

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI GENOVA

FACOLTA' DI MEDICINA e CHIRURGIA

Master in Riabilitazione dei Disordini Muscoloscheletrici

in collaborazione con la Libera Università di Bruxelles

VALUTAZIONE DELL'EFFICACIA

DELL' "ACTION OBSERVATION" SULLA FORZA

DEL MUSCOLO QUADRICIPITE IN SOGGETTI

SANI E IN PAZIENTI AFFETTI DA INIBIZIONE

MUSCOLARE ARTROGENICA

Relatore: Roberto Gatti

Tesi di: Luca Viganò

Anno Accademico 2009-2010

INDICE

ABSTRACT

INTRODUZIONE

1. INIBIZIONE ARTROGENICA MUSCOLARE (AMI)
 - 1.1. Cause
 - 1.2. Valutazione dell'AMI
 - 1.3. Interventi terapeutici
 - 1.4. Inibizione artrogenica del muscolo quadricipite femorale

2. ACTION OBSERVATION
 - 2.1. Action observation e riabilitazione
 - 2.2. Incremento di forza conseguente ad action observation
 - 2.3. Motor Imagery e Action Observation

3. PREMESSA ALLO STUDIO

4. MATERIALI E METODI
 - 4.1. Campione
 - 4.2. Disegno sperimentale
 - 4.3. Acquisizione dei dati e misurazioni
 - 4.4. Analisi dei dati

5. RISULTATI
 - 5.1. Momento
 - 5.2. Attività elettromiografica
 - 5.3. KOOS e VAS

6. DISCUSSIONE

7. CONCLUSIONI

8. KEY POINTS

9. BIBLIOGRAFIA

ABSTRACT

INTRODUZIONE E SCOPO DELLO STUDIO

L'inibizione muscolare artrogenica (AMI) è una difficoltà, non controllabile volontariamente, di contrarre massimalmente i muscoli che agiscono su un'articolazione traumatizzata, artrosica, infiammata o sottoposta ad interventi chirurgici. Questo fenomeno è stato ampiamente studiato nel muscolo quadricipite femorale, che risulta inibito in caso di traumi all'articolazione del ginocchio. L'Action Observation (AO) è un processo cognitivo che si basa sul sistema dei "neuroni specchio". Essi si attivano sia in associazione con la performance di un gesto motorio sia durante l'osservazione di un altro individuo che esegue il gesto medesimo. La sua efficacia come facilitatore durante l'esecuzione di un gesto imitato è stata descritta ed utilizzata da alcuni autori in programmi di riabilitazione.

Lo scopo di questo studio è indagare l'efficacia dell'Action Observation sul muscolo quadricipite, durante estensione di ginocchio, in soggetti sani ed in pazienti affetti da AMI.

CAMPIONI E METODI

Lo studio è stato condotto su un campione di 14 soggetti sani (7 uomini e 7 donne di età compresa tra i 20 ed i 28 anni) e 8 soggetti affetti da AMI (4 uomini e 4 donne di età compresa tra i 20 e i 62 anni). Ognuno dei due gruppi è stato randomizzato in due sottogruppi, omogenei per sesso ed età: soggetti sani: AO (n=7) [età 22,86±2,48], C (n=7) [età 22,71±1,38]; soggetti affetti da AMI: AO (n=4) [età 25,5±9,71], C (n=4) [età 42,75±16,25].

Il protocollo è suddiviso in quattro fasi: Warm-Up, Test 1, Facilitazione, Test 2. La fase di Warm-up, composta da ripetizioni a basso carico alla pressa e stretching, è preliminare alle fasi seguenti, in cui si eseguiranno contrazioni massimali. La fase di Test 1 prevede estensioni e flessioni massimali di ginocchio su macchina isocinetica a due differenti velocità (30° al secondo e 120° al secondo). Successivamente ogni gruppo esegue 9 minuti di facilitazione: il gruppo AO osserva un video nel quale un soggetto esegue estensioni di ginocchio nelle due velocità richieste; il gruppo di controllo osserva un documentario riguardante animali con modalità di movimento totalmente diverse da quelle del genere umano. Alla fine della fase di facilitazione, nella fase Test 2, entrambi i gruppi ripetono quanto eseguito nella fase Test 1.

Si sono analizzati come outcome i valori massimali di momento in estensione ed in flessione, ed i valori elettromiografici di Retto Femorale, Vasto Mediale, Vasto Laterale e Bicipite Femorale.

RISULTATI

Non vi è evidenza che l'AO abbia alcun effetto su soggetti sani. Il gruppo AO mostra risultati comparabili con quelli del gruppo C sia per il momento che per l'attivazione elettromiografica.

Per quanto riguarda i soggetti affetti da AMI, il gruppo AO mostra un incremento di forza in estensione ed in flessione, a 30°/sec e a 120°/sec, mentre il gruppo C mantiene invariati o peggiora i valori iniziali. Nonostante questo, il confronto delle variazioni tra il gruppo AO e il gruppo C non è statisticamente significativo.

Riguardo i dati in elettromiografia non è possibile stabilire un trend che confermi i dati di forza.

DISCUSSIONE E CONCLUSIONE

L'osservazione di un compito motorio (AO) potrebbe essere una facilitazione all'esecuzione del gesto in pazienti affetti da AMI. Infatti il gruppo AO incrementava i propri valori di momento in estensione e in flessione, ad entrambe le velocità testate. I dati non raggiungono la significatività forse a causa della scarsità del campione, e dell'impossibilità di quantificare in questa sede il grado di AMI. Se questo dato venisse confermato l'AO assumerebbe un'importanza unica anche in ambito ortopedico, poiché rappresenterebbe una tecnica immediatamente applicabile nella fase acuta successiva ad interventi chirurgici, ed in grado di prevenire le conosciute complicanze negative conseguenti ad AMI.

INTRODUZIONE

1 Inibizione muscolare artrogenica (AMI)

L'Inibizione muscolare artrogenica (AMI) è una risposta riflessa conseguente a un danno articolare, che consiste nell'incapacità di attivare in modo massimale e volontario un muscolo, in assenza di lesioni alle unità motorie del muscolo stesso¹.

E' stato ampiamente dimostrato²⁻³, con differenti tecniche, che questo deficit non è riconducibile alla perdita di fibre che consegue ad un periodo di immobilità, definita altresì come atrofia da non uso. L'inibizione riflessa infatti, non causa propriamente un deficit di contrazione, ma di attivazione⁴, e per questo motivo può essere definito come un fenomeno di origine "neurologica" e non muscolare.

L'AMI è causata da un aumento dell'attività dei recettori articolari, dovuto a uno stato di dolorabilità, gonfiore e infiammazione di un'articolazione, in seguito a un trauma, a un processo artrosico o a un'operazione chirurgica. L'aumento delle afferenze sensitive dalla periferia, presenta degli effetti a carico del sistema nervoso centrale e induce una modificazione dell'eccitabilità di circuiti spinali e sovraspinali. Tali modificazioni risulteranno in una inibizione dei motoneuroni alfa e una conseguente riduzione dell'attivazione muscolare⁴⁻⁵.

1.1 Cause

Tra le principali cause dirette di AMI troviamo discusse in letteratura:

L'edema

In seguito a un trauma o a un'operazione chirurgica, uno stato di gonfiore dell'articolazione può perdurare anche per mesi dopo la fase acuta e determinare, anche in assenza di infiammazione, di dolore e di danni strutturali, un'inibizione muscolare riflessa con una riduzione dell'attività EMG dei muscoli periarticolari, e, conseguentemente, della forza da loro erogata e una riduzione del riflesso H⁶⁻⁷. L'effetto inibitorio dell'edema è mediato dall'attivazione delle afferenze sensitive articolari, prevalentemente a carico delle fibre nervose del gruppo II. Si tratta di fibre mielinizzate, come le terminazioni di Ruffini, i corpuscoli di Pacini e gli organi tendinei di Golgi, le quali presentano una bassa soglia di scarica e si attivano per stimoli pressori e di stiramento. Iniettando un anestetico locale, che

blocca il flusso di informazioni dalla periferia al SNC, all'interno, per esempio, di ginocchio edematoso, si osserva una riduzione dell'AMI, con un aumento della forza erogabile da parte del muscolo quadricipite⁸⁻⁹.

L'infiammazione

Un altro importante fattore coinvolto nel fenomeno dell'inibizione muscolare riflessa è rappresentato dallo stato infiammatorio, il quale aumenta enormemente l'output delle afferenze articolari. Sono coinvolte in questo caso terminazioni nervose libere, che fanno capo a fibre del gruppo III, poco mielinizzate, e del gruppo IV, non mielinizzate, le quali hanno un'alta soglia di attivazione e rispondono a forti stimoli meccanici, termici e chimici. La loro funzione principale è quella di nocicettori, ma una porzione di esse si attiva anche per movimenti passivi non dolorosi o per stimoli meccanici locali⁴. I mediatori chimici dell'infiammazione determinano un duraturo stato di sensibilizzazione delle suddette terminazioni nervose libere, con riduzione della loro soglia di attivazione. Questo processo definito "sensibilizzazione periferica", porta a una attivazione spontanea delle afferenze per posizioni articolari statiche e una maggiore responsività per stimoli meccanici non dolorosi, come il normale movimento articolare¹⁰⁻¹¹.

L'instabilità articolare

L'instabilità articolare, conseguente a un danno strutturale o degenerativo, porta a un aumento della traslazione delle superfici articolari durante il movimento. Questo comporta un incremento dell'attivazione dei meccanorecettori coinvolti nel controllo dei limiti del movimento articolare. Un aumentato afflusso di afferenze dalla periferia produce, anche in questo caso, un aumento del grado di inibizione riflessa¹².

Danno a carico di recettori articolari

Un trauma articolare non comporta esclusivamente un aumento dell'attività recettoriale. La lesione di strutture quali legamenti e capsula, deputate anche a funzione propriocettiva, può determinare un danno alle terminazioni sensitive presenti in questi tessuti, con una conseguente riduzione delle afferenze dirette al SNC¹³. Come abbiamo visto fino ad ora, un anomalo aumento dell'attività afferente è fortemente associato ad AMI, ma alcuni autori¹³⁻¹⁴ ipotizzano che anche una riduzione delle informazioni dalla periferia al centro possa comportare un certo grado di inibizione riflessa. È stato a questo proposito dimostrato come iniettando un anestetico locale in un ginocchio, non danneggiato, si ottenga

una riduzione della forza erogata e del segnale EMG del quadricipite durante una sua contrazione volontaria isometrica massimale.

1.2 Valutazione dell'AMI

Sono ad oggi quattro i metodi utilizzati per quantificare il grado di inibizione muscolare:

1- Metodo diretto

Viene rilevato il segnale EMG, mediante elettrodi di superficie, durante la massima contrazione volontaria isometrica o su macchina isocinetica. La misurazione viene effettuata pre e post intervento chirurgico e la differenza tra le prove sarà da imputarsi al fenomeno dell'AMI¹⁵. Utilizzando questo metodo è necessario un training del gesto che si andrà ad eseguire durante la misurazione.

a- Twitch Interpolation Technique

b- Burst Superimposition Technique

Entrambe queste tecniche, considerate il gold standard^{16,17}, utilizzano una stimolazione elettrica percutanea diretta sul nervo, durante una contrazione volontaria massimale, in modo da calcolare la quota di muscolo non attivato durante uno sforzo volontario¹⁸. In questo modo se la contrazione fosse già massimale, e cioè se non fosse presente inibizione, non vi sarebbe una modificazione del segnale EMG. Nel caso invece in cui l'attivazione non fosse massimale, l'incremento di forza dato dallo stimolo elettrico supplementare segnalerebbe un certo grado di inibizione riflessa.

Il grande vantaggio di questa metodica risiede nel fatto che con una sola misurazione si può ottenere il grado di inibizione.

Nonostante ciò, per tutte e tre le tecniche viste finora resta un problema di interpretazione: non è possibile chiarire se l'eventuale incompleta attivazione sia da attribuire ad una mancanza di sforzo volontario del soggetto o all'inibizione muscolare. La compliance, la motivazione, la paura del dolore, introducono bias nella rilevazione del dato.

c- Misurazione del riflesso H

È stato osservato come nel fenomeno dell'AMI, oltre a essere inibita l'attivazione volontaria, è presente una riduzione dell'ampiezza del riflesso H⁴. Esso rappresenta una risposta motoria alla stimolazione elettrica delle fibre afferenti dei fusi neuromuscolari, ed

essendo un riflesso di tipo monosinaptico si può considerare che la sua ampiezza rifletta lo stato di eccitabilità dei motoneuroni α ¹⁹. Essendo indipendente dallo sforzo volontario del soggetto, questo metodo presenta alcuni vantaggi rispetto alle precedenti anche se richiede degli strumenti specifici per la rilevazione.

Infine, sempre a questo proposito, è utile segnalare come in alcuni lavori venga proposto un confronto con l'arto controlaterale a quello in esame, quando ciò fosse possibile, per la valutazione della presenza di AMI. Non si tratta però di un buon metodo, poiché è stato dimostrato che anche l'arto controlaterale può essere colpito da un certo grado di inibizione muscolare²⁶⁻²⁷; vanno inoltre considerati i cambiamenti che possono verificarsi in quest'ultimo a causa di un periodo protratto di immobilizzazione, o da una scorretta deambulazione causata dalla debolezza dell'ipsilaterale.

1.3 Interventi terapeutici

Poiché, come abbiamo visto, l'inibizione muscolare artrogenica incide sulla capacità di un muscolo di generare forza, limitandola, si può capire come essa possa perciò influire decisamente in modo negativo anche sull'esecuzione di gesti della vita quotidiana e perciò, sulla qualità di vita del paziente. Nonostante si tratti di un argomento rilevante in ambito fisioterapico, sono ancora relativamente poche le proposte riabilitative che risultano efficaci nel contrastare l'inibizione muscolare artrogenica.

Gli interventi terapeutici possono essere suddivisi in due gruppi principali: quelli che vanno ad agire sulle cause all'origine dell'inibizione, e quelli mirati ad un incremento dell'attivazione muscolare una volta che il fenomeno si è instaurato.

Intervento mirato alle cause dell'AMI

Alcuni interventi terapeutici, quali l'artrocentesi, le terapie farmacologiche (iniezioni di corticosteroidi, antinfiammatori e anestetici locali), la compressione articolare, la crioterapia e la TENS vanno ad agire sulle cause dell'AMI, attenuando l'attività delle afferenze articolari.

La loro azione sembrerebbe essere maggiormente efficace durante la fase acuta di un trauma o di un intervento chirurgico, quando l'infiammazione, l'edema, e il dolore sono maggiormente presenti. L'effetto è da considerarsi temporaneo e la reale efficacia rimane in

ogni caso dubbia⁵.

Date le loro caratteristiche, queste tecniche potrebbero essere utilizzate per creare una “finestra terapeutica”, nella quale poter poi effettuare un rinforzo muscolare sfruttando una maggior possibilità di attivazione del muscolo²⁰.

Incentivazione dell'attivazione muscolare

Le tecniche mirate all'incremento del reclutamento del muscolo in presenza di AMI sono sostanzialmente di due tipi: l'elettrostimolazione neuromuscolare (NMES), e il Biofeedback elettromiografico (BFB-EMG).

L'elettrostimolazione neuromuscolare permette di attivare il muscolo direttamente, bypassando i motoneuroni spinali inibiti, favorendo il mantenimento della massa e della forza muscolare²¹. La NMES viene utilizzata soprattutto nella fase acuta, quando i livelli di inibizione sono molto elevati, o in fase di immobilizzazione. Quando il paziente è in grado di contrarre volontariamente è preferibile associare la NMES alla contrazione muscolare volontaria, in quanto sono stati rilevati maggiori miglioramenti in termini di forza, rispetto ai soli esercizi di rinforzo²².

L'applicazione delle NMES nel caso particolare di muscoli di grandi dimensioni, come il quadricipite femorale, incontra un ostacolo: è infatti possibile elettrostimolare solo una sua porzione (30%-40%) senza generare discomfort al paziente²³. La tecnica sarà perciò solo parzialmente utile.

Per quanto riguarda invece il BFB-EMG, la sua efficacia è stata ampiamente dimostrata in letteratura. Diversi studi²⁴⁻²⁵ hanno mostrato come la presa di coscienza, da parte del paziente, dell'attivazione muscolare durante esercizi di rinforzo, come avviene utilizzando il BFB-EMG, dia risultati migliori in termini di forza e funzionalità articolare, rispetto ai soli programmi di rinforzo.

1.4 Inibizione artrogenica del muscolo quadricipite femorale

In letteratura, la maggior parte degli studi riguardanti l'AMI, si concentrano sul muscolo quadricipite femorale. Un suo importante deficit di attivazione è stato riscontrato in pazienti con differenti patologie articolari, come artrosi, artrite reumatoide, rottura del LCA, dolore anteriore di ginocchio, e in pazienti sottoposti a operazioni chirurgiche come meniscectomie, impianto di protesi e ricostruzioni del LCA⁵⁻²⁸.

L'AMI sembra essere più severa negli stadi acuti della patologia articolare, come Shakespeare et al. hanno mostrato in un loro studio²⁹, nel quale è stata evidenziata una riduzione, nelle ore seguenti all'intervento chirurgico, tra il 50-70% dell'attività elettromiografica del muscolo quadricipite, rispetto ai valori pre-intervento, durante uno sforzo isometrico massimale. L'entità dell'inibizione è rimasta tale nei seguenti 3-4 giorni, per poi iniziare a migliorare. Essa tende a stabilizzarsi nel medio periodo (6 mesi), per poi diminuire lentamente, fino a risoluzione (18-33 mesi)⁵. In ogni caso, sono stati osservati valori d'inibizione (circa 8% rispetto a soggetti sani) anche dopo 4 anni dall'intervento chirurgico, nonostante nessun segno radiologico o clinico di ulteriori danni o processi degenerativi a carico dell'articolazione³².

Questi dati definiscono un trend comune tra diverse condizioni patologiche, ma l'evoluzione nel tempo dell'AMI e la sua gravità sono correlate all'estensione del danno articolare e alle caratteristiche del danno stesso, acuto o cronico¹²⁻²⁸. Si è visto che in pazienti con rottura del LCA associata ad altre lesioni legamentose, meniscali, capsulari o ossee, è stato riscontrato un più alto grado di inibizione rispetto a pazienti con una lesione isolata del LCA³¹⁻¹².

Diversi studi⁵⁻²⁶ in letteratura hanno mostrato come in seguito a un danno articolare unilaterale, l'AMI si manifesti bilateralmente, coinvolgendo, anche il quadricipite del ginocchio non lesionato, anche se l'inibizione nell'arto controlaterale è tipicamente meno severa. Come per l'arto colpito anche in quello sano possono essere riscontrati livelli di inibizione muscolare a distanza di 4 anni dall'evento traumatico³⁰. Questo dato evidenzia come alla base dell'AMI ci sia un coinvolgimento del sistema nervoso centrale.

L'AMI sembrerebbe essere selettiva per le unità motorie lente del muscolo quadricipite, come mostrato in uno studio³² su pazienti con lesione meniscale isolata, i quali presentavano un'atrofia specifica per le fibre di tipo I, e su pazienti con lesione cronica del LCA, nei quali è stata riscontrata una comune atrofia delle fibre di tipo I, associata o meno ad atrofia delle fibre di tipo II. A favore di questa ipotesi, è stato rilevato proprio in pazienti con lesione cronica del LCA una maggiore inibizione muscolare alle basse velocità di contrazione; questo potrebbe essere associato a una selettiva atrofia muscolare delle fibre di tipo I¹⁵⁻³².

L'AMI è influenzata dall'angolo articolare del ginocchio, è maggiore ai gradi estremi del range di movimento e minore nei gradi intermedi. Questo fenomeno è osservabile soprattutto durante la fase acuta di un trauma o di una chirurgia quando, in presenza di versamento, la pressione intrarticolare sarà maggiore proprio in massima estensione e alla

fine della flessione.

L'inibizione artrogenica discussa fino a qui per il comparto estensorio non è invece presente, se non in minima parte, ai muscoli flessori, dopo un danno all'articolazione del ginocchio³⁴. Una spiegazione può risiedere nella biomeccanica articolare: le importanti forze di taglio e di compattazione che il quadricipite può esercitare potrebbero indurre il Sistema Nervoso Centrale ad inibirlo, per preservare l'articolazione già danneggiata da ulteriori sollecitazioni eccessive e potenzialmente dannose. Se questa ipotesi fosse vera, non si spiega però la permanenza del deficit di attivazione anche a distanza di anni³⁵.

Anche all'interno dello stesso muscolo quadricipite la distribuzione dell'inibizione non è uniforme. Analizzando l'attività dei quattro capi, si è osservato una maggiore inibizione dei tre vasti, mentre il retto femorale è risultato il meno coinvolto. Probabilmente, a causa del fatto che quest'ultimo è biarticolare, si trova ad essere reclutato come flessore d'anca e questa attivazione potrebbe influire sul grado di inibizione³⁷.

Sempre a questo proposito in un recente lavoro³⁸ è emerso che, in pazienti post-artroscopia di ginocchio, e quindi soggetti ad inibizione riflessa, vi è una maggiore attivazione di tutti i vasti durante la flessione d'anca a ginocchio esteso, che non durante l'estensione concentrica di ginocchio. Nel soggetto sano si verifica invece esattamente l'opposto.

2 Action Observation

L'Action Observation è un processo cognitivo che si basa sul sistema dei “neuroni specchio” (o mirror), ovvero di quella particolare classe di neuroni visuomotori che si attivano sia durante l'esecuzione di specifici gesti, sia durante la sola osservazione della stessa azione.

Scoperti originariamente nell'area F5 della corteccia premotoria cerebrale delle scimmie, i neuroni mirror hanno subito destato interesse poiché sembrano evidenziare una stretta connessione tra l'osservazione e l'esecuzione di un atto motorio³³. Questo ha suggerito l'idea che un sistema simile potesse essere presente anche nell'uomo. Utilizzando la risonanza magnetica funzionale per immagini (fMRI), la stimolazione magnetica transcranica (TMS) e l'elettroencefalografia (EEG), si è osservato che la corrispondente area F5 nell'uomo comprende diverse aree cerebrali^{34,35}. Queste nuove tecniche di Brain Imaging hanno permesso di visualizzarle più precisamente e in tre dimensioni: la porzione rostrale del lobo parietale inferiore, il settore inferiore del giro precentrale, e il settore posteriore del giro frontale inferiore. A queste bisogna aggiungere altre due aree che in alcune condizioni sperimentali risultano attive: una regione più anteriore del giro frontale inferiore, e la corteccia premotoria dorsale³⁶.

Nell'uomo quindi, il sistema dei neuroni specchio è molto più esteso che nelle scimmie, ed i numerosi studi che hanno confermato l'esistenza dei neuroni mirror nell'uomo sono concordi nell'affermare che l'atto dell'osservare è un atto preparatorio all'azione^{37,38}.

In questi stessi lavori si è potuto osservare come i neuroni a specchio possiedano una loro organizzazione anatomica e funzionale ben precisa e siano in grado di attivarsi con pattern differenti a seconda dell'area anatomica coinvolta nell'azione. Essi, inoltre, sono in grado di attivarsi codificando l'azione osservata quando essa è eseguita in modo incompleto, ma sono presenti sufficienti indizi per creare una rappresentazione mentale del gesto, o ancora quando l'azione è esclusivamente mimata e non è presente alcuna interazione con oggetti reali. Quest'ultimo aspetto, prima di esser studiato sull'uomo, risultava presente solo nei cuccioli di macaco e per un tempo limitato⁴⁵. Queste capacità, che sembrano esser peculiari del sistema di neuroni specchio dell'uomo, hanno un importante risvolto funzionale.

Ulteriori studi hanno poi dimostrato come l'osservazione di azioni produca un aumento dell'eccitabilità della via corticospinale³⁴, rendendo i neuroni mirror fondamentali durante l'imitazione di una azione. L'imitazione può essere semplificata in tre differenti fasi:

osservazione del gesto, formazione dell'immagine motoria, ed esecuzione del gesto⁴⁶⁻⁴⁷. Il sistema dei neuroni specchio è alla base dell'esecuzione motoria di un gesto imitato, poiché codifica l'azione osservata in termini motori e rende in tal modo possibile una sua replica. A conferma di ciò, uno studio di Iacoboni⁴⁸ ha mostrato che l'attivazione corticale di soggetti che eseguono gesti imitativi con le dita è maggiore di quella di soggetti che eseguono gli stessi gesti, ma senza imitazione.

Altri studi hanno poi indagato la specificità di questo sistema neuronale: Buccino et al⁴⁹ hanno dimostrato che i neuroni specchio dell'uomo danno una maggior risposta in termini di attivazione quando viene osservato un gesto eseguito da un altro uomo, mentre la risposta è minore se a eseguirlo è una scimmia, nulla se a eseguirlo è un cane.

Un altro lavoro⁵⁰ condotto su professionisti danzatori di differenti discipline si è potuto concludere che la maggior attivazione dei neuroni mirror avviene durante l'osservazione di individui dello stesso sesso e ancora maggiore quando eseguono sequenze motorie note.

2.1 Action observation e riabilitazione

La scoperta che i neuroni mirror potessero intervenire nell'apprendimento di un gesto tramite imitazione ha immediatamente condotto allo studio delle possibili implicazioni in ambito riabilitativo e da qui alla successiva applicazione del cosiddetto "Action Observation training".

Numerosi lavori si sono preposti di valutare gli effetti dell'osservazione ed imitazione in diverse categorie di individui, inclusi soggetti sani come atleti e musicisti, o persone affette deficit motori. Erlet e altri⁵¹ in uno studio randomizzato controllato hanno indagato gli effetti dell'allenamento con osservazione, in soggetti con menomazioni e disabilità all'arto superiore conseguenti a stroke. Otto soggetti con queste caratteristiche sono stati divisi in due gruppi e trattati per quattro settimane: il gruppo sperimentale, sottoposto al trattamento Action-Observation, e quello di controllo. Nel caso del gruppo sperimentale ogni giorno i pazienti vedevano 3 filmati, ognuno di circa 6 minuti, che rappresentava un attore durante l'esecuzione di un gesto specifico della mano (es: aprire il tappo di una bottiglia, scrivere...). Dopo la visione del filmato i soggetti dovevano cercare, per quanto potessero, di compiere il gesto osservato. Al gruppo di controllo veniva chiesto di eseguire gli stessi gesti senza poterli però osservare prima. I risultati dicono che i pazienti sottoposti ad action observation training presentano, tramite risonanza magnetica funzionale,

un maggiore aumento di attivazione neuronale rispetto ai pazienti del gruppo di controllo. In secondo luogo i pazienti del gruppo sperimentale presentano un significativo miglioramento delle loro abilità motorie.

L'uso di un training "osservazione-azione" sembrerebbe poter riorganizzare l'incompleto, ma non totalmente perso, network neuronale, enfatizzando l'esecuzione di movimenti. Sembrerebbe perciò efficace nel potenziare gli effetti del tradizionale trattamento fisioterapico⁵². Non è stato ancora chiarito però, se l'Action Observation training sia efficace qualora usato indipendentemente da un trattamento tradizionale, ovvero se possa essere considerato come un nuovo metodo di trattamento, o solo un "facilitatore".

2.2 Incremento di Forza conseguente ad Action Observation

Esiste un solo lavoro di Porro A. ed altri⁵³, che mostra un incremento di forza dopo Action Observation Training. Gli autori hanno studiato la variazione nella forza massimale isotonica prodotta dall'abduzione del dito indice e del dito medio della mano. 27 soggetti sani hanno preso parte all'esperimento.

I soggetti sono stati randomizzati in 3 gruppi: Movimento Attivo, Action Observation, e gruppo di Controllo. I soggetti nel gruppo di Movimento Attivo sono stati allenati 6 giorni su 7, per 2 settimane, ad eseguire ogni giorno 2 serie, ognuna da 25 abduzioni dell'indice e del medio destro, contro la resistenza di un elastico. Ogni soggetto del gruppo Action Observation ha assistito all'allenamento di un soggetto del gruppo Movimento Attivo in ogni sessione, osservandolo compiere i movimenti. E' stato esplicitamente chiesto ai soggetti nel gruppo Action Observation di non compiere nessun movimento durante l'osservazione. I soggetti del gruppo di controllo non hanno invece svolto nessun tipo di allenamento motorio. I soggetti di tutti i gruppi sono stati valutati all'inizio dello studio, dopo la prima sessione di allenamento, e dopo 6 giorni di allenamento. Non c'è nessuna evidenza di variazione di forza immediatamente dopo la prima sessione. Al contrario dopo 6 giorni l'aumento di forza rispetto a quello iniziale è per il gruppo Movimento Attivo del 50% nella mano destra e del 33% nella mano sinistra; per il gruppo Action Observation del 32% nella mano destra e del 30% nella mano sinistra. Nessuna variazione di forza è stata invece rilevata nel gruppo di controllo.

I risultati ottenuti da questo studio avanzano l'ipotesi che il trattamento Action Observation sia efficace nell'incrementare la forza. Poiché il guadagno di forza è presente in

entrambe le mani, è ipotizzabile che esso sia dovuto ad un cambiamento nei circuiti motori/premotori centrali, permettendo un miglior reclutamento delle unità motorie. Sono sicuramente necessari ulteriori studi, e che coinvolgano gruppi muscolari più ampi, per poter confermare questa iniziale ipotesi.

2.3 “Motor Imagery” e “Action Observation”

La tecnica denominata Motor imagery consiste in un processo cognitivo durante il quale il soggetto immagina di compiere il movimento senza realmente eseguirlo. Nonostante le diversità fra questa tecnica e l’Action Observation, una meta-analisi di studi di neuroimaging⁵⁴ porta a suggerire che i circuiti neurali coinvolti nell’Action Observation e nella Motor Imagery siano per gran parte sovrapponibili. Anche recenti studi in Risonanza Magnetica Funzionale su movimenti intransitivi della mano⁵³ e su azioni non dirette ad un oggetto⁵⁵, confermano questo dato, nonostante l’attività cerebrale sia molto maggiore durante Motor Imagery.

Esistono numerose evidenze riguardo quest'ultima tecnica in ambito riabilitativo. E’ stato dimostrato⁵⁶⁻⁵⁷ che la Motor Imagery ha notevoli effetti positivi sull’incremento di forza, oltre che sull’incremento di velocità di attivazione muscolare, sulla performance motoria, e sull’acquisizione di un gesto in soggetti sani e affetti da patologie neurologiche. Inoltre la MI porta a guadagni di forza anche in soggetti immobilizzati per lungo tempo, forse agendo in parte sull’Inibizione Muscolare Riflessa. E’ altresì noto che i risultati più eclatanti si ottengono dall’accoppiamento dell’allenamento mentale con quello motorio⁵⁸.

E’ quindi ipotizzabile, anche se non vi sono ancora studi a riguardo, fatta eccezione per quello qui riportato, che i risultati già dimostrati sull’efficacia della Motor Imagery, specialmente nell’incremento di forza, possano conseguire anche ad allenamento Action Observation.

3 Premessa allo studio

Questo studio, basandosi sulle premesse descritte in precedenza, si pone l'obiettivo di investigare se il trattamento Action Observation possa essere in grado di ridurre l'Inibizione Muscolare Artrogenica, in soggetti con lesioni articolari, durante il gesto di estensione del ginocchio.

Come già detto in precedenza, l'Inibizione Muscolare Artrogenica è un fenomeno che origina a livello del sistema nervoso centrale e il trattamento Action Observation, utilizzato come facilitatore del gesto osservato, potrebbe in qualche modo essere in grado di modificare quei circuiti neurali centrali responsabili dell'Inibizione muscolare artrogenica.

La scelta di intraprendere questo lavoro è data principalmente da due motivi: in primo luogo la rilevanza clinica dell'inibizione artrogenica e la scarsità di tecniche fisioterapiche in grado di contrastarla; in secondo luogo, l'importanza crescente delle metodiche riabilitative "non convenzionali", quali Action Observation o Motor Imagery, testimoniata sempre più dalle recenti scoperte in letteratura.

4. MATERIALI E METODI

4.1 Campione

Lo studio è stato condotto su 14 soggetti sani (7 donne e 7 uomini di età compresa tra i 20 e 28 anni) e su 8 soggetti patologici (3 donne e 5 uomini di età compresa tra i 20 e i 62 anni); entrambi sono stati randomizzati in 2 sottogruppi:

SOGGETTI SANI:

- Gruppo Action Observation (AO): 7 soggetti [età $22,86 \pm 2,48$]
- Gruppo di controllo (C): 7 soggetti [età $22,71 \pm 1,38$]

I due gruppi risultano omogenei per età e sesso, e valori del momento al Test1, cioè prima della visione del filmato. Tutti i soggetti sono studenti dell'Università Vita e Salute San Raffaele, destrimani, non affetti da patologie neurologiche e/o muscolari. Nessuno di essi ha mai subito operazioni chirurgiche agli arti inferiori e/o al rachide, o recenti fratture, distorsioni, traumi.

SOGGETTO	GENERE	ETA'	GRUPPO
1	F	21	C
2	F	23	AO
3	M	22	AO
4	M	22	C
5	M	20	AO
6	F	23	AO
7	M	22	C
8	M	25	C
9	M	24	C
10	F	22	C
11	F	22	AO
12	M	23	C
13	F	28	AO
14	F	22	AO

Tabella 1. Dati descrittivi soggetti sani

MOMENTO			
	AO	C	Mann_Whitney
	Mediana[range]	Mediana[range]	p_value
<i>Ext 30°</i>	157 [117-209]	187 [68-191]	N.S.
<i>Ext 120°</i>	102 [74-152]	133 [66-161]	N.S.
<i>Flex 30°</i>	75 [56-101]	104 [55-122]	N.S.
<i>Flex 120°</i>	84 [47-97]	95 [55-122]	N.S.

Tabella 2. Omogeneità momento soggetti sani al Test1

SOGGETTI PATOLOGICI:

- Gruppo Action Observation (AO): 4 soggetti [età 25,5±9,71]
- Gruppo di controllo (C): 4 soggetti [età 42,75±16,25]

I due gruppi risultano omogenei per il sesso e i valori del momento al Test 1, non per l'età. Tutti i soggetti sono affetti da patologie che interessano l'articolazione del ginocchio: la maggior parte di essi (6 soggetti) hanno subito interventi chirurgiche, 2 soggetti no.

SOGGETTO	GENERE	ETA'	GRUPPO	KOOS					DIAGNOSI
				DOLORE	ALTRI SINTOMI	ADL	SPORT	QdV	
1	F	62	C	39	25	38	5	19	Osteoartrosi e lesione meniscale
2	M	40	AO	72	64	91	70	69	Tendinite rotulea, meniscectomia
3	F	20	AO	94	89	94	70	81	Ricostruzione chirurgica LCA
4	M	22	AO	75	75	90	35	31	Ricostruzione chirurgica LCA
5	F	23	C	72	68	93	20	38	Rottura parziale menisco e LCL
6	M	20	AO	67	82	85	70	44	Meniscectomia
7	M	47	C	61	68	71	10	50	Protesi di ginocchio
8	M	39	C	89	86	97	75	75	Ricostruzione chirurgica LCA

Tabella 3. Dati descrittivi soggetti patologici

Il principale criterio di inclusione su cui ci siamo basati per definire che i soggetti fossero affetti da inibizione artrogenica è la presenza in anamnesi di dolore articolare almeno una volta nelle due settimane precedenti il test.

A tutti i soggetti patologici è stato inoltre somministrato un questionario soggettivo di valutazione del ginocchio (Knee injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS)), con lo scopo di verificare la loro condizione funzionale e descrivere la percezione che essi hanno del proprio ginocchio al momento del test. I valori di questa scala (punteggio da 0 a 100 per ognuna delle cinque voci indagate) sono visibili nella tabella descrittiva dei soggetti. Un minor valore nel punteggio corrisponde ad una situazione patologica più compromessa.

MOMENTO			
	AO	C	Mann_Whitney
	Mediana[range]	Mediana[range]	p_value
<i>Ext 30°</i>	98 [69-182]	77 [29-112]	N.S.
<i>Ext 120°</i>	86 [20-131]	55 [37-66]	N.S.
<i>Flex 30°</i>	57 [34-62]	28 [25-44]	N.S.
<i>Flex 120°</i>	67 [15-70]	31 [26-41]	N.S.

Tabella 4. Omogeneità soggetti patologici al Test 1

4.2 Disegno Sperimentale

Il protocollo è suddiviso in quattro fasi:

1. Warm up
2. Test 1
3. Facilitazione
4. Test 2

Warm Up

Poiché tutti i soggetti nelle fasi successive dovranno eseguire contrazioni massimali, è stato necessario introdurre una rapida fase di riscaldamento.

Essa consiste in 3 serie da 20 ripetizioni ognuna con carico pari al 20% del massimale su macchina “leg press”, seguite da una breve sessione di stretching dei muscoli quadricipite,

ischio-crurali, e tricipite della sura. Lo stretching è stato eseguito ad entrambi gli arti ed è stato della durata di 1 minuto per gruppo muscolare.

Test 1

Ogni soggetto, seduto su macchina isocinetica nelle medesime posizioni e quindi con i medesimi angoli articolari, con anca e ginocchio flessi a 90° (v. Figura 1), eseguirà secondo questa sequenza fissa, le seguenti contrazioni concentriche attive di ginocchio:

-Una estensione ed una flessione sub-massimali di ginocchio a 30° al secondo

-Due estensioni massimali seguite ognuna da flessione massimale di ginocchio a 30° al secondo

-Una estensione ed una flessione sub-massimali di ginocchio a 120° al secondo

-Due estensioni massimali seguite ognuna da flessione massimale di ginocchio a 120° al secondo

Il riposo tra ogni estensione-flessione e quella successiva sarà di 1 minuto.

Facilitazione

La fase di facilitazione dura per tutti e quattro i gruppi 9 minuti. La facilitazione è la medesima all'interno di ciascuno dei due gruppi Action Observation, sia per i soggetti sani che per quelli patologici, ed all'interno di ciascuno dei due gruppi di Controllo, sia per i soggetti sani che per quelli patologici. In seguito, per esemplificazione, parleremo quindi di facilitazione per i gruppi AO e di facilitazione per i gruppi di controllo. Nessun movimento deve essere eseguito durante questi 9 minuti.

GRUPPIAO

Nei gruppi Action Observation, i soggetti osservano per 9 minuti un filmato in cui una persona dello stesso sesso, ripresa da tre diverse prospettive, esegue un'estensione concentrica attiva di ginocchio, con lo stesso arto con cui poi loro andranno ad eseguire il test.

Nel filmato l'attore verrà ripreso da 3 angolature diverse (dal lato, dall'alto, da davanti) e a 2 velocità differenti ($\approx 30^\circ$ e 120° al secondo).

Il filmato risulta così suddiviso in tre parti continue da circa un minuto l'una:

1. Lato: -30° al secondo
-120° al secondo
2. Alto: -30° al secondo
-120° al secondo

3. Davanti: -30° al secondo
-120° al secondo

Questa sequenza viene poi ripetuta tre volte per una durata totale del filmato di circa 9 minuti.

Gli attori si trovano in posizione seduta su un lettino. Le riprese sono state effettuate all'interno dell'ospedale san Raffaele utilizzando scenari il più possibile neutri, per canalizzare l'attenzione del soggetto sul gesto osservato. Anche l'abbigliamento degli attori è il più possibile neutro, per non distrarre l'attenzione dell'osservatore.

I filmati per il trattamento con Action Observation sono stati realizzati utilizzando una videocamera digitale per le riprese, un PC ed il programma Windows Movie Maker per l'elaborazione delle riprese.

La resistenza durante il filmato è stata applicata tramite pesi alla caviglia. Durante l'esecuzione dell'estensione di ginocchio a 120° al secondo, si è scelto di applicare una resistenza minore alla caviglia rispetto a quella applicata durante l'estensione a 30° al secondo. Questo accorgimento è stato adottato poiché l'osservatore possa percepire il gesto nel modo più verosimile possibile.

Come accennato, gli osservatori vedranno un filmato in cui l'attore è una persona dello stesso sesso. La scelta di riprendere un uomo e una donna è in accordo con numerosi studi descritti in precedenza che mostrano come l'uomo imiti più facilmente gesti compiuti da persone dello stesso sesso^{39,40}.

Diversi studi in letteratura affermano inoltre che più il movimento osservato è simile a quello che il soggetto dovrà compiere, migliori e più facilitate saranno le performance del soggetto⁵⁸. Per questo motivo si è scelto di mostrare a chi sarebbe andato a compiere il gesto con l'arto destro, un filmato in cui l'attore esegue l'estensione di ginocchio con l'arto destro; a chi invece sarebbe andato a compiere il gesto con l'arto sinistro, un filmato in cui l'attore esegue l'estensione di ginocchio con l'arto sinistro.

Inoltre si è deciso di riprendere il movimento da differenti prospettive per dare all'osservatore una informazione tridimensionale dell'azione osservata, e per permettergli di cogliere più particolari possibili.

Ad ogni filmato è stato eliminato il sonoro, per far sì che l'osservatore si concentrasse solo sull'azione osservata.

E' necessario fare un'ultima annotazione sulla realizzazione dei filmati: è stata volutamente omessa la fase di ritorno dalla estensione del ginocchio: l'osservatore quindi vede solo la parte di estensione concentrica attiva di ginocchio, con posizione di partenza con il ginocchio flesso a

90°, e posizione di arrivo con il ginocchio completamente esteso. Il filmato da qui sfuma e riparte con una nuova estensione.

Questo accorgimento è stato adottato per valutare se l'eventuale cambiamento indotto dalla visione del filmato action observation fosse riscontrabile solamente nell'estensione attiva (gesto osservato nel filmato), o anche nella flessione attiva (gesto non osservato nel filmato).

GRUPPI DI CONTROLLO

Nei gruppi di controllo i soggetti, sia sani che patologici, osservano per 9 minuti un filmato riguardante animali con modalità di movimento totalmente diverse da quelle del genere umano, e che non possano in alcun modo avere sembianze che ricordino l'uomo (pesci, insetti...). Ogni filmato è privo di audio, ed è visualizzato su PC, con le stesse modalità procedurali effettuate nel gruppo AO.

Test 2

Ogni soggetto, seduto su macchina isocinetica nelle medesime posizioni e quindi con i medesimi angoli articolari, con anca e ginocchio flessi a 90°, eseguirà secondo questa sequenza fissa, le seguenti contrazioni concentriche attive di ginocchio:

- Due estensioni massimali seguite ognuna da flessione massimale di ginocchio a 30°/sec
 - Due estensioni massimali seguite ognuna da flessione massimale di ginocchio a 120°/sec
- Il riposo tra ogni estensione-flessione e quella successiva sarà di 1 minuto.



Figura 1. Posizione del soggetto su macchina isocinetica

4.3 Acquisizione dei dati e misurazioni

A tutti i soggetti verrà valutata l'attivazione del muscolo quadricipite mediante elettromiografia, e il momento erogato mediante la macchina isocinetica; ai soggetti patologici sarà inoltre richiesta la VAS prima e dopo ogni estensione. Verranno presi come riferimento, sia per la flessione che per l'estensione, i valori massimali di picco raggiunti ad ogni velocità: 30° e 120° al secondo.

Sono stati rilevati i seguenti outcomes:

1) Elettromiografia di superficie del Vasto Mediale (VM), del Vasto Laterale (VL), e del Retto Femorale (RF) del muscolo Quadricipite, e del Bicipite Femorale (BF). Tutte le elettromiografie sono state eseguite con Telemg (BTS, Milano), con otto canali bipolari, modalità di trasmissione del segnale wireless, sample rate 1000 Hz, risoluzione digitale 10 bit, e con elettrodi di superficie bipolari da Ecg con distanza fra loro di 23 mm.

Il software specifico per l'elaborazione del segnale permette di:

- Filtrare (filtro passa alto e passa basso da >0 a 1000 Hz), rettificare e integrare il segnale
- Calcolare la media delle attività EMG
- Analizzare lo spettro di frequenza
- Esportare il segnale in formato ASCII per ulteriori elaborazioni



Secondo le raccomandazioni SENIAM (Surface ElectroMyoGraphy for the Non-Invasive Assessment of Muscles) gli elettrodi verranno posizionati con il seguente protocollo:

- VM: All'80% distale della linea immaginaria che unisce la SIAS e lo spazio articolare davanti al bordo anteriore del Legamento Collaterale Mediale
- VL: A 2/3 della linea immaginaria che unisce la SIAS e il bordo Laterale della rotula
- RF: A metà della linea immaginaria che unisce la SIAS al margine superiore della rotula
- BF: A metà della linea immaginaria che unisce la tuberosità ischiatica e l'epicondilo laterale della tibia

2) Momento del muscolo quadricipite e dei flessori di ginocchio, misurata mediante contrazioni concentriche su macchina isocinetica Kincom 125 AP a due velocità differenti, 30° al secondo, e 120° al secondo.

3) Dolore prima e dopo ogni singola contrazione, mediante Scala Analogo-Visiva (VAS), per tutti i soggetti del gruppo patologico.

4) *Knee injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS)*

Il KOOS è un questionario sviluppato come strumento per accertare la percezione del paziente circa il proprio ginocchio, valutata in diversi ambiti. Gli ambiti valutati, che sono poi le 5 sottoscale da cui esso è costituito, sono: Dolore, altri Sintomi, Attività Quotidiane, Attività Sportiva e Ricreativa, e Qualità della Vita in relazione al ginocchio.

Nel rispondere alle domande i pazienti devono riferirsi alla settimana precedente il test. Le opzioni di risposta sono standardizzate (5 caselle di risposta) ed ogni domanda riceve un punteggio da 0 a 4. Per ogni sottoscala viene calcolato un valore numerico normalizzato su una scala di 100, dove 100 indica nessun sintomo e 0 indica sintomi estremi.

KOOS è stata usata in pazienti di età compresa fra i 14 e i 78 anni ed ha un'alta riproducibilità test-retest (ICC > 0.75). E' stato concepito per essere usato nei casi di trauma al ginocchio che possono esitare in osteoartrosi post-traumatica. (es. traumi a carico del Legamento Crociato Anteriore, rotture meniscali, danni alla cartilagine etc.) e può essere utilizzato per valutare gruppi o per monitorare singoli individui.

KOOS è stato validato in lingua inglese, svedese e danese, comparandolo con la scala SF-36,

ed è abbondantemente usato in letteratura. La sua validazione in altre lingue è in corso di svolgimento. Al momento è usato in diversi studi clinici che includono pazienti con lesioni meniscali, lesioni al Legamento Crociato Anteriore, alla cartilagine articolare, o affetti da osteoartrosi post-traumatica.

La versione inglese del KOOS è stata tradotta in italiano dal professor Aglietti, un chirurgo ortopedico di grande esperienza per quanto riguarda pazienti con problematiche di ginocchio. Questa versione comunque non è stata ancora validata, nonostante sia stata già usata in letteratura⁵⁷.

4.4 Analisi dei dati

Tutti i dati sono stati analizzati tramite il programma SPSS 13.0. Tramite il test di Kolmogorov-Smirnov si è stabilito che si tratta di dati non parametrici.

Per i dati riguardanti il momento sono stati presi i valori massimali di ciascuna delle seguenti contrazioni:

- estensione pre-visione del filmato 30° al secondo
- flessione pre-visione del filmato 30° al secondo
- estensione pre-visione del filmato 120° al secondo
- flessione pre-visione del filmato 120° al secondo

Poiché ogni soggetto aveva effettuato due prove per ciascuna di queste contrazioni, è stata valutata solo quella con il valore maggiore, e scartata l'altra. La stessa operazione è stata eseguita con i valori post visione del filmato.

Per i dati riguardanti l'attivazione elettromiografica un operatore ha selezionato, tramite il programma Myo-Lab, l'intervallo di tempo in cui avveniva la contrazione. Su questo intervallo di tempo veniva calcolata la media di attività elettrica per ogni muscolo (retto femorale, vasto mediale, vasto laterale, bicipite femorale). Questa operazione è stata ripetuta per ogni contrazione, pre e post visione del filmato.

Su tutti i parametri rilevati, cioè momento e attivazione elettromiografica per tutti i soggetti, KOOS e VAS per i soggetti patologici, è stato effettuato il test di Mann-Whitney sui valori pre visione del filmato, per verificarne l'omogeneità.

In seguito, sia per quanto riguarda il momento, che per l'attività elettromiografica di ogni muscolo, sono stati analizzati i dati pre-post visione del filmato intra gruppo, ovvero per il gruppo Action Observation e per il gruppo di controllo. Tramite il test di Willcoxon si è poi determinato se nel gruppo Action Observation o nel gruppo di controllo vi fosse una variazione statisticamente significativa.

Successivamente sono stati analizzati i dati riguardanti il delta, ovvero la variazione tra pre e post visione del filmato inter gruppo. Tali dati sono stati normalizzati rispetto ai valori raccolti al pre. Tramite il test di Mann-Whitney si è confrontata la variazione pre post visione del filmato nel gruppo Action Observation, con quella pre post visione del filmato nel gruppo di controllo.

Anche per i dati riguardanti la VAS dei soggetti patologici è stato effettuato il test di Willcoxon per verificare se vi fosse una variazione pre post visione del filmato, mentre il confronto tra le variazioni dei due gruppi è stato effettuato tramite il test di Mann-Whitney.

Per quanto riguarda i dati di KOOS è stato eseguito il test di Spearman-Rho per verificare se vi fosse una correlazione tra ognuna delle cinque voci del questionario (Dolore, Sintomi, ADL, Attività Sportiva e Ricreativa, Qualità di Vita in relazione al ginocchio), e i valori di momento, in tutto il campione e nei due gruppi presi separatamente.

5. RISULTATI

Per quanto riguarda i soggetti sani non vi è alcuna evidenza che il trattamento Action-Observation produca un effetto diverso da quello della visione di un filmato di controllo.

Nei soggetti patologici affetti da inibizione riflessa vi è un trend positivo a favore del gruppo Action-Observation, che incrementa sempre il momento erogato tra pre e post visione del filmato, rispetto al gruppo di controllo, che diminuisce o mantiene invariato tale valore.

5.1 Momento

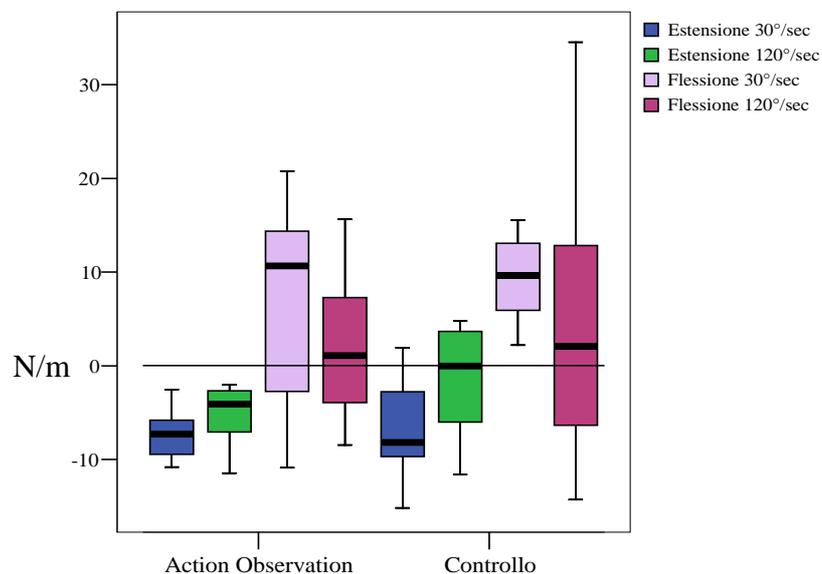
Soggetti Sani

Per quanto riguarda il momento, le medie delle variazioni (delta) pre-post visione del filmato nei soggetti sani appartenenti ai due diversi gruppi sono molto simili ed in nessun caso arrivano alla significatività, come mostrato nella tabella 5 e nel grafico 1.

	AO	C	Mann_Whitney p_value
	Mediana[range]	Mediana[range]	
<i>Ext 30°</i>	-7 [-11--2]	-8 [-15-48]	N.S.
<i>Ext 120°</i>	-4 [-11-6]	0 [-11-33]	N.S.
<i>Flex 30°</i>	10 [-11-21]	10 [2-40]	N.S.
<i>Flex 120°</i>	1 [-8-16]	2 [-14-35]	N.S.

Tabella 5. Variazione momento (post-pre)

Grafico 1 Variazione del momento post-pre



Soggetti Affetti da Inibizione Artrogenica

Per i soggetti del gruppo Action-Observation la variazione pre-post visione del filmato è stata in media rispettivamente di +13 [-13-24] nell'Estensione a 30°/sec; +14 [-4-17] nell'estensione a 120°/sec; +8 [-23-37] nella flessione a 30°/sec; +14 [-1-23] nella flessione a 120°/sec. In tutti i parametri quindi la visione del filmato Action Observation ha prodotto un incremento del momento.

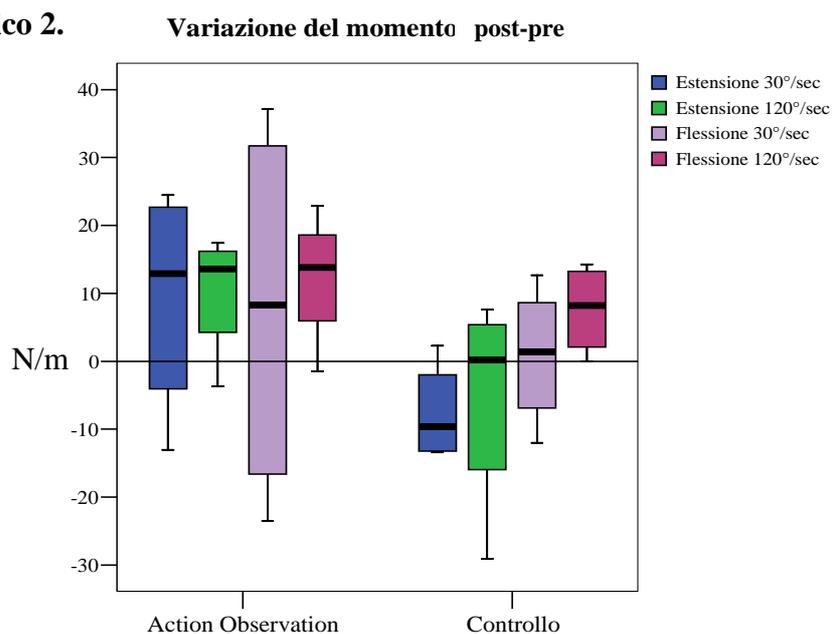
Per i soggetti del gruppo di controllo invece, non vi è stata una variazione positiva, se non nella flessione a 120° al secondo (+8 [0-14]), mentre gli altri valori sono rimasti più o meno invariati.

Nonostante sia abbastanza evidente il trend positivo a favore dei soggetti del gruppo Action Observation (grafico 2), la significatività non è stata mai raggiunta.

	AO Mediana[range]	C Mediana[range]	Mann_Whitney p_value
Ext 30°	13 [-13-24]	-10 [-13-2]	p=0,149
Ext 120°	14 [-4-17]	0 [-29-8]	p=0,149
Flex 30°	8 [-23-37]	1 [-12-12]	N.S
Flex 120°	14 [-1-23]	8 [0-14]	N.S

Tabella 6. Variazione momento (post-pre)

Grafico 2.



5.2 Attività Elettromiografica

Per ogni muscolo è stato effettuato il confronto tra le medie normalizzate delle variazioni dei soggetti del gruppo Action Observation e del gruppo di controllo.

Soggetti Sani

Come per i valori di forza, anche per i valori di attivazione elettromiografica nei 4 muscoli indagati la visione del filmato Action Observation non produce una variazione diversa da quella del filmato di controllo.

A. *RETTO FEMORALE*

	AO Mediana [range]	C Mediana [range]	Mann_Whitney p_value
<i>Ext 30°</i>	-11 [-21-34]	-9 [-13-29]	N.S.
<i>Ext 120°</i>	-8 [-13-40]	2 [-10-5]	N.S.

Tabella 7. Variazione dell'intensità dell'attività elettromiografica (post-pre) nel muscolo retto femorale

B. *VASTO MEDIALE*

	AO Mediana [range]	C Mediana [range]	Mann_Whitney p_value
<i>Ext 30°</i>	-7 [-26-90]	-10 [-27-15]	N.S.
<i>Ext 120°</i>	-14 [-18-28]	-5 [-6-22]	N.S.

Tabella 8. Variazione dell'intensità dell'attività elettromiografia (post-pre) nel muscolo vasto mediale

C. *VASTO LATERALE*

	AO Mediana [range]	C Mediana [range]	Mann_Whitney p_value
<i>Ext 30°</i>	-15 [-32-34]	-13 [-38-10]	N.S.
<i>Ext 120°</i>	-17 [-29-17]	1 [-16-7]	N.S.

Tabella 9. Variazione dell'intensità dell'attività elettromiografia (post-pre) nel muscolo vasto laterale

D. BICIPITE FEMORALE

	AO Mediana [range]	C Mediana [range]	Mann_Whitney p_value
<i>Flex 30°</i>	-10 [-30-2]	-8 [-22-10]	N.S.
<i>Flex 120°</i>	-14 [-37-8]	5 [-19-26]	N.S.

Tabella 10. Variazione dell'intensità dell'attività elettromiografia (post-pre) nel muscolo bicipite femorale

Soggetti affetti da Inibizione Artrogenica

Per quanto riguarda i valori di attivazione elettromiografica la variazione media pre post visione del filmato non è mai statisticamente significativa. Nonostante questo bisogna notare che vi sono alcuni dati in cui la significatività viene quasi raggiunta: per il retto femorale nell'estensione a 30°/sec; per il vasto laterale nell'estensione a 120°/sec; per il bicipite femorale nella flessione a 120°/sec. Tuttavia, mentre nel primo caso (grafico 3) l'incremento dell'intensità di attivazione elettromiografica è a favore del gruppo Action Observation, negli altri due casi (grafico 4 e grafico 5) è a favore del gruppo di controllo.

A. RETTO FEMORALE

	AO Mediana [range]	C Mediana [range]	Mann_Whitney p_value
<i>Ext 30°</i>	25 [-5-44]	-5 [-18--1]	p=0,083
<i>Ext 120°</i>	0 [-10-9]	9 [-24-12]	N.S.

Tabella 11. Variazione dell'intensità dell'attività elettromiografica (post-pre) nel muscolo retto femorale

B. VASTO MEDIALE

	AO Mediana [range]	C Mediana [range]	Mann_Whitney p_value
<i>Ext 30°</i>	8 [-29-38]	-4 [-14-5]	N.S.
<i>Ext 120°</i>	-24 [-64-6]	4 [-7-9]	N.S.

Tabella 12. Variazione dell'intensità dell'attività elettromiografica (post-pre) nel muscolo vasto mediale

C. VASTO LATERALE

	AO Mediana [range]	C Mediana [range]	Mann_Whitney p_value
<i>Ext 30°</i>	4 [-25-15]	-12 [-14-5]	N.S.
<i>Ext 120°</i>	-27 [-68-8]	14 [-11-21]	p=0,083

Tabella 13. Variazione dell'intensità dell'attività elettromiografica (post-pre) nel muscolo vasto laterale

D. BICIPITE FEMORALE

	AO Mediana [range]	C Mediana [range]	Mann_Whitney p_value
<i>Flex 30°</i>	-23 [-40-5]	-10 [-27--1]	N.S
<i>Flex 120°</i>	-31 [-75--7]	10 [-30-44]	p=0,083

Tabella 14. Variazione dell'intensità dell'attività elettromiografica (post-pre) nel muscolo bicipite femorale

Grafico 3. Variazione dell'intensità di attivazione elettromiografica normalizzata del muscolo retto femorale (post-pre)

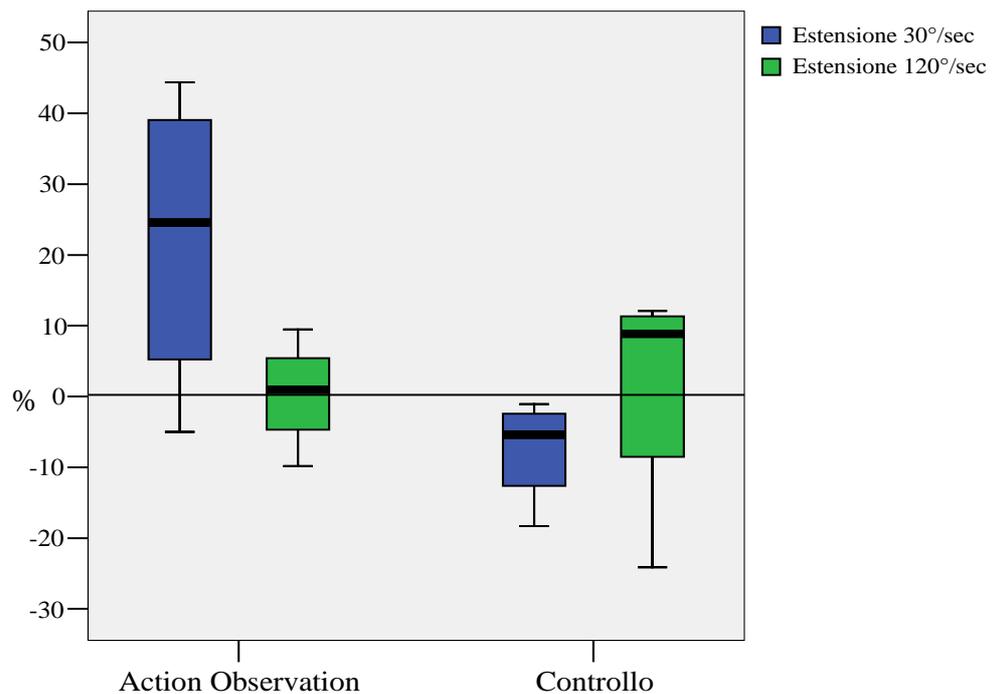


Grafico 4. Variazione dell'intensità di attivazione elettromiografica normalizzata del muscolo vasto laterale (post-pre)

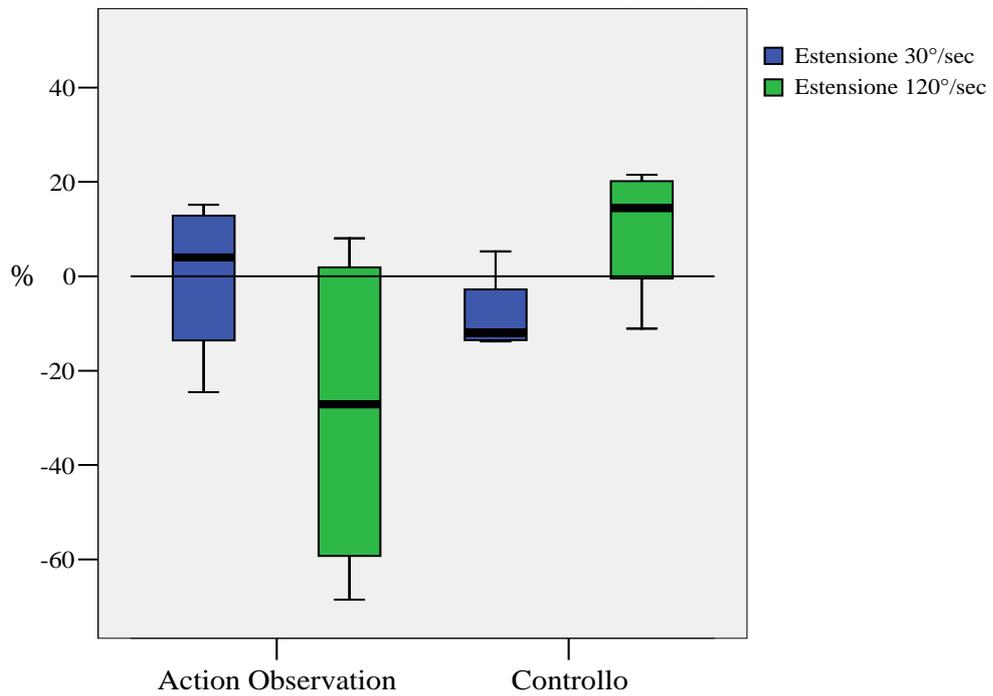
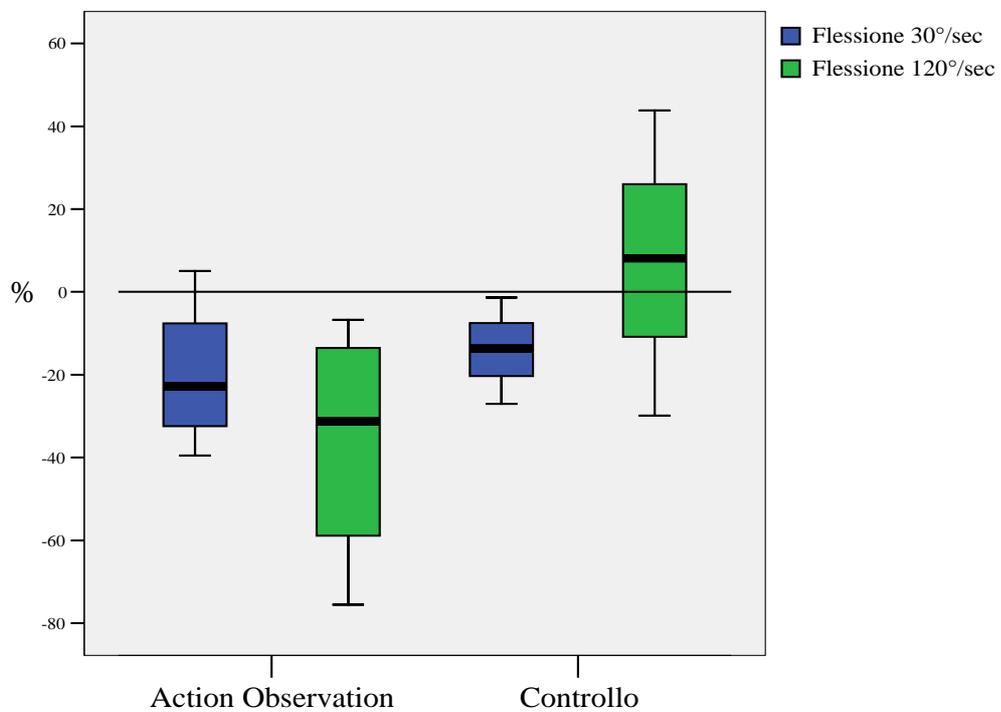


Grafico 5. Variazione dell'intensità di attivazione elettromiografica normalizzata del muscolo bicipite femorale (post-pre)



5.2 KOOS e VAS

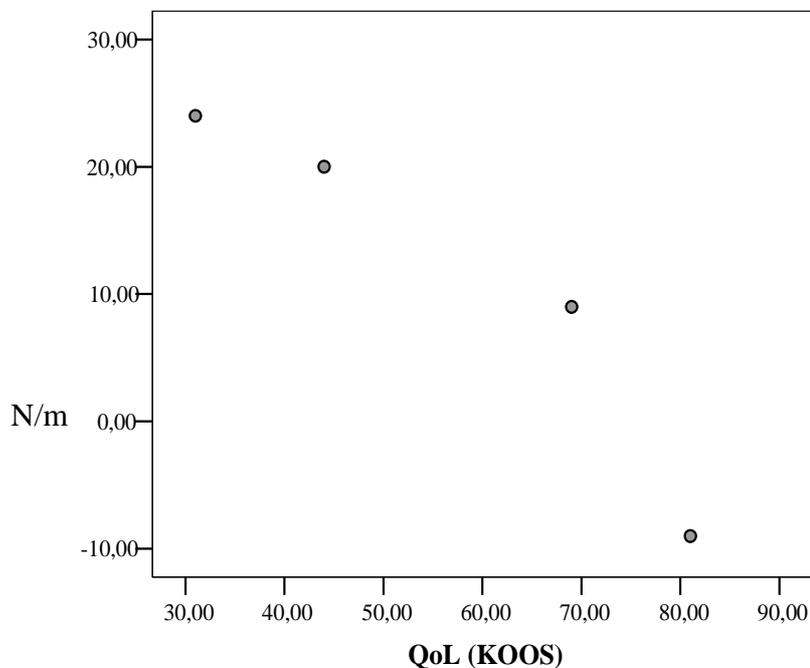
a. I parametri di KOOS e VAS sono stati valutati solo per i soggetti colpiti da inibizione artrogenica.

b. Per quanto riguarda la KOOS, considerando tutto il campione, vi è un coefficiente di correlazione al test di Spearman's Rho di 0,778 fra il parametro "dolore" e la variazione pre-post visione del filmato nell'estensione a 120° al secondo; inoltre vi è una correlazione di 0,783 fra il parametro "altri sintomi" e la variazione tra pre e post visione del filmato nella flessione a 120° al secondo.

c. Considerando i due gruppi separatamente invece, nel gruppo Action Observation vi è una correlazione inversa al test di Spearman's Rho, con $r=-1,00$ e con $p<0,001$, fra il parametro "Qualità di Vita" e il delta di momento erogato nell'estensione normalizzata a 30°/sec (grafico 6). Nel gruppo di controllo questa correlazione non raggiunge la significatività, con $r=0,2$.

Gruppo Action Observation

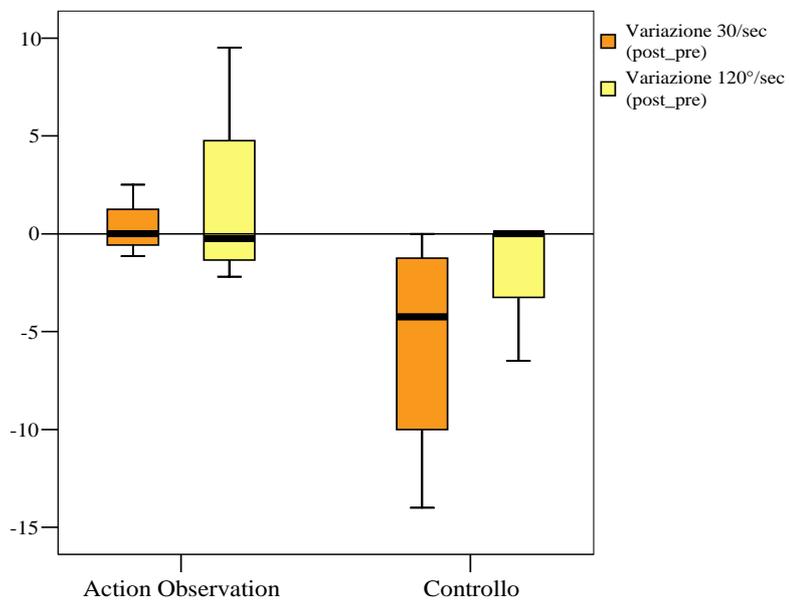
Grafico 6. Correlazione tra QoL (KOOS) e variazione del momento (post-pre) in estensione a 30°/sec



Per quanto riguarda la VAS il gruppo di controllo mostra una diminuzione del dolore fra pre e post nella contrazione a 30° al secondo.

d.

Grafico 7. Variazione VAS (post-pre)



6. DISCUSSIONE

Lo scopo dello studio è quello di verificare se l'Action Observation abbia un effetto sul momento e sull'attivazione del muscolo quadricipite in soggetti sani ed in soggetti affetti da Inibizione Muscolare Artrogenica.

Per quanto riguarda i dati sulla forza, dai nostri risultati, l'Action Observation non sembra aver alcun effetto in soggetti sani. Questo dato sembrerebbe in contrasto con quanto emerso nello studio di Porro A. ed altri, che, come riportato in precedenza, è l'unico che finora abbia valutato gli effetti dell'Action Observation training sull'incremento di forza. E' tuttavia necessario sottolineare alcuni aspetti che fanno differire tale studio da quello condotto in questa sede. In primo luogo anche in quello studio non si era ottenuto un incremento di forza a breve termine, ma solo dopo 6 giorni consecutivi di action observation training. Poiché lo studio condotto da noi ha preso in considerazione solamente i dati a breve termine, non ci è dato sapere se a lungo termine, vi sarebbe stato un aumento di forza analogo a quello evidente nello studio di Porro A. Inoltre i muscoli indagati nello studio di Porro sono l'abduzione del secondo e terzo dito della mano, mentre nel nostro il quadricipite: la diversità tra questi muscoli non risiede solamente nella dimensione, ma soprattutto nella funzione e nel gesto che essi svolgono. L'abduzione tra secondo e terzo dito infatti è un gesto inusuale, e sicuramente non allenato, motivo per cui il margine di allenamento risulta essere molto ampio; il quadricipite invece è uno dei muscoli più usati durante moltissime attività quotidiane quali camminare, fare le scale o correre, cosicché è ragionevole pensare che il suo margine di allenamento sia molto minore. Inoltre l'abduzione delle dita è un gesto singolare, raramente osservato durante la vita quotidiana. Questo può spiegare almeno in parte il motivo per cui vi sia un aumento di forza così significativo causato dall'Action Observation training. Tutto ciò non si può dire per il quadricipite e per l'estensione di ginocchio. E' subito chiaro infatti come un soggetto qualsiasi nella sua vita abbia osservato milioni di volte il gesto di "estendere il ginocchio". E' forse ipotizzabile che in soggetti sani l'Action Observation possa avere effetti su gesti conosciuti, ma raramente osservati durante la vita di tutti i giorni. Non esistono tuttavia evidenze a supporto di questa tesi.

Tornando allo studio in esame, per quanto riguarda i soggetti affetti da inibizione artrogenica si può affermare che l'Action Observation abbia avuto un effetto positivo sulla forza, nonostante i valori non raggiungano mai la significatività. Nel gruppo Action Observation infatti vi è sempre un incremento di forza conseguente alla visione del filmato, mentre nel gruppo di

controllo i valori di forza rimangono inalterati o addirittura diminuiscono. Il fatto che non raggiungano mai la significatività può esser spiegato da diversi fattori. Sicuramente in primis la scarsa numerosità di soggetti che hanno preso parte allo studio. E' stato infatti difficile poter reclutare i soggetti poiché bisognava rispondere a due requisiti: il primo, come evidente, è che fossero affetti da inibizione muscolare artrogenica; il secondo è che fossero in grado di eseguire contrazioni massimali in sicurezza. Queste due esigenze hanno fatto sì che una parte di soggetti non fosse eleggibile perchè non rispondeva ai criteri di inclusione. Per alcuni di essi, infatti, non si poteva sopporre la presenza di inibizione artrogenica, per altri non si riteneva prudente eseguire il gesto in analisi, o non vi erano indicazioni del medico chirurgo a farlo. Una possibilità per risolvere questo problema negli studi a venire è quella di reclutare particolari categorie di pazienti post-chirurgici che rispondano ad entrambi i requisiti. Esiste una vasta serie di interventi di chirurgia mini-invasiva, come ad esempio alcuni interventi in artroscopia quali la meniscectomia o l'artrolisi, in cui è possibile per il paziente effettuare contrazioni massimali a breve distanza dall'operazione, e quindi essendo certi che l'inibizione artrogenica sia ancora presente.

Un altro motivo della non significatività potrebbe essere la mancanza di una metodica per valutare il grado di inibizione. Come già affermato, non avendo a disposizione la tecnica gold standard per definire il grado di inibizione artrogenica, si è assunto che essa fosse subordinata al dolore articolare nelle due settimane precedenti il test. Così facendo però non si ha la possibilità di definire esattamente quanto sia in realtà. È ragionevole pensare che tanto minore è il grado di inibizione di un soggetto, più il suo comportamento si avvicinerà a quello di un sano, nel quale non si sono osservati miglioramenti a breve termine causati dall'Action Observation. Questa supposizione sembra essere confermata dai dati in nostro possesso, in cui nel gruppo Action Observation, i soggetti che presentano valori minori nel parametro "Qualità di Vita", indagato mediante questionario KOOS, ottengono maggiori benefici dalla visione del filmato. Questa correlazione non è riscontrabile nel gruppo di controllo. Una possibile ipotesi è che l'Action Observation abbia effetto maggiore in pazienti maggiormente inibiti. Per confermare questa ipotesi è però necessario effettuare studi in cui venga valutato il grado di inibizione mediante Twitch Interpolation o Burst Superimposition Technique.

Tornando ai nostri dati di attivazione elettromiografica, è opportuno distinguere tra i risultati ottenuti sui soggetti sani e quelli sui soggetti affetti da inibizione. Per quanto riguarda i sani i dati di attivazione muscolare confermano l'andamento già evidenziato con gli outcome di forza, ovvero che la visione del filmato Action Observation non sembra avere nessun effetto.

Nei soggetti patologici il discorso pare essere più complesso. Come si può notare dai

risultati, non vi sono dati che raggiungano la significatività statistica. Nonostante questo bisogna osservare che la significatività viene avvicinata a favore del gruppo Action Observation per quanto riguarda il retto femorale nell'estensione a 30° al secondo; a favore del gruppo di controllo per quanto riguarda il vasto laterale nell'estensione a 120° al secondo, e il bicipite femorale nella flessione a 120° al secondo. Se nel primo caso quindi vi è una correlazione diretta fra l'incremento di forza e l'attivazione elettromiografica dopo la visione del filmato Action Observation, negli altri due casi questa correlazione pare essere inversa, ovvero l'aumento di forza avviene in concomitanza con una diminuzione dell'attivazione elettromiografica. Questa incongruenza potrebbe essere dovuta ad alcuni aspetti critici della rilevazione dell'attività muscolare in prove dinamiche tramite elettromiografia di superficie. Un incremento o una diminuzione del segnale elettromiografico, infatti, potrebbe derivare dallo spostamento dell'elettrodo più vicino o più lontano alla placca neuromuscolare. Pensando ad una prova dinamica come quella analizzata in questa sede, in un cui la flessione di ginocchio varia da 90° a 0°, in un muscolo delle dimensioni del quadricipite, è facile immaginare come vi possa essere uno scivolamento dell'elettrodo sulla pelle, che causi un'alterazione nell'acquisizione del segnale. Per una maggiore correttezza bisognerebbe in linea teorica valutare questi parametri mediante elettromiografia ad ago, metodica sicuramente più precisa, ma al tempo stesso molto più invasiva, e non effettuabile in un gesto come quello indagato in questo studio.

Un'altra considerazione va fatta riguardo al metodo di valutazione di forza qui utilizzato, ovvero su macchina isocinetica mediante contrazioni massimali. L'esecuzione di un gesto volontario massimale è infatti sicuramente influenzata da molteplici fattori, quali la motivazione del soggetto, la sua condizione al momento del test, la paura del dolore. Per questi ed altri motivi risulta soggetta ad una certa variabilità.

Analizzando i dati ottenuti dalla KOOS si possono trarre alcune considerazioni interessanti. La KOOS mostra che, considerando tutto il campione dei soggetti patologici, chi ha minor dolore e minori sintomi presenta valori di forza maggiori nell'estensione e nella flessione a 120°/sec. Questo dato confermerebbe la supposizione che le contrazioni a 120°/sec, ovvero ad una velocità maggiore, sono quelle in cui influiscono maggiormente elementi inconsci come paura del movimento e dolore.

Infine resta da discutere la rilevazione di un incremento del momento erogato durante il movimento di flessione del ginocchio. Questa parte del gesto infatti, non viene mostrata ai soggetti durante il filmato. Non possiamo essere certi di poter spiegare tale fenomeno, anche se è ipotizzabile che, trattandosi di un'azione comune e quindi conosciuta certamente da chi la

osserva, ai soggetti basti vedere una parte di essa, cioè l'estensione, per immaginare anche la parte mancante, cioè la flessione, ed ottenere un effetto positivo nell'esecuzione di tutto il gesto. A favore di questa tesi, uno studio condotto da Fogassi et al. sui macachi, mostra che i neuroni mirror si attivano non solo durante la visione di un'azione, ma anche prima dell'inizio del gesto stesso, se tale gesto è già noto all'osservatore. Gli autori concludono che i neuroni a specchio possono fornire una base neurale per predire, in un altro individuo, le azioni susseguenti ad un comportamento dato e l'intenzione che ne sta all'origine.

7. CONCLUSIONI

L'effetto positivo dell'Action Observation come facilitazione nell'esecuzione di gesti in patologie neurologiche o come facilitazione alla coordinazione motoria è stato ampiamente dimostrato da numerosi lavori. In questo studio è stata per la prima volta indagata la sua efficacia in ambito ortopedico. L'inibizione artrogenica infatti, rappresenta una delle più comuni complicanze conseguente a patologie di tipo ortopedico, ed influenza sensibilmente la capacità di un soggetto nell'erogare forza.

Nonostante i nostri dati non raggiungano la significatività, è possibile affermare che nel gruppo di soggetti che hanno osservato il filmato Action Observation vi sia sempre stato, sia in flessione che in estensione, a 30°/sec e a 120°/sec, un incremento di forza, cosa che non è avvenuta nel gruppo di controllo. Per avere riconferma di questa ipotesi sarebbe opportuno effettuare ulteriori studi indagando un campione più numeroso ed omogeneo, ed avendo la possibilità di valutare il reale grado di inibizione dei soggetti.

Se ciò venisse confermato, l'Action Observation assumerebbe un'importanza unica anche in ambito ortopedico. Soprattutto nelle prime giornate post-operatorie, in cui spesso bisogna privilegiare il riposo al recupero, questa tecnica di facile esecuzione, priva di controindicazioni, rappresenterebbe una delle pochissime possibilità per poter iniziare da subito un training riabilitativo, contrastando l'inibizione muscolare artrogenica e le sue note conseguenze negative.

Rimane infine ancora da chiarire quale sia propriamente il ruolo dell'Action Observation, ovvero se rappresenti una tecnica riabilitativa di per sé, o se è da considerarsi una metodica di facilitazione all'esecuzione del gesto, e quindi debba essere associata ad un training attivo del gesto visionato. A questo scopo sarebbe utile condurre studi in cui, in pazienti ortopedici post operatori, si indaghino gli effetti di un training riabilitativo tradizionale, di un training solo Action Observation, o di entrambi i training combinati tra loro.

KEY POINTS

- L'inibizione muscolare artrogenica (AMI) è una risposta riflessa conseguente a un danno articolare, che consiste nell'incapacità di attivare in modo massimale e volontario un muscolo che agisce su quella articolazione, in assenza di lesioni alle unità motorie del muscolo stesso. I meccanismi di tale inibizione si trovano a livello locale, spinale ed encefalico. L'inibizione artrogenica rappresenta una delle più comuni complicanze conseguente a patologie di tipo ortopedico
- L'Action Observation è un processo cognitivo che si basa sul sistema dei "neuroni specchio", una particolare classe di neuroni visuomotori che si attivano sia durante l'esecuzione di specifici gesti, sia durante la sola osservazione della stessa azione. Il sistema dei neuroni specchio è alla base dell'esecuzione motoria di un gesto imitato.
- L'applicazione terapeutica dell'Action Observation è stata studiata in soggetti affetti da patologie del sistema nervoso centrale (stroke) e si è potuto osservare un maggiore aumento di attivazione neuronale rispetto ai pazienti del gruppo di controllo tramite risonanza magnetica funzionale e un significativo miglioramento delle abilità motorie compromesse dalla patologia
- L'Action Observation si è dimostrato utile nell'incrementare la forza durante l'esecuzione di un gesto motorio in soggetti sani
- Il lavoro qui condotto si è proposto di investigare gli effetti del trattamento Action Observation sull'Inibizione Muscolare Artrogenica, in soggetti con lesioni articolari, durante estensione di ginocchio su macchina isocinetica a due differenti velocità d'esecuzione.
- Nonostante i dati non raggiungano la significatività statistica, è possibile affermare che nel gruppo di soggetti che hanno osservato il filmato Action Observation vi sia sempre stato, sia in flessione che in estensione, a 30°/sec e a 120°/sec, un incremento di forza, cosa che non è avvenuta nel gruppo di controllo.
- Un campione più numeroso di soggetti e una più precisa metodica di valutazione del grado di inibizione artrogenica potrebbe confermare e rafforzare i risultati raggiunti fino ad ora. In tal caso l'Action Observation assumerebbe un'importanza unica anche in ambito ortopedico. Questa tecnica di facile esecuzione, priva di controindicazioni, rappresenterebbe una delle pochissime possibilità per poter iniziare, già durante le prime giornate post-operatorie, un training riabilitativo in grado di contrastare l'inibizione muscolare artrogenica e le sue note conseguenze negative.

BIBLIOGRAFIA

1. Hopkins JT, Ingersoll CD. Arthrogenic muscle inhibition: a limiting factor in joint rehabilitation. *J Sport Rehabil.* 2000;9 (2):135–159
2. Snyder-Mackler L, De Luca PF, Williams PR, Eastlack ME, Bartolozzi AR. Reflex inhibition of the quadriceps femoris muscle after injury or reconstruction of the anterior cruciate ligament. *J Bone and Joint Surgery Am.* 1994; 76: 555-560
3. Sherman K P, Young A, Stokes M, Shakespeare D T. Joint injury and muscle weakness. *Lancet* 1984; ii:646.
4. Young A. Current issues in arthrogenous inhibition. *Annals of the Reumatic Disease* 1993; 52: 829-834.
5. David Andrew Rice, Peter John McNair. "Quadriceps Arthrogenic Muscle Inhibition: Neural Mechanisms and Treatment Perspectives". *Seminars in arthritis and rheumatism* 2009
6. Frobell RB, Le Graverand MP, Buck R, Roos EM, Roos HP, Tamez-Pena J, et al. The acutely ACL injured knee assessed by MRI: changes in joint fluid, bone marrow lesions, and cartilage during the first year. *Osteoarthritis cartilage/OARS, Osteoarthritis Research Society.* 2008 Aug 27.
7. Rice D, McNair PJ, Dalbeth N. Effects of cryotherapy on arthrogenic muscle inhibition using an experimental model of knee swelling. *Arthritis Rheum* 2009;61(1):78-83.
8. Reeves ND, Maffulli N. A case highlighting the influence of knee joint effusion on muscle inhibition and size. *Nature clinical practice.* 2008;4(3):153-8.
9. Spencer JD, Hayes KC, Alexander IJ. Knee joint effusion and quadriceps reflex inhibition in man. *Arch Phys Med Rehabil* 1984;65:171-7.
10. Coggeshall RE, Hong KA, Langford LA, Schaible HG, Schmidt RF. Discharge characteristics of fine medial articular afferents at rest and during passive movements of inflamed knee joints. *Brain Res* 1983;272(1):185-8.
11. Schaible HG, Schmidt RF. Effects of an experimental arthritis on the sensory properties of fine articular afferent units *J Neurophysiol* 1985;54(5):1109-22.
12. Hurley MV. The effects of joint damage on muscle function, proprioception and rehabilitation. *Man Ther* 1997;2(1):11-7.
13. Konishi Y, Fukubayashi T, Takeshita D. Possible mechanism of quadriceps femoris weakness in patients with ruptured anterior cruciate ligament. *Med Sci Sports Exerc* 2002;34(9):1414-8.
14. Konishi Y, Suzuki Y, Hirose N, Fukubayashi T. Effects of lidocaine into knee on QF strength and EMG in patients with ACL lesion. *Med Sci Sports Exerc* 2003;35(11):1805-8.
15. Lorentzon R, Elmqvist L-G, Sj6strom M, Fagerlund M, Fugl-Meyer A R. Thigh musculature in relation to chronic anterior cruciate ligament tear: muscle size, morphology, and mechanical output before reconstruction. *Am J Sports Med* 1989; 17: 423-9.
16. Rutheford O M, Jones D A, Newham D J. Clinical and experimental application of the percutaneous twitch superimposition technique for the study of human muscle activation. *J Nurol Neurosurg Psychiatry* 1986; 49:1288-91.
17. Hales J P, Gandevia S C. Assessment of maximal voluntary contraction with twitch interpolation: an instrument to measure twitch responses. *J Neurosci Methods* 1988; 25:97-102
18. Kent-Braun JA, Le Blanc R. Quantitation of central activation failure during maximal voluntary contractions in humans. *Muscle Nerve* 1996; 19(7): 861–869.
19. Burke D, Hallett M, Fuhr P, Pierrot-Deseilligny E. H reflexes from the tibial and median nerves In: *Recommendation for the practice of clinical neurophysiology.* *Clinical Neurophysiology* 1999; 52: 259-262.
20. Yurtkuran M, Kocagil T. TENS, electroacupuncture and ice massage: comparison of treatment for osteoarthritis of the knee. *American journal of acupuncture* 1999; 27(3-4): 133-140.
21. Eriksson E, Haggmark T. Comparison of isometric muscle training and electrical stimulation

- supplementing isometric muscle training in the recovery after major knee ligament surgery. *The American journal of sports medicine* 1979; 7: 169-171.
22. Fitzgerald GK, Piva SR, Irrgang JJ. A modified neuromuscular electrical stimulation protocol for quadriceps strength training following anterior cruciate ligament reconstruction. *The Journal of orthopaedic and sports physical therapy* 2003; 33(9): 492-501
 23. Owens J, Malone T. Treatment parameters of high frequency electrical stimulation as established on the electro-stim 180. *The Journal of orthopaedic and sports physical therapy* 1983; 4: 162-168.
 24. Kirnap Mehmet. The efficacy of EMG-biofeedback training on quadriceps muscle strength in patients after arthroscopic meniscectomy. *New Zealand medical journal* 2005; 118: 1224-1231.
 25. Yilmaz, Ozlem O. Efficacy of EMG-biofeedback in knee osteoarthritis. *Rheumatology international* 2009.
 26. Urbach D, Nebelungh W, Weiler H T, Awiszus F. Bilateral deficit of voluntary quadriceps muscle activation after unilateral ACL tear. *Med Sci Sports Exerc* 1999; 31(12):1691-96.
 27. Urbach D, Awiszus F. Impaired ability of voluntary quadriceps activation bilaterally interferes with function testing after knee injuries. A twitch interpolation study. *Int J Sports Med* 2002; 23(4):231-6.
 28. Hart, Joseph M JM."Quadriceps activation following knee injuries: a systematic review". *Journal of athletic training*. 2010, 45 (1), p. 87
 29. Shakespeare DT, Stokes M, Sherman KP, Young A. Reflex inhibition of the quadriceps after meniscectomy: lack of association with pain *Clin Physiol* 1985; 5(2):137-44.
 30. Becker R, Berth A, Nehring M, Awiszus F. Neuromuscular quadriceps dysfunction prior to osteoarthritis of the knee. *J Orthop Res* 2004 ;22(4):768-73.
 31. Hurley MV, Jones DW, Wilson D, Newham DJ. Rehabilitation of quadriceps inhibited due to isolated rupture of the anterior cruciate ligament. *J Orthopaed Rheumatol* 1992;5:145-54.
 32. Nakamura T, Kurosawa H, Kawahara H, Watarai K, Mivashita H. Muscle fiber atrophy in the quadriceps in knee-joint disorders: histochemical studies on 12 cases. *Arch Orthop Trauma Surg* 1986; 105: 163-9.
 33. Newham D J, Hurley M V, Jones D W. Ligamentous knee injuries and muscle inhibition. *Journal of Orthopaedic Rheumatology* 1989; 2: 163-73.
 34. Herzog W, Suter E. Muscle inhibition following knee injury and disease. *Sportverletz Sportschaden* 1997; 11(3):74-78
 35. Hurley MV, Jones DW, Newham DJ. Arthrogenic quadriceps inhibition and rehabilitation of patients with extensive traumatic knee injuries. *Clin Sci* 1994; 86(3):305-10
 36. Palmieri-Smith, Riann M RM. "Quadriceps inhibition induced by an experimental knee joint effusion affects knee joint mechanics during a single-legged drop landing". *The American journal of sports medicine* 2007, 35 (8), p. 1269
 37. Bax L, Staes F, Verhagen A. Does Neuromuscular Electrical Stimulation strengthen the quadriceps femoris? A systematic review of randomized control trials. *Sports Med* 2005; 35(3):191-212.
 38. Attivazione del muscolo quadricipite durante due differenti esercizi prima e dopo artroscopia di ginocchio. Tesi di Laurea c/o Università Vita-Salute San Raffaele; relatore Ft Sosio C. A.A 2006.R
 39. Rizzolatti G, Fadiga L., Gallese V., Fogassi L. premotor cortex and the recognition of motor actions. *Cognitive Brain Research* 1996; 3:131-141.
 40. Fadiga L., Fogassi L., Pavesi G, Rizzolatti G. Motor facilitation during Action Observation: a magnetic stimulation study. *Journal of Neurophysiology* 1995; 73: 2608-2611.
 41. Gangitano M., Mottaghy F.M., Pascual-Leone A.. Phase specific modulation of cortical motor output during movement observation. *Neuroreport* 2001; 12: 1489-1492.
 42. Buccino G, Binkofski F., Fink G.R., Fadiga L., Fogassi L., Gallese V., Seitz K., Rizzolatti G, Freund H.J.. Action Observation activates premotor and parietal areas in a somatotopic manner: an fMRI study. *European Journal of Neuroscience* 2001; 13:400-404.
 43. Iacoboni M., Woods R.P., Brass M., Bekkering H., Mazziotta J.C., Rizzolatti G. Cortical

- mechanisms of human imitation. *Science* 1999; 2526-2528.
44. Nishitani N., Hari R. Temporal dynamics of cortical representation for action. *Proceedings of National Academy of Sciences* 2000; 97: 913-918.
 45. Ferrari P.F., Visalberghi E., et al. Neonatal imitation in rhesus macaques. *Plos Biology* 2006; 9:302.
 46. Rizzolatti G. et al. Language within our grasp. *Trends in neurosciences* 1998; 21:188-194.
 47. Decety J., Sommerville J.A.. Shared representations between self and other: a social cognitive neuro science view. *Trends in neurosciences* 2003; 7:527-533.
 48. Iacoboni M., Woods R.P., Brass M., Bekkering H., Mazziotta J.C., Rizzolatti G. Cortical mechanisms of human imitation. *Science* 1999; 2526-2528.
 49. Buccino G, Lui F, Vanessa N., Patteri I., Lagravinese G, benuzzi F, Porro C.A., Rizzolatti G. Neural circuits involved in the recognition of actions performed by non con-specifics: An f MRI study. *Journal of Cognitive Neuroscience* 2004; 16: 114-126.
 50. Calvo-Merino B., Glaser D.E., Grèzes J., Passingham R.E., Haggard P. Action Observation and acquired motor skills: an fMRI study with expert dancers. *Cerebral cortex* 2005; 8:1243-1249
 51. D.Ertelt et al. Action Observation has a positive impact on rehabilitation of motor deficits after stroke. *Neuroimage* 2007; 36:T164-T173.
 52. Buccino G., Solodkin A., Small S.L.. Functions of the mirror neuron system: implications for neurorehabilitation. *Cog Behav Neurol* 2006; 19:55-63.
 53. Porro C.A., Facchin P., Fusi S., Dri G., Fadiga L..Enhancement of force after action observation. *Behavioural and neurophysiological studies. Neuropsychologia* 2007; 45(13):3114-21.
 54. Grèzes J, Decety J. Functional anatomy of execution, mental simulation, observation, and verb generation of actions: a meta-analysis. *Hum Brain Mapp.* 2001; 12(1):1-19.
 55. Lui F, Buccino G, Duzzi D, Benuzzi F, Crisi G, Baraldi P, Nichelli P, Porro CA, Rizzolatti G. Neural substrates for observing and imagining non-object-directed actions. *Soc Neurosci.* 2008;3(3-4):261-75.
 56. Yue G, Cole K.J. Strenght increases from the motor program: comparison of training with maximal voluntary and imagined muscle contraction. *Journal of Neurophysiology* 1992; 67 (5): 1114-1123
 57. Zimmermann-Schlatter A, Schuster C, Puhan MA, Siekierka E, Steurer J. Efficacy of motor imagery in post-stroke rehabilitation: a systematic review. *J Neuroeng Rehabil* 2008. 14; 5:8.
 58. Bohan M., Pharmed J.A., Stokes A.F. When does imagery practice enhance performance on a motor task? *Perceptual and Motor Skills* 1999; 88: 651-658