**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**

Dipartimento di Scienze Biomediche

Corso di Laurea Triennale in Scienze Motorie

Tesi di Laurea

# L'ALLENAMENTO CON OVERLOAD ECCENTRICO VS CARICO CONVENZIONALE: EFFETTI SULLA MORFOLOGIA DEL MUSCOLO QUADRICIPITE

Relatore: Prof. Martino Franchi

Laureando: Leonardo Zanatta

N° di matricola: 2078917

Anno Accademico 2024/2025

# INDICE

**1. Introduzione……4**

1.1. Il quadricipite femorale……... 4

1.2. Allenamento concentrico vs Allenamento eccentrico……. 5

1.3. Accentuated eccentric loading (AEL)…… 5

**2. Materiali e Metodi…….. 7**

2.1. Razionale ed ipotesi…… 7

2.2.Disegno Sperimentale…….. 7

2.3. Reclutamento……...8

2.4. Test Pre e Post-Allenamento……... 8

2.4.1. Questionario GPAQ……. 8

2.4.2. Diario Alimentare……9

2.4.3. Segni anatomici e Punti di repere……9

2.4.4. Ecografia ad ultrasuoni statica……. 9

2.4.5. Test al Dinamometro: MVC, HDEMG e SWE……..10

2.5.Protocollo di allenamento…….. 10

2.5.1. Calcolo del ROM……... 11

2.5.2. Riscaldamento……11

2.5.3. Test Isocinetico…….. 11

2.5.4. Stima del Massimale……..11

2.5.5. Allenamento……...11

2.5.6. Valutazione su scala di Soreness e di Borg……12

2.6.Analisi delle immagini ecografiche……... 12

**3. Esposizione dei dati…….. 13**

**4. Analisi Statistica e Risultati……15**

4.1. Quadricipite Femorale…….. 15

4.2. Vasto Laterale, Vasto Mediale, Vasto Intermedio e Retto Femorale……17

4.3. Regione Distale Vs Regione Medio-Prossimale……...18

**5. Discussione e conclusione……20**

**6. Bibliografia……23**

# 1. INTRODUZIONE

## 1.1 Il quadricipite femorale

Il quadricipite femorale (QF) è il muscolo più grande della gamba umana, occupa la loggia anteriore della coscia ed è suddiviso in quattro capi, tutti innervati dal nervo femorale (L2-L4):

- ◊ Vasto Laterale (VL): è la componente più voluminosa, origina dalla linea intertrocanterica, dai margini anteriore e inferiore del grande trocantere e dalla metà prossimale della linea aspra; si inserisce in un tendine appiattito sulla base e sul margine laterale della rotula.
- ◊ Vasto intermedio (VI): origina dalla faccia antero-laterale dei due terzi prossimali del femore e dalla parte inferiore del setto intermuscolare laterale; termina con un'aponevrosi sul margine laterale della rotula e sul condilo laterale della tibia.
- ◊ Vasto Mediale (VM): origina dalla linea intertrocanterica, dal labbro mediale della linea aspra, e dai tendini dell'adduttore lungo e grande; si inserisce sul margine mediale della patella.
- ◊ Retto Femorale (RF): origina dalla spina iliaca antero-inferiore, da una doccia sopra l'acetabolo e dalla capsula fibrosa dell'articolazione dell'anca; si inserisce con un tendine appiattito alla base della rotula; è l'unico biarticolare, perciò, è coinvolto anche nell'azione di flessione della coscia sull'anca.

Tutti questi quattro tendini si riuniscono nella parte inferiore della coscia in un unico tendine, che prima si fissa sulla rotula e poi da essa riparte per inserirsi sulla tuberosità tibiale, è chiamato legamento patellare.

Il quadricipite rappresenta il principale estensore del ginocchio e contribuisce in modo determinante al controllo della deambulazione, all'assorbimento/trasferimento delle forze negli schemi di spinta e alla stabilità del ginocchio nelle attività della vita quotidiana e nelle performance sportive *(Konow & Roberts, 2015)*[1].

Dal punto di vista adattivo il QF risponde al Resistance Training (RT) attraverso modificazioni morfologiche (Aumento della Cross-Sectional Area, CSA; rimodellamento architetturale) e funzionali (aumento di forza e/o potenza, Stretch-Shortening Cycle, SSC) la cui entità e distribuzione regionale, dipendono dalle caratteristiche dello stimolo meccanico come ampiezza di carico, fase contrattile enfatizzata, Time Under Tension (TUT), lunghezze muscolari *(Douglas et al.,2017; Franchi et al.,2017; Schoenfeld, 2010; Lim et al., 2022)*[2/3/4/5]

### 1.2 Allenamento concentrico vs Allenamento Eccentrico

Sappiamo che la muscolatura scheletrica è in grado di eseguire contrazioni sia in fase di allungamento (eccentrica), sia in fase di accorciamento (concentrica), tuttavia queste due contrazioni presentano differenze in termini di produzione di forza, di costo energetico e di attivazione neurale.
La contrazione eccentrica in particolare è in grado di sviluppare tassi di forza più elevati *(Katz, 1939)*[6], è caratterizzata da un minor costo energetico *(Hoppeler, 2016)*[7], e da una minor attivazione neurale volontaria *(Amiridis et al., 1996)*[8].
Queste differenze hanno portato sempre più attenzione verso questo tipo di contrazione, perciò, è cresciuto l'interesse nel determinare eventuali differenze morfologiche e funzionali tra protocolli di allenamento di tipo concentrico ed eccentrico.
Secondo la systematic review condotta da Douglas et al. *(2017)*[2], quest'ultimo sembrerebbe essere caratterizzato da:

- ◊ Maggior aumento della forza espressa nella fase di allungamento, paragonabile invece l'aumento generale.
- ◊ Maggior aumento della potenza e della funzione del SSC.
- ◊ Efficacia paragonabile a quella dei protocolli concentrici per quanto riguarda l'aumento della CSA.
- ◊ Preferenza di un'ipertrofia di tipo longitudinale (aumento dei sarcomeri in serie).
- ◊ Aumento della dimensione e della percentuale delle fibre di tipo II.
- ◊ Miglioramento qualitativo e quantitativo del tessuto del tendine preso in causa.

Nonostante non garantisca un aumento di ipertrofia in termini assoluti, l'allenamento eccentrico del QF si è visto favorire adattamenti regionali, in particolare nella porzione distale, offrendo quindi vie adattive potenzialmente vantaggiose per la sua funzione *(Franchi et al., 2014)*[9].

### 1.3 Accentuated Eccentric Loading (AEL)

Lo sviluppo tecnologico ha permesso l'arrivo nel mercato di macchinari come la Leg Press Biostrength di Technogym, macchinario che utilizza magneti inerziali al posto del classico pacco pesi per offrire resistenza, grazie a questa tecnologia è molto semplice agire sul carico applicato e quindi di avere due intensità differenti nelle fasi di allungamento e di accorciamento. Uniamo a questa tecnologia il discorso fatto pocanzi sulle differenze tra contrazione concentrica e contrazione eccentrica ed il risultato sarà Accentuated Eccentric Loading (AEL), ovvero un protocollo di

allenamento che prevede l'aumento del carico durante la contrazione eccentrica ed una diminuzione durante la contrazione concentrica. Alcuni studi indicano che l'overload eccentrico può potenziare gli incrementi di forza massimale, talvolta senza differenze chiare in ipertrofia globale rispetto all'allenamento convenzionale, soprattutto in soggetti già allenati *(Walker et al., 2016)*[10]. Review più recenti evidenziano che gli esiti dipendono dal dosaggio, entità del sovraccarico eccentrico, organizzazione della serie, familiarizzazione con il movimento e con il macchinario, e dalla popolazione studiata *(Fonseca et al., 2023; Merrigan et al., 2022)*[11/12].

Per quanto riguarda l'entità del sovraccarico si è scoperto che utilizzare il 150% del carico in fase eccentrica permette di avere un'attivazione neuromuscolare paragonabile a quella della fase concentrica, andando perciò a massimizzare anche gli adattamenti neurali *(Sarto et al., 2020)*[13].

# 2. MATERIALI E METODI

## 2.1 Razionale ed ipotesi

Nonostante l'ampia documentazione sui benefici dell'eccentrico, restano scarsamente esplorati studi sperimentali che confrontino in modo controllato e con misure morfologiche dirette, un protocollo di allenamento convenzionale con un protocollo AEL con sovraccarico eccentrico predefinito su dispositivi intelligenti, in popolazioni giovani, sane e modestamente allenate *(Walker et al., 2016; Sarto et al., 2020)*[10/13].

Le evidenze esistenti su leg press con carichi eccentrici maggiori del 100% mostrerebbero vantaggi chiari per quanto riguarda forza e attivazione neuromuscolare, ma gli effetti sull'ipertrofia del QF, misurata come CSA, appaiono eterogenei e potenzialmente dipendenti da dosaggio, durata del protocollo e regione muscolare *(Fonseca et al., 2023; Bright et al., 2023)*[11/14]. Colmare tale mancanza potrebbe essere rilevante sia per l'ottimizzazione dei programmi di forza, sia per contesti clinici o riabilitativi, in cui massimizzare gli adattamenti con costi energetici contenuti può risultare strategico.

In linea con la maggior tensione meccanica e la maggior attivazione osservabili nella fase eccentrica con carichi accentuati, si ipotizza che il protocollo ECC+ possa determinare aumenti di CSA pari o superiori rispetto al protocollo CONV con possibili differenze regionali tra i capi del QF compatibili con la letteratura su Eccentrico vs Concentrico *(Franchi et al., 2017; Schoenfeld et al., 2017)*[3/15].

## 2.2 Disegno sperimentale

Lo studio è stato realizzato nel laboratorio di fisiologia del Dipartimento di Scienze Biomediche dell'Università degli Studi di Padova da un gruppo di ricercatori e studenti appartenenti all'Anno Accademico 2024/2025. Il protocollo prevedeva sei settimane di allenamento comprensive di tre allenamenti ciascuna per ognuno dei soggetti reclutati. a cui erano state precedentemente richieste informazioni personali, sul loro livello di attività fisica, su eventuali patologie, infortuni o altro che potesse essere criterio di esclusione. I soggetti sono stati sottoposti a dei test pre e post-intervento per confermare o sfatare l'ipotesi dello studio. Non avendo riscontrato problematiche lo studio si è realizzato secondo questa struttura: Reclutamento, Test pre-allenamento, Allenamento, Test post-allenamento, Raccolta e analisi dei dati.

## 2.3 Reclutamento

La fase di reclutamento, iniziata a marzo, si è estesa ad una popolazione ampia ed eterogenea, principalmente facente parte del bacino di studenti dell'Università, che in seguito si è ridotta a 12 candidati. I criteri di inclusione sono stati:

- ◊ Età compresa tra 18 e 30 anni
- ◊ Moderatamente attivi (attività fisica svolta 2/3 volte a settimana)
- ◊ Assenza di infortuni o altre problematiche agli arti infeirori
- ◊ Assenza di patologie generali (Diabete, epilessia ecc.)

Successivamente i 12 soggetti sono stati divisi in base alle caratteristiche anatomiche e al passato sportivo in due gruppi: Un gruppo di controllo, allenato in maniera convenzionale e perciò denominato CONV, e un gruppo di studio, allenato con protocollo AEL con un overload eccentrico pari al 50% in più del carico concentrico, denominato ECC. Essendo questo studio la continuazione di un medesimo iniziato l'anno passato le sigle dei soggetti saranno così composte: Gruppo di appartenenza (CONV o ECC) + Anno dello studio (24) + numero di identificazione (11, 12, 13…..)

## 2.4 Test Pre e Post-Allenamento

Come prima cosa ai soggetti è stato dato un modulo di consenso informato, essenziale per garantire che fossero pienamente informati sulle finalità e le metodologie dello studio, comprese eventuali implicazioni, benefici e rischi legati alla partecipazione, è stato poi fornito loro il questionario GPAQ e un diario alimentare. I test veri e propri hanno avuto poi inizio con una determinazione dei segni anatomici e dei punti di repere di nostro interesse, seguiti da un'ecografia ad Ultrasound statica e dei test al dinamometro quali Maximum Voluntary Contraction (MVC), High Density Electromyography (HDEMG) e Shear Way Elastography (SWE).

### 2.4.1 Questionario GPAQ

Ai soggetti è stato somministrato, prima e dopo l'intervento, il Global Physical Activity Questionnaire, un questionario standardizzato sviluppato dall'OMS il quale permette di valutare il livello di attività fisica di ciascuno in una tipica settimana, differenziando tra: attività lavorativa, spostamenti attivi (camminare, andare in bicicletta), e attività nel tempo libero. Questa valutazione si rivela significativa per permettere una conoscenza dello stile di vita di ciascun soggetto coinvolto,

tali variabili possono infatti influenzare le caratteristiche architetturali e le prestazioni muscolari a cui siamo interessati.

### 2.4.2 Diario Alimentare

È stato poi consegnato un diario alimentare da compilare prima e dopo l'intervento, nel quale segnare gli alimenti consumati, le quantità, l'ora e il luogo del consumo del pasto, per capire se le abitudini alimentari, a livello di introito calorico, cambiassero durante il periodo di allenamento

### 2.4.3 Segni anatomici e Punti di repere

Ogni soggetto è stato fatto distendere su un lettino, e con un pennarello sono stati segnati sull'arto inferiore destro, standard per tutti i soggetti anche se mancini, i punti di repere necessari per le analisi ecografiche:

- ◊ Grande trocantere del femore
- ◊ Punto medio patellare
- ◊ 20% della lunghezza del femore (FL)
- ◊ 30% FL
- ◊ 35% FL
- ◊ 40% FL
- ◊ 50% FL
- ◊ 60% FL
- ◊ 70% FL

Il grande trocantere e il punto medio patellare sono serviti per misurare FL e di conseguenza poterlo dividere nelle sue porzioni sopra elencate. È stato attribuito il valore 0% al punto medio patellare e il 100% al grande trocantere

### 2.4.4 Ecografia ad Ultrasuoni statica

L'ecografia ad ultrasuoni è una metodica ampiamente utilizzata in ambito clinico e sportivo poiché considerata non invasiva per il soggetto e in grado di fornire immagini di qualità del tessuto muscolare e tendineo in analisi. Il suo funzionamento è possibile grazie ad un Probe, ovvero una sonda che emette onde sonore che attraversano i tessuti, i quali le riflettono in diversa misura a seconda della loro composizione; tutto questo è coadiuvato da un gel apposito che ottimizza la diffusione di queste

onde. Il probe poi rileva nuovamente le onde emesse e fornisce un'immagine bidimensionale della struttura in esame.

La prima rilevazione ecografica è stata effettuata con il macchinario Supersonic Imagine Aixplorer, utilizzando un probe da 5 cm (SL 18-5) posizionato longitudinalmente alle fibre muscolari del Vasto Laterale, ed eseguendo uno snap shot al 50% e al 30% di FL. Per la seconda rilevazione, usando un probe da 10 cm (LA 923), è stata eseguita una panoramica longitudinale del vasto laterale partendo prima dal 50% e poi dal 30% di FL. Queste immagini sono state poi usate per valutare la Muscle Thickness, la lunghezza dei fascicoli muscolari e il loro angolo di pennazione.

Si è passato poi al macchinario Esaote Mylab 70, dove tramite l'utilizzo di un probe da 3.8 cm (SL 10-2), siamo stati in grado di ottenere sei panoramiche trasversali dell'intero muscolo quadricipite, partendo dal vasto mediale fino ad incontrare il margine del vasto laterale, al 20%, 30%, 40%, 50%, 60% e 70% di FL; queste immagini sono servite per valutare la CSA del muscolo quadricipite.

### 2.4.5 Test al Dinamometro: MVC, HDEMG e SWE

A seguito delle analisi ecografiche ad ogni soggetto è stato attaccato un cluster di 64 elettrodi posti in corrispondenza del vasto laterale per determinarne l'attività elettrica tramite HDEMG. È stato quindi fatto sedere ed agganciato ad un dinamometro, prima con angolo al ginocchio pari a 90° e poi a 60°, e sottoposto ai seguenti test: una massima contrazione volontaria (MVC) e un test per il controllo motorio in cui il soggetto ha avuto il compito di modulare la contrazione seguendo delle rampe proiettate a schermo.

È stato poi il momento della Shear Way Elastography, condotta grazie al macchinario Supersonic Imagine Aixplorer e tramite un probe da 3.8 cm (SL10-2), con il quale è stato acquisito un video di cinque secondi utile a stimare la stiffness del muscolo.

## 2.5 Protocollo di Allenamento

Lo studio è stato reso possibile da un macchinario all'avanguardia ovvero la Leg Press REV Biostrenght, che al posto del classico pacco pesi è dotata di un motore elettromagnetico che rende possibili diversi tipi di sovraccarico, tra i quali anche l'overload eccentrico; tra le diverse percentuali disponibili abbiamo scelto il +50%, in linea con i dati forniti dalla letteratura.

Il protocollo è stato concordato a tre allenamenti settimanali, con attenzione a distanziare gli stessi di almeno 24 ore l'uno dall'altro, per una durata totale di sei settimane e 18 sessioni così composte:

Calcolo del ROM, Riscaldamento, Test Isocinetico (solo nella sessione 1 e nella sessione 18), Stima del massimale (ogni prima sessione della settimana e alla numero 18), Allenamento, Valutazione su Scala di Soreness e di Borg.

### 2.5.1 Calcolo del ROM

La prima fase era il calcolo del ROM, valore richiesto dal macchinario per assestarsi e calcolato tramite tre spinte, una completa (da flessione a 90° a massima estensione senza bloccaggio dell'articolazione) e due mezzi colpi.

### 2.5.2 Riscaldamento

Si proseguiva poi con il riscaldamento standardizzato, che prevedeva 10 ripetizioni per gamba al 30% di 1RM, un recupero di 30 secondi, 5 ripetizioni per gamba al 50% di 1RM e altri 30 secondi di recupero prima dell'inizio dell'allenamento. L'unica eccezione è stata fatta per il primo allenamento, in cui non conoscendo l'1RM dei soggetti, abbiamo stimato noi i carichi di riscaldamento

### 2.5.3 Test Isocinetico

Alla sessione numero 1 e alla numero 18 i soggetti sono stati sottoposti ad un test isocinetico di spinta massimale, composto da tre spinte contro resistenza adattata dal macchinario; per ogni soggetto si è presa quella con il risultato migliore per entrambe le sessioni, lo scopo di questo test era valutare l'eventuale crescita di questo dato e metterlo in relazione con il protocollo seguito.

### 2.5.4 Stima del massimale

Ogni prima sessione della settimana e alla numero 18 abbiamo stimato l'1RM dei soggetti calcolando il 6RM, facendo quindi completare 6 ripetizioni e ricercando il massimale entro 3 serie distanziate da 3 minuti di recupero; questo ci ha permesso di aggiornare settimanalmente i carichi in linea con i miglioramenti dei soggetti.

### 2.5.5 Allenamento

Una volta conclusi i precedenti step i soggetti erano pronti per iniziare l'allenamento; il carico scelto per entrambi i gruppi è stato il 70% dell'1RM stimato, con la differenza che il gruppo ECC aveva in più il sovraccarico eccentrico del 50%. Gli appartenenti al gruppo CONV hanno eseguito 4 serie da 10 ripetizioni per le prime 4 settimane, e 5 serie da 10 ripetizioni per le ultime due; gli appartenenti del gruppo ECC hanno invece eseguito 4 serie da 8 ripetizioni per le prime 4 settimane e 5 serie da 8

per le ultime due. Per entrambi i gruppi abbiamo utilizzato un recupero di 90” tra una serie e l’altra e un Time Under Tension di 2” sia per fase concentrica sia per fase eccentrica (controllato da un metronomo settato a 30BPM)

In caso il soggetto non riuscisse a portare a termine le ripetizioni previste per una serie, queste venivano recuperate con delle serie aggiuntive; se invece fosse stato il macchinario ad agire da spotter il soggetto cercava di recuperare la ripetizione persa facendone una in più o, in caso di cedimento, essa veniva aggiunta alle ripetizioni da recuperare.

### 2.5.6 Valutazione su scala di Soreness e di Borg

Prima e dopo ogni allenamento mostravamo ai soggetti la scala di Soreness, chiedendo loro come valutassero eventuali dolori, affaticamenti o indolenzimenti della gamba destra su una scala da 1 a 10; Solamente alla fine dell’allenamento invece mostravamo loro la scala di Borg, chiedendo loro di quantificare lo sforzo generale, non solo della gamba destra, percepito in quella seduta di allenamento sempre in una scala da 1 a 10.

## 2.6 Analisi delle immagini ecografiche

In questo progetto di tesi verranno analizzate solamente le panoramiche trasversali catturate grazie all’ultrasound alle diverse percentuali di FL, si andrà quindi a discutere di CSA e volume muscolare, sia dei singoli capi, sia del quadricipite in toto. Cercheremo di capire come ognuno dei due protocolli agisce sulla muscolatura, se sono presenti aree maggiormente colpite da ipertrofia o se ci sono invece casi di riduzione del volume muscolare. Per fare ciò verrà utilizzato il software open-source ImageJ che permette di delineare manualmente il perimetro dei vari capi del quadricipite per ogni porzione di FL, e di calcolarne la corrispondente area. Tutte le misure verranno prese con la medesima calibrazione per ridurre al minimo le possibilità di errore.

# 3. ESPOSIZIONE DEI DATI

| VL PRE | VL20 | VL30 | VL40 | VL50 | VL60 | VL70 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| CONV2411 | 4,370 | 10,396 | 13,809 | 18,234 | 22,397 | 19,865 |
| CONV2412 | 2,679 | 7,646 | 10,824 | 15,365 | 17,370 | 14,704 |
| CONV2413 | 5,794 | 14,403 | 18,958 | 22,734 | 22,601 | 25,239 |
| CONV2414 | 6,118 | 14,905 | 20,844 | 30,714 | 34,273 | 36,018 |
| CONV2416 | 3,699 | 11,335 | 22,409 | 30,729 | 29,568 | 29,236 |
| CONV2417 | 5,223 | 11,593 | 16,609 | 21,475 | 23,418 | 22,916 |
| | | | | | | |
| ECC2411 | 6,248 | 14,249 | 21,510 | 25,517 | 27,325 | 26,471 |
| ECC2412 | 1,736 | 6,026 | 14,129 | 19,986 | 23,325 | 21,311 |
| ECC2413 | 3,668 | 8,054 | 11,440 | 14,869 | 16,805 | 13,817 |
| ECC2415 | 3,521 | 8,881 | 13,366 | 17,532 | 20,596 | 22,001 |
| ECC2416 | 2,288 | 7,344 | 13,733 | 18,840 | 22,254 | 21,033 |
| ECC2417 | 7,035 | 12,938 | 20,486 | 24,948 | 27,036 | 26,139 |

| VL POST | VL20 | VL30 | VL40 | VL50 | VL60 | VL70 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| CONV2411 | 4,465 | 10,258 | 14,048 | 18,587 | 24,263 | 25,878 |
| CONV2412 | 3,081 | 8,531 | 13,279 | 18,302 | 19,752 | 16,689 |
| CONV2413 | 5,183 | 13,476 | 19,198 | 24,436 | 27,303 | 30,607 |
| CONV2414 | 6,195 | 14,811 | 23,665 | 30,903 | 35,464 | 36,817 |
| CONV2416 | 4,245 | 15,572 | 27,207 | 35,506 | 34,739 | 31,862 |
| CONV2417 | 4,235 | 11,488 | 17,557 | 25,268 | 26,512 | 23,133 |
| | | | | | | |
| ECC2411 | 6,477 | 15,471 | 23,461 | 29,386 | 27,058 | 26,741 |
| ECC2412 | 1,824 | 8,260 | 17,064 | 23,174 | 26,347 | 24,987 |
| ECC2413 | 4,674 | 9,428 | 12,612 | 16,450 | 16,839 | 15,054 |
| ECC2415 | 3,719 | 11,070 | 16,769 | 21,238 | 23,865 | 24,176 |
| ECC2416 | 1,561 | 6,428 | 13,286 | 19,759 | 22,523 | 21,684 |
| ECC2417 | 3,808 | 12,988 | 21,513 | 28,988 | 32,719 | 31,507 |

| VI PRE | VI20 | VI30 | VI40 | VI50 | VI60 | VI70 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| CONV2411 | 9,917 | 13,777 | 18,995 | 22,372 | 25,361 | 23,211 |
| CONV2412 | 7,434 | 11,411 | 13,692 | 17,062 | 17,194 | 16,525 |
| CONV2413 | 12,284 | 19,084 | 22,537 | 25,042 | 24,720 | 22,209 |
| CONV2414 | 13,232 | 17,454 | 22,438 | 28,699 | 27,753 | 31,477 |
| CONV2416 | 13,717 | 18,494 | 22,644 | 28,299 | 28,433 | 31,759 |
| CONV2417 | 10,937 | 17,368 | 19,022 | 19,846 | 20,112 | 18,513 |
| | | | | | | |
| ECC2411 | 14,381 | 16,740 | 20,904 | 23,998 | 28,673 | 28,513 |
| ECC2412 | 9,379 | 12,811 | 15,882 | 21,981 | 23,795 | 19,442 |
| ECC2413 | 7,638 | 9,989 | 13,229 | 14,749 | 14,394 | 14,260 |
| ECC2415 | 12,923 | 19,102 | 21,098 | 26,025 | 27,621 | 26,726 |
| ECC2416 | 9,941 | 12,807 | 17,706 | 20,298 | 20,791 | 18,193 |
| ECC2417 | 11,435 | 14,046 | 16,878 | 23,226 | 27,323 | 24,476 |

| VI POST | VI20 | VI30 | VI40 | VI50 | VI60 | VI70 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| CONV2411 | 9,905 | 14,521 | 17,831 | 22,346 | 24,810 | 24,401 |
| CONV2412 | 8,504 | 12,622 | 15,104 | 19,529 | 17,870 | 18,603 |
| CONV2413 | 12,864 | 18,912 | 22,522 | 25,439 | 28,607 | 23,244 |
| CONV2414 | 14,656 | 17,802 | 22,645 | 26,279 | 29,492 | 30,710 |
| CONV2416 | 16,034 | 19,671 | 23,909 | 33,616 | 32,683 | 30,915 |
| CONV2417 | 9,848 | 15,746 | 19,860 | 23,942 | 22,659 | 19,272 |
| | | | | | | |
| ECC2411 | 16,138 | 19,089 | 22,235 | 27,255 | 27,113 | 25,461 |
| ECC2412 | 9,873 | 14,443 | 17,253 | 22,971 | 28,989 | 21,942 |
| ECC2413 | 9,706 | 11,215 | 14,027 | 15,234 | 14,516 | 15,099 |
| ECC2415 | 15,080 | 19,794 | 23,051 | 27,735 | 27,078 | 29,431 |
| ECC2416 | 9,631 | 12,254 | 18,172 | 21,934 | 19,990 | 18,856 |
| ECC2417 | 11,667 | 15,075 | 16,641 | 25,983 | 29,674 | 29,820 |

| RF PRE | RF20 | RF30 | RF40 | RF50 | RF60 | RF70 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| CONV2411 | NV | 3,015 | 6,011 | 8,696 | 11,872 | 12,207 |
| CONV2412 | 0,267 | 2,908 | 4,018 | 6,381 | 9,505 | 11,619 |
| CONV2413 | NV | 3,546 | 5,592 | 8,039 | 11,806 | 11,474 |
| CONV2414 | NV | 1,554 | 3,789 | 6,142 | 8,867 | 11,644 |
| CONV2416 | NV | 1,232 | 5,141 | 7,111 | 10,837 | 13,287 |
| CONV2417 | NV | 1,653 | 4,520 | 6,673 | 8,340 | 11,232 |
| | | | | | | |
| ECC2411 | NV | 3,647 | 7,408 | 11,031 | 13,248 | 16,808 |
| ECC2412 | NV | 0,000 | 3,564 | 6,571 | 9,968 | 12,583 |
| ECC2413 | NV | 0,626 | 2,299 | 4,244 | 6,643 | 10,796 |
| ECC2415 | NV | 2,286 | 4,419 | 6,100 | 7,594 | 9,783 |
| ECC2416 | NV | 0,525 | 3,543 | 6,851 | 8,946 | 10,781 |
| ECC2417 | NV | 2,067 | 5,572 | 8,569 | 12,731 | 14,169 |

| RF POST | RF20 | RF30 | RF40 | RF50 | RF60 | RF70 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| CONV2411 | NV | 2,280 | 4,528 | 7,585 | 9,775 | 10,752 |
| CONV2412 | 0,499 | 2,993 | 4,500 | 7,200 | 9,847 | 11,842 |
| CONV2413 | NV | 2,529 | 4,843 | 8,289 | 11,987 | 13,312 |
| CONV2414 | NV | 1,717 | 4,068 | 5,981 | 8,860 | 12,294 |
| CONV2416 | NV | 1,891 | 5,403 | 7,586 | 10,698 | 13,273 |
| CONV2417 | NV | 0,999 | 3,222 | 6,549 | 8,398 | 10,930 |
| | | | | | | |
| ECC2411 | NV | 4,252 | 7,767 | 11,296 | 12,886 | 16,091 |
| ECC2412 | NV | 0,781 | 3,780 | 6,691 | 9,849 | 12,722 |
| ECC2413 | NV | 0,766 | 2,890 | 4,385 | 6,883 | 11,007 |
| ECC2415 | NV | 2,546 | 4,543 | 6,241 | 7,815 | 9,815 |
| ECC2416 | NV | 0,230 | 2,601 | 6,953 | 8,992 | 10,992 |
| ECC2417 | NV | 1,303 | 5,297 | 8,668 | 12,737 | 14,194 |

| VM PRE | VM20 | VM30 | VM40 | VM50 | VM60 | VM70 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| CONV2411 | 19,456 | 18,030 | 11,252 | 6,121 | 3,411 | NV |
| CONV2412 | 14,306 | 10,926 | 7,795 | 5,578 | 4,732 | NV |
| CONV2413 | 26,291 | 21,769 | 12,200 | 7,576 | 3,116 | 2,283 |
| CONV2414 | 20,279 | 19,832 | 19,696 | 11,223 | 5,516 | NV |
| CONV2416 | 23,044 | 20,120 | 16,092 | 10,859 | 4,887 | NV |
| CONV2417 | 17,377 | 19,909 | 12,769 | 8,510 | 2,555 | 1,521 |
| | | | | | | |
| ECC2411 | 26,073 | 22,566 | 10,474 | 8,926 | 3,147 | NV |
| ECC2412 | 13,899 | 13,567 | 10,781 | 8,260 | 2,483 | NV |
| ECC2413 | 12,741 | 10,819 | 6,414 | 2,977 | 2,215 | NV |
| ECC2415 | 23,744 | 18,882 | 12,736 | 9,697 | 4,291 | NV |
| ECC2416 | 16,771 | 14,982 | 12,796 | 6,138 | 3,353 | 2,485 |
| ECC2417 | 18,291 | 21,372 | 18,784 | 14,231 | 4,272 | NV |

| VM POST | VM20 | VM30 | VM40 | VM50 | VM60 | VM70 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| CONV2411 | 20,997 | 19,003 | 11,062 | 8,551 | 3,518 | NV |
| CONV2412 | 16,462 | 13,811 | 8,886 | 7,505 | 5,162 | NV |
| CONV2413 | 27,814 | 23,082 | 13,115 | 7,647 | 3,721 | 2,843 |
| CONV2414 | 20,967 | 21,138 | 18,512 | 11,061 | 5,008 | NV |
| CONV2416 | 27,582 | 23,697 | 17,859 | 11,954 | 5,435 | NV |
| CONV2417 | 18,325 | 20,818 | 16,758 | 9,585 | 3,876 | 1,984 |
| | | | | | | |
| ECC2411 | 26,899 | 24,674 | 19,940 | 9,195 | 3,371 | NV |
| ECC2412 | 17,417 | 14,852 | 11,450 | 8,238 | 2,793 | NV |
| ECC2413 | 14,286 | 11,607 | 7,089 | 3,233 | 2,537 | NV |
| ECC2415 | 27,640 | 21,693 | 13,540 | 9,221 | 3,114 | NV |
| ECC2416 | 17,706 | 17,135 | 15,337 | 6,933 | 4,152 | 2,760 |
| ECC2417 | 21,767 | 24,778 | 21,857 | 14,982 | 5,861 | NV |

# 4. ANALISI STATISTICA E RISULTATI

Nelle tabelle precedenti sono state riportate le misurazioni in $cm^2$ pre e post-intervento, per ciascuno dei quattro muscoli del quadricipite. Quelle non visibili, o comunque non oggettivamente riconoscibili sono state contrassegnate con la notazione "NV".

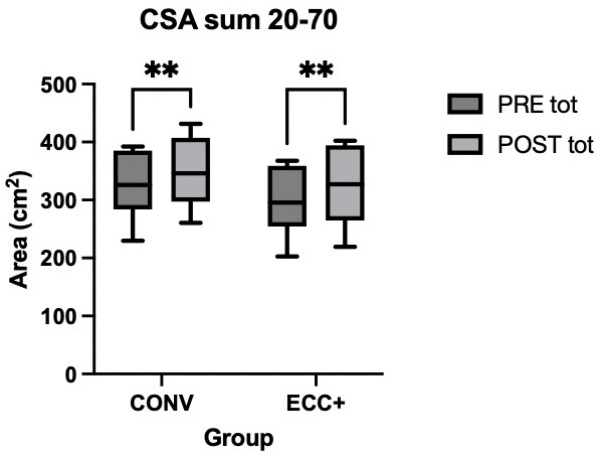
L'analisi statistica è stata condotta grazie al software Prism, che ci ha permesso di utilizzare un Two-Way ANOVA (Analisi della Varianza), in modo da analizzare se due fattori indipendenti, come per esempio il tipo di protocollo e il tempo passato, abbiano o meno influenza su una variabile dipendente come la CSA del muscolo, e se esiste un'interazione tra di loro.

In particolare, ci andremo a soffermare sui seguenti cambiamenti:

- ◊ Somma CSA Quadricipite 20-70
- ◊ CSA Quadricipite 20, 30, 40, 50, 60, 70
- ◊ CSA dei vari capi 20, 30, 40, 50, 60, 70
- ◊ Differenza di incremento della CSA del quadricipite tra porzione distale e medio-prossimale.

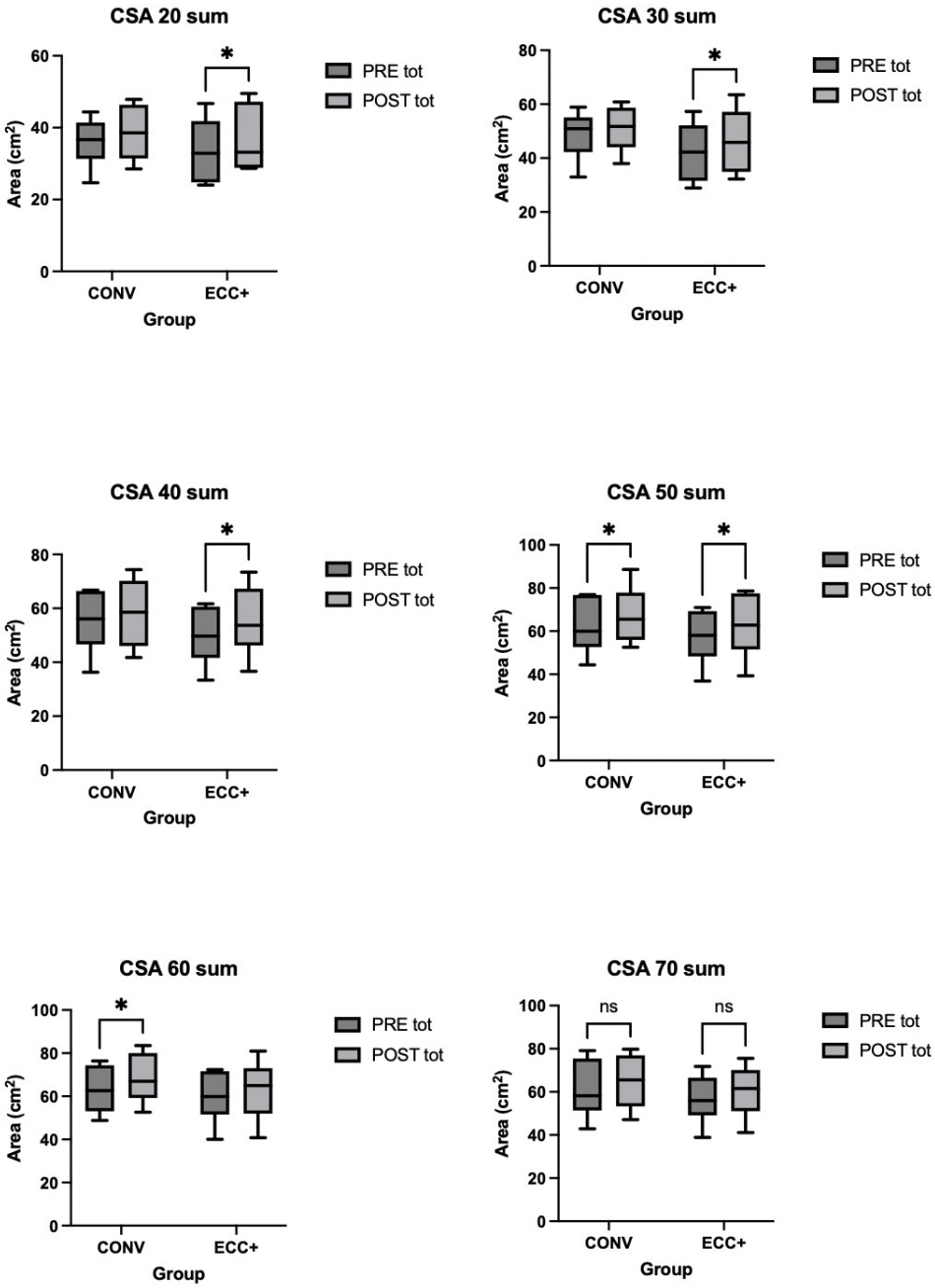
### 4.1 Quadricipite femorale

Il primo step è stato quello di andare a sommare i valori delle CSA presi alle diverse percentuali di FL, tenendoli divisi per tipologia di protocollo e per tempo (pre o post-intervento), in modo da confrontare prima l'efficacia generale di ciascuno dei protocolli in funzione del tempo, e poi per metterli a confronto tra di loro.



Con l'aiuto di questo grafico è semplice verificare come entrambi i gruppi, coerentemente con la letteratura, abbiano ottenuto degli aumenti significativi di CSA durante il corso delle sei settimane, si sono rivelati perciò entrambi efficaci con una leggera differenza positiva per quanto riguarda il protocollo ECC+, che però non è risultata statisticamente significativa probabilmente per via della differenza intersoggettiva ed il numero limitato di soggetti presi in studio.

Abbiamo poi voluto verificare l'incremento della CSA per ogni percentuale di FL a noi disponibile per valutare l'eventuale presenza di un'ipertrofia più regionale che generalizzata.



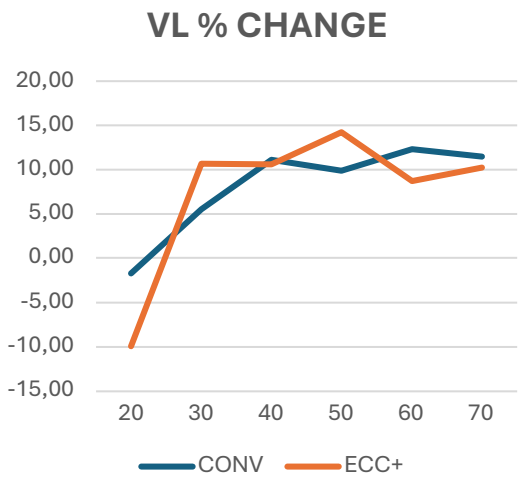
Da questa prima analisi sembrerebbe effettivamente che i soggetti del protocollo ECC+ abbiano avuto un'ipertrofia maggiormente localizzata nella porzione distale, ciò viene confermato dalla significatività statistica riscontrata al 20, 30 e 40% e chiaramente anche dalla differenza, che anche se pur lieve è sempre presente tra i due protocolli. Come possiamo notare a partire dal 50% abbiamo invece un 'inversione della tendenza, con un'ipertrofia maggiormente presente nei soggetti del gruppo CONV e sempre più significativa. Indagheremo poi maggiormente nel dettaglio questa osservazione.

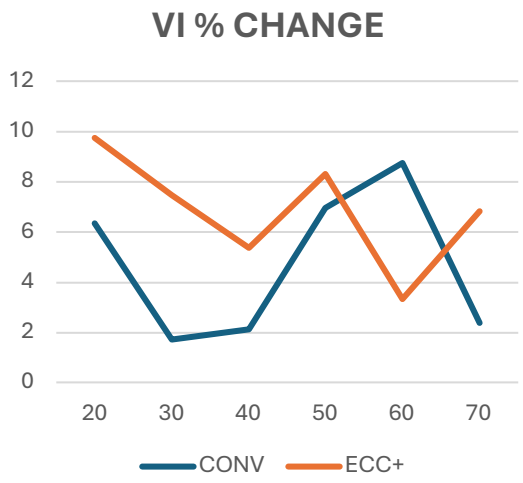
**4.2 Vasto Laterale, Vasto Mediale, Vasto Intermedio, Retto Femorale.**

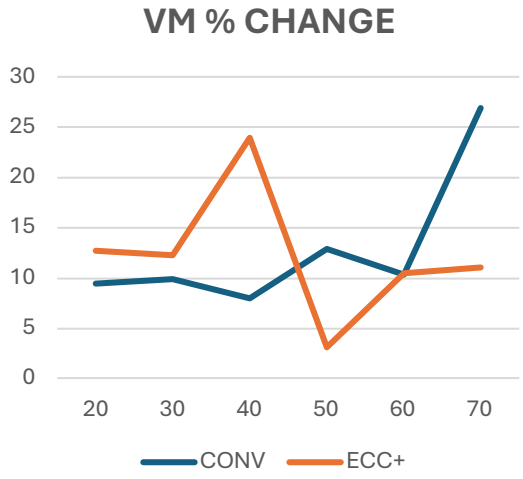
Controllando singolarmente i dati dei vari capi del quadricipite abbiamo visto fin da subito che il Retto Femorale non è stato soggetto a variazioni prevedibili come gli altri tre capi, ed ha infatti più volte diminuito la sua CSA. Probabilmente ciò è dovuto da diversi fattori, quali:

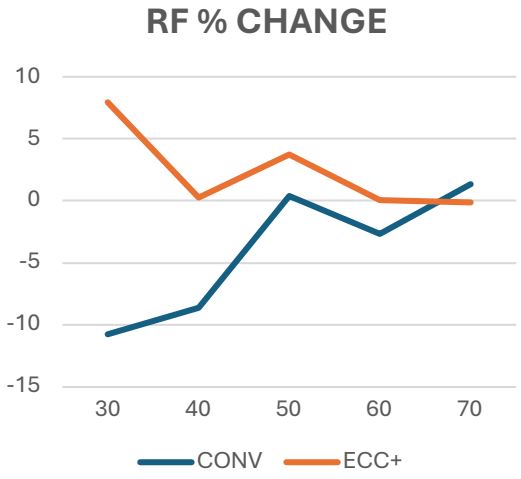
- ◊ La posizione sfavorevole imposta dal macchinario stesso, caratterizzata da una marcata flessione d'anca e lordosi lombare, entrambe controproducenti se si pensa alla biarticolarità del RF
- ◊ Possibili errori commessi nella determinazione dei punti di repere per le ecografie

Riportiamo ora i vari grafici dimostranti l'andamento dell'incremento percentuale alle diverse regioni di FL.





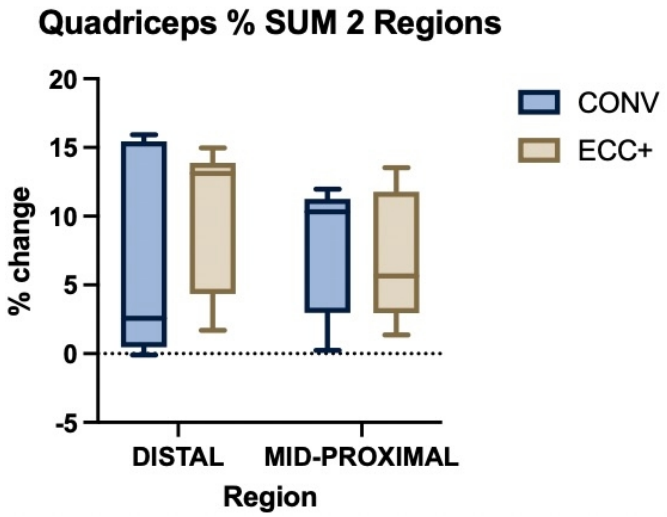

Come possiamo notare il protocollo ECC+, in linea con la letteratura non ha avuto una chiara superiorità nell'ipertrofia generale dei vari capi del quadricipite, è interessante però notare come questa poca differenza sia in realtà conseguenza di due situazioni opposte, ovvero una superiorità a livello distale ed un'inferiorità a livello prossimale, la cui media va poi ad assottigliare le differenze con il protocollo CONV.

Da questi dati possiamo dedurre che VI e VM siano i due capi maggiormente interessati da questo tipo di ipertrofia settoriale, ipotizziamo per via di un'attivazione maggiore nel momento in cui al soggetto viene aggiunto il sovraccarico.

Come detto in precedenza i dati di RF risultano purtroppo confusionari, ma è degno di interesse a nostro parere il fatto che, tolti eventuali errori di misurazione, il protocollo CONV abbia prodotto anche dei decrementi della CSA, mentre il protocollo ECC+ ha per lo meno sempre mantenuto i suoi valori. A sua volta VL non sembra particolarmente soggetto alle differenze di protocollo, mostrando due tracciati comparabili.

### 4.3 Regione Distale Vs Regione Medio-prossimale

Visti i dati precedenti abbiamo voluto indagare ulteriormente e più specificatamente queste differenze regionali di ipertrofia tra i due protocolli, abbiamo perciò diviso il quadricipite in una porzione Distale (20, 30 e 40% FL) e una regione Medio-Prossimale (50, 60, 70% FL).




L'ANOVA non ha evidenziato dati statisticamente significativi, probabilmente per via della variabilità campionaria e per il ridotto numero di soggetti reclutati, per cui non possiamo essere certi dei risultati ottenuti; tuttavia, è visibile una forte tendenza del protocollo ECC+ a preferire degli adattamenti a livello distale piuttosto che prossimale, in linea con tutti i dati riportati finora e con alcuni studi precedenti che andrebbero a sostenere questa ipotesi, che però rimane ancora tale.

# 5. DISCUSSIONE E CONCLUSIONE

Il presente studio ha indagato dunque gli effetti di sei settimane di allenamento convenzionale e con overload eccentrico sulla morfologia del quadricipite femorale; i risultati mostrano come entrambi i protocolli di allenamento (CONV ed ECC+) abbiano determinato un aumento significativo della CSA del muscolo al termine dell'intervento, ciò però era prevedibile data la risaputa efficacia dell'allenamento contro resistenza per l'ipertrofia muscolare; siamo però soddisfatti nel vedere che, in un lasso temporale così limitato, si siano comunque evidenziate delle differenze, seppur piccole, a favore del protocollo ECC+. Ciò dimostra come il sovraccarico eccentrico del 50% sia efficace nel portare al muscolo maggior tensione meccanica, maggior stress metabolico e maggior danno muscolare, che sappiamo essere i tre fattori cardine dell'ipertrofia; questo dato risulta ancor più significativo se pensiamo che i soggetti del protocollo ECC+ nel corso dell'intervento hanno sempre tenuto volumi di allenamento più bassi, compiendo solamente 8 ripetizioni per serie contro le 10 del protocollo CONV

Analizzando i singoli capi muscolari, il Vasto Laterale ha mostrato risposte comparabili tra i due protocolli, evidenziando dunque una scarsa correlazione con l'allenamento con sovraccarico eccentrico, probabilmente data dal posizionamento e dalla rotazione del piede che abbiamo cercato di mantenere neutra; ciò può aver determinato un'attivazione minore nella fase eccentrica e di conseguenza uno stimolo simile a quello del protocollo CONV.

Il Vasto Intermedio è stato il muscolo che, facendo una media delle percentuali di incremento prima riportate, ha mostrato un'importante differenza tra i due protocolli, nello specifico 6,84% (ECC+) contro 4,72% (CONV); a prima vista possono sembrare due percentuali irrisorie ma confrontandole tra di loro è evidente come il gruppo eccentrico sia riuscito, nello stesso arco temporale, a guadagnare circa il 50% in più rispetto al gruppo convenzionale, questo fa pensare che il VI venga maggiormente stimolato nel momento in cui l'equilibrio del movimento viene destabilizzato dall'aggiunta del sovraccarico.

Per quanto riguarda il Retto femorale il discorso cambia, è stato l'unico dei quattro capi a non aver subito un incremento della CSA, bensì un decremento utilizzando il protocollo CONV; Pensiamo che questo fenomeno sia dovuto, come detto in precedenza, dal fatto di non riuscire a portare il muscolo nella sua posizione di massimo allungamento prima della contrazione concentrica, diminuendo quindi la sua attivazione e potenzialmente la sua ipertrofia; purtroppo, questa situazione ci è stata obbligata

dal macchinario, avente una posizione di partenza sfavorevole all'azione biarticolare del RF, caratterizzata da accentuata flessione d'anca e lordosi lombare. Detto questo, troviamo comunque degno di nota il fatto che utilizzando il protocollo ECC+, solamente una persona ha mostrato questo fenomeno, mentre le altre hanno per lo meno mantenuto la loro CSA, questo potrebbe andare nuovamente a favorire l'ipotesi che il sovraccarico eccentrico abbia un effetto maggiore sui tre principi dell'ipertrofia.

Il Vasto Mediale invece non ha quasi riportato differenze tra le percentuali di crescita dei due protocolli, tuttavia riteniamo sia molto interessante evidenziare come, scomponendo la percentuale di incremento nelle varie percentuali di FL, siamo in grado di notare un comportamento essenzialmente opposto tra i due protocolli; Il protocollo eccentrico di fatti concentra una buona parte della sua ipertrofia nella regione distale, ovvero quella comprendente i dati del 20, 30, e 40%, invertendo poi la tendenza passando al 50% e oltre; Il protocollo convenzionale al contrario sembra preferire un'ipertrofia più generalizzata, con una tendenza alla regione medio-prossimale.

Effettivamente tutti i dati ed i grafici esposti fino ad ora avevano già evidenziato un comportamento simile sia degli altri capi, escluso il VL, che del quadricipite in toto essendo l'insieme dei precedenti; Dividendo, perciò, il quadricipite in una porzione distale e una medio-prossimale, come dimostra l'ultimo grafico, salta subito all'occhio come in media tra i due protocolli ci siano grandi differenze regionali. Nonostante ciò, l'analisi statistica non ha determinato la significatività di questi dati, molto probabilmente per via del numero limitato di soggetti presi in considerazione e della variabilità presente tra soggetti dello stesso protocollo

Questi dati però risultano comunque coerenti ed in linea con la letteratura esistente (Franchi et al., 2014; Franchi et al., 2017)[9,3], siamo fiduciosi perciò che ulteriori studi condotti su campioni più ampi, e possibilmente di durata maggiore a sei settimane, saranno determinanti per confermare o meno queste osservazioni e per chiarire i meccanismi alla base delle differenze regionali emerse.

In conclusione, i dati forniscono indicazioni utili sia in ambito sportivo che in ambito riabilitativo, in particolare questa presunta capacità del sovraccarico eccentrico di generare ipertrofia regionale potrebbe avere implicazioni nello sviluppo di programmi di prevenzione infortuni e recupero funzionale del ginocchio più efficaci di quelli oggi in uso. È chiaro però che stiamo parlando di un protocollo di allenamento che tutt'ora risulta difficilmente applicabile e replicabile, vista l'enorme complessità che si presenterebbe nel cercare di metterlo in atto senza i giusti macchinari che assicurino precisione, velocità e comodità. Dispositivi come la Leg Press Biostrenght sono ancora

troppo costosi per favorire una diffusione su larga scala, e sarebbe deleterio cercare di replicare il protocollo ECC+ mediante l'utilizzo di attrezzatura comune. Questo tempo andrebbe perciò sfruttato per raccogliere più dati e informazioni possibili su questa nuova tipologia di carico ed arrivare ad avere la certezza degli effetti che essa ha sulla morfologia e sull'architettura muscolare.

# 6. BIBLIOGRAFIA


1. Konow, N., & Roberts, T. J. (2015). The series elastic shock absorber: tendon elasticity modulates energy dissipation by muscle during burst deceleration. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, *282*(1804), 20142800. https://doi.org/10.1098/rspb.2014.2800

2. Douglas, J., Pearson, S., Ross, A., & McGuigan, M. (2017). Chronic Adaptations to Eccentric Training: A Systematic Review. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, *47*(5), 917–941. https://doi.org/10.1007/s40279-016-0628-4

3. Franchi, M. V., Reeves, N. D., & Narici, M. V. (2017). Skeletal Muscle Remodeling in Response to Eccentric vs. Concentric Loading: Morphological, Molecular, and Metabolic Adaptations. *Frontiers in physiology*, *8*, 447. https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00447

4. Schoenfeld B. J. (2010). The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training. *Journal of strength and conditioning research*, *24*(10), 2857–2872. https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181e840f3

5. Lim, C., Nunes, E. A., Currier, B. S., McLeod, J. C., Thomas, A. C. Q., & Phillips, S. M. (2022). An Evidence-Based Narrative Review of Mechanisms of Resistance Exercise-Induced Human Skeletal Muscle Hypertrophy. *Medicine and science in sports and exercise*, *54*(9), 1546–1559. https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002929

6. Katz B. (1939). The relation between force and speed in muscular contraction. *The Journal of physiology*, *96*(1), 45–64. https://doi.org/10.1113/jphysiol.1939.sp003756

7. Hoppeler H. (2016). Moderate Load Eccentric Exercise; A Distinct Novel Training Modality. *Frontiers in physiology*, *7*, 483. https://doi.org/10.3389/fphys.2016.00483

8. Amiridis, I. G., Martin, A., Morlon, B., Martin, L., Cometti, G., Pousson, M., & van Hoecke, J. (1996). Co-activation and tension-regulating phenomena during isokinetic knee extension in sedentary and highly skilled humans. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, *73*(1-2), 149–156. https://doi.org/10.1007/BF00262824

9. Franchi, M. V., Atherton, P. J., Reeves, N. D., Flück, M., Williams, J., Mitchell, W. K., Selby, A., Beltran Valls, R. M., & Narici, M. V. (2014). Architectural, functional and molecular responses to concentric and eccentric loading in human skeletal muscle. *Acta physiologica (Oxford, England)*, *210*(3), 642–654. https://doi.org/10.1111/apha.12225

10. Walker, S., Blazevich, A. J., Haff, G. G., Tufano, J. J., Newton, R. U., & Häkkinen, K. (2016). Greater Strength Gains after Training with Accentuated Eccentric than Traditional Isoinertial Loads in Already Strength-Trained Men. *Frontiers in physiology*, *7*, 149. https://doi.org/10.3389/fphys.2016.00149

11. Fonseca, P. A. B., Ide, B. N., Oranchuk, D. J., Marocolo, M., Simim, M. A. M., Roberts, M. D., & Mota, G. R. (2023). Comparison of Traditional and Advanced Resistance Training Paradigms on Muscle Hypertrophy in Trained Individuals: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Translational sports medicine*, *2023*, 9507977. https://doi.org/10.1155/2023/9507977

12. Merrigan, Justin & Borth, Jonathon & Taber, Christopher & Suchomel, Timothy. (2022). Application of Accentuated Eccentric Loading to Elicit Acute and Chronic Velocity and Power Improvements: A Narrative Review. International Journal of Strength and Conditioning. 10.47206/ijsc.v2i1.80.

13. Sarto, F., Franchi, M. V., Rigon, P. A., Grigoletto, D., Zoffoli, L., Zanuso, S., & Narici, M. V. (2020). Muscle activation during leg-press exercise with or without eccentric overload. *European journal of applied physiology*, *120*(7), 1651–1656. https://doi.org/10.1007/s00421-020-04394-6

14. Bright, T.E., Handford, M.J., Mundy, P. *et al.* Building for the Future: A Systematic Review of the Effects of Eccentric Resistance Training on Measures of Physical Performance in Youth Athletes. *Sports Med* **53**, 1219–1254 (2023). https://doi.org/10.1007/s40279-023-01843-y

15. Schoenfeld, B. J., Ogborn, D. I., Vigotsky, A. D., Franchi, M. V., & Krieger, J. W. (2017). Hypertrophic Effects of Concentric vs. Eccentric Muscle Actions: A Systematic Review and Meta-analysis. *Journal of strength and conditioning research*, *31*(9), 2599–2608. https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001983