzione strutturale, sono organizzate cioè in maglie reticolate, spesso localizzate negli spazi pericellulari o nella membrana basale.



2.3 La sostanza fondamentale amorfa

Le fibre e le cellule dei tessuti connettivi sono immerse nella sostanza intercellulare amorfa, costituita da un gel ricco di proteoglicani e glicoproteine. Nel tessuto connettivo propriamente detto queste molecole sono sintetizzate dai fibroblasti.

La sostanza amorfa ha la capacità di trattenere molta acqua, acquisendo una certa viscosità. La matrice amorfa e i liquidi sono dunque associati e costituiscono la base della funzione trofica del tessuto connettivo lasso. La maggior parte dei liquidi extracellulari è legata ai componenti macromolecolari e si accumula nel caso di edema e infiammazioni.

2.4 Tessuto connettivo propriamente detto

Il T.C.P.D è dunque ulteriormente classificabile in base ai principali componenti costitutivi. In presenza di numero maggiore di fibre collagene avremo un tessuto connettivo denso o compatto, con funzioni principalmente meccaniche e presente nei tessuti tendinei, legamentosi e nel derma.

Il tessuto connettivo lasso invece è caratterizzato dalla presenza di numerose cellule con tipologia variabile e da sostanza amorfa povera di fibre e non particolarmente densa.

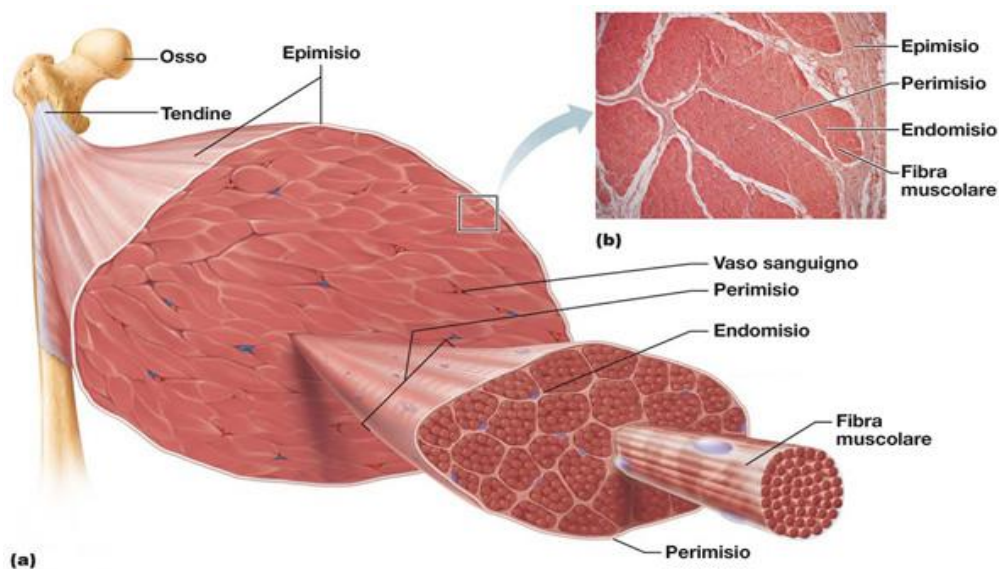
Il tessuto connettivo deve avere anche una struttura capace di rispondere ad eventuali sollecitazioni ma che, una volta terminate, possa riportare la struttura alle forme originarie,

senza deformazioni. Questo tipo di connettivo viene detto elastico. Il tessuto connettivo elastico è composto da fibre diverse del connettivo collagene, ed è formato principalmente da elastina, da sostanza amorfa e da fibrillina. Le troviamo per esempio nella parete delle arterie.

2.5 Le componenti del tessuto connettivo intra ed extra muscolare

All'interno di ogni fascio di fibre muscolari, una struttura connettivo fibro-elastico detta endomisio, avvolge le singole fibre muscolari. Il muscolo è diviso internamente da una rete continua di tessuto connettivo, chiamata perimisio, in fasci di fibre muscolari. Il tessuto perimisiale è collegato all'epimisio che circonda la superficie del muscolo.

Spesso l'endomisio e il perimisio vengono descritti come tubi o guaine che circondano rispettivamente ciascuna fibra e fascicolo, dando l'impressione che questi tessuti separino ciascuna fibra, ma in realtà essi formano una rete continua in tutto il fascicolo, fornendo una connessione tra le fibre muscolari contigue. In particolare, la struttura del perimisio, che percorre tridimensionalmente il muscolo, collega i fasci muscolari che si trovano negli interstizi di questa rete.



Quando il perimysio si avvicina alla superficie del muscolo si fonde con l'epimysio. Alle estremità del muscolo, l'epimysio si ispessisce e si fonde con i tendini.

In alcune ricerche sono state osservate connessioni tendinee di diversi muscoli sulla fascia profonda dei muscoli degli arti e sembra che queste connessioni forniscano una continuità miofasciale tra i diversi muscoli dell'arto. Si ipotizza che questa continuità di connessioni tra IMCT e fascia coordini l'azione dei muscoli agonistici.¹

Passeriux ha riscontrato nei muscoli dei bovini connessioni tra il perimysio e endomysio sulla superficie dei fascicoli e li ha chiamati placche di giunzione perimisiale (PJP). Queste giunzioni sono formate da fasci di fibre di collagene che dal perimysio si inseriscono nella superficie dell'endomysio².

2.6 La Fascia: Struttura e funzioni

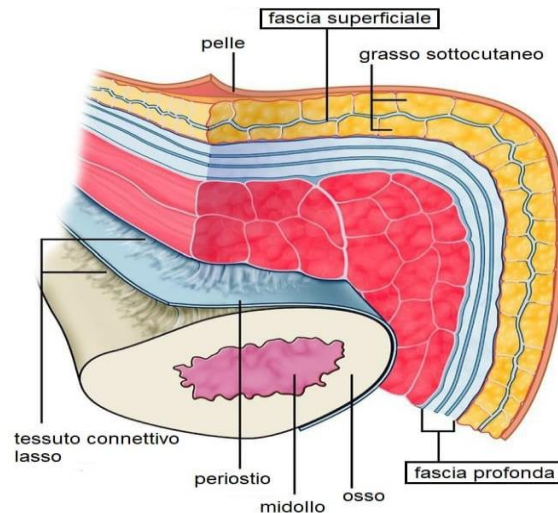
Il termine fascia viene usato per indicare delle strutture connettivali che possono essere molto diverse tra di loro, come ad esempio, tessuto connettivo denso o molle, a singolo strato o multistrato. Il sistema fasciale nel corpo umano presenta infatti caratteristiche diverse per composizione e posizione anatomica. Recentemente, la definizione è stata ampliata per includere tutti i tessuti molli a base di collagene nel corpo, comprese le cellule che creano e mantengono la matrice extracellulare. La nuova definizione include anche alcuni tendini, legamenti, endomysio, perimysio ed epimysio³

¹<https://www.researchgate.net/publication/335005533>

C. Stecco, *Role_of_fasciae_in_nonspecific_low_back_pain*

² Front. Physiol., 19 May 2020 Sec. Striated Muscle Physiology <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00495>

³ Gatt A, Agarwal S, Zito PM. Anatomy, Fascia Layers. 2022 Jul 25. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2022 Jan-. PMID: 30252294.



La fascia superficiale ricopre tutto il corpo ed è lo strato più esterno situato sotto il derma ed è composta da tessuto connettivo lasso (formata da fibre collagene ed elastiche) e tessuto adiposo che forma una continuazione con derma e l'epitelio superficiale verso l'esterno.

Contemporaneamente si connette ai tessuti e organi sottostanti e rappresenta una protezione a stress meccanici e termici, è inoltre una via di passaggio per le innervazioni e i vasi sanguigni permette lo scorrimento dell'epidermide sopra la fascia profonda.

Sotto la fascia superficiale vi è la fascia profonda, che avvolge tronco ed arti in uno strato continuo e coeso.

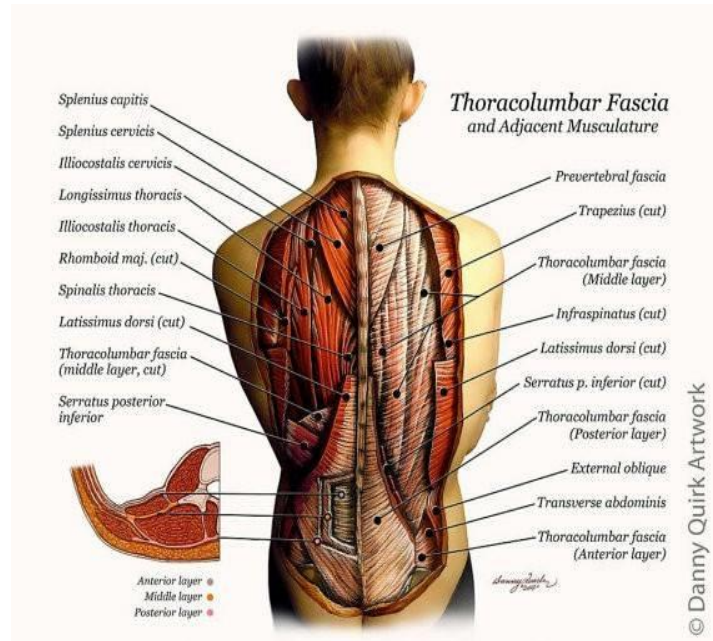
Il foglietto posteriore o superficiale riveste il muscolo erettore della colonna e si rapporta con:

- Superiormente con la fascia nucale;
- Medialmente si inserisce ai processi trasversi delle vertebre toraciche e lombari e sulla cresta sacrale media;
- Lateralmente si inserisce agli angoli costali, alla dodicesima costola a livello della cresta iliaca si fonde con la lamina anteriore;
- Inferiormente si inserisce al labbro esterno della cresta iliaca.

Il foglietto anteriore o profonda è limitato alla regione lombare ed è posta tra il muscolo erettore della colonna all'esterno e i muscoli quadrato dei lombi e ileopsoas all'interno:

- Superiormente si fissa alla dodicesima costa;
- Medialmente si inserisce ai processi costiformi delle vertebre lombari da L1 a L4;
- Inferiormente si inserisce al labbro interno della cresta iliaca;
- Lateralmente si fonde con la lamina posteriore.

La fascia profonda è costituita da tessuto connettivo denso irregolare, formato da fibre collagene ondulate e da fibre elastiche che si intrecciano su più piani e forma una membrana che riveste la parte esterna muscolare.



CAPITOLO 3: I DOMS

3.1 I DOMS: cosa sono?

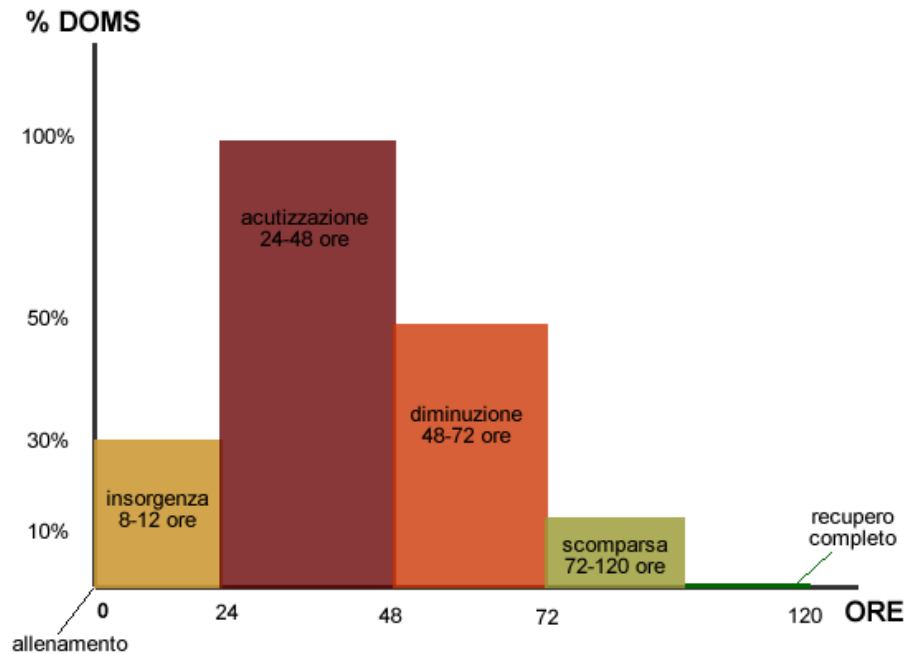
I *delayed onset muscle soreness* o dolore muscolare a insorgenza ritardata è un fenomeno post-esercizio frequente che si manifesta tipicamente dopo una intensa attività muscolare. I sintomi più frequenti sono dolore e rigidità dei tessuti molli e si manifestano dopo 24-72 ore dopo l'attività.

Tutti i tipi di lavoro muscolare possono indurre ad un esaurimento muscolare generale, ma i DOMS nello specifico sembrano essere correlati alle contrazioni eccentriche.

Numerose ricerche hanno trattato e ipotizzato le cause nella formazione nei DOMS. Esempi correlati includono la corsa in discesa, gli esercizi pliometrici e gli esercizi di resistenza eccentrica. Esistono molteplici teorie che tentano di spiegare i meccanismi che portano al DOMS e la maggior parte di esse suggerisce un ruolo importante del muscolo scheletrico (p. es., produzione eccessiva di lattato, infiammazione, danno strutturale)⁴.

Negli ultimi anni, data la stretta correlazione fra tessuto muscolare e tessuto fasciale, un ramo della ricerca ha ipotizzato un coinvolgimento della fascia fra le cause della formazione dei DOMS, e questo può avere implicazioni per quanto riguarda la prevenzione e il trattamento.

⁴ Is "Delayed Onset Muscle Soreness" a False Friend? The Potential Implication of the Fascial Connective Tissue in Post-Exercise Discomfort <https://doi.org/10.1080/23267224.1902.10649879>



3.2. Modelli patogenetici

Più ipotesi si sono susseguite come cause possibili nell'insorgenza dei DOMS, le principali sono:

- a) Acido Lattico
- b) Danno strutturale del sarcomero
- c) Processi infiammatori dei tessuti muscolari
- d) Radicali liberi

a) Acido lattico

Una delle precedenti teorie che descrivono il possibile meccanismo dei DOMS si concentra sull'accumulo di lattato muscolare.

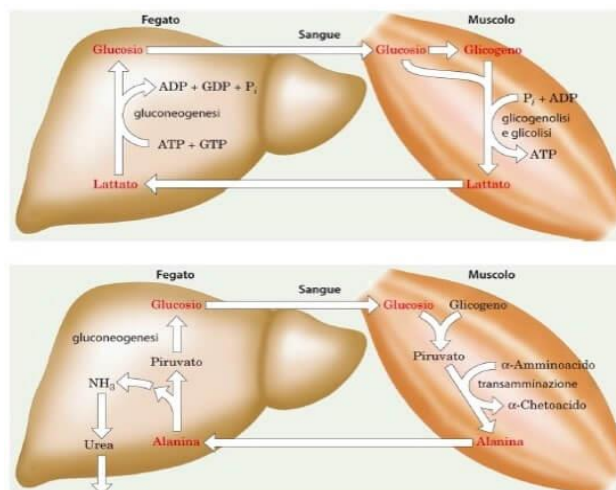
Il lattato è una è un sottoprodotto del *metabolismo anaerobico lattacido* prodotta durante il metabolismo glicolitico.

Più nello specifico attraverso la glicolisi una molecola di glucosio genera 2 molecole di piruvato, che a loro volta, se impiegate nella fermentazione lattica, generano acido lattico ($\text{CH}_3\text{-CHOH-COOH}$), come sottoprodotto.

Normalmente l'Acido lattico viene smaltito attraverso il flusso ematico, mai in presenza di intense contrazioni muscolari e di scarso apporto di O_2 , il livello di lattato aumenta oltre le capacità organiche di smaltimento (oltre i 4 mmol/l), creando un accumulo di lattato e un

conseguente stato di acidosi e di dolore che inibisce la capacità di contrazione del muscolo stesso.

Se in precedenti teorie si ipotizzava che l'accumulo di lattato muscolare e fosse responsabile anche dei DOMS presenti nei giorni successivi lo stimolo, oggi numerosi studi ci dicono che lo smaltimento del lattato avviene al 50% ogni 30 minuti, per essere completamente smaltito nelle successive 2 ore, e tornare in circolo come glucosio, attraverso il Ciclo di Cori e le cellule epatiche.



Concentrazioni eccessive di lattato però possono rappresentare uno stimolo nocivo per le terminazioni nervose libere delle afferenze di tipo III e IV, che si trovano all'interno dei piccoli vasi sanguigni dei muscoli scheletrici. Essendo collegate al sistema nervoso centrale tramite fibre nervose sottilmente mielinizzate (tipo III) o non mielinizzate (tipo IV), le terminazioni nervose agiscono come i principali nocicettori, dei muscoli scheletrici e rispondono a stimoli meccanici e chimici. Sebbene ci siano prove che suggeriscono che l'attivazione del recettore da parte dei metaboliti possa essere coinvolta nell'affaticamento muscolare durante l'esercizio fisico intenso⁵, la teoria dell'acido lattico è stata ampiamente respinta come causa di DOMS.

Uno dei motivi è la componente temporale.

Come abbiamo visto le concentrazioni di lattato ritornano prontamente al valore basale dopo la cessazione dell'attività fisica, mentre il tipico dolore dei DOMS si manifesta diverse ore dopo.

⁵Amann M, Wan HY, Thurston TS, Georgescu VP, Weavil JC. On the Influence of Group III/IV Muscle Afferent Feedback on Endurance Exercise Performance. *Exerc Sport Sci Rev.* 2020 Oct;48(4):209-216. doi: 10.1249/JES.000000000000233. PMID: 32658041; PMCID: PMC7492373.

Un altro motivo è la mancanza di correlazione tra le concentrazioni di lattato e l'intensità dei DOMS.

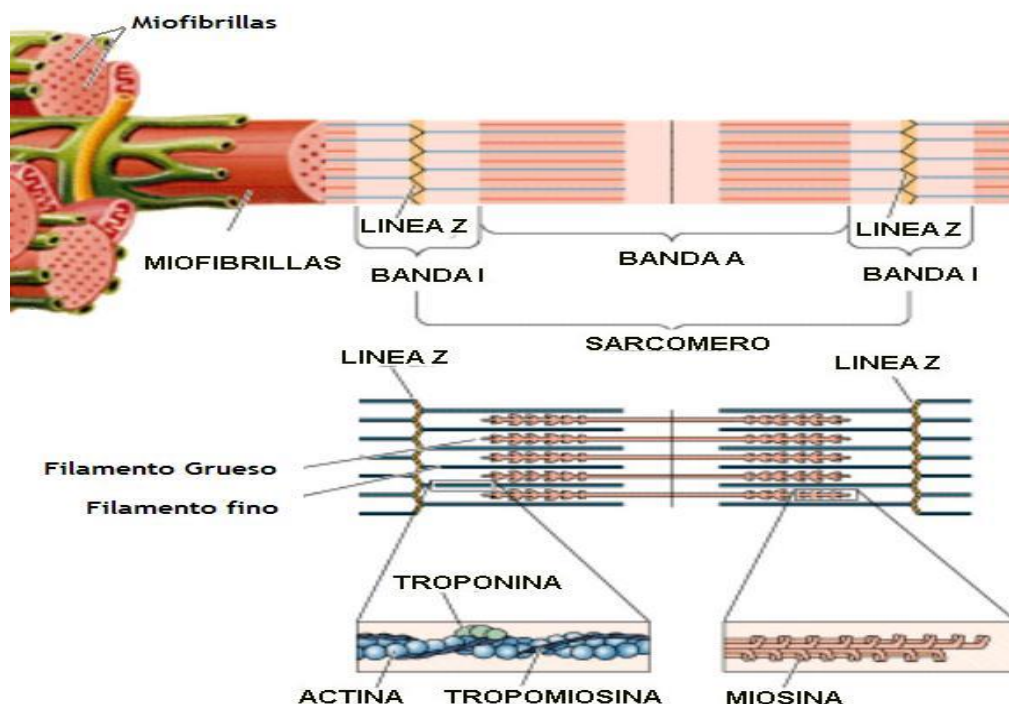
Sebbene l'esercizio concentrico porti solo molto raramente a DOMS, la produzione di lattato è considerevolmente maggiore rispetto all'esercizio eccentrico anche a parità di potenza.

Questa osservazione si adatta ai dati che mostrano alte concentrazioni di lattato e assenza di DOMS dopo la corsa in salita ma bassi livelli di lattato e presenza di DOMS dopo la corsa in discesa.

b) Danno strutturale del sarcomero

Hough propose già il secolo scorso la teoria secondo cui i DOMS potrebbero derivare da un danno strutturale all'interno del muscolo scheletrico.⁶

Come sappiamo ogni sarcomero è composta da più filamenti proteici, miofilamenti spessi e sottili. I filamenti spessi sono formati dalla molecola proteica miosina, i filamenti sottili sono formati dalla molecola proteica actina.



⁶Ergographic Studies in Muscular Soreness, T. Houg, <https://doi.org/10.1080/23267224.1902.10649879>

La miofibrilla è così strutturata:

- la banda I (filamenti sottili)
- la banda A (entrambi i filamenti)
- la zona H (filamenti spessi)
- la linea M (una linea scura che corre al centro del sarcomero, su cui si inseriscono i filamenti miosinici)
- la linea Z (inizio e fine del sarcomero), linea su cui si inseriscono i filamenti di actina.

Elevate sollecitazioni meccaniche imposte ai tessuti molli potrebbero superare la capacità di carico del sarcomero, la portando a micro-rotture localizzate all'interno o vicino la linea Z⁷.

Lo streaming della linea Z colpisce più frequentemente le fibre muscolari a contrazione rapida di tipo II rispetto alle fibre muscolari a contrazione lenta di tipo I.

Come intuibile, le fibre a contrazione rapida mostrano un'elevata forza, potenza e potenziale di velocità a una resistenza limitata, mentre le fibre a contrazione lenta raggiungono basse velocità di contrazione ma un'elevata resistenza alla fatica.

Rispetto alle fibre di tipo I, le fibre di tipo II a contrazione rapida hanno dischi Z più stretti e più deboli e filamenti di titina meno cedevoli, che potrebbero portare a maggiori sollecitazioni meccaniche durante la contrazione eccentrica⁸

Inoltre, contengono isoforme più piccole della nebulina proteica che porta potenzialmente a una maggiore sensibilità al danno.

Tutti questi fattori probabilmente spiegano perché i muscoli con un contenuto di fibre di tipo II elevato subiscono un danno maggiore dalla contrazione eccentrica rispetto a quelli con un contenuto di fibre di tipo I.

Anche questa ipotesi manca però di supporto clinico e sperimentale.

In uno studio di Nosaka un gruppo di volontari ha eseguito esercizi eccentrici con numeri di ripetizioni variabili e nonostante l'induzione del DOMS abbia avuto successo, il dolore

⁷*Delayed Muscle Soreness and Cytoskeletal Alterations: An Immunocytological Study in Man*, Int J Sports Med 1984; 05(1): 15-18 DOI: 10.1055/s-2008-1025873

⁸ *A morphometric analysis of human muscle fibers with relation to fiber types and adaptations to exercise*, JFrederick P.Prince [https://doi.org/10.1016/0022-510X\(81\)90076-9](https://doi.org/10.1016/0022-510X(81)90076-9)

riscontrato non risultava correlato alla creatina chinasi plasmatica, che è un marker di danno muscolare⁹.

Altre ricerche hanno portato a risultati simili: Nurenberg ha trovato solo una debole correlazione tra il livello di DOMS e il grado di danno tissutale analizzato con micrografie elettroniche. Il Tipo di danno, studiato attraverso esami di biopsie, sembra comunque correlato a contrazioni eccentriche¹⁰.

Alcune ricerche, tuttavia, interpretano i cambiamenti strutturali intracellulari causati da contrazione eccentrica come una parte naturale del processo di adattamento muscolare piuttosto che un riscontro del danno muscolare.

Inoltre, non è chiaro come la formazione di microtraumi possa essere associata al dolore.

Una ipotesi potrebbe essere l'attivazione di afferenze meccanosensibili, causata da danni strutturali, ma ciò potrebbe solo spiegare le attuali sensazioni di dolore ma non un esordio ritardato e la persistenza del dolore dopo l'esercizio.

Infine, la soglia di attivazione di questi recettori è molto alta, il che ne rallenterebbe l'attivazione.

c) Processi Infiammatori dei tessuti muscolari.

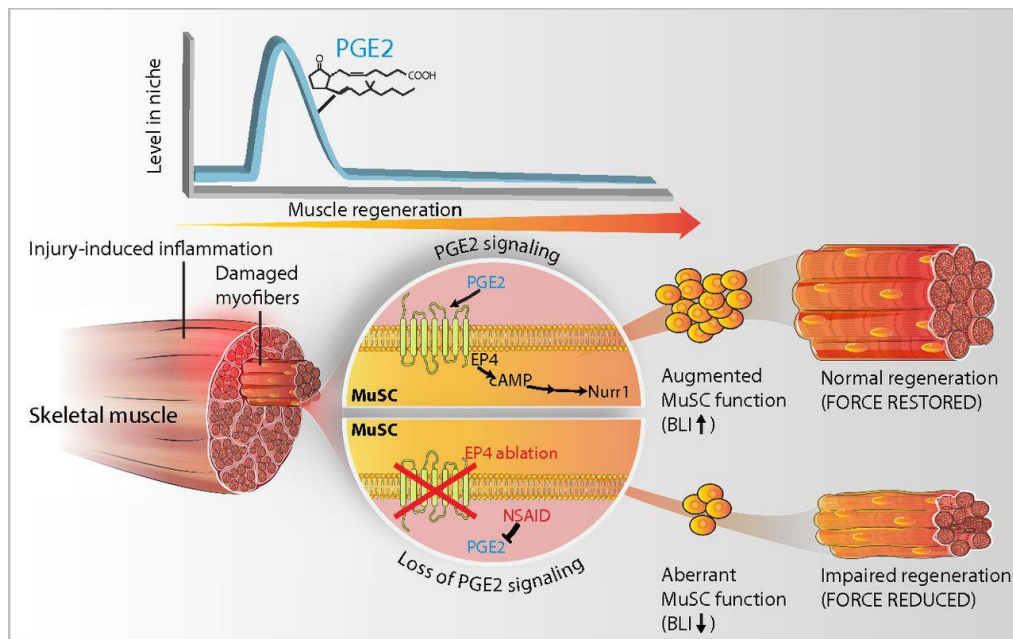
Contrariamente al danno tissutale, un'attivazione ritardata e prolungata delle afferenze di tipo III può essere indotta attraverso il gonfiore intramuscolare associato all'infiammazione. Lo stato infiammatorio potrebbe esercitare una pressione sui recettori meccanosensibili. Questa ipotesi è supportata dall'osservazione che il picco dei DOMS post-esercizio coincide con il massimo stato infiammatorio.

Inoltre, l'infiammazione potrebbe portare a una maggiore percezione del dolore attraverso il rilascio di sostanze che modulano il dolore (come la PGE2) da parte delle cellule infiammatorie che invadono il tessuto muscolare danneggiato. Si presume che le cellule infiammatorie, che entrano nel tessuto danneggiato, siano guidate chemiotatticamente al sito tramite sostanze attive nel plasma e nello spazio interstiziale¹¹.

⁹ *Difference in the magnitude of muscle damage between elbow flexors and knee extensors eccentric exercises*, Tolga Saka, PMID: 24150563

¹⁰ MR imaging-guided muscle biopsy for correlation of increased signal intensity with ultrastructural change and delayed-onset muscle soreness after exercise
1992 <https://doi.org/10.1148/radiology.184.3.1509081>

¹¹ Yang W, Hu P. Skeletal muscle regeneration is modulated by inflammation. *J Orthop Translat.* 2018. jot.2018.01.002. PMID: 29662788; PMID: PMC5892385.



La chemiotassi descrive il movimento delle cellule immunitarie verso le sostanze rilasciate dalle cellule danneggiate.

Un esempio di sostanza chemiotatticamente attiva è la proteina chemiotattica MCP-1. È altamente espresso nelle cellule muscolari danneggiate e attrae i macrofagi.

Dai dati disponibili sembra esistere un collegamento tra l'infiammazione e la teoria del danno muscolare¹².

Elevati carichi meccanici sembrano non solo causare danni agli elementi contrattili delle fibre muscolari ma anche alle membrane. Il conseguente cambiamento nella permeabilità della membrana potrebbe essere la base per il rilascio di sostanze chemiotatticamente attive. Armstrong ha ipotizzato che il danno alla membrana derivante da forze meccaniche elevate si traduca in un afflusso incontrollato di calcio dallo spazio interstiziale, che attiva proteasi e fosfolipasi calcio-dipendenti che aumentano ulteriormente il danno alla membrana.

Secondo la sua teoria, questo processo è amplificato dal fatto che il calcio si accumula all'interno dei mitocondri, influenzando la sintesi di ATP e, infine, riducendo il ritorno attivo del calcio nel reticolo sarcoplasmatico da parte delle pompe SERCA¹³.

¹² Mizumura, K., Taguchi, T. Delayed onset muscle soreness: Involvement of neurotrophic factors. *J Physiol Sci* 66, pp. 43–52 (2016). <https://doi.org/10.1007/s12576-015-0397-0>

¹³ Is "Delayed Onset Muscle Soreness" a False Friend? The Potential Implication of the Fascial Connective Tissue in Post-Exercise Discomfort <https://doi.org/10.1080/23267224.1902.10649879>

Il danno alla membrana si traduce ulteriormente in un efflusso di componenti intracellulari, come gli enzimi, nello spazio intercellulare e quindi attrae i monociti che si convertono in macrofagi.

I mastociti e gli istociti vengono attivati e si pensa che l'accumulo di sostanze chimiche derivanti dalla fagocitosi e dalla necrosi attivi le terminazioni nervose libere e la percezione del dolore.

Tuttavia, alcuni autori hanno contestato l'esistenza di una lesione o infiammazione del sarcolemma indotta dall'esercizio, poiché non è stato possibile trovare alcuna lesione del sarcolemma dopo contrazioni eccentriche nonostante la presenza di DOMS gravi¹⁴.

È interessante notare che esiste un possibile collegamento tra l'infiammazione e la teoria del danno muscolare precedentemente menzionata.

Elevati carichi meccanici sembrano non solo causare danni agli elementi contrattili delle fibre muscolari ma anche alle membrane. Il conseguente cambiamento nella permeabilità della membrana potrebbe essere la base per il rilascio delle sostanze chemiotatticamente attive.

d) Radicali liberi

Infine, i radicali liberi sono anche ripetutamente citati come causa di danno alla membrana delle fibre muscolari. Alcuni studi hanno finora dimostrato che siano correlati alla contrazione eccentrica, tuttavia, non è chiaro se i radicali liberi siano causalmente collegati allo sviluppo del danno alla membrana indotto dall'esercizio e del DOMS¹⁵.

Chiudi hanno dimostrato che l'aumento dei radicali, comunque, si verificava solo 24-48 ore dopo il massimo DOMS.

La somministrazione di antiossidanti però ha avuto scarso o nessun effetto sul dolore.

Ciò è supportato da uno studio di De Oliveira e colleghi che hanno trovato un'integrazione vitaminica antiossidante per prevenire lo stress ossidativo ma non i DOMS¹⁶.

¹⁴ Yu, JG., Malm, C. & Thornell, LE. Eccentric contractions leading to DOMS do not cause loss of desmin nor fibre necrosis in human muscle. *Histochem Cell Biol*, 29–34 (2002). <https://doi.org/10.1007/s00418-002-0423-1>

¹⁵ "Eccentric muscle contractions induce greater oxidative stress than concentric contractions in skeletal muscle" Michihiro Kon, Kai Tanabe, 2007 <https://doi.org/10.1139/H06-1155>

¹⁶ Cx Oliverira, Troncon Rosa: A ntioxidant vitamin supplementation prevents oxidative stress but does not enhance performance in young football athletes. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2019.01.007>

Infine, i radicali liberi sono anche ripetutamente citati come causa di danno alla membrana delle fibre muscolari e questo è supportato da numerosi studi hanno finora dimostrato che siano prodotti durante la contrazione eccentrica.

Non è chiaro, tuttavia, per una questione temporale, se i radicali liberi siano causalmente collegati allo sviluppo del danno alla membrana indotto dall'esercizio e del DOMS.

Infine, va notato che la produzione mitocondriale di ROS è fortemente associata all'aumento del metabolismo aerobico.

Pertanto, ci si aspetterebbe un aumento del DOMS associato a un elevato consumo di ossigeno piuttosto che a contrazioni eccentriche.

In sintesi, i modelli patogeni classici incentrati sul tessuto muscolare non sono in grado di spiegare in modo completo i sintomi di DOMS riscontrati dopo intense contrazioni eccentriche.

CAPITOLO 4: Possibile coinvolgimento del tessuto connettivo

Un recente flusso di ricerca suggerisce che il tessuto connettivo potrebbe rappresentare il substrato patogeno dei DOMS.

Sulla base delle prove disponibili, sia le caratteristiche architettoniche che la capacità sensoriale della fascia possono essere indicate come concausa del dolore percepito dopo lo stimolo allenante.

4.1. Danno strutturale: anatomia della fascia

Abbiamo visto come il tessuto connettivo collagene sia strettamente collegato al muscolo scheletrico.

La fibra muscolare cioè si fonde strettamente con l'endomysio e possono quindi trasmettere forza attraverso queste connessioni.

Similmente anche il perimysio non rappresenta solo un involucro per i fasci di fibre muscolari, ma forma una rete a nido d'ape che presenta continuità dei tessuti e questo comporta una trasmissione della forza sotto carico meccanico¹⁷.

Infine, è stato dimostrato che la fascia profonda mostra espansioni fibrose dirette che si fondono con il muscolo scheletrico sottostante, il che significa che la contrazione muscolare può causarne la tensione.

Oltre ad essere strutturalmente collegata al muscolo sottostante, la fascia fornisce anche un collegamento diretto ad altri muscoli disposti parallelamente (ad esempio, dal tibiale anteriore all'estensore delle dita) o in serie (ad esempio, dal gastrocnemio ai muscoli posteriori della coscia).

Si può quindi presumere che qualsiasi attività o carico muscolare dovrà avere effetti meccanici pronunciati sul tessuto connettivo.¹⁸

¹⁷ Passerieux E, Rossignol R, Letellier T, Delage JP. Physical continuity of the perimysium from myofibers to tendons: involvement in lateral force transmission in skeletal muscle. *J Struct Biol.* 2007 Jul;159(1):19-28. doi: 10.1016/j.jsb.2007.01.022. Epub 2007 Mar 3. PMID: 17433715.

¹⁸ Wilke J, Vleeming A, Wearing S. Overuse Injury: The Result of Pathologically Altered Myofascial Force Transmission *Exerc Sport Sci Rev.* 2019 Oct;47(4):230-236. doi: 10.1249/JES.000000000000205. PMID: 31290768.

Come sottolineato, i DOMS si verificano principalmente durante il carico eccentrico e durante questo allungamento attivo le forze di deformazione agiscono sul muscolo scheletrico.

Da un punto di vista funzionale, le continuità del tessuto fungono da ammortizzatore ed assorbono le forze potenzialmente dannose per il muscolo scheletrico, causate dalle contrazioni eccentriche.

Tuttavia, se si supera la capacità di carico, possono verificarsi danni microscopici o macroscopici nell'endomysio, nel perimysio o nella fascia profonda.

Seguendo queste ipotesi alcuni studi hanno esaminato la morfologia e l'integrità del tessuto connettivo collagene durante il sovraccarico o successiva induzione di DOMS

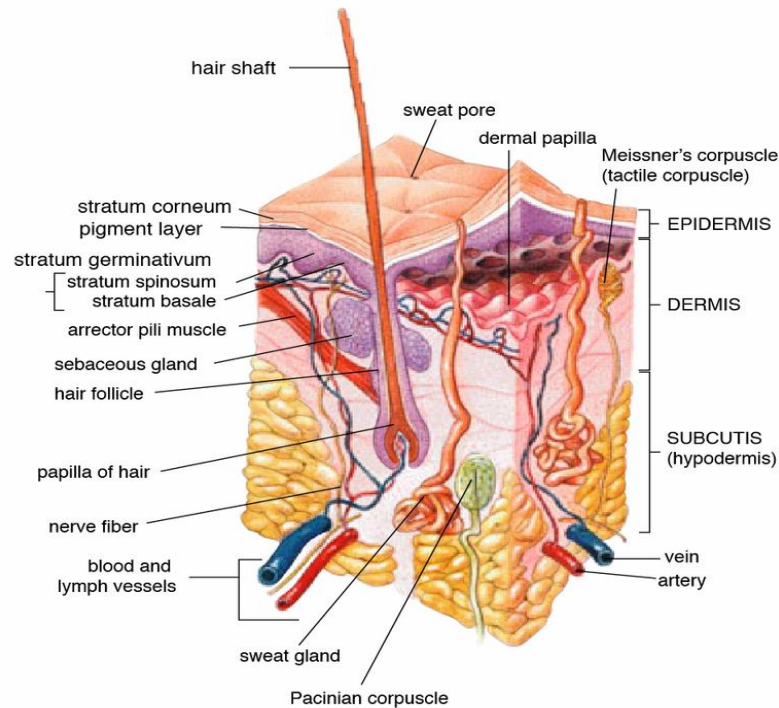
4.2 Proprietà sensoriali della Fascia

Le analisi istologiche hanno confermato l'esistenza di una ricca concentrazione di corpuscoli di Ruffini, di Pacini e di terminazioni nervose libere nei tessuti fasciali. La fascia dunque sembra contribuire sostanzialmente alla propriocezione e al dolore grazie alla presenza di recettori sensoriali.

Poiché una parte sostanziale delle fibre identificate è positiva per la sostanza P (neurotrasmettitore implicato nella modulazione del dolore) e il peptide correlato al gene della calcitonina (CGRP un potente vasodilatatore che può intervenire nella trasmissione del dolore) appare evidente un coinvolgimento del sistema nervoso e si deve presumere una capacità algogenica di almeno alcune terminazioni nervose libere.¹⁹²⁰

¹⁹ L'Hocine Yahia, *Sensory innervation of human thoracolumbar fascia*, 1991
<https://doi.org/10.3109/174536792091548222>

²⁰Mense S. Innervation of the thoracolumbar fascia. *Eur J Transl Myol.* 2019 Sep 6;29(3):8297. doi: 10.4081/ejtm.2019.8297. PMID: 31579474; PMCID: PMC6767935.



Inerenti a queste ipotesi, in una ricerca, Barry ha confrontato la densità delle fibre nervose di diversi tessuti lombari nei roditori, riportando una presenza tre volte maggiore nella fascia rispetto al muscolo²¹.

Schilder in un altro esperimento ha iniettato una soluzione salina ipertonica nel tessuto sottocutaneo di volontari, nella fascia profonda e nei muscoli della regione lombare. L'irritazione chimica delle strutture non muscolari ha provocato sensazioni di dolore più sostenibili (~15 contro ~10 min) e più forti rispetto all'iniezione muscolare. Inoltre, solo dopo l'irritazione fasciale, i partecipanti hanno utilizzato descrittori del dolore affettivo (p. es., agonizzante, pesante e mortale), che sono spesso correlati a segnalazioni di lombalgia. lo stesso pattern di risposta (sensazione di dolore più forte in caso di irritazione fasciale rispetto a quella muscolare) si verifica nella stimolazione elettrica. Oltre a mostrare un'elevata sensibilità al dolore generale, la fascia sembra rispondere fortemente all'infiammazione locale.

Nel loro insieme, le prove disponibili suggeriscono che il tessuto connettivo fasciale, piuttosto del tessuto muscolare, possa svolgere un ruolo nello sviluppo e nella percezione del dolore dei tessuti molli²².

²¹ Sensory nerve fibers containing calcitonin gene-related peptide in gastrocnemius, latissimus dorsi and erector spinae muscles and thoracolumbar fascia in mice.

<https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2015.01.062>

²² A.Schilder "Sensory findings after stimulation of the thoracolumbar fascia with hypertonic saline suggest its contribution to low back pain <https://doi.org/10.1016/j.pain.2013.09.025>

4.3 Possibili relazioni con i DOMS

Nonostante la sua denominazione, le lesioni muscolari raramente colpiscono solo il tessuto muscolare o la fascia extramuscolare. Dopo un eccessivo carico eccentrico, entrambi possono mostrare un coinvolgimento simile.

È interessante notare che ci sono prove convincenti dell'esistenza del danno strutturale della matrice extracellulare nei DOMS²³, l'elastografia a onde di taglio, ad esempio, è risultata essere un metodo diretto per quantificare la rigidità meccanica dei tessuti molli. Per quanto riguarda il DOMS, la sua applicazione è particolarmente interessante perché consente una chiara valutazione differenziata delle strutture (es. muscolo vs. fascia).

La fascia, dunque, rappresenta un potenziale generatore di dolore a causa della sua innervazione sensoriale

S. Tenberg, in un recente esperimento, ha esaminato la morfologia e la meccanica fasciale dopo un estenuante esercizio eccentrico e concentrico dei flessori del gomito.

Lo spessore della fascia brachiale è aumentato nei giorni successivi un'attività eccentrica. Sono stati osservati anche cambiamenti nella mobilità dei tessuti, con un miglioramento del range of motion durante il movimento articolare passivo dopo gli eccentrici. La mobilità fasciale invece, è risultata sostanzialmente invariata.

Ulteriori ricerche potrebbero indicare se l'incapacità della fascia di seguire il movimento del muscolo influenzi la formazione dei DOMS²⁴.

4.4 Ricerche relative

Gibson in una ricerca ha incaricato un campione di tredici giovani adulti sani di eseguire un protocollo di carico eccentrico per il muscolo tibiale anteriore di una gamba. Un giorno dopo l'induzione del DOMS, una soluzione salina ipertonica è stata iniettata nel muscolo tibiale anteriore e nella sua fascia profonda. Nella gamba di controllo non sottoposta al carico eccentrico, l'irritazione della fascia era più dolorosa (+42%) rispetto alla

²³ Wilke J, Hespanhol L, Behrens M. Is It All About the Fascia? A Systematic Review and Meta-analysis of the Prevalence of Extramuscular Connective Tissue Lesions in Muscle Strain Injury. *Orthop J Sports Med.* 2019 Dec 24;7(12):2325967119888500. doi: 10.1177/2325967119888500. PMID: 31903399; PMCID: PMC6931154.

²⁴ Sarah Tenberg, Kazunori Nosaka, Jan Wilke et al. Fascia Thickness Increases Following Eccentric Exercise Leading to Delayed Onset Muscle Soreness, 24 August 2021, PREPRINT (Version 1) available at Research Square <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-826566/v1>

stimolazione del tessuto muscolare. Lo stesso risultato (dolore più elevato dopo l'iniezione fasciale) è stato riscontrato nella gamba esercitata, tuttavia c'era una sensibile differenza: mentre il dolore conseguente all'irritazione muscolare era identico alla gamba di controllo, la stimolazione della fascia era del 39% più dolorosa²⁵.

Nello studio di Lau, dieci giovani partecipanti maschi hanno eseguito 10 × 6 contrazioni eccentriche isocinetiche massime dei flessori del gomito non dominante per indurre DOMS.

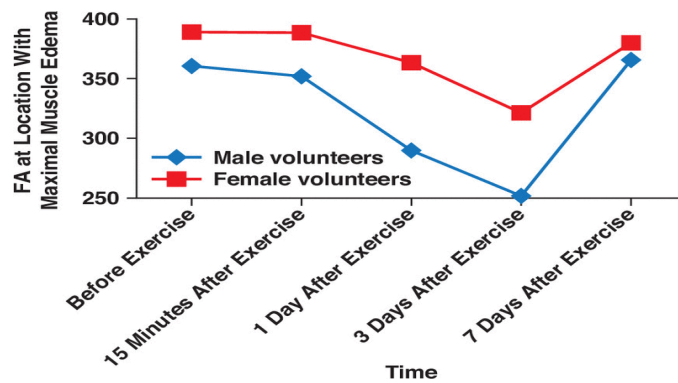
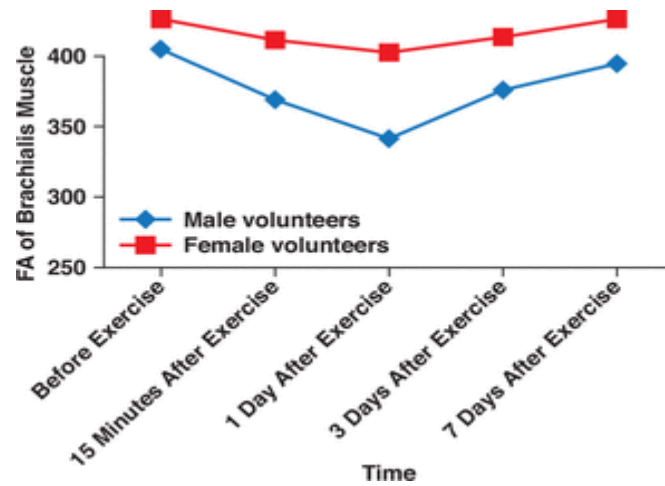
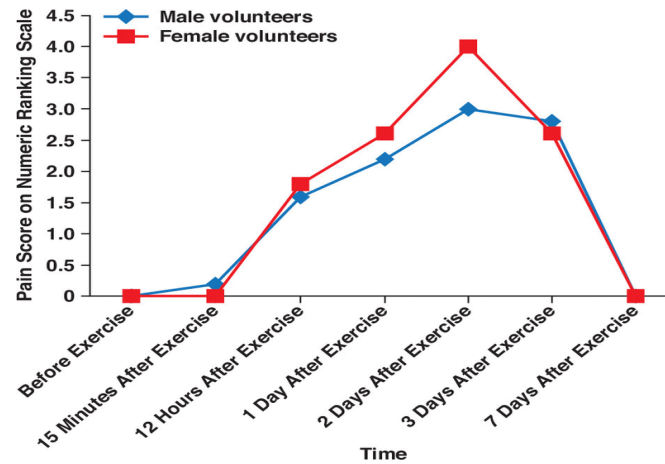
Nei giorni successivi, gli autori hanno misurato la soglia del dolore elettrico mediante ecografia e elettrodi ad ago e si è riscontrato un aumento dell'intensità del dolore rispetto al livello iniziale. L'aumento è risultato maggiore per il bicipite brachiale e la fascia brachiale rispetto al muscolo scheletrico nelle 48 ore successive l'esercizio. Sebbene i cambiamenti nella sensibilità fasciale alla stimolazione elettrica non fossero associati al dolore alla palpazione, esisteva una correlazione da moderata a forte con la soglia del dolore meccanico²⁶

Agten ha esaminato un campione di 10 volontari, utilizzando la risonanza magnetica quantitativa e l'elastografia a ultrasuoni (US) a onde di taglio e sottoponendoli a pesanti esercizi eccentrici dei flessori del gomito ed esaminandoli prima e dopo gli esercizi, a intervalli, fino ai 7 giorni successivi. La velocità dell'onda di taglio (un surrogato della rigidità meccanica), misurata esclusivamente all'interno dei muscoli, è aumentata immediatamente dopo l'esercizio ma è tornata al valore di norma intorno al secondo giorno. Tuttavia, poiché i livelli di dolore soggettivo ed edema riscontrato hanno raggiunto il loro picco il terzo giorno, una relazione causale con i DOMS sembra improbabile²⁷.

²⁵ Gibson, W., Arendt-Nielsen, L., Taguchi, T. *et al.* Increased pain from muscle fascia following eccentric exercise: animal and human findings. *Exp Brain Res* 194, 299–308 (2009). <https://doi.org/10.1007/s00221-008-1699-8>

²⁶ Lau WY, Blazevich AJ, Newton MJ, Wu SS, Nosaka K. Changes in electrical pain threshold of fascia and muscle after initial and secondary bouts of elbow flexor eccentric exercise. *Eur J Appl Physiol*. 2015 May;115(5):959-68. doi: 10.1007/s00421-014-3077-5. Epub 2014 Dec 18. PMID: 25519953.

²⁷ Delayed-Onset Muscle Soreness: Temporal Assessment With Quantitative MRI and Shear-Wave Ultrasound Elastography
Christoph A. Agten, Florian M. Buck, Linda Dyer, Martin Flück, Christian W. A. Pfirrmann, and Andrea B. Roskopf, *American Journal of Roentgenology* 2017 208:2, 402-412



4.5. Implicazioni pratiche

La maggior parte della ricerca disponibile sui DOMS fino ad ora sviluppata è stata dedicata allo studio dei muscoli scheletrici, ma l'elastografia a onde di taglio risulta essere un metodo promettente e diretto per quantificare la rigidità meccanica dei tessuti molli. Per quanto riguarda il DOMS, la sua applicazione è particolarmente interessante perché consente una chiara valutazione differenziata delle strutture. La fascia, se danneggiata da traumi o

infiammazioni locali, può perdere malleabilità e ciò può causare il restringimento degli strati fasciali e la limitazione del movimento dei tessuti sottostanti causando dolore, rigidità o diminuzione del flusso sanguigno²⁸.

Considerando l'evidenza accumulata sulla potenziale implicazione della fascia, vi è un ampio ambito di ricerca ancora da sviluppare per approfondire quanto il muscolo possa svolgere un ruolo nello sviluppo e nella percezione del dolore ai tessuti molli.

Nel loro insieme, le prove disponibili suggeriscono la maggiore sensibilità della fascia agli stimoli nocivi, chimici e meccanici, inoltre sembra rispondere sensibilmente all'infiammazione locale.

Oltre a contribuire a chiarire la fisiopatologia alla base del DOMS, concentrarsi sul tessuto connettivo collagene potrebbe aprire nuove strade per il suo trattamento.

In uno studio del 2017 è stata testata la somministrazione orale di gelatina idrossilisina, essenziale per la produzione di collagene nonché per aumentare la concentrazione degli aminoacidi: glicina, prolina, idrossiprolina.²⁹ Ad un campione di soggetti sono stati somministrati 20g di collagene peptidi ogni giorno per un periodo da una settimana prima fino a 48 h dopo un protocollo di affaticamento con 150 salti, l'entità del DOMS era sostanzialmente inferiore nel gruppo verum (90,4 contro 125,7 mm).

Inoltre, gli individui con supplementazione di gelatina hanno dimostrato migliori capacità di recupero rispetto ai partecipanti con assunzione di placebo, fornendo prestazione migliori nel salto in contromovimento. Nelle prove future, dovrebbe essere valutato se l'integrazione protratta di collagene può prevenire ulteriormente la formazione di DOMS e se dosi diverse possono modificare l'effetto osservato in questa prova.

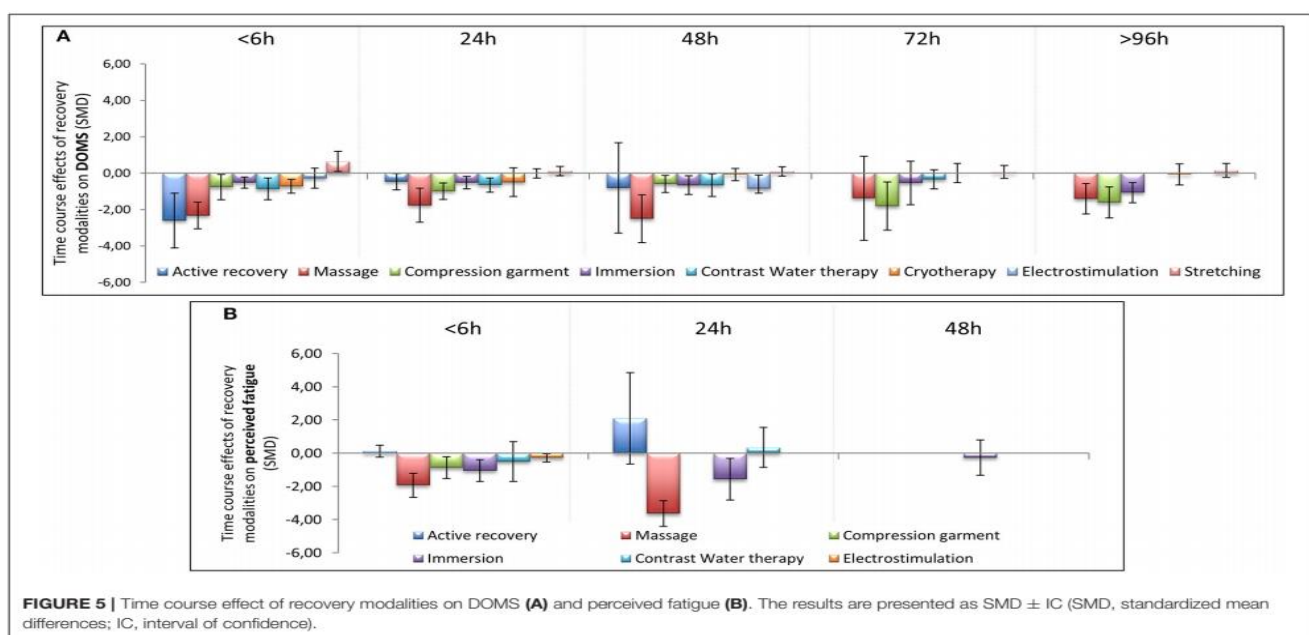
²⁸ Gatt A, Agarwal S, Zito PM. Anatomy, Fascia Layers. 2022 Jul 25. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2022 Jan-. PMID: 30252294.

²⁹ Shaw G, Lee-Barthel A, Ross ML, Wang B, Baar K. Vitamin C-enriched gelatin supplementation before intermittent activity augments collagen synthesis. *Am J Clin Nutr.* 2017 Jan;105(1):136-143. doi: 10.3945/ajcn.116.138594. Epub 2016 Nov 16. PMID: 27852613; PMCID: PMC5183725.

CAPITOLO 5: Metodi per recupero dei DOMS

In una ricerca di O. Dupuy del 2018 sulle metodiche di recupero dei DOMS sono stati confrontati i risultati di diversi programmi di recupero dal dolore indotto dai DOMS.

Sono stati osservati più indicatori del processo infiammatorio (IL6 interleuchina 6, CRP proteina C-reattiva) e marcatori del danno muscolare (CK creatin chinasi), confrontando poi i risultati di: recupero attivo, massaggio, massaggio combinato con lo stretching, indumenti compressivi, elettrostimolazione, idroterapia a contrasto, crioterapia.



Fra i metodi utilizzati il massaggio ha prodotto vantaggi più significativi nel recupero dall'affaticamento dei DOMS e, indipendentemente dal fatto che i soggetti fossero atleti o sedentari.

Anche la crioterapia ha avuto un impatto positivo sui DOMS, mentre il massaggio abbinato allo stretching sembra avere effetti benefici nella fatica percepita. Altre tecniche non hanno avuto un impatto significativo sui DOMS o sull'affaticamento, ma ne hanno avuto alcuni effetti sulle concentrazioni di CK, IL-6 e CRP nel sangue³⁰.

³⁰ O. Dupuy, *An Evidence-Based Approach for Choosing Post-exercise Recovery Techniques to Reduce Markers of Muscle Damage, Soreness, Fatigue, and Inflammation: A Systematic Review With Meta-Analysis*, 2018 <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00403>

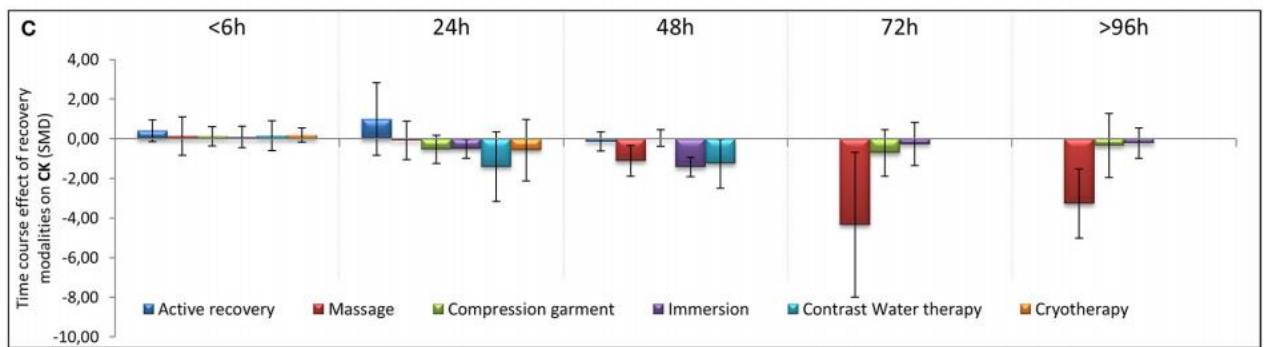


FIGURE 6 | Time course effect of recovery modalities on CRP (A), IL-6 (B), and CK (C). The results are presented as SMD ± IC (SMD, standardized mean differences; IC, interval of confidence).

5.1 Il rilascio miofasciale

Il rilascio auto-miofasciale (SMR) è un intervento utilizzato per migliorare la mobilità miofasciale.

Alcuni test hanno indotto il danno muscolare con l'esercizio seguito da un intervento SMR e hanno misurato gli effetti dell'SMR sui DOMS e sulle prestazioni muscolari. Due studi hanno utilizzato un *foam roller* applicando il peso corporeo del soggetto ad una cadenza standard.

Uno studio ha utilizzato una barra massaggiante a rulli commerciale che è stata fornita dai ricercatori utilizzando una pressione stabilita a una cadenza standard. Il periodo di intervento per tutti gli studi variava da 10 a 20 minuti.

L'autore ha misurato la flessibilità pre-test e post-test utilizzando il *sit and reach* test come principale misura di esito. Al termine dello studio, gli autori hanno riscontrato un aumento significativo ($p=0,03$, $r=0,21$) nei punteggi post-test e rispetto ai dati iniziali.

Venti soggetti hanno seguito lo stesso protocollo che includeva un programma di induzione del danno muscolare con esercizio composto da 10 serie da 10 ripetizioni di squat. Il gruppo sperimentale ha utilizzato poi il rullo per una sessione di 20 minuti. Il livello di dolore del soggetto è stato misurato ogni 30 secondi e la quantità di forza applicata al foam roller è stata misurata tramite una piastra di forza sotto il rotolo di schiuma. L'intervento del rullo consisteva in due attacchi di 60 secondi sulla coscia anteriore, posteriore, laterale e mediale. erano circonferenza della coscia, indolenzimento muscolare utilizzando una scala numerica di valutazione del dolore, ROM del ginocchio, MVC (massima contrazione volontaria) per l'estensione del ginocchio e l'attività neuromuscolare misurata tramite EMG.

Il trattamento con *foam roller* è risultato ridurre i livelli di dolore dei soggetti in tutti i punti, migliorando al contempo l'altezza del salto verticale post-test, l'attivazione muscolare e il ROM articolare rispetto al gruppo di controllo³¹.

³¹Cheatham SW, Kolber MJ, Cain M, Lee M. the effects of self-myofascial release using a foam roll or roller massager on joint range of motion, muscle recovery, and performance: a systematic review. Int J Sports Phys Ther. 2015 Nov;10(6):827-38. PMID: 26618062; PMCID: PMC4637917.

CAPITOLO 6: Conclusioni

Sebbene le teorie che spiegano la patogenesi del DOMS si siano concentrate a lungo sul muscolo scheletrico, si stanno accumulando prove che suggeriscono un ruolo di primo piano del tessuto connettivo. Sulla base della letteratura disponibile, le forze di deformazione associate alla contrazione eccentrica possono causare micro-rotture e infiammazioni della fascia profonda. Poiché la ricerca sperimentale dimostra chiaramente che la fascia è più sensibile al dolore del muscolo a seguito di irritazione chimica, termica, elettrica e meccanica, si può intendere che la rigidità dei tessuti molli a insorgenza ritardata (DOSS) sia un descrittore più preciso del fenomeno post-esercizio.

Dagli studi presi in oggetto sembrerebbe che ci sia una correlazione fra dolore e risposta infiammatoria a lunga insorgenza, ma che non sia strettamente correlata al solo danno strutturale del sarcomero.

Inoltre, sembra che i metodi di massaggio, rilascio miofasciale e integrazione di collagene possano avere effetto anche sulla percezione del dolore e sul recupero, ma gli studi che affrontano specificamente l'impatto dell'esercizio sulla morfologia e sulla meccanica della fascia sono ancora da approfondire.

In conclusione, la stretta correlazione fra fascia e tessuto muscolare emersa in quest'ambito di ricerca richiede un possibile nuovo approccio sia nei metodi di allenamento e sia nelle cure dei dolori post allenamento, attraverso tecniche che ricercano la mobilità e il trattamento del tessuto miofasciale.

BIBLIOGRAFIA

- <https://www.researchgate.net/publication/335005533>
C. Stecco, *Role_of_fasciae_in_nonspecific_low_back_pain*
- Front. Physiol., 19 May 2020 Sec. Striated Muscle Physiology
<https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00495>
- Gatt A, Agarwal S, Zito PM. Anatomy, Fascia Layers. 2022 Jul 25. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2022 Jan–. PMID: 30252294.
- Is “Delayed Onset Muscle Soreness” a False Friend? The Potential Implication of the Fascial Connective Tissue in Post-Exercise Discomfort
<https://doi.org/10.1080/23267224.1902.10649879>
- Amann M, Wan HY, Thurston TS, Georgescu VP, Weavil JC. On the Influence of Group III/IV Muscle Afferent Feedback on Endurance Exercise Performance. *Exerc Sport Sci Rev.* 2020 Oct;48(4):209-216. doi: 10.1249/JES.0000000000000233. PMID: 32658041; PMCID: PMC7492373.
- *Ergographic Studies in Muscular Soreness*
Theodore Houg <https://doi.org/10.1080/23267224.1902.10649879>
- *Delayed Muscle Soreness and Cytoskeletal Alterations: An Immunocytological Study in Man*, *Int J Sports Med* 1984; 05(1): 15-18 DOI: 10.1055/s-2008-1025873
- *A morphometric analysis of human muscle fibers with relation to fiber types and adaptations to exercise*, *JFrederick P.Prince* [https://doi.org/10.1016/0022-510X\(81\)90076-9](https://doi.org/10.1016/0022-510X(81)90076-9)
- *Difference in the magnitude of muscle damage between elbow flexors and knee extensors eccentric exercises*, *Tolga Saka*, PMCID: PMC3737787 PMID: 24150563
- MR imaging-guided muscle biopsy for correlation of increased signal intensity with ultrastructural change and delayed-onset muscle soreness after exercise 1992
<https://doi.org/10.1148/radiology.184.3.1509081>
- Yang W, Hu P. Skeletal muscle regeneration is modulated by inflammation. *J Orthop Translat.* 2018. jot.2018.01.002. PMID: 29662788; PMCID: PMC5892385.

- Mizumura, K., Taguchi, T. Delayed onset muscle soreness: Involvement of neurotrophic factors. *J Physiol Sci* 66, pp. 43–52 (2016). <https://doi.org/10.1007/s12576-015-0397-0>
- Yu, JG., Malm, C. & Thornell, LE. Eccentric contractions leading to DOMS do not cause loss of desmin nor fibre necrosis in human muscle. *Histochem Cell Biol* , 29–34 (2002). <https://doi.org/10.1007/s00418-002-0423-1>
- “Eccentric muscle contractions induce greater oxidative stress than concentric contractions in skeletal muscle” Michihiro Kon , Kai Tanabe, 2007 <https://doi.org/10.1139/H06-1155>
- Passerieux E, Rossignol R, Letellier T, Delage JP. Physical continuity of the perimysium from myofibers to tendons: involvement in lateral force transmission in skeletal muscle. *J Struct Biol*. 2007 Jul;159(1):19-28. doi: 10.1016/j.jsb.2007.01.022. Epub 2007 Mar 3. PMID: 17433715.
- Wilke J, Vleeming A, Wearing S. Overuse Injury: The Result of Pathologically Altered Myofascial Force Transmission *Exerc Sport Sci Rev*. 2019 Oct;47(4):230-236. doi: 10.1249/JES.0000000000000205. PMID: 31290768.
- L'Hocine Yahia, *Sensory innervation of human thoracolumbar fascia, 1991* <https://doi.org/10.3109/174536792091548222>
- Mense S. Innervation of the thoracolumbar fascia. *Eur J Transl Myol*. 2019 Sep 6;29(3):8297. doi: 10.4081/ejtm.2019.8297. PMID: 31579474; PMCID: PMC6767935.
- Sensory nerve fibers containing calcitonin gene-related peptide in gastrocnemius, latissimus dorsi and erector spinae muscles and thoracolumbar fascia in mice <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2015.01.062>
- A.Schilde ”Sensory findings after stimulation of the thoracolumbar fascia with hypertonic saline suggest its contribution to low back pain <https://doi.org/10.1016/j.pain.2013.09.025>
- Wilke J, Hespanhol L, Behrens M. Is It All About the Fascia? A Systematic Review and Meta-analysis of the Prevalence of Extramuscular Connective Tissue Lesions in Muscle Strain Injury. *Orthop J Sports Med*. 2019 Dec 24;7(12):2325967119888500. doi: 10.1177/2325967119888500. PMID: 31903399; PMCID: PMC6931154.

- Sarah Tenberg, Kazunori Nosaka, Jan Wilke et al. Fascia Thickness Increases Following Eccentric Exercise Leading to Delayed Onset Muscle Soreness, 24 August 2021, available at Research Square <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-826566/v1>
- Gibson, W., Arendt-Nielsen, L., Taguchi, T. *et al.* Increased pain from muscle fascia following eccentric exercise: animal and human findings. *Exp Brain Res* 194, 299–308 (2009). <https://doi.org/10.1007/s00221-008-1699-8>
- Lau WY, Blazeovich AJ, Newton MJ, Wu SS, Nosaka K. Changes in electrical pain threshold of fascia and muscle after initial and secondary bouts of elbow flexor eccentric exercise. *Eur J Appl Physiol.* 2015 May;115(5):959-68. doi: 10.1007/s00421-014-3077-5. Epub 2014 Dec 18. PMID: 25519953.
- Delayed-Onset Muscle Soreness: Temporal Assessment With Quantitative MRI and Shear-Wave Ultrasound Elastography
- Christoph A. Agten, Florian M. Buck, Linda Dyer, Martin Flück, Christian W. A. Pfirrmann, and Andrea B. Roskopf, *American Journal of Roentgenology* 2017 208:2, 402-412
- Gatt A, Agarwal S, Zito PM. Anatomy, Fascia Layers. 2022 Jul 25. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2022 Jan–. PMID: 30252294.
- Shaw G, Lee-Barthel A, Ross ML, Wang B, Baar K. Vitamin C-enriched gelatin supplementation before intermittent activity
- augments collagen synthesis. *Am J Clin Nutr.* 2017 Jan;105(1):136-143. doi: 10.3945/ajcn.116.138594. Epub 2016 Nov 16. PMID: 27852613; PMCID: PMC5183725.
- Cx Oliverira,Troncon Rosa:Antioxidant vitamin supplementation prevents oxidative stress but does not enhance performance in young football athletes. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2019.01.007>
- O. Dupuy, *An Evidence-Based Approach for Choosing Post-exercise Recovery Techniques to Reduce Markers of Muscle Damage, Soreness, Fatigue, and Inflammation: A Systematic Review With Meta-Analysis*, 2018 <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00403>

- Cheung K, Hume P, Maxwell L. Delayed onset muscle soreness: treatment strategies and performance factors. *Sports Med.* 2003;33(2):145-64. doi: 10.2165/00007256-200333020-00005. PMID: 12617692.
- *Cheatham SW, Kolber MJ, Cain M, Lee M. the effects of self-myofascial release using a foam roll or roller massager on joint range of motion, muscle recovery, and performance: a systematic review. Int J Sports Phys Ther.* 2015 Nov;10(6):827-38. PMID: 26618062; PMCID: PMC4637917
- Purslow PP (2020) The Structure and Role of Intramuscular Connective Tissue in Muscle Function. *Front. Physiol.* 11:495. doi: 10.3389/fphys.2020.00495
- Fasciae and nonspecific low back pain *Eur J Transl Myol* 29 (3): 159-163, 2019 - 159 - Role of *fasciae in nonspecific low back pain* *Gulia Casato (1), Carla Stecco (2), Riccardo Busin (1)*
- *Intermuscular force transmission along myofascial chains: a systematic review* *Frieder Krause, Jan Wilke, Lutz Voigt, Winfried Banzer* 2016
<https://doi.org/10.1111/joa.12464>
- Gatt A, Agarwal S, Zito PM. Anatomy, Fascia Layers. 2022 Jul 25. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2022 Jan–. PMID: 30252294.
- Lewis PB, Ruby D, Bush-Joseph CA. Muscle soreness and delayed-onset muscle soreness. *Clin Sports Med.* 2012 Apr;31(2):255-62. doi: 10.1016/j.csm.2011.09.009. Epub 2011 Nov 23. PMID: 22341015.
- S. Adamo, P Comoglio, *Istologia per corsi di laurea e professioni sanitarie*, Piccin Editore, 2017
- L. Sherwood, *Fondamenti di Fisiologia umana*, Piccin Editore, 2012

Ringraziamenti

Prima di tutti vorrei ringraziare il mio relatore, la professoressa Carla Stecco, per la pazienza e la disponibilità dimostrata nell'accompagnarmi a questo traguardo e nel venire incontro anche alle mie esigenze, grazie di cuore.

Poi non posso che pensare a Paola e a Irene, la mia famiglia, per tutta la pazienza dimostrata nel supportarmi e sopportarmi in questi anni. Grazie, senza di voi e il vostro sostegno non avrei potuto farlo.

Ai miei fratelli, sempre presenti.

A tutti gli amici che mi hanno incoraggiato, agli amici con cui ho condiviso anni di sport, di allenamenti e di agonismo.

A Nicola, a Lisa, sempre disponibili per le tante esigenze che lo studio accademico richiede, a Margherita per l'aiuto e il sostegno fornito.

Grazie a tutti i fantastici ragazzi con cui ho condiviso sacrifici e momenti di gioia lungo il percorso. Grazie, siete "la meglio gioventù".

Grazie ai docenti e all'Università di Padova, non so esprimere l'orgoglio di conseguire una laurea in questa Università.

E voglio ringraziare anche me stesso per averci creduto, con ostinazione, nonostante le difficoltà.