

**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**

Dipartimento di Scienze Biomediche

Corso di Laurea Triennale in Scienze Motorie

Tesi di Laurea

**Adattamenti neurali a 8 settimane di allenamento contro-resistenza:**

**confronto tra giovani adulti e anziani**

Relatore: Dott. Casolo Andrea

Correlatore: Sampieri Alessandro

Laureando: Toffanin Pietro

N° di matricola: 2047763

Anno Accademico 2023/2024

-“YOU’RE UP 2-0, WHAT’S THE STORY? ARE YOU NOT HAPPY OR..YOU’RE ONLY  
HALF HAPPY OR...”

-“WHAT’S THERE TO BE HAPPY ABOUT?”

-“YOU’RE UP 2-0..”

-“JOBS NOT FINISHED. JOB FINISHED? I DON’T THINK SO. ”

-“OK

824

## Indice

<b>ABSTRACT</b> .....	<b>5</b>
<b>1. INTRODUZIONE</b> .....	<b>6</b>
1.1 L'allenamento contro resistenza e i suoi benefici .....	6
1.2 Sistema nervoso centrale e movimento .....	7
1.2.1 Caratteristiche delle UM.....	7
1.3 Tecniche per studiare l'attività delle UM.....	8
1.4 Adattamenti neurali e morfologici in seguito a RT.....	9
1.5 Adattamenti delle UM al RT .....	10
1.6 Obiettivo dello studio .....	11
<b>2. MATERIALE E METODI</b> .....	<b>12</b>
2.1 Partecipanti.....	12
2.2 Descrizione del progetto sperimentale .....	12
2.2.1 Visita 1: Seduta di familiarizzazione.....	13
2.2.2 Visita 2-3-4: Valutazione neuromuscolare .....	13
2.3 Protocollo di valutazione neuromuscolare .....	14
2.4 Registrazione, analisi e processing dei segnali di forza e HDsEMG .....	15
2.5 Programma di allenamento.....	17
2.6 Analisi statistica: .....	18
<b>3. RISULTATI</b> .....	<b>19</b>
3.1 Cambiamento della massima forza volontaria isometrica (MVC).....	19
3.2 Panoramica del numero unità motorie identificate dal muscolo VL.....	19
3.3 Cambiamenti della frequenza di scarica medianelle tre fasi delle contrazioni trapezoidali .....	20
3.4 Cambiamenti della frequenza di scarica media ai diversi livelli di forza .....	20
3.5 Incrementi della soglia di reclutamento/de reclutamento delle UM .....	21
3.6 Relazioni tra cambiamenti di forza e di frequenza di scarica indotti dall'allenamento .....	22
<b>4. DISCUSSIONE</b> .....	<b>24</b>
4.1 Principali cambiamenti indotti dall'allenamento .....	24
4.2 Confronto sui cambiamenti di forza:.....	24
4.3 Confronto su cambiamenti di frequenza di scarica: .....	25
4.4 Confronto sui cambiamenti delle soglie di reclutamento e de-reclutamento: .....	25
4.5 Confronto degli adattamenti neurali tra Y e O .....	26
4.6 Punti di forza dello studio: .....	26
4.7 Limiti dello studio: .....	27

<b>5.CONCLUSIONE.....</b>	<b>27</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>28</b>

## ABSTRACT

**SCOPO DELLO STUDIO:** Studiare gli adattamenti neurali alla base del miglioramento di forza massima volontaria successivamente a 8 settimane di allenamento contro-resistenza (RT), comparando i risultati tra giovani adulti sani (Y) e anziani (O). Lo studio si è concentrato nella ricerca delle proprietà delle unità motorie (come venivano reclutate/de-reclutate e frequenza di scarica), soffermandoci maggiormente su quelli che potevano essere gli adattamenti nelle 8 settimane di allenamento dato che la letteratura ci fornisce dati solo nelle 4-6 settimane di RT. Inoltre sono stati comparati i dati dei due gruppi di partecipanti Y e O per capire se ci fossero delle importanti differenze sugli adattamenti neurali date dall'età dei partecipanti.

**MATERIALI E METODI:** Un totale di 8 giovani adulti sani (18-35) e 6 anziani (65+) sono stati reclutati e sottoposti a un programma di 8 settimane di allenamento contro-resistenza dinamico progressivo. I partecipanti sono stati testati 3 volte (all'inizio, dopo 4 settimane e dopo 8 settimane di allenamento). Per valutare la massima forza volontaria isometrica (MVC) e l'esecuzione di contrazioni trapezoidali sub massimali (15, 35, 50, 70% MVC), è stata registrata l'attività mioelettrica del muscolo vasto laterale (VL) attraverso l'elettromiografia di superficie ad alta densità (HDsEMG).

**RISULTATI:** L'espressione di forza massima volontaria (MVC) è aumentata del  $20.1\% \pm 12.9\%$  ( $P=0.0005$ ) nei giovani adulti (Y), mentre negli anziani (O) di circa il  $18.8\% \pm 7.5\%$  ( $P=0.0017$ ). La frequenza di scarica media nelle tre fasi delle contrazioni trapezoidali è aumentata significativamente solo nel gruppo Y tra T0 e T8 del  $6.5\%$  ( $P=0.0051$ ), cambiamento giustificato dal miglioramento della frequenza di scarica media al reclutamento aumentata tra T0 e T8 del  $7.1\%$  ( $P<0.049$ ) e dall'aumento della frequenza di scarica media allo *steady state* aumentata tra T0 e T8 del  $7.1\%$  ( $P<0.040$ ). Osservati cambiamenti della frequenza di scarica ai diversi livelli di forza sia nel gruppo Y che O. A livelli di forza pari al 35% il gruppo Y è aumentato da T0-T4 del  $6.5\%$  ( $P=0.0060$ ) e dal T0 al T8 del  $8.9\%$  ( $P=0.0004$ ). A livelli di forza pari al 70% il gruppo Y è aumentato da T0-T4 ( $P=0.0308$ ) del  $5.8\%$  e tra T0- T8 ( $P=0.0054$ ) del  $7.83\%$ , il gruppo O invece è aumentato tra T0 a T4 ( $P=0.0231$ ) del  $8.6\%$  e da T0 a T8 ( $P=0.0119$ ) del  $9.6\%$ . Abbiamo ottenuto incrementi della soglia di reclutamento assoluta nel gruppo Y e O rispettivamente tra T0 e T8 del  $20.7\%$  ( $P=0.002$ ) nel gruppo Y e da T0-T4 ( $P=0.0373$ ) del  $12.7\%$  e da T0 a T8 ( $P=0.0130$ ) del  $18.5\%$  nel gruppo O. Sono stati misurati incrementi anche nella soglia di de-reclutamento assoluta solo nel gruppo Y tra T0 a T4 del  $15.2\%$  ( $P=0.0122$ ) e tra T0 a T8 del  $26.8\%$  ( $P=0.0003$ ). Non ci sono stati incrementi nelle soglie di reclutamento e de-reclutamento relative. Sottolineiamo che abbiamo trovato una correlazione positiva da T0 a T8 tra l'aumento del MVC e l'aumento della frequenza di scarica media, la frequenza di scarica al reclutamento e allo *steady state*.

**CONCLUSIONI:** I risultati del nostro studio hanno dimostrato che 2 mesi di RT dinamico progressivo inducono un aumento dell'espressione della massima forza volontaria del muscolo VL, inoltre i nostri risultati evidenziano che il RT ha indotto adattamenti neurali, come l'aumento della frequenza di scarica delle unità motorie, in entrambe le popolazioni analizzate.

# 1. INTRODUZIONE

## 1.1 L'allenamento contro resistenza e i suoi benefici

Negli ultimi anni, la ricerca scientifica sull'allenamento contro-resistenza, detto anche *resistance training* (RT), ha compiuto significativi progressi nello studio degli effetti sulla componente neurale, morfologico-strutturale e, più in generale, sulla qualità di vita. Infatti, la regolare pratica di RT può indurre un aumento della forza muscolare e della massa magra oltre a contribuire ad aumentare il metabolismo basale (Currier et al., 2023; Kim et al., 2022).

Sempre più studi confermano che la pratica quotidiana del RT porti ad un generale rallentamento del fisiologico decadimento fisico e cognitivo legato all'invecchiamento (Xu et al., 2023). Questo dato assume grande importanza considerando che l'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) ha stimato che entro il 2050 più di una persona su 5 avrà un'età superiore ai 60 anni.

Il RT riveste un ruolo preventivo sull'insorgere di diverse malattie croniche come malattie neurodegenerative (Fragala et al., 2019; Kim et al., 2019; Peek&Stevens, 2016), malattie cardiovascolari, malattie respiratorie croniche, osteoartriti e osteoartrosi (Westcott et al. 2012). Inoltre, il RT previene una delle condizioni maggiormente presente nella popolazione anziana: la sarcopenia, ovvero una condizione fisiologica caratterizzata dalla progressiva perdita di massa muscolare e forza (Santilli et al., 2014). Questa condizione può spesso portare a debolezza, ridotta mobilità e l'aumento del rischio di cadute e fratture (Talar et al., 2021). Infatti, il RT migliorando la struttura muscolo scheletrica e la forza muscolare nelle persone anziane potrebbe essere fondamentale per evitare incidenti o infortuni dovuti a cadute nella vita quotidiana (López et al., 2017).

In una recente meta-analisi, che racchiude al suo interno i risultati di 10 studi condotti sia su giovani adulti che anziani, sembra confermare che la pratica del RT sia associata ad una riduzione del rischio di mortalità per tutte le cause del 15%, di malattie cardiovascolari del 19% e di cancro del 14% (Shailendra et al., 2022).

Da quanto esposto, emerge chiaramente che soprattutto la popolazione anziana dovrebbe praticare almeno settimanalmente RT per migliorare, mantenere o ripristinare il benessere fisico e mentale del proprio corpo. Nello specifico, come raccomandato dalle più recenti linee guida, individui con età > 65 anni dovrebbero accumulare tra i 150 e i 300 minuti a settimana di attività fisica aerobica di intensità moderata, e per ottenere ulteriori benefici per la salute almeno 2 giorni di allenamento contro-resistenza coinvolgente i principali gruppi muscolari (WHO, 2020).

Al contrario la sedentarietà o, peggio, l'immobilizzazione (per infortuni o da allettamento per cause più gravi) porta ad un decadimento della condizione dell'organismo con effetti contrari a quelli che il RT è in grado di promuovere. Come riportato da diversi studi, una parte dei soggetti sedentari o fisicamente inattivi solitamente si trova in una condizione di sovrappeso e presenza di malattie croniche che spesso sono il risultato di elevati livelli di infiammazione generale dell'organismo (Bull et al., 2020; Rezende et al., 2014).

## 1.2 Sistema nervoso centrale e movimento

Ogni movimento richiesto al nostro organismo è possibile grazie al meccanismo della contrazione muscolare che comporta la produzione di forza o tensione muscolare, e a sua volta viene generato e controllato dal sistema nervoso centrale (SNC). Il segnale nervoso, chiamato comando motorio, viene dapprima generato nell'area motoria primaria nella corteccia cerebrale. Successivamente, il segnale si propaga attraverso una via neuronale che coinvolge i motoneuroni situati nel tronco encefalico e a livello spinale (midollo spinale). Questi motoneuroni, tramite rami nervosi periferici, trasmettono l'impulso alle fibre muscolari. Il numero di fibre muscolari che ogni singolo motoneurone può innervare varia da 5-10 a circa 1750 (Heckman&Enoka, 2004) e questa differenza dipende da diversi fattori:

- a) il tipo di muscolo innervato e da che tipo di fibre è composto (ovvero fibre lente o veloci);
- b) al tipo di controllo motorio (fine/grezzo): per esempio, in movimenti fini e delicati è necessario che un singolo motoneurone innervi solo un piccolo numero di fibre per garantire un controllo più preciso, al contrario in un movimento grezzo o grossolano un singolo motoneurone può innervare un gran numero di fibre muscolari;
- c) dall'economia energetica: più fibre motorie vengono innervate, meno motoneuroni sono necessari per attivare l'intero muscolo, riducendo l'energia impiegata per eseguire il determinato movimento.

L'unità motoria (UM) è l'elemento funzionale di base del SNC e del muscolo che produce il movimento. L'UM è composta da un neurone motore (motoneurone  $\alpha$ ) situato nel corno ventrale del midollo spinale, dal suo assone e dalle fibre muscolari che l'assone innerva. Il SNC controlla la forza muscolare variando l'attività delle UM che compongono il muscolo. La forza esercitata da ciascuna UM dipende principalmente dal numero di fibre muscolari innervate dal neurone motore (reclutamento) e dalla frequenza di scarica degli impulsi nervosi inviati alle fibre del muscolo innervate, in aggiunta alle proprietà contrattili delle fibre muscolari (ad es. tipo I e tipo II) che fanno parte dell'UM (Enoka et al., 2006). Il reclutamento delle UM e la frequenza di scarica degli impulsi elettrici sono le principali proprietà delle UM che vengono ampiamente studiate in fisiologia e che stanno assumendo sempre più importanza nelle scienze motorie per studiare gli adattamenti neurali al RT.

I dati che ci fornisce la letteratura evidenziano come l'interazione tra il SNC e i muscoli è molto complessa. Tuttavia, un aspetto caratteristico del sistema neuromuscolare è la sua plasticità, che lo rende soggetto ad una vasta gamma di adattamenti associati a processi fisiologici inevitabili come l'invecchiamento o a stimoli in sovraccarico, come il RT. Quest'ultimo oltre a portare adattamenti a livello neurale crea adattamenti anche a livello morfologico (vedere Paragrafo 1.4).

### 1.2.1 Caratteristiche delle UM

Prima di addentrarci nelle proprietà delle UM è doveroso accennare il principio di Elwood Henneman, concetto fondamentale nell'ambito della neurofisiologia del movimento, che descrive il modo in cui il SNC recluta e controlla le UM durante una contrazione muscolare volontaria.

Secondo il principio di Henneman, durante una contrazione muscolare, le UM vengono reclutate in base al "principio della dimensione". Questo principio stabilisce che le UM di dimensioni più

piccole, con fibre muscolari più lente e meno potenti, vengono reclutate prima di quelle di dimensioni maggiori, che sono più veloci e più potenti (Henneman, 1957).

Il SN oltre a seguire il principio della dimensione descritto precedentemente è in grado di modulare la forza associata alla contrazione muscolare principalmente mediante due meccanismi:

1) aumentando il numero di UM attivate. Ogni motoneurone possiede una propria soglia di attivazione, che dovrà essere superata in modo tale che l'UM in questione si attivi per contribuire alla produzione di forza. Per esemplificare tale processo, durante una contrazione prossima al massimo si attiveranno sia le UM a bassa soglia, che quelle a soglia più alta; al contrario per esprimere livelli di forza inferiori, tipici della motricità quotidiana, saranno attivate prevalentemente delle UM a soglia bassa per completare l'output motorio.

2) aumentando la frequenza di scarica dei moto neuroni (MN). La frequenza di scarica corrisponde al numero di impulsi nervosi generati al secondo da un motoneurone e trasmessi in periferia alle fibre componenti l'UM. Per esempio, durante contrazioni lente, la frequenza di scarica è generalmente compresa tra i 5 e i 25 impulsi al secondo, mentre in contrazioni molto rapide e che quindi richiedono un'elevata espressione di forza nel minor tempo possibile (ad es. in un salto), la frequenza di scarica può arrivare fino a 120-130 impulsi al secondo (Del Vecchio et al., 2019).

### 1.3 Tecniche per studiare l'attività delle UM

Esistono due metodi principali per andare a studiare l'attività delle UM, l'elettromiografia intramuscolare (iEMG) e l'elettromiografia di superficie (sEMG). La distinzione principale tra i due è che il primo si serve di elettrodi che vengono inseriti all'interno del muscolo, mentre il secondo di elettrodi (coppie di elettrodi, schiere o matrici) che vengono posizionati sulla porzione di cute sovrastante il muscolo.

L'iEMG, è stata la prima tecnica inventata per lo studio delle UM, e rappresenta la tecnica più classica, nonché la più invasiva e selettiva. Negli ultimi 15 anni, queste limitazioni sono state in parte superate dallo sviluppo e introduzione dell'elettromiografia di superficie ad alta densità (HDsEMG), una tecnica che permette mediante l'utilizzo di matrici di elettrodi posizionate superficialmente al muscolo di aumentare il campionamento spaziale del segnale (e delle relative fonti di informazione neurale). Se combinata ad un procedimento algebrico noto come "decomposizione del segnale", l'HDsEMG ci permette di identificare l'attività di grandi popolazioni di UM attivate durante un compito motorio in modo non invasivo.

Negli ultimi anni, l'HDsEMG ha iniziato a prendere sempre più piede all'interno delle scienze motorie e della fisiologia dell'esercizio per studiare principalmente gli adattamenti al RT (Del Vecchio et al., 2019; Casolo et al., 2021) adattamenti ad altre forme di esercizio (Martinez-Valdes et al., 2018), alle risposte a diverse forme di infortunio come ad esempio al legamento crociato anteriore (Nuccio et al., 2021), o a periodi di immobilizzazione (Valli et al., 2024).

## 1.4 Adattamenti neurali e morfologici in seguito a RT

Uno degli effetti principali del RT è quello di aumentare la capacità del muscolo di esprimere forza, e questo processo avviene grazie a una serie di adattamenti di natura neurale e morfologico-strutturale. Entrambi gli adattamenti sono fondamentali per il progressivo aumento della forza, ma si presentano con tempistiche differenti durante le fasi di allenamento (Sale 1988; Pearcey et al., 2021).

Gli adattamenti di tipo neurale si presentano solitamente nelle prime settimane di RT, e sono associati a modificazioni che si manifestano a differenti livelli del sistema nervoso. Ad esempio, lo studio di Weier et al., (2012) ha dimostrato che tramite il RT vi è una maggiore attivazione delle aree motorie del cervello, che porta principalmente ad un aumento nella precisione nell'esecuzione dei movimenti e un maggior controllo motorio (già questi due fattori possono influire nell'aumento di forza, ed una migliore esecuzione dei movimenti). Similmente Nuzzo et al., (2017), hanno osservato che ci sono anche adattamenti a livello cortico-spinale che portano ad un miglioramento della connessione tra le aree motorie del cervello e i neuroni del midollo spinale che controllano i muscoli. Questi adattamenti influenzano anche il comportamento dei motoneuroni a livello midollare/spinale e successivamente il comportamento delle UM andando ad aumentare le principali proprietà come reclutamento e frequenza di scarica.

Ai fini di questa tesi, ci soffermeremo principalmente sugli adattamenti che interessano la parte più periferica del sistema nervoso e in particolare andremo ad analizzare i cambiamenti che avvengono a livello di UM (*Paragrafo 1.1.2 e 1.5*), andando ad utilizzare una delle più recenti tecnologie che permettono di studiare l'attività e le proprietà di popolazioni rappresentative di UM, ovvero l'HDsEMG.

Con una certa latenza rispetto ai primi adattamenti neurali (>2-4 settimane), responsabili del rapido guadagno di forza osservabile nelle prime settimane di allenamento, si manifestano anche adattamenti di natura morfologico-strutturale. Questi adattamenti dipendono da diversi fattori, anche genetici, e di conseguenza non si presentano in egual modo in tutti i soggetti. Nonostante ciò alcuni studi riportano importanti adattamenti di natura morfologico-strutturale già nelle prime 2 settimane di allenamento, anche se cambiamenti più marcati sembrano comparire dopo 4 settimane di RT, sia nella popolazione anziana che giovane (Folland&Williams, 2007; Pearcey et al., 2021). Questi ultimi adattamenti permettono un'espressione di forza sempre maggiore e anch'essi possono avere un ruolo fondamentale sul miglioramento della salute della persona.

Inoltre la letteratura sta cercando ancora di capire se e come gli adattamenti neurali e morfologico-strutturali possano variare in termini di tempistiche (*timecourse*) e di entità (guadagno/miglioramento) con l'invecchiamento, a prescindere dall'inevitabile decadimento di tutte le strutture dell'organismo. A questo proposito, lo scopo principale di questo studio sarà quello di confrontare gli adattamenti neuromuscolari indotti da un programma di RT su un gruppo di giovani adulti e uno di anziani e di cercare di evidenziare quelle che possono essere le differenze di adattamento tra le due popolazioni.

## 1.5 Adattamenti delle UM al RT

La forza esercitata durante una contrazione muscolare dipende dunque dal numero di UM che si attivano durante la contrazione (reclutamento) e dalla frequenza di scarica di ogni singola UM (Enoka et al., 2006).

Negli ultimi anni diversi studi hanno iniziato ad indagare prima con l'elettromiografia intramuscolare, successivamente con l'elettromiografia di superficie ed infine con HDsEMG, quali adattamenti avvengono a livello delle UM e con che timing si presentano.

Lo studio di Van Cutsem et al. (1998) ha riscontrato un cambiamento nella soglia di reclutamento (UM venivano reclutate prima) e una maggiore frequenza di scarica massima durante contrazioni rapide post RT, oltre un significativo incremento di forza del gruppo sottoposto a RT rispetto al gruppo di controllo (sono stati analizzati soggetti giovani, età compresa tra 18 e 22 anni). I loro dati erano basati sullo studio del tibiale anteriore dopo 12 settimane di allenamento dinamico caratterizzato da contrazioni esplosive/balistiche (contrazioni rapide al 30-40% della MVC).

Un altro studio che si adatta perfettamente al nostro progetto sperimentale è quello di Kamen e Knight (2004). Gli autori infatti hanno studiato gli adattamenti a livello neurale dopo 6 settimane di RT in giovani adulti e anziani, andando ad analizzare il muscolo vasto laterale. Entrambe le popolazioni hanno presentato un sostanziale aumento della forza massima (+29% per i giovani e +36% per gli anziani), si è osservato però che in entrambi i gruppi la frequenza di scarica delle UM nelle contrazioni al 10% e 50% di MVC non era cambiata post intervento, ma è aumentata in modo significativo la frequenza di scarica massima (valutata all'MVC) del 15% nei giovani e del 49% negli anziani. I risultati di questo studio evidenziano come il SN risponda al RT andando ad aumentare la frequenza di scarica delle UM e contribuendo a spiegare il guadagno di forza.

Similmente, nello studio di Vila-Cha et.al (2010) i ricercatori si sono concentrati sullo studio delle UM del muscolo vasto laterale (VL) e mediale (VM) in risposta a 6 settimane di RT, andando a comparare i dati ottenuti da un gruppo di soggetti sottoposti al RT e un gruppo di controllo. Gli autori hanno riscontrato che tra l'inizio e la fine del protocollo di RT la frequenza di scarica era significativamente aumentata dell'11% nel VM e del 13% nel VL nel gruppo sottoposto al RT rispetto al gruppo di controllo, inoltre hanno osservato un incremento del 17.5% del MVC nel gruppo sottoposto al RT. È bene sottolineare che questo studio è stato sottoposto solo ad una popolazione di giovani adulti.

A differenza degli studi di Kamen e di Vila Cha, nello studio di Del vecchio (2019) e successivamente nello studio di Casolo (2020) si è andato ad utilizzare per la prima volta l'HDsEMG per valutare i cambiamenti a livello di UM, analizzando, il muscolo tibiale anteriore. Entrambi gli studi hanno utilizzato un training isometrico di 4 settimane per controllare quante più variabili possibili. Nello specifico, lo studio di Del Vecchio et al., (2019) ha osservato una diminuzione della soglia di reclutamento delle UM e un aumento della frequenza di scarica durante la fase di plateau di contrazioni sub massimali. In aggiunta, Casolo et al., (2020) hanno osservato un aumento della velocità di conduzione delle UM, principalmente a carico delle UM ad alta soglia di reclutamento in seguito all'intervento di training isometrico di 4 settimane.

Più di recente, lo studio di Orssatto et al., 2023, hanno sottoposto a 6 settimane di RT ad alta intensità un gruppo di 17 anziani. Parallelamente all'incremento di massima forza e capacità funzionale, gli autori hanno osservato un incremento della frequenza di scarica di picco delle UM identificate dal muscolo soleo, traducibile in un importante aumento dell'eccitabilità dei moto neuroni.

## 1.6 Obiettivo dello studio

Ad oggi, i dati presenti in letteratura sugli adattamenti neurali in seguito ad un programma di RT di durata superiore alle 6 settimane non riescono ancora a descrivere al meglio i cambiamenti delle proprietà delle UM (Del Vecchio et al., 2019; Casolo et al., 2020; Kamen e Knight 2004; Vila Cha et al., 2010; Orssatto et al., 2023). Inoltre, in letteratura sembra assente una diretta comparazione approfondita degli adattamenti neurali, e nello specifico delle proprietà delle UM, al RT tra giovani adulti e anziani.

Pertanto, il nostro scopo è di andare ad indagare come le UM si adattano a 8 settimane di RT reclutando sia una popolazione di giovani adulti che di anziani con il fine ultimo di capire se ci fossero delle differenze in termini di tempistiche ed entità degli adattamenti neurali alla base del relativo guadagno di massima forza muscolare.

Per indagare il comportamento e l'adattamento delle UM (e le sue proprietà), abbiamo utilizzato la tecnica più evoluta disponibile per registrare i segnali elettromiografici *in vivo* in forma non invasiva, HDsEMG, sul muscolo vasto laterale (VL).

## 2. MATERIALE E METODI

### 2.1 Partecipanti

In questo studio sono stati inclusi 8 giovani (Y) e 6 anziani (O), reclutati attraverso locandine, social media, mail, passaparola diretto o indiretto. Dopo aver accettato di partecipare, entrambi i gruppi hanno compilato un questionario preliminare. I dati richiesti erano età, statura e massa corporea (Tabella 1) e livelli di attività fisica praticata al momento della compilazione del questionario e nel passato più recente. Inoltre veniva richiesta la storia clinica del partecipante mediante una serie di domande standardizzate.

I criteri di inclusione erano quindi i seguenti: età compresa tra 18-35 per lo Y e 65+ per l'O. Inoltre, i partecipanti dovevano essere fisicamente inattivi (no coinvolgimento/pratica regolare di attività fisica) e non dovevano presentare problematiche a livello fisico che potessero andare ad inficiare nello svolgimento degli allenamenti dinamici progressivi di RT.

I partecipanti considerati idonei, sono stati coinvolti nel progetto sperimentale di ricerca.

	Y (n = 8)	O (n = 6)
STATURA (m)	1,76±0,04	1,76±0,06
MASSA CORPOREA (kg)	67,14±7,79	80,35±16,81
BMI(kg/m <sup>2</sup> )	21,81±3,33	25,78±4,15
MASSA GRASSACORPOREA (%)	21,30±4,23	29,32±6,15
MASSA MAGRA (kg)	50,11±3,62	52,96±6,93
MASSA GRASSA G.DX (%)	21,55±3,80	26,98±6,37
MASSA MAGRA G.DX(kg)	8,96±0,73	9,11±1,19

Tabella 1. Caratteristiche antropometriche dei partecipanti al T0. Y: gruppo giovani adulti, O: gruppo anziani. BMI: indice di massa corporea definito come il rapporto tra la massa corporea e la statura del soggetto espressa in centimetri al quadrato.

### 2.2 Descrizione del progetto sperimentale

Il progetto di ricerca è stato sviluppato come segue: una seduta di familiarizzazione (visita 1), primo test di valutazione neuromuscolare (visita 2-T0), ripetuto rispettivamente dopo 4 (visita 3 – T4) e 8 settimane (visita 4 – T8) di allenamento progressivo contro-resistenza.



Figura 1. Overview dello studio e del disegno sperimentale.

### 2.2.1 Visita 1: Seduta di familiarizzazione

La prima visita di familiarizzazione prevedeva che i partecipanti iniziassero a prendere confidenza con il *set up* sperimentale utilizzato in seguito nei test neuromuscolari (T0, T4, T8). Inizialmente è stata determinata la configurazione corretta del dinamometro isometrico (fig.2) che è stata poi replicata nelle successive visite. Subito dopo i partecipanti hanno eseguito una serie di contrazioni isometriche massimali (MVC) e sub-massimali.



Figura 2. Dinamometro isometrico utilizzato durante il protocollo di valutazione neuromuscolare, per la misura della forza volontaria isometrica (massima e sub-massimale) in estensione di ginocchio, durante la registrazione del segnale HDsEMG.

Questa valutazione serviva quindi, sia al partecipante per prendere confidenza con il movimento da eseguire durante il test, sia agli sperimentatori per prendere le misure necessarie e regolare il dinamometro, secondo le caratteristiche antropometriche di ciascun soggetto.

Dopo la familiarizzazione, è stato somministrato il questionario GPAQ (*Global Physical Activity Questionnaire*, Wannier et al., 2017) per quantificare gli abituali livelli di attività fisica del partecipante

### 2.2.2 Visita 2-3-4: Valutazione neuromuscolare

Circa due-tre giorni dopo la familiarizzazione, il test neuromuscolare di *baseline* (T0) ha incluso la valutazione dell'MVC isometrica e l'esecuzione di contrazioni trapezoidali sub massimali al 15, 35, 50, 70% dell'MVC, con annessa registrazione dell'attività mioelettrica mediante elettromiografia di superficie ad alta densità (HDsEMG) del muscolo vasto laterale (VL) dell'arto dominante.

Questo tipo di valutazione è stata replicata anche nei test dopo 4 e 8 settimane di allenamento (T4-T8) come verrà poi descritto successivamente nel paragrafo della valutazione del test neuromuscolare.

Dopo la prima valutazione neuromuscolare al T0, i partecipanti sono stati coinvolti in un programma di allenamento dinamico contro resistenza supervisionato, della durata di 8 settimane

(vedere paragrafo 2.5). Una seconda valutazione neuromuscolare intermedia è stata eseguita al T4 e infine alla fine dell'intervento (T8).

### 2.3 Protocollo di valutazione neuromuscolare

La valutazione neuromuscolare veniva svolta con il partecipante seduto su un dinamometro isometrico con il tronco appoggiato allo schienale rigido, con un angolo dell'anca a  $\sim 90-100^\circ$  e l'arto inferiore dominante posizionato a  $\sim 110^\circ$  di estensione del ginocchio. La gamba era appoggiata ad un supporto che veniva regolato in base alla lunghezza dell'arto che, a sua volta, era collegato in serie ad una cella di carico (Kraftaufnehmer Type S9). I partecipanti erano ancorati al dinamometro con strap a velcro a livello della caviglia, coscia e busto/spalle per evitare eventuali compensi durante l'estensione dell'arto testato. Una volta che il set up era stato impostato correttamente si procedeva al posizionamento degli elettrodi HDsEMG e alla registrazione del segnale (Figura 3).



Figura 3. Soggetto seduto ed ancorato al dinamometro con impostato nella gamba dx a livello del vasto laterale la matrice per la registrazione del segnale HDsEMG.

Prima di partire con l'esecuzione delle contrazioni isometriche volontarie richieste dal protocollo, i partecipanti hanno eseguito 7 contrazioni sub massimali ad intensità crescente, 50%-70%-90% della forza massima percepita in estensione di ginocchio come riscaldamento.

Una volta completato il riscaldamento, venivano eseguite dalle 3 alle 5 massive contrazioni volontarie isometriche (MVC) che prevedevano l'espressione della massima forza possibile entro 1 secondo e il mantenimento della stessa per circa 3-5 secondi. Dopo ogni prova il partecipante recuperava circa 1 minuto per poi ripartire con l'esecuzione della successiva.

Tra le diverse MVC veniva poi presa la migliore in termini di forza espressa. Il valore risultante veniva usato per determinare l'intensità delle successive contrazioni sub massimali, eseguite in percentuale della MVC.

I partecipanti hanno quindi svolto rampe di forma trapezoidale ad intensità del 15%-35%-50%-70% dell'MVC come in figura 4. Ogni rampa era composta da una fase ascendente, caratterizzata da un lineare incremento di forza fino al *target* predefinito di forza, una fase di *steady state* della durata di 10s, caratterizzata dal mantenimento costante della forza, e una fase discendente caratterizzata dalla

diminuzione della forza fino a ritornare a forza pari a zero. La velocità di contrazione richiesta durante la fase ascendente e discendente era al  $5\% \text{ MVC} \cdot \text{s}^{-1}$ . Per diminuire la fatica neuromuscolare durante la performance le prove sono state proposte in forma randomizzata e intervallate da un recupero di 2-3 minuti. Le contrazioni sub-massimali ad andamento trapezoidale hanno permesso di studiare il comportamento delle UM nelle diverse fasi della contrazione e a diversi livelli di forza espressa.

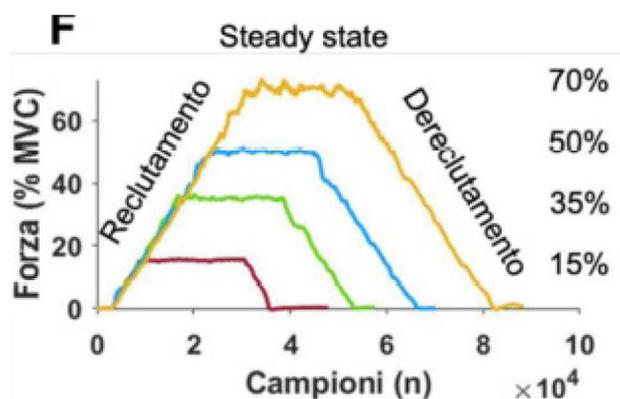


Figura 4. Esempio delle rampe trapezoidali ai diversi livelli di forza (15%, 35%, 50%, 70% MVC) eseguite da ogni partecipante nei vari test neuromuscolari (T0-T4-T8).

## 2.4 Registrazione, analisi e processing dei segnali di forza e HDsEMG

Per registrare l'attività mioelettrica durante il test neuromuscolare è stata utilizzata una procedura standardizzata per tutti e tre i test (T0-T4-T8). Il segnale HDsEMG veniva registrato attraverso l'utilizzo di una matrice composta da 64 elettrodi (13 colonne, 5 righe; diametro elettrodi: 1 mm), che veniva posizionata sulla cute in corrispondenza del ventre del muscolo vasto laterale del quadricipite. Per migliorare la trasmissione e registrazione del segnale veniva applicata sopra la matrice una pasta conduttiva (SpesMedica, Battipaglia, Italia). Inoltre la cute del partecipante veniva depilata e pulita attraverso l'alcol (70% etanolo) per ridurre l'impedenza della pelle e favorire una migliore conduttività del segnale elettrico. Il segnale HDsEMG registrato durante le contrazioni isometriche è stato amplificato ( $\times 150$ ) e campionato a 2048 Hz attraverso un amplificatore di segnali bioelettrici (EMG-Quattrocento, OT Bioelettronica, Torino, Italia) per poi essere processato offline dal software Matlab.

Il segnale HDsEMG è stato filtrato offline e sottoposto ad un processo di decomposizione mediante un algoritmo validato basato sulla *blind-source separation* (Holobar & Zazula, 2007; Holobar et al., 2014). La decomposizione del segnale elettrico è stata effettuata con il software Matlab versione 2023 usando il pacchetto DEMUSE. Questo procedimento matematico permette di decomporre il segnale elettromiografico registrato durante il test, in singoli treni di spari delle UM in maniera accurata e ripetibile (Del Vecchio et al. 2020) (Figura 5).

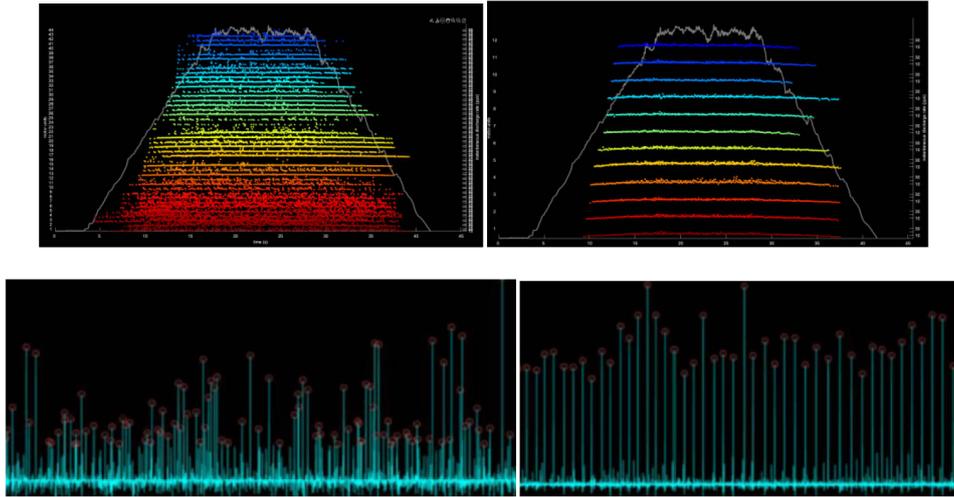


Figura 5. Partendo dalla prima foto viene presentato un file HDsEMG decomposto dal software Matlab ma ancora da analizzare. Nella seconda foto invece si può vedere lo stesso file dopo essere stato accuratamente analizzato. La terza foto invece rappresenta una parte degli spari di un UM, come si può notare non sono spari regolari e fisiologici e di conseguenza dovranno essere puliti. Infine proprio la quarta foto rappresenta sempre lo stesso pool di spari analizzati ed ispezionati secondo le linee guida di del Vecchio (2020).

La decomposizione del segnale HDsEMG ha permesso di identificare l'attività e le proprietà delle UM attivate volontariamente durante l'esecuzione delle rampe sub massimali eseguite durante il test, e soprattutto di confrontarle tra i diversi *time-point* durante e in seguito all'intervento di allenamento. Prima di procedere con l'analisi delle proprietà delle UM è stato necessario ispezionare ogni singola UM identificata dall'algorithmo durante ciascuna contrazione e per ogni partecipante, per capirne la sua accuratezza e correggere eventuali errori ed eliminare le UM doppie secondo la procedura validata riportata nelle linee guida di Del Vecchio et al. (2020).

Solo le UM con *pulse-to-noise ratio* (PNR) >25db sono state mantenute e successivamente analizzate. Per ciascuna di queste UM sono state estratte le seguenti proprietà (descritte nel paragrafo 1.2.1):

- Soglia di reclutamento UM assoluta e relativa;
- Soglia di de-reclutamento UM assoluta e relativa;
- Frequenza di scarica media durante tutta la prova (DR ALL);
- Frequenza di scarica durante la fase di reclutamento (DR REC), *steady state* (DR SS) e de-reclutamento (DR DRec).

Dopodiché, son stati mediati i valori di tutte le soglie di reclutamento assolute (Soglia rec ASS MEDIA) e relative (Soglia rec REL MEDIA) e de reclutamento assolute (Soglia DRec ASS MEDIA) e relative (Soglia DRec REL MEDIA) di tutte e 4 le intensità prese in esame. Alla stessa stregua, son stati mediati i valori delle DR ALL a tutte e 4 le intensità restituendo un unico valore DR MEDIA ALL, così come per la frequenza di scarica media al reclutamento (DR MEDIA REC), allo steady state (DR MEDIA SS) e al de-reclutamento (DR MEDIA DRec).

Per l'estrazione delle proprietà delle UM è stato utilizzato il processore Openhdsemg di Valli e colleghi (2024). Questo processo è stato effettuato in tutti i partecipanti e in tutti i *time point*.

## 2.5 Programma di allenamento

Dopo aver eseguito il test T0, i partecipanti hanno iniziato un programma di allenamento contro resistenza dinamico e progressivo durato 8 settimane. Nello specifico, sono stati svolti 3 allenamenti a settimana per un totale di 24 allenamenti, ciascuno separato dal seguente da almeno 48 ore per garantire il recupero.

Ogni sessione di allenamento, sempre supervisionata dai collaboratori dello studio, durava circa 1 ora, e comprendeva riscaldamento, parte centrale di forza e defaticamento. La scheda di allenamento creata per questo studio comprendeva la stimolazione di tutti i distretti corporei principali, una scheda quindi di natura *whole-body*.

Tuttavia, considerato lo scopo dello studio, l'enfasi del protocollo di allenamento era posta sull'allenamento della muscolatura degli arti inferiori e per questo motivo i partecipanti hanno eseguito 3 esercizi coinvolgenti gli arti inferiori (*leg press*, affondi da fermo in avanti e *leg extension*).

A cornice di questi 3 esercizi principali, venivano inoltre eseguiti esercizi che andavano a stimolare la parte superiore del corpo (*chest press*, alzate laterali, *curl* per bicipiti, rematore, e addominali). Il numero di serie e ripetizioni e la progressione del carico dell'allenamento è riportato qui di seguito e precedentemente adottato nello studio di Moro et al., (2018).

Sedute	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Data												
Serie / reps	2x15	2x15	3x15	3x12	3x12	3x12						
Intensità	60%	60%	60%	60%	60%	60%	65%	65%	65%	67%	67%	67%
Carico												
Sedute	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Data												
Serie / reps	3x12	3x12	3x12	3x12	3x12	3x12	3x10	3x10	3x10	3x10	3x10	3x10
Intensità	70%	70%	70%	73%	73%	73%	75%	75%	75%	78%	78%	78%
Carico												

Nella prima seduta di allenamento i partecipanti, seguiti dai collaboratori del progetto, hanno eseguito l'intera scheda di allenamento. L'obiettivo del primo allenamento era quello di andare a familiarizzare il partecipante con i vari esercizi proposti nel protocollo di allenamento.

Durante il secondo allenamento venivano invece calcolati i carichi massimali, tramite la formula di Brzycki, alla *leg press* e alla *leg extension* ( $1RM = \text{peso sollevato} / [1.0278 - (0.0278 \times \text{numero di ripetizioni})]$ ) (Brzycki, 1993). Il calcolo dei massimali è stato replicato poi anche nella seduta successiva al test T4 ed al test T8. Il calcolo del massimale è stato necessario, al test T0 e T4, per adattare il carico dei successivi allenamenti alla forza espressa dai partecipanti per impostare così una progressione di allenamento. Il carico e l'intensità dell'allenamento sono aumentati progressivamente secondo il principio della progressività del carico.

## 2.6 Analisi statistica:

Il test Shapiro-Wilk è stato utilizzato per verificare la normalità della distribuzione dei dati per tutte le variabili analizzate. Per studiare le differenze tra i gruppi nelle misure di MVC, frequenza di scarica (media, al reclutamento, allo SS, e al de-reclutamento e a tutte le intensità) e soglie di reclutamento e de-reclutamento medie, è stato utilizzato un test ANOVA a due vie per misure ripetute, utilizzando il tempo (allenamento) e il gruppo (Y e O) come variabili. Quando l'effetto tempo o l'interazione tempo x gruppo son stati rilevati dall'ANOVA, abbiamo svolto il *post hoc* di Bonferroni.

Infine, sono state analizzate le relazioni tra il cambiamento della forza massima espressa ( $\Delta T0-T8$  MVC) e la frequenza di scarica media di tutte le fasi delle rampe ( $\Delta T0-T8DR$  MEDIA ALL), del reclutamento ( $\Delta T0-T8DR$  MEDIA REC) e dello *steady state* ( $\Delta T0-T8DR$  MEDIA SS) mediante analisi di correlazione di Pearson ( $r$ ; Pearson's Product-Moment Correlation Analysis) e regressione lineare ( $R^2$ ; Linear Regression Analysis).

I dati son stati analizzati usando il software GraphPad Prism versione 10.2.3 (GraphPad, Boston, Massachusetts USA). Il livello di significatività è stato fissato a  $\alpha < 0.05$ .

### 3. RISULTATI

#### 3.1 Cambiamento della massima forza volontaria isometrica (MVC)

Per quanto riguarda l'effetto dell'allenamento sulla massima forza volontaria, entrambe le popolazioni hanno migliorato similmente i loro livelli di MVC (Figura 6). In particolare, l'ANOVA ha mostrato un effetto *time* ( $P < 0.0001$ ) ma non una significativa interazione *time* x *group*. Le analisi *post hoc* hanno rilevato i seguenti risultati: il gruppo Y da T0-T4 ha aumentato in modo significativo dell' $8.5\% \pm 5.5$  ( $P = 0.0038$ ) l'MVC, e similmente nelle successive 4 settimane (T4-T8) dell' $11.2\% \pm 12.9\%$  ( $P = 0.0256$ ). Nel complesso, il training di 8 settimane (T0-T8) ha comportato un miglioramento significativo del  $20.1\% \pm 12.9\%$  ( $P = 0.0005$ ). Similmente, il gruppo O ha presentato un aumento significativo dopo 4 settimane (T0 a T4) del  $14.0\% \pm 7.8\%$  ( $P = 0.0127$ ), e un miglioramento significativo dopo le 8 settimane (T0-T8) del  $18.8\% \pm 7.5\%$  ( $P = 0.0017$ ).

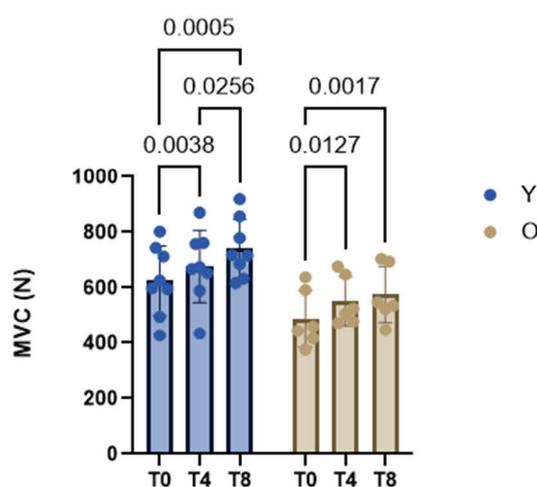


Figura 6. Cambiamenti del MVC nei differenti time point dello studio. Nel grafico sono rappresentati i partecipanti giovani (Y) e i partecipanti anziani (O). Si possono apprezzare i miglioramenti nei partecipanti Y e O con sopra indicati i rispettivi P-value.

#### 3.2 Panoramica del numero unità motorie identificate dal muscolo VL

In Tabella 2 sono riportati i numeri relativi al numero di UM identificate nel vasto laterale divise per gruppi, *time point* e livelli di forza.

	T0	T4	T8	Totale UM
<b>Y</b>				
15%	153	153	193	499
35%	158	171	172	501
50%	139	135	147	421
70%	122	104	133	359
<b>O</b>				
15%	91	130	116	337
35%	108	119	149	376
50%	104	117	106	327
70%	94	87	98	279

Tabella 2. Tabella che rappresenta il numero di UM identificate nel muscolo VL nei due gruppi analizzati.

### 3.3 Cambiamenti della frequenza di scarica media nelle tre fasi delle contrazioni trapezoidali

L'ANOVA ha mostrato un effetto *time* ( $P=0.0133$ ) della DR MEDIA ALL (frequenza di scarica media calcolata durante tutta la contrazione trapezoidale, mediata per tutti i livelli di forza), ma non è stato riscontrato un significativo effetto *time x group*. In particolare, le analisi *post hoc* hanno evidenziato (Figura 7) che solo Y ha presentato un aumento significativo della DR MEDIA ALL tra T0 e T8 del 6.5% ( $P=0.0051$ ). A sua volta, questo aumento sembrerebbe essere spiegabile dal miglioramento della DR MEDIA REC (frequenza di scarica media delle UM al reclutamento), che infatti tra T0 e T8 è aumentata del 7.1% ( $P<0.049$ ) e della DR MEDIA SS (frequenza di scarica media allo steady state) che similmente aumenta tra T0 e T8 del 6.8% ( $P=0.0040$ ). Al contrario, la DR MEDIA DErec (frequenza di scarica media al de-reclutamento) non è cambiata significativamente. Per quanto riguarda l'O, nonostante sia stato osservato un miglioramento in seguito all'allenamento, questo non è risultato statisticamente significativo.

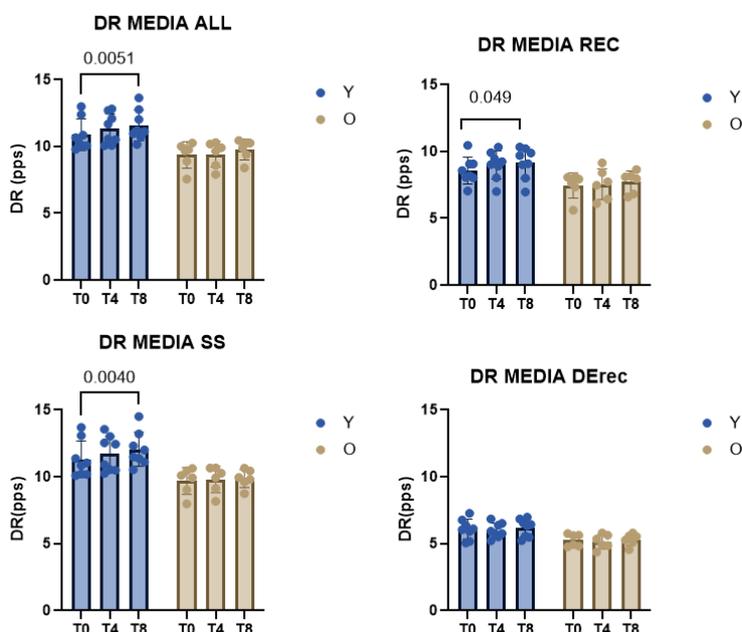


Figura 7. Rappresentati i cambiamenti della DR MEDIA ALL con il rispettivo P-value, e rappresentati anche i cambiamenti di frequenza di scarica media valutati in tutta la rampa nelle fasi di reclutamento (DR MEDIA REC), steady state (DR MEDIA SS) e de reclutamento (DR MEDIA DErec). Si può apprezzare che solo nelle DR MEDIA REC e DR MEDIA SS ci sono dei cambiamenti significativi per i partecipanti Y.

### 3.4 Cambiamenti della frequenza di scarica media ai diversi livelli di forza

L'ANOVA ha mostrato un effetto *time* relativo ai cambiamenti della DR MEDIA ALL a livelli di forza pari al 35% ( $P=0.013$ ), e al 70% ( $P=0.0010$ ), ma non ha riscontrato un significativo effetto *time x group*. In particolare le analisi *post hoc* hanno evidenziato (Figura 8) che la DR MEDIA ALL è cambiata solo a determinati livelli di forza. In seguito all'intervento di RT infatti, solo a livelli di forza pari al 35% MVC abbiamo riscontrato nello Y un aumento significativo della DR MEDIA ALL da T0-T4 del 6.5% ( $P=0.0060$ ) e dal T0 al T8 del 8.9% ( $P=0.0004$ ). A livelli di forza pari al 70% MVC l'analisi statistica ha mostrato un aumento della DR MEDIA ALL in entrambi i gruppi. In particolare, il post hoc ha rilevato un aumento tra T0-T4 ( $P=0.0308$ ) del 5.8% e tra T0-T8

( $P=0.0054$ ) del 7.83% per Y, mentre per O tra T0 a T4 ( $P=0.0231$ ) del 8.6% e da T0 a T8 ( $P=0.0119$ ) del 9.6%.

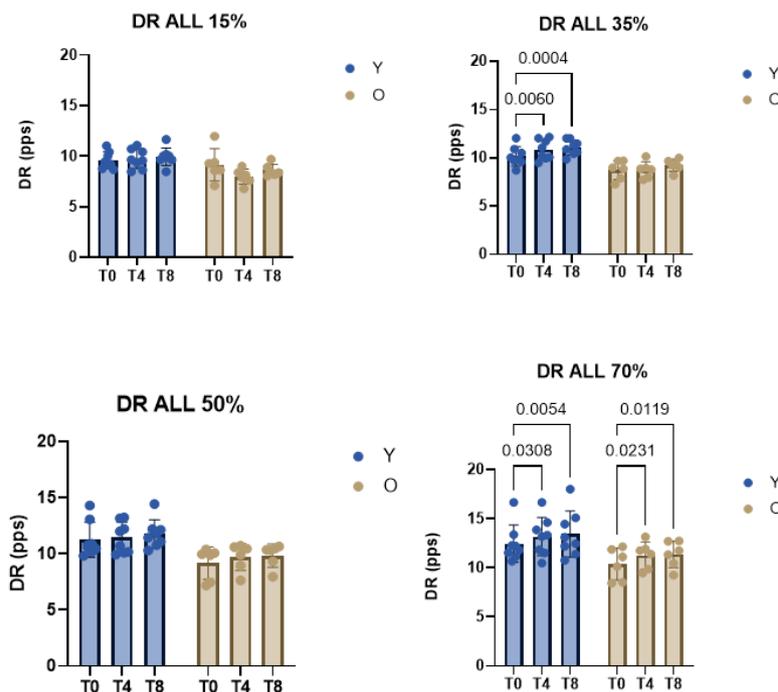


Figura 8: In figura sono rappresentati i cambiamenti delle DR MEDIA ALL nei vari intervalli di forza (15-35-50-70%). I cambiamenti significativi sono evidenziati in entrambe le popolazioni, al 35 e 70% del MVC.

### 3.5 Incrementi della soglia di reclutamento/de reclutamento delle UM

I risultati ottenuti attraverso l'ANOVA, evidenziano un effetto *time* ( $P=0.003$ ) per quanto riguarda la soglia di reclutamento assoluta. Similmente abbiamo riscontrato un effetto *time* ( $P=0.0010$ ) nella soglia di de-reclutamento assoluta. I risultati *post hoc* (Figura 9) sottolineano che la soglia di reclutamento assoluta delle UM aumenta in modo significativo tra T0 e T8 del 20.7% ( $P=0.002$ ) nel gruppo Y. Anche l'O ha riportato aumenti significativi nella soglia di reclutamento assoluta, la popolazione anziana infatti è aumentata da T0-T4 ( $P=0.0373$ ) del 12.7% e da T0 a T8 ( $P=0.0130$ ) del 18.5%. Similmente, la soglia di de-reclutamento assoluta delle UM aumenta in modo significativo da T0 a T4 del 15.2% ( $P=0.0122$ ) e da T0 a T8 del 26.8% ( $P=0.0003$ ) solo nello YG. Probabilmente, questi cambiamenti nelle soglie di reclutamento/de reclutamento in termini assoluti sono spiegabili dall'incremento della MVC indotto dall'intervento. Il secondo risultato importante e comune ad entrambi i gruppi, è dato dal fatto che la soglia di reclutamento/de-reclutamento in termini relativi non cambia significativamente con l'allenamento. Questo ci dice che a parità di forza relativa (ad es. 50% MVC) le UM vengono reclutate allo stesso modo post allenamento sia nel gruppo Y che nel gruppo O. Di conseguenza, i nostri risultati sembrerebbero dimostrare che 8 settimane di allenamento non inducono cambiamenti significativi nelle strategie di reclutamento/de-reclutamento sia in giovani adulti che anziani.

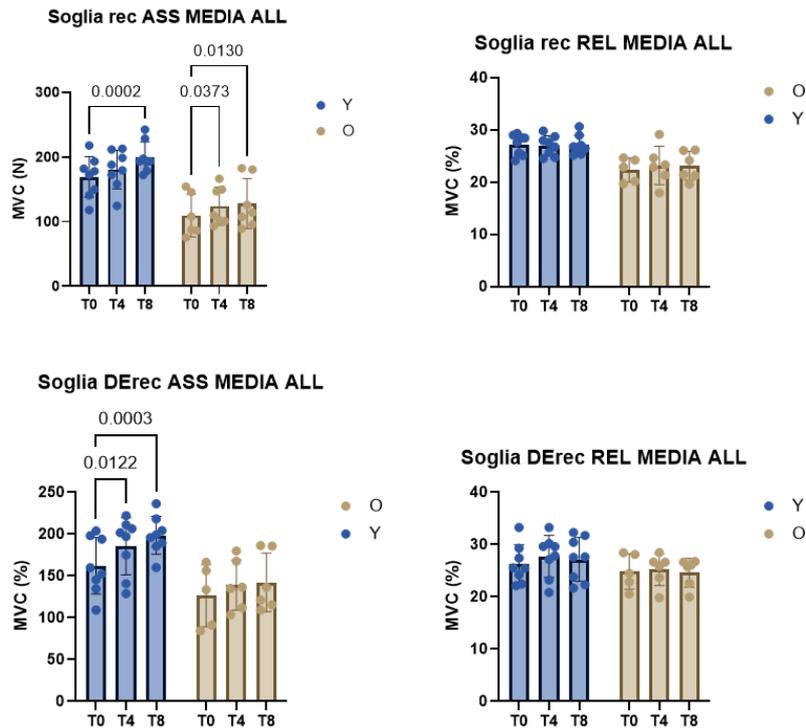


Figura 9. Descritti i cambiamenti della Soglia rec ASS MEDIA, Soglia rec REL MEDIA, Soglia DErec ASS MEDIA, Soglia DErec REL MEDIA con i loro rispettivi P-value.

### 3.6 Relazioni tra cambiamenti di forza e di frequenza di scarica indotti dall'allenamento

In ultima battuta con la nostra analisi statistica abbiamo studiato l'associazione tra i cambiamenti percentuali tra T0 e T8 di forza ( $\Delta MVC$ ) e quelli della frequenza di scarica media ( $\Delta DR MEDIA ALL$ ), al reclutamento ( $\Delta DR MEDIA REC$ ) e allo steady state ( $\Delta DR MEDIA SS$ ). L'analisi di regressione lineare ha sottolineato che i cambiamenti della frequenza di scarica media ( $P=0.0323$ ;  $R=0.5617$ ; Figura A), nella fase di reclutamento ( $P=0.011$ ;  $R=0.68$ ; Figura B) e allo *steady state* ( $P=0.047$ ;  $R=0.5088$ , Figura C) indotti dall'allenamento sono in grado di spiegare l'incremento di MVC osservato in seguito alle 8 settimane di allenamento (Figura 10). L'esistenza e la significatività di queste associazioni sottolinea ancora una volta quanto i fattori neurali, qui valutati mediante la frequenza di scarica delle UM, influenzino la nostra capacità di esprimere una maggiore forza volontariamente in seguito all'allenamento.

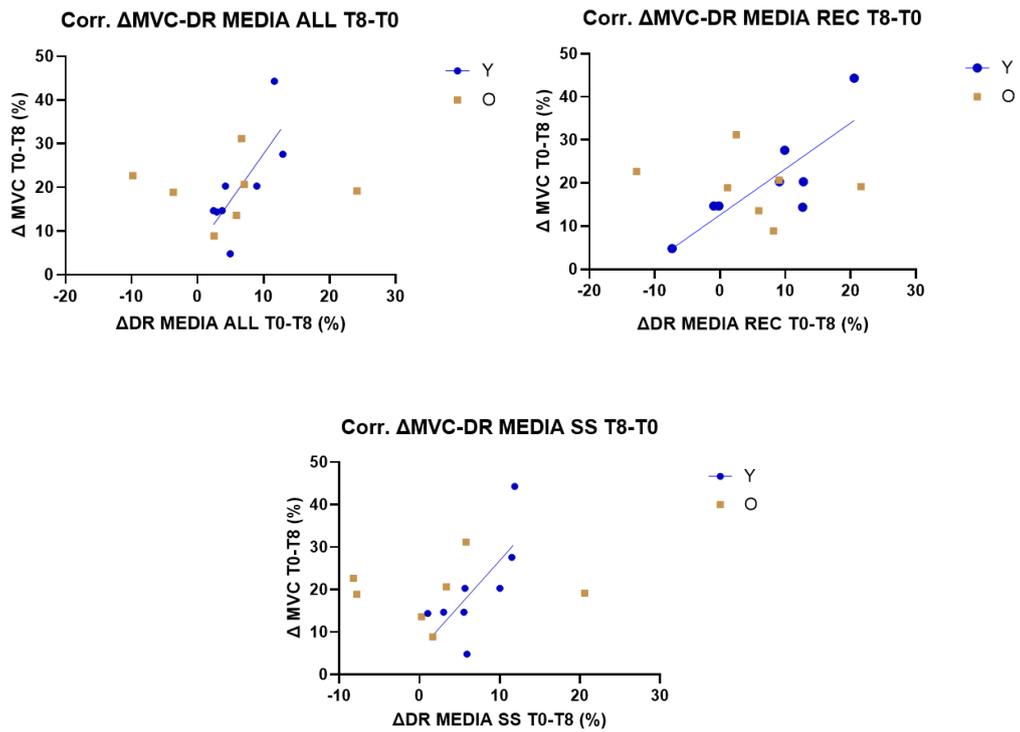


Figura 10. Nei seguenti grafici sono rappresentate le relazioni tra  $\Delta MVC$  e  $\Delta DR MEDIA ALL$ ,  $\Delta DR MEDIA REC$  e  $\Delta DR MEDIA SS$  tra il primo time point T0 e l'ultimo T8.

## 4. DISCUSSIONE

### 4.1 Principali cambiamenti indotti dall'allenamento

Dopo le 8 settimane di RT dinamico-progressivo i dati da noi raccolti, rispettano le nostre aspettative basate sui dati ad oggi disponibili in letteratura. Entrambe le popolazioni hanno ottenuto un miglioramento in termini di aumento della MVC in seguito a 2 mesi di RT.

In particolare i giovani adulti sono aumentati del 20.1%, mentre gli anziani di circa il 18.8%. Questi incrementi dei livelli di forza, sono accompagnati da aumenti nella DR MEDIA ALL, ovvero nella media della frequenza di scaricadi tutte le fasi della rampa, mostrando un aumento di circa 6.5%. Il maggior contributo dell'aumento della frequenza di scarica è da ricondursi alle fasi di reclutamento (DR MEDIA REC) e di steady state (DR MEDIA SS), mentre la frequenza di scarica al de-reclutamento (DR MEDIA DRec) non è stata modificata dall'allenamento. Fondamentale sottolineare che questi cambiamenti neurali sono maggiormente attribuibili alla popolazione di giovani adulti, mentre negli anziani, seppur aumentando in media la frequenza di scarica, non hanno raggiunto la significatività statistica. Probabilmente, questo può essere dovuto dalla scarsa numerosità campionaria (solo 6 partecipanti), che verrà ampliata fino al raggiungimento dello stesso numero di giovani adulti con l'obiettivo di raggiungere la potenza statistica.

Sempre nel gruppo Y, nei 2 mesi, abbiamo riscontrato aumenti della DR MEDIA ALL al 35% di MVC con un aumento circa del 7.2%. Mentre a livelli di forza pari al 70% abbiamo riscontrato aumenti in entrambe le popolazioni, Y aumentati, del 7.8% mentre l'O è aumentato del 9.6% dopo 8 settimane.

Per quanto riguarda le soglie di reclutamento assolute, l'analisi statistica ha mostrato un aumento di circa il 20.7% per Y e circa del 18.5% per l'O da T0 a T8 e, per le soglie di de-reclutamento assolute, un aumento significativo solo del gruppo Y del 26.8% dopo 8 settimane di RT. Tuttavia, in entrambe le popolazioni, non abbiamo osservato dei significativi cambiamenti nelle soglie di reclutamento e de-reclutamento relative (% MVC) che ci fa ipotizzare un'assenza di cambiamenti nelle strategie di reclutamento e de-reclutamento.

In ultima analisi, le relazioni significative tra  $\Delta MVC$  e  $\Delta DR MEDIA ALL$ ,  $\Delta MVC$  e  $\Delta DR MEDIA REC$  e  $\Delta MVC$  e  $\Delta DR MEDIA SS$  ci permettono di dire che in entrambe le popolazioni testate l'aumento della MVC è associato positivamente ad aumenti nella DR dopo le 8 settimane di allenamento.

Nei prossimi paragrafi verranno confrontati i nostri risultati con gli studi presenti nella letteratura scientifica, illustrando eventuali similitudini o differenze.

### 4.2 Confronto sui cambiamenti di forza:

Confrontando i risultati ottenuti nel nostro studio, su entrambe le popolazioni, e quelli presenti in letteratura uno dei risultati che li accomuna è il cambiamento dell'espressione di forza. Già Van Cutsem et al. (1998) aveva registrato successivamente a 12 settimane di RT dinamico aumenti del 30.2% di MVC nel muscolo tibiale anteriore. Similmente Kamen e Knight (2004) hanno registrato aumenti della massima forza volontaria del 29% (Y) e del 36% (O), successivamente a 6 settimane

di RT analizzando il muscolo VL, il loro protocollo di allenamento prevedeva esercizi di estensione del ginocchio con carichi pari all'85% del MVC e con 3 contrazioni isometriche di 5 secondi. Anche Vila-Cha et.al (2010) dopo 6 settimane di RT, analizzando i muscoli estensori del ginocchio (VL e VM) e sottoponendo i partecipanti ad un protocollo di allenamento che raggiungeva alla fine delle 6 settimane un'intensità del 75% del MVC, ha osservato un aumento della forza pari al 17.5%. Risultati simili sono stati trovati anche negli studi di Del Vecchio (2019) e Casolo (2020) che nello studio del muscolo tibiale anteriore, con un protocollo di allenamento che consisteva nell'esecuzione di contrazioni di tipo balistico o di tipo isometrico, hanno osservato un aumento medio del 14.1%. Questi risultati ci sottolineano che, nonostante le metodologie impiegate, protocollo di allenamento o i partecipanti a cui è stato sottoposto il RT, tutti gli studi hanno verificato aumenti della massima forza volontaria, e questo ci fa ipotizzare che indipendentemente dai parametri elencati precedentemente un aumento della forza si è sempre verificato successivamente al protocollo di RT. Inoltre come nel nostro studio dove abbiamo ottenuto un effetto *time* significativo, per l'aumento del MVC, tra i gruppi analizzati, ma non un effetto *time x group*, anche Kamen e Knight (2004) hanno verificato un aumento del MVC in entrambi i gruppi analizzati (Y e O), sottolineando che in entrambe le popolazioni il RT porti un aumento dell'espressione di forza.

#### **4.3 Confronto su cambiamenti di frequenza di scarica:**

Sono pochi gli studi che hanno valutato i cambiamenti nella frequenza di scarica associati all'allenamento contro resistenza impiegando l'HDsEMG. Con la stessa tecnica, la letteratura precedente si è focalizzata sull'allenamento di tipo isometrico. Per esempio sia nello studio di Del Vecchio et al., (2019) sia di Casolo et al., (2020) si è osservato un aumento della DR misurata durante le fasi di steady state di contrazioni sub massimali. Questi risultati sono comparabili ai nostri poiché anche noi abbiamo trovato che la DR MEDIA SS è aumentata in modo significativo particolarmente nella popolazione giovane dopo 8 settimane di RT.

Un'altra importante similitudine la troviamo con lo studio più recente di Orsatto e colleghi (2023). Infatti i risultati ottenuti dallo studio, che prendeva in esame 17 anziani, mostravano un incremento della DR di picco nel muscolo soleo dopo 6 settimane di allenamento ad alta intensità. Similmente, nel nostro studio, gli anziani coinvolti mostrano un generale aumento della DR dopo 8 settimane di allenamento, raggiungendo la significatività statistica solo durante le rampe al 70% dell'MVC. Questo ci fa ipotizzare che siano le unità motorie ad alta soglia ad essere maggiormente sollecitate dall'allenamento contro resistenza. Infatti, il nostro protocollo prevedeva un'intensità di allenamento di partenza del 60%, raggiungendo il 78% l'ultima settimana di allenamento.

#### **4.4 Confronto sui cambiamenti delle soglie di reclutamento e de-reclutamento:**

Spostandoci ora su cambiamenti delle soglie di reclutamento e de-reclutamento un importante confronto lo possiamo fare con lo studio di Del Vecchio et al., 2019 Casolo et al., 2020. I risultati suggeriscono che la soglia di reclutamento assoluta dopo 4 settimane aumenta, ma quando la stessa viene normalizzata per l'MVC, i valori diminuiscono in maniera significativa. Similmente, anche noi abbiamo osservato un aumento della SOGLIArec ASS MEDIA, spiegabile dall'aumento

dell'MVC significativo dopo le 8 settimane di allenamento. In altre parole, dato che i partecipanti hanno eseguito rampe sub massimali in termini % dell'MVC (che è aumentata), le unità motorie sono state reclutate a livelli di forza assoluta maggiore rispetto al baseline. Quando però i valori della soglia di reclutamento sono stati rapportati alla % di MVC (SOGLIA rec REL MEDIA), non abbiamo riscontrato nessuna significatività in nessuno dei due gruppi. Questo ci fa ipotizzare che a parità di forza relativa, le UM vengono reclutate con le stesse strategie anche dopo un programma di allenamento RT dinamico. Tuttavia, sottolineiamo che il progetto è ancora in corso e che il numero dei partecipanti è da implementare. Le differenze rispetto allo studio di Casolo e colleghi (2020) possono essere giustificate dalle sostanziali differenze metodologiche. Il muscolo studiato dai ricercatori è stato il tibiale anteriore che ha delle differenti caratteristiche fisiologiche e biomeccaniche rispetto al VL. Inoltre, a differenza loro, noi non abbiamo impiegato contrazioni di tipo balistico o di tipo isometrico, ma ci siamo soffermati sull'RT dinamico progressivo. Pertanto ipotizziamo che differenti tipologie di allenamento inducono differenti adattamenti neurali. Tuttavia, sono necessari ulteriori studi che comparino direttamente le differenti modalità di allenamento per confermare i risultati.

#### 4.5 Confronto degli adattamenti neurali tra Y e O

In quasi la totalità dei risultati da noi ottenuti i due gruppi si sono comportati abbastanza similmente, sottolineando che nei vari parametri da noi analizzati come MVC, DR o soglie di reclutamento e de-reclutamento, entrambi i gruppi hanno risposto in modo significativo al protocollo di RT. Abbiamo infatti ottenuto nella maggior parte dei risultati un effetto *time* ma non *time x group*, evidenziando quindi che entrambi i gruppi hanno mostrato dei cambiamenti indotti dal RT. Tuttavia, è bene sottolineare come il gruppo Y ha evidenziato cambiamenti più marcati rispetto al gruppo O.

#### 4.6 Punti di forza dello studio:

Il nostro studio era volto ad ampliare quelle che sono le conoscenze a disposizione in letteratura riguardante lo studio delle proprietà delle UM, andando ad utilizzare la più recente delle tecnologie per l'analisi delle UM stesse. Uno dei principali punti di forza dello studio è proprio l'utilizzo dell'HDsEMG, che a differenza dell'iEMG o sEMG utilizzate in molti altri studi, permette uno studio accurato e preciso delle UM, e delle sue proprietà, in modo completamente non invasivo semplicemente posizionando matrici ed elettrodi sulla cute sovrastante del muscolo da analizzare. L'altro principale punto di forza dello studio sono le popolazioni che noi siamo andati ad analizzare, infatti il nostro è uno dei pochi che ha analizzato e comparato la popolazione giovane e quella anziana, sottoponendo entrambi i gruppi allo stesso protocollo di allenamento progressivo dinamico. Questo confronto ci ha permesso di offrire una panoramica più ampia di quelli che possono essere gli adattamenti neurali in entrambe le popolazioni. Infine anche la durata dello studio, 8 settimane è un importante punto di forza dello studio poiché la maggior parte degli studi presenti in letteratura basano i loro dati su di 4 o 6 settimane di RT

#### 4.7 Limiti dello studio:

Sebbene l'utilizzo della più avanzata tecnologia per l'analisi delle UM e delle sue proprietà abbia portato nuovi risultati già presenti in letteratura il nostro studio presenta limitazioni principalmente di natura metodologica. Difatti, la numerosità campionaria analizzata per questa tesi è ancora scarsa. Sottolineiamo però, che il progetto è ancora in corso e che inferenze più solide potranno essere effettuate con il raggiungimento della potenza statistica.

Inoltre, il nostro studio ha preso in considerazione solo una popolazione di genere maschile, il che i risultati devono essere interpretati con cautela quando vogliono essere generalizzati alla popolazione femminile.

### 5.CONCLUSIONE

Il nostro studio fornisce un'ulteriore evidenza di come un programma di allenamento contro resistenza di 8 settimane di RT migliori la capacità del muscolo di giovani adulti e anziani di esprimere forza massima. Questo miglioramento è attribuibile ad una serie di adattamenti neuromuscolari. Dai nostri risultati infatti si può apprezzare che entrambe le popolazioni hanno aumentato significativamente il loro livello di massima forza volontaria da T0 a T8. Possiamo ipotizzare, ma solo per il gruppo Y, che questo aumento sembra essere in parte giustificato da un aumento della frequenza di scarica media durante tutte le fasi della prova sub massimale. A sua volta, questo aumento della frequenza di scarica media, sembra essere spiegabile principalmente da aumenti della frequenza di scarica media durante la fase di reclutamento e dalla frequenza di scarica media durante la fase di *steady state*. Abbiamo inoltre registrato, nelle 8 settimane di protocollo un aumento significativo della frequenza di scarica media al 35% MVC (Y) e al 70% MVC(Y e O). Possiamo quindi concludere che i nostri risultati dimostrano che entrambe le popolazioni hanno aumentato i loro livelli di forza massima, spiegabili, seppur in parte, dagli adattamenti neurali riconducibili a alla frequenza di scarica DR. Nonostante questi risultati però, non possiamo affermare che ci siano sostanziali differenze negli adattamenti neurali tra giovani adulti e anziani esposti allo stesso programma di allenamento di 8 settimane. In ultima analisi, i nostri risultati suggeriscono che, per entrambi i gruppi, le strategie di reclutamento e de reclutamento delle UM rimangono invariate dopo 8 settimane di allenamento contro resistenza.

## BIBLIOGRAFIA

- Brzycki, M. (1993). Strength Testing—Predicting a One-Rep Max from Reps-to-Fatigue. *Journal of Physical Education, Recreation & Dance*, 64(1), 88–90.  
<https://doi.org/10.1080/07303084.1993.10606684>
- Bull, F. C., Al-Ansari, S. S., Biddle, S., Borodulin, K., Buman, M. P., Cardon, G., Carty, C., Chaput, J., Chastin, S., Chou, R., Dempsey, P. C., DiPietro, L., Ekelund, U., Firth, J., Friedenreich, C. M., Garcia, L., Gichu, M., Jago, R., Katzmarzyk, P. T., . . . Willumsen, J. F. (2020). World Health Organization 2020 guidelines on physical activity and sedentary behaviour. *British Journal of Sports Medicine*, 54(24), 1451–1462.  
<https://doi.org/10.1136/bjsports-2020-102955>
- Casolo, A., Del Vecchio, A., Balshaw, T. G., Maeo, S., Lanza, M. B., Felici, F., Folland, J. P., & Farina, D. (2021). Behavior of motor units during submaximal isometric contractions in chronically strength-trained individuals. *Journal of Applied Physiology*, 131(5), 1584–1598.  
<https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00192.2021>
- Casolo, A., Farina, D., Falla, D., Bazzucchi, I., Felici, F., & Del Vecchio, A. (2019). Strength training increases conduction velocity of High-Threshold motor units. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 52(4), 955–967. <https://doi.org/10.1249/mss.0000000000002196>
- Currier, B. S., Mcleod, J. C., Banfield, L., Beyene, J., Welton, N. J., D’Souza, A. C., Keogh, J. a. J., Lin, L., Coletta, G., Yang, A., Colenso-Semple, L., Lau, K. J., Verboom, A., & Phillips, S. M. (2023). Resistance training prescription for muscle strength and hypertrophy in healthy adults: a systematic review and Bayesian network meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 57(18), 1211–1220. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2023-106807>
- De Rezende, L. F. M., Lopes, M. R., Rey-López, J. P., Matsudo, V. K. R., & Luiz, O. D. C. (2014). Sedentary Behavior and Health Outcomes: An Overview of Systematic reviews. *PloS One*, 9(8), e105620. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0105620>

- Del Vecchio, A., Holobar, A., Falla, D., Felici, F., Enoka, R., & Farina, D. (2020). Tutorial: Analysis of motor unit discharge characteristics from high-density surface EMG signals. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, *53*, 102426. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2020.102426>
- Del Vecchio, A., Negro, F., Holobar, A., Casolo, A., Folland, J. P., Felici, F., & Farina, D. (2019). You are as fast as your motor neurons: speed of recruitment and maximal discharge of motor neurons determine the maximal rate of force development in humans. *Journal of Physiology*, *597*(9), 2445–2456. <https://doi.org/10.1113/jp277396>
- Enoka, R. M. (2006). Motor unit. *Wiley Encyclopedia of Biomedical Engineering*. <https://doi.org/10.1002/9780471740360.ebs0798>
- Folland, J. P., & Williams, A. G. (2007). The adaptations to strength training. *Sports Medicine*, *37*(2), 145–168. <https://doi.org/10.2165/00007256-200737020-00004>
- Fragala, M. S., Cadore, E. L., Dorgo, S., Izquierdo, M., Kraemer, W. J., Peterson, M. D., & Ryan, E. D. (2019). Resistance training for older adults: Position Statement from the National Strength and Conditioning Association. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *33*(8), 2019–2052. <https://doi.org/10.1519/jsc.00000000000003230>
- Henneman, E. (1957). Relation between Size of Neurons and Their Susceptibility to Discharge. In *New Series* (Vol. 27, Issue 3287)
- Heckman, C., & Enoka, R. M. (2004). Physiology of the motor neuron and the motor unit. In *Handbook of clinical neurophysiology* (pp. 119–147). [https://doi.org/10.1016/s1567-4231\(04\)04006-7](https://doi.org/10.1016/s1567-4231(04)04006-7)
- Holobar, A., Minetto, M. A., & Farina, D. (2014). Accurate identification of motor unit discharge patterns from high-density surface EMG and validation with a novel signal-based performance metric. *Journal of Neural Engineering*, *11*(1), 016008. <https://doi.org/10.1088/1741-2560/11/1/016008>

- Holobar, A., & Zazula, D. (2007). Multichannel blind source separation using convolution kernel compensation. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 55(9), 4487–4496.  
<https://doi.org/10.1109/tsp.2007.896108>
- Kamen, G., & Knight, C. A. (2004). Training-Related adaptations in motor unit discharge rate in young and older adults. *the Journals of Gerontology. Series a, Biological Sciences and Medical Sciences*, 59(12), 1334–1338. <https://doi.org/10.1093/gerona/59.12.1334>
- Kim, S., Park, H., Jung, W., & Lim, K. (2022). Effects of Twenty-Four Weeks of Resistance Exercise training on body composition, bone mineral density, functional fitness and isokinetic muscle strength in obese older women: a randomized controlled trial. *International Journal of Environmental Research and Public Health/International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(21), 14554.  
<https://doi.org/10.3390/ijerph192114554>
- Kim, Y., Lai, B., Mehta, T., Thirumalai, M., Padalabalanarayanan, S., Rimmer, J. H., & Motl, R. W. (2019). Exercise training guidelines for multiple sclerosis, stroke, and Parkinson disease. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 98(7), 613–621.  
<https://doi.org/10.1097/phm.0000000000001174>
- Lopez, P., Pinto, R. S., Radaelli, R., Rech, A., Grazioli, R., Izquierdo, M., & Cadore, E. L. (2017). Benefits of resistance training in physically frail elderly: a systematic review. *Aging Clinical and Experimental Research*, 30(8), 889–899. <https://doi.org/10.1007/s40520-017-0863-z>
- Martinez-Valdes, E., Farina, D., Negro, F., Del Vecchio, A., & Falla, D. (2018). Early Motor Unit Conduction Velocity Changes to High-Intensity Interval Training versus Continuous Training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 50(11), 2339–2350.  
<https://doi.org/10.1249/mss.0000000000001705>
- Moro, T., Brightwell, C. R., Deer, R. R., Graber, T. G., Galvan, E., Fry, C. S., Volpi, E., & Rasmussen, B. B. (2018). Muscle protein anabolic resistance to essential amino acids does

- not occur in healthy older adults before or after resistance exercise training. *the Journal of Nutrition*, 148(6), 900–909. <https://doi.org/10.1093/jn/nxy064>
- Nuccio, S., Del Vecchio, A., Casolo, A., Labanca, L., Rocchi, J. E., Felici, F., Macaluso, A., Mariani, P. P., Falla, D., Farina, D., & Sbriccoli, P. (2021). Deficit in knee extension strength following anterior cruciate ligament reconstruction is explained by a reduced neural drive to the vasti muscles. *Journal of Physiology*, 599(22), 5103–5120. <https://doi.org/10.1113/jp282014>
- Nuzzo, J. L., Barry, B. K., Jones, M. D., Gandevia, S. C., & Taylor, J. L. (2017). Effects of four weeks of strength training on the corticomotoneuronal pathway. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 49(11), 2286–2296. <https://doi.org/10.1249/mss.0000000000001367>
- Orssatto, L. B. R., Blazeovich, A. J., & Trajano, G. S. (2023). Ageing reduces persistent inward current contribution to motor neurone firing: Potential mechanisms and the role of exercise. *Journal of Physiology*, 601(17), 3705–3716. <https://doi.org/10.1113/jp284603>
- Pearcey, G. E. P., Alizedah, S., Power, K. E., & Button, D. C. (2021). Chronic resistance training: is it time to rethink the time course of neural contributions to strength gain? *European Journal of Applied Physiology*, 121(9), 2413–2422. <https://doi.org/10.1007/s00421-021-04730-4>
- Peek, A. L., & Stevens, M. L. (2016). Resistance training for people with Parkinson's disease (PEDro synthesis). *British Journal of Sports Medicine*, 50(18), 1158. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-096311>
- Sale, D. G. (1988). Neural adaptation to resistance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 20(Sup 1), S135–S145. <https://doi.org/10.1249/00005768-198810001-00009>
- Santilli, V., Bernetti, A., Mangone, M., & Paoloni, M. (2014). Clinical definition of sarcopenia. *Clinical Cases in Mineral and Bone Metabolism*. <https://doi.org/10.11138/ccmbm/2014.11.3.177>

- Shailendra, P., Baldock, K. L., Li, L. K., Bennie, J. A., & Boyle, T. (2022). Resistance Training and Mortality Risk: A Systematic Review and Meta-Analysis. *American Journal of Preventive Medicine*, 63(2), 277–285. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2022.03.020>
- Talar, K., Hernández-Belmonte, A., Vetrovsky, T., Steffl, M., Kałamacka, E., & Courel-Ibáñez, J. (2021). Benefits of Resistance training in Early and late Stages of Frailty and sarcopenia: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Studies. *Journal of Clinical Medicine*, 10(8), 1630. <https://doi.org/10.3390/jcm10081630>
- Valli, G., Ritsche, P., Casolo, A., Negro, F., & De Vito, G. (2024). Tutorial: Analysis of central and peripheral motor unit properties from decomposed High-Density surface EMG signals with openhdemg. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 74, 102850. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2023.102850>
- Van Cutsem, M., Duchateau, J., & Hainaut, K. (1998). Changes in single motor unit behaviour contribute to the increase in contraction speed after dynamic training in humans. *Journal of Physiology*, 513(1), 295–305. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7793.1998.295by.x>
- Vila-Chã, C., Falla, D., & Farina, D. (2010). Motor unit behavior during submaximal contractions following six weeks of either endurance or strength training. *Journal of Applied Physiology*, 109(5), 1455–1466. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01213.2009>
- Wanner, M., Hartmann, C., Pestoni, G., Martin, B. W., Siegrist, M., & Martin-Diener, E. (2017). Validation of the Global Physical Activity Questionnaire for self-administration in a European context. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine*, 3(1), e000206. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2016-000206>
- Weier, A. T., Pearce, A. J., & Kidgell, D. J. (2012). Strength training reduces intracortical inhibition. *Acta Physiologica*, 206(2), 109–119. <https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.2012.02454.x>
- Westcott, W. L. (2012). Resistance Training is Medicine. *Current Sports Medicine Reports*, 11(4), 209–216. <https://doi.org/10.1249/jsr.0b013e31825dabb8>

WHO guidelines on physical activity and sedentary behaviour: at a glance. Geneva: World Health Organization; 2020. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO

World Health Organization: WHO. (2022, October 1). *Ageing and health*.

[https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ageing-and](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ageing-and-health#:~:text=By%202030%2C%201%20in%206,will%20double%20(2.1%20billion))

[health#:~:text=By%202030%2C%201%20in%206,will%20double%20\(2.1%20billion\)](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ageing-and-health#:~:text=By%202030%2C%201%20in%206,will%20double%20(2.1%20billion))

Xu, L., Gu, H., Cai, X., Zhang, Y., Hou, X., Yu, J., & Sun, T. (2023). The Effects of Exercise for Cognitive Function in Older Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *International Journal of Environmental Research and Public Health/International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(2), 1088. <https://doi.org/10.3390/ijerph20021088>

## **RINGRAZIAMENTI**

Non so se mai questi ringraziamenti verranno letti, ma sono del tutto doverosi.

Un grazie speciale lo devo al prof. Casolo, che quasi un anno fa accettava la richiesta mia e di Lorenzo di partecipare al suo progetto di ricerca dove abbiamo imparato davvero molto, da come approcciarsi con i partecipanti a come analizzare dei dati o scrivere una tesi. Non c'è mai stato fatto mancare nulla, e siamo stati seguiti in maniera molto professionale e di questo ne sarò sempre grato.

Un grazie speciale anche ad Ale, l'uomo delle feste, che ha mille energie e ci ha sopportato tutto questo tempo, tra domande ridicole e richieste folli, hai in cuore d'oro e una gentilezza fuori dal comune. Non smettere mai di essere così Ale! Grazie anche a Gioi che prima di Ale ci ha seguito ed aiutato nella parte più pratica del progetto di ricerca. Siamo stati accolti in laboratorio nei migliori dei modi e ci è servito tanto imparare anche da lei.

Grazie a tutta la mia famiglia, ai miei genitori che davvero, non mi hanno mai fatto mancare nulla, che hanno creduto in questa mia scelta, che prima o poi ripagherà, forse :)

Un grazie anche alla mia nonna, che ogni giorno da 2 anni a questa parte mi chiede quando mi laureo, e il giorno è sempre lo stesso, non è mai cambiato. Grazie perché non ho mai visto una persona voler bene ai propri nipoti in modo così incondizionato, quasi malato. Ah e come ultima cosa, grazie per i 10 euro che qualche volta mi dai per: "Devi andare a Padova, il treno costa", solo che con quei 10 euro mi faccio appena un andata e un ritorno. <3