

**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**

Dipartimento di Scienze Biomediche

Corso di Laurea Triennale in Scienze Motorie

Tesi di Laurea

**MONITORAGGIO DEGLI ADATTAMENTI DI CARICO E FORZA DEGLI  
ESTENSORI DI GINOCCHIO DURANTE UN PERIODO DI ALLENAMENTO  
CON O SENZA SOVRACCARICO ECCENTRICO**

Relatore: Prof. Martino Franchi

Laureando: Riccardo Lazzari

N° di matricola: 1230031

Anno accademico 2021/2022

## INDICE

<b>1. INTRODUZIONE</b> .....	5
<b>2. IL MUSCOLO SCHELETRICO E LA FUNZIONE MUSCOLARE</b> ...	6
2.1 Il tessuto muscolare scheletrico e le sue funzioni.....	6
2.2 I tessuti connettivi del muscolo scheletrico.....	6
2.3 Il sarcomero.....	8
2.3.1 Filamento di actina.....	9
2.3.2 Filamento di miosina.....	10
2.3.3 Proteine non contrattili.....	10
2.4 Tipologie di fibre muscolari.....	11
2.5 La teoria dei filamenti scorrevoli.....	13
<b>3. LE CONTRAZIONI MUSCOLARI</b> .....	17
3.1 Tipi di azioni muscolari.....	17
3.2 La curva forza-velocità.....	20
3.3 Relazione tensione-lunghezza.....	22
<b>4. LA CONTRAZIONE ECCENTRICA</b> .....	23
4.1 Esercizio eccentrico e controllo nervoso.....	23
4.2 Esercizio eccentrico e adattamenti metabolici.....	23
4.3 Esercizio eccentrico ed unità motorie.....	25
4.4 Esercizio eccentrico e forza muscolare.....	25
4.5 Esercizio eccentrico e recupero.....	26
4.6 Contrazione eccentrica sovra massimale.....	26
<b>5. SCOPO DELLA TESI</b> .....	27
<b>6. MATERIALI E METODI</b> .....	28
6.1 Soggetti reclutati.....	28
6.2 Study design.....	29
6.3 La macchina utilizzata.....	30
6.4 Variabili considerate.....	31
6.4.1 Volume di allenamento.....	31
6.4.2 1RM Indiretto, 4-6 RM.....	32
6.4.3 Scala di Borg.....	33
6.4.4 Scala di Soreness.....	34

6.4.5 GPAQ.....	35
<b>7. ANALISI DEI DATI E RISULTATI.....</b>	<b>36</b>
7.1.1 Volume di allenamento.....	37
7.1.2 1RM Indiretto, 4-6 RM.....	40
7.1.3 Scala di Borg.....	44
7.1.4 Scala di Soreness.....	46
7.1.5 GPAQ.....	50
<b>8. DISCUSSIONE E CONCLUSIONI.....</b>	<b>51</b>
<b>9. BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>54</b>



## **1. INTRODUZIONE**

La presente tesi di laurea si occupa di studiare e di valutare il monitoraggio degli adattamenti di carico e di forza negli estensori di ginocchio durante un periodo di allenamento della durata di 4 settimane con o senza sovraccarico eccentrico. Lo studio a cui ho preso parte è stato eseguito presso l'Istituto di Fisiologia dell'Università di Padova in cui, assieme ad altri 5 tesisti del terzo anno del corso di studio di Scienze Motorie ad altri due dottorandi, e al promotore dello studio, il professore Martino Franchi ho potuto effettuare una ricerca scientifica sperimentale sul sovraccarico eccentrico attraverso l'analisi dei dati ottenuti alla fine dello studio potendoli poi confrontare con le teorie che attualmente la ricerca scientifica sportiva sta verificando in merito a possibili benefici che un suo utilizzo può avere rispetto all'utilizzo di una metodica di allenamento tradizionale. L'elaborato definisce nei primi capitoli l'anatomia macroscopica, microscopica e la fisiologia del tessuto muscolo-scheletrico concentrandosi sull'analisi delle differenti tipologie di contrazioni muscolari esistenti, la relazione che intercorre tra lunghezza muscolare e forza muscolare e tra quest'ultima e la velocità con cui si va a contrarre il muscolo. Nel quarto capitolo vengono descritte le caratteristiche della contrazione muscolare eccentrica e i relativi adattamenti che il suo utilizzo comporta mentre il quinto ed il sesto si addentrano nella spiegazione dello scopo dello studio e dei materiali e dei metodi utilizzati. Infine, gli ultimi capitoli dell'elaborato si concentrano sulla presentazione dei risultati ottenuti, sulla discussione e possibili conclusioni da poter trarre da questo studio scientifico.

## **2. IL MUSCOLO SCHELETRICO E LA FUNZIONE MUSCOLARE**

### **2.1 Il tessuto muscolare e le sue funzioni**

Il tessuto muscolare è costituito da cellule muscolari ed è il più abbondante dei 4 tipi fondamentali che compongono il corpo degli animali e dei vertebrati. Esso è distinguibile in 3 tipologie diverse:

- quello cardiaco (striato ed involontario)
- quello liscio (liscio ed involontario)
- quello scheletrico (striato e volontario)

Fornire forza contrattile per la locomozione e per il mantenimento della postura e della posizione è stata storicamente vista come la principale funzione del muscolo scheletrico. Tuttavia, recentemente è diventato sempre più chiaro come in realtà possedga molti più compiti. Il muscolo scheletrico svolge importanti funzioni collegate con la vita vegetativa fra cui respirare e deglutire e svolge inoltre un ruolo chiave nella regolazione del bilancio energetico dell'intero organismo e della glicemia (1). È stato osservato inoltre come il lavoro prodotto dal muscolo scheletrico secerna miochine e quindi funzioni efficacemente come un organo endocrino, di conseguenza un'elevata attività muscolare è ritenuta responsabile degli effetti antinfiammatori importanti nel controllo del diabete di tipo 2, delle malattie cardiovascolari, del cancro e delle malattie neurodegenerative (2).

### **2.2 Il tessuto connettivo del muscolo scheletrico**

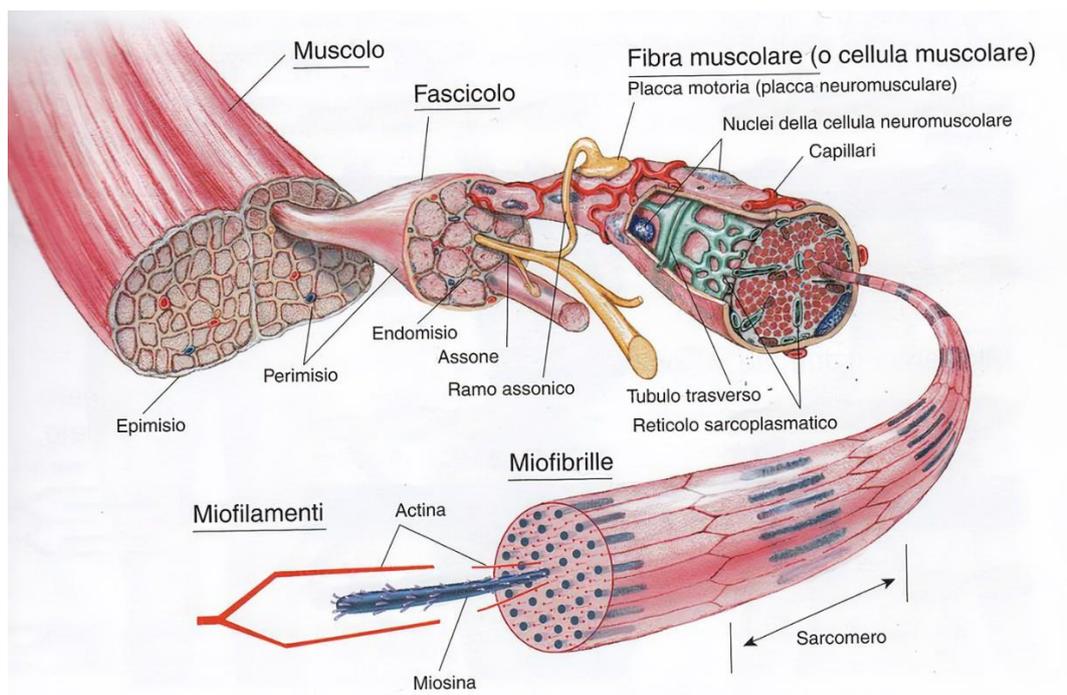
In ogni muscolo scheletrico sono presenti 3 strati concentrici di tessuto connettivo:

- l'epimisio: è lo strato di tessuto connettivo più esterno. Esso risulta essere denso ed irregolare e delimita l'intero muscolo, isolandolo dai tessuti circostanti e connettendolo alla fascia profonda;
- il perimisio: è lo strato di tessuto connettivo intermedio. Esso suddivide il muscolo in compartimenti interni, ciascuno contenente un fascio di fibre muscolari definito fascicolo; inoltre, fra le fibre

elastiche e di collagene del tessuto si diramano i nervi e i vasi sanguigni;

- l'endomisio: è lo strato di tessuto connettivo più interno. Esso circonda ciascuna fibra muscolare, connettendole l'una all'altra ed è attraversato dai capillari sanguigni. All'interno di quest' ultimo si trovano inoltre le cellule satelliti, cellule staminali che intervengono nella riparazione del tessuto muscolare danneggiato (3).

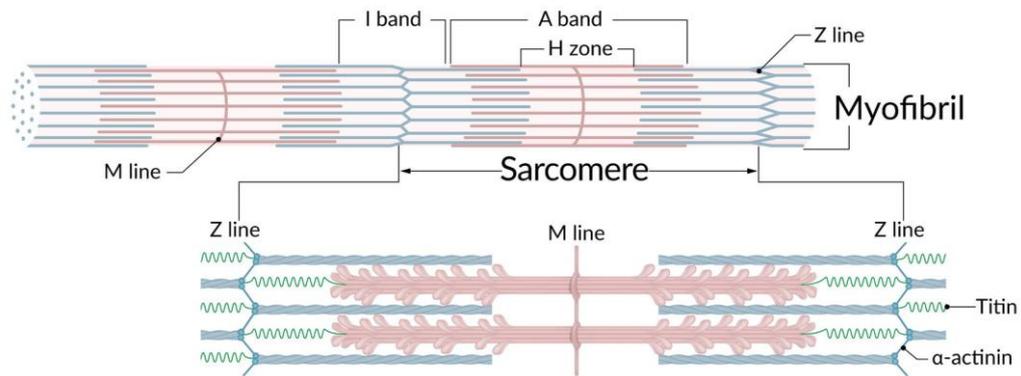
Le guaine dei tessuti connettivi che circondano e che rivestono il muscolo scheletrico si uniscono per formare i tendini che contribuiscono ad assicurare la trasmissione della forza generata dal muscolo all'osso, permettendo la stabilizzazione ed il sostegno delle varie componenti del muscolo.



**Figura 2.2.1**– Struttura del muscolo scheletrico, tratto da Google Images

### **2.3 Le miofibrille e il sarcomero**

Una fibra muscolare scheletrica contiene numerose miofibrille, ossia strutture cilindriche intracellulari, che si estendono per l'intera lunghezza della fibra. Esse sono formate da una regolare disposizione di elementi citoscheletrici altamente specializzati: i filamenti spessi e i filamenti sottili costituiti rispettivamente da actina e da miosina, le proteine contrattili del muscolo. Le miofibrille sono organizzate in sarcomeri, le più piccole unità funzionali del muscolo scheletrico in grado di accorciarsi. Esse vengono definite come l'area compresa all'interno di 2 linee Z, ossia dei dischi citoscheletrici che uniscono i filamenti sottili di 2 sarcomeri adiacenti. Osservando una miofibrilla al microscopio elettronico, si possono osservare un'alternanza di bande scure (bande A) e di bande chiare (bande I). Una banda A è costituita dai filamenti spessi insieme alle parti dei filamenti sottili che si sovrappongono agli stessi. I filamenti spessi trovandosi esclusivamente all'interno della banda A, formano nella zona dove non vi è la sovrapposizione dei filamenti sottili la zona H, la cui zona centrale è definita come linea M, costituita da proteine di supporto la cui funzione è quella di mantenere i filamenti di miosina al suo posto. Una banda I invece è formata dalle porzioni rimanenti dei filamenti sottili che non si sovrappongono ai filamenti spessi della banda A. Quando il sarcomero si accorcia, i filamenti di actina scivolano sopra ai filamenti di miosina determinando così una riduzione delle dimensioni della zona H, la miosina si porta nella banda I, e conseguentemente a ciò le linee Z si avvicinano alle estremità dei filamenti della stessa (4). Quando invece il sarcomero si rilassa e ritorna alla sua lunghezza iniziale, la zona H e la banda I ritornano alla loro dimensione e al loro aspetto originario, poiché vi è una minore sovrapposizione di miosina e di actina mentre la banda A non cambia di lunghezza durante l'accorciamento o l'allungamento del sarcomero, confermando e spiegando quindi come sia l'actina a scivolare sulla miosina e non viceversa.



**Figura 2.3.1–** Struttura del sarcomero, tratta da Google Images

### 2.3.1 Filamento di actina

L'actina, o filamento sottile, è composta da due eliche di molecole di actina intrecciate. I filamenti di actina sono connessi alle linee Z e si dipartono da ciascuna verso il centro del sarcomero. Ogni molecola di actina possiede un sito attivo ossia il punto in cui le teste dei ponti trasversali della miosina possono legarsi al filamento di actina e determinare così l'accorciamento del muscolo. Avvolte intorno al filamento di actina vi sono la tropomiosina e la troponina, due molecole proteiche regolatrici. La prima è una molecola a forma di bastoncino che si avvolge intorno al filamento inserendosi in un solco creato dall'intreccio delle eliche delle molecole di actina. La seconda invece è composta da tre subunità proteiche regolatorie: La troponina I che possiede un'affinità per l'actina e mantiene il complesso troponina-tropomiosina legato alle molecole della stessa, la troponina T che possiede un'affinità per la tropomiosina e che mantiene la troponina legata alla molecola di tropomiosina ed infine la troponina C che possiede delle subunità con un'alta affinità di legame per il calcio, il quale legame rappresenta lo stimolo all'interno della fibra muscolare che determina l'attivazione muscolare, a causa del suo ruolo nel provocare l'esposizione del sito attivo della molecola actina tramite una serie di eventi (5). Complessi proteici di troponina si ritrovano a intervalli regolari lungo la molecola di tropomiosina.

### **2.3.2 Filamento di miosina**

Ogni filamento spesso possiede centinaia di molecole di miosina raggruppate insieme in una specifica disposizione. Ciascuna molecola di miosina possiede una testa globulare, un fulcro che funge da cardine e una coda fibrosa. Affinchè i filamenti di miosina e actina possano scorrere gli uni sugli altri, la loro struttura molecolare deve consentire loro di interagire in qualche modo e di sviluppare una forza che li faccia scivolare uno sull'altra. Le teste delle molecole di miosina costituiscono i ponti trasversali ossia la parte del filamento miosinico che interagisce con l'actina e sviluppa forza per attirare i filamenti di actina sui filamenti di miosina. Ogni ponte trasversale possiede 2 siti cruciali per il processo di contrazione: un sito di legame per l'actina e un sito miosinico ATP-asi che idrolizza l'ATP tramite l'enzima ATPasi miosinica. Vi sono diverse isoforme o tipi di ATPasi miosinica a livello del ponte trasversale. L'isoforma specifica espressa da una fibra determina in molti modi il tipo e di conseguenza le caratteristiche contrattili di tale fibra.

### **2.3.3 Proteine non contrattili**

Il ruolo delle proteine non contrattili è fondamentale per la funzione muscolare. A livello del sarcomero, sono necessarie per fornire la struttura reticolare per il posizionamento dei filamenti proteici di actina e di miosina e per contribuire alla componente elastica della fibra muscolare (6). Fra le più importanti troviamo la titina, conosciuta anche come connectina, una proteina gigante che connette la linea Z alla linea M e stabilizza la miosina nell'asse longitudinale. La titina è la proteina più lunga nel corpo e grazie alle sue proprietà, contribuisce in maniera importante alla rigidità passiva del muscolo e all'elasticità muscolare ossia alla capacità del muscolo di ritornare alla sua lunghezza di riposo dopo essere stato allungato, influenzando a sua volta sulla forza prodotta dal muscolo stesso. Un'altra proteina non contrattile molto importante è la nebulina che si estende a partire dalla linea Z ed è localizzata nella banda I, e stabilizza l'actina.

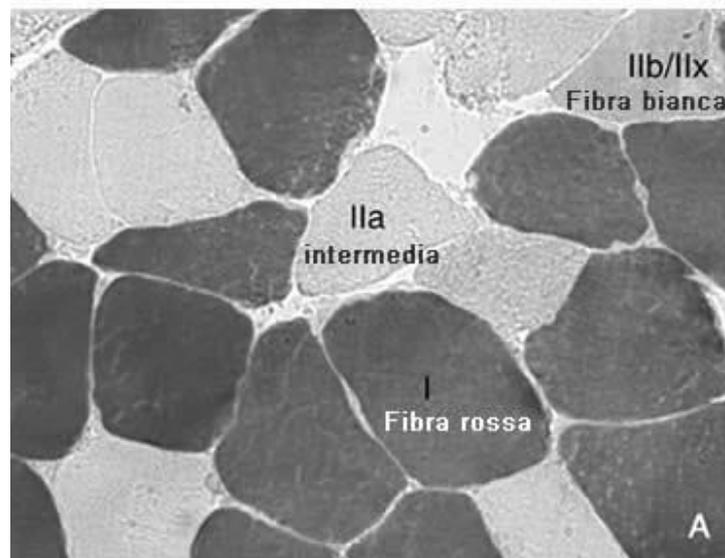
## 2.4 Tipologie di fibre muscolari

Le fibre muscolari scheletriche possono essere distinte in tre tipologie in base

alle loro capacità biochimiche di sintetizzare e di idrolizzare ATP:

- Fibre ossidative lente (tipo I)
- Fibre ossidative rapide (tipo IIa)
- Fibre glicolitiche rapide (tipo IIx)

Le principali differenze che distinguono le tre categorie di fibre sono la loro velocità di contrazione e il tipo di meccanismo enzimatico principalmente utilizzato per la formazione di ATP. Le fibre rapide hanno una più alta attività ATPasica miosinica rispetto a quelle lente. Più elevata è l'attività ATPasica, più ATP viene idrolizzata e maggiore è l'energia messa a disposizione per il ciclo dei ponti trasversali. Il risultato è una contrazione più rapida rispetto alle fibre che idrolizzano ATP più lentamente (7). I tipi di fibre differiscono anche per la capacità di sintetizzare l'ATP.



**Figura 2.4.1**– Le differenti tipologie di fibre muscolari al microscopio elettronico, tratta da Google Images

Le fibre di tipo I appaiono rosse per via degli alti livelli di mioglobina una molecola importante in grado di legare l'O<sub>2</sub>, inoltre, in loro sono presenti anche un elevato numero di capillari e di mitocondri. Per questi motivi esse risultano essere meglio equipaggiate per la fosforilazione ossidativa e per

la respirazione cellulare permettendo una maggiore produzione di ATP, a differenza delle altre che si basano principalmente sulla glicolisi anaerobica per sintetizzarlo. Questa loro caratteristica rende le fibre ossidative più inclini a pratiche di resistenza muscolare possedendo una maggiore disponibilità energetica e producendo e accumulando minori quantità di lattato (8). Tuttavia, per raggiungere la tensione massima in queste fibre ci vuole un tempo di circa 110 ms. Le fibre glicolitiche, invece a differenza delle fibre rosse, contengono pochi mitocondri ma un maggior numero di enzimi per la glicolisi anaerobica. Inoltre, per rifornire le grandi quantità di glucosio necessarie per la glicolisi, queste fibre possiedono una grande riserva di glicogeno. Data la minor necessità di O<sub>2</sub> delle fibre glicolitiche rispetto alle ossidative, sono meno capillarizzate e possiedono un minor contenuto di mioglobine; per questo motivo presentano un colore pallido e vengono talvolta chiamate fibre bianche. Per questi motivi possono raggiungere tensioni di picco in meno della metà del tempo, appena 50 ms; quindi, risultando essere ideali per attività di forza e di potenza. Tuttavia, si affaticano rapidamente e hanno una limitata capacità di svolgere attività che richiedono alti livelli di resistenza muscolare.

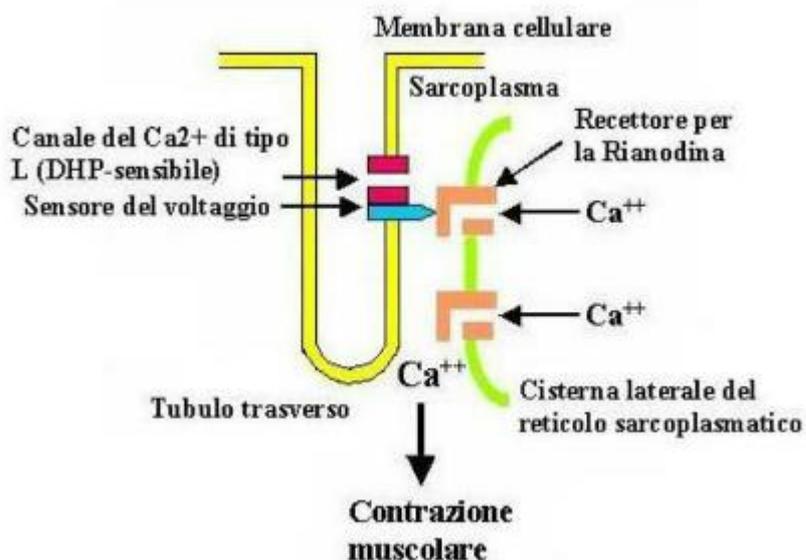
<b>Caratteristica</b>	<b>Tipo I</b>	<b>Tipo IIa</b>	<b>Tipo IIb</b>
<b>Dimensione motoneurone</b>	Piccolo	Medio	Grande
<b>Tempo di contrazione</b>	Lento	Moderatamente veloce	Veloce
<b>Produzione di forza</b>	Bassa	Moderata	Alta
<b>Resistenza alla fatica</b>	Alta	Moderata	Bassa
<b>Densità mitocondriale</b>	Alta	Moderata	Bassa
<b>Capacità ossidativa</b>	Alta	Alta	Bassa
<b>Capacità glicolitica</b>	Bassa	Alta	Alta
<b>Densità capillare</b>	Alta	Moderata	Bassa
<b>Contenuto di mioglobina</b>	Alto	Moderato	Basso
<b>Deposito di glicogeno</b>	Bassi	Alti	Alti
<b>Deposito di trigliceridi</b>	Alti	Moderati	Bassi

*Figura 2.4.2– Le caratteristiche delle differenti tipologie di fibre muscolari, tratta dal libro “Scienza e sviluppo della ipertrofia muscolare” di Brad Schoenfeld*

## **2.5 La teoria dei filamenti scorrevoli**

Fino alla metà del XX secolo il modo in cui il muscolo si contraeva per consentire la produzione della forza era un mistero, fino a quando fu proposta una interessante teoria da due gruppi di scienziati. Questa teoria, denominata la teoria dei filamenti scorrevoli, fu presentata in due diversi articoli pubblicati su Nature nel 1954, uno di Andrew Huxley e Rolf Niedergerke e un altro di Hugh Huxley e Jean Hanson. In tali articoli, furono fornite le prove sperimentali che hanno rivelato come il muscolo si accorci producendo così forza. In una condizione di riposo, la disposizione dei filamenti di actina e miosina determina uno schema ripetitivo di zone chiare e scure. Nello stato di contrazione vi sono ancora delle strie, ma esse presentano uno schema diverso; questo cambiamento si verifica a causa dello scorrimento dell'actina al di sopra della miosina. Il numero di interazioni tra i complessi actomiosinici stabilisce la quantità di forza prodotta. A riposo, i ponti trasversali dei filamenti di miosina sono molto vicini ai filamenti di actina, ma non possono interagire per causare l'accorciamento poiché i siti attivi della stessa sono coperti dai filamenti proteici della tropomiosina. Al fine di produrre un'interazione con il filamento di actina, le teste dei ponti trasversali della miosina devono essere capaci, dunque, di legarsi ai siti attivi della proteina actina e che quindi, i filamenti proteici della tropomiosina si spostino per scoprire i siti attivi dell'actina. Questo spostamento essenziale della tropomiosina è scatenato da un aumento della concentrazione di  $Ca^{+}$  citosolico della fibra muscolare. L'eccitamento iniziale della fibra prende il via con un impulso elettrico che ha inizio nella giunzione neuromuscolare, la sinapsi che unisce il motoneurone alla cellula muscolare, quando il neurotrasmettitore si lega ai suoi recettori sulla sua superficie. Questo impulso elettrico, individuato innanzitutto alla giunzione neuromuscolare, si diffonde attraverso la membrana della fibra, detto anche sarcolemma, per mezzo dei tuboli trasversi o tuboli T, arrivando nel reticolo sarcoplasmatico, una struttura delimitata da membrana che circonda ciascuna miofibrilla all'interno della fibra muscolare e agisce da magazzino per il deposito di  $Ca^{+}$ . Quando

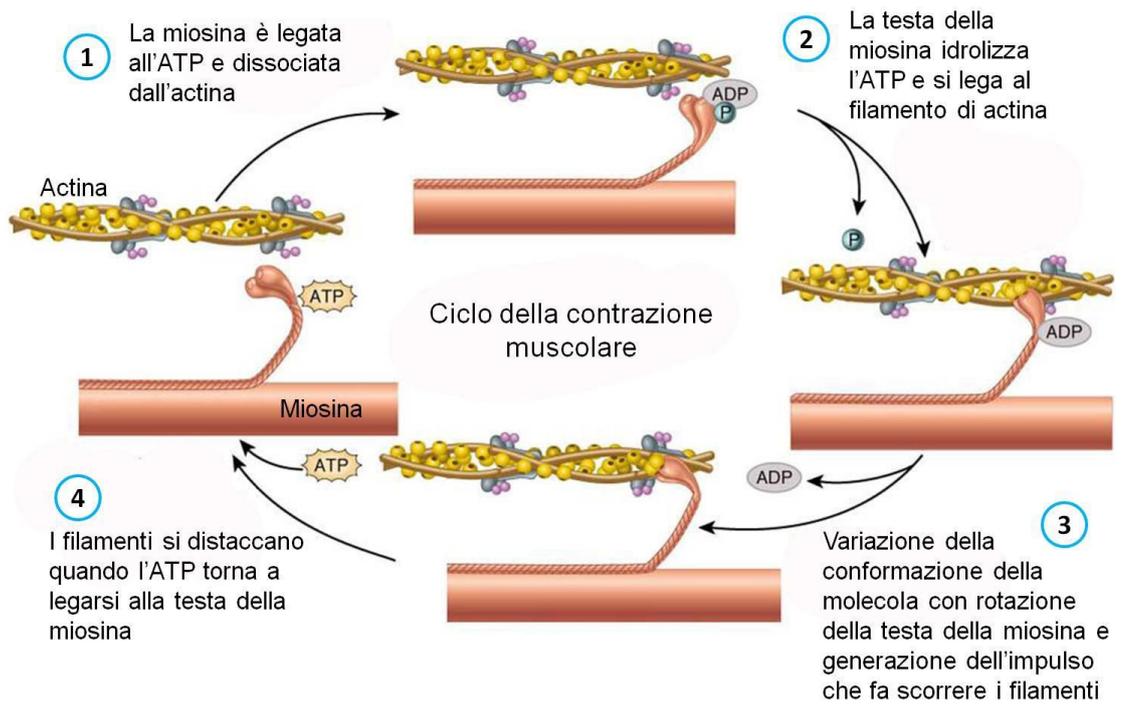
l'impulso elettrico viaggia lungo i tuboli T, eccita le proteine chiamate recettori DHP, che agiscono come sensori di voltaggio. In occasione di questa eccitazione, questi sensori interagiscono con i recettori rianodinici localizzati nella membrana del reticolo sarcoplasmatico, che non sono in realtà canali che, quando stimolati dai sensori di voltaggio dei tuboli T, si aprono per consentire un rilascio improvviso di  $\text{Ca}^{++}$  dal reticolo sarcoplasmatico nel citosol della fibra muscolare. Il  $\text{Ca}^{++}$  rilasciato si lega poi alla troponina C, sottounità del complesso proteico della troponina e questa interazione è ciò che in ultima istanza scatena un cambiamento conformazionale nella tropomiosina, impedendole così di coprire i siti attivi sul filamento di actina che rimangono di conseguenza esposti.



**Figura 2.5.1**– Meccanismo di rilascio del  $\text{Ca}^{2+}$  dal reticolo sarcoplasmatico, tratta da Google Images

Arrivati in questa situazione, i siti attivi dell'actina sono esposti e le teste dei ponti trasversali della miosina possono iniziare a legarsi. Questo processo si suddivide in due fasi distinte. Prima vi è uno stato debole, che in condizioni di non affaticamento è seguito da una fase di legame forte, che consente un maggiore e più rapido sviluppo di forza. In condizioni di affaticamento, tuttavia, il passaggio dallo stato di legame debole a quello di legame forte non si verifica, determinando un minore e più lento sviluppo di forza. Quando i filamenti di actina e miosina si uniscono, si forma il

complesso proteico acto-miosinico. Una volta che si verifica questa reazione, le teste dei ponti trasversali della miosina trascinano l'actina verso il centro del sarcomero producendo forza. Questo movimento dei ponti trasversali della miosina è chiamato power stroke: la testa ruota sul suo fulcro che funge da cardine e tira il filamento di actina verso il filamento di miosina, facendo accorciare il sarcomero e portando le linee Z più vicine le une alle altre. Affinché la testa della miosina si distacchi dal sito attivo, una molecola di ATP si lega alla stessa, scindendo il complesso actomiosinico. Dopo di ciò, l'ATPasi miosinica che si trova sulla testa dei ponti trasversali della miosina idrolizza l'ATP e l'energia viene usata per sollevare nuovamente la testa, così che questa si venga a trovare sopra ad un nuovo sito attivo più vicino alla linea Z. L'ADP e il Pi inorganico formati dalla scissione di ATP rimangono legati alla testa della miosina. In questo stato energizzato, la testa del ponte trasversale è pronta per l'interazione successiva con un altro sito attivo scoperto più vicino alla linea Z. Dopo un legame debole al nuovo sito attivo sull'actina per iniziare il power stroke successivo, il Pi è rilasciato dalla testa della miosina. Alla fine del power stroke, l'ADP è rilasciato dalla miosina e la testa della miosina è di nuovo strettamente legata al sito attivo dove rimane finché una nuova molecola di ATP si lega alla testa della miosina, separandola dal sito di legame attivo. Il ciclo dunque si ripete, determinando un movimento di scorrimento di power stroke ripetitivi. Questa sequenza ciclica continuerà a ripetersi fintanto che la fibra muscolare non verrà più eccitata dal sistema nervoso, a quel punto, non si verifica nessun ulteriore rilascio di  $\text{Ca}^{+}$  dal reticolo sarcoplasmatico, inducendo la pompa  $\text{Ca}^{+}$  localizzata nella membrana dell'organulo a far ritornare i livelli di  $\text{Ca}^{+}$  citosolico a quelli osservati a riposo. A causa della riduzione della concentrazione di  $\text{Ca}^{+}$  nel citosol, la subunità troponina C non si legherà più al  $\text{Ca}^{+}$ , inducendo la troponina a smettere di tirare sul filamento di tropomiosina, e consentendogli di coprire di nuovo i siti attivi del filamento di actina. Di conseguenza, le teste dei ponti trasversali della miosina non potranno più legarsi ai siti attivi per formare i complessi actomiosinici necessari ad attuare il power stroke.



**Figura 2.5.2**– Ciclo dei ponti trasversali, tratta da Google Images

### **3.LE CONTRAZIONI MUSCOLARI**

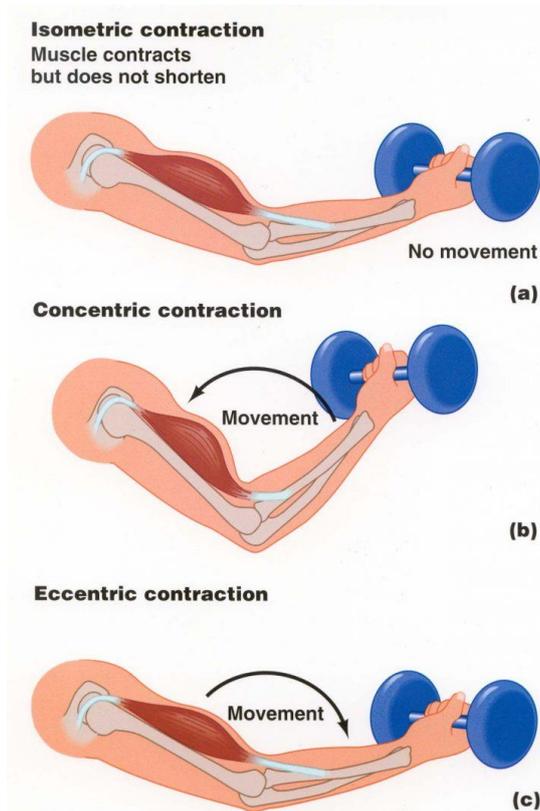
La capacità del muscolo di generare forza è essenziale non solo per le prestazioni sportive, ma anche per la capacità di svolgere i compiti quotidiani. Tenendo presente questo aspetto, è importante capire dunque i diversi tipi di azioni muscolari, le modalità di esercizio e in che modo la forza, la potenza e la velocità contrattile siano correlate le une alle altre.

#### **3.1 Tipi di azioni muscolari**

Esistono 2 principali tipologie di contrazioni muscolari, a seconda che il muscolo cambi o non cambi la sua lunghezza nel suo tentativo di contrarsi. Durante una contrazione isotonica, la tensione muscolare rimane costante mentre il muscolo cambia lunghezza. Nella contrazione isometrica, invece, al muscolo è impedito di accorciarsi, così la tensione si sviluppa ad una lunghezza muscolare costante. Il termine isotonico è il termine che più diffusamente viene utilizzato per descrivere i tipi di esercizio contro resistenza, tuttavia, solitamente la quantità di forza espressa durante l'arco di movimento varia, e dunque un'azione muscolare isotonica propriamente detta tipicamente non si verifica in quanto essa risulta essere replicabile solamente tramite l'utilizzo di un sistema di resistenze computerizzato avanzato che modula la forza e la velocità di movimento. Di conseguenza al posto del termine isotonico, è stato concettualizzato l'idea di resistenza costante e dinamica per descrivere questa tipica attività muscolare, o contrazione anisotonica (9). Esistono 2 tipologie di contrazioni muscolari anisotoniche: la contrazione concentrica e la contrazione eccentrica. Normalmente, quando un peso viene sollevato, i muscoli implicati si accorciano (azione muscolare concentrica), da qui il termine "contrazione". Durante tali azioni, la forza prodotta dal muscolo supera quella imposta dalla resistenza, o carico. Nella azione muscolare eccentrica invece, il carico o resistenza applicata è maggiore della forza prodotta dal muscolo, ciò può avvenire quando il muscolo si sta esercitando alla sua massima forza, ma tale capacità è insufficiente per superare la resistenza applicata;

oppure quando un soggetto riduce volontariamente la produzione di forza muscolare, per consentire al muscolo di allungarsi gradualmente. In un caso o nell'altro le teste della miosina interagiscono con il sito attivo dei filamenti di actina per rallentare l'allungamento del muscolo tramite i legami che si vengono a creare, ma non completano il normale movimento di scorrimento-accorciamento.

A differenza di queste due tipologie di contrazioni, nella contrazione muscolare isometrica invece, le teste della miosina continuano ad attaccarsi e a distaccarsi a livello dello stesso, o quasi lo stesso, sito attivo filamento di actina, non permettendo di rendere visibile nessun movimento. La forza, nonostante tutto viene comunque sviluppata dal tentativo di accorciarsi ed è dunque pari alla resistenza che si oppone al movimento.



**Figura 3.1.1**– Contrazioni isotoniche e contrazioni isometriche, tratta da Google Images

Le contrazioni isotoniche possono essere a loro volta raggruppate all'interno di una categoria di contrazioni muscolari più ampia, le contrazioni

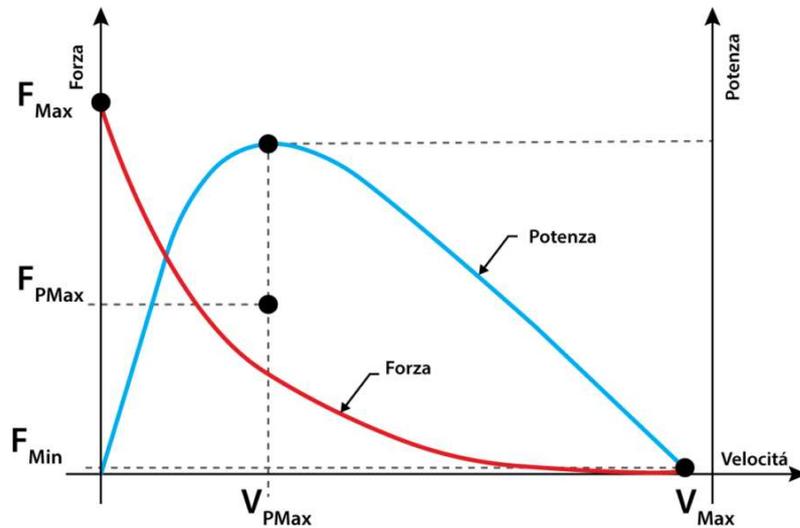
dinamiche. All'interno di questa categoria di contrazioni, possiamo trovare altre tipologie di contrazioni interessanti, e altrettanto utili se ben utilizzate:

- Le contrazioni isocinetiche che si verificano quando il muscolo sviluppa il massimo sforzo per tutta l'ampiezza del movimento, accorciandosi a velocità costante (tensione variabile); sono contrazioni ottenibile attraverso particolari macchine definite per l'appunto isocinetiche;
- Le contrazioni isoinerziali che si verificano quando devono vincere la medesima inerzia per l'intero range di movimento, anche queste tipologie di contrazioni sono ottenibili attraverso particolari macchine definite per l'appunto isoinerziali;
- Le contrazioni auxotoniche che sono particolari tipologie di contrazioni muscolari ottenibili attraverso l'allenamento con gli elastici nella quale, la tensione muscolare cresce progressivamente man mano che il muscolo si accorcia;
- Le contrazioni pliometriche che sono delle particolari contrazioni concentriche esplosive, in grado di sfruttare l'energia che si accumula nelle strutture elastiche dalla precedente e rapida contrazione eccentrica.

### 3.2 curva forza-velocità

La curva forza-velocità dimostra come influisce il cambiamento di velocità del movimento sulla capacità di espressione della forza massima del muscolo. Questa relazione classica è stata descritta per la prima volta in esperimenti che hanno fatto uso del muscolo isolato condotti dal premio Nobel Archibald Vivian Hill dell'University College di Londra. La relazione tra la forza massima che un muscolo può produrre e la velocità di movimento dipende dal tipo di azione muscolare utilizzata. Esistono delle significative differenze nella relazione forza-velocità tra le azioni muscolari concentrica, eccentrica ed isometrica. Dal grafico si può notare come la contrazione isometrica si intersechi con il valore 0 dell'asse della velocità; mentre analizzando la curva F-V della contrazione concentrica si può notare come con l'aumentare della velocità di movimento la produzione della forza si riduce moltissimo in fase iniziale, quando però la velocità continua ad aumentare il declino della forza diventa più moderato. Nonostante ciò, a qualunque velocità, la forza massima prodotta da un'azione muscolare concentrica è minore di quella di un'azione isometrica massimale. Nel caso invece ci si muovesse a velocità crescente in un'azione eccentrica, la forza massima in realtà aumenta quando la velocità aumenta, dapprima molto marcatamente, ma all'aumentare della velocità, gli incrementi di produzione della forza eccentrica diventano più moderati, raggiungendo infine un livello stazionario. A qualunque velocità dell'azione eccentrica, la forza massima prodotta è sempre maggiore che durante azioni isometriche massimali. Si è ritenuto che l'aumentare della produzione della forza a velocità crescenti durante le azioni eccentriche sia dovuto alla componente elastica del muscolo. La maggior parte dei programmi di allenamento si incentra sulla fase concentrica della curva forza-velocità per aumentare la potenza muscolare ossia la capacità di esprimere quanta più forza possibile nel minor tempo; pertanto, un allenamento appropriato della forza e della potenza può spostare l'intera curva forza-velocità verso l'alto e a destra. Come possiamo notare dal grafico, i maggiori livelli di potenza che si riescono ad esprimere avvengono quando ci si sta allenando a circa 1/3

della massima forza e della massima velocità di movimento, ovvero a circa il 40% di entrambe. Migliorare la potenza sull'intera curva dunque data la sua interdipendenza dalla forza e dalla velocità, richiede un programma di allenamento che faccia uso di protocolli sia per l'allenamento intenso della forza (carichi maggiori del 80 percento della 1RM) sia per l'allenamento balistico a velocità elevata ad esempio la pliometria.



**Figura 3.2.1**– Curva forza-velocità, tratta da Google Images

### 3.3 relazione tensione-lunghezza

La relazione lunghezza-tensione mostra che la lunghezza di un muscolo ha un'influenza diretta sulla forza o tensione totale che è in grado di produrre. La tensione totale generata da un muscolo è la somma della sua tensione attiva e passiva.

- La tensione passiva riflette i contributi degli elementi elastici di un muscolo in assenza della stimolazione nervosa, quando essa viene esercitata al fine di mantenere l'integrità strutturale del muscolo, l'aumento del grado di allungamento determina una corrispondente aumento della tensione passiva fino ad un massimo fisiologico.
- La tensione attiva di un muscolo è generata invece dal numero di complessi actomiosinici formati in risposta alla stimolazione nervosa, di conseguenza, la tensione attiva è maggiore quando la lunghezza del muscolo permette la massima sovrapposizione tra i filamenti di miosina e di actina.

A qualunque lunghezza al di sopra o al di sotto del valore che consente la massima sovrapposizione di actina o miosina, è sviluppata meno tensione, proprio perché si può formare un numero minore di complessi actomiosinici.

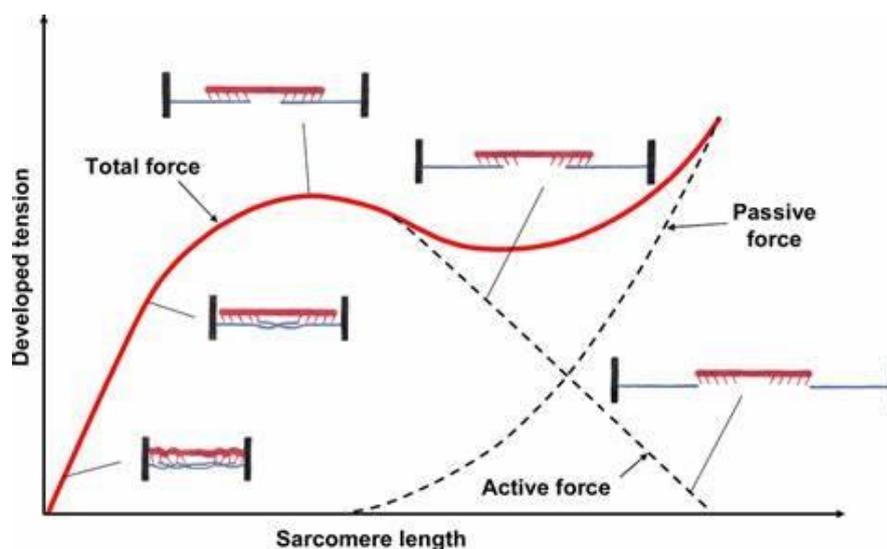


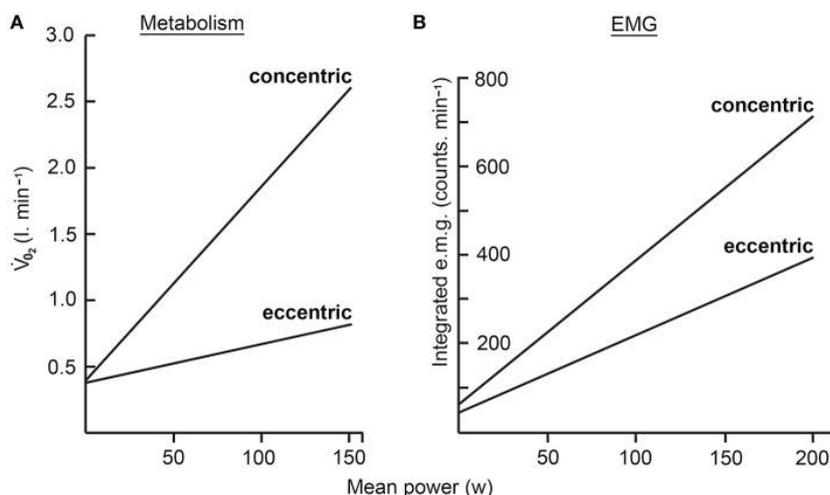
Figura 3.3.1– Curva tensione-lunghezza, tratta da Google Images

## 4.LA CONTRAZIONE ECCENTRICA

I cambiamenti neuromuscolari e funzionali indotti dall'esercizio fisico sono specifici per il tipo di lavoro svolto. All'interno di questo capitolo verranno indagate quali sono le proprietà principali delle contrazioni eccentriche e quali adattamenti e modificazioni inducono un loro utilizzo.

### 4.1Esercizio eccentrico e controllo nervoso

L'attivazione nervosa delle unità motorie durante la contrazione eccentrica, come misurato da attività di elettromiografia (EMG), risulta essere circa la metà rispetto alla attivazione necessaria nella contrazione concentrica (10). L'esercizio eccentrico sembra inoltre possa preferibilmente reclutare muscoli fibre a contrazione rapida (11).

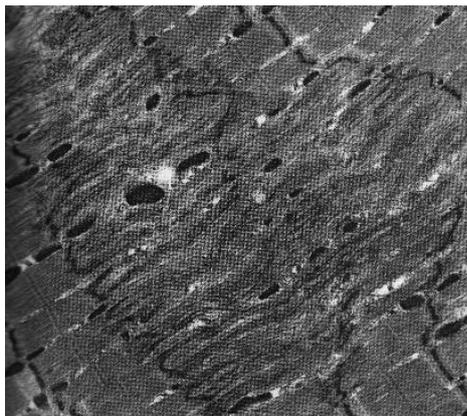


**Figura 4.1.1**– Tasso medio di consumo di ossigeno (A) e EMG integrato (B) tracciato rispetto al tasso di lavoro per esercizi concentrici ed eccentrici, tratta da Hans Hoppeler et al 2016 (12).

### 4.2Esercizio eccentrico ed adattamenti metabolici

L'esercizio eccentrico richiede sostanzialmente minore energia rispetto alle contrazioni concentriche. Il costo fisiologico del lavoro eccentrico è 3.5-6 volte minore rispetto al lavoro concentrico (13). Inoltre, tensione meccanica prodotta dalle contrazioni eccentriche sembra sia in grado di contribuire in

maniera significativa all'allungamento del tempo di ischemia muscolare, portando conseguentemente un aumento della degradazione delle fibre e causando un incremento dell'attività del sistema nervoso simpatico, facilitando una risposta adattativa ipertrofica. È importante notare che le forze elevate, osservate con le azioni muscolari eccentriche massimali o quasi, molto più elevate generate durante le azioni concentriche o isometriche massimali, sono state identificate come uno dei principali fattori che contribuiscono al danno muscolare. Le azioni eccentriche sono state individuate come fattore di stress meccanico per il muscolo. I DOMS risultano essere uno dei principali sintomi di danno muscolare dovuto a carichi eccentrici elevati (14). I soggetti non allenati sono particolarmente sensibili a tali stress meccanici elevati e, pertanto, i programmi di attività fisica caratterizzati da azioni eccentriche (ad esempio allenamento con i pesi) cosiddetto negativo, ovvero con accentuazione della durata della fase eccentrica, o con corsa in discesa devono iniziare a intensità o volumi più bassi e gradualmente progredire verso intensità o volumi più alti, per consentire il verificarsi degli adattamenti che ridurranno il danno e il dolore. L'approccio che consiste nell'aumentare gradualmente la resistenza o il carico utilizzati durante le sedute di attività fisica, specialmente con l'allenamento contro resistenza, è noto come sovraccarico progressivo.



**Figura 4.2.1**– Immagine al microscopio elettronico che mostra la disorganizzazione della banda Z in seguito ad un danno muscolare eccentrico, tratta da Ogilvie et al 1988 (15)

### 4.3 Esercizio eccentrico ed unità motorie

Durante una contrazione muscolare, il sistema nervoso centrale aumenta i tassi di accensione delle unità motorie e / o l'assunzione di ulteriori unità motorie. Un potenziale meccanismo responsabile è dato dalle vie regolatorie neurali coinvolte nel processo di eccitazione e inibizione. Durante le contrazioni eccentriche, la comunicazione afferente a livello midollare, da parte delle fibre del Golgi, induce un'inibizione presinaptica più elevata e l'allenamento porta ad una rimozione dell'inibizione neurale e il corrispondente aumento della massima forza muscolare e velocità.

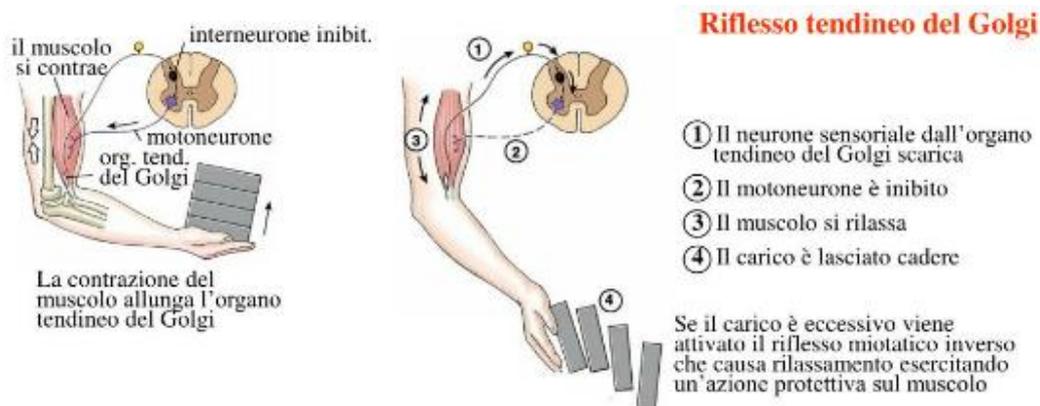


Figura 4.3.1– Riflesso tendineo del Golgi, tratta da Google Images

### 4.4 Esercizio eccentrico e forza muscolare

Farthing e Chilibeck hanno riferito che 8 settimane di allenamento di resistenza eccentrica, ha comportato un aumento maggiore dell'ipertrofia e forza muscolare rispetto all'allenamento concentrico (16). Kaminski et al. hanno anche osservato maggiori miglioramenti nella contrazione di picco dopo il lavoro eccentrico (29%) rispetto al concentrico (19%) (17). È stato anche mostrato che il movimento che parte dall'allungamento verso l'accorciamento (quindi da una posizione eccentrica), ha l'effetto maggiore sull'aumento della velocità, sviluppo della forza rispetto a contrazioni concentriche e isometriche. È importante notare che le forze elevate, osservate con le azioni muscolari eccentriche massimali o quasi, molto più elevate generate durante le azioni concentriche o isometriche massimali, sono state identificate come uno dei principali fattori che contribuiscono al danno muscolare.

#### **4.5 esercizio eccentrico e recupero**

L'esercizio eccentrico viene anche utilizzato nel recupero di svariate condizioni, come tendinopatie, stiramenti muscolari e lesioni del legamento crociato anteriore e posteriore (18,19). Se non gestito al meglio, l'effetto non uniforme di un lavoro eccentrico, porta a cambiamenti non uniformi nell'attivazione muscolare e nelle sinergie muscolari, che possono portare a squilibri di forza. L'esercizio eccentrico non svolto bene o non accuratamente dosato, è anche associato a lesioni, dolore, ridotta eccitabilità della fibra, debolezza e può portare a una compromissione della stabilità articolare durante perturbazioni esterne.

#### **4.6 esercizio eccentrico sovramassimale**

L'esercizio eccentrico sovra massimale è una nuova particolare metodologia di allenamento. Esso Consiste in un allenamento concentrico/eccentrico con un incremento del carico allenante durante la fase eccentrica del movimento. Questa metodologia di allenamento può essere applicata in una sala pesi con l'utilizzo di spotters; nonostante ciò, appare piuttosto scomoda e difficile da applicare. Pertanto, negli ultimi anni, sono diventati disponibili una serie di dispositivi di allenamento della forza in commercio che sfruttano il concetto di sovraccarico eccentrico tramite l'utilizzo di una resistenza elettromagnetica. Queste macchine per l'allenamento sono progettate per poter essere utilizzate in un ambiente di allenamento fitness commerciale con personale specificatamente addestrato, in modo che la quantità di sovraccarico eccentrico possa essere variata come anche il tipo di metodologia di allenamento. Offrono una grande varietà di scelte per quanto riguarda i gruppi muscolari target.

## **5. SCOPO DELLO STUDIO**

L'obiettivo del seguente studio è stato quello di monitorare gli adattamenti di carico e di forza negli estensori di ginocchio durante un periodo di allenamento della durata di 4 settimane con o senza sovraccarico eccentrico. I tipi di allenamento ECC+ e CONV sono stati confrontati per valutare se, a parità di volume di allenamento, ci fossero cambiamenti significativi nel miglioramento della forza massimale, nei valori ottenuti nella scala di percezione dello sforzo, in quella di soreness muscolare e nei GPAQ. La nostra ipotesi era che il muscolo sarebbe andato incontro a miglioramenti della forza in entrambi i casi, ma in modo maggiore nel gruppo allenato con un sovraccarico nella fase eccentrica. Inoltre, ci aspettavamo di ottenere dei valori in media maggiori nella scala di Borg e in quella di Soreness muscolare nel gruppo ECC+.

## **6. MATERIALI E METODI**

### **6.1 Soggetti reclutati**

Per la realizzazione del seguente studio sono stati reclutati 20 partecipanti: 10 giovani di controllo (5 maschi e 5 femmine) e 10 giovani di ricerca (5 maschi e 5 femmine). I criteri di inclusione per le 2 popolazioni erano:

- età compresa tra i 18 e i 35 anni;
- assenza di significative lesioni muscolo-scheletriche antecedenti di 6 mesi e patologie croniche;
- attività fisica praticata dai soggetti mediamente moderata (non oltre 2-3 allenamenti di attività agonistica non professionistica o comunque ludico ricreative e non oltre 2 allenamenti contro resistenza settimanali di cui massimo 1 per le gambe)
- volontà e capacità di rispettare il protocollo di allenamento.

Chi non rispettava contemporaneamente tutti questi 4 criteri inclusivi veniva immediatamente escluso dal progetto di studio. Il gruppo di controllo, all'inizio dello studio è stato denominato come gruppo convenzionale

(CONV), ossia quel gruppo che poi durante lo studio avrebbe eseguito un programma di allenamento tradizionale, il gruppo di ricerca invece è stato definito come gruppo overload eccentrico (ECC+) ossia il gruppo che poi durante lo studio avrebbe eseguito successivamente un programma di allenamento con un sovraccarico nella componente eccentrica. La divisione dei due gruppi è stata randomizzata tramite l'utilizzo di un software e non è stato comunicato ai soggetti il gruppo di appartenenza prima dell'inizio degli allenamenti. Lo studio è stato condotto nei mesi di Aprile e Giugno 2022, in conformità con la Dichiarazione di Helsinki, il protocollo è stato approvato dal Comitato Etico del Dipartimento di Scienze Biomediche dell'Università di Padova e tutti i partecipanti, prima di partecipare allo studio hanno firmato il consenso informato di partecipazione dello studio.

## 6.2 Study design

Ai 20 soggetti volontari dello studio, una volta essere stati divisi in maniera casuale nei 2 gruppi sono stati fatti eseguire dei test di varia natura: morfologici, funzionali e neuronali. I test sono stati eseguiti 2 volte nel corso dello studio, la prima volta nei giorni precedenti al primo allenamento, la seconda invece, alcuni giorni dopo aver concluso l'ultima settimana di allenamento. Lo scopo dei test in due periodi temporali differenti era quella di osservare particolari differenze di adattamenti di natura funzionale, neurale e muscolare fra gruppi dopo aver eseguito un protocollo di allenamento di 4 settimane con una frequenza di 3 volte a settimana effettuando ciascuna sessione di allenamento almeno 24 ore dalla precedente per consentire il recupero muscolare. Prima di eseguire i test, ai soggetti è stato richiesto di astenersi dall'assunzione di caffeina alcool e sostanze droganti 12 ore prima dei test; inoltre, sia nel test preallenamento che in quello post-allenamento sono stato fatti compilare un questionario GPAQ per stimare i livelli di attività fisica pre e post studio oltre che, sempre nello stesso lasso temporale è stato fatto compilare un questionario per l'alimentazione, da compilare 3 volte alla settimana. Addentrandoci più nel dettaglio, io e la mia compagna di corso Anna Gobbato ci siamo occupati dei test di natura funzionale. A lei è stato assegnato dal professore la valutazione della massima contrazione muscolare isometrica MVC e della massima capacità di attivazione muscolare involontaria, a me invece l'analisi dell'andamento del carico di allenamento e dei relativi miglioramenti di forza massimale, inoltre la valutazione delle relative scale di percezione dello sforzo di indolenzimento muscolare e dei relativi GPAQ. L'insieme dei dati ottenuti sono stati raccolti all'interno di un file Excel denominato "Technogym Data Training" nel quale sono stati tenuti aggiornati di sessione in sessione gli allenamenti dei soggetti reclutati.

### 6.3 La macchina utilizzata per lo studio

La macchina utilizzata per poter allenare il gruppo sia convenzionale che eccentrico è stata un speciale dispositivo di leg-press, la Technogym leg press Biostrength. La macchina è caratterizzata dall'assenza di un pacco pesi, in quanto dotata di un motore elettromeccanico sensorizzato e programmabile in grado di regolare la resistenza associata al movimento mediante schemi predeterminati e/o il controllo della posizione effettiva, della velocità di movimento e del carico utilizzato. Questa sua caratteristica permette di poter utilizzare la stessa macchina potendo scegliere fra molteplici tipologie e metodologie di allenamenti. Per il presente studio è stata utilizzata la modalità di allenamento isotonica, per il gruppo convenzionale, in pratica con questa modalità di allenamento, la macchina simula l'azione e la funzione di una tradizionale leg press, con un carico concentrico e un carico eccentrico identico in entrambe le 2 fasi del movimento. La seconda modalità di allenamento, l'eccentric plus, utilizzato per allenare invece il gruppo eccentrico è invece una particolare modalità di allenamento che consente di aumentare il carico nella fase eccentrica del gesto, impostando la percentuale di incremento rispetto alla fase concentrica. Per il presente studio è stato deciso di impostare un coefficiente di incremento pari a 1.5 rispetto alla fase concentrica. Un' importante decisione presa a causa di una limitazione della Technogym leg press Biostrength è stata quella di far allenare i soggetti mediante un allenamento unilaterale a causa della sua impossibilità di staccare più di 260 kg.



*Figura 6.3.1- La leg press Biostrength Technogym, tratta da Sarto et.al 2020 (20)*

## **6.4 Variabili considerate**

Le variabili prese in considerazione per il presente studio sono:

### **6.4.1 Volume di allenamento**

Il volume di allenamento è una delle principali caratteristiche del carico di lavoro. Esso può rappresentare svariate tipologie di definizioni. In contesti di allenamenti aerobici, il volume di allenamento può essere definito semplicemente come la distanza percorsa all'interno di una singola seduta di allenamento o la distanza percorsa durante le sedute settimanali di allenamento, a seconda che si consideri il volume settimanale di allenamento o quello giornaliero. In contesti di allenamento contro resistenza, invece, il termine volume di allenamento può essere inteso secondo molteplici termini: dal più semplice quindi semplicemente dal numero di serie allenanti eseguite durante una determinata sessione di allenamento, a quella più utilizzata ossia il numero totale di ripetizioni eseguite durante una sessione di allenamento (Serie x Reps) per finire con quello più preciso, ossia il numero totale di kg sollevati durante una determinata sessione di allenamento (Kg x Serie x Reps). Per il presente studio il volume di allenamento è stato definito come il tonnellaggio totale eseguito da ciascun partecipante in ciascuna sessione di allenamento, e in entrambi i gruppi è stato pareggiato al fine di valutare se a parità di volume di allenamento, il gruppo ECC+ ottenesse miglioramenti più tangibili in termini di forza massimale, e valori di sforzo percepito e di soreness muscolare maggiori. Proprio per via del sovraccarico eccentrico nel gruppo ECC+, al fine di pareggiare il volume allenante con il gruppo convenzionale, sono state fatte eseguire 8 ripetizioni invece che 10 ripetizioni per serie allenanti, al 70% del massimale. Il programma di allenamento ha avuto una durata di 4 settimane, nelle prime 3 settimane ogni gruppo ha eseguito 4 serie di allenamento unilaterale, mentre nell'ultima settimana di allenamento ciascun gruppo ha eseguito 5 serie allenanti. Al fine di standardizzare quanto più possibile la velocità di allenamento di ciascun soggetto e di ciascun gruppo è stato utilizzato un metronomo elettronico per

mantenere una cadenza standard di 2 secondi sia per la fase eccentrica che per la fase concentrica.

#### **6.4.1 1 RM indiretto**

La forza massimale, secondo Harre è la forza più elevata che il sistema neuromuscolare è in grado di sviluppare con una contrazione muscolare volontaria. Nei centri fitness e nelle palestre comuni la forza massimale viene misurato mediante il test dell'1RM. L'1 RM ossia la ripetizione massimale che l'atleta è in grado di eseguire senza alcun aiuto esterno, può essere valutato mediante un test di natura diretta o indiretta. Il test diretto per la misurazione del massimale è un test che effettivamente va a testare e a ricercare l'1RM mediante tentativi adoperando carichi sub-massimali. Il test indiretto come dice la parola stessa, per la misurazione del massimale ricerca invece il massimo numero di ripetizioni con un determinato carico di natura sub-massimale e che per l'appunto stima il massimale mediante l'utilizzo di formule e tabelle ausiliari. Nel seguente studio, l'1RM valutato nei soggetti è stato di natura indiretta mediante la formula di Brzycky

$$1RM = \frac{\text{Carico}}{1,0278 - (0,0278 \times \text{Ripetizioni})}$$

Nella pratica, il test veniva eseguito durante la prima seduta di allenamento, nella quale venivano eseguiti una serie di 15 squat a corpo libero come riscaldamento, seguita poi da 2 serie di riscaldamento con un carico rispettivamente del 30% e del 50% dell'1RM. Questo tipo di riscaldamento veniva utilizzato anche nelle altre sedute settimanali allenanti. Una volta eseguiti questo riscaldamento, veniva testato il massimale indiretto nuovo o migliorato (solo sulla gamba destra) ossia un test di valutazione 4-6 RM. In questo tipo di test è stato deciso di standardizzare la posizione dell'angolo di ginocchio, mantenendolo a 90° nella fase di partenza. Subito dopo aver testato il massimale del soggetto mediante il test, tramite la formula Brzycky il soggetto poteva allenarsi con il relativo 70%, a seconda della settimana di allenamento in cui ci si trovava

### 6.4.3 Scala di Borg

La scala di Borg deve il suo nome al suo ideatore, il Dr. Gunnar Borg che intorno agli anni 50' introdusse per primo il concetto della percezione dello sforzo. Egli ideò due differenti tipi di scale: la Scala RPE (rating of perceived exertion) e la Scala Borg CR10. Per il presente studio è stata utilizzata la Scala Borg CR10. Le valutazioni delle scale di sforzo percepito sono strumenti che vengono spesso utilizzati per monitorare e quantificare le percezioni individuali dello sforzo durante l'esercizio in quanto semplici, veloci da utilizzare e a costo 0 e sostenute da numerose ricerche scientifiche (21). La valutazione della percezione dello sforzo veniva effettuata subito dopo la fine dell'allenamento, e non durante lo stesso. Al fine di evitare di falsificare il dato e di ottenere delle risposte quanto più veritiere possibili è stato importante chiarire in via preliminare:

- cosa volevamo valutare e perché, descrivendo inizialmente i descrittori verbali e solo poi successivamente i valori numerici corrispondenti ad un intervallo da 0 a 10 (dove 0 = nessuno sforzo e 10 = massimo sforzo);
- Che la somministrazione non andasse fatta in gruppo, ma esclusivamente singolo atleta per evitare il self presentation bias, ossia la proiezione di un'immagine positiva di sé davanti ad altri per fare bella figura;
- Evitare di instillare la filosofia della verifica e sottolineare il fatto che non vi fosse una risposta giusta.

0	NESSUNO SFORZO
1	ESTREMAMENTE LEGGERO
2	LEGGERO
3	DISCRETO
4	PIUTTOSTO INTENSO
5	INTENSO
6	
7	MOLTO INTENSO
8	
9	ESTREMAMENTE INTENSO
10	MASSIMO SFORZO

**Figura 6.4.3.1** – La Scala di Borg, tratta da Google Images

#### 6.4.4 Scala di Soreness

La scala di Soreness muscolare a differenza della scala di Borg che, come abbiamo visto, è una scala che misura lo sforzo percepito, è una scala che misura il dolore muscolare percepito. La suddetta scala, nel presente studio è stata adoperata al fine di percepire il dolore muscolare pre e post allenamento. Nella pratica anche qui al fine di falsificare il dato e di ottenere delle risposte quanto più veritiere possibili è stato importante chiarire in via preliminare:

- cosa volevamo valutare e perché, descrivendo inizialmente i descrittori verbali e solo poi successivamente i valori numerici corrispondenti a: 0 = nessun dolore, 1= dolore debole, 2 = dolore lieve, 3 = dolore moderato, 4 = dolore piuttosto forte, 5 = dolore forte, 7 = dolore molto forte, 10 = dolore estremamente intenso (quasi insopportabile);
- Che la somministrazione non andasse fatta in gruppo, ma al singolo atleta per evitare il self presentation bias, ossia la proiezione di un'immagine positiva di sé davanti ad altri per fare bella figura;
- Evitare di instillare la filosofia della verifica e sottolineare il fatto che non vi fosse una risposta giusta.

SORENESS SCALE	
0	Nessun dolore muscolare
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	Massimo dolore muscolare

*Figura 6.4.4.1– La Scala di Soreness tratta da Google Images*

### 6.4.5 Gpaq

L'ultima variabile analizzata è stato Il Questionario Globale sull'Attività Fisica (GPAQ) sviluppato dall'OMS per valutare i livelli di attività fisica nei paesi del mondo. Il questionario comprende 16 domande (P1-P16) e serve per valutare la partecipazione all'attività fisica in tre domini:

- attività al lavoro;
- spostamenti da e verso i luoghi;
- attività ricreative

Inoltre, il questionario serve anche con l'ultima domanda, a valutare le ore di sedentarietà dei soggetti. La somministrazione del questionario, nel presente studio è avvenuto pre e post test in laboratorio ed è stata diretta da noi tesisti. Le domande riguardanti attività fisica moderata o intensa dei vari domini dovevano essere poste tutte, e in caso di risposta affermativa i soggetti dovevano rispondere quanti giorni e quanto tempo giornaliero la praticassero. I salti delle domande venivano applicati solo alle variabili giorno e ora corrispondenti solo se P1, P4, P7, P10 o P13 ricevevano risposta negativa.

**Global Physical Activity  
Questionnaire  
(GPAQ)  
Analysis Guide**

Surveillance and Population-Based Prevention  
Prevention of Noncommunicable Diseases Department  
World Health Organization  
20 Avenue Appia, 1211 Geneva 27, Switzerland  
For further information: [www.who.int/chp/steps](http://www.who.int/chp/steps)

**Figura 6.4.5.1 – Il GPAQ, tratta da Google Images**

## 7. ANALISI DEI DATI E RISULTATI

I dati sono stati inizialmente inseriti all'interno di un file Excel denominato "Analisi dati Technogym" per essere elaborati. L'analisi statistica delle variabili analizzate è stata eseguita in seguito grazie al software GraphPad Prism 9.4.1 che ha permesso di valutare i risultati significativi dal punto di vista statistico. Per ogni tipo di dato (tranne che per la valutazione dei GPAQ che è avvenuta mediante un t-test), è stato utilizzato il test ANOVA a due vie che rivela i risultati di due variabili indipendenti su una variabile dipendente; ed analizza l'effetto delle variabili indipendenti sul risultato atteso insieme alla loro relazione con il risultato stesso. In particolare, è stata utilizzata per confrontare i valori ottenuti fra i 2 gruppi e per confrontare l'andamento dei valori ottenuti nel corso delle settimane di ciascun gruppo. Le interazioni significative tra i gruppi sono state individuate tramite test Sidak post hoc. I dati non significativi venivano riportati con n.s. e per facilità non sono stati riportati, mentre i dati con una certa valenza statistica possiedono una o più stelle in base al livello di significatività.

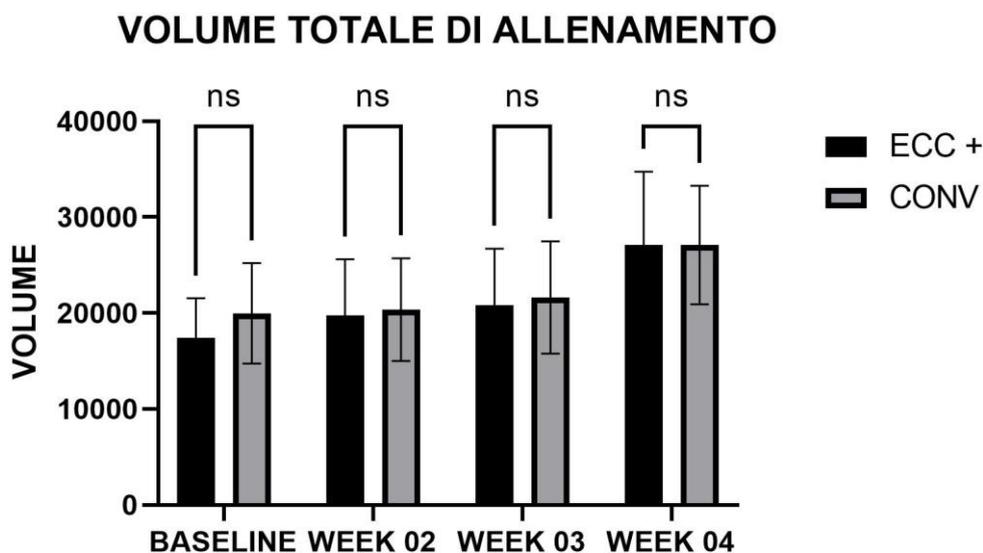
### 7.1.1 Volume di allenamento

Come possiamo vedere dalla figura 7.1.1.A alla fine del periodo delle 4 settimane di allenamento il volume allenante fra il gruppo CONV ed il gruppo ECC+ è stato pressoché pareggiato come da ipotesi iniziale.

VOLUME TOTALE (CONV)					VOLUME TOTALE (ECC+)				
	WEEK 1	WEEK 2	WEEK 3	WEEK 4		WEEK 1	WEEK 2	WEEK 3	WEEK 4
MEDIA	19985.02	20374.95	21627.99	27102.19	MEDIA	17426.26	19744.13	20863.93	27094.34
DEV.ST	5229.787	5348.641	5838.77	6192.173	DEV.ST	4120.983	5859.09	5855.756	7653.596

**Figura 7.1.1.A** Il confronto del volume di allenamento fra gruppo CONV e quello ECC+ nel corso delle settimane, tratta dal file Excel "Analisi Dati Technogym" dello studio

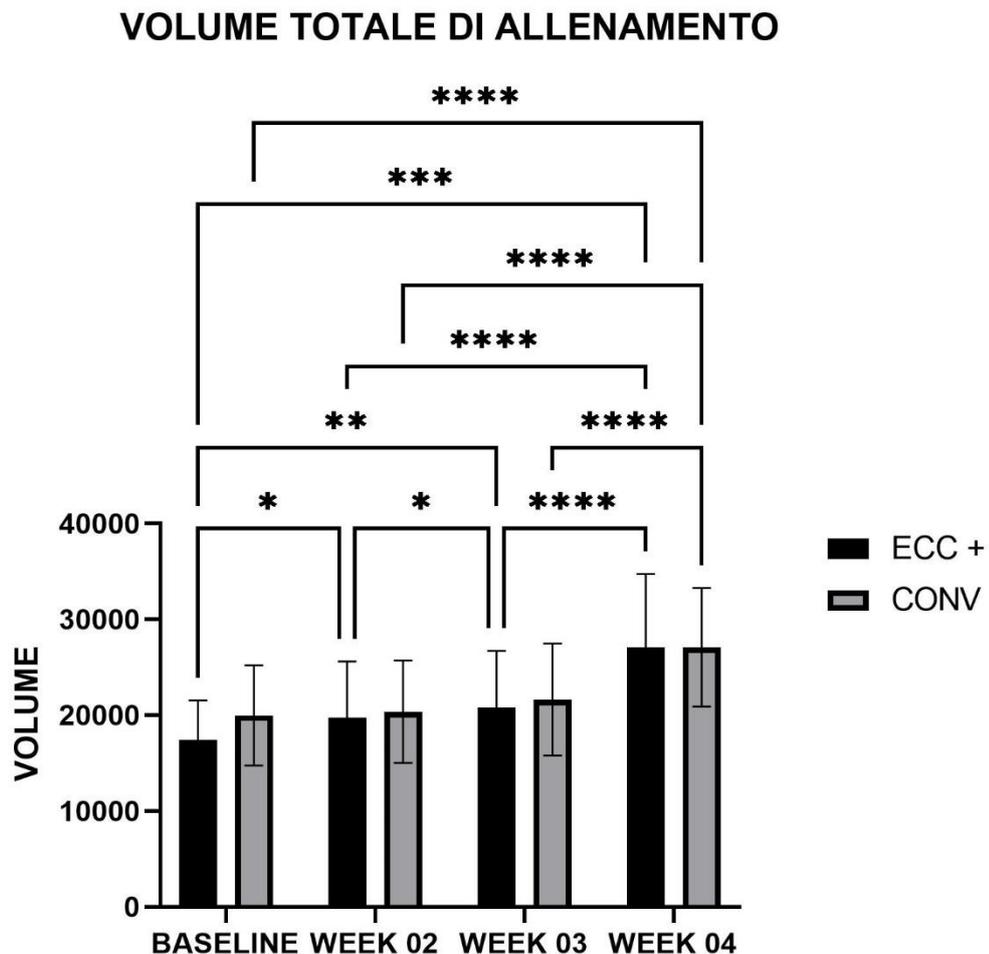
A sostegno di quanto detto appena sopra possiamo notare come la figura 7.1.1.B mostri le differenze di volume settimanale fra i due gruppi. Nonostante la notevole differenza di volume di allenamento fra il gruppo CONV ed ECC+ nel corso della settimana 1, che potrebbe essere spiegata dal fatto che il gruppo ECC+ nella prima settimana per via di una modalità di allenamento completamente nuova nella e per via di possibili DOMS non sia riuscito a portare a termine tutte le ripetizioni delle serie allenanti; per via delle condizioni sperimentali scelte si possono osservare delle differenze statistiche non significative.



**Figura 7.1.1.B.** Significatività statistica nel confronto dell'aumento del volume di allenamento fra gruppo ECC+ e CONV

Sidak's multiple comparisons test	Mean Diff.	95.00% CI of diff.	Below threshold?	Summary	Adjusted P Value
ECC + - CONV					
BASELINE	-2559	-8417 to 3299	No	ns	0.6678
WEEK 02	-630.8	-7575 to 6314	No	ns	0.9985
WEEK 03	-764.1	-7996 to 6468	No	ns	0.9974
WEEK 04	-7.840	-8659 to 8643	No	ns	>0.9999

Se invece notiamo, la figura 7.1.3 l'aumento del volume settimanale confrontato fra le settimane nei gruppi risulta essere differente. Con le condizioni sperimentali scelte possiamo notare come siano stati evidenziati più aumenti statisticamente significativi del volume nel gruppo ECC+ rispetto al CONV. Questo può essere dovuto come detto prima dal fatto che nel corso della prima settimana il gruppo ECC+ abbia avuto problemi a completare le sedute e questo abbia poi portato ad un aumento statisticamente significativo se confrontato con le altre settimane. Infine, la significatività statistica così elevata del volume nel passaggio dalla 3a settimana di allenamento alla 4a è dovuta all'aumento del numero di serie allenanti: da 4 a 5.

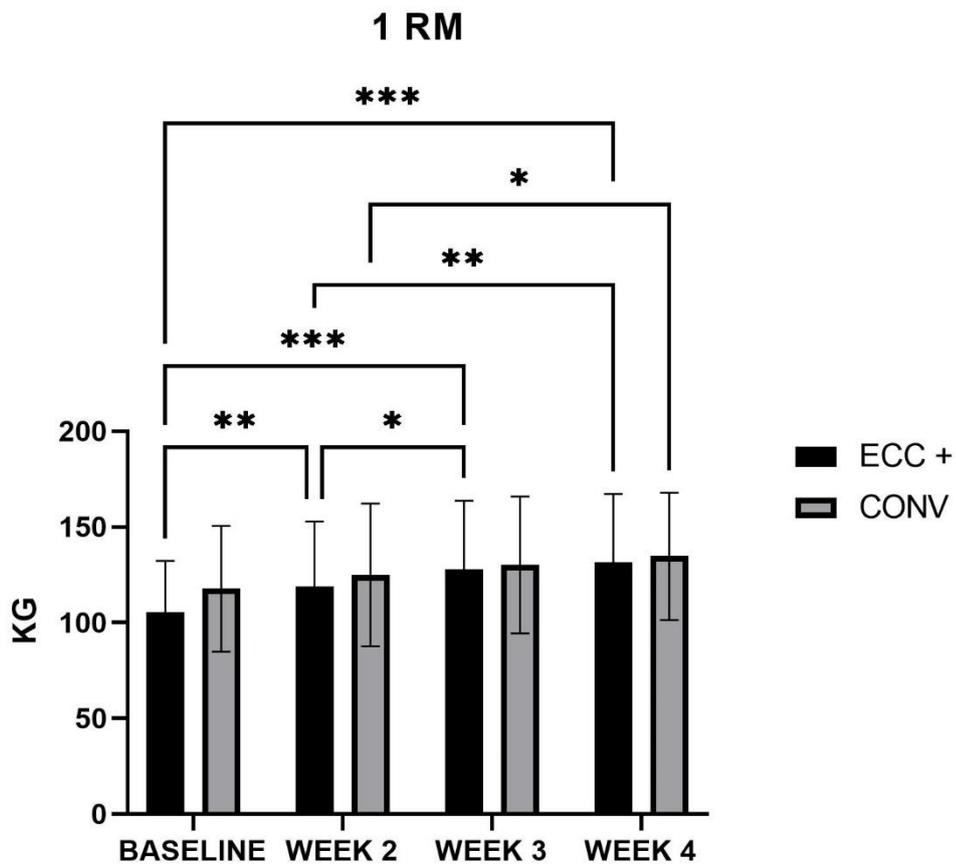


*Figura 7.1.1.C. Significatività statistica nel confronto dell'aumento del volume di allenamento fra le settimane nei due gruppi di studio*

Šidák's multiple comparisons	Mean Diff.	95.00% CI of diff.	Below threshold?	Summary	Adjusted P Value
ECC +					
BASELINE vs. WEEK 02	-2318	-4571 to -65.18	Yes	*	0.0430
BASELINE vs. WEEK 03	-3438	-5961 to -914.3	Yes	**	0.0081
BASELINE vs. WEEK 04	-9668	-13918 to -5418	Yes	***	0.0002
WEEK 02 vs. WEEK 03	-1120	-2219 to -20.81	Yes	*	0.0453
WEEK 02 vs. WEEK 04	-7350	-9929 to -4771	Yes	****	<0.0001
WEEK 03 vs. WEEK 04	-6230	-8686 to -3774	Yes	****	<0.0001
CONV					
BASELINE vs. WEEK 02	-389.9	-1736 to 956.6	No	ns	0.9295
BASELINE vs. WEEK 03	-1643	-4294 to 1008	No	ns	0.3430
BASELINE vs. WEEK 04	-7117	-9793 to -4442	Yes	****	<0.0001
WEEK 02 vs. WEEK 03	-1253	-2939 to 433.3	No	ns	0.1896
WEEK 02 vs. WEEK 04	-6727	-8404 to -5051	Yes	****	<0.0001
WEEK 03 vs. WEEK 04	-5474	-6429 to -4519	Yes	****	<0.0001

### 7.1.2 1RM Indiretto, 4-6 RM

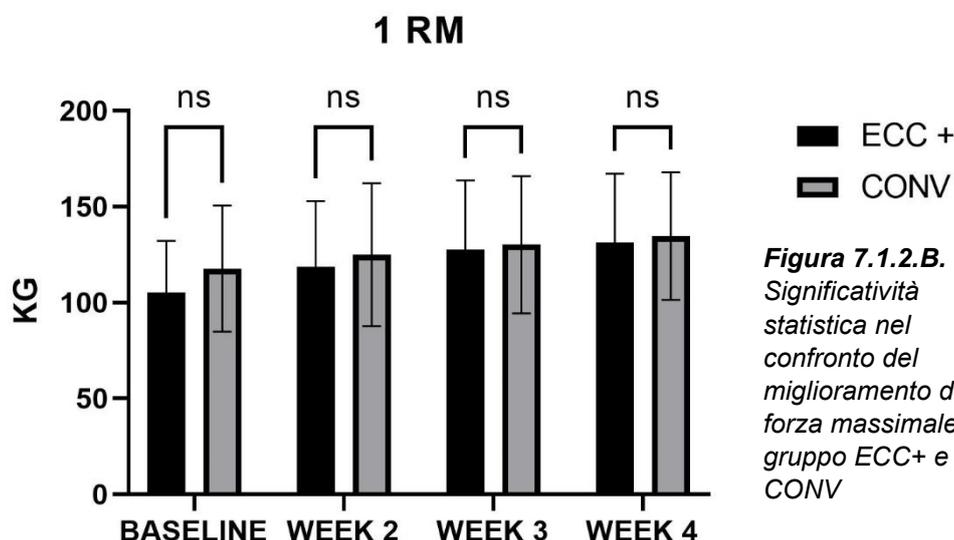
Dalla figura 7.1.2.A si può notare come il miglioramento della forza massimale confrontata fra le settimane nei due gruppi sia differente. È possibile osservare in particolar modo come, con le condizioni sperimentali scelte, siano stati evidenziati molti più miglioramenti della forza massimale settimanale statisticamente significativi nel gruppo ECC+ rispetto al gruppo CONV.



*Figura 7.1.2.A. Significatività statistica nel confronto del miglioramento della forza massimale fra le settimane nei due gruppi di studio*

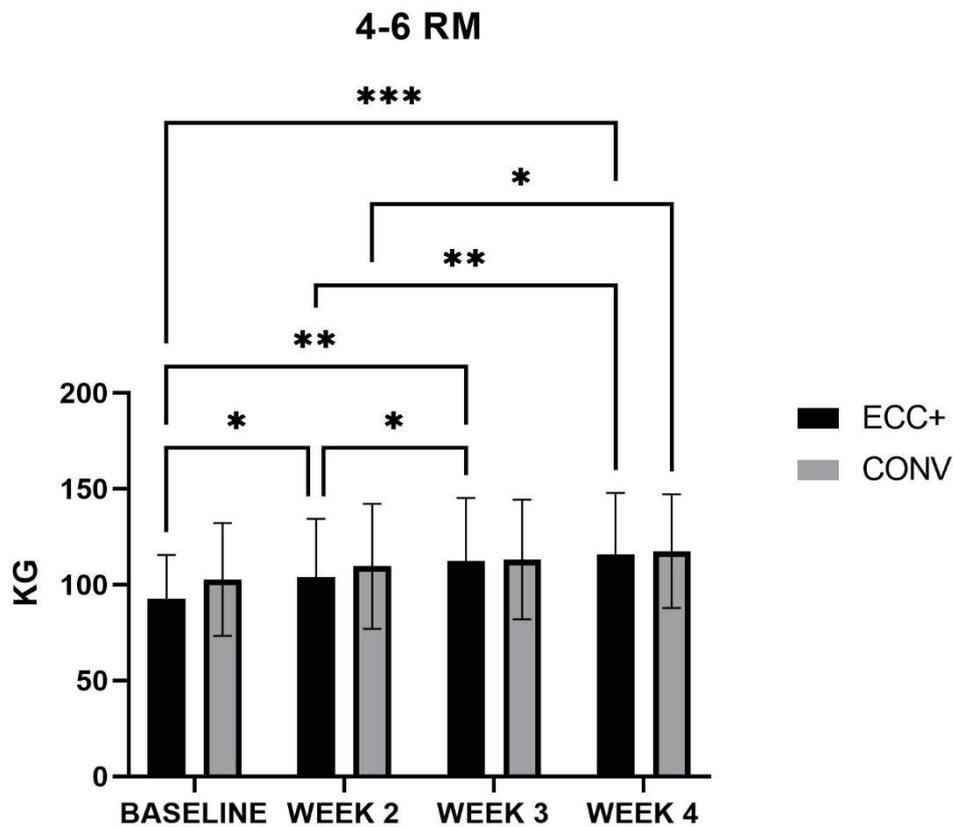
Šidák's multiple comparison:	Mean Diff.	95.00% CI of diff.	Below threshold?	Summary	Adjusted P Value
<b>ECC +</b>					
BASELINE vs. WEEK 2	-13.21	-21.86 to -4.553	Yes	**	0.0038
BASELINE vs. WEEK 3	-22.21	-34.15 to -10.28	Yes	***	0.0009
BASELINE vs. WEEK 4	-25.84	-37.36 to -14.32	Yes	***	0.0002
WEEK 2 vs. WEEK 3	-9.008	-16.69 to -1.322	Yes	*	0.0207
WEEK 2 vs. WEEK 4	-12.64	-20.61 to -4.661	Yes	**	0.0029
WEEK 3 vs. WEEK 4	-3.628	-8.104 to 0.8480	No	ns	0.1344
<b>CONV</b>					
BASELINE vs. WEEK 2	-7.142	-22.31 to 8.030	No	ns	0.6206
BASELINE vs. WEEK 3	-12.36	-28.39 to 3.673	No	ns	0.1647
BASELINE vs. WEEK 4	-16.90	-34.39 to 0.5863	No	ns	0.0596
WEEK 2 vs. WEEK 3	-5.218	-12.76 to 2.327	No	ns	0.2446
WEEK 2 vs. WEEK 4	-9.758	-19.06 to -0.4538	Yes	*	0.0388
WEEK 3 vs. WEEK 4	-4.540	-9.126 to 0.04616	No	ns	0.0527

Tuttavia, se poi si vanno a confrontare i miglioramenti della forza massimale tra i vari gruppi, come visibile nella figura 7.1.2.B, possiamo osservare, nonostante il netto miglioramento della forza massimale nel gruppo eccentrico (fra la 1a e la 4a settimana c'è stato un miglioramento di circa il 19,66% del massimale rispetto al solo 12,54% ottenuto dal gruppo convenzionale), le condizioni sperimentali non ci consentono di dire che eseguire un allenamento con sovraccarico eccentrico possa portare a maggiori benefici nel miglioramento della forza massimale rispetto ad un allenamento convenzionale.



Šidák's multiple comparisons test	Mean Diff.	95.00% CI of diff.	Below threshold?	Summary	Adjusted P Value
<b>ECC + - CONV</b>					
BASELINE	-12.32	-49.50 to 24.86	No	ns	0.8423
WEEK 2	-6.259	-50.53 to 38.01	No	ns	0.9919
WEEK 3	-2.469	-46.88 to 41.94	No	ns	0.9998
WEEK 4	-3.381	-46.17 to 39.41	No	ns	0.9992

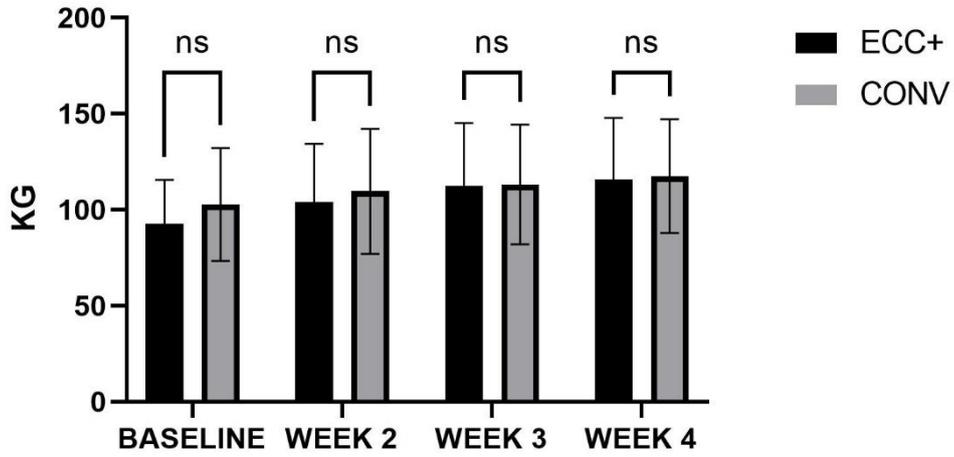
Le stesse identiche considerazioni da un punto di vista statistico si possono fare per quanto riguarda il miglioramento della forza massimale fra le 4-6 ripetizioni massimali confrontata fra le settimane nei due differenti gruppi (Figura 7.1.2.C) e confrontata fra i gruppi (Figura 7.1.2.D).



*Figura 7.1.2.C. Significatività statistica nel confronto del miglioramento della forza massimale sulle 4-6 reps fra le settimane nei due gruppi di studio*

Sídák's multiple comparisons	Mean Diff.	95.00% CI of diff.	Below threshold?	Summary	Adjusted P Value
<b>ECC+</b>					
BASELINE vs. WEEK 2	-11.30	-20.35 to -2.253	Yes	*	0.0141
BASELINE vs. WEEK 3	-19.70	-32.05 to -7.352	Yes	**	0.0028
BASELINE vs. WEEK 4	-23.10	-34.03 to -12.17	Yes	***	0.0003
WEEK 2 vs. WEEK 3	-8.400	-16.03 to -0.7720	Yes	*	0.0296
WEEK 2 vs. WEEK 4	-11.80	-18.68 to -4.918	Yes	**	0.0017
WEEK 3 vs. WEEK 4	-3.400	-9.011 to 2.211	No	ns	0.3650
<b>CONV</b>					
BASELINE vs. WEEK 2	-6.800	-19.79 to 6.185	No	ns	0.5136
BASELINE vs. WEEK 3	-10.30	-23.69 to 3.094	No	ns	0.1663
BASELINE vs. WEEK 4	-14.70	-31.15 to 1.746	No	ns	0.0871
WEEK 2 vs. WEEK 3	-3.500	-9.416 to 2.416	No	ns	0.3886
WEEK 2 vs. WEEK 4	-7.900	-15.79 to -0.01073	Yes	*	0.0496
WEEK 3 vs. WEEK 4	-4.400	-9.450 to 0.6498	No	ns	0.0980

### 4-6 RM

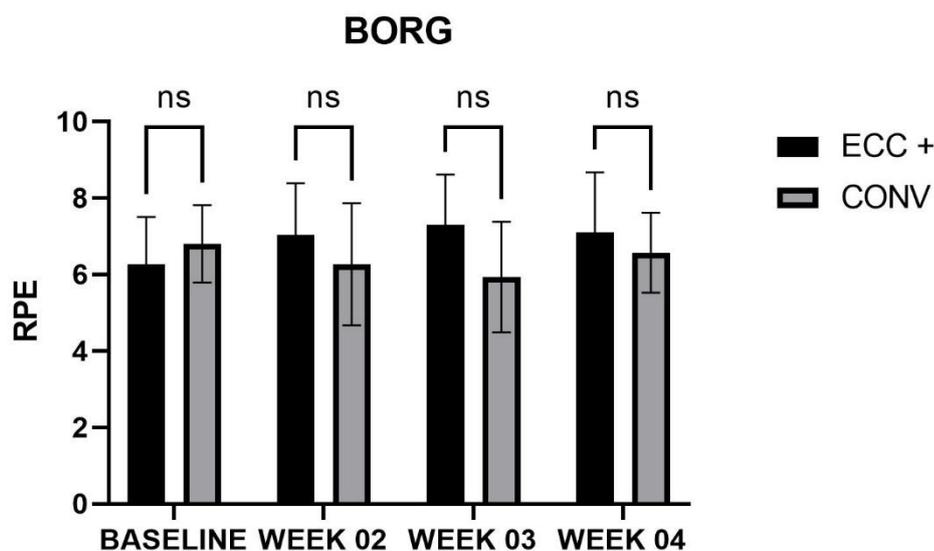


**Figura 7.1.2.D.** Significatività statistica nel confronto del miglioramento della forza massimale sulle 4-6 reps fra gruppo ECC+ e CONV

Šidák's multiple comparisons	Mean Diff.	95.00% CI of diff.	Below threshold?	Summary	Adjusted P Value
ECC+ - CONV					
BASELINE	-10.20	-43.04 to 22.64	No	ns	0.8698
WEEK 2	-5.700	-44.74 to 33.34	No	ns	0.9909
WEEK 3	-0.8000	-40.38 to 38.78	No	ns	>0.9999
WEEK 4	-1.800	-40.06 to 36.46	No	ns	0.9999

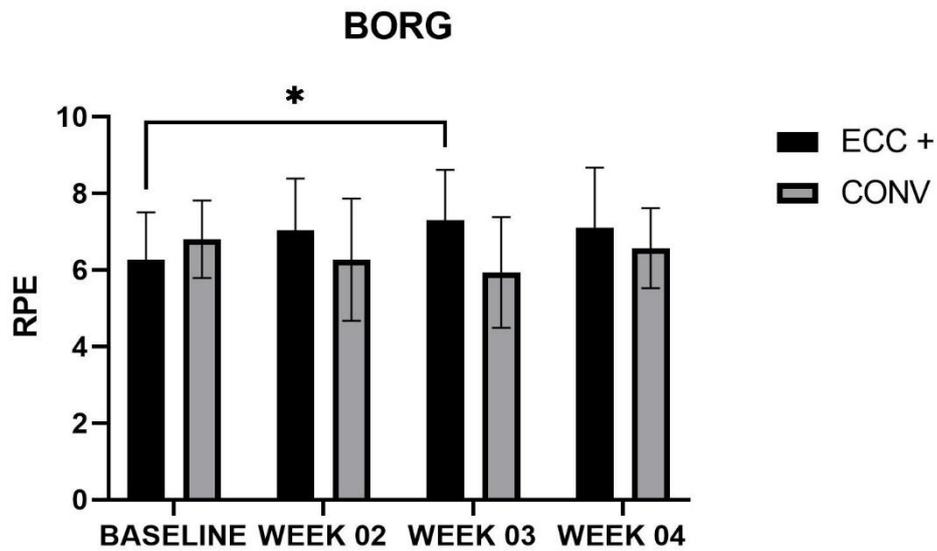
### 7.1.3 Scala di Borg

Per quanto riguarda la scala di Borg i dati ottenuti ci indicano che per la tipologia di campione scelto, la quasi totalità dei dati ottenuti risultano essere privi di significatività statistica. Nonostante la media totale della scala di percezione dello sforzo risulti essere leggermente maggiore nel gruppo ECC+ (6,89 contro il 6,39 del gruppo CONV); tale dato non ci permette di dire che eseguire un allenamento con sovraccarico eccentrico risulti essere più faticoso, in virtù non solo della non significatività statistica, ma anche e soprattutto per via dei dati ottenuti nella scala di soreness che seguono avendo andamento opposto rispetto a quella di Borg, lasciando presagire che i dati ottenuti siano stati fortemente influenzati dal campione di soggetti troppo piccolo, osservato e soprattutto dalla scarsa esperienza dei soggetti stessi ad eseguire tale compito.



**Figura 7.1.3.A.** Significatività statistica nel confronto del monitoraggio della scala di Borg fra gruppo ECC+ e CONV

Sidak's multiple comparisons test	Mean Diff.	95.00% CI of diff.	Below threshold?	Summary	Adjusted P Value
ECC+ - CONV					
BASELINE	-0.5333	-1.934 to 0.8675	No	ns	0.7664
WEEK 02	0.7667	-1.068 to 2.601	No	ns	0.7034
WEEK 03	1.367	-0.3419 to 3.075	No	ns	0.1509
WEEK 04	0.5333	-1.144 to 2.211	No	ns	0.8568

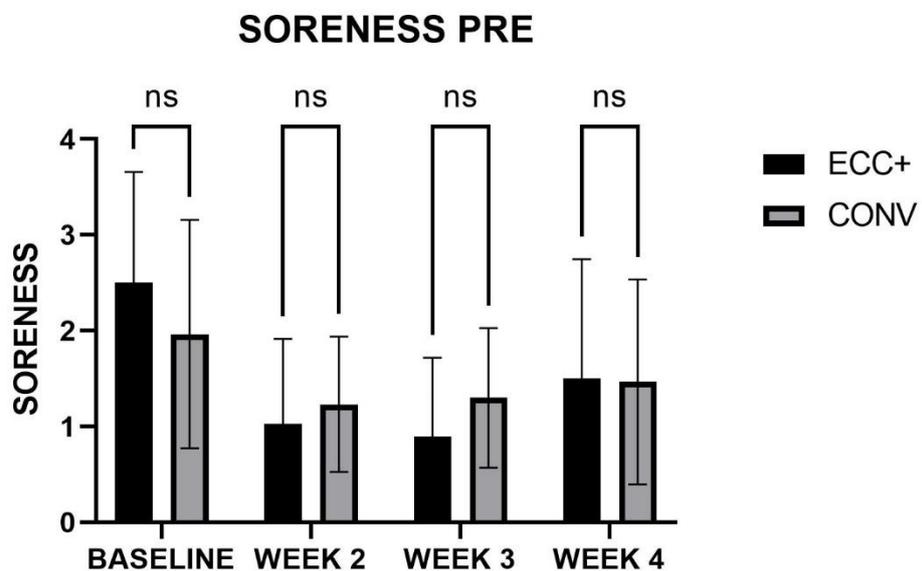


*Figura 7.1.3.B. Significatività statistica nel confronto del monitoraggio della scala di Borg nel corso delle settimane dei due gruppi studio*

Sidak's multiple comparisons	Mean Diff.	95.00% CI of diff.	Below threshold?	Summary	Adjusted P Value
<b>ECC +</b>					
BASELINE vs. WEEK 02	-0.7667	-1.859 to 0.3258	No	ns	0.2328
BASELINE vs. WEEK 03	-1.033	-1.982 to -0.08485	Yes	*	0.0315
BASELINE vs. WEEK 04	-0.8333	-1.764 to 0.09745	No	ns	0.0864
WEEK 02 vs. WEEK 03	-0.2667	-1.249 to 0.7156	No	ns	0.9468
WEEK 02 vs. WEEK 04	-0.06667	-1.516 to 1.383	No	ns	>0.9999
WEEK 03 vs. WEEK 04	0.2000	-0.8687 to 1.269	No	ns	0.9913
<b>CONV</b>					
BASELINE vs. WEEK 02	0.5333	-0.9670 to 2.034	No	ns	0.8411
BASELINE vs. WEEK 03	0.8667	-0.8330 to 2.566	No	ns	0.5409
BASELINE vs. WEEK 04	0.2333	-1.150 to 1.617	No	ns	0.9950
WEEK 02 vs. WEEK 03	0.3333	-1.019 to 1.686	No	ns	0.9658
WEEK 02 vs. WEEK 04	-0.3000	-1.927 to 1.327	No	ns	0.9919
WEEK 03 vs. WEEK 04	-0.6333	-2.154 to 0.877	No	ns	0.7307

### 7.1.4 Scala di Soreness

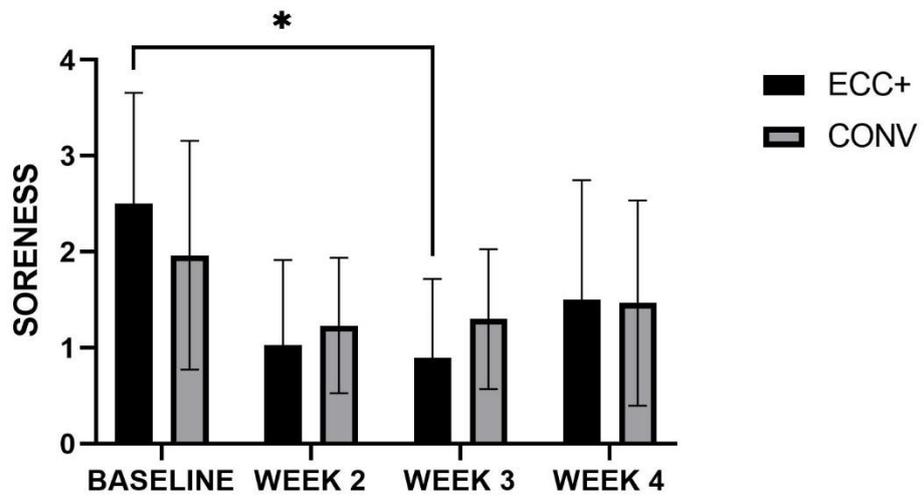
I dati ottenuti dalle scale di Soreness sia pre che post allenamento risultano per la maggior parte prive di significatività statistica. La media della soreness preallenamento appare pressoché uguale (1,49 la media del gruppo CONV contro 1,48 di quello del gruppo ECC+), mentre quella post allenamento, stranamente, rispetto a quello che era stato ipotizzato appare più alta quella del gruppo convenzionale (4,36 contro 3,76). Anche questi dati comunque come già detto prima appaiono statisticamente irrilevanti probabilmente per la scarsità dei soggetti studiati e soprattutto per la loro inesperienza ad eseguire tale compito.



**Figura 7.1.4.A.** Significatività statistica nel confronto del monitoraggio della scala di soreness preallenamento fra gruppo ECC+ e CONV

Sidak's multiple comparisons test	Mean Diff.	95.00% CI of diff.	Below threshold?	Summary	Adjusted P Value
ECC+ - CONV					
BASELINE	0.5333	-0.9192 to 1.986	No	ns	0.7903
WEEK 2	-0.2000	-1.191 to 0.7915	No	ns	0.9695
WEEK 3	-0.4000	-1.358 to 0.5584	No	ns	0.7050
WEEK 4	0.03333	-1.408 to 1.475	No	ns	>0.9999

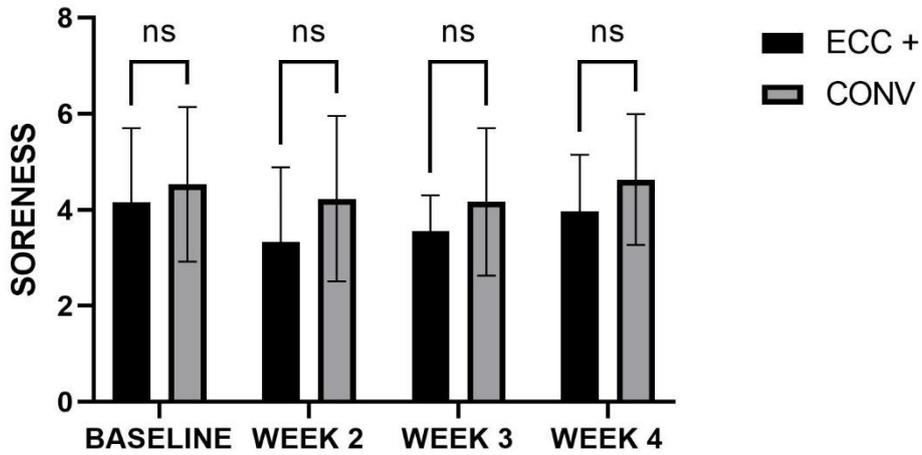
## SORENESS PRE



*Figura 7.1.4.B. Significatività statistica nel confronto del monitoraggio della scala di soreness preallenamento nel corso delle settimane dei due gruppi studio*

Šidák's multiple comparison	Mean Diff.	95.00% CI of diff.	Below threshold?	Summary	Adjusted P Value
<b>ECC+</b>					
BASELINE vs. WEEK 2	1.467	-0.3889 to 3.322	No	ns	0.1491
BASELINE vs. WEEK 3	1.600	0.1891 to 3.011	Yes	*	0.0250
BASELINE vs. WEEK 4	1.000	-0.8911 to 2.891	No	ns	0.5036
WEEK 2 vs. WEEK 3	0.1333	-0.7350 to 1.002	No	ns	0.9970
WEEK 2 vs. WEEK 4	-0.4667	-1.196 to 0.2629	No	ns	0.3132
WEEK 3 vs. WEEK 4	-0.6000	-1.610 to 0.4101	No	ns	0.3846
<b>CONV</b>					
BASELINE vs. WEEK 2	0.7333	-0.6377 to 2.104	No	ns	0.4918
BASELINE vs. WEEK 3	0.6667	-0.05911 to 1.392	No	ns	0.0765
BASELINE vs. WEEK 4	0.5000	-0.6803 to 1.680	No	ns	0.7164
WEEK 2 vs. WEEK 3	-0.06667	-1.117 to 0.9838	No	ns	>0.9999
WEEK 2 vs. WEEK 4	-0.2333	-1.723 to 1.256	No	ns	0.9966
WEEK 3 vs. WEEK 4	-0.1667	-0.9695 to 0.6362	No	ns	0.9852

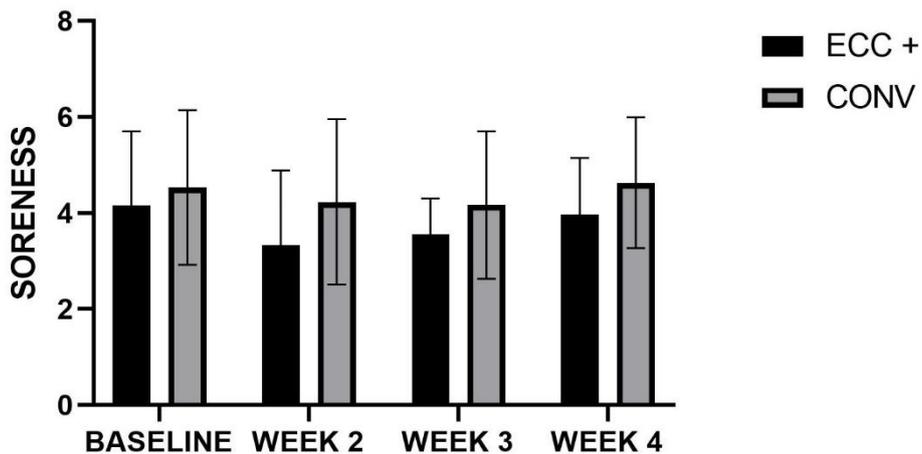
### SORENESS POST



*Figura 7.1.4.C. Significatività statistica nel confronto del monitoraggio della scala di soreness post allenamento fra gruppo ECC+ e CONV*

Šidák's multiple comparisons	Mean Diff.	95.00% CI of diff.	Below threshold?	Summary	Adjusted P Value
ECC + - CONV					
BASELINE	-0.3667	-2.313 to 1.579	No	ns	0.9765
WEEK 2	-0.9000	-2.932 to 1.132	No	ns	0.6592
WEEK 3	-0.6000	-2.154 to 0.9541	No	ns	0.7389
WEEK 4	-0.6667	-2.249 to 0.9152	No	ns	0.6973

### SORENESS POST

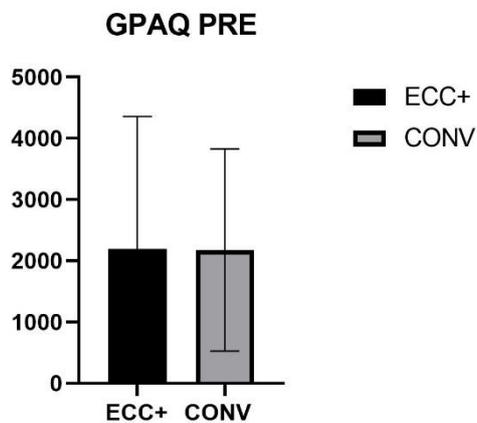


*Figura 7.1.4.D. Significatività statistica nel confronto del monitoraggio della scala di soreness post allenamento nel corso delle settimane dei due gruppi studio*

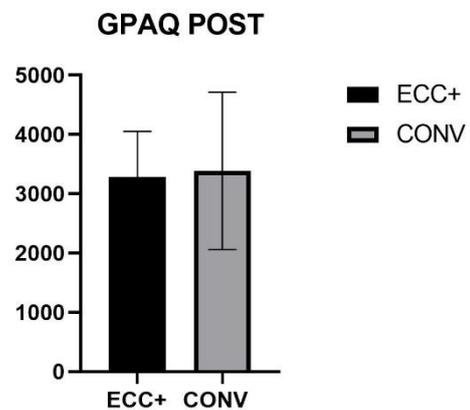
Šidák's multiple comparisons test	Mean Diff.	95.00% CI of diff.	Below threshold?	Summary	Adjusted P Value
ECC +					
BASELINE vs. WEEK 2	0.8333	-1.693 to 3.360	No	ns	0.8800
BASELINE vs. WEEK 3	0.6000	-1.492 to 2.692	No	ns	0.9323
BASELINE vs. WEEK 4	0.2000	-1.827 to 2.227	No	ns	0.9997
WEEK 2 vs. WEEK 3	-0.2333	-1.399 to 0.9328	No	ns	0.9877
WEEK 2 vs. WEEK 4	-0.6333	-2.383 to 1.117	No	ns	0.8305
WEEK 3 vs. WEEK 4	-0.4000	-1.539 to 0.7391	No	ns	0.8480
CONV					
BASELINE vs. WEEK 2	0.3000	-0.7189 to 1.319	No	ns	0.9243
BASELINE vs. WEEK 3	0.3667	-0.7182 to 1.451	No	ns	0.8683
BASELINE vs. WEEK 4	-0.1000	-1.740 to 1.540	No	ns	>0.9999
WEEK 2 vs. WEEK 3	0.06667	-0.5739 to 0.7072	No	ns	0.9997
WEEK 2 vs. WEEK 4	-0.4000	-1.969 to 1.169	No	ns	0.9600
WEEK 3 vs. WEEK 4	-0.4667	-1.748 to 0.8144	No	ns	0.8266

### 7.1.5 GPAQ

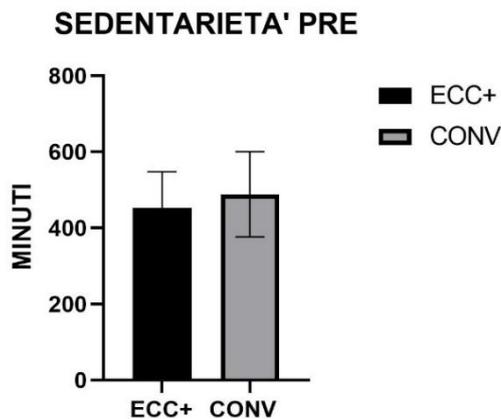
Dai dati ottenuti dai GPAQ pre e post possiamo osservare come in entrambi i Gruppi i livelli di attività fisica giornaliera grazie appunto allo studio e all'allenamento eseguito siano migliorati. Tuttavia, questo miglioramento non risulta essere statisticamente significativo. Ad esso però è associato anche un leggero aumento della sedentarietà anche questa non significativa nei soggetti studiati. Questo potrebbe essere dovuto ad una maggiore stanchezza data dalle maggiori ore di allenamento praticate.



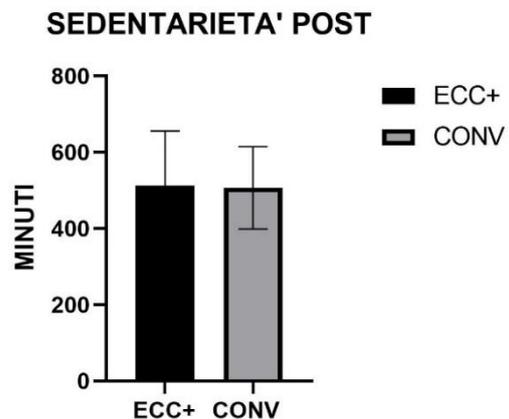
**Figura 7.1.5.A.** – Confronto dei livelli di attività fisica pre-test tra gruppo ECC+ e CONV



**Figura 7.1.5.B.** – Confronto dei livelli di attività fisica post-test tra gruppo ECC+ e CONV



**Figura 7.1.5.C.** – Confronto dei livelli di sedentarietà pre-test tra gruppo ECC+ e CONV



**Figura 7.1.5.D.** – Confronto dei livelli di sedentarietà post-test tra gruppo ECC+ e CONV

## 8. DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

Lo scopo della tesi è stato quello di monitorare l'andamento del volume di allenamento, della forza massimale, della scala di Borg, della scala di soreness muscolare e dei questionari GPAQ in seguito a un periodo di allenamento della durata di 4 settimane nel quale 1 gruppo ECC+ e uno CONV sono stati confrontati. Dai dati ottenuti, nonostante non risulti essere statisticamente considerevole, è stato visto che utilizzare un allenamento con un sovraccarico nella fase eccentrica sembra possa influire sulla capacità di portare a termine le ripetizioni e le serie allenanti soprattutto nella prima settimana di allenamento per via di possibili DOMS muscolari; un indizio a favore di questa ipotesi potrebbe essere il valore medio abbastanza più alto ottenuto nella stessa settimana nella scala di soreness preallenamento del gruppo eccentrico rispetto al gruppo convenzionale. Il presente studio inoltre ha portato incrementi statisticamente significativi del volume di allenamento in parte direttamente correlati anche a miglioramenti statisticamente significativi della forza massimale nel corso delle settimane nel gruppo ECC+ (cosa che invece nel gruppo CONV non accade), tuttavia questo miglioramento se poi rapportato ai miglioramenti ottenuti dal gruppo CONV non risulta essere statisticamente significativo. Indagando nella letteratura scientifica un test che ha cercato di valutare miglioramenti nella forza massimale in un gruppo di allenamento con overload eccentrico è quello di Hortobagyi nel 2001, avvenuto in modalità sperimentali leggermente diverse rispetto a quelle del presente studio. Egli ha voluto effettuare una ricerca sperimentale della durata di 7 giorni nella quale i soggetti; giovani donne non allenate sono state divise in un gruppo di allenamento convenzionale e in un gruppo di allenamento con sovraccarico nella fase negativa (del 50% rispetto alla fase concentrica) e hanno effettuato degli allenamenti unilaterali di estensione di ginocchio al fine di verificare se ci fossero delle significative differenze nei miglioramenti della forza massimale (22). Dallo studio è emerso come il gruppo con overload eccentrico ottenesse un aumento del 50% di forza eccentrica rispetto al

gruppo convenzionale; tuttavia, i miglioramenti della forza concentrica risultavano essere pressoché simili. Se indaghiamo altri studi più recenti sul miglioramento della forza massimale mediante l'utilizzo di un sovraccarico eccentrico anche essi non dimostrano un effettivo miglioramento o vantaggio di un suo utilizzo rispetto all'utilizzo di un metodo convenzionale. A tal proposito risulta essere molto interessante lo studio di Toein nel 2018 (23). Tornando allo studio effettuato, possiamo dire che sono presenti sicuramente alcuni limiti importanti, in primo luogo la scarsa numerosità campionaria ma poi anche l'inesperienza dei soggetti reclutati, che non ci permettono di trarre delle conclusioni chiare e precise; tuttavia, sarebbe interessante poter rieseguire lo stesso identico studio cercando di aumentare il numero delle settimane allenanti e il numero di soggetti reclutati per poter avere dei dati più concreti e precisi. Nonostante per i motivi sopracitati non sia possibile trarre delle conclusioni definitive, supportati dallo studio scientifico eseguito da Franchi e colleghi nel 2017, potremmo ipotizzare che un programma di allenamento per la forza ottimale necessiti di prevedere sia modalità di allenamento con il sovraccarico nella fase eccentrica sia modalità di allenamento tradizionale. Questo perché nonostante entrambe le due contrazioni apportino miglioramenti della forza e della massa muscolare piuttosto simili, sembra siano in grado di farlo reclutando le fibre muscolari in maniera differente ed in ordine diverso, provocando differenti risposte di segnalazione e producendo adattamenti morfologici distinti nelle fibre muscolari e nei fascicoli (24). Una integrazione, dunque, di queste tipologie di allenamento potrebbe essere la soluzione migliore per l'aumento di massa e di forza muscolare. Esistono poi altri riscontri pratici interessanti che l'allenamento sovra massimale eccentrico possiede e che sono stati verificati dalla letteratura scientifica. L'utilizzo di una metodica di allenamento di questo tipo sembra essere molto consigliata ed utile al fine di prevenire la sarcopenia, ossia quel processo di progressivo declino di forza e massa muscolare caratteristici dell'invecchiamento (25). Il motivo del vantaggio di tale metodica potrebbe essere spiegato dalla capacità dell'overload eccentrico di aumentare il

reclutamento neuromuscolare in misura maggiore rispetto ad un allenamento convenzionale e, allo stesso tempo, di sfruttare il basso costo metabolico richiesto dalla contrazione eccentrica. Questo permette dunque di eseguire allenamenti intensi senza un eccessivo affaticamento (12). Infine, sembra che l'utilizzo di un sovraccarico eccentrico possa avere degli interessanti riscontri nella preparazione atletica. In uno studio del 2010, Friedmann ha infatti dimostrato come l'utilizzo di questa particolare metodologia di allenamento sia in grado di migliorare in maniera più efficace il salto verticale di circa 2-3 cm rispetto ad una metodica di allenamento convenzionale in sport di squadra quali pallavolo e pallacanestro (26). L'aumento del salto verticale, del picco di potenza e il miglioramento nei tempi di esecuzione in test su cambi di direzione, sono stati verificati in atleti di sport di squadra anche in uno studio più recente condotto da Nunez nel 2018 (27). Tali affermazioni possono quindi suggerirci come l'utilizzo di tale metodologia a relative velocità di movimento possa offrire dei vantaggi negli sport di squadra date le loro elevate richieste di forza esplosiva. Il motivo di tutto ciò potrebbe essere spiegato dalla capacità del sovraccarico eccentrico di inibire l'organo tendineo del Golgi permettendo di esprimere dunque maggiori livelli di forza e potenza, oltre che a permettere modificazioni ottimali nella relazione tensione-lunghezza del muscolo scheletrico.

## 9.BIBLIOGRAFIA:

- 1.Stefanyk LE, DJ Dyck. The interaction of adipokines, diet, and exercise on muscle insulin sensitivity. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*. 2010 May;13(3):255-9. DOI: 10.1097/MCO.0b013e328338236e. PMID: 20216410.
2. Pedersen BK. Exercise-induced myokines and their role in chronic diseases. *Brain Behav Immun*. 2011 Jul;25(5):811-6. DOI: 10.1016/j.bbi.2011.02.010. EPUB 2011 Feb 25. PMID: 21354469.
- 3.MAURO A. Satellite cell of skeletal muscle fibers. *J Biophys Biochem Cytol*. 1961 Feb;9(2):493-5. DOI: 10.1083/jcb.9.2.493. PMID: 13768451; PMCID: PMC2225012.
- 4.Agarkova I, Perriard JC. The M-band: an elastic network connecting thick filaments at the sarcomere center. *Trends Cell Biol*. 2005 Sep;15(9):477-85. DOI: 10.1016/j.tcb.2005.07.001. PMID: 16061384.
- 5.Gordon AM, Homsher E, Regnier M. Regulation of contraction in striated muscle. *Physiol Rev*. 2000 Apr;80(2):853-924. DOI: 10.1152/physrev.2000.80.2.853. PMID: 10747208.
- 6.Kontogianni-Konstantopoulos A, Ackermann MA, Bowman AL, Yap SV, Bloch RJ. Muscle giants: molecular scaffolds in sarcomerogenesis. *Physiol Rev*. 2009 Oct;89(4):1217-67. DOI: 10.1152/physrev.00017.2009. PMID: 19789381; PMCID: PMC3076733.
- 7.Rubinstein, N.A. (2004) The diversity of muscle fiber types and its origin during development, in A.G. Engel and C. Franzini Amstrong (eds), *Myology basic and clinical*, New York: Mc GrawHill
8. S. Schiaffino fiber types in skeletal muscle: a personal account. *Acta Physiol (Oxf)*. 2010 Aug;199(4):451-63. DOI: 10.1111/j.1748-1716.2010.02130.x. EPUB 2010 Mar 26. PMID: 20353491.

9. Enoka R.M., *Neuromechanics of Human Movement*. Human Kinetics Publishers, Champaign, IL, 2001.

10. Bigland-Ritchie B, Woods JJ. Integrated electromyogram and oxygen uptake during positive and negative work. *J Physiol*. 1976 Sep;260(2):267-77. DOI: 10.1113/jphysiol.1976.sp011515. PMID: 978517; PMCID: PMC1309091.

11. Fridén J, Sjöström M, Ekblom B. Myofibrillar damage following intense eccentric exercise in man. *Int J Sports Med*. 1983 Aug;4(3):170-6. DOI: 10.1055/s-2008-1026030. PMID: 6629599.

12. Hoppeler H. Eccentric exercise of moderate load; A new distinct training modality. *Front Physiol*. 2016 Nov 16;7:483. DOI: 10.3389/fphys.2016.00483. PMID: 27899894; PMCID: PMC5110564.

13. Abbott, B. C., Bigland, B. and Ritchie, J.M. (1952) The physiological cost of negative work, *The journal of Physiology*, 117: 390-90.

14. Clarkson PM, Hubal MJ. Exercise-induced muscle damage in humans. *Am J Phys Med Rehabil*. 2002 Nov;81(11 Suppl):S52-69. doi: 10.1097/00002060-200211001-00007. PMID: 12409811.

15. Ogilvie RW, Armstrong RB, Baird KE, Bottoms CL. Injury in the rat soleus muscle after eccentrically distorted exercise. *Am J Anat*. 1988 Aug;182(4):335-46. DOI: 10.1002/aja.1001820405. PMID: 3189194.

16. Farthing JP, Chilibeck PD. The effects of eccentric and concentric training at different speeds on muscle hypertrophy. 2003 Aug;89(6):578-86. DOI: 10.1007/s00421-003-0842-2. EPUB 2003 May 17. PMID: 12756571.

17. Kaminski TW, Wabbersen CV, Murphy RM. Concentric versus eccentric enhanced posterior thigh muscle strength training: clinical implications. *Train J Athl*. 1998 Jul;33(3):216-21. PMID: 16558513; PMCID: PMC1320426

18. Ackermann PW, Renström P. Tendinopathy in sport. *Sports health*. 2012 May;4(3):193-201. DOI: 10.1177/1941738112440957. PMID: 23016086; PMCID: PMC3435934.
19. Arnason A, Andersen TE, Holme I, Engebretsen L, Bahr R. Prevention of posterior thigh muscle strains in elite soccer: an intervention study. *Scand J Med Sci Sport*. 2008 Feb;18(1):40-8. DOI: 10.1111/j.1600-0838.2006.00634.x. EPUB 2007 Mar 12. PMID: 17355322.
20. Sarto F, Franchi MV, Rigon PA, Grigoletto D, Zoffoli L, Zanuso S, Narici MV. Muscle activation during leg-press exercise with or without eccentric overload. 2020 Jul;120(7):1651-1656. DOI: 10.1007/s00421-020-04394-6. EPUB 2020 May 23. PMID: 32447452.
21. Penko AL, Barkley JE, Koop MM, Alberts JL. Borg scale is valid for ratings of perceived exertion for individuals with Parkinson's disease. *Int J Exerc Sci*. 2017 Jan 1;10(1):76-86. PMID: 28479949; PMCID: PMC5213192.
22. Hortobágyi T, Devita P, Money J, Barriera J. Effects of standard and eccentric overload strength training in young women. *Med Sci Sports Exerc*. 2001 Jul;33(7):1206-12. DOI: 10.1097/00005768-200107000-00020. PMID: 11445770.
23. Tøien T, Pedersen Haglo H, Unhjem R, Hoff J, Wang E. Maximal strength training: the impact of eccentric overload. *J Neurophysiology*. 2018 Dec 1;120(6):2868-2876. DOI: 10.1152/jn.00609.2018. EPUB 2018 Oct 17. PMID: 30332319.
24. Franchi MV, Reeves ND, Narici MV. Skeletal muscle remodeling in response to eccentric vs concentric loading: morphological, molecular, and metabolic adaptations. *Front Physiol*. 2017 Jul 4;8:447. DOI: 10.3389/fphys.2017.00447. PMID: 28725197; PMCID: PMC5495834.

25. Raj IS, Bird SR, Westfold BA, Shield AJ. Effects of eccentrically biased versus conventional weight training in the elderly. *Med Sci Sports Exerc.* 2012 Jun;44(6):1167-76. DOI: 10.1249/MSS.0b013e3182442ecd. PMID: 22143107.

26. Friedmann-Bette B, Bauer T, Kinscherf R, Vorwald S, Klute K, Bischoff D, Müller H, Weber MA, Metz J, Kauczor HU, Bärtzsch P, Billeter R. Effects of eccentric overload strength training on muscle adaptation in male athletes. *Eur J Appl Physiol.* 2010 Mar;108(4):821-36. DOI: 10.1007/s00421-009-1292-2. EPUB 2009 Nov 25. PMID: 1993745

27. Núñez FJ, Santalla A, Carrasquilla I, Asian JA, Reina JI, Suarez-Arrones LJ. The effects of unilateral and bilateral eccentric overload training on hypertrophy, muscle power and COD performance, and its determinants, in team sports players. *PLoS One.* 2018 Mar 28;13(3):e0193841. DOI: 10.1371/journal.pone.0193841. PMID: 29590139; PMCID: PMC5874004.