

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Scienze Biomediche

Corso di Laurea Triennale in Scienze Motorie

Tesi di Laurea

**STIMA DELLA RIPETIZIONE MASSIMA ISOTONICO (1RM) DERIVATA DA
CONTRAZIONI MASSIME ISOCINETICHE**

Relatore: Prof. Martino Franchi

Laureando: Rocco Busetto

N° di matricola: 2003423

Anno Accademico 2022/2023

INDICE

Introduzione	pag. 3
Capitolo 1: Che cos'è il muscolo e la teoria dei filamenti scorrevoli	pag. 5
1.1 Struttura del muscolo scheletrico	pag. 5
1.2 La meccanica del muscolo scheletrico	pag. 7
1.3 Metabolismo Muscolare e tipi di Fibre	pag. 13
1.4 Le proteine contrattili	pag. 18
Capitolo 2: La Forza Muscolare	pag. 20
2.1 Introduzione e definizione	pag. 20
2.2 Tipi di Forza	pag. 20
2.3 Forza e Lunghezza	pag. 22
2.4 Forza e Velocità	pag. 25
2.5 Fattori Neurali e Strutturali	pag. 26
2.6 Relazione tra Forza e angolo articolare	pag. 29
Capitolo 3: Massima contrazione Isocarico, Isometrica e Isocinetica	pag. 31
Capitolo 4: Lo Studio	pag. 34
4.1 Introduzione	pag. 34
4.2 Materiali e Metodi	pag. 35
4.3 Analisi dei Risultati	pag. 37
4.4 Discussione	pag. 39
Capitolo 5: Conclusioni	pag. 44
Bibliografia	pag. 45

Introduzione

In questa tesi dal titolo “Stima della ripetizione massima isotonica (1RM) derivata da contrazioni massime isocinetiche” si tratterà di uno studio svolto in collaborazione con TechnoGym®, sia all’interno del TecnoGym Village® a Cesena che nelle strutture nei laboratori dell’università di Padova.

Al fine di collocare il contenuto ultimo dello studio all’interno di riferimenti condivisi, prima di entrare nei particolari, è stato fatto un inquadramento generale teorico sui temi toccati nell’elaborato.

Nel primo capitolo si parla della fisiologia del muscolo in quanto l’esperimento si basa di fatto sull’azione dei muscoli nel loro complesso, toccando i temi della struttura del muscolo scheletrico, della meccanica del muscolo scheletrico, di come funziona il metabolismo muscolare includendo le diverse tipologie di fibre muscolari che compongono i muscoli e infine dell’importanza delle proteine contrattili. Trattando di questi argomenti è stato anche possibile riassumere la teoria dei filamenti scorrevoli, necessaria a spiegare il meccanismo della contrazione muscolare.

Nel secondo capitolo è inquadrata la Forza muscolare in quanto la produzione di contrazioni massimali, che siano esse isocinetiche o isocarico, è legata a doppio nodo con lo sviluppo della Forza da parte dei muscoli. In particolare, vengono distinti i vari tipi di forza e vengono affrontate le tematiche della relazione tra forza e lunghezza specificando l’intervento della componente elastica in serie e quello della componente contrattile alla produzione della tensione totale, la relazione tra forza e velocità di contrazione muscolare evidenziando come all’aumentare della velocità diminuisce la forza espressa, dei fattori strutturali e neurali specificando come alcuni di essi influenzino la produzione di tensione da parte del muscolo e infine della relazione tra angolo articolare e forza espressa con un focus sui muscoli del ginocchio (in particolare degli estensori).

Nel terzo capitolo vengono definite tre tipologie di espressione di forza massimale quali la massima contrazione isometrica, la contrazione massima isocarico e la contrazione massima isocinetica, mettendole in relazione al fine di chiarire la necessità di collegare la forza massima isocarico a quella isocinetica da parte dello studio in questione.

Nel quarto e ultimo capitolo è stato spiegato lo studio in sé che ha come scopo quello di stimare la massima ripetizione isocarico dei soggetti, partendo da tre contrazioni di tipo massimale isocinetiche prodotte su tre macchinari appartenenti alla linea BioStrength© di TechnoGym© e coinvolgenti tre gruppi muscolari principali ovvero: la Chest Press per il distretto pettorale, la Vertical Traction per il distretto dorsale e la Leg Press deputata principalmente ai muscoli estensori del ginocchio, quest'ultima in maniera bi-podalica e mono-podalica.

Lo studio appare molto interessante in quanto nel mondo del fitness contemporaneo, come approfondito nel capitolo quarto, non esiste una metodologia precisa e veloce come quella sperimentata in questo studio; dunque, uno strumento come questo diverrebbe molto utile per l'avanzamento del resistance training.

Cap. 1: Che cos'è il muscolo e la teoria dei filamenti scorrevoli

1.1 Struttura del muscolo scheletrico

Partendo dal presupposto che il lavoro su cui si basa questa tesi è compiuto dall'azione muscolare, prima di scendere nei dettagli appare necessario e fondamentale chiarire il funzionamento dei muscoli stessi al fine di rendere più chiaro il proseguimento dell'elaborato, da qui nasce l'esigenza di questo primo capitolo di inquadramento.

Quando si parla di muscoli ci si riferisce al più grande gruppo di tessuti del nostro corpo, in cui le cellule sono in grado di generare tensione contraendosi, permettendo così diverse funzioni del corpo umano, su tutte, il movimento.

Esistono tre tipi di muscolo ovvero il muscolo scheletrico, il muscolo cardiaco, anche classificati come muscoli striati in quanto presentano una alternanza di bande chiare e scure se visti al microscopio, e il muscolo liscio anche detto non striato. A seconda della loro innervazione possono essere classificati anche in muscoli volontari (muscolo scheletrico), se innervati dal sistema nervoso somatico e quindi sottoposti al controllo volontario, e in muscoli involontari se innervati dal sistema nervoso autonomo, a quest'ultima categoria appartengono il muscolo liscio e il muscolo cardiaco. Per quanto riguarda il muscolo scheletrico esso, anche se categorizzato come volontario, può essere controllato scientemente o in maniera subconscia. Nel nostro caso ci concentreremo sul muscolo scheletrico.

La singola cellula muscolare è definita fibra muscolare ed ha una forma allungata e cilindrica, il muscolo è composto da diverse fibre muscolari, esse sono disposte parallelamente e tenute insieme da tessuto connettivo, ogni fibra contiene molteplici miofibrille, ognuna di queste formata da filamenti spessi costituiti da miosina e filamenti sottili composti da actina. Visto al microscopio, come detto in precedenza, nel muscolo si nota una alternanza di bande scure dette bande A e bande I. Le prime consistono in un gruppo di filamenti sottili e spessi sovrapposti, esse presentano una zona H ovvero una zona più chiara equatoriale dove non c'è

sovrapposizione con i filamenti sottili. Vi sono inoltre delle proteine che mantengono la posizione verticale dei filamenti spessi e costituiscono la linea M posta nel centro della banda A. Le bande I sono formate dalle porzioni di filamenti sottili che non entrano nella banda A, al centro presentano una linea detta linea Z ovvero un disco citoscheletrico, due linee Z fanno da estremi ad un sarcomero ovvero l'unità funzionale del muscolo. Dove si sovrappongono i filamenti spessi e quelli sottili si formano dei ponti trasversali che partono dai filamenti spessi verso quelli sottili.

I filamenti spessi sono costituiti da molecole di miosina ovvero proteine formate da due subunità che hanno le code intrecciate tra loro e le due teste globulari che sporgono da una estremità, le molecole di miosina sono posizionate con le code verso il centro e le teste verso l'esterno a intervalli regolari. Ogni ponte trasversale possiede un sito di legame per l'actina e un sito miosinico ATPasico necessario all'idrolisi dell'ATP.

Di contro i filamenti sottili sono composti actina troponina e tropomiosina, le molecole di actina sono le principali proteine strutturali ed hanno una forma sferica, la struttura è quella di due filamenti di actina intrecciati assieme, ogni molecola ha un sito di legame per la miosina. In una fibra rilasciata l'actina non può interagire con la miosina a causa delle altre due proteine presenti nel filamento sottile, in particolare la tropomiosina che assume una forma filamentosa posizionata nel solco della spirale delle molecole di actina bloccando così il sito di legame miosinico. Invece la troponina si compone di tre subunità, una che lega la tropomiosina, una che lega il calcio e una che lega altre troponine. Quando la troponina si lega al Ca^{2+} smette di svolgere il ruolo di mantenimento della tropomiosina in posizione e cambia forma spostando la tropomiosina e liberando così il sito di legame dell'actina.

Durante la contrazione i filamenti sottili scorrono sui filamenti spessi che rimangono fermi, così facendo tirano le linee Z avvicinandole e accorciando il

sarcomero, né i filamenti sottili né i filamenti spessi cambiano di lunghezza durante la contrazione per accorciare il sarcomero bensì si avvicinano.

Le due teste di ogni miosina, dopo che il sito dell'actina è stato liberato dalla tropomiosina tramite il legame tra Ca^{2+} e troponina, agiscono in modo indipendente, quando entrano in contatto con l'actina il ponte trasversale si modifica piegandosi verso l'interno, in questo modo tira il filamento sottile verso l'interno, questo ciclo si ripete completando l'accorciamento, alla fine del ciclo il legame si rompe e il ponte torna alla sua forma originale. Non tutti i ponti trasversali si attivano contemporaneamente impedendo così ai filamenti sottili di ritornare alla posizione originale alla fine di ogni ciclo. L'energia per completare questo ciclo è fornita dall'idrolisi dell'ATP in ADP e fosfato inorganico P_i che avviene nel ponte trasversale prima che questo si attacchi all'actina accumulando così energia da rilasciare nel piegamento del ponte al momento del legame col filamento sottile.

1.2 La meccanica del muscolo scheletrico

Il comportamento appena descritto riguarda una singola fibra muscolare ma nell'organismo umano le fibre collaborano per realizzare la contrazione del muscolo nella sua interezza. Ognuno di noi possiede circa 600 muscoli scheletrici che variano in dimensione, funzione e potenza e che contengono da centinaia a centinaia di migliaia di fibre. Ogni muscolo ha un rivestimento di tessuto connettivo che si estende a formare i tendini, ovvero strutture ricche di collagene che hanno la funzione di collegare i muscoli alle ossa.

La tensione muscolare è generata all'interno dei sarcomeri come risultato dello scorrimento dei filamenti però i sarcomeri non sono collegati alle ossa in maniera diretta quindi la tensione va trasmessa tramite il tessuto connettivo e i tendini quest'ultimi possiedono un determinato grado di elasticità passiva e vengono definiti come la componente elastica in serie del muscolo. L'accorciamento dei sarcomeri tende la componente in serie, la tensione viene trasferita all'osso

proprio tramite questo stiramento così da provocare il movimento delle strutture ossee.

Di fatto non tutte le contrazioni hanno l'effetto di muovere le ossa, per far sì che un muscolo si accorci si deve sviluppare una tensione muscolare che superi le forze di opposizione al movimento che agiscono sull'osso su cui è posta l'inserzione del muscolo in questione. I principali tipi di contrazione sono quelle isotoniche e isometriche: In una contrazione isotonica la tensione muscolare rimane costante durante la variazione di lunghezza del muscolo invece nella contrazione isometrica al muscolo viene impedito di accorciarsi, ma in entrambi i casi avvengono gli stessi meccanismi interni. La contrazione isometrica avviene quando si cerca di spostare un carico troppo alto oppure avvengono quando la tensione sviluppata è scientemente inferiore a quella necessaria allo spostamento del carico, queste contrazioni submassimali sono necessarie per mantenere la postura o reggere un oggetto in posizione. Inoltre, un muscolo può alternare contrazioni isotoniche a contrazioni isometriche durante l'arco di un movimento. Per quanto riguarda le contrazioni isotoniche ne esistono di due tipi: la contrazione eccentrica che avviene quando la tensione generata dal muscolo non è sufficiente a contrastare quella del carico e si verifica un allungamento del muscolo durante la contrazione e la contrazione concentrica che avviene invece quando il muscolo riesce ad accorciarsi durante il processo di contrazione.

L'entità del carico è fondamentale per determinare anche la velocità con cui il muscolo si accorcia, durante una contrazione concentrica più è alto il carico più è lenta la contrazione ed è massima la velocità quando non c'è alcun carico. In una fibra un singolo potenziale d'azione produce una contrazione breve e debole detta scossa muscolare, questa è troppo corta per influire e nel corpo normalmente non avviene, di fatto l'attività contrattile perdura molto di più del potenziale d'azione che l'ha innescata e questo permette che le tensioni prodotte possano essere variabili. Due sono i fattori che possono essere variati per poter modulare la forza ovvero il numero di fibre che si contraggono e la tensione sviluppata da ogni singola fibra.

Più fibre si contraggono maggiore è la tensione muscolare totale da qui ne viene che muscoli costituiti da più fibre sono in grado di sviluppare una tensione maggiore rispetto a muscoli che possiedono meno fibre. Il numero di motoneuroni che innervano un motoneurone varia a seconda del muscolo, in ogni caso quando la fibra di un motoneurone penetra nel muscolo si ramifica e ogni terminale assonico innerva una singola fibra, ogni motoneurone innerva un numero determinato di fibre mentre ogni fibra è innervata da un solo motoneurone. Quando si eccita un motoneurone si contraggono tutte le fibre da esso innervato, questo complesso è detto unità motrice, le fibre che fanno parte di una unità motrice sono distribuite in tutto il muscolo e quindi una sua eccitazione provocherà una contrazione uniformemente distribuita anche se debole. Più unità sono reclutate più forte diviene la contrazione, questo fenomeno è riconosciuto come reclutamento delle unità motrici.

La forza di ogni contrazione dipende dalla dimensione delle singole unità motrici, infatti il numero di unità motrici contenute in un muscolo e il numero di fibre contenute da una unità motrice varia di molto a seconda della funzione specifica del muscolo. Più il compito è di precisione più basso è il numero di fibre contenute nell'unità motrice questo fa sì che ogni reclutamento di una unità motrice addizionale porti ad un piccolo incremento della forza della contrazione e dunque un controllo più fine del movimento. Al contrario nei muscoli deputati a movimenti di potenza e che necessitano di un controllo più grossolano una singola unità motrice può arrivare a contenere circa 1500-2000 fibre facendo sì che ogni reclutamento addizionale generi un aumento di tensione progressivamente maggiore dell'intero muscolo ma determina anche una minore precisione.

Per ritardare o prevenire la fatica il muscolo non coinvolge, durante una contrazione prolungata, tutte le unità motrici bensì solo una parte di esse, viene così messo in moto il cosiddetto reclutamento asincrono delle unità motrici, in questo modo si garantisce una alternanza delle unità coinvolte e di conseguenza la possibilità per le unità di riposare mentre vengono sostituite temporaneamente. Il cambio è regolato in modo accurato per permettere una contrazione prolungata

regolare, appare ovvio che il reclutamento asincrono è possibile solo in contrazioni submassimali in quanto durante una contrazione massimale vengono reclutate tutte le unità motrici, ciò impedisce il reclutamento asincrono e dunque la resistenza alla fatica, ecco spiegato il perché non si può sostenere un oggetto pesante per lo stesso tempo di uno leggero.

Anche la frequenza di stimolazione può influenzare la tensione sviluppata da ogni fibra muscolare, infatti anche se un singolo potenziale d'azione induce in una fibra muscolare solo una scossa muscolare, con stimolazioni ripetute si possono ottenere contrazioni di lunga durata e di maggiore tensione. Quando si verifica un secondo potenziale d'azione se la fibra si è già completamente rilasciata allora avviene una seconda scossa della stessa entità della prima in quanto vengono attivati gli stessi eventi, ma se la fibra viene stimolata prima del suo completo rilasciamento il secondo potenziale d'azione darà il via a una seconda scossa che si sommerà alla prima generando così una tensione maggiore di quella attribuibile alla prima scossa.

La somma è possibile solo perché, come detto in precedenza, la durata del potenziale d'azione è molto minore di quella della scossa muscolare, ogni volta che un potenziale d'azione è iniziato si osserva un breve periodo refrattario che non permette un altro potenziale d'azione, quindi, risulta impossibile la sopracitata somma, la membrana deve tornare al potenziale a riposo prima che possa iniziare un secondo potenziale d'azione. Tuttavia, siccome il potenziale d'azione e il periodo refrattario durano molto meno della scossa, la fibra muscolare può essere stimolata di nuovo mentre è ancora in funzione l'attività contrattile per produrre così la somma della risposta meccanica.

Se la fibra muscolare viene stimolata così rapidamente da non avere il tempo per rilasciarsi completamente tra i due stimoli avviene il cosiddetto tetano, ovvero una contrazione prolungata di forza massima, essa è generalmente tre o quattro volte più intensa di una singola scossa.

La tensione prodotta da una fibra muscolare aumenta in relazione all'aumentare dei cicli dei ponti trasversali; quando la frequenza dei potenziali d'azione aumenta, cresce anche lo sviluppo di tensione fino a raggiungere una contrazione massimale tetanica. Una quantità sufficiente di Ca^{2+} , viene rilasciata in seguito a un singolo potenziale d'azione in modo tale da interagire con le molecole di troponina all'interno della cellula, ne risulta che tutti i ponti sono pronti a partecipare alla risposta contrattile. La differenza dipende dal tempo durante il quale una quantità sufficiente di Ca^{2+} viene resa disponibile; infatti, i ponti trasversali rimangono disponibili fin tanto che c'è abbastanza disponibilità di Ca^{2+} per mantenere il complesso troponina-tropomiosina lontano dai siti di legame, ognuno di questi complessi si estende per sette molecole di actina quindi il legame del Ca^{2+} ad una molecola di troponina determina l'esposizione di sette siti di legame.

Appena il Ca^{2+} viene rilasciato in seguito all'arrivo di un potenziale d'azione il reticolo sarcoplasmatico inizia a pomparlo indietro all'interno delle cisterne terminali. Dopodichè siccome la concentrazione di Ca^{2+} si abbassa alcuni siti di legame diventano inagibili e ne consegue che non tutti sono disponibili a partecipare ad un eventuale ciclo di legame durante una scossa prodotta da un unico potenziale d'azione. Ciò determina il fatto che da una singola scossa muscolare non risulta una contrazione di forza massima. Se i potenziali d'azione si susseguono a una distanza tale da permettere a tutto il Ca^{2+} di essere riassorbito dalle cisterne terminali allora si verificherà una scossa uguale a quella precedente, ma se il secondo potenziale d'azione è abbastanza vicino allora il Ca^{2+} del primo potenziale d'azione non è ancora stato ricaptato del tutto e in più si aggiunge il Ca^{2+} del secondo potenziale d'azione andando così a mantenere o addirittura a incrementare la concentrazione citosolica del Ca^{2+} . Questo fenomeno permette ai ponti trasversali di continuare a partecipare al processo ciclico per più tempo, se la frequenza dei potenziali d'azione aumenta, cresce di conseguenza anche il tempo in cui la concentrazione di Ca^{2+} come anche l'attività contrattile avente come massimo la contrazione tetanica. Durante il tetano rimane scoperta la massima quantità di ponti trasversali permettendo così lo sviluppo di una tensione massima.

Il muscolo scheletrico per contrarsi deve essere stimolato dai motoneuroni, appare chiaro quindi come il sistema nervoso giochi un ruolo chiave nella regolazione della forza di contrazione. Ci sono due fattori principali soggetti al controllo per la realizzazione di una contrazione graduale ovvero, il numero di unità motrici stimulate e la frequenza della loro stimolazione. Infatti, le aree del cervello che controllano l'attività motoria combinano le contrazioni tetaniche e il reclutamento asincrono per mettere in atto contrazioni non spasmodiche ma regolari.

Anche la lunghezza della fibra muscolare all'inizio della contrazione può influenzare la tensione sviluppata infatti, esiste una lunghezza ottimale del muscolo alla quale si ottiene la tensione massima, questa lunghezza è detta l_0 . Una contrazione tetanica che inizia a questa lunghezza produce la massima tensione sviluppabile dal muscolo, questa relazione tra lunghezza e tensione si può spiegare con il meccanismo di scorrimento dei filamenti. A l_0 i filamenti sottili si sovrappongono in maniera ottimale alla zona dei filamenti spessi dove sono localizzati i ponti trasversali, facendo sì che il massimo numero di ponti e di molecole di actina possano interagire compiendo i cicli di aggancio e piegamento, nella regione centrale dove non ci sono ponti trasversali a l_0 i filamenti sottili non si sovrappongono.

Se la lunghezza è maggiore di l_0 , come quando un muscolo viene stirato in modo passivo, allora i filamenti sottili vengono allontanati da quelli spessi riducendo così il numero di siti sull'actina pronti a legare i ponti trasversali. Quando diminuisce l'attività dei ponti trasversali cala anche la tensione che viene sviluppata. Nel caso in cui il muscolo venga stirato a una lunghezza del 70% superiore a l_0 , i filamenti sottili risultano completamente disaccoppiati da quelli spessi, in questo modo si impedisce l'attività dei ponti trasversali e la conseguente realizzazione di qualsiasi contrazione. Di contro se un muscolo prima della contrazione è più corto di l_0 sviluppa meno tensione principalmente per due motivi, il primo è che i filamenti sottili che appartengono a due lati del sarcomero vanno a sovrapporsi limitando le possibilità di interazione tra i ponti trasversali e l'actina. Il secondo è che le

estremità dei filamenti spessi incontrano le linee Z impedendo così un ulteriore accorciamento.

Va specificato che gli estremi della lunghezza muscolare che impediscono di sviluppare tensione si possono raggiungere solo in condizioni sperimentali, nel copro i muscoli ricoprono una posizione che li mette in condizione di essere più o meno a l_0 in condizioni di riposo, così da poter ottenere nella maggioranza dei casi, una contrazione tetanica submassimale. Inoltre, il fatto di essere attaccato allo scheletro pone al muscolo delle limitazioni; infatti, non può essere stirato o accorciato più del 30% della sua lunghezza a riposo, da ciò ne deriva che anche ai limiti esterni i muscoli possono generare la metà della loro tensione massima.

1.3 Metabolismo Muscolare e tipi di Fibre

I fattori discussi che influenzano la tensione che può generare una fibra muscolare possono variare a seconda della contrazione, altri fattori invece non dipendono dalla contrazione ma bensì dal tipo di fibra e possono essere modificati nel tempo.

Ci sono tre passaggi che nel processo di contrazione e rilasciamento richiedono ATP ovvero:

- l'idrolisi dell'ATP;
- il legame tra una nuova molecola di ATP;
- la miosina e il trasporto attivo di Ca^{2+} dentro alle cisterne terminali durante la fase di rilasciamento.

Le fibre muscolari utilizzano vie alternative per ottenere ATP, essendo quest'ultima l'unica fonte di energia che può essere usata direttamente per far sì che la contrazione continui, appare quindi fondamentale che l'ATP debba essere costantemente rifornita. Esistono tre vie che, in aggiunta alla limitata disponibilità di ATP immediatamente disponibile nei depositi del tessuto muscolare, rendono disponibile ATP nel caso fosse necessaria una contrazione muscolare.

Queste tre vie sono:

il trasferimento di un fosfato inorganico ad alto contenuto energetico dalla fosfocreatina all'ADP;

- la fosforilazione ossidativa;
- la glicolisi.

La fosfocreatina è di fatto il primo dei depositi energetici a venire preso in causa all'inizio dell'attività contrattile; infatti, come l'ATP possiede un fosfato inorganico che può eventualmente cedere all'ADP per formare ATP. In una situazione di riposo, il muscolo contiene circa cinque volte più fosfocreatina che ATP, quindi la maggiore quantità di energia immagazzinata nel muscolo è sottoforma di fosfocreatina. All'inizio della contrazione, dopo aver esaurito le scarse riserve di ATP, viene prodotta velocemente nuova ATP tramite il trasferimento di energia e fosfato all'ADP, la rapidità di questo processo è data dal coinvolgimento di una sola reazione enzimatica. La fosfocreatina è dunque la prima risorsa che fornisce ATP al muscolo all'inizio dell'esercizio muscolare. In realtà i livelli di ATP rimangono pressoché costanti nella fase iniziale ma i depositi di fosfocreatina cominciano a esaurirsi infatti solo gli sforzi ad alta intensità e breve durata sono a carico di questa via di produzione di ATP, in genere forniscono energia per il primo minuto o meno di esercizio.

Se l'attività contrattile continua il muscolo ha bisogno di altre vie di produzione di energia ma, queste vie, richiedono del tempo per attivarsi che viene fornito dai depositi di fosfocreatina. La fosforilazione ossidativa avviene nei mitocondri situati all'interno del muscolo se l'ossigeno è sufficiente, anche se produce 32 molecole di ATP per molecole di glucosio utilizzata è un processo lento a causa dei numerosi passaggi che coinvolge. Durante l'esercizio muscolare leggero o moderato le cellule sono in grado di produrre ATP attraverso la fosforilazione ossidativa, in quantitativi sufficienti a supportare richieste energetiche prolungate nel tempo, per mantenere questo processo c'è bisogno di un adeguato rifornimento di ossigeno e nutrienti. L'esercizio che può essere sostenuto è quello aerobico o di resistenza.

Esistono però limiti respiratori e cardiovascolari alla quantità di O_2 che può essere fornita ad un muscolo, di fatto i polmoni e il cuore sono in grado di prelevare e distribuire solo una determinata quota di O_2 , e durante le contrazioni quasi massimali la contrazione schiaccia i vasi sanguigni in maniera quasi completa limitando di molto l'afflusso di O_2 al muscolo. Infine anche quando l' O_2 risulta sufficiente la fosforilazione ossidativa rimane un processo lento e non adatto a produrre energia per un'attività muscolare intensa. Se durante l'aumento di intensità, l'apporto di O_2 o la fosforilazione ossidativa diventano insufficienti a coprire le spese energetiche allora le fibre muscolari utilizzano la via della glicolisi per la produzione di ATP. Le reazioni chimiche della glicolisi forniscono prodotti che entreranno nella fosforilazione ossidativa ma possono anche procedere autonomamente anche senza le ulteriori trasformazioni dei suoi prodotti da parte della fosforilazione ossidativa. La glicolisi scinde la molecola di glucosio in due molecole di acido piruvico producendo due molecole di ATP e in più, presenta due vantaggi sulla fosforilazione ossidativa. In primo luogo, può produrre ATP in assenza di O_2 e poi può procedere in meno tempo rispetto a quello impiegato dalla fosforilazione ossidativa. Quindi, nonostante la glicolisi produca sensibilmente meno ATP è in grado di operare più velocemente così da superare la produzione della fosforilazione ossidativa, supportando così l'esercizio anaerobico o ad alta intensità.

La via della glicolisi però comporta due grandi conseguenze, prima di tutto devono essere processate grandi quantità di nutrienti dato che la glicolisi ha una efficienza minore della fosforilazione ossidativa. Le cellule muscolari hanno una limitata disponibilità di glucosio immagazzinato sotto forma di glicogeno e la glicolisi anaerobica le esaurisce rapidamente. In secondo luogo, il piruvato non potendo essere processato ulteriormente dalla fosforilazione ossidativa viene convertito in lattato. L'accumulo di lattato è considerato la causa dei crampi muscolari in seguito ad un esercizio fisico intenso e causa anche un'acidosi metabolica che accompagna l'esercizio fisico intenso. Si pensa che ambedue le conseguenze siano alla base del generarsi della fatica muscolare ovvero quando un muscolo in esercizio non è più

in grado di rispondere con la stessa attività contrattile. Di conseguenza l'esercizio anaerobico ad alta intensità può essere mantenuto per un breve periodo.

In base alle loro capacità biochimiche esistono tre principali tipi di fibre, le fibre ossidative lente (tipo I), le fibre ossidative rapide (tipo IIa) e le fibre glicolitiche rapide (tipo IIx). Le loro principali differenze, come suggerito dai nomi, sono la velocità di contrazione ed il tipo di meccanismo enzimatico utilizzato per formare ATP. Le fibre rapide hanno più alta attività ATPasica miosinica, più questa è elevata più rapidamente viene idrolizzata l'ATP e di conseguenza più elevato è il ritmo con cui viene messa a disposizione l'energia. Quindi due fattori determinano la velocità con cui il muscolo si contrae: il carico e l'attività ATPasica miosinica delle fibre che si contraggono.

I tipi di fibre però differiscono anche per la capacità di sintetizzare ATP, quelle più abili a produrla sono più resistenti alla fatica, alcune fibre sono meglio equipaggiate per la fosforilazione ossidativa mentre altre preferiscono la glicolisi anaerobica. Siccome l'utilizzo della fosforilazione ossidativa produce molte più molecole di ATP per molecola di nutriente processata, esso non esaurisce subito le scorte energetiche e non causa un accumulo di lattato, ne risulta che le fibre ossidative sono più resistenti alla fatica di quelle glicolitiche. Le fibre ossidative, lente e rapide che siano, contengono più mitocondri, i quali ospitano gli enzimi per la fosforilazione ossidativa, inoltre sono ricche di vasi sanguigni vista la necessità di una adeguata ossigenazione. Infine, contengono una elevata quantità di mioglobina, la quale può immagazzinare O_2 , aumenta la quantità di O_2 che viene trasportata dal sangue al muscolo. La mioglobina colora di rosso le fibre dando così il nome di fibre rosse. Di contro le fibre rapide glicolitiche contengono pochi mitocondri in favore di un alto contenuto di enzimi glicolitici, possiedono anche una grande riserva di glicogeno e una più scarsa rete capillare data la minore necessità di O_2 . Contenendo poca mioglobina sono dette anche fibre bianche.

Nell'uomo la maggior parte dei muscoli contiene un mix di tutte le fibre anche se la percentuale di ciascun tipo di fibra è largamente determinata dal tipo di attività

ricoperta dal muscolo in questione, di conseguenza un grande numero di fibre ossidative si troverà nei muscoli specializzati in contrazioni a bassa intensità e prolungate nel tempo senza fatica, come nei muscoli che sostengono il corpo contro la forza di gravità. Al contrario si troveranno molte fibre bianche glicolitiche in muscoli deputati a contrazioni brevi e ad alta intensità, quali ad esempio i muscoli delle braccia che sollevano grossi pesi.

La percentuale di fibre non varia solo da muscolo a muscolo ma anche da individuo a individuo; infatti, gli atleti geneticamente dotati di molte fibre glicolitiche sono più predisposti a sport di potenza e velocità, in opposizione agli atleti con molte fibre ossidative lente favoriti nelle competizioni di resistenza.

La genetica però non basta per il successo negli sport; infatti, le fibre muscolari si adattano considerevolmente in risposta alle richieste che le sollecitano, differenti tipi di esercizio fisico producono differenti pattern di scarica neuronale al muscolo coinvolto, a seconda dei quali possono verificarsi dei cambiamenti muscolari adattivi a lungo termine che permettono una risposta più efficace. In particolare, possono essere indotti cambiamenti nella capacità ossidativa e nel diametro delle fibre muscolari.

L'esercizio muscolare aerobico promuove modificazioni metaboliche all'interno delle fibre ossidative che sono le più interessate da questo tipo di esercizio. Ad esempio, aumentano i mitocondri e i capillari che riforniscono queste fibre consentendo così ai muscoli di utilizzare più efficacemente l'O₂ e quindi permettendo un'attività efficace prolungata senza affaticarsi, ma non modificano le loro dimensioni. La dimensione può essere aumentata in seguito a periodi regolari di allenamento anaerobico, di breve durata e di resistenza ad alta intensità, come il sollevamento pesi. L'aumento della massa, detto ipertrofia muscolare, deriva principalmente da un aumento del diametro delle fibre glicolitiche rapide che sono coinvolte da questi esercizi. La maggior parte dell'ingrossamento deriva dalla maggiore sintesi dei filamenti di actina e miosina, la quale facilita l'interazione dei ponti trasversali e aumenta così la forza del muscolo.

Le fibre muscolari degli uomini sono più spesse e, quindi, i loro muscoli possono sviluppare quantità di forza maggiori rispetto a quelli delle donne anche senza allenamento con i pesi per via dell'azione del testosterone. Questo ormone promuove la sintesi e l'assemblaggio di actina e miosina, purtroppo questo fatto ha portato alcuni atleti ad assumere in modo pericoloso testosterone o steroidi simili al fine di aumentare le proprie performance atletiche portandoli ad avere conseguenze serie a diversi sistemi e organi.

1.4 Le proteine contrattili

Le principali proteine contrattili sono la miosina che forma i filamenti spessi e la actina che forma i filamenti sottili. Ogni molecola di miosina si compone di due subunità identiche che presentano ciascuna una testa e una coda, ogni testa globulare contiene un sito di legame per l'actina mentre le code sono intrecciate tra loro. Il filamento spesso nel suo complesso è composto da molecole di actina allineate longitudinalmente tra loro, metà orientate in una direzione e metà nell'altra, con le teste globulari che sporgono a intervalli regolari. Per quanto riguarda i filamenti sottili sono formati principalmente dalla doppia catena di molecole globulari di actina intrecciate tra loro.

L'accoppiamento tra actina e miosina è fondamentale in quanto solo tramite questo procedimento può avvenire la contrazione muscolare, in particolare, come già detto in precedenza nessuna delle due proteine si accorcia ma bensì i filamenti sottili presenti sui lati del sarcomero, grazie al colpo di forza generato dalle teste globulari miosiniche nel momento in cui actina e miosina entrano in contatto tramite il ponte trasversale cambiandone la conformazione, scorrono all'interno e sopra ai filamenti spessi. In questo modo viene prodotto un accorciamento del sarcomero per via dell'avvicinamento delle linee Z a cui i filamenti sottili sono agganciati.

Una singola testa di miosina è in grado di trascinare il filamento di actina per una distanza decisamente troppo piccola per essere significativa, appare dunque

spontaneo come sia necessario un maggiore numero di teste globulari per produrre un accorciamento significativo. Questo determina l'importanza di un efficace accoppiamento tra actina e miosina, un maggior numero di siti di legami disponibili potrà generare una tensione maggiore, da questo principio deriva la relazione tra forza e lunghezza muscolare che avremo modo di approfondire nel secondo capitolo.

Cap.2 La Forza Muscolare

2.1 Introduzione e definizione

L'esperimento su cui si fonda questa tesi richiede l'intervento di contrazioni massimali o, in ogni caso, di poco submassimali. Partendo da questo punto diventa di vitale importanza approfondire l'argomento della forza e come essa viene espressa dal motore muscolare, da qui la necessità di questo capitolo.

Una possibile definizione potrebbe in conclusione essere: "Capacità del muscolo di sviluppare tensione che permette di vincere una resistenza o di opporvisi", anche se il concetto di forza non trova una definizione precisa in quanto è composto da diversi aspetti fisiologici e appartenenti alla sfera psicologica spesso anche molto distanti e poco relazionabili tra loro. Infatti, i vari tipi di forza, tensione muscolare e lavoro sono molto differenziati tra loro e influenzati da molteplici fattori, di conseguenza la spiegazione del concetto di forza acquista valore solo se la si mette in relazione ai diversi tipi di manifestazione della forza stessa.

2.2 Tipi di Forza

In pratica la forza si suddivide fondamentalmente in 3 tipi:

- Forza rapida: la capacità dell'organismo di muovere segmenti del corpo nel modo più veloce possibile
- Forza resistente: la capacità di resistere a un carico maggiore del 30% del massimale individuale isometrico
- Forza Massimale: la massima forza che il sistema neuromuscolare è in grado di esprimere

Il tipo di forza di maggiore rilevanza per questa tesi è l'ultimo dei tre sopracitati, ovvero, la forza massimale. Questa tipologia di forza è fortemente influenzata dalla coordinazione intermuscolare ovvero la capacità di diversi muscoli di coordinarsi tra loro per generare una tensione comune agendo in maniera agonista e sinergica,

ma anche dalla coordinazione intramuscolare, cioè la coordinazione che mette in atto il muscolo al suo interno al fine di promuovere una determinata tensione.

È importante però spiegare come la forza massima sia legata a doppio nodo con l'ipertrofia; infatti, l'aumento di massa muscolare provoca un conseguente aumento della sezione trasversale del muscolo e ciò determina un aumento della capacità di generare forza. Di fatto l'aumento della sezione trasversale provoca un aumento di sarcomeri in parallelo che è sinonimo di un raggruppamento delle unità contrattili una vicina all'altra che consente di generare forze proporzionalmente maggiori all'aumento di sezione trasversa. Se i sarcomeri venissero invece disposti in serie e non in parallelo, si verrebbe a costituire una fibra muscolare capace di una velocità maggiore ma di una forza sensibilmente minore.

Anche la pennazione del muscolo influisce sull'espressione della forza, ovvero l'angolo che si forma tra le fibre muscolari e la linea immaginaria che passa per origine e inserzione del muscolo. È ben noto che esistano muscoli pennati e muscoli fusiformi, i muscoli pennati presentano un angolo di pennazione tra i 0-30° mentre nei muscoli fusiformi le fibre decorrono parallelamente alla suddetta linea immaginaria. I muscoli pennati possiedono fisiologicamente una maggiore concentrazione di fibre permessa dall'inclinazione delle fibre stesse e questo porta a una maggiore sezione trasversale e quindi, come spiegato in precedenza, a una maggiore capacità di sviluppo di tensione.

Nonostante il fatto che in un muscolo fusiforme l'accorciamento muscolare coincide con quello delle fibre muscolari, e nel muscolo pennato venga persa una parte della forza per via dell'inclinazione delle fibre che necessita la considerazione della sola componente orizzontale della forza espressa dal muscolo e nonostante il fatto che le fibre del muscolo pennato siano generalmente più corte, il maggiore numero delle fibre appartenenti al muscolo pennato permette una maggiore capacità di generare forza

Agendo sui due tipi di coordinazione e sull'aumento di sezione trasversale si può aumentare sensibilmente la forza massimale.

Per quanto riguarda l'energia, la richiesta energetica della forza massimale è affidata ai fosfati macroenergetici ovvero l'ATP e la fosfocreatina, da qui la spiegazione del perché la forza massimale viene espressa solo per poco tempo. Inoltre, la contrazione massimale genera una forte acidosi che va a intaccare la eventuale prestazione submassimale seguente.

2.3 Forza e Lunghezza

Uno dei fattori che risulta essere più importante nell'espressione di forza è la lunghezza a cui si trova il muscolo prima di iniziare la contrazione. Di fatto esiste una lunghezza ottimale detta l_0 alla quale si può ottenere la massima forza durante una contrazione tetanica che inizia a questa lunghezza, questa lunghezza cambia a seconda del muscolo e può essere spiegata per mezzo della teoria dello scorrimento dei filamenti.

Prima però bisogna prendere familiarità col concetto che la tensione totale generata durante la contrazione si può dividere in:

- Tensione passiva: si sviluppa durante l'allungamento del muscolo, quindi è dipendente dalla lunghezza muscolare, ed è a carico della componente elastica in serie
- Tensione attiva: si sviluppa durante la contrazione del muscolo a carico della componente contrattile

Ne deriva che la tensione totale generata non è altro che la somma della tensione passiva e della tensione attiva.

Per quanto riguarda la tensione attiva, essa dipende dalla lunghezza del sarcomero, ed è questa che può essere spiegata con la teoria dello scorrimento dei filamenti; infatti, se il sarcomero si trova a l_0 prima dell'inizio della contrazione allora ci sarà la sovrapposizione ottimale dei filamenti determinando così il massimo di

interazioni tra ponti trasversali e molecole di actina e di conseguenza una tensione maggiore. Se la contrazione invece avviene a lunghezze maggiori di l_0 , i filamenti sottili vengono allontanati da quelli spessi causando così una diminuzione dei siti di legami in grado di interagire con l'actina. Infine, se il sarcomero è in posizione tale da registrare una lunghezza inferiore a l_0 prima della contrazione allora si svilupperà una tensione minore principalmente per via di una sovrapposizione tra filamenti sottili stessi provenienti dai due lati del sarcomero opposti, ciò limita l'interazione tra ponti trasversali e actina.

A livello più macroscopico, i muscoli nel corpo umano sono posizionati in modo tale che la loro lunghezza a riposo sia grossomodo vicina a l_0 , il fatto di essere attaccati allo scheletro impone delle evidenti limitazioni al cambio di lunghezza; infatti, un muscolo non può essere stirato né accorciato più del 30% della sua lunghezza a riposo senza subire danni e nella maggior parte delle contrazioni la lunghezza varia molto meno del 30%. Anche agli estremi di questo range, i muscoli sono ancora in grado di generare metà della loro tensione massima. In pratica, essendo la componente contrattile composta da sarcomeri, le nozioni spiegate per la relazione tra forza e lunghezza nei sarcomeri possono essere riportate all'intera componente contrattile (fig.1).

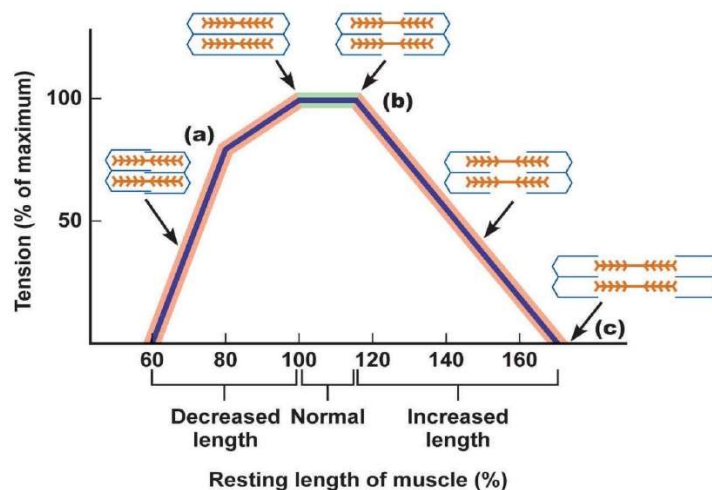


Fig.1: Curva tensione attiva - lunghezza muscolare – dal Web

Bisogna anche considerare che nel muscolo esistono sia la parte del ventre contrattile che la componente elastica, quest'ultima è composta dalla parte tendinea in serie a tutte le strutture interne al ventre muscolare che si allungano quando quest'ultimo si accorcia, come ad esempio, le aponevrosi o le proteine del citoscheletro. La componente elastica reagisce allungandosi alle contrazioni del muscolo, le quali generano accorciamenti nella parte contrattile. Inoltre, la componente elastica ha a carico la parte di tensione totale detta tensione passiva. È importante considerarla in questo paragrafo perché la curva forza-lunghezza viene ottenuta sperimentalmente tramite contrazioni isometriche, questo significa che per non generare spostamento nei capi articolari, all'accorciamento del ventre articolare segue un allungamento della componente elastica, questo spiega perché per contrazioni a lunghezza superiore a l_0 la tensione totale aumenta. La tensione passiva della componente elastica si somma a quella attiva prodotta dalla parte contrattile (fig.2).

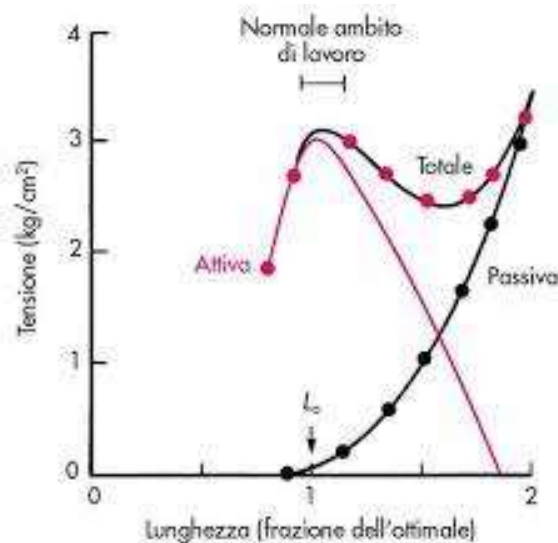


Fig.2: Curva tensione totale – lunghezza muscolare – Dal Web

La componente contrattile è composta da una parte in serie ovvero tendini, aponeurosi, ponti trasversali e le proteine strutturali del sarcomero. E da una parte in parallelo composta da proteine del citoscheletro, tessuto connettivo e sarcolemma. Di fatto la tensione totale prodotta dipende dalla parte in parallelo,

infatti, nei muscoli fusiformi, che contengono meno tessuto connettivo e, in generale, di materiale elastico, viene prodotta meno tensione rispetto ai muscoli pennati, a conferma di quanto già scritto nelle righe soprastanti. Questo è il motivo per cui studiare il solo materiale muscolare non è sufficiente ma bisogna parlare di unità muscolo tendinea (MTU).

2.4 Forza e Velocità

È ben noto che il muscolo a seconda della velocità di contrazione ha una determinata capacità di generare tensione, questa relazione è illustrata dalla curva di Hill (fig.3).

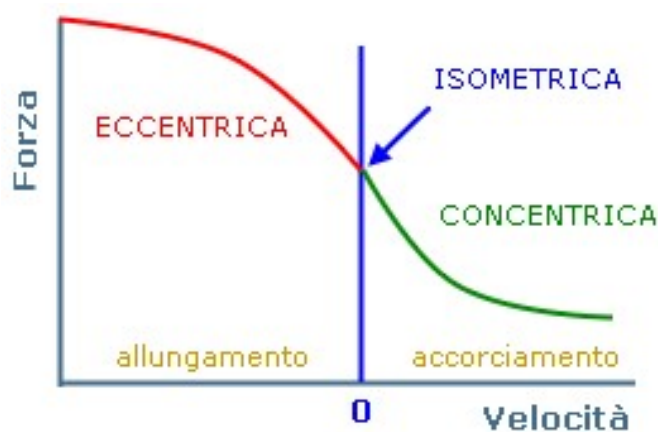


Fig.3: Curva di Hill, relazione forza-velocità – Dal Web

La massima forza è espressa, come già ampiamente spiegato, alla lunghezza ottimale e in condizioni di isometria quindi a velocità uguale a 0. Questo fa capire come un muscolo a velocità bassa e quindi vicina allo zero è vicino anche alle condizioni isometriche e quindi riuscirà a sviluppare una tensione maggiore.

In una contrazione di tipo concentrico non è rilevante l'effetto della componente elastica e la relazione tra velocità e forza dipende nella sua maggior parte dalla velocità di attacco e stacco dei ponti trasversali. In una contrazione, invece, eccentrica la tensione generata è maggiore perché entra in gioco anche la componente elastica; infatti, anche se la velocità di allungamento aumenta in

eccentrica non diminuisce la forza generata come avviene in concentrica, ma al contrario si stabilizza creando nella curva un plateau. Questo fenomeno è dovuto al fatto che la contrazione eccentrica non dipende dalla velocità di attacco e stacco dei ponti come la concentrica ma bensì dalla componente elastica.

La curva forza-velocità è diversa a seconda delle fibre che compongono il muscolo, in particolare le fibre lente generano una forza massima del 40% maggiore rispetto alle fibre rapide anche se la differenza più importante si nota se si considera la velocità di contrazione che dipende dall'attività ATPasica della miosina, quindi l'abilità di scindere l'ATP in Pi e ADP. Di fatto le fibre di tipo I hanno una velocità di contrazione ben sei volte minore di quelle di tipo IIx.

Infine, vale la pena citare la relazione tra forza, velocità e lunghezza. Se la velocità aumenta la velocità è bassa a prescindere dalla lunghezza, se invece la velocità cala la forza dipende moltissimo dalla lunghezza sia in contrazioni concentriche che in contrazioni eccentriche. Questo è il principio del cambio marcia nelle biciclette che fa preferire pochi giri lenti ma forti a tanti giri veloci ma deboli.

2.5 Fattori Neurali e Strutturali

Lo sviluppo della forza si ottiene tramite il resistance training e, come già visto in precedenza, ha diverse influenze ma in generale queste si possono suddividere in due grandi categorie:

- Fattori neurali: reclutamento delle unità motorie e frequenza di scarica
- Fattori strutturali: tipo di fibre, angolo di pennazione, area di sezione muscolare

In particolare, è ormai ben noto che l'aumento di forza muscolare è ottenuto in primo luogo con allenamenti che portano a adattamenti sul piano neurale, questo perché durante l'allenamento le unità motorie dei muscoli in movimento vengono reclutate e la loro frequenza di scarica aumenta allo scopo di produrre movimenti volontari. L'abilità di reclutare il maggior numero di unità motorie possibile insieme

ad un'alta frequenza di scarica produce la somma dei potenziali d'azione e quindi una maggiore generazione di forza.

Come già accennato i fattori neurali implicano la capacità del sistema nervoso centrale di produrre una frequenza di scarica maggiore e di reclutare un maggior numero di unità motorie, queste vengono reclutate secondo un determinato ordine; infatti, nei muscoli sono presenti unità motorie con proprietà che si diversificano tra loro e questo permette ai muscoli di specializzarsi o, in ogni caso, di compiere compiti assai diversi tra loro per velocità, forza, potenza e durata. Nello specifico esistono:

- Unità motorie lente: si contraggono lentamente, non si affaticano e quindi sono adatte a attività protratte nel tempo
- Unità motorie fast fatiguable (FF): utilizzate in movimenti che richiedono forze o velocità massimali ma solo per tempi estremamente brevi
- Unità motorie fast resistant (FR): producono forze relativamente elevate in tempi abbastanza brevi e resistono bene alla fatica, di fatto una via di mezzo tra le precedenti due

Le prime unità motorie ad essere reclutate sono le unità motorie lente mentre i motoneuroni delle unità motorie FF sono ricchi di mielina, grossi ma poco eccitabili.

Inoltre, è possibile per il sistema nervoso centrale regolare la forza di ciascuna unità motoria modulando la frequenza di scarica del motoneurone, ci possono essere quindi contrazioni isolate che producono bassi valori di tensione muscolare. Contrazioni parzialmente fuse che riescono a sommare degli stimoli per generare più forza, tetani parzialmente fusi che generano tensioni ancora maggiori ma con brevi cali, e tetani completamente fusi che generano tensioni massimali e costanti. Se ne evince che maggiore è la frequenza di scarica maggiore è la forza generata.

Le frequenze usate dai motoneuroni generano nella maggior parte dei casi tetani non completamente fusi, quindi con delle oscillazioni. In questa maniera non vengono reclutate tutte le unità motorie possibili e questo permette il fenomeno

del reclutamento asincrono delle UM che elimina il tremore muscolare e consente di fronteggiare meglio la fatica muscolare. Quest'ultima è uno dei motivi per cui la risposta delle fibre muscolari agli stimoli non è sempre costante, essa è la diminuzione della forza generata conseguente al susseguirsi di contrazioni ed è causata dall'accumularsi di prodotti di scarto quali fosfato inorganico, lattato e ioni idrogeno.

Per quanto riguarda i fattori strutturali si parla invece di un aumento delle dimensioni del muscolo e di alterazioni biochimiche prodotte dal resistance training. È stato più volte dimostrato come l'aumento di sezione del muscolo sia legato ad una capacità di esprimere forza maggiore dello stesso muscolo e questo è dovuto all'aumento di ponti acto-miosinici trasversali, di fatto anche l'aumento dell'angolo di pennazione è collegato a una maggiore forza dovuta alla maggiore possibilità di interazione sempre tra actina e miosina.

Il muscolo striato si distinguono delle varianti di fibre muscolari che si differenziano per composizione proteica, per capacità aerobica-anaerobica e per proprietà biomeccaniche, anche in questo caso sono tre le varianti possibili:

- Lento ossidativo (tipo I): con diametro medio capacità ossidativa elevata e capacità glicolitica moderata, forze prodotte basse, tempo di contrazione lungo ma lento
- Veloce glicolitico (tipo IIx): diametro grande, capacità ossidativa bassa e capacità glicolitica elevata, adatte a forze massimali, in poco tempo e di breve durata
- Veloce ossidativo (tipo IIa): diametro piccolo, capacità ossidativa e glicolitica alta anche se presentano valori più alti di capacità ossidativa; sono una via di mezzo tra le due precedenti

Va menzionata una differenza importante tra le fibre ovvero le diverse isoforme di actina, tropomiosina ma in particolare di miosina contenute nei vari tipi di fibre. L'isoforma di miosina contenuta nella fibra determina la capacità ATPasica della miosina ovvero la velocità di scissione dell'ATP.

È stato dimostrato che l'allenamento può portare al cambio di funzione delle fibre muscolari, nello specifico può avvenire un passaggio da fibre veloci a fibre lente ma non è ancora chiaro se può avvenire il contrario. Mentre l'atrofia, mancanza di attività muscolare, può portare al passaggio da fibre lente a fibre veloci, fino alla denervazione.

2.6 Relazione tra Forza e angolo articolare

Prima di passare alla relazione in sé, c'è il bisogno di prendere in considerazione il fatto che ogni forza, se non applicata al centro di massa, genera una rotazione intorno al proprio asse di un corpo rigido, l'attitudine di una qualsiasi forza a generare rotazione è detta momento o, in inglese, torque. Il torque dipende però dalla forza ma anche dalla distanza del punto di applicazione della forza dal centro di massa. Applicando questa nozione al corpo umano appare evidente come al variare dell'angolo articolare cambi anche la distanza tra il punto di applicazione della forza e il centro di massa del segmento da mettere in movimento, ciò determina un conseguente cambiamento del torque e quindi una variazione della capacità della forza di mettere in moto il determinato segmento corporeo.

Al cambiare dell'angolo articolare però non cambia solo il momento della forza, cambia anche la lunghezza dei muscoli che sono collegati al segmento corporeo, come visto in precedenza, la lunghezza del muscolo influisce sulla sua capacità di generare tensione. Per capire meglio questo concetto si propone un focus sull'espressione della forza a diversi angoli di ginocchio.

Infatti, secondo uno studio condotto su studentesse universitarie dell'età media di 21.8 anni, basato sul misurare la massima contrazione isometrica volontaria ad angolazioni diverse compiendo una contrazione volta sia all'estensione e sia alla flessione del ginocchio, emerge che c'è una maggiore attività muscolare in muscoli allungati rispetto a muscoli accorciati e quindi muscoli posti in allungamento sarebbero in grado di generare tensioni maggiori rispetto a muscoli posti in pre-

accorciamento. In letteratura si trovano diversi studi che evidenziano una relazione tra cambiamento dell'angolo al ginocchio e il torque generato, in particolare per quanto riguarda gli estensori del ginocchio viene generalmente dimostrata una curva (fig.4) che presenta un tratto ascendente nella prima parte, un picco intorno ai 60° e poi un ripido tratto discendente.

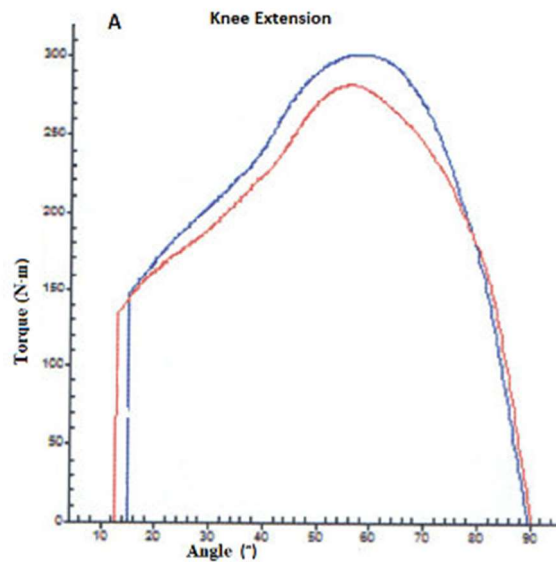


Fig.4: Relazione tra torque generato dagli estensori del ginocchio al variare dell'angolo al ginocchio – Dal Web

Per concludere questo dimostra che cambiare l'angolo dell'articolazione influenzi l'espressione di forza anche per via del conseguente cambiamento di lunghezza dei muscoli che sono coinvolti nel movimento o nella contrazione.

Cap. 3 Massima contrazione Isocarico, Isometrica e Isocinetica

Come già spiegato nel capitolo precedente, lo studio che verrà presentato nel capitolo 4 si basa sulla richiesta di contrazioni massimali o, in ogni caso, di poco submassimali. Ma questa non è l'unica richiesta sul tipo di contrazione. Infatti, al fine di validare il test su cui si basa lo studio, c'è bisogno di contrazioni massimali sia isocarico, ovvero il tipo più classico di contrazione durante la quale il carico non cambia, che isocinetiche nelle quali il carico imposto dalla macchina al soggetto varia al fine di mantenere la velocità costante, quindi nel caso in cui il soggetto imprima una forza minore il carico verrà diminuito affinché non vari la velocità di contrazione.

Se si parla di contrazioni massimali è necessario anche parlare di massima contrazione isometrica, infatti in condizioni di isometria, ovvero quando i capi articolari coinvolti nella contrazione non si muovono durante la contrazione, il muscolo riesce a produrre il maggior quantitativo di forza. Ciò deriva dal fatto che a velocità minori il muscolo può generare tensioni più elevate; quindi, quando la velocità è nulla come nel caso della contrazione isometrica (in quanto non c'è effettivo movimento), il muscolo può esprimere un alto quantitativo di Forza.

Prima di indagare la correlazione tra queste tre tipologie di contrazioni è doveroso un inquadramento dal punto di vista teorico.

La massima contrazione volontaria isocarico è una determinante della fitness di un individuo ed è fondamentale definirla con precisione per determinare i carichi di un eventuale allenamento della forza, si può definire come la massima forza che il sistema neuromuscolare è in grado di generare in una sola contrazione e dipende, come già spiegato nello specifico nei capitoli precedenti da diversi fattori, su tutti l'area trasversa del muscolo in questione, la coordinazione intermuscolare e la coordinazione intramuscolare. La contrazione isocarico avviene quando un muscolo si accorcia spostando un carico che rimane costante per tutto l'arco del movimento, ed è la più utilizzata nel mondo del fitness.

La massima contrazione isocinetica avviene quando il muscolo sviluppa il massimo sforzo per tutta l'ampiezza del movimento accorciandosi a velocità costante, si può ottenere solo con particolari macchine concepite per questo motivo, macchine isocinetiche che sono in grado di modulare la tensione applicata al soggetto al fine di far rimanere costante la velocità di accorciamento.

Infine, la massima contrazione isometrica avviene quando l'unità muscolo tendinea genera la massima tensione possibile senza però avvicinare i capi articolari coinvolti e senza quindi modificare la sua lunghezza. Si specifica che si parla di unità muscolo tendinea in quanto enunciare che la contrazione isometrica avviene quando il muscolo produce tensione senza accorciarsi risulta poco preciso. Il muscolo inteso come ventre muscolare si contrae accorciandosi anche in condizioni di contrazione isometrica ma il suo accorciamento provoca un conseguente stiramento della componente elastica in serie, in particolare dei tendini, il quale va a compensare l'accorciamento dando come risultato la mancanza di movimento. La massima contrazione isometrica risulta in ogni caso sempre maggiore della massima contrazione isocarica e, per spiegarlo, basta ricorrere alla relazione forza - velocità. È ben noto che più si alza la velocità meno tensione viene prodotta; quindi, in una contrazione che non produce movimento, quindi a velocità nulla, il muscolo sarà in grado di generare una tensione sempre maggiore anche della più lenta delle contrazioni isocariche in quanto queste possiedono, per definizione una velocità di accorciamento.

La correlazione tra i tre tipi di forza massima risulta presente nella letteratura già dai primi anni Ottanta, infatti uno studio di J.J. Knapik et. Al del 1980 condotto su 352 maschi volontari aveva rivelato un'alta correlazione tra la massima contrazione isocinetica e quella isometrica testando in modalità isocinetica a diverse velocità, specificando che a bassi livelli di velocità vi era una relazione più forte. Sempre J.J. Knapik et. Al nel 1983 hanno dimostrato che tra le tre tipologie (isocarico, isocinetico e isometrico) vi era una correlazione significativamente alta, in particolare è risultato un coefficiente di correlazione medio $R=0.78$ con un range che va da $R=0,97$ a $R=0,47$, tramite dei test svolti a diversi angoli di flessione di

ginocchio e di gomito misurando i relativi picchi di torque. Nel 1998 anche uno studio di J.J. Chiappa et. Al condotto sugli estensori del ginocchio in una popolazione femminile trova una significativa correlazione ($R=0,67$ $p=0,0001$) tra forza isocinetica e isocarico ricavandone anche una equazione in grado di stimare la massima contrazione volontaria isocarico partendo dai dati isocinetici. Infine, uno studio condotto da Soderman e Lindstrom nel 2010 condotto sulla flessione del gomito ha confermato una forte linearità nella correlazione tra picco di torque isocinetico e 1RM ovvero la massima contrazione isocarico in particolare con valori di $R=0,94$ e $p=0,00001$.

In conclusione, la stretta correlazione tra la massima contrazione di tipo isocarico, di tipo isocinetico e di tipo isometrico si può spiegare col fatto che le tre contrazioni massimali sostanzialmente non sono altro che l'espressione in forme diverse dello stesso fenomeno, ovvero una massima produzione di tensione, che potremmo definire come massima forza volontaria.

Cap 4 Lo Studio

4.1 Introduzione

Nel mondo del fitness contemporaneo, nonostante la letteratura confermi in modo ampio la correlazione tra forza isocarico e forza isocinetica, per la misurazione dei massimali le contrazioni isocinetiche sono ben poco utilizzate. Infatti, per calcolare il massimale isocarico si utilizzano metodologie basate su contrazioni isocarico, in particolare viene utilizzato o un metodo diretto o un metodo indiretto. Per quanto riguarda il metodo diretto si cerca di arrivare al carico tale da permettere una sola ripetizione al soggetto tramite dei tentativi a carico crescente. Questa metodica oltre che richiedere un tempo materiale non indifferente non può essere affidabile per tutti i tipi di soggetti. Infatti se parliamo di atleti non esperti, di persone anziane o fuori forma, il test risulta essere non del tutto preciso a causa del fatto che soggetti non ben consapevoli delle loro capacità non sono in grado di arrivare a una contrazione effettivamente massimale ma si fermeranno a un carico minore, facendo così risultare il test sottostimato.

Considerando invece il metodo indiretto, che si basa sull'eseguire il massimo di ripetizioni possibili con un carico predefinito per poi stimare il carico massimale sulla base di tabelle o formule, bisogna considerare l'imprecisione e l'errore che spesso accompagna l'assunzione e la stima per via indiretta. Inoltre, anche in questo caso soggetti non allenati potrebbero fermarsi prima dell'effettivo cedimento nel test iniziale, anche in questo caso solitamente si mettono in atto più tentativi a carico crescente, ne deriva quindi un modesto impiego di tempo e risorse.

Lo scopo dello studio presentato di seguito diventa proprio quello di proporre un test che sia veloce ed efficace, ovvero basandosi su tre ripetizioni massimali isocinetiche, tramite il software delle macchine della linea Biostrength© di Technogym©, riuscire a calcolare con un'alta precisione il rispettivo carico massimale che il soggetto può sollevare, permettendo così un allenamento più preciso e individualizzato.

4.2 Materiali e Metodi

Lo studio è stato svolto in collaborazione con Technogym©, azienda leader nel settore della produzione di macchine per il fitness e sempre attiva nella ricerca e nell'avanzamento tecnologico per migliorare l'allenamento e in generale il mondo del fitness.

Proprio seguendo questa linea c'è la necessità da parte di Technogym© di trovare un test che risulti essere più veloce ed efficace rispetto ai test già esistenti nel mondo del fitness per la stima del massimale isocarico, da qui nasce questo studio che si propone come scopo quello di valutare l'affidabilità del test che verrà a breve illustrato.

Il lavoro di ricerca si è articolato in tre sessioni di test, due delle quali svoltesi all'interno del Technogym© Village di Cesena, una a Dicembre 2022 e una a Giugno 2023, conducendo i test sui dipendenti di diverse aree dell'azienda. Invece la terza sessione si è svolta a Settembre 2023 all'interno delle strutture dell'Università di Padova, in particolare è stato usato il laboratorio di fisiologia eseguendo le sperimentazioni su ricercatori, professori e dottorandi dell'università di Padova.

Nello specifico sono state utilizzate tre macchine che vanno ad interessare tre gruppi muscolari principali della linea Biostrength© di Technogym©, ovvero una Chest Press, una Vertical Traction e una Leg press in versione monopodalica in quanto nella sua versione classica bipodalica il motore della macchina non era in grado di supportare con precisione soggetti molto allenati. Le macchine di questa linea sfruttano un sistema basato sull'intelligenza artificiale che permette alla macchina di riconoscere il range of motion ottimale per ogni soggetto e questo garantisce una esecuzione guidata e più conforme alle esigenze antropometriche di chi la usa.

Quest'ultima precisazione appare necessaria anche al caso di questo studio; infatti, prima di eseguire il test vero e proprio, ogni soggetto ha eseguito tre ripetizioni

senza carico per permettere alla macchina di riconoscere il range of motion (ROM) ottimale e quindi superando le barriere di mobilità soggettiva e come già detto, quelle antropometriche.

Dopo aver acquisito il ROM è iniziato l'effettivo test in questione con un riscaldamento composto da dieci ripetizioni ad un carico fisso per tutti gli partecipanti allo studio e di facile esecuzione per tutti. Dopo questa necessaria e importante fase e dopo un tempo adeguato di recupero, i ricercatori hanno proceduto chiedendo a ciascun soggetto coinvolto di identificare il suo grado di soreness muscolare e il grado di sforzo percepito (RPE), per ambedue veniva richiesto ai partecipanti di associare un valore alle loro sensazioni utilizzando una scala da 0-10 dove 0 corrispondeva ad un valore nullo e 10 al grado massimo. Per aiutare chi non aveva molta familiarità con le scale di misura, queste sono state fornite su dei fogli con delle indicazioni sui vari valori, in particolare per quanto riguarda l'RPE è stata presa come riferimento la scala di Borg. Essendo il soggetto all'inizio del test e senza particolari sforzi già messi in atto spesso i valori di risposta erano tendenti allo zero.

Dopodiché veniva chiesto al soggetto di eseguire tre ripetizioni massimali nella modalità isocinetica della macchina, per quanto riguarda le sessioni svoltesi al Technogym Village il soggetto poteva, tramite l'apposito monitor, accedere visivamente ai suoi risultati in presa diretta. Nella sessione di Padova, invece, per non creare barriere psicologiche si è deciso di non far vedere i risultati durante il test ma solo alla fine di tutto, compreso il test 1RM isocarico. Va precisato che nella sessione di Padova è stata testata solo la Leg Press in versione monopodolica in quanto, dai test di Cesena, era emerso che alcuni soggetti molto allenati non erano in grado di essere supportati a pieno dal motore della macchina, creando così degli outliers nei dati che compromettevano il test. Subito dopo le tre contrazioni massimali isocinetiche sono stati chiesti nuovamente i valori di soreness muscolare e di RPE per confermare che fossero contrazioni di carattere massimale.

Dopo un adeguato tempo di recupero, è stato effettuato il classico test diretto per l'identificazione della massima contrazione isocarico del soggetto; quindi partendo dal dato del test isocinetico si sono eseguiti i seguenti passi:

- viene impostato un carico dell'80% del massimale isocinetico,
- vengono chiesti valori di soreness e la scala di Borg per evidenziare uno stato di recupero delle funzioni muscolari,
- si richiede al soggetto di eseguire due ripetizioni con il suddetto carico.

Nel caso in cui il soggetto riuscisse a eseguire le due ripetizioni senza aiuti, il carico viene alzato del 10%, concedendo un recupero completo si procede in questo modo fino a quando il soggetto non è in grado di eseguire la seconda ripetizione. Nel caso in cui, dopo un aumento del carico del 10% il soggetto non riesca a concludere neanche la prima delle due ripetizioni allora il carico viene abbassato del 5%, andando così alla ricerca della 1RM isocarico. Una volta trovato il carico corrispondente al massimale isocarico vengono chiesti i valori di soreness e di RPE.

Nel caso delle sessioni realizzate nella sede di Cesena i soggetti sono stati testati su tutte e tre le macchine utilizzando la Leg Press in versione bipodalica classica, mentre per quanto riguarda la sessione svolta nell'università di Padova i soggetti hanno eseguito il test solamente sulla Leg Press in versione monopodalica, per i motivi già spiegati in precedenza.

4.3 Analisi dei Risultati

Prima di entrare nell'esposizione dei risultati di questo test, bisogna specificare che il test è stato svolto su:

- soggetti: 25 sulla chest press, 21 sulla vertical traction e 28 sulla Leg press (di cui 13 in modalità monopodalica)
- Sia popolazione maschile che femminile
- Età variabile compresa tra i venti e i sessant'anni

- Sia soggetti allenati, in maniere profondamente differenti, che non allenati

L'obiettivo era appunto quello di avere a disposizione misurazioni su un campione eterogeneo di soggetti in modo da poter attribuire i risultati emersi alla tecnologia utilizzata e non alle specifiche caratteristiche delle persone che hanno contribuito allo studio.

Dopo aver evidenziato la popolazione sulla quale è stato condotto lo studio vengono proposte le elaborazioni sui dati raccolti nella seguente tabella, dalle quali si evince una correlazione lineare quasi perfetta dai dati in base ai valori di R e R².

PRODUCT	SIDE	MODEL	RANGE	N _{TRAIN}	RMSE (kg)	MAPE (%)	R	R ²
CHEST PRESS	BILATERAL	LINEAR	005-065	25	3.8	0.045	0.991	0.981
LEG PRESS	ALL	LINEAR	030-060	28	15.7	0.074	0.962	0.926
	BILATERAL	LINEAR	020-050	13	22.2	0.057	0.980	0.960
	UNILATERAL	LINEAR	000-050	13	9.3	0.056	0.973	0.946
V. TRACTION	BILATERAL	LINEAR	055-095	21	2.4	0.035	0.996	0.993

Fig. 5 Tabella elaborazione dati dei test complessiva

Oltre ai valori presentati nella tabella, un altro dato che appare di notevole importanza, sono i valori dati dai soggetti sulle base delle scale di Borg e di Soreness. A parte soggetti che presentavano residui dell'allenamento del giorno precedente che identificavano valori di Soreness leggermente più elevati, i valori iniziali dello sforzo percepito erano tendenzialmente nulli o bassissimi, così come dopo il riscaldamento e alla fine del recupero posto tra il test isocinetico e quello isocarico (questo tempo è pensato per garantire un recupero completo delle funzioni al fine di non influenzare il test isocarico con la fatica del test isocinetico) prima di iniziare il test isocarico. Questo dato è importante per evidenziare il fatto che i soggetti erano nelle condizioni ottimali prima di iniziare il test e quindi potevano esprimere i valori massimi di forza.

Per quanto riguarda sempre i valori di RPE e Soreness ma, in questo caso, alla fine dei test in cui venivano richieste contrazioni massimali, i valori indipendentemente dal sesso, dall'età e dal grado di allenamento del soggetto risultavano essere vicine ai valori massimi

se non corrispondenti al massimo grado della scala, questo ci dimostra come le persone coinvolte nello studio abbiano, nei test massimali, garantito dei valori affidabili in quanto il loro sforzo percepito e la loro soreness muscolare alla fine del test fosse massima.

Data la volontà dello studio di trovare un test che non solo sia preciso e affidabile ma anche più veloce dei classici test diretti e indiretti di stima del massimale isocarico, è interessante riportare i dati relativi ai tempi impiegati nei test isocinetici e isocarico. Prendendo come esempio il caso della Leg Press, il test isocinetico si ha impiegato tempi che rientrano nel range tra i 20 e i 15 secondi mentre il test isocarico ha avuto come risultato tempi che ricadono nel range tra i 15 e i 10 minuti, evidenziando una notevole differenza di tempi.

4.4 Discussione

Per spiegare le, veramente piccole, differenze tra i dati sopracitati di R e R² e illustrati nella fig.5, si possono prendere in analisi le curve tempo-posizione e tempo-torque di cui viene illustrato un esempio relativo a uno dei soggetti testati nelle figure 6, 7 e 8. Inoltre, si specifica che, tra tutto l'arco del range of motion, è stato scelto il particolare intervallo di posizioni, evidenziato dal cambio di colore nei grafici, in quanto dopo una serie di prove è risultato quello migliore per individuare il picco di forza durante il lavoro isocinetico.

Per quanto riguarda la Chest Press, in riferimento alla Fig.6 che illustra la relazione tra tempo e posizione nei grafici della parte superiore e tra tempo e torque espresso nei grafici della parte inferiore nei test isocinetici, si evince che al momento dell'inizio della contrazione viene prodotta una forza per vincere la resistenza del carico che poi viene mantenuta pressoché costante fino alla parte finale del range of motion dove il torque inizia lentamente scendere, quando la contrazione concentrica finisce ed inizia la parte eccentrica, il ritorno nella posizione iniziale è aiutato dalla macchina quindi il torque, già in fase calante, decresce velocemente fino ai valori a riposo. Questa curva è determinata dal profilo di resistenza della macchina; infatti, la meccanica a bracci convergenti della

macchina implica un primo picco di forza per iniziare a spostare il peso ma poi permette una tensione tendente al costante durante la maggior parte del ROM¹. Tornando a fare riferimento alla Fig.5, ne risulta che la relazione tra i valori di contrazione massimale isocinetica e i valori di contrazione massimale isocarico risulta tendente a una linearità quasi perfetta dati i valori di $R=0.991$ e $R^2=0,981$ (coefficiente di bontà di adattamento alla retta), come si può vedere dalla Fig.7.

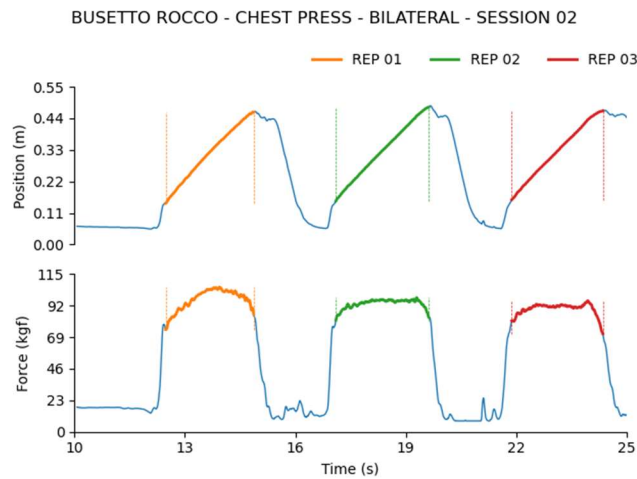


Fig.6 Curva F-t e F-posizione Chest Press R.B.

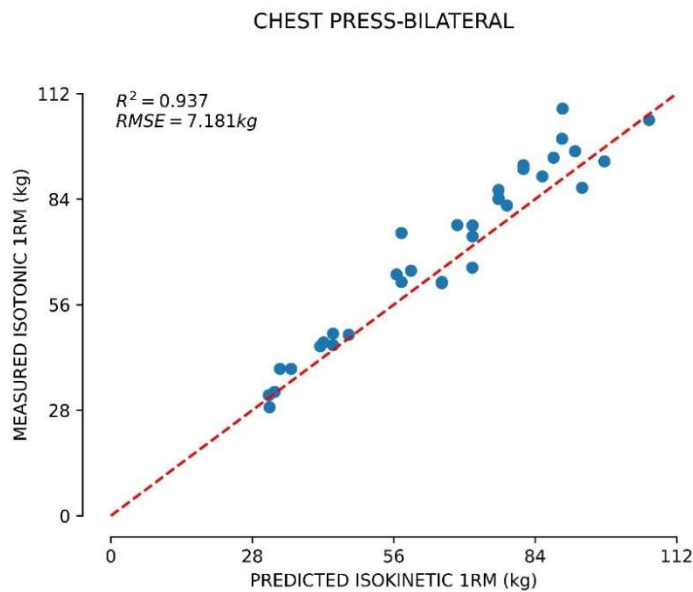


Fig. 7 Relazione tra misura isocinetica e isocarico Chest Press

¹ Paoli A., Neri. M., Bianco. A., Principi di Metodologia del Fitness, 7a edizione Erika Srl Editric, 2019

Parlando invece della Vertical traction, sempre facendo riferimento ai grafici della Fig.8 già spiegati nel caso della Chest Press, emergono delle somiglianze con quelli della Chest Press ma in questo caso viene prodotta una forza molto velocemente, che si traduce in un picco di torque iniziale, e poi essa decade velocemente fino a tornare ai valori iniziali. Questo grafico può essere spiegato dal profilo di resistenza della macchina; infatti, viene richiesto un picco di forza per iniziare la concentrazione ma poi la tensione da esercitare diviene velocemente minore man mano che si prosegue nel movimento. Facendo riferimento alla Fig. 5 si nota ancora una volta una correlazione lineare quasi perfetta leggermente più alta di quella della Chest Press, tra i dati di massima contrazione isocinetica e massima contrazione isocarico dati i valori di $R=0,996$ e $R^2=0,993$, come si denota dalla Fig.9

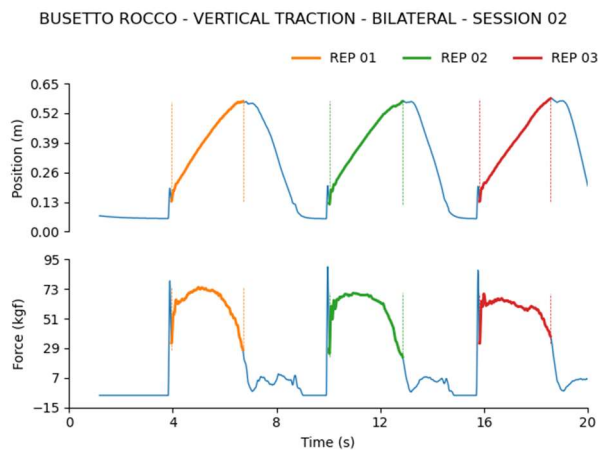


Fig.8 Grafico Vertical Traction R.B.

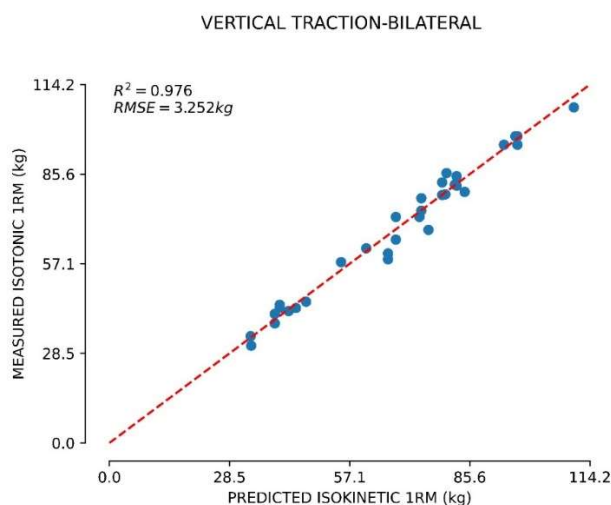


Fig. 9 Relazione tra misura isocinetica e isocarico Vertical Traction

Infine, per la Leg press, facendo riferimento alla Fig.10 contenente lo stesso tipo di grafici delle due macchine precedenti, si evince una sostanziale differenza, infatti, il picco di torque, a differenza dei due casi precedenti nei quali si trovava all'inizio del ROM, appare più spostato verso la metà del movimento costruendo così una curva che cresce velocemente nel primo tratto, presenta un picco circa nel mezzo per poi decrescere velocemente ai valori iniziali. In questo caso entra in gioco la relazione tra tensione e lunghezza dei muscoli estensori del ginocchio, in particolare del quadricipite femorale, coinvolti nel movimento. In questo caso il movimento parte da una posizione in cui i muscoli in questione sono in posizione di allungamento quindi, non alla loro lunghezza ottimale e questo non permette loro di esprimere la massima tensione possibile, procedendo nel movimento si arriva circa a metà del ROM alla lunghezza ottimale dei suddetti muscoli, ed è in questo momento che sono in messi nella condizione di esprimere il maggior quantitativo di forza, superato questo punto si trovano in accorciamento rispetto alla lunghezza ottimale e quindi la tensione comincia a decrescere. In ogni caso, anche per questo test, facendo riferimento alla fig.5, si può notare una correlazione lineare quasi perfetta, anche se risulta essere la minore dei tre esercizi, tra i dati del test isocinetico e del test isocarico, dimostrata dai valori di $R=0,973$ e $R^2=0,946$.

La linearità della Leg Press, come si evince dal grafico della Fig.11, risulta essere quella con più valori discostanti, questo è dovuto al fatto che il tracciato della Leg Press risulta essere il più difficile da registrare. In ogni caso Technogym sta lavorando per ovviare anche a questo problema che probabilmente è dovuto a come viene distribuito il carico tra contrazione isocinetica e isocarico.

BUSETTO ROCCO - LEG PRESS - LEFT - SESSION 05

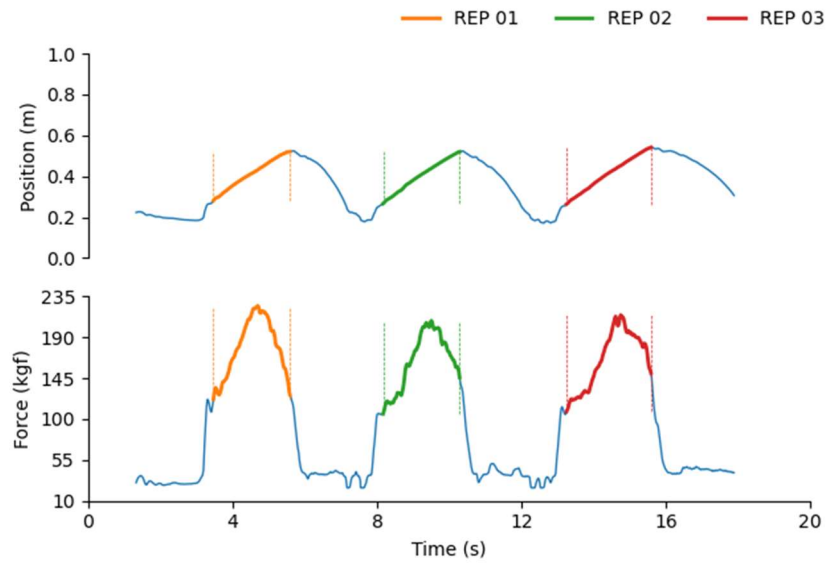


Fig.10 Grafico Leg Press Left R.B.

LEG PRESS-UNILATERAL

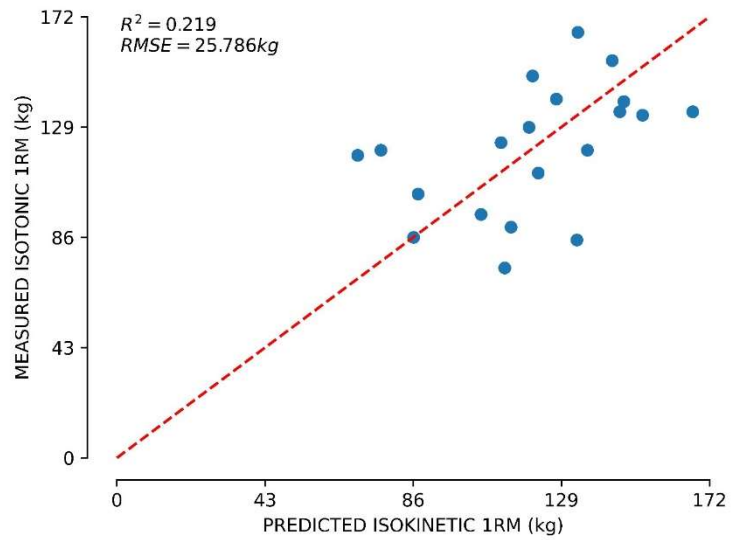


Fig. 11 Relazione tra misura isocinetica e isocarico Leg Press

Cap. 5 Conclusioni

Lo scopo dello studio era quello di trovare un test più veloce e più accurato dei classici metodi diretti e indiretti per la stima del massimale isocarico. Dopo aver preso in esame il funzionamento del muscolo dal punto di vista metabolico e meccanico riassumendo la teoria dei filamenti scorrevoli, aver considerato e analizzato la Forza muscolare nel suo sviluppo, nelle sue tipologie e nella sua espressione massimale, vista la conferma da parte della letteratura, come ad esempio lo studio svolto da Soderman et. Al nel 2010 dove tramite un dinamometro isocinetico viene dimostrata la correlazione dell'utilizzo dell'isocinetica per valutare l'allenamento isotonico e che dunque, unito alle nozioni ampiamente spiegate nel capitolo 3 di questa tesi, lega a doppio nodo la contrazione massima isocinetica alla contrazione massima isocarico.

Possiamo concludere che il test basato su tre contrazioni isocinetiche sui macchinari della linea Biostrength© di Technogym© volto a stimare la massima contrazione isocarico del soggetto risulta attendibile, accurato ed efficace vista la notevole correlazione lineare tra i dati relativi alle rispettive contrazioni massimali ed, infine, risulta essere anche nettamente più veloce dei canonici test di stima massimale diretti e indiretti.

Bisogna però specificare che nel caso della Leg Press la correlazione risulta essere meno forte ma, al fine di risolvere questo problema e fornire un test altrettanto valido anche per la Leg Press, Technogym© e i ricercatori dell'Università di Padova stanno procedendo con un disegno di ricerca più specifico.

BIBLIOGRAFIA

- Sherwood L.; Fondamenti di fisiologia umana, 4a edizione italiana Piccin: Francesca Bodega, Dario Brambilla, Gabriella Cerri, Marcella Montagna e Chiara Sironi, 2012
- Weineck J.; L'allenamento ottimale, 2a ed. italiana. Torgiano: Calzetti Mariucci; 2009.
- McArdle W.D., Katch F.I., Katch V.L.; Exercise Physiology - Nutrition, Energy, and Human Performance, 7th edition Lippincott William & Wilkins, 2010
- Pignatti E.; Forza e Velocità – Allenamento differenziato per ogni sport, 3a edizione Edizioni Mediterranee, 1992
- Ha M, Han D. The relationship between knee joint angle and knee flexor and extensor muscle strength. J Phys Ther Sci. 2017 Apr;29(4):662-664. doi: 10.1589/jpts.29.662. Epub 2017 Apr 20. PMID: 28533606; PMCID: PMC5430269.
- Stastny, Petr & Lehnert, Michal & Tufano, James. (2018). Muscle Imbalances: Testing and Training Functional Eccentric Hamstring Strength in Athletic Populations. Journal of Visualized Experiments. 2018. 10.3791/57508.
- Hahn D, Olvermann M, Richtberg J, Seiberl W, Schwirtz A. Knee and ankle joint torque-angle relationships of multi-joint leg extension. J Biomech. 2011 Jul 28;44(11):2059-65. doi: 10.1016/j.jbiomech.2011.05.011. Epub 2011 May 28. PMID: 21621211.
- Paoli A., Neri. M., Bianco. A., Principi di Metodologia del Fitness, 7a edizione Erika Srl Editric, 2019
- Gulick DT, Chiappa JJ, Crowley KR, Scahde ME, Wescott SR. Predicting 1-RM isotonic knee extension strength utilizing isokinetic dynamometry. Isokin Exerc Sci. 1998;7:145 – 50.
- Knapik JJ, Wright JE, Mawdsley RH, Braun J. Isometric, isotonic, and isokinetic torque variations in four muscle groups through a range of joint

motion. *Phys Ther.* 1983 Jun;63(6):938-47. doi: 10.1093/ptj/63.6.938.
PMID: 6856681.

- Knapik JJ, Wright JE, Mawdsley RH, Braun JM. Isokinetic, isometric and isotonic strength relationships. *Arch Phys Med Rehabil.* 1983 Feb;64(2):77-80. PMID: 6824423.
- Knapik JJ, Ramos MU. Isokinetic and isometric torque relationships in the human body. *Arch Phys Med Rehabil.* 1980 Feb;61(2):64-7. PMID: 7369840.
- Söderman, Kerstin & Lindström, Britta. (2010). The relevance of using isokinetic measures to evaluate strength. *Advances in Physiotherapy.* 12. 194-200. 10.3109/14038196.2010.507783.

Ringraziamenti

Ringrazio il gentilissimo prof. Franchi e Technogym per la bellissima opportunità concretizzata in questa tesi.

Ringrazio mio papà per avermi insegnato a combattere per quello a cui tengo, anche senza parole.

Ringrazio mia sorella per aver creduto nel nostro rapporto.

Ringrazio la Banda Spericolata per avermi dato un'identità e per avermi insegnato a credere in me .

Ringrazio Medu per avermi fatto conoscere la Banda e per essere ancora un fratello nato da un'altra madre, qualcuno direbbe fratello gemello.

Ringrazio Ale, Vesco, Tommy, Fina e il Mammuth per essere i miei Amici, e per essere sempre la scelta migliore che io possa fare.

Ringrazio Asia per avermi cresciuto e per essere sempre stata dalla mia parte e per aver sempre creduto in me.

E infine ringrazio LA mia mamma per essere e per rimanere, la persona più importante della mia vita.