



**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
DI GENOVA**

DIPARTIMENTO DI MEDICINA E CHIRURGIA
CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN
SCIENZE E TECNICHE DELLO SPORT
(CLASSE LM-68)

“La risposta inibitoria in atleti di alto livello e nelle persone sane”

RELATORE:

DOTT. PUCE LUCA

CANDIDATO:

BIAGIOLI MATTEO

MATRICOLA N. 5283587

ANNO ACCADEMICO 2022/2023

Sommario

1. Introduzione:	1
1.1 Cos'è la paratonia.....	1
1.2 Patogenesi:.....	2
1.3 Diagnosi e classificazione della severità della paratonia:.....	3
1.4 Paratonia facilitatoria ed oppositoria:	5
1.5 circuiti inibitori e soggetti sani:	6
1.6 i test per la valutazione dei circuiti inibitori:.....	7
1.7 Obiettivi della tesi:	8
2. Materiali e metodi:	8
2.1 Soggetti(criteri di inclusione ed esclusione...):	8
2.2 Procedura sperimentale:	9
2.3 Analisi dei dati:.....	11
3. Risultati:	12
3.1 Paratonia facilitatoria ed oppositoria:	16
3.2 Differenze sport-specifiche:	17
4. Discussione e conclusione:	20
5. Bibliografia e sitografia:	21

1. Introduzione:

1.1 Cos'è la paratonia

La paratonia viene descritta come una forma di ipertonìa tipica di patologie neurologiche, come la demenza o il morbo d' Alzheimer, la quale si caratterizza per una involontaria variazione del tono muscolare, quindi della resistenza che si oppone alla mobilizzazione passiva durante il movimento. L' entità della resistenza varia in base alla velocità cui viene sottoposto l' arto mobilizzato(all' aumentare della velocità del movimento aumenta la risposta paratonica quindi la resistenza). Inoltre, la resistenza alla mobilizzazione passiva avviene in qualunque direzione . La gravità della paratonia è direttamente proporzionale allo stadio della demenza *(1. Hobbelen et al. 2006)*.

Si stima che la paratonia sia estremamente diffusa tra i soggetti con un deterioramento cerebrale: circa il 5% dei soggetti che presentino un leggero declino cognitivo(MCI) e pressochè il 100% dei soggetti con demenza conclamata, risultano essere affetti da paratonia.*(2. Vahia et al. 2006)*

In stadi avanzati di demenza, la paratonia nei soggetti più gravi, può portare ad assumere posizioni caratteristiche (definita anche posizione fetale) data dalla postura del soggetto che presenta una flessione degli arti superiori ed una flessione associata ad un' adduzione degli arti inferiori; questo fenomeno è principalmente dato dallo svilupparsi di contratture tipicamente agli arti, che contraddistinguono il soggetto paratonico in stadio avanzato. Ciò porta oltre alla difficoltà motoria nel soggetto, talvolta persino dolore durante il movimento ed un possibile sviluppo di infezioni e piaghe date dalla immobilizzazione in questa posizione per un periodo di tempo prolungato. Inutile dire che in tali condizioni il soggetto ha difficoltà anche nelle ADL(activity of daily living). *(3. Drenth et al. 2020)*.

Con il graduale declino cognitivo che accompagna le patologie cerebrali(demenza, alzheimer...) il soggetto manifesta notoriamente un controllo motorio, ma soprattutto emotivo notevolmente ridotti; infatti stimoli sgradevoli come un forte rumore, un contatto improvviso con un' altra persona od un' ambiente non confortevole possono sviluppare uno stato di ansia o agitazione che porta ad esacerbare l' atteggiamento paratonico. Ciò suggerisce come soprattutto in soggetti in stadio avanzato sia importante anche l' ambiente che li circonda, poiché rappresenta un possibile amplificatore delle problematiche sopracitate *(4. Liduin et al. 1997)*.

1.2 Patogenesi:

Riguardo alla patogenesi della paratonia, ci sono ancora molti dubbi su quale sia esattamente la vera causa del fenomeno; il problema infatti potrebbe derivare da un'alterazione a livello del sistema nervoso centrale (SNC) della risposta inibitoria dello stimolo motorio a livello corticale, tipicamente dovuto ad una lesione del lobo frontale, molto comune fra i soggetti con deterioramento cognitivo (morbo di Alzheimer, Parkinson...)(5. *Beversdorf et al.1998*)

Un'altra ipotesi che sembrerebbe spiegare lo sviluppo della paratonia nei pazienti con Alzheimer, proviene dallo studio già citato "*Neuromotor Changes in Alzheimer's Disease: Implications for Patient Care*" di Liduin et al. I quali teorizzano che lo sviluppo della paratonia sia analogo all'aumento del tono muscolare del neonato come meccanismo di difesa quando viene bruscamente mosso, con il fine di stabilizzare la sua postura. Infatti, questo riflesso aiuta a mantenere in linea la testa, il collo e gli arti; sebbene con la crescita di un individuo sano questo meccanismo tenda a scomparire, grazie allo sviluppo a livello corticale che permette un maggior controllo neuromotorio, nel soggetto con Alzheimer e quindi declino cognitivo viene perso questo controllo e quindi riemerge il riflesso infantile.

Tuttavia, nessun dato effettivo ad oggi ha permesso di poter confermare tale ipotesi.

Ciò nonostante, sebbene il declino cognitivo, quindi il deterioramento cerebrale, sia sicuramente un fattore che gioca un ruolo chiave nella genesi della paratonia in soggetti con demenza più o meno avanzata, non è da escludere un'altra possibile causa, la quale però ha origine a livello periferico del corpo umano; si tratta degli AGE's (advanced glycation end products) i quali sono composti che si formano quando le proteine o certi tipi di grassi reagiscono con degli zuccheri, grazie ad un processo chiamato glicazione portando alla formazione di queste proteine o grassi modificati. Gli AGE's sono definiti anche glicosidanti, poiché agiscono come ossidanti, talvolta a causa delle loro proprietà tossiche vengono anche chiamati glicotossine; quindi in condizioni elevate portano l'organismo in uno stato di stress ossidativo, infiammazione cronica, fibrosi e rigidità muscolare.

È importante dire che gli AGE's sono prodotti sia per via endogena, quindi formati all'interno dell'organismo in quanto prodotti metabolici che aumentano particolarmente con l'invecchiamento o in uno stato iperglicemico, ma possono anche essere assunti per via esogena attraverso la dieta. Inoltre, si è visto che in soggetti con patologie cerebrali correlate all'invecchiamento quali morbo d'Alzheimer e la demenza, lo sviluppo di AGE's era fino a 10 volte superiore rispetto ad un individuo sano.(6. *Zuidema et al. 2018*)

In un individuo sano di giovane età questi prodotti di scarto vengono normalmente escreti in modo proporzionale rispetto a quanto ne vengono prodotti, tuttavia con l'

invecchiamento e/o in presenza di declino cognitivo secondario a patologie neurocognitive come citato sopra, si ha uno sbilanciamento a favore dell' accumulo di quest' ultimi, i quali tendono a depositarsi in alcuni tessuti specifici come muscoli, tendini ed il derma della pelle. Di conseguenza questo accumulo a livello muscolo-tendineo porta ad un aumento del collagene ed una conseguente perdita di viscoelasticità dei tessuti, il che potrebbe spiegare l' aumento del tono e quindi la rigidità muscolare percepita nel soggetto paratonico. (7.Drenth et al. 2020). Inoltre, a livello del sistema nervoso centrale stimolano la produzione di ROS(specie reattive all' ossigeno) inducendo l' organismo in uno stato infiammatorio.

1.3 Diagnosi e classificazione della severità della paratonia:

Uno degli strumenti più diffusi che permettono di identificare la presenza o meno della paratonia è il PAI(paratonia assessment instrument). Questo strumento è stato realizzato grazie ai punti chiave della definizione stessa di paratonia, i quali sono stati estrapolati e riassunti in cinque criteri essenziali che permettono di diagnosticare efficacemente un possibile soggetto paratonico.

La valutazione clinica attraverso il PAI consiste nella mobilizzazione passiva del soggetto, il quale può essere posizionato o seduto o sdraiato supino; Intanto l' esaminatore valuterà la resistenza al movimento attraverso la flessione- estensione di spalle, anche e gomiti, grazie ad una mobilizzazione inizialmente lenta ed incrementando nel tempo la velocità.

(vedi Figura 1).

La presenza di paratonia sarà confermata solo se i seguenti cinque punti risultano positivi:

1. Una variabile ed involontaria resistenza durante la mobilizzazione passiva
2. Nessun fenomeno di "coltello a serramanico"
3. La resistenza offerta dalla mobilizzazione passiva avviene in qualunque direzione
4. La resistenza può manifestarsi sia in due direzioni dello stesso arto, o in due arti diversi
5. Il grado della resistenza è direttamente proporzionale alla velocità del movimento



Figura 1: Valutazione clinica della paratonia attraverso il PAI, compiendo la mobilizzazione di spalla, gomito ed anca, in flessione ed estensione. (Diagnosing paratonia in the demented elderly: reliability and validity of the Paratonia Assessment Instrument (PAI). S. Johannes et al. International psychogeriatric. 2008.

Tale strumento di valutazione, oltre ad essere valido ed affidabile, è anche estremamente pratico poiché non richiede un particolare possesso di dispositivi da laboratorio; inoltre grazie ai cinque criteri di valutazione rende possibile la distinzione fra paratonia, rigidità parkinsoniana e spasticità. (8.Hobbelen et al. 2008).

Un' altro strumento di valutazione per l' identificazione della paratonia, è l' elettromiografia di superficie(EMG), la quale consente oltre che individuare la presenza o meno di paratonia nel soggetto, di quantificarla definendo la gravità di quest'ultima. Ciò lo rende un dispositivo estremamente rilevante nell'ambito clinico poiché a differenza delle scale valutative, come nel caso della PAI, in cui è anche l' abilità dell' esaminatore a determinare l' efficacia o meno della rilevazione, con l' EMG, poiché strumento quantitativo ed estremamente sensibile, è sicuramente più semplice ed affidabile il monitoraggio. (9. Marinelli et al. 2017)

Un altro dispositivo che sembra essere promettente per la valutazione della paratonia è il Myotonpro; si tratta di un apparecchio portatile che permette di misurare obiettivamente

il tono muscolare e le proprietà biomeccaniche del muscolo(elasticità, stiffness muscolare...). È uno strumento non invasivo il quale dopo essere stato poggiato sulla cute al di sopra del muscolo target del soggetto esaminato, evoca un piccolo movimento passivo del ventre muscolare, che ne consente la captazione delle proprietà muscolari. (10. *Van Deun et al. 2018*).

1.4 Paratonia facilitatoria ed oppositoria:

È importante dire che esistono due differenti tipi di paratonia: la paratonia oppositoria o inibitoria, chiamata successivamente “gegenhalthen” che si manifesta attraverso la resistenza involontaria del soggetto, quindi l’ inabilità di rilassarsi, al movimento passivo e la paratonia facilitatoria chiamata “mitgehen” in cui il soggetto al contrario favorisce involontariamente il movimento passivo.

Entrambi i tipi sono associati ad un deterioramento cognitivo e/o a patologie neurologiche (*Beversdorf et al. 1998*)

Inoltre, si è visto che con l’ evolversi del declino cognitivo e l’ invecchiamento, ci sia un graduale passaggio dalla paratonia di tipo facilitatorio, presente nello stadio iniziale quindi meno grave, ad una paratonia oppositoria, tipicamente presente negli stadi più critici della patologia cerebrale. (*Hobbelen et al. 2008*)

Ciò suggerisce che il fenomeno paratonico sia estremamente diffuso, poiché presente dai soggetti con lieve declino cognitivo, ai soggetti con problematiche conclamate vere e proprie come il morbo d’ Alzheimer. (*Marinelli et al.2022*)

Invece, parlando del ruolo del movimento inerente la paratonia, si è visto che la ripetizione della mobilizzazione passiva di un arto ripetuta nel tempo, esacerbava la presenza del fenomeno paratonico nel soggetto, indipendentemente dal tipo di paratonia manifestata.

(*Marinelli et al. 2017*).

1. 5 circuiti inibitori e soggetti sani:

Nei muscoli normotonici di soggetti sani, la mobilitazione passiva a velocità inferiori a quelle in grado di evocare il riflesso di stiramento fasico può generare attività sia nel muscolo che si allunga sia in quello che si accorcia. Questo fenomeno è stato oggetto di diversi studi che hanno utilizzato l'elettromiografia di superficie (EMG), ma i meccanismi patogenetici e gli aspetti fisiopatologici di tale attività non sono ancora stati completamente indagati.

In un recente studio su un ampio campione di soggetti sani e con deficit cognitivo (*Marinelli et al., 2022*), è stato osservato che l'attività elettromiografica nei muscoli normotonici di soggetti sani durante la flessione-estensione del gomito presenta caratteristiche simili alla paratonia riscontrata nei soggetti patologici.

È stata osservata un'attività predominante nel muscolo bicipite brachiale rispetto al muscolo tricipite brachiale e l'intensità di questa attività era correlata alla velocità del movimento. Questa attività aumentava con i movimenti passivi ripetuti e, soprattutto, durante i movimenti sinusoidali rispetto a quelli lineari.

Pertanto, è stato dedotto che questa attività EMG rappresentava una sorta di paratonia subclinica, con un'ampiezza dell'elettromiogramma significativamente inferiore rispetto alla paratonia manifesta, essendo troppo lieve per essere rilevata dall'esaminatore clinico.

È ampiamente riconosciuto che la paratonia rappresenta una forma di disinibizione corticale causata dalla disattivazione dei circuiti inibitori cortico-corticali che normalmente agiscono sull'area motoria primaria, impedendo l'esecuzione di movimenti indesiderati. (*Berversdorf et al. 1998*)

Questo controllo inibitorio è fondamentale quando il soggetto è in un ambiente che può variare velocemente, come può essere per gli atleti d' elite durante competizioni d' alto livello. (*Brevers et al. 2018*). Ad oggi, la risposta inibitoria nelle persone sane, è stata studiata con test inerenti al tempo di reazione come Go-no go task... (*vedi paragrafo 1.6*) i quali tuttavia non sono risultati efficaci per la valutazione specifica dei circuiti inibitori, in quanto coinvolgono anche altri circuiti neurali (*Garcia et al. 2023*).

Da un punto di vista teorico, questa forma subclinica di paratonia, potrebbe rappresentare un nuovo metodo per esaminare la risposta inibitoria nei soggetti sani.

Molti studi presenti in letteratura, evidenziano come la risposta inibitoria sia notevolmente migliore negli atleti d' elite rispetto a soggetti sedentari; (*Brevers. et al.2018*).

La presenza di questa attività EMG, anche in soggetti sani e normotonici indica, da un lato, che questi circuiti non sono in grado di fornire un controllo perfetto anche in situazioni di normalità fisiologica del sistema nervoso e, dall'altro, l'analisi della sua ampiezza e delle sue caratteristiche potrebbe permettere di valutare il corretto funzionamento di questi circuiti.

1.6 i test per la valutazione dei circuiti inibitori:

Ad oggi in letteratura sono diversi i test utilizzati per la valutazione dell' efficienza dei circuiti inibitori nelle persone sane; tra i più comuni ritroviamo il Go/ No go task, lo Stroop test e l' Eriksen flanker task. (*Garcia et al.2023*). Questi protocolli sono tutti basati sulla valutazione dei tempi di reazione, ma attraverso aspetti diversi inerenti il controllo della risposta inibitoria; ciò è ben visibile anche grazie all' ispezione attraverso le tecniche di neuroimaging, le quali mostrano chiaramente che durante queste prove, sono coinvolti circuiti neurali differenti tra una prova e l' altra. (*Swick et al.2011*).

- **Go/ No go task:** il test consiste nel far premere al soggetto esaminato un bottone quando nel display compare il comando "premere", e nel non premere quando compare " non premere". I due comandi appaiono una alla volta ed in sequenza e in modo casuale. Il focus di questa prova è quello di vedere l' abilità nell' inibizione al comando negativo. (*Gomez et al.2007*).
- **Eriksen Flanker task:** L' impostazione di questo test è abbastanza semplice: al soggetto viene mostrato su un display una sequenza di stimoli target(frecce, colori...); per ogni prova lo stimolo target è mostrato al centro dell' immagine, il quale è fiancheggiato da stimoli distrattori posti su entrambi i lati. La versione classica è rappresentata da delle frecce e il soggetto dovrà cliccare il più velocemente possibile la freccia destra o sinistra della tastiera, in base alla freccia target rappresentata, senza farsi confondere dalle altre frecce, che sono dei distrattori. Più sono veloci e corrette le risposte e migliore sarà il tempo di reazione del soggetto esaminato. (*Ulrich et al. 2021*)
- **Stroop test:** è uno dei test più utilizzati per misurare il controllo inibitorio; quest' ultimo consiste nel sottoporre al soggetto il nome di un colore, il quale però è scritto con tonalità diversa rispetto al suo significato.(ad esempio si riporta la parola giallo, ma viene scritta con tonalità verde). Lo scopo del soggetto è di dire a voce alta nel minor tempo possibile la tonalità della parola e non il suo significato. In tale test quindi, il significato della parola riportata rappresenta un fattore distraente per il soggetto.
Come detto in precedenza, questi protocolli sono tra i più comuni per la valutazione della risposta inibitoria; Tuttavia nessuno di essi rappresenta un test specifico per la sua valutazione, in quanto oltre ai circuiti inibitori a livello corticale, coinvolgono anche altri circuiti neurali. (*Garcia et al.2023*).

1.7 Obiettivi della tesi:

Di conseguenza, per valutare se effettivamente questa forma subclinica della paratonia, possa essere un nuovo metodo di valutazione capace di esaminare la risposta inibitoria nei soggetti sani, nel presente studio abbiamo indagato la presenza di questa forma subclinica di paratonia, in tre gruppi di soggetti sani: sedentari, atleti dilettanti ed atleti professionisti.

2. Materiali e metodi:

2. Soggetti(criteri di inclusione ed esclusione...):

Per il seguente studio sono stati reclutati 109 partecipanti, di cui 59 erano soggetti sedentari, 25 amatori(quindi praticavano attività fisica ma senza svolgere competizioni agonistiche) e 25 atleti professionisti. (vedi **Figura 2**).

Per permettere la classificazione fra le tre differenti categorie della popolazione(sedentari, amatori ed atleti d' élite), abbiamo evidenziato, tramite un colloquio valutativo, la classe d' appartenenza dell' individuo;

Si può considerare un soggetto sedentario, quando durante la sua quotidianità rimane in posizione sdraiata o seduta(ad esempio, per lavorare al computer o guardare la televisione), o svolge comunque attività nelle quali il dispendio energetico è minimo(minore di 1,5 equivalenti metabolici per più di 8 ore/die.(*Tremblay et al. 2017*) .

Un soggetto amatore invece, è una persona che svolge attività sportiva, ma lo fa per hobby o per piacere personale senza trarne profitto; quest' ultimi partecipano alle competizioni con lo scopo di divertirsi, per adempimento personale o per migliorarsi. Fanno parte degli atleti professionisti, tutti coloro che svolgono la loro disciplina sportiva in quanto loro principale occupazione o fonte di reddito e che quindi occupa la gran parte del loro tempo quotidiano.

Tra i 25 atleti professionisti troviamo una distribuzione di discipline sportive specifica : 7 nuotatori, 7 giocatori di baseball, 6 schermatori e 5 praticanti atletica leggera.

D' altra parte fra gli atleti amatori, è presente un po' di tutto.

Tutti i soggetti reclutati erano sani, ed avevano un' età compresa fra i 25-35 anni; inoltre, sono stati reclutati principalmente fra gli specializzandi all' interno dell' ospedale policlinico San Martino di Genova e l' ambiente universitario.

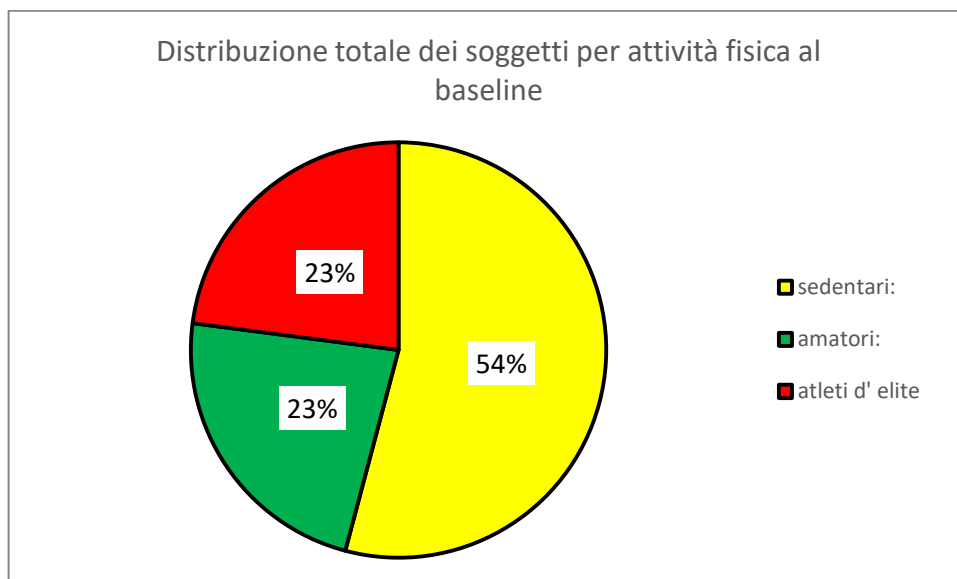


Figura 2: Distribuzione percentuale dei livelli d' attività fisica al baseline

2.2 Procedura sperimentale:

Per l' analisi della paratonia in questo studio ci siamo affidati ad uno strumento di misurazione che potesse fornire dei feedback quantitativi ed affidabili: l' elettromiografia di superficie(EMG). L' utilizzo di tale sperimentazione è stata resa necessaria dal fatto che, a differenza dei soggetti con importante deterioramento cognitivo e quindi presenza importante di paratonia, la quale è in tal caso facilmente riscontrabile anche attraverso una semplice valutazione manuale dell' esaminatore attraverso la mobilizzazione(vedi PAI descritto sopra), nei soggetti sani poiché l' entità paratonica è notevolmente ridotta, necessitava uno strumento molto sensibile.

La rilevazione dell' attività elettromiografica è stata svolta attraverso l' utilizzo di due elettrodi posti sul braccio del soggetto esaminato, cercando di porli a maggior distanza possibile l' uno dall' altro, in modo da ridurre il cross-talk.

Il primo è stato posto sopra il ventre muscolare del bicipite brachiale più o meno in posizione centrale, mentre l'altro posteriormente situato sul tricipite brachiale, in modo da rilevare l'attività muscolare in ambedue i punti.

Il test consisteva in una mobilizzazione passiva del braccio del soggetto, attraverso il movimento di flessione-estensione del gomito, il quale avveniva nel seguente modo:

- Venivano effettuate 10 flessioni-estensioni del braccio sinusoidali, ovvero con cadenza regolare e consecutive, quindi senza fermarsi, il quale ritmo del movimento veniva scandito da un metronomo di frequenza pari a 60 BPM- battiti per minuto(cadenza del ritmo con intervalli di 1 secondo)(Figura 3 A).

Tale velocità è stata scelta poiché sembra essere la più indicata per le prove di valutazione del tono muscolare, in quanto consente un timing di movimento accurato da parte dell'esaminatore e quindi una facile riproducibilità nel tempo per tutta la prova. (Marinelli et al. 2017).

Inoltre, la scelta di compiere movimenti sinusoidali durante la valutazione è data dal fatto che sembra essere la tecnica di mobilizzazione più efficace per la rilevazione della paratonia, in quanto la ripetizione consecutiva di un determinato gesto porta ad esacerbare il fenomeno paratonico(11.Marinelli et al. 2022).

Attraverso l'EMG di superficie, è possibile vedere in tempo reale l'eventuale attività neuromotoria tramite un apposito monitor, il che permette di distinguere a seconda del momento in cui compare l'impulso, il tipo di paratonia, se facilitatoria o oppositoria; Infatti, durante la flessione del braccio, un'attivazione del bicipite, indicherebbe la facilitatoria in quanto aiuta il movimento, mentre al contrario un'attivazione del tricipite indicherebbe l'oppositoria, poiché si oppone ad esso.(Figura 3 B).

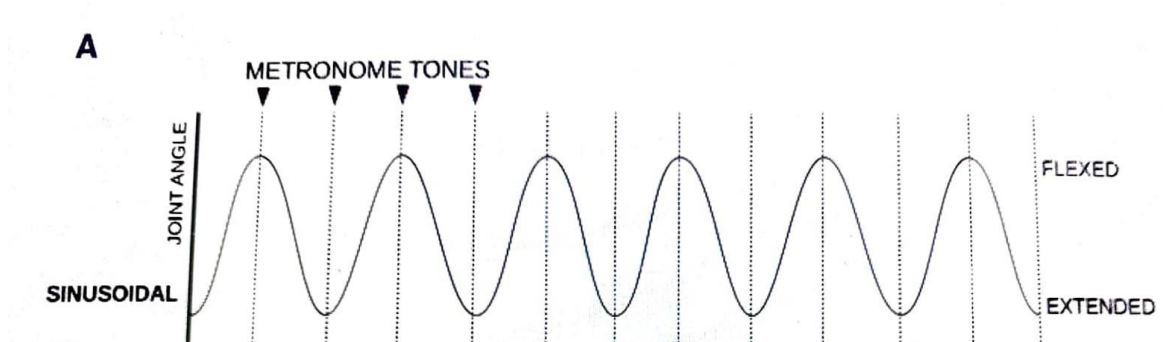


Figura 3 A: Rappresentazione dell'analisi elettromiografica nei soggetti, attraverso la modalità sopra citata. (*Electromyographic assessment of paratonia*, L. Marinelli et al. Experimental brain research. 2017).

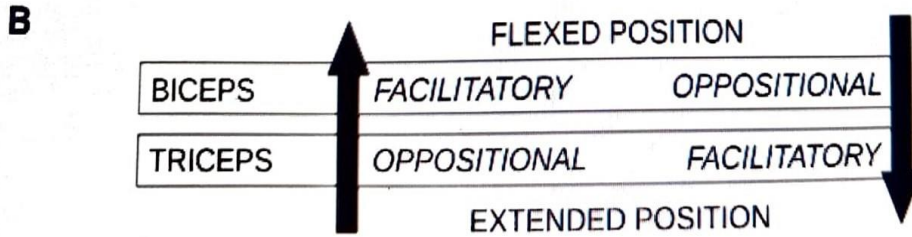


Figura 3 B: differenza del timing della comparsa dell' impulso neuromotorio, che permette di distinguere il tipo di paratonia. (*Electromyographic assessment of paratonia*, L. Marinelli et al. Experimental brain research. 2017).

L' arto sul quale rilevare l' attività elettromiografica è stato scelto casualmente nei soggetti, in modo da evitare l' analisi su un solo emisfero cerebrale.

I soggetti esaminati venivano fatti accomodare su una sedia durante l' esame e venivano invitati a rilassarsi, evitando di aiutare o opporsi alla mobilizzazione passiva da parte dell' esaminatore.

Nel frattempo quest' ultimo, in sincronia con il metronomo muoveva il braccio del soggetto esaminato in modo fluido e costante, attraverso un movimento di flessione-estensione articolare del braccio completa;

Prima di ogni misurazione veniva fatta una rilevazione di prova con il soggetto a riposo (quindi in posizione statica) con lo scopo di vedere se fosse presente dell' attività elettromiografica nei due gruppi muscolari anche in assenza di movimento, quindi di capire se fosse totalmente rilassato o meno.

Dopo il test, ogni soggetto veniva fatto riposare per 30 secondi e successivamente si procedeva ad una rilevazione elettromiografica di una contrazione massimale volontaria sia del movimento di flessione(quindi del bicipite) che del movimento di estensione(quindi del tricipite) da parte del soggetto per una durata di circa 5 secondi, con lo scopo di confrontare le rilevazioni ottenute, comparandole con la capacità del massimo reclutamento neuromotorio dell' individuo.

2.3 Analisi dei dati:

Il segnale EMG è stato processato seguendo questa sequenza di operazioni: Filtraggio con passa-alto a 20 Hz e poi rettificati. Involuppo con passa-basso a 5 Hz. Con lo scopo di comparare i risultati dell' EMG fra i soggetti, si è proceduto alla normalizzazione rispetto alla massima contrazione isometrica volontaria, espressa in microvolt(μV). Interpolazione

a 101 punti per il movimento in flessione e 101 punti per quello in estensione. Creazione di un intervallo di attivazione per la flessione ed estensione, ottenuto dalla media dei 10 movimenti. Percentualizzazione dei 202 punti, in cui 0% rappresenta l'inizio della flessione, 50% la fine della flessione, 51% l'inizio dell'estensione e 100% la fine dell'estensione.(vedi asse x **Figura 4 A e B**).

3. Risultati:

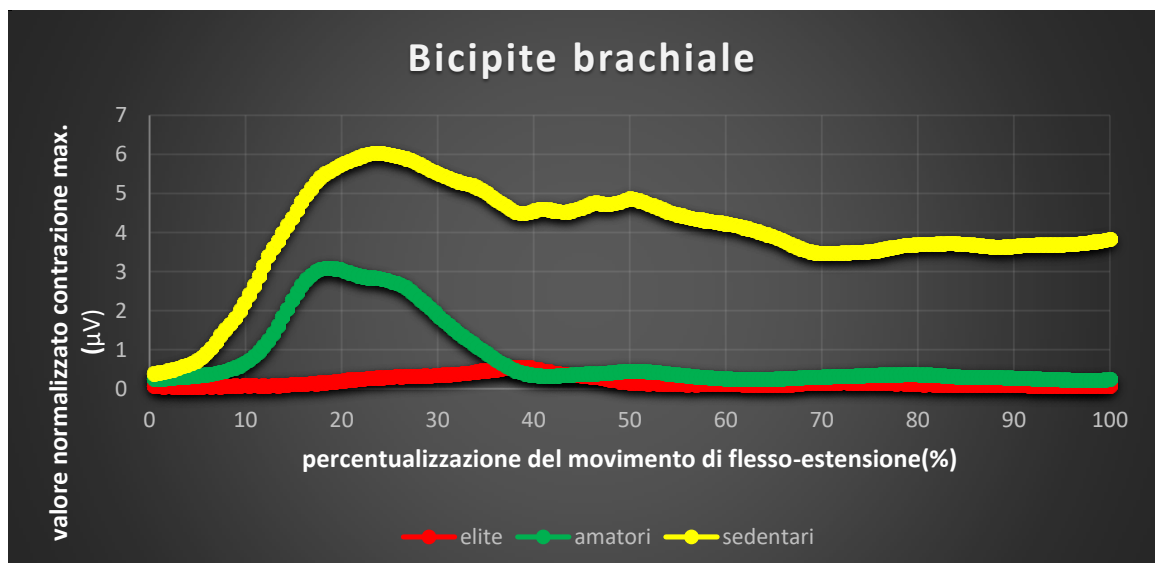


Figura 4 A: Analisi elettromiografica della paratonia nel muscolo bicipite brachiale dei tre gruppi

Tutti i dati ottenuti attraverso l'EMG sono stati riportati su due grafici, in cui nel primo (**Figura 4 A**) viene rappresentata la presenza di paratonia rilevata nel muscolo bicipite brachiale, mentre nel secondo (**Figura 4 B**) si riporta l'attività neuromuscolare rilevata nei tre gruppi, ma a livello del tricipite brachiale.

In entrambi i grafici sono riportati i valori dell'attività paratonica totale nei tre gruppi (sedentari, amatori ed atleti d'élite) in modo da poterli facilmente confrontare fra loro. Il

valore totale di ogni gruppo è dato dalla media dei valori rilevati per ogni individuo all'interno dello stesso gruppo (*mean EMG*), la quale viene rappresentata da un colore diverso per ciascun gruppo d'appartenenza.

Inoltre, come precedentemente detto nell'analisi dei dati, si è rappresentato il rom articolare completo (*range of motion*) del movimento di flessione-estensione del gomito, trasformandolo in valore percentuale (*asse y Figura 4 A-B*), in cui lo 0% rappresenta l'inizio della flessione che avviene fino al 50%, punto in cui termina il movimento di flessione del gomito ed al 51% inizia il movimento di estensione che perdura fino al valore 100%, il quale ne rappresenta la fine.

Nel momento in cui rileviamo la presenza sub-paratonica, tale percentualizzazione ci consente di capire e quindi distinguere all'istante, attraverso una semplice osservazione del grafico, il tipo di paratonia (facilitatoria o oppositoria).

I risultati ottenuti sono in linea con la nostra ipotesi di partenza in quanto:

Osservando la rilevazione EMG del bicipite brachiale (**Figura 4 A**), è possibile individuare facilmente la presenza di una marcata sub-paratonia nel gruppo dei sedentari, di gran lunga maggiore rispetto agli altri due gruppi; Si rileva seppur lieve, dell'attività EMG anche fra il gruppo degli amatori e totalmente assente invece negli atleti d'élite.

Biceps						
Percentage	Main effect		post-hoc (sedentari Vs amatori)			
	F	P	mean ± std	mean ± std	diff. %	p
0%-50%	8,65	0,002	5,42±0,62	2,41±0,70	45%	0,001
51%-100%	5,98	0,008	3,69±0,45	0,71±0,17	81%	>0,05
Percentage	Main effect		post-hoc (sedentari Vs agonisti)			
	F	P	mean±std	mean±std	diff. %	p
0%-50%	8,65	0,002	5,42±0,62	0,71±0,14	87%	0,009
51%-100%	5,98	0,008	/	/	/	/
Percentage	Main effect		post-hoc (amatori Vs agonisti)			
	F	P	mean±std	mean±std	diff.%	p
0%-50%	8,65	0,002	2,41±0,70	0,71±0,14	71%	0,001
51%-100%	5,98	0,008	/	/	/	/

Tabella 1 A: Valori medie dei tre gruppi a confronto nella rilevazione del muscolo bicipite brachiale; in giallo è rappresentata la differenza in percentuale tra i gruppi a confronto

Come si evince dai dati della tabella, i quali riflettono l'andamento dei valori rappresentato nel grafico di **Figura 4 A**, è possibile quantificare le differenze dei valori medi fra i tre gruppi trasformati in valore percentuale per ottimizzare la comprensione e conoscere l'entità della differenza fra i gruppi.

Come analizzato nella **Tabella 1 A**, mettendo a confronto il gruppo dei sedentari e degli amatori, è possibile asserire che durante la fase di flessione del braccio (0-50%) a livello del bicipite brachiale, l'attività EMG rilevata nei sedentari ha valore superiore del 45% rispetto agli amatori; poiché si ha un p value di 0,001, possiamo dire che tale risultato è statisticamente significativo.

Invece durante la fase di estensione (51-100%), la differenza è persino superiore, arrivando all'81% fra i due gruppi. Anch'essa è significativa in quanto il p value è $>0,05$.

Nel confronto fra sedentari ed agonisti si raggiunge la massima differenza ottenuta nello studio, in linea con quanto detto in precedenza; infatti, durante la flessione del braccio (0-50%) si arriva ad avere una differenza fra i due gruppi in cui l'attività EMG rilevata nei sedentari è maggiore dell'87% rispetto agli agonisti, la quale è statisticamente significativa poiché p value è 0,009.

Nell'ultimo confronto tra amatori e agonisti durante la fase di flessione del braccio (0-50%), si può osservare una maggior attività EMG rilevata negli amatori, del 71% rispetto agli agonisti, la quale è statisticamente significativa poiché p value 0,001.

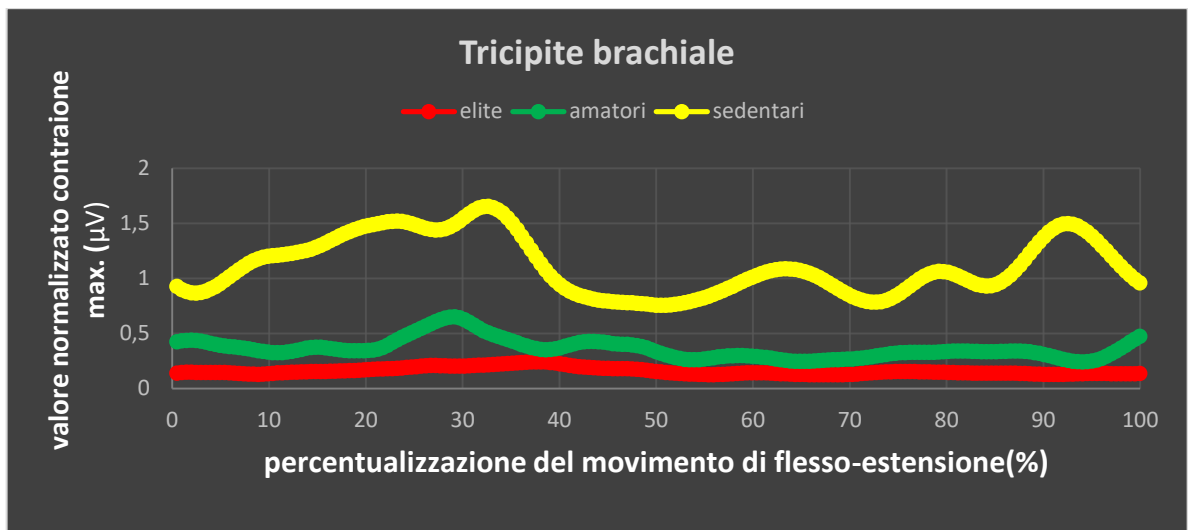


Figura 4 B: Analisi elettromiografica della paratonia nel muscolo tricipite brachiale dei tre gruppi

Per quanto riguarda l'EMG a livello del tricipite brachiale (**Figura 4 B**), l'attività paratonica è pressochè irrilevante per tutti e tre i gruppi in esame, seppur si noti una presenza appena più marcata, ma trascurabile fra i sedentari, in linea con i risultati ottenuti per la rilevazione nel bicipite brachiale.

Triceps						
Percentage	Main effect		<i>post-hoc (sedentari Vs amatori)</i>			
	F	P	mean ± std	mean ± std	diff. %	p
0%-50%	6,65	0,005	1,42±0,42	0,31±0,20	78%	0,005
51%-100%	4,48	0,008	1,11±0,25	0,41±0,17	63%	>0,05
Percentage	Main effect		<i>post-hoc (sedentari Vs agonisti)</i>			
	F	P	mean±std	mean±std	diff. %	p
0%-50%	6,65	0,005	/	/	/	/
51%-100%	4,48	0,008	/	/	/	/
Percentage	Main effect		<i>post-hoc (amatori Vs agonisti)</i>			
	F	P	mean±std	mean±std	diff.%	p
0%-50%	6,65	0,005	/	/	/	/
51%-100%	4,48	0,008	/	/	/	/

Tabella 1 B: Valori medie dei tre gruppi a confronto nella rilevazione del muscolo tricipite brachiale; in giallo è rappresentata la differenza in percentuale tra i gruppi a confronto

Come detto pocanzi, la rilevazione EMG. a livello del tricipite brachiale, evidenzia molto poco la differenza fra i gruppi, a causa di una minor attività EMG complessiva rilevata, rispetto al bicipite brachiale; infatti gli unici dati ottenuti che possiamo definire significativi, sono:

Nel confronto fra il gruppo dei sedentari e quello degli amatori, in cui durante la fase di flessione del braccio (0-50%) si trova una differenza notevole in cui i sedentari hanno un 78% in più rispetto gli amatori di attività EMG rilevata, la quale è significativa in quanto p value è 0,005.

Sempre nello stesso confronto, durante la fase estensoria(51-100%), una maggior rilevazione di 63% nei sedentari, con p value >0,05.

3.1 Paratonia facilitatoria ed oppositoria:

Grazie al rilevamento con l' elettromiografia di superficie, siamo riusciti oltre a rilevare l' entità della paratonia anche ad identificarne la tipologia, evidenziabile dall' attività neuromuscolare esacerbata durante una specifica fase del movimento di flessione-estensione del braccio.

Osservando la rilevazione EMG del bicipite brachiale(**Figura 4 A**), si osserva nel gruppo sedentari, una notevole attivazione del muscolo durante la fase di flessione del gomito, indice di paratonia facilitatoria, che raggiunge il suo picco attorno a metà del rom

articolare(valore corrispondente del 20-30%) e che tende poi a ridursi gradualmente, seppur restando presente anche se in modo minore, durante la fase di estensione, indice di paratonia inibitoria.

Nel gruppo amatori invece, si osserva un picco di attività del bicipite brachiale , inferiore rispetto al gruppo sedentari, durante la flessione del gomito (presenza di paratonia facilitatoria), la quale tende a svanire totalmente man mano che si passa al movimento di estensione del gomito;

Del tutto assente la presenza di paratonia durante l' intera escursione del movimento di flesso-estensione, nel gruppo degli atleti d' élite.

Tricipite brachiale(**Figura 4 B**):

Durante il movimento di flesso-estensione del gomito, come detto in precedenza, si rileva un' attività neuromuscolare irrisoria, durante tutto l' arco di movimento in tutti e tre i gruppi.

3.2 Differenze sport-specifiche:

Con i dati ottenuti dalle misurazioni sugli atleti d' élite, è stato possibile fare un' ulteriore classificazione; abbiamo preso tutti i dati del gruppo d' élite e li abbiamo suddivisi in base alla disciplina sportiva praticata(scherma, baseball, atletica e nuoto), con lo scopo di confrontare se ci fosse una qualche differenza nella rilevazione dell' attività neuromuscolare dato dalla natura della pratica sportiva, in quanto presumibilmente negli sport in cui prevale l' utilizzo degli arti superiori(scherma, baseball) si suppone che l' atleta sviluppi in questi un grado di controllo neuromotorio del movimento migliore rispetto a sport le cui dinamiche coinvolgono il corpo dell' individuo in modo meno specifico(nuoto, atletica) (**Figura 5 A e B**):

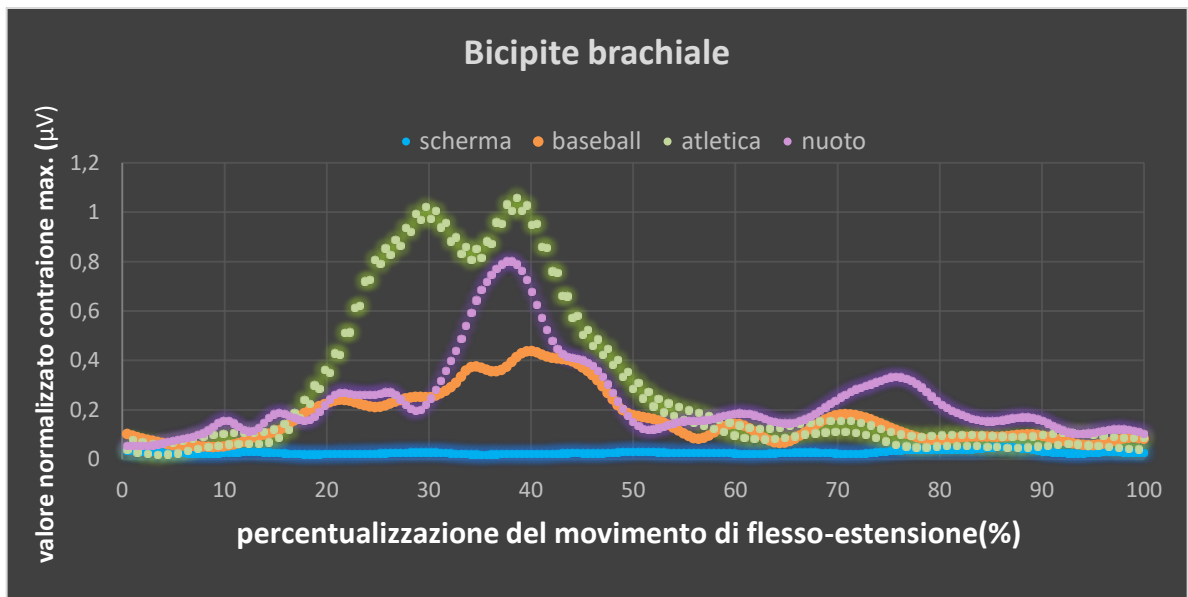


Figura 5 A: Analisi elettromiografica della paratonia nel muscolo bicipite brachiale nel gruppo degli atleti d' élite, suddivisa per disciplina sportiva

	0-50%	51-100%
scherma	/	/
baseball	0,31±0,14	/
atletica	0,87±0,32	/
nuoto	0,65±0,21	0,33±0,10

Tabella 2 A: valori medi attività EMG rilevata a livello del bicipite brachiale in base alla disciplina sportiva, durante il movimento di flessione-estensione del braccio

Analizzando le differenze sport-specifiche dell' attività EMG rilevata nel bicipite brachiale, possiamo dire che sebbene si notino delle differenze fra i vari sport(Figura 5 A), possiamo tuttavia affermare che come visibile dalla Tabella 2 A, non sono statisticamente significative, in parte dovuto allo scarso numero di tester disponibili durante lo studio.

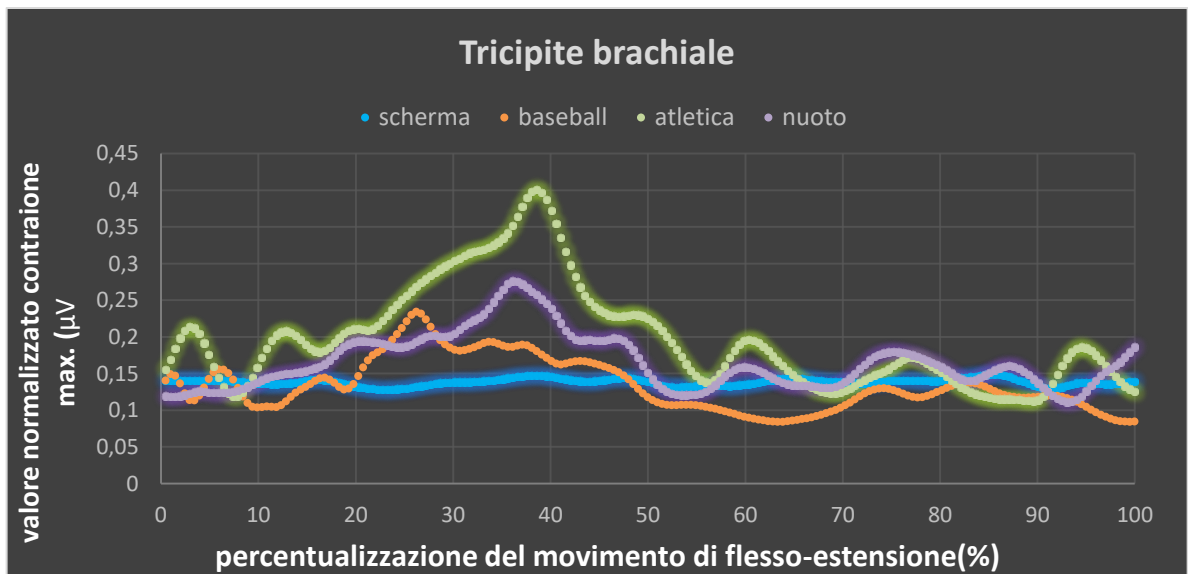


Figura 5 B: Analisi elettromiografica della paratonia nel muscolo tricipite brachiale nel gruppo degli atleti d' élite, suddivisa per disciplina sportiva

	0-50%	50-100%
<i>scherma</i>	/	/
<i>baseball</i>	/	/
<i>atletica</i>	0,35±0,12	/
<i>nuoto</i>	0,25±0,11	/

Tabella 2 B: valori medi attività EMG rilevata a livello del tricipite brachiale in base alla disciplina sportiva, durante il movimento di flessione-estensione del braccio

Le rilevazioni dell' attività EMG sul tricipite brachiale, come detto in precedenza, hanno riportato dei valori complessivi molto ridotti e pressochè irrilevanti, difatti non vi sono differenze fra le discipline sportive, che siano statisticamente significative.

4. Discussione e conclusione:

La paratonia è un fenomeno estremamente complesso, che tuttavia non gode della giusta attenzione; Ad oggi, sono pochi gli studi presenti in letteratura a tal proposito e pressoché assenti sullo studio di quest' ultima in relazione all' attività sportiva.

In ambito scientifico, deve la sua fama alla forte correlazione verso le malattie neurocognitive, responsabili di un deterioramento cerebrale(Demenza, morbo di Alzheimer, morbo di Parkinson...). (*Beverdorf et al. 1998*). Inoltre, diversi studi in letteratura, confermano che il fenomeno paratonico sia talvolta già presente ai primi stadi di tali patologie e che la sua incidenza aumenti esponenzialmente man mano che la gravità della malattia cresce. (*1-Hobbelen et al.2006*).

A tal proposito è interessante uno studio di Vahia e collaboratori(*2. Vahia et al. 2007*), in cui esaminando una popolazione di 80 soggetti affetti d' Alzheimer con livelli di gravità differenti (stadio 4, 5 e 6); si è visto che l' incidenza della paratonia, aumentasse tra i patologici con stadio più avanzato rispetto a quelli meno gravi(la paratonia era presente al 48%, 70% e 83%, rispettivamente negli stadi 4, 5 e 6 del morbo d' Alzheimer).

Inoltre, sempre in questo studio, si è visto come l' entità della paratonia, non fosse correlato a nessun fattore demografico(età, sesso, etnia, fitness fisica...), ma che l' unico fattore correlato fosse il funzionamento del lobo frontale, andando a confermare ciò che la maggioranza dei testi scientifici ad oggi presenti asserisce, ovvero che la principale causa della genesi della paratonia sia la disinibizione corticale del lobo frontale, in particolare di quei circuiti atti ad inibire l' attività riflessa della corteccia motoria; dall' assenza di questo freno inibitore quindi, ne deriva la paratonia esacerbata dalla mobilitazione passiva di un arto.

Tuttavia, studi recenti, hanno dimostrato come anche fra i soggetti sani, durante la valutazione del tono muscolare con l' EMG, venisse rilevata dell' attività neuromuscolare che riproduce le stesse caratteristiche della paratonia, rappresentando una sorta di forma sub-clinica di quest' ultima, in quanto l' esaminatore non è in grado di apprezzare perché troppo lieve, ma che grazie all' ausilio dell' EMG è possibile rilevare.

Ciò suggerisce che anche nei soggetti sani, questa lieve presenza di attività neuromuscolare, sia dovuta ad una non perfetta efficienza dei circuiti cortico-corticali che regolano in senso inibitorio, l' attività della corteccia motoria. (*Marinelli et al.2022*)

Motivo per cui, questa registrazione nel soggetto normotonico, come nel paratonico, può essere impiegata per valutare l' efficienza dei meccanismi inibitori cortico-corticali.

L' obiettivo di questa tesi quindi, era quello di capire se, la valutazione clinica della paratonia, possa essere un nuovo metodo utilizzabile per analizzare l' efficienza dei circuiti inibitori nei soggetti sani.

Per far ciò abbiamo confrontato tre gruppi di persone sane, suddivise in base al quantitativo di attività sportiva che essi svolgevano(sedentari, amatori ed atleti d' élite).

I risultati ottenuti, ci permettono di poter confermare inequivocabilmente la nostra ipotesi di partenza, in quanto si nota una discreta riduzione della presenza paratonica e quindi dell' attività neuromuscolare, ma mano che il grado di allenamento del soggetto aumenta(vedi **Figura 4 A- B**).

Ciò dimostra che tale valutazione possa essere un valido metodo sostitutivo ad altri test cognitivi, per la valutazione dei circuiti inibitori cortico- corticali nei soggetti sani, rappresentando una pietra miliare per il futuro della neurofisiologia, in quanto permette in modo efficace di valutare *in vivo*, nell' uomo integro, i circuiti che regolano il movimento volontario.

Inoltre, sulla base delle ipotesi di partenza, secondo cui la tipologia di disciplina sportiva svolta abbia un impatto sul grado di controllo neuromotorio dell' individuo, siamo andati a valutare se effettivamente ci fossero delle differenze in funzione del tipo di sport, ipotizzando che la valutazione EMG nel braccio, evidenziasse risultati migliori in quegli sport dove prevale un buon controllo motorio dell' arto superiore(baseball e scherma), rispetto ad altri sport, in cui la coordinazione fine del braccio è meno sviluppata(nuoto, atletica);

ciò che si è visto è che sebbene con un primo approccio qualitativo si osservino delle differenze fra i gruppi, tuttavia queste non sono significative(**Table 2 A-B**), probabilmente tale risultato è dato in parte dal ridotto campione a nostra disposizione; ulteriori studi sono necessari per avvalorare tali conclusioni.

Tali risultati rappresentano non un punto di arrivo, ma di partenza, per altre domande attualmente senza risposta, e che forniscono alla neurofisiologia un nuovo strumento valido, affidabile e soprattutto non invasivo, facilmente utilizzabile sulla popolazione.

5. *Bibliografia e sitografia:*

1. S. M. Hobbelen, Raymond, Koopmans , F. Verehey, R. Van Phippen (2006) . *Paratonia: A Delphi procedure for consensus definition*. Journal of geriatric physical therapy.
2. I. Vahia, C. Cohen, A. Prehogan(2006). *Prevalnce and impact of paratonia in Alzheimer disease in a multiracial sample*. The American journal of geriatric psychiatry.

3. H. Drenth, S. Zuidema, I. Bautmans(2020) *Paratonia in Dementia: A Systematic Review*. Journal of Alzheimer's Disease
4. E.M. Liduin, Souren, Emile H, Barry Reisenberg(1997). *Neuromotor changes in Alzheimer's disease: Implications for patient care*. Journal of geriatric psychiatry and neurology.
5. Beversdorf DQ, Heilman (1998). *Facilitatory paratonia and frontal lobe functioning*. Neurology
6. H. Drenth, S.Zuidema, W. Krijnen, I. Bautmans (2018). *Advanced Glycation End Products Are Associated With Physical Activity and Physical Functioning in the Older Population*. The journal of gerontology.
7. Hobbelen, JSM, Koopmans(2008). *Diagnosing paratonia in the demented elderly: Reliability and validity of the Paratonia assessment instrument (PAI)*. International Psychogeriatrics.
8. L. Marinelli, L. Mori, M. Pardini (2017). *Electromyographic assessment of paratonia*. Experimental brain research.
9. Bieke Van Deun, Johannes S., M. Hobbelen(2018). *Reproducible Measurements of Muscle Characteristics Using the MyotonPRO Device: Comparison Between Individuals With and Without Paratonia*. Journal of geriatric physical therapy.
10. L. Marinelli, C. Trompetto, F. Monacelli et al. (2022). *Eletcromyographic patterns of paratonia in normal subjects and in patients with mild cognitive impairment or Alzheimer's disease*. Journal of Alzheimer's disease.
11. Denny-Brown et al. (1950). *Disintegration of motor function resulting from cerebral lesions*. The journal of nervous and mental disease.
12. MS. Tremblay , S. Aubert, JD Barnes, et al.(2017) *Sedentary Behavior Research Network (SBRN). Terminology Consensus Project process and outcome*. The international journal of behavioral nutrition and physical activity.
13. D. Brevers, E. Dubuission, F. Dejonghe et al. (2018) *Proactive and reactive Motor inhibition in top athletes versus non- athletes*. Perceptual and motor skills.
14. C. Garcia, F. Garcia- Aguilar et al. (2023). *The role of inhibitory control in sport performance: Systematic review and meta-analysis in stop-signal paradigm*. Neuroscience and biobehavioral reviews.

15. D. Swick, V. Ashley et al. (2011). *Are the neural correlates of stopping and not going identical? Quantitative meta-analysis of two response inhibition tasks.* *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*.

16. P. Gomez, R. Ratcliff et al. (2007). *A model of the Go/No-go task.* *Journal of Experimental Psychology*.

17. R. Ulrich, L. Prislán et al. (2021). *A bimodal extension of the Eriksen Flanker task.* *Attention, Perception and Psychophysics*.