

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Scienze Biomediche

Corso di Laurea Triennale in Scienze Motorie

Tesi di Laurea

**ADATTAMENTI FUNZIONALI DEL MUSCOLO QUADRICIPITE
FEMORALE IN SEGUITO AD UN INTERVENTO DI STEP
REDUCTION**

Relatore: Prof. Franchi Martino

Laureando: Bernardinello Luca

N° di matricola: 2011721

Anno Accademico 2022/2023

INDICE

INDICE	1
1. INTRODUZIONE:.....	2
1.1 INATTIVITA' E SALUTE	3
2. MODELLI DI STUDIO DELL'INATTIVITA'	6
2.1 BED REST:	6
2.2 UNILATERAL LOWER LIMB SUSPENSION (ULLS):	6
2.3 STEP REDUCTION (SR):.....	7
2.4 MODELLI A CONFRONTO:.....	7
3. IL MUSCOLO SCHELETRICO E L'INATTIVITA' FISICA	9
3.1 STRUTTURA DEL MUSCOLO:	9
3.1.1 GERARCHIA MUSCOLARE:.....	9
3.1.2 UNITA' MOTORIA:	10
3.1.3 TIPOLOGIA DI FIBRE – CLASSIFICAZIONE FUNZIONALE:	11
3.2 PARAMETRI FUNZIONALI DEL MUSCOLO:	12
3.3 TIPOLOGIE DI CONTRAZIONE MUSCOLARE:.....	17
3.4 PLASTICITA' MUSCOLARE:	19
3.5 ADATTAMENTI DEL MUSCOLO ALL'INATTIVITA'- ATROFIA:	21
4. SCOPO DELLA TESI	23
5. MATERIALI E METODI.....	24
5.1 SOGGETTI DELLO STUDIO:.....	24
5.2 DISEGNO SPERIMENTALE:	24
5.3 VARIABILI CONSIDERATE:.....	26
5.4 ANALISI STATISTICA:	30
6. RISULTATI.....	31
6.1 MVC:.....	31
6.2 Time To Peak:	32
6.3 Rate of Force Development:.....	32
7. DISCUSSIONE DEI RISULTATI	37
8. CONCLUSIONI.....	39
BIBLIOGRAFIA:	41

1. INTRODUZIONE:

Al giorno d'oggi, in particolar modo nei paesi più industrializzati, lo sviluppo tecnologico ha un grande impatto sulla vita quotidiana di tutti noi e sempre più volentieri si cerca di utilizzarlo a proprio vantaggio per ridurre o facilitare le mansioni di tutti i giorni e faticare meno possibile. Tra innovazioni tecnologiche e i vari comfort, la vita dell'essere umano è diventata sempre meno movimentata tanto che negli ultimi anni l'ipocinesia è iniziata ad essere oggetto di studi in quanto ritenuta altamente impattante sullo stato di salute delle persone. L'uomo, sin dalle origini, era costretto a spostarsi di continuo per reperire il cibo e il suo corpo si è evoluto per rispondere al meglio alle sue necessità ed esigenze. Ora, con l'aumento della sedentarietà e la ridotta necessità di spostamento fisico, l'organismo umano deve fronteggiare situazioni e necessità differenti e spesso ne risente.

Quest'anno ho avuto la possibilità di partecipare, come tesista, ad un progetto che il MIUR ha affidato all'università di Padova. L'obiettivo di questo progetto è di investigare ulteriormente quelle che sono le modificazioni organiche che il corpo umano subisce in seguito ad una brusca alterazione dei livelli di attività fisica giornaliera, in particolar modo in soggetti definiti young-adults. Nello specifico, i nostri obiettivi erano quelli di valutare gli adattamenti anatomici (tramite ecografie) e funzionali (valutando l'MVC e la capacità di reclutamento in varie contrazioni muscolari utilizzando cella di carico e l'elettromiografia) del muscolo quadricipite femorale in seguito ad un intervento di Step Reduction: i soggetti reclutati avrebbero dovuto ridurre notevolmente i passi giornalieri per due settimane e sarebbero stati sottoposti ai test di controllo prima e dopo questo intervento in modo da poter valutare eventuali adattamenti. Una peculiarità di questo progetto è stata la scelta del range di età dei soggetti reclutati: si è scelto di analizzare, in particolare, soggetti tra i 18 e 35 anni per cercare di fare chiarezza e avere una base minima di dati sul quale poter ragionare dato che sono ancora pochi gli studi di questo tipo fatti su soggetti giovani; inoltre, si è a conoscenza del fatto che il fenomeno della sedentarietà e dell'ipocinesia interessa anche la popolazione mondiale di bambini e giovani.

1.1 INATTIVITA' E SALUTE:

L'aumento degli stili di vita sedentari riguarda in modo globale tutte le fasce di età (bambini, adolescenti, adulti e anziani) e ha un impatto notevole, in primo luogo, sulla salute dell'individuo (fisica, mentale, emozionale, spirituale e sociale) ma anche sul piano economico (in termini lavorativi e di costi per la sanità pubblica) (Casolo F., 2020). A tal proposito, l'inattività fisica risulta essere tra i primi cinque posti relativamente ai principali fattori di rischio per la salute e è correlata alla comparsa di malattie croniche non trasmissibili che sono, a loro volta, una delle principali cause di morte (Casolo F., 2020). Una systematic review and harmonised meta-analysis, relativa alle associazioni dose-risposta tra i parametri attività fisica e tempo di sedentarietà (misurati con accelerometro) e tutte le cause di mortalità, ha osservato come livelli più elevati di attività fisica totale, a qualsiasi intensità, e meno tempo trascorso in sedentarietà, sono associati a un rischio sostanzialmente ridotto di mortalità prematura, con evidenza di un modello dose-risposta non lineare negli adulti di mezza età e negli anziani (Ekelund et al, 2019).

A partire dagli anni '60 del secolo scorso, diverse associazioni ed istituzioni nazionali e internazionali hanno iniziato a stilare e divulgare alcune Linee Guida per la salute in correlazione all'attività fisica e al movimento, tutt'ora in fase di evoluzione e miglioramento a seguito delle continue e numerose ricerche in questo ambito.

Una tra queste, l'Organizzazione Mondiale della Sanità, raccomanda, come attività fisica di base, la pratica di esercizi di tipo aerobico o di endurance, protratti nel tempo ad intensità moderata con lo scopo di migliorare la fitness cardiorespiratoria; a questa attività dovrebbe abbinarsi la pratica di esercizi di forza contro resistenza per 2-3 volte alla settimana, coinvolgendo tutti i principali gruppi muscolari con lo scopo di migliorare la fitness muscolare.

L'OMS ha aggiornato le sue linee guida nel 2020; queste sono divulgate e promosse dalle nazioni per sensibilizzare i cittadini sull'importanza del

movimento e delle pratiche di uno stile di vita sano. Per abbattere i livelli ancora alti di sedentarietà, l'OMS ha previsto delle raccomandazioni per ogni fascia d'età sintetizzate qui di seguito, relative alle buone abitudini e, in particolare, ai livelli di attività fisica indispensabili da inserire nella propria quotidianità:

- **Per infanzia e adolescenza (5-17 anni):** almeno 60'/day di attività fisica di intensità da moderata a vigorosa prevalentemente di carattere aerobico. Inoltre, dovrebbero essere inclusi anche esercizi di forza e potenza, per un maggior sollecitamento muscolare, di intensità vigorosa almeno 3 volte a settimana.
- **Per l'età adulta (18-64 anni):** almeno 150'/week di attività aerobica di intensità moderata o 75'/week attività fisica vigorosa (o combinazioni equivalenti delle due, in quanto gli esercizi moderati e vigorosi sono interscambiabili tra loro in proporzione inversa alla durata dell'esercizio). Inoltre, dovrebbero essere inclusi esercizi di rinforzo muscolare almeno due volte alla settimana per tutti i maggiori gruppi muscolari.
- **Per l'età anziana (>65 anni):** valgono le stesse indicazioni degli adulti per quanto riguarda il volume di lavoro aerobico e di rinforzo muscolare. Inoltre, come parte della propria routine settimanale, includere almeno 3 volte a settimana attività funzionali, attività per migliorare l'equilibrio e per la forza di intensità moderata o elevata con l'obiettivo di prevenire le cadute e di valorizzare le capacità funzionali.

L'inattività fisica, date le numerose complicanze alla salute che può comportare, spesso viene identificata in termini tecnici come “malattia ipocinetica”, ovvero quella “situazione di scarsa quantità di movimento che provoca una efficienza limitata di tutti gli organi, apparati o tessuti preposti al movimento umano”.

Tenendo in considerazione il fatto che l'attività fisica è definita come un “qualsiasi movimento corporeo prodotto dal muscolo scheletrico che richiede un dispendio energetico superiore a quello di riposo”, si ritiene necessario svolgere durante il giorno un volume di movimento tale da reclutare a sufficienza tutti i muscoli e con un'intensità tale da sollecitarli più della loro condizione di riposo in

modo tale da avere almeno un bilancio energetico quotidiano (o in media) nullo. È risaputo, infatti, che tutte le forme di attività fisica possono fornire benefici per la salute (sotto tutti i punti di vista) se intraprese, per l'appunto, in volume e con durata e intensità sufficienti a mantenere o, meglio, migliorare una o più componenti della fitness fisica: fitness cardiorespiratoria, fitness muscolare, composizione corporea, flessibilità e aspetti neuromotori.

2. MODELLI DI STUDIO DELL'INATTIVITA'

In ambito della ricerca esistono diversi modelli di studio relativi al disuso dell'organismo umano. Dato che il progetto a cui ho partecipato va ad indagare gli effetti che uno di questi ha sull'apparato locomotore umano (modello dello Step Reduction), ritengo sia importante presentare questo modello nel panorama dello studio dell'inattività fisica, affiancandolo agli altri due principali modelli di studio del disuso e facendo un piccolo confronto tra questi:

2.1 BED REST:

Il "bed rest", detto anche "rest-cure", è un trattamento medico in cui una persona rimane a letto per la maggior parte del tempo per cercare di curare o di riprendersi da una malattia. In ambito della ricerca è una pratica che consiste nell'allettare un soggetto per un determinato periodo di tempo (simulando alcune situazioni che possono capitare nel contesto ospedaliero) per valutare gli adattamenti dell'organismo all'inattività fisica completa.

Un allettamento prolungato può complicare la condizione di salute dei soggetti, provocando alterazioni metaboliche e deficit a tutti gli organi e apparati, in particolare a quello locomotore.

I principali effetti sul muscolo riguardano la perdita di massa, forza e resistenza muscolare (Dittmer, 1993).

2.2 UNILATERAL LOWER LIMB SUSPENSION (ULLS):

L'ULLS è stato sviluppato, introdotto e convalidato nella ricerca per studiare le conseguenze del volo spaziale sulla dimensione e sui parametri funzionali muscolari. Risulta essere un metodo efficace in quanto, in breve tempo (2-3 gg), riesce a innescare disturbi al metabolismo proteico dei muscoli posturali simili a quelli osservati in assenza di gravità. Con questo modello di studio, gli adattamenti coinvolgono solo l'arto sospeso quindi risulta essere meno impattante sulle condizioni di salute generali del soggetto.

2.3 STEP REDUCTION (SR):

Nel contesto dell'inattività fisica, vi è un crescente interesse per gli studi longitudinali che valutano l'impatto dell'ipocinesia sui diversi sistemi fisiologici. Lo Step Reduction rappresenta un modello sperimentale che comporta un'improvvisa diminuzione dei passi quotidiani abituali dei partecipanti a un livello inferiore, imitando quelli che sono gli effetti di uno stile di vita sedentario sull'organismo umano. Attualmente, le evidenze empiriche ottenute dimostrano come anche brevi periodi di ridotta attività fisica possono portare ad alterazioni sostanziali della salute del muscolo scheletrico e della funzione metabolica ma pochi sono stati gli studi condotti su soggetti giovani. Nel contesto della mia tesi si andrà ad analizzare nello specifico quelli che sono gli adattamenti delle funzionalità muscolari.

2.4 MODELLI A CONFRONTO:

Sulla base dei dati forniti dalla letteratura presente in questo contesto è chiaro e accertato il fatto che il muscolo subisce delle modifiche in seguito all'alterazione della sua funzione e del suo utilizzo (vedi plasticità muscolare, cap successivo); infatti, quasi tutti gli esperimenti condotti per ciascuna tipologia di intervento hanno riportato adattamenti a livello metabolico e tissutale di tutti gli organi e apparati (in particolare a livello muscolare), anche se di entità differenti. Volendoci concentrare in particolare sul tessuto muscolare, possiamo affermare che viene a ridursi la massa, la capacità di generare tensione, la resistenza e la fitness muscolare mentre viene ad aumentare la resistenza insulinica e lo stato infiammatorio di questo tessuto. In particolare:

	Δ MVC (contrazione isometrica)	Δ Massa Magra	Δ Sensibilità Insulinica (Matsuda Index)
Bed Rest	-13%	-8,5%	-19,8%
ULLS	-14%	Da -5,6 a -8,4% (CSA)	
Step Reduction	Da +2,8% a -7,1% *	~ -2,1%	Da -17,6 a -22%

Tabella 1: dati forniti dall'articolo Acta Physiologica (Sarto F, 2023), che considera vari studi fatti su soggetti adulti e anziani relativamente a questi protocolli di disuso.

*i risultati delle variazioni di MVC con protocolli di SR sono meno costanti rispetto a quelli relativi agli altri modelli di studio (forse per le differenti risposte organiche soggettive a interventi di breve durata); per questo motivo, tali risultati, hanno poca significatività.

Osservando questi dati si può intuire come anche protocolli di SR portino a adattamenti negativi del muscolo, in particolare:

- Modifica la MVC in valori assoluti minori rispetto agli altri protocolli anche se, come accennato, i dati forniti per questo parametro sono notevolmente variabili.
- Riduce la quantità di massa magra muscolare degli arti inferiori anche se in valori assoluti minori rispetto agli altri protocolli.
- Riduce notevolmente la sensibilità insulinica muscolare a livello locale in valori che possono essere paragonati a quelli del Bed Rest.

Alla luce di ciò, risulta essere evidente come anche un protocollo di riduzione dell'attività fisica giornaliera di breve durata (che vuole studiare la sedentarietà) abbia effetti negativi ma in valori assoluti ridotti rispetto a protocolli più drastici di completa sospensione dell'attività fisica. Risulta importante evidenziare come, d'altra parte, una vita sedentaria possa avere degli effetti negativi importanti dal punto di vista metabolico tanto da aumentare la resistenza insulinica a livelli sovrapponibili a condizioni di completa inattività.

3. IL MUSCOLO SCHELETRICO E L'INATTIVITA' FISICA

Dovendo, in questa tesi, studiare gli adattamenti del muscolo in seguito ad un intervento di SR, risulta essere importante presentare il soggetto principe della ricerca ovvero il tessuto muscolare, riportandone alcune caratteristiche fondamentali utili per lo scopo.

3.1 STRUTTURA DEL MUSCOLO:

Con questo paragrafo, andiamo a ricordare alcune caratteristiche del tessuto muscolare che possono tornarci utili nel comprendere come gli elementi che lo compongono e la loro disposizione strutturale possano concorrere allo svolgimento della funzione preposta.

3.1.1 GERARCHIA MUSCOLARE:

Il muscolo scheletrico è costituito da un insieme di elementi organizzati secondo una struttura gerarchica a cui appartengono: tessuto muscolare (miociti), tessuto connettivo, tessuto nervoso e vasi sanguigni.

Per quanto riguarda la gerarchia macroscopica, partendo dall'esterno, ogni muscolo è avvolto da un involucro connettivale chiamato epimisio che termina superficialmente nella fascia, struttura che separa i muscoli adiacenti. Ogni muscolo è costituito da molteplici fascicoli muscolari, ciascuno dei quali è costituito da molteplici fibre muscolari. L'epimisio continua in profondità con ramificazioni che creano dei compartimenti in cui risiedono i vari fascicoli; il foglio connettivale che li avvolge prende il nome di perimisio. Il perimisio decorre a sua volta in profondità con ramificazioni che creano dei compartimenti in cui risiedono le singole fibre muscolari; il foglio connettivale che le avvolge prende il nome di endomisio.

Per quanto riguarda la gerarchia microscopica, parliamo di Ultrastruttura delle fibre muscolari intendendo la particolare organizzazione degli organuli e macromolecole che definiscono la loro struttura intracellulare. La membrana plasmatica di una fibra muscolare è denominata sarcolemma e il citoplasma

sarcoplasma. Nel sarcoplasma sono localizzati molteplici fasci di lunghe proteine dette miofibrille, assieme a mitocondri, reticolo sarcoplasmatico, vasi sanguigni e mionuclei. Ogni miofibrilla è composta da microfilamenti paralleli di proteine, chiamati miofilamenti, distinti in miofilamenti spessi (costituiti da molecole di miosina) e miofilamenti sottili (costituiti da molecole di actina) e filamenti elastici di titina che stabilizzano i filamenti spessi e hanno un ruolo nei cicli contrazione-decontrazione. I due miofilamenti sono definiti filamenti contrattili perché determinano l'accorciamento delle fibre muscolari (e di conseguenza dell'intero muscolo) nel ciclo dei Ponti Trasversali. L'unità funzionale delle fibre è il sarcomero, un segmento di miofilamento compreso tra due dischi Z che rappresenta una struttura di ancoraggio per le catene proteiche.

STRUTTURA GERARCHICA DI UN MUSCOLO

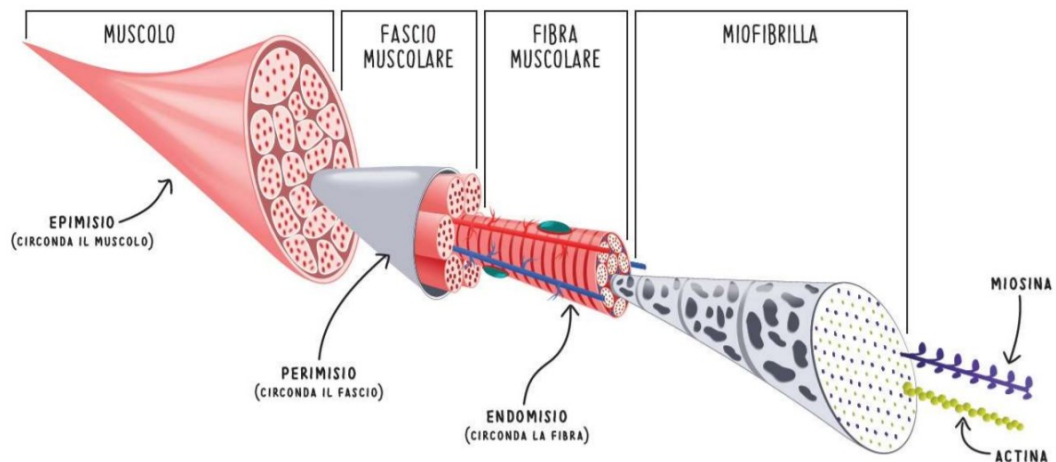


Figura 1: Struttura gerarchica del muscolo scheletrico.

Fonte: <https://www.docenti.unina.it/webdocenti-be/allegati/materiale-didattico/34188954>

3.1.2 UNITÀ MOTORIA:

L'Unità Motoria (UM) è l'unità neuromuscolare che rende possibile il movimento dalla sua elaborazione alla sua esecuzione. È costituita da un motoneurone α che trae sinapsi con molteplici fibre muscolari e ne comanda il funzionamento. Ogni UM comprende tipologie di fibra omogenee quindi un motoneurone innerva solo un determinato tipo di fibra, che contraddistingue, quindi, anche le UM. Le UM hanno dimensioni diverse in relazione al numero

di fibre che comprendono; distinguiamo UM grandi con molte fibre deputate all'esecuzione di movimenti caratterizzati da livelli di precisione ridotti e livelli prestativi (soprattutto in termini di forza) elevati e UM piccole con poche fibre deputate all'esecuzione di movimenti caratterizzati da livelli di precisione elevati e livelli prestativi ridotti. In un muscolo, le fibre sono comandate da diversi motoneuroni quindi i livelli prestativi dipendono anche dalla capacità del Sistema Nervoso di coordinare le UM.

Il reclutamento delle diverse UM segue il principio di Henneman il quale afferma che il reclutamento delle unità motorie è ordinato e dipende dalla grandezza delle UM: durante un esercizio di intensità crescente vengono reclutate prima le UM lente e resistenti alla fatica, poi le UM rapide e mediamente affaticabili e, infine (e solo per breve tempo), le UM rapide e molto affaticabili. In particolare, all'aumentare della frequenza di scarica dei PdA, vengono ad essere reclutate via via sempre più UM, partendo dalle più piccole fino ad arrivare alle più grandi. Il numero complessivo di UM reclutate, quindi, aumenta nel tempo e di conseguenza il numero di fibre reclutate sarà maggiore, consentendo un aumento dei livelli di forza generata per sommazione.

3.1.3 TIPOLOGIA DI FIBRE – CLASSIFICAZIONE FUNZIONALE:

Esistono tre tipologie di fibre muscolari che caratterizzano le altrettante UM:

- **Fibre Slow:** chiamate di tipo I, sono di piccole dimensioni, a contrazione lenta, resistenti alla fatica grazie alla dominanza del metabolismo aerobico (concesso per l'abbondanza di mitocondri e mioglobina con ridotte scorte di glicogeno) ma, per contro, riescono a sviluppare bassi livelli di forza;
- **Fibre Fast Resistant:** chiamate di tipo II-A, sono di dimensioni e prestazioni intermedie;
- **Fibre Fast Fatigable:** chiamate di tipo II-X, sono di grandi dimensioni con abbondanti scorte di glicogeno, a contrazione rapida, facilmente affaticabili a causa della dominanza del metabolismo anaerobico che permette di sviluppare alti livelli di forza e potenza per tempi molto brevi.

Ogni muscolo possiede un diverso pool di fibre, determinato per la maggior parte dalla genetica (anche in relazione alla funzione del muscolo): le fibre rosse di tipo I caratterizzano i muscoli posturali mentre le fibre bianche di tipo II caratterizzano i muscoli deputati al movimento. Oltre alla genetica, anche la tipologia di attività quotidiana svolta e i livelli di allenamento dei soggetti incide sulla proporzione reciproca dei due tipi di fibra.

3.2 PARAMETRI FUNZIONALI DEL MUSCOLO:

Tra questi analizziamo, in particolare, le tre capacità condizionali:

FORZA: in ambito cinesiologico e biomeccanico, la forza è la capacità del muscolo di generare una tensione tale da vincere, sostenere o resistere un carico esterno.

In fisica, secondo la seconda legge di Newton, la forza è uguale al prodotto tra la massa di un corpo e la sua accelerazione. Sapendo che l'accelerazione è uguale alla variazione di velocità di un corpo in un determinato intervallo di tempo, è evidente come il concetto di Forza sia correlato ai concetti di massa, accelerazione, velocità, spazio e tempo.

La Forza è un parametro funzionale del muscolo che dipende da molteplici fattori:

- Quantità di sarcomeri in parallelo e quindi dalla sezione trasversa del muscolo (CSA);
- Pool di Unità Motorie;
- Velocità di movimento (Figura 2): i parametri Forza e Velocità sono strettamente legati (con un rapporto di proporzionalità inversa) e controllati in modo fine dal sistema nervoso centrale che opera sulle UM in maniera organizzata e coordinata per gestire tali parametri.

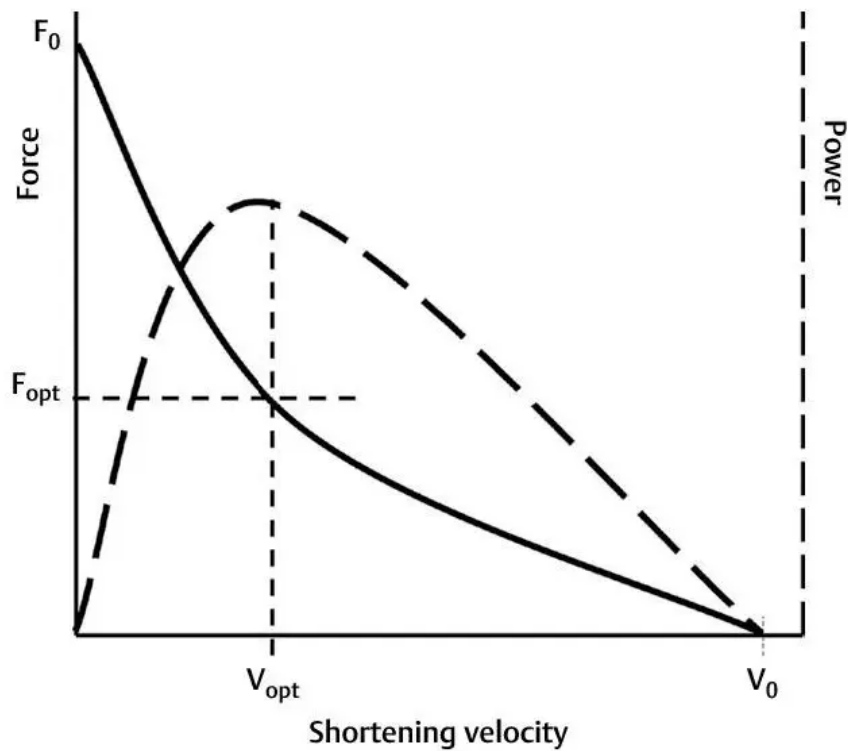


Figura 2: Grafico Forza-Velocità-Potenza.
 Fonte: <https://www.scienzemotorie.com/velocity-based-training/>

- Il ROM di movimento che, incidendo sulla lunghezza delle fibre, incide indirettamente sulla capacità di generare tensione secondo le leggi muscolari di Starling (che afferma “la forza contrattile di un muscolo è direttamente proporzionale alla lunghezza delle sue fibre all’inizio della contrazione”) (Figura 3) e di Schwann (che afferma “la forza assoluta di un muscolo diminuisce man mano che esso si accorcia contraendosi, come i corpi elastici”). Il ROM, inoltre, incide sul braccio di leva che può rendere più o meno svantaggioso il movimento e richiedere più o meno forza per vincere la resistenza;

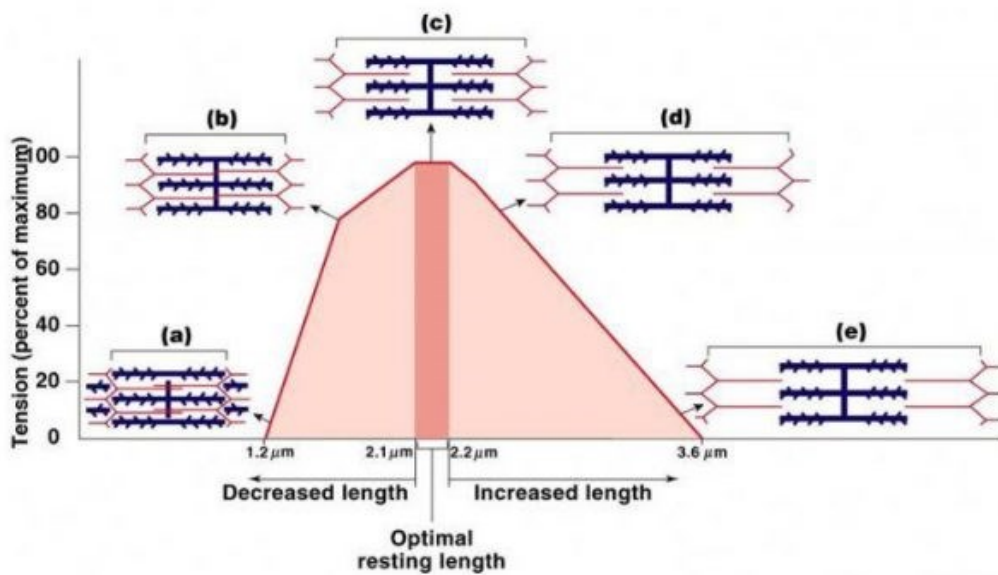


Figura 3: Grafico Forza-Lunghezza.
 Fonte: <https://www.lascienzainpalestra.it/la-forza-muscolare/>

- Frequenza di impulso dei motoneuroni sulle fibre: questa incide direttamente sui livelli di forza generati ma anche, secondo il principio di Henneman, sulla quantità di UM reclutate (Figura 4).

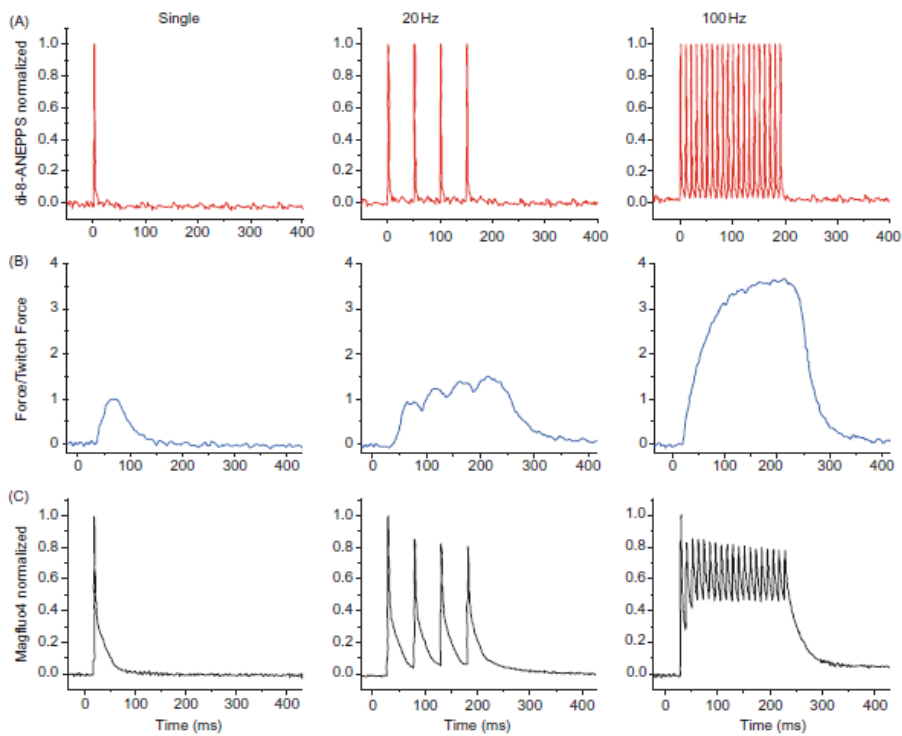


Figura 4: Grafici che mettono in relazione la Frequenza dei PDA (in rosso), la Forza muscolare generata (in blu) e la concentrazione intracellulare di ioni Calcio (in nero). Fonte: slides prof. Narici M.

- Aspetti coordinativi come la sincronizzazione delle unità motorie (coordinazione intramuscolare) e dei diversi muscoli (coordinazione intermuscolare);
- Fatica;

In questa tesi, la forza è uno dei parametri funzionali analizzati e valutati attraverso l'MVC in contrazioni isometriche del quadricipite con dinamometro e cella di carico.

VELOCITA': in fisica indica la variazione di posizione di un corpo in un intervallo di tempo. In riferimento al corpo umano possiamo parlare di velocità di spostamento del corpo nello spazio e di velocità di contrazione muscolare (ovvero la variazione di lunghezza delle fibre nell'unità di tempo).

Distinguiamo velocità di tipo angolare [rad/s], in riferimento ai movimenti dei segmenti attorno ad un fulcro (che è l'articolazione) o all'intero corpo ancorato ad un vincolo con un'estremità, e velocità di tipo lineare [m/s] dell'intero corpo (come per la corsa) o dei segmenti (in questo caso si può conoscere la velocità lineare di un punto qualsiasi di un arto conoscendo la sua velocità angolare e la distanza del punto dal fulcro).

A livello fisiologico, la velocità di contrazione del muscolo dipende da fattori strutturali/anatomici e da fattori nervosi.

Per quanto riguarda i fattori nervosi, ricordiamo che, incidono sulla velocità di contrazione l'efficienza e l'efficacia dei sistemi di percezione, elaborazione delle percezioni e del programma motorio da eseguire a livello centrale e delle vie efferenti.

Per quanto riguarda i fattori strutturali, ricordiamo che, la velocità di contrazione dipende dal numero di sarcomeri posti in serie lungo la fibra e in modo proporzionale dalla percentuale di UM veloci a contrazione rapida composte da fibre bianche. Inoltre, l'azione veloce è favorita dalla componente elastica del muscolo in quanto facilita i processi di contrazione-rilasciamento permettendo un'alta frequenza di contrazioni.

In questa tesi, per quanto riguarda il parametro velocità, è stato valutato il Time To Pick che corrisponde al tempo impiegato dalle fibre per generare il massimo livello di tensione.

RESISTENZA: la Resistenza è definita come la capacità organica di protrarre un'attività motoria nel tempo. Grazie a questa capacità, l'organismo è in grado di mantenere nel tempo il rendimento, la prestazione in ambito agonistico, relativo ad una qualsiasi attività fisica ritardando l'insorgere della fatica. Il concetto di resistenza è molto legato alle capacità (in termini di riserve) dei vari meccanismi energetici che forniscono l'energia necessaria a compiere le attività fisiche. Dato che la resistenza comporta il mantenimento della performance più a lungo possibile nel tempo, è chiaro come il meccanismo aerobico abbia un ruolo predominante e per questo motivo la valutazione del Massimo Consumo d'Ossigeno (VO₂max) risulta essere il gold standard per la determinazione di questa capacità (è da affermare, però, che il concetto di resistenza può essere applicato anche a sforzi brevi ma intensi ripetuti nel tempo relativamente alla resistenza alla forza). In questo progetto, il parametro VO₂max è stato misurato dal team dell'università di Udine con test diretti di sforzo massimale su cicloergometro.

Come accennato, in correlazione al parametro resistenza vi è il concetto di fatica, un fattore che incide notevolmente sulla performance. Consiste nella riduzione della capacità di sviluppare forza o potenza con la ripetizione di un esercizio nel tempo ed è strettamente legata alle riserve energetiche, di ioni e liquidi. Possiamo distinguere la fatica centrale/nervosa e quella periferica degli altri organi e apparati, in particolare di quello muscolare che rappresenta un tipo di tessuto molto dispendioso dal punto di vista energetico. La fatica muscolare è dovuta alla mancanza di ATP, accumulo di sottoprodotti dell'ATP, accumulo di lattato e acidificazione, accumulo di radicali liberi (ROS). A tal riguardo, l'attività fisica, oltre a portare benefici generici ai vari organismi e apparati, favorisce anche i processi metabolici di risintesi delle fonti energetiche e di smaltimento delle molecole dannose come i radicali liberi e i residui dei processi metabolici come il lattato, promuovendo l'efficacia, l'efficienza e la salute dell'organismo; d'altra

parte, si può dire che la ridotta attività fisica e stili di vita sedentari portano a peggioramenti di questi meccanismi.

3.3 TIPOLOGIE DI CONTRAZIONE MUSCOLARE:

Il muscolo è un tessuto che, quando stimolato da un impulso elettrico, risponde in maniera meccanica andando a generare una tensione mediante la contrazione delle sue fibre. Si possono distinguere alcune tipologie di contrazione che possono essere suddivise in contrazioni statiche e dinamiche:

- **CONTRAZIONI STATICHE O ISOMETRICHE:** caratterizzate dallo sviluppo di tensione da parte delle fibre che si contraggono senza che ci sia movimento da parte dei segmenti corporei. Nelle contrazioni statiche la forza generata dipende dalla resistenza a cui ci si deve opporre mentre nelle contrazioni isometriche la resistenza è inamovibile quindi la forza espressa dipende dalla volontà del soggetto e può non essere massima. Le contrazioni isometriche, in particolare, sono utilizzate nei laboratori di ricerca come tecnica per la misurazione della forza muscolare in funzione del tempo.
- **CONTRAZIONI DINAMICHE:** caratterizzate dallo sviluppo di tensione da parte delle fibre che si contraggono portando ad una variazione della lunghezza di tutte le componenti tissutali elastiche portando ad un movimento dei capi articolari sull'articolazione di riferimento. È da precisare, inoltre, che la tensione sviluppata varia durante il movimento e non è uniforme per tutto il ROM (eccetto per le contrazioni isocinetiche, rese possibili solo con determinate apparecchiature). Tra le contrazioni dinamiche distinguiamo le contrazioni concentriche, con un effettivo accorciamento delle fibre e avvicinamento reciproco dei capi articolari, e le contrazioni eccentriche, con un una contrazione delle fibre "in frenata" e una forzata distensione delle fibre dovuta al movimento che tende ad allontanare i capi articolari.

Il grafico di Hill mette in relazione i parametri funzionali Forza e Velocità permettendo di confrontare, in termini prestazionali, le tre tipologie di contrazione:

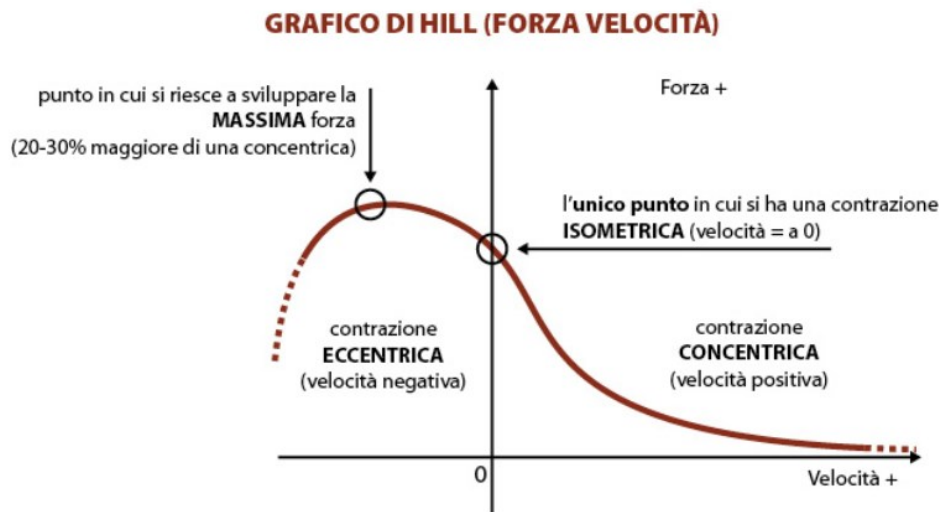


Figura 5: Grafico di Hill (relazione Forza-Velocità nelle contrazioni muscolari).
Fonte: <https://www.fjf.it/fitness-news/item/158-lento-veloce.html>

Risulta evidente come i massimi livelli di forza sono generati nelle contrazioni eccentriche: questo perché la tensione totale generata dai tessuti, in opposizione al movimento che tende ad allontanare i capi articolari, è data dalla somma della tensione delle fibre muscolari e delle tensioni degli altri tessuti elastici quali tendini e fasce connettivali.

La massima tensione generata, invece, solo dalle fibre muscolari si ottiene con contrazioni isometriche a velocità nulla. Per questo motivo tali tipologie di contrazione, eseguite ad intensità massimali, risultano essere ottimali da eseguire in test funzionali nell'ambito della ricerca in quanto si riesce a valutare la vera potenzialità del muscolo attraverso il calcolo dell'MVC.

3.4 PLASTICITA' MUSCOLARE:

La plasticità muscolare è una delle caratteristiche del tessuto muscolare che permette modifiche strutturali e funzionali così da far adattare il muscolo alle esigenze e mantenere la massima efficienza. Questa proprietà del muscolo può essere descritta molto semplicemente dalla relazione Forma-Funzione. Basti pensare alle numerose differenziazioni dal punto di vista anatomico (muscoli fusiformi, pennati, fusiformi, circolari ecc..) e funzionale (muscoli scheletrici striati, enterici lisci e cardiaco, posturale/ non posturale ecc...); ciò rispecchia una legge universale degli organismi viventi che è quella del risparmio: nel nostro caso, se il tessuto muscolare (molto dispendioso da mantenere dal punto di vista energetico) non serve, esso verrà ridotto. Questo concetto è spiegato dalla legge della plasticità muscolare di Borelli e Weber Fick che afferma:” la lunghezza delle fibre è proporzionale all'accorciamento ottenuto dalla loro contrazione, e questo accorciamento è circa uguale alla metà della lunghezza delle fibre”. Da questa legge si deduce che, se un muscolo lavora con un ROM incompleto, vi sarà una riduzione della porzione contrattile a favore di quella tendinea.

Se da un lato è ormai noto che l'allenamento porti a adattamenti positivi degli organi e apparati (e, in particolare, a modifiche strutturali e funzionali a livello muscolare) perché vengono ad aumentare le richieste prestazionali (Franchi, 2017) (Seynnes, 2007).

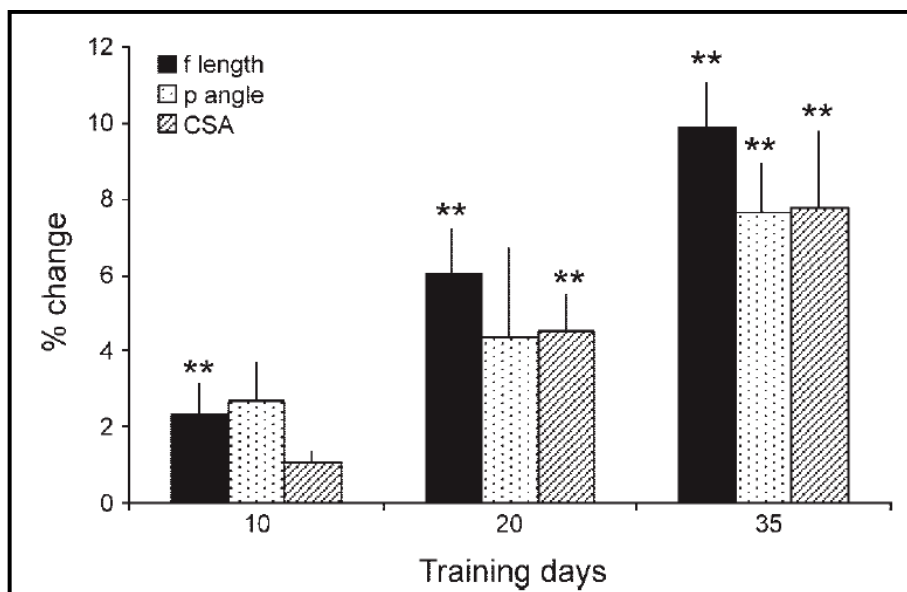


Grafico 1: Changes in VL fibre length, pennation angle & CSA during 35-day RT (Seynnes et al. J Physiol 583, 2007)

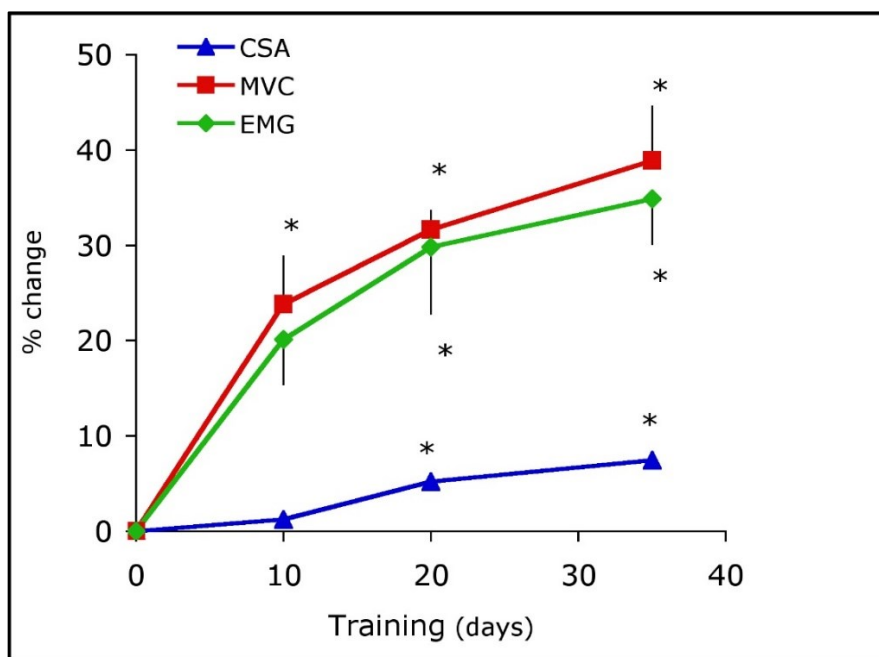


Grafico 2: Changes in MVC, CSA, & EMG (Narici M. et al.)

è altrettanto verificato come l'inattività porti a adattamenti negativi degli stessi organi e apparati in quanto vengono a ridursi le richieste prestazionali; nel nostro contesto, l'adattamento negativo di maggior interesse riguarda il muscolo, relativamente alla sua anatomia e ai suoi parametri funzionali.

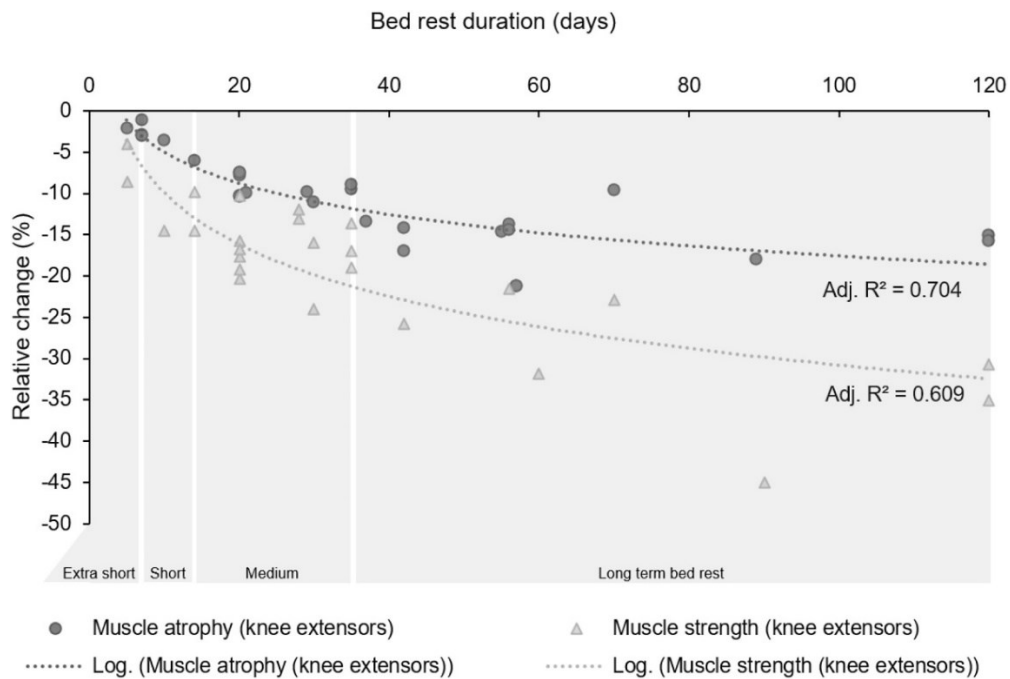


Grafico 3: adattamenti muscolari in seguito a bed rest (Marusic, U., Narici, M., Simunic, B., Pisot, R., & Ritzmann, R., 2021)

3.5 ADATTAMENTI DEL MUSCOLO ALL'INATTIVITA' - ATROFIA:

Uno dei principali adattamenti negativi del muscolo, in seguito alla riduzione/sospensione dell'attività fisica quotidiana, è l'atrofia; questa è una condizione fisiologica che è causata, appunto, dal disuso o dalla riduzione delle sollecitazioni meccaniche a carico dell'apparato locomotore. Questa condizione porta a modificazioni neuronali (degenerazione delle placche motrici e denervazione) e anatomiche (diminuzione della massa muscolare e rimodellamento dell'architettura, con riduzione dell'angolo di pennazione, causata dalla perdita di sarcomeri in serie e in parallelo, decondizionamento dei tendini) del muscolo con ripercussioni sui suoi parametri funzionali e quindi prestazionali, come forza e potenza (Narici M., 2016) (Franchi, 2017).

Il rimodellamento muscolare comporta, di conseguenza, una modifica dell'andamento delle curve dei grafici che descrivono i comportamenti muscolari.

In particolare:

Nel grafico FORZA-LUNGHEZZA vi sarà una diminuzione della lunghezza ottimale per il quale il muscolo sviluppa la massima forza e una riduzione della forza massima in corrispondenza della lunghezza ottimale in contrazione.

Nel grafico FORZA-VELOCITA' vi sarà una diminuzione, in termini assoluti, di velocità di contrazione (dovuta alla riduzione del numero di sarcomeri in serie) e una diminuzione dei livelli di forza a parità di velocità di contrazione (dovuta alla riduzione del numero di sarcomeri in parallelo).

L'atrofia muscolare si sviluppa molto rapidamente. I dati relativi a protocolli Bed Rest breve (3-14 giorni), medio (15-35 giorni) e a lungo termine (36-120 giorni) indicano che l'atrofia muscolare è del 2-5% dopo 3-10 giorni di riposo a letto e ~ 10% dopo 7 giorni e procede con un andamento logaritmico, determinando una perdita delle dimensioni del muscolo quadricipite di circa il 30% dopo 90-120 giorni (Marusic et al., 2021). La perdita di forza muscolare associata è ancora più evidente in quanto è quasi doppia rispetto a quella della dimensione muscolare (Marusic et al., 2021).

L'atrofia risulta quindi essere, assieme agli effetti che ne derivano, il principale focus di questo progetto in quanto rappresenta il principale adattamento dell'organismo in seguito ad una conduzione di vita sedentaria.

4. SCOPO DELLA TESI

L'obiettivo di questo progetto consiste nel valutare eventuali adattamenti metabolici, strutturali e funzionali del muscolo (valutati mediante il confronto tra misurazioni eseguite con vari test specifici eseguiti prima e dopo il protocollo di intervento sui soggetti) pervenuti in seguito ad una riduzione notevole dell'attività fisica quotidiana attraverso la somministrazione di un intervento di Step Reduction. Nello specifico, la mia tesi si concentrerà sull'analisi degli adattamenti funzionali del tessuto muscolare. Queste analisi hanno lo scopo di aumentare il pool di dati già presenti in letteratura nell'ambito di studio dell'inattività fisica e, in particolare, avere maggiori informazioni per quanto riguarda la fascia d'età dei cosiddetti young adults che, invece, sono ancora ridotte. Tutto questo per comprendere meglio quelli che sono gli effetti sull'organismo di uno stile di vita sedentario dato che questo risulta appartenere ad una fetta della popolazione notevole e che comprende soggetti di tutte le fasce di età.

5. MATERIALI E METODI

5.1 SOGGETTI DELLO STUDIO:

Per questo studio sono stati reclutati 10 soggetti di entrambi i sessi (con un rapporto approssimabile a 1:1) mentre altri soggetti sono in lista di attesa per essere valutati in futuro per questioni logistiche e di disponibilità. Tutti i soggetti inclusi erano moderatamente attivi (con un livello di attività fisica quotidiana stimata maggiore di 8000 steps/day) di età compresa tra i 18 e 35 anni.

Nella fase di scelta dei partecipanti, il team di ricerca ha cercato di effettuare delle scelte in modo tale da standardizzare il più possibile e avere un campione il più uniforme e simile possibile: sono state valutate le attività svolte nella vita quotidiana, eventuali malattie/patologie o qualsiasi tipo di infortuni in particolare agli arti inferiori, eventuali assunzioni di medicinali, eventuali problematiche nell'esecuzione dei test di valutazione previsti tra cui alcuni tipi di prelievi.

5.2 DISEGNO SPERIMENTALE:

Questo progetto era suddiviso in diverse fasi: una prima fase di familiarizzazione e valutazione dell'attività fisica giornaliera per poter fare una scrematura iniziale e poter poi scegliere i candidati più adatti, una seconda fase di valutazione dei soggetti reclutati con i test di laboratorio pre-intervento, una terza fase in cui il soggetto applicava l'intervento di Step Reduction e un'ultima fase di rivalutazione dei soggetti post-intervento con i medesimi test di laboratorio.

Fase I – FAMILIARIZZAZIONE: In questa fase si sono organizzati dei brevi colloqui con i soggetti che si sono resi disponibili a partecipare a questo progetto per avere tutte le informazioni necessarie ai fini del reclutamento. In particolare, è stato chiarito fin da subito che i soggetti avrebbero dovuto essere discretamente attivi nella quotidianità (con livelli accettati da 8000-10000 steps/day o maggiori) in modo tale che il protocollo di inattività andasse ad incidere notevolmente su quei livelli di attività per poter avere un impatto significativo. Inoltre, è stato di fondamentale importanza assicurarsi che i soggetti non avessero malattie/patologie o infortuni tali da compromettere la loro salute o alterare i risultati dei test e che non fossero suscettibili ai prelievi sanguigni e di tessuto

muscolare (attraverso biopsia muscolare). Se non vi fossero stati immediati motivi di esclusione, sarebbero stati affidati ai soggetti un accelerometro (applicato su una gamba) e un contapassi (che aveva lo scopo di fornire informazioni ulteriori per verificare il corretto funzionamento dell'accelerometro ed avere così una stima più precisa dei passi giornalieri). A questo punto i soggetti avrebbero dovuto trascorrere una normale settimana con questi strumenti rispettando la loro routine abitudinaria, compilando in parallelo anche un diario alimentare dettagliato; al termine di questo periodo, si stabiliva se il soggetto potesse avere una routine che rispecchiasse i criteri di inclusione o meno. Una volta scelti i dieci soggetti, sono state organizzate delle sedute di familiarizzazione, con lo staff e noi tesisti, durante le quali venivano mostrate le attrezzature che sarebbero state utilizzate, rispiegate le modalità di attuazione dei test e dell'intervento di Step Reduction e eseguite delle prove dei test funzionali in modo tale da assicurare per tutti un minimo di dimestichezza e praticità con l'attrezzatura e il compito da eseguire.

Fase II – TEST PRE: I soggetti sono stati valutati attraverso ecografia muscolare sulla coscia dx, prelievo sanguigno, biopsia muscolare sulla coscia sx (in quanto avrebbe potuto compromettere i risultati dei test funzionali se eseguita sull'arto che avrebbe dovuto effettuare contrazioni ripetute, anche massimali, sulla cella di carico) e test funzionali di massima contrazione muscolare e test neuromuscolari con contrazioni submassimali su gamba dx mediante l'utilizzo di un dinamometro e dell'elettromiografia di superficie (EMG ad alta densità); nelle contrazioni submassimali, inoltre, è stata registrata anche l'attività elettrica muscolare attraverso elettromiografia intramuscolare (EMG con l'ago) in corrispondenza del punto motore, ovvero quella piccola regione anatomica in cui vi è una maggiore concentrazione di UM, in modo da avere dei segnali più precisi dato il numero di pda registrati. Tutte le rilevazioni sono state effettuate sul vasto laterale del quadricipite femorale perché rappresenta il muscolo della coscia più grande, meno vascolarizzato e molto plastico, capace cioè di adattarsi molto rapidamente.

Successivamente sono state valutate dal team di Udine le capacità metaboliche del soggetto attraverso un test da sforzo massimale diretto su cicloergometro con maschera e bombole per valutare in maniera diretta gli scambi gassosi.

Fase III – STEP REDUCTION: Una volta eseguiti tutti i test, ai soggetti è stato applicato l'accelerometro sulla porzione laterale della coscia, dopo essere stato inserito in un involucro di lattice e avvolto con un cerotto adesivo in modo tale da renderlo impermeabile. Assieme all'accelerometro, è stato consegnato ai soggetti anche un contapassi da attaccare ai pantaloni per avere un riscontro ulteriore relativamente alla registrazione dei passi giornalieri. I soggetti avrebbero dovuto trascorrere 14gg, con questi due apparecchi sempre in funzione, riducendo la loro attività fisica giornaliera a 1500 steps/day rinunciando a fare qualsiasi altro tipo di attività fisica ,anche statica, per simulare al meglio uno stile di vita sedentario (era comunque consentito uscire di casa a patto che i loro spostamenti non richiedessero una sollecitazione degli arti inferiori; ad esempio sono stati concessi gli spostamenti in monopattino elettrico e mezzi pubblici, in macchina o motorino). Oltre a modificare l'attività fisica quotidiana, ai soggetti è stato richiesto di non modificare la loro routine, stile di vita e alimentazione durante l'intervento di Step Reduction in modo tale da evitare che eventuali modificazioni dei parametri valutati coi test di laboratorio potessero essere attribuibili ad una causa che non fosse lo Step Reduction.

Fase IV – TEST POST: Una volta concluso il periodo relativo allo Step Reduction, i soggetti sono stati rivalutati in laboratorio con i medesimi test e le medesime procedure in modo da standardizzare il lavoro svolto. In particolare, i test funzionali sono stati eseguiti successivamente all'ecografia e ai prelievi per evitare che venisse interrotta l'inattività andando a inficiare i risultati delle altre misurazioni.

5.3 VARIABILI CONSIDERATE:

I test funzionali sono stati eseguiti mediante l'impiego di un dinamometro con cella di carico. I soggetti venivano fatti sedere e la loro gamba destra veniva allineata e fissata ad un blocco connesso al dinamometro. Per seguire un criterio nel posizionamento del soggetto si è deciso di posizionare la placca di ancoraggio per la gamba a 4 dita sopra il malleolo laterale del soggetto, il quale veniva fatto arretrare in posizione seduta finché la gamba non era perpendicolare al terreno. A questo punto si preparava la cute della coscia, nella regione interessata dalle

analisi, con epilazione, pulizia con alcool e pasta abrasiva in modo da eliminare le impurità e migliorare la conducibilità elettrica; inoltre veniva individuato il punto motore di interesse (nella regione laterale distale della coscia in quanto risulta essere quella con meno adipe sottocutaneo del vasto laterale) valutando la reazione del tessuto muscolare all'induzione di scariche elettriche a basso voltaggio attraverso un pennino. Tramite ecografia si osservava l'orientamento delle fibre e si posizionava successivamente la matrice di elettrodi (HD EMG) cercando di allinearla nella stessa direzione delle fibre e centrandola sul punto motore; nei protocolli submassimali (a triangolo con il 20% dell'MVC e a trapezio con il 25 e 50% dell'MVC) veniva posizionato anche l'ago (Intramuscular EMG) a 3,5 cm cranialmente rispetto al punto motore, sempre allineato quanto possibile con l'andamento delle fibre. Per ridurre al minimo le interferenze del segnale acquisito, venivano applicati in punti anatomici di isolamento elettrico degli elettrodi di massa, sulla patella e sulle caviglie (questi ultimi erano connessi a delle bande bagnate di messa a terra); in questo modo si riusciva ad avere una percezione migliore dei PDA. La matrice di elettrodi era collegata al computer tramite un amplificatore.

Successivamente venivano fissate le cosce e il bacino con delle cinghie in modo tale da evitare che durante le contrazioni massimali il soggetto si alzasse, alterando la prestazione. Con una cordella metrica veniva misurato il braccio di leva della gamba (utilizzando la testa della fibula e il malleolo laterale come estremità e punti di repere anatomici) per poter avere un dato in più che sarebbe stato utile nel riposizionare il soggetto in maniera identica nei test post-intervento ed eventualmente sarebbe stato utile in caso si fosse deciso di analizzare altri parametri (conoscendo la forza e il braccio, infatti, si può conoscere il momento della forza).

Una volta che le procedure di preparazione erano concluse si richiedeva al soggetto di prepararsi con il busto verticale, senza che la schiena fosse in appoggio con alcuna superficie, le braccia incrociate sul petto e arti inferiori completamente rilassati.

Attraverso il protocollo di valutazione funzionale massimale si sono studiati questi specifici parametri:

Maximal Voluntary Contraction: il parametro principale che è stato misurato è la massima forza di contrazione muscolare volontaria. Questa è stata rilevata attraverso una serie di tre contrazioni isometriche massimali utilizzando un dinamometro collegato ad una cella di carico. Ai soggetti veniva richiesto di partire completamente rilassati e al segnale del ricercatore avrebbero dovuto eseguire una contrazione massimale per cercare di estendere il ginocchio, ricercando una contrazione il più veloce possibile e con la massima intensità per poi mantenerla massimale per tre secondi fino allo stop del ricercatore.

Ai soggetti veniva chiesto di porre attenzione sul non eseguire precaricamenti ma di partire completamente rilassati per non effettuare contromovimenti che avrebbero portato ad uno sviluppo di forza maggiore. Infatti, si tratterebbe di una situazione riconducibile alla pliometria che, prevedendo una fase iniziale di rapido caricamento delle fibre in fase eccentrica, andrebbe ad allungare le strutture elastiche accumulando energia che verrebbe restituita nella fase concentrica del movimento. Come previsto dalla legge di Starling, avendo portato le fibre ad una lunghezza maggiore in partenza, queste, durante la contrazione, riusciranno a sviluppare più forza, andando a sovrastimare gli effettivi valori dell'MVC raggiungibile esclusivamente col lavoro muscolare.

Per tutti i soggetti è stato effettuato un incitamento vocale per stimolare il soggetto ad eseguire una prestazione migliore possibile sulla contrazione.

I segnali relativi alla forza espressa erano registrati in tempo reale e venivano visualizzati a schermo in un grafico Forza – Tempo tramite l'utilizzo del software LABCHART.

Una volta eseguite le tre ripetizioni si andava a far riferimento solo al grafico migliore, relativo alla contrazione eseguita meglio in termini di forza generata e qualità della prestazione. Da questo grafico veniva valutato l'MVC per poter calcolare le percentuali di lavoro submassimale e impostare correttamente gli altri protocolli per effettuare le analisi relative agli altri parametri quali Rate of Force

Development e Time To Peak attraverso un apposito algoritmo programmato su Visual Studio Code.

Time To Peak: il tempo di picco della forza corrisponde al tempo impiegato dal sistema neuromuscolare a generare la massima tensione con una contrazione, partendo da una situazione di totale riposo. Rappresenta un indice della capacità di reclutamento delle unità motorie con l'obiettivo di generare una massima potenza (forza massima nel minor tempo possibile).

In particolare, è stato valutato il TTP63% ovvero relativo al 63% dell'MVC, per questioni di prassi e miglior standardizzazione.

Rate of Force Development: la velocità di sviluppo della forza è un altro indice delle capacità del sistema neuromuscolare relativamente allo sviluppo di forza nel tempo. In particolare, è stata valutata la RFD in quattro finestre temporali: 50-100-150-200 ms.

Attraverso i protocolli di valutazione submassimali, invece, si è semplicemente valutata la capacità di reclutamento delle UM (e di conseguenza la capacità di coordinazione muscolare) del soggetto al fine di riuscire a modulare i livelli di forza. È su queste contrazioni che vengono decomposti i segnali acquisiti dalle EMG per studiare le attività delle singole UM e i parametri relativi ai PDA; infatti, le valutazioni non vengono effettuate ad intensità elevate perché ci sarebbero più UM che lavorano contemporaneamente e il numero di PDA sarebbe, di conseguenza, molto grande rendendo più difficile la decomposizione del segnale. Per avere, quindi, un segnale più preciso e omogeneo si valuta l'EMG in contrazioni submassimali con un'espressione di forza il più graduale e costante possibile.

I protocolli submassimali utilizzati prevedevano rampe triangolari con il picco di forza impostato al 20% dell'MVC e rampe trapezoidali con una fase di plateau (Steady State) di forza pari al 25% alternate a rampe trapezoidali al 50% dell'MVC. Per facilitare le esecuzioni al soggetto, davanti a lui era posizionato un monitor che mostrava il percorso (creato con apposito software) che avrebbe dovuto seguire il suo livello di forza espresso (rappresentato da una pallina).

Questo costituiva un feedback visivo di semplice interpretazione che aiutava i soggetti nell'autoregolazione della forza espressa, attraverso correzioni visuomotorie, in modo da avere maggior controllo dei livelli di forza erogata nelle contrazioni isometriche (Bauer P. et al., 2023). Nell'esecuzione si richiedeva al soggetto di partire completamente rilassato, per poi andare a contrarre e decontrarre il muscolo in maniera graduale e controllata.

Tra una esecuzione e la successiva era impostato un tempo di recupero pari a 30'' in seguito ai protocolli al 20 e 25% dell'MVC e 60'' in seguito alle ripetizioni massimali e sulle rampe al 50% dell'MVC.

Oltre a questi parametri funzionali, nel progetto sono stati analizzati (dai miei colleghi) i risultati relativi agli adattamenti anatomici; in particolare, sono state valutate le modifiche della lunghezza e angolo di pennazione delle fibre muscolari e la CSA del muscolo mediante ecografia.

5.4 ANALISI STATISTICA:

Per l'analisi statistica dei dati raccolti ho utilizzato il software statistico GraphPad Prism versione 10.0.0, dal quale ho ricavato anche i grafici seguentemente illustrati. I dati relativi ai parametri di mio interesse sono stati analizzati e comparati attraverso dei test statistici di tipo t per campioni appaiati a due code (in quanto ogni soggetto è stato valutato due volte e non si poteva sapere se il valore del parametro avrebbe potuto incrementare o decrementare); per il parametro TTP63%, invece, è stato utilizzato un test statistico non parametrico di tipo Wilcoxon perché la sua distribuzione non è rappresentabile da una gaussiana.

Queste analisi statistiche risultano necessarie per poter determinare la valenza e la significatività dei risultati ottenuti (analizzando il P value) per poter affermare con più precisione se gli eventuali adattamenti di forza massima e potenza possono essere attribuiti effettivamente all'intervento o semplicemente al caso.

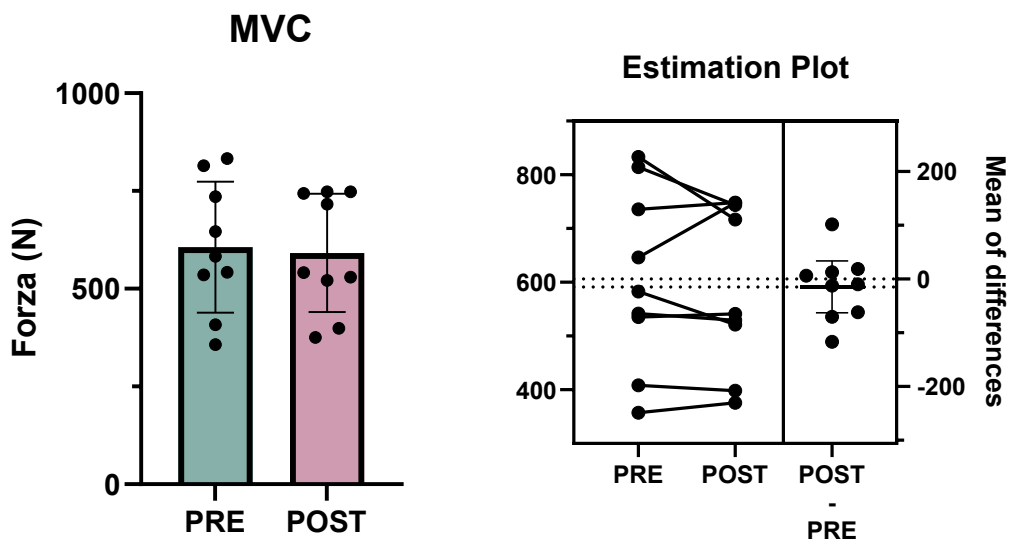
6. RISULTATI

Riporto ora, qui di seguito, i dati ricavati tramite le varie misurazioni dei vari test funzionali effettuati.

6.1 MVC:

I valori che seguono sono relativi all'MVC; questi sono stati registrati prima e dopo l'intervento di SR:

ID	MVC (N)		
	PRE	POST	Δ MVC (%)
SR1	814,32	743,87	-8,65
SR2	735,67	748,18	1,70
SR3	646,27	747,84	15,72
SR4	535,08	541,35	1,17
SR5	408,04	398,49	-2,34
SR6	833,17	716,54	-14,00
SR7	357,10	375,78	5,23
SR8			
SR9	582,84	521,25	-10,57
SR10	541,73	529,38	-2,28
MEDIA	606,02	591,41	-1,56
SD	167,43	151,22	9,01



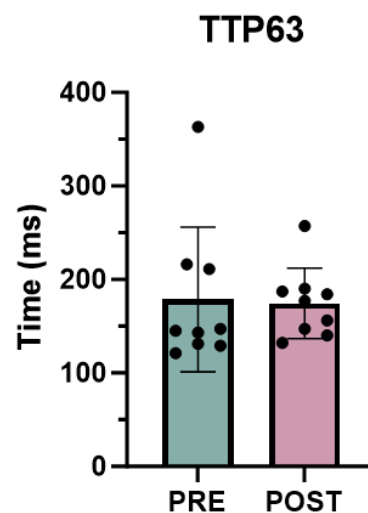
Dall'analisi statistica con un t test per dati appaiati a due code dei valori di MVC, non sono state trovate, in media, differenze significative a distanza di due

settimane dopo l'intervento di SR e le variazioni non sono risultate unidirezionali (qualche soggetto ha riscontrato un leggero aumento, qualche altro un leggero decremento). Inoltre, impostando il P value al 5%, i dati risultavano avere scarsa significatività a livello statistico, anche per la ridotta numerosità del campione che siamo riusciti a testare fino ad ora.

6.2 Time To Peak:

I valori che seguono sono relativi al TTP63% dell'MVC; questi sono stati registrati prima e dopo l'intervento di SR:

ID	TTP63% (ms)		
	PRE	POST	Δ TTP (%)
SR1	216	177	-18,06
SR2	143	132	-7,69
SR3	211	187	-11,37
SR4	145	147	1,38
SR5	121	140	15,70
SR6	129	190	47,29
SR7	363	257	-29,20
SR8			
SR9	131	156	19,08
SR10	147	184	25,17
MEDIA	178,44	174,44	-2,24
SD	77,37	37,74	-51,22

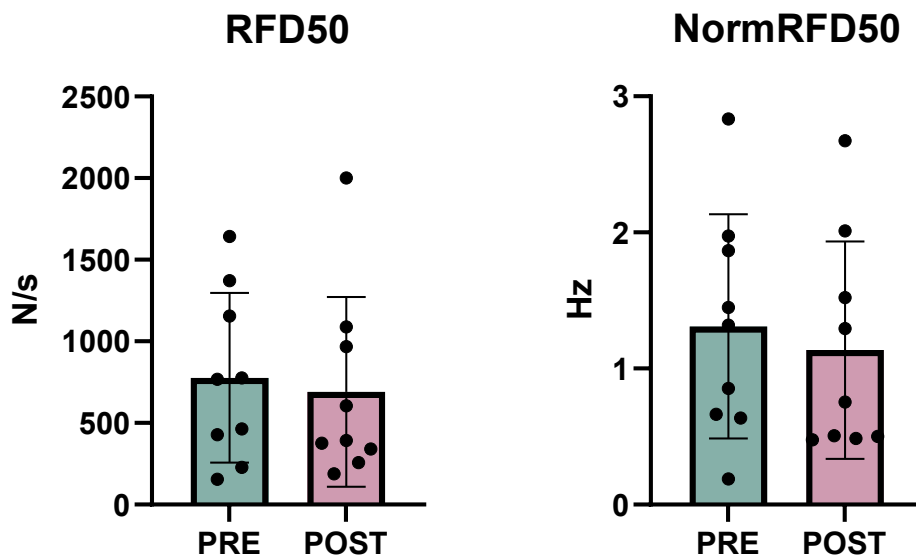


Dall'analisi statistica con un t test non parametrico tipo Wilcoxon dei valori di TTP63% dell'MVC, non sono state trovate, in media, differenze significative a distanza di due settimane dopo l'intervento di SR e le variazioni non sono unidirezionali.

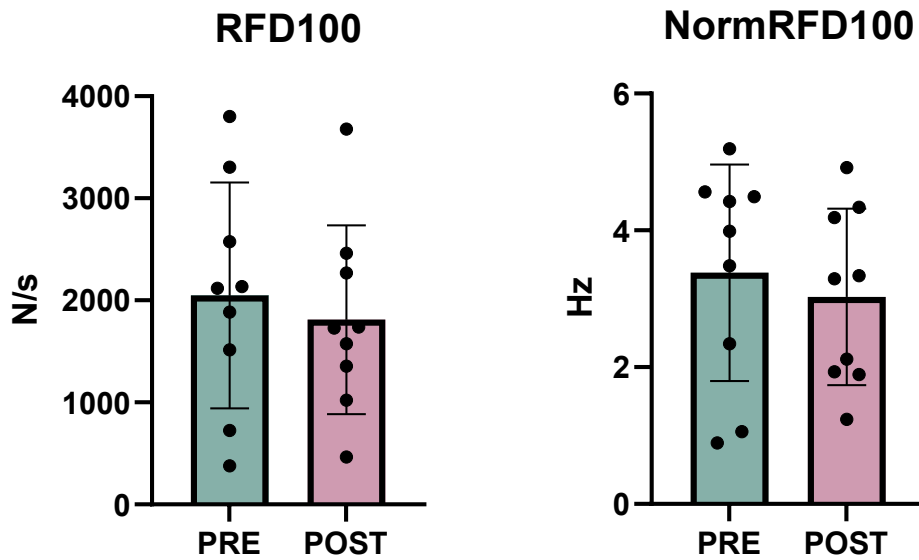
6.3 Rate of Force Development:

I valori che seguono sono relativi al RFD e ai valori di RFD normalizzati sulla relativa forza massima (per evitare l'influenza di eventuali variazioni dei livelli di forza dovuti all'intervento di SR), valutati in quattro finestre temporali; questi sono stati registrati prima e dopo l'intervento di SR:

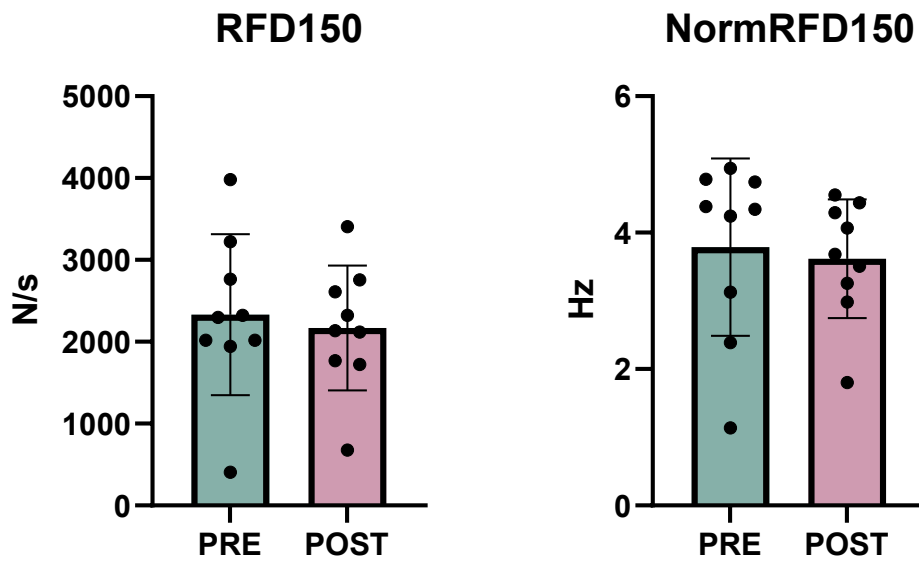
ID	RFD50 (N/s)		NORM RFD50 (Hz)	
	PRE	POST	PRE	POST
SR1	154,39	376,98	0,190	0,507
SR2	1372,57	2000,07	1,866	2,673
SR3	428,92	967,84	0,664	1,294
SR4	775,21	1089,04	1,449	2,012
SR5	1156,15	605,99	2,833	1,521
SR6	1643,6	340,86	1,973	0,476
SR7	227,55	188,38	0,637	0,501
SR8				
SR9	768,56	393,12	1,319	0,754
SR10	463,13	257,53	0,855	0,486
MEDIA	776,68	691,09	1,309	1,136
SD	519,46	581,64	0,823	0,799



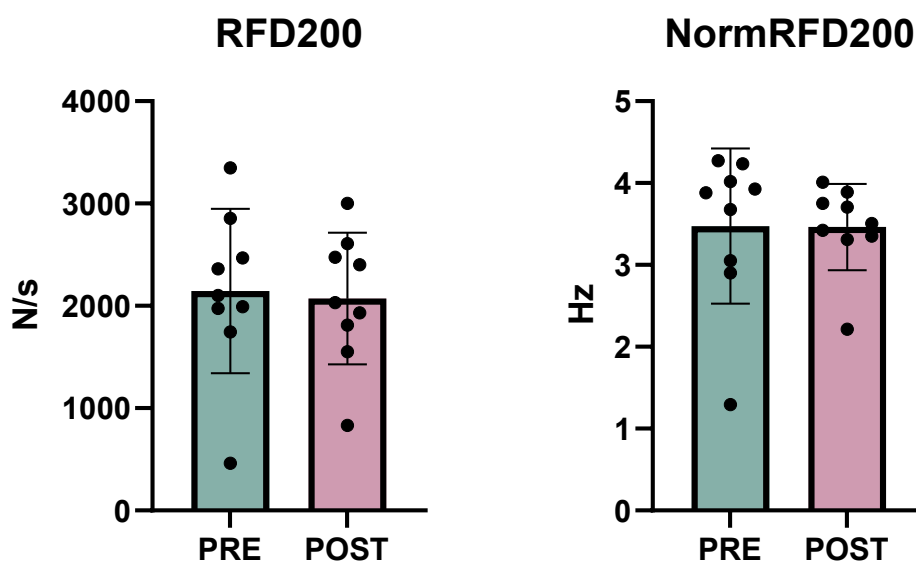
ID	RFD100 (N/s)		NORM RFD100 (Hz)	
	PRE	POST	PRE	POST
SR1	725,41	1575,53	0,891	2,118
SR2	3304,92	3678,06	4,492	4,916
SR3	1514,41	2461,97	2,343	3,292
SR4	2134,79	2266,75	3,990	4,187
SR5	2118,53	1727,54	5,192	4,335
SR6	3800,64	1354,96	4,562	1,891
SR7	377,49	464,42	1,057	1,236
SR8				
SR9	2576,57	1738,9	4,421	3,336
SR10	1885,87	1022,71	3,481	1,932
MEDIA	2048,74	1810,09	3,381	3,027
SD	1106,48	923,83	1,583	1,290



ID	RFD150 (N/s)		NORM RFD150 (Hz)	
	PRE	POST	PRE	POST
SR1	1943,41	2608,52	2,387	3,507
SR2	3222,39	3404,56	4,380	4,550
SR3	2020,55	2754,27	3,126	3,683
SR4	2323,87	2324,14	4,343	4,293
SR5	2017,25	1768,97	4,944	4,439
SR6	3982,58	2135,96	4,780	2,981
SR7	407,03	676,63	1,140	1,801
SR8				
SR9	2764,55	2119,8	4,743	4,067
SR10	2299,57	1724,87	4,245	3,258
MEDIA	2331,24	2168,64	3,788	3,620
SD	984,76	764,39	1,300	0,870



ID	RFD200 (N/s)		NORM RFD200 (Hz)	
	PRE	POST	PRE	POST
SR1	2362,67	2609,74	2,901	3,508
SR2	2855,2	3001,9	3,881	4,012
SR3	1973,65	2476,2	3,054	3,311
SR4	2100,62	2031,06	3,926	3,752
SR5	1744,27	1550,69	4,275	3,891
SR6	3349,19	2402,01	4,020	3,352
SR7	462,48	832,93	1,295	2,217
SR8	2384,18	2201,56		
SR9	2467,67	1931,45	4,234	3,705
SR10	1992,66	1811,16	3,678	3,421
MEDIA	2169,26	2084,87	3,474	3,463
SD	760,36	608,99	0,947	0,527



Dall'analisi statistica con un t test per dati appaiati a due code dei valori di RFD, in tutte le finestre temporali analizzate, non sono state trovate differenze significative a distanza di due settimane dopo l'intervento di SR.

Come si può osservare dalle tabelle riportate, il soggetto SR8 non è stato considerato nelle analisi in quanto risulta non aver rispettato le indicazioni fornite dallo staff andando a compromettere il protocollo di SR, inficiandone i risultati.

7. DISCUSSIONE DEI RISULTATI

Diversi sono stati i parametri analizzati in questo progetto al fine di valutare gli adattamenti organici in seguito ad un protocollo di SR di due settimane. Per quanto riguarda la mia tesi, in particolare, il focus principale è stato valutare i parametri relativi agli adattamenti funzionali del tessuto muscolare quali MVC, velocità di contrazione e capacità di reclutamento delle UM.

Sulla base dei dati ottenuti, con le rilevazioni durante i test pre e post-intervento, non risultano esserci stati adattamenti omogenei e significativi in termini assoluti e tantomeno di rilevanza statistica (p-value misurato risultava essere sempre $>0,05$ con un errore α impostato al 5%). È da tenere in considerazione che la numerosità del campione valutato è limitata a causa del numero ridotto di accelerometri a disposizione e a causa della disponibilità dei soggetti; in futuro sono in programma ulteriori rilevamenti su altri soggetti per poter aumentare la numerosità dei dati in modo tale da avere maggiori informazioni e una quantità di dati abbastanza importante per poter trovare evidenze statisticamente significative. Risulta chiaro come un intervento di SR di breve durata come 14 giorni possa risultare insufficiente per portare a adattamenti importanti dal punto di vista funzionale.

Se da un lato l'osservata diminuzione di massa muscolare porta ad un decremento della forza, è da ricordare come vi siano molti altri fattori che influenzano il parametro forza e che questi possono richiedere, invece, tempi molto più lunghi di inattività per decrementare. Considerando il fatto che, attraverso sedute di allenamento con pesi, i primi adattamenti organici al carico (responsabili dei primi aumenti di Forza) sono neuronali, relativamente alle capacità di coordinazione e reclutamento delle UM, mentre gli adattamenti anatomici si osservano concretamente nel lungo periodo, possiamo dedurre che gli adattamenti organici in seguito ad un periodo di notevole riduzione dell'attività fisica quotidiana (non sospensione completa) non seguano il medesimo ordine. Questo potrebbe derivare dal fatto che le connessioni neuronali sono facili da creare e perdurano molto nel tempo una volta consolidate, anche se il muscolo lavora poco, al contrario degli altri tessuti quali muscoli e adipe che sono più sensibili a modifiche dello stile di

vita per questioni metaboliche (energetiche e ormonali); queste considerazioni potrebbero non essere trasferibili a campioni di soggetti anziani, a causa del declino delle strutture e funzionalità dovute all'invecchiamento. Il fenomeno della denervazione, fatta eccezione per traumi o patologie, è una conseguenza del disuso muscolare (quindi un fenomeno più ricorrente in protocolli ULLS e BR) che provoca atrofia e danno muscolare diventando in questo caso uno dei principali fattori che determinano la riduzione dei livelli di forza esprimibili.

Inoltre, un altro fattore che incide sugli adattamenti muscolari, soprattutto a breve termine, è la predisposizione del soggetto agli adattamenti organici che dipende da fattori genetici e dal grado di allenamento dello stesso. Come dimostrano i dati, infatti, non tutti i soggetti hanno dimostrato un peggioramento dei parametri funzionali analizzati; in particolare, i risultati di questi tre parametri non sono strettamente correlati: non tutti i soggetti che hanno visto ridurre la propria MVC hanno riscontrato peggioramenti della potenza e non tutti i soggetti che hanno visto aumentare la propria MVC hanno riscontrato un miglioramento della potenza.

Un altro fattore che sicuramente ha inciso sulla prestazione dei soggetti nei test di valutazione funzionale è il livello di familiarizzazione dei soggetti coi test. Se da un lato tutti i soggetti hanno eseguito delle simulazioni dei test nella seduta di familiarizzazione, su volontà dei ricercatori, in modo tale da cercare di portare tutti i soggetti ad un livello iniziale di familiarità col compito che gli sarebbe stato richiesto (procedura che rientrava nelle misure di standardizzazione), è anche vero che ciascun soggetto aveva un bagaglio di esperienze motorie e non motorie diverso dagli altri andando inevitabilmente a incidere sui risultati dei test.

8. CONCLUSIONI

Molti sono, in letteratura, gli studi che hanno valutato e dimostrato come l'organismo umano abbia una straordinaria capacità di attuare risposte adattative in seguito a variazioni delle richieste funzionali dettate dall'ambiente in cui è inserito. Numerosissimi sono gli studi che analizzano le sue capacità di adattamento positivo ovvero di migliorare strutturalmente e funzionalmente le sue strutture e i processi biologici per ottimizzare l'efficacia e l'efficienza dell'organismo, anche e soprattutto (di nostro interesse) relativamente all'attività fisica, alla salute e ancora più nello specifico al contesto sportivo. Limitati sono, invece, gli studi che trattano delle alterazioni negative dell'organismo in condizioni di inattività fisica, anche in correlazione al fenomeno della sedentarietà e dell'ipocinesia, e degli effetti che questi adattamenti hanno sulla persona.

Studiando gli effetti che un protocollo di SR può innescare nelle persone si vuole cercare di ottenere dei risultati che possono essere trasferiti e utilizzati per studiare gli effetti propri dell'inattività fisica e di conseguenza di uno stile di vita sedentario, in tutte le fasce d'età. E' da ricordare, infatti, che l'ipocinesia non è un fenomeno circoscritto alle sole persone anziane (dovuto al declino delle strutture e funzioni causato dall'invecchiamento ma non solo) ma interessa anche la popolazione giovane; le nuove generazioni si sono ritrovate in un contesto sociale che non così di rado offre pochi stimoli motori: le nuove tecnologie sostituiscono i vecchi giochi tradizionali di movimento nel tempo libero, la famiglia non offre momenti di svago per pigrizia, per mancanza di opportunità, mancanza di strutture, ristrettezze economiche o per altri vari motivi. L'ambiente fisico influenza i livelli di attività fisica dei soggetti (Owen et al, 2000) perché rappresenta l'opportunità, il contesto attraverso cui il corpo può agire e senza un adeguato contesto fisico che metta a disposizione delle opportunità concrete e adeguate, i soggetti non hanno la possibilità di soddisfare le proprie necessità di movimento.

I dati ottenuti in questo studio dal nostro gruppo di ricerca non hanno prodotto risultati statisticamente significativi che sostengano, in modo adeguato, l'importanza di non ridurre in maniera prolungata nel tempo i propri livelli di attività fisica. Consapevoli di aver potuto valutare solo un numero molto limitato di soggetti e di aver considerato un periodo di intervento di 14 giorni, si vuole incoraggiare una prosecuzione nella raccolta di dati relativi agli effetti dell'inattività fisica su un campione molto più ampio, considerando un arco di tempo maggiore di intervento e analizzando qualche altro parametro per poter cercare qualche correlazione tra queste variabili e i valori ottenuti.

Questi studi, che verranno condotti in futuro, dovranno servire a creare una base solida di dati e osservazioni anche per evidenziare in modo scientifico (attendibile, chiaro e oggettivo) l'importanza di condurre una vita sana e fisicamente attiva per la salute delle persone e della società in generale, così da poter effettuare anche una sensibilizzazione efficace sulla popolazione e auspicare che tutti gli individui riescano ad attenersi alle linee guida proposte dall'OMS.

BIBLIOGRAFIA:

- Bauer, P., Gomes, J. S., Oliveira, J., Santos, P., Pezarat-Correia, P., & Vaz, J. R. (2023). Torque Regulation Is Influenced by the Nature of the Isometric Contraction. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 23(2), 726. <https://doi.org/10.3390/s23020726>
- Casolo F. (2020). L'uomo e il movimento, lineamenti di teoria e metodologia. Vita e Pensiero.
- Dittmer, D. K., & Teasell, R. (1993). Complications of immobilization and bed rest. Part 1: Musculoskeletal and cardiovascular complications. *Canadian family physician Medecin de famille canadien*, 39, 1428–1437.
- Ekelund, U., Tarp, J., Steene-Johannessen, J., Hansen, B. H., Jefferis, B., Fagerland, M. W., Whincup, P., Diaz, K. M., Hooker, S. P., Chernofsky, A., Larson, M. G., Spartano, N., Vasan, R. S., Dohrn, I. M., Hagströmer, M., Edwardson, C., Yates, T., Shiroma, E., Anderssen, S. A., & Lee, I. M. (2019). Dose-response associations between accelerometry measured physical activity and sedentary time and all cause mortality: systematic review and harmonised meta-analysis. *BMJ (Clinical research ed.)*, 366, 14570. <https://doi.org/10.1136/bmj.14570>
- 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>
- Graham, Z. A., Lavin, K. M., O'Bryan, S. M., Thalacker-Mercer, A. E., Buford, T. W., Ford, K. M., Broderick, T. J., & Bamman, M. M. (2021). Mechanisms of exercise as a preventative measure to muscle wasting. *American journal of physiology. Cell physiology*, 321(1), C40–C57. <https://doi.org/10.1152/ajpcell.00056.2021>
- Kenneth S. Saladin (2017). Anatomia Umana. Piccin
- Marusic, U., Narici, M., Simunic, B., Pisot, R., & Ritzmann, R. (2021). Nonuniform loss of muscle strength and atrophy during bed rest: a systematic review. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 131(1), 194–206. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00363.2020>
- Narici M., Franchi M., Maganaris C., Stan L. Lindstedt, Hans H. Hoppeler; (2016). Muscle structural assembly and functional consequences. *J Exp Biol* 1; 219 (2): 276–284. doi: <https://doi.org/10.1242/jeb.128017>

- Oikawa, S. Y., Holloway, T. M., & Phillips, S. M. (2019). The Impact of Step Reduction on Muscle Health in Aging: Protein and Exercise as Countermeasures. *Frontiers in nutrition*, 6, 75.
<https://doi.org/10.3389/fnut.2019.00075>
- Owen, N., Leslie, E., Salmon, J., & Fotheringham, M. J. (2000). Environmental determinants of physical activity and sedentary behavior. *Exercise and sport sciences reviews*, 28(4), 153–158.
- Paoli A., Neri M., Bianco A. (2019). Principi di metodologia del fitness. Erika editrice.
- Pišot, R., Marusic, U., Biolo, G., Mazzucco, S., Lazzer, S., Grassi, B., ... & Šimunič, B. (2016). Greater loss in muscle mass and function but smaller metabolic alterations in older compared with younger men following 2 wk of bed rest and recovery. *Journal of Applied Physiology*, 120(8), 922-929.
- Preobrazenski, N., Seigel, J., Halliday, S., Janssen, I., & McGlory, C. (2023). Single-leg disuse decreases skeletal muscle strength, size, and power in uninjured adults: A systematic review and meta-analysis. *Journal of cachexia, sarcopenia and muscle*, 14(2), 684–696.
<https://doi.org/10.1002/jcsm.13201>
- Sarto F, Bottinelli R, Franchi MV, et al. (2023). Pathophysiological mechanisms of reduced physical activity: Insights from the human step reduction model and animal analogues. *Acta Physiol.* ;238:e13986.
doi:10.1111/apha.13986
- Seynnes, O. R., de Boer, M., & Narici, M. V. (2007). Early skeletal muscle hypertrophy and architectural changes in response to high-intensity resistance training. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 102(1), 368–373. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00789.2006>
- Soendenbroe, C., Andersen, J. L., & Mackey, A. L. (2021). Muscle-nerve communication and the molecular assessment of human skeletal muscle denervation with aging. *American journal of physiology. Cell physiology*, 321(2), C317–C329.
<https://doi.org/10.1152/ajpcell.00174.2021>