



Università degli Studi di Padova

CORSO DI LAUREA IN FISIOTERAPIA

PRESIDENTE: *Ch.mo Prof. Raffaele De Caro*

TESI DI LAUREA

Effetto del feedback aumentato in realtà virtuale per la riabilitazione della mano, dopo ictus: studio longitudinale pilota

*(Effect of augmented feedback by virtual reality for the rehabilitation of hand function,
after stroke: longitudinal pilot study)*

RELATORE: Dott. Andrea Turolla

LAUREANDO: Emanuele Sartori

Anno Accademico 2015/2016

INDICE

Riassunto

Introduzione

CAPITOLO 1: Ictus: caratteristiche e principi di recupero.....3

1.1 Definizione, incidenza, prognosi.....3

1.2 Fisiopatologia e recupero motorio dopo l'ictus(neurofisiologico).....5

1.3 Neuroplasticità e riabilitazione (fondamenti).....6

1.4 Apprendimento e controllo motorio.....8

1.5 Ruolo del feedback nell'esercizio terapeutico.....10

CAPITOLO 2: Arto superiore e Mano: compromissione e recupero13

2.1 "Riabilitazione arto superiore".....13

2.2. Metodiche tradizionali.....15

2.3 Metodiche aumentative.....16

2.4 Task oriented therapy.....17

2.2.5 Realtà Virtuale.....19

Obiettivo della tesi

CAPITOLO 3: Materiali e Metodi25

3.1 Campione.....25

3.2 Ambiente Virtuale: protocollo riabilitativo strutturato.....25

3.3 Protocollo riabilitativo task oriented.....28

3.4 Valutazione clinica.....29

3.5 Metodi Statistici.....31

CAPITOLO 4: Risultati.....33

4.1 Analisi descrittiva del campione.....33

4.2 Analisi dei risultati del gruppo trattamento Realtà Virtuale.....34

4.3 Analisi dei risultati del gruppo di trattamento task-oriented.....38

4.4 Analisi dei risultati del confronto tra i due gruppi di trattamento.....41

CAPITOLO 5: Discussione.....43

Conclusioni.....47

Bibliografia.....47

Allegati.....56

RIASSUNTO

Una delle patologie più diffuse nel mondo occidentale è l'ictus, le cui conseguenze possono andare dalla perdita di parola a deficit motori più o meno gravi. Vista l'importanza della funzione che ricopre la mano nelle attività di tutti i giorni, è immediato comprendere come un evento patologico, che vada ad inficiarne l'utilizzo, possa avere un forte impatto sia psicologico sia nell'indipendenza nella vita di tutti i giorni.

Il forte sviluppo tecnologico di quest'ultimi decenni, ha permesso l'utilizzo di nuove strategie riabilitative da parte del fisioterapista. Nello specifico l'utilizzo d'ambienti virtuali consente trattamenti riabilitativi maggiormente stimolanti, intensi e task-specifici. Queste metodiche si basano sui principi del "motor learning" che stanno alla base della riorganizzazione cerebrale, i quali saranno maggiormente efficaci se forniti con feedback specifici e adeguati.

In questa tesi si è verificato l'effetto clinico dell'utilizzo della realtà virtuale ai fini della riabilitazione della mano. Gli obiettivi di questo studio si possono riassumere in tre punti: il primo di progettare un protocollo in cui le caratteristiche e gli esercizi specifici della riabilitazione task-oriented fossero integrati all'interno della realtà virtuale, il secondo di verificare se tale strutturazione abbia un effetto clinico, il terzo di confrontare gli outcome con dei risultati storici di una tesi in cui si è strutturato un ambiente riabilitativo con dei parametri ben specifici proponendo un protocollo task-oriented.

I pazienti selezionati sono stati 5, con diagnosi di Ictus, reclutati presso la Fondazione Ospedale San Camillo di Venezia e sottoposti ad un ciclo di 15 sedute (1 ora al giorno, per 5 giorni a settimana, per 3 settimane).

Tutti i pazienti sono stati valutati prima e dopo il trattamento e i risultati infine analizzati statisticamente con i t-Student e il Wilcoxon test, la significatività è stata fissata per $p < 0,05$.

Il dispositivo utilizzato nello studio sperimentale è stato il sistema "Virtual Reality Rehabilitation System" (VRRS®) a cui è stata collegato un dispositivo periferico *Hand Box*. La periferica ha il vantaggio di funzionare senza alcuna applicazione di sensori alla mano del paziente poiché è dotata di un sistema infrarossi, lo svantaggio è che essendo un prototipo non è mai stata utilizzata prima su pazienti.

I risultati del gruppo di studio realtà virtuale ha mostrato miglioramenti significativi in tutte le scale cliniche che andassero a valutare la motricità fine e grossolana della mano. Non si è registrato invece un miglioramento significativo per la scala *FIM*. Dal confronto tra i due protocolli si è potuto concludere che il trattamento con Realtà Virtuale porti a maggiori miglioramenti rispetto al trattamento task-oriented.

SUMMARY

Stroke is one of the most common diseases in the western world and his consequences can range from lost of speech and to more or less serious motor deficits. The hand is very important for all daily activities and it's immediately understanding as a pathological event can do a strong phycological impact and how can change the independence of everyday life.

The news technologies have given permission to the physiotherapist to use innovative rehabilitation strategies.

In particular the use of virtual environments allow more stimulating rehabilitative treatments, intensive and task-specifics.

These methods are based on the principles “motor learning” that underline of the cerebral reorganization that will be more effective if they are provided feedback with specific parameters.

In this thesis it examined the clinical effects of using the virtual reality for the rehabilitation of the hand. The objectives of this study can be illustrate on three points: the first point is to project a protocol in which the characteristics and specifics exercises of rehabilitation task- oriented were integrated inside the virtual reality, the second point is to verify if this structure has a clinical effect, and the third to compare outcome with historical results of another thesis which in it structured a rehabilitative environment with specific parameters proposing a protocol task-oriented.

Five patients were selected, diagnosed with stroke, recruited at San Camillo hospital in Venice. These patients were subjected to a cycle of 15 session (1 hour a day, for 5 days a week, for 3 weeks).

The patients were evaluated before and after the cycle and at the end the results were calculated with the site t.Studente and Wilcoxon test. The significance was set to $p < 0,05$. The system used for this study is “Virtual Reality Rehabilitation System” (VRRS®) to which a peripheral system Hand box is connected. The peripheral system is equipped with infrared system and it can operated without applications of sensor to the hand, and this is a advantage. But there is a disadvantage: this device is a prototype and has never been used on patients.

The results of virtual reality study group showed significant improvements in all clinical scales that evaluated motor skills of the hand. For the FIM scale didn't register any significant improvement. Box and Bloks test demonstrate a greater improvement for the virtual reality grou

INTRODUZIONE

L'arto superiore nell'uomo riveste un significato fondamentale ai fini dell'interazione con il mondo; in particolare la mano rappresenta il mezzo con il quale il "sistema uomo" può rapportarsi, comprendere e modificare la realtà esterna.

Le funzioni dell'arto superiore sono molteplici: il movimento può essere finalizzato all'indicazione, al raggiungimento o all'allontanamento di oggetti indesiderati.

La mano a sua volta è uno strumento eccezionale grazie alla sua specifica funzione: la prensione. Dalla pinza del gambero alla mano della scimmia si ritrova questa capacità di funzione, ma in nessun'altra specie come nell'uomo è presente questa abilità con dei gradi di precisione e perfezione così alti. Questa caratteristica è dovuta alla particolare disposizione del pollice che permette una sua opposizione con tutte le altre dita.

La mano oltre che un organo d'esecuzione si ritrova ad essere un recettore sensoriale sensibile e preciso. In tutto questo, ciò che ha maggior rilevanza è la coppia mano-cervello: il cervello dirige la mano, ma è la mano che ha modificato il cervello dell'uomo.

La mano forma quindi col cervello una coppia funzionale indissolubile (Kapandji, 2011). Vista l'importanza di tale distretto, in questa tesi si è proposto sia d'indagare le disfunzioni dell'arto superiore, in particolare della mano nel paziente emiplegico, sia di verificare l'efficacia di un protocollo task-oriented proposto tramite realtà virtuale.

Questa scelta è legata alla difficoltà che si sperimenta (più o meno frequentemente) nella pratica riabilitativa, di guidare i pazienti emiplegici al recupero delle abilità manuali. Ciò che mi è apparso particolare, è stata la constatazione che questi pazienti, alla fine del ciclo di trattamento, riuscivano a recuperare in modo soddisfacente comportamenti motori complessi quali il cammino, mentre apparivano modesti i risultati ottenuti nel recupero della motricità dell'arto superiore in special modo della mano. In parallelo a queste osservazioni, ho constatato che il progresso tecnologico ha rivoluzionato molte applicazioni anche nel campo specifico della neuro-riabilitazione; spesso però questi approcci sono stati enfatizzati oppure non utilizzati correttamente, con conseguenti insoddisfazione dei pazienti e dei terapeuti. Da queste riflessioni è nata l'idea di compiere tale studio proponendo esercizi semplici e mirati alla riabilitazione della mano, sfruttando i vantaggi forniti dalla realtà virtuale. Si è quindi valutato il setting ideale per l'interazione macchina-paziente, si è programmata la difficoltà, l'intensità e la progressione degli esercizi a seconda della gravità del paziente. Infine attraverso una valutazione clinica si è voluto osservare se, i miglioramenti ottenuti in ambiente virtuali, siano correlati ad un miglioramento dell'utilizzo dell'arto superiore nelle attività della vita quotidiana.

Capitolo 1: Ictus caratteristiche e principi di recupero

1.1 Definizione

Le malattie vascolari del sistema nervoso centrale sono affezioni dell'encefalo causate da una patologia del sistema vascolare. Il danno del parenchima cerebrale avviene essenzialmente attraverso due meccanismi: l'ischemia e l'emorragia. La prima non è altro che l'assenza di flusso ematico che priva il tessuto cerebrale dell'ossigeno e nutrimenti, la seconda è il rilascio del sangue all'interno del parenchima cerebrale o negli spazi extravascolari all'interno del cranio [Basile, Inzitari 2015]. Nonostante l'ictus rappresenti la terza causa di morte nei paesi industrializzati (con incidenza e prevalenza in aumento) e gli studi sulla patofisiologia siano numerosi il termine "ictus" non è ancora stato definito in modo soddisfacente nella pratica clinica. Secondo l'OMS (Organizzazione Mondiale della Sanità) l'ictus o stroke è un accidente cerebrovascolare in cui sono soddisfatti i seguenti punti:

- Rapida comparsa di segni e/o sintomi, riconducibili ad una perdita di funzione cerebrale (focale o globale), che:
- Segni e sintomi con durata superiore alle 24 ore;
- I segni e i sintomi non devono essere attribuibili ad altre cause apparenti diverse dall'origine vascolare.

Questa definizione è stata introdotta nel 1970 ed è tutt'ora utilizzata, tuttavia durante questi 40 anni sono stati fatti dei progressi nella conoscenza della patofisiologia, nel riconoscimento dei segni clinici e nella diagnostica per immagini.

L'associazione AHA/ASA American Heart Stroke Association in uno studio del 2013 afferma essere necessaria una differenziazione nella definizione tra ischemia globale e focale. La focale infatti è causata da una stenosi od occlusione e colpisce solo una piccola area di cellule della zona perfusa, la globale avviene in seguito ad un abbassamento di pressione (shock o arresti cardiaci). In quest'ultimo caso le aree danneggiate potranno comprendere anche il cervelletto, il talamo, l'ippocampo [Sacco 2013]. Le differenze da considerare tra le due forme di ictus saranno: la valutazione medica iniziale, il trattamento in fase acuta, i deficit e la prognosi.

La definizione che stiamo cercando dovrà quindi includere solamente i tessuti danneggiati a livello d'encefalo, midollo spinale e la retina poiché il sistema periferico ha un altro tessuto di derivazione embrionale, altra presa in carico e altro trattamento.

A questo scopo appare soddisfacente la definizione data dall'American Heart Stroke Association [Sacco,Chair 2013].

L'infarto del sistema nervoso centrale comprende la morte cellulare a livello dell'encefalo, midollo spinale e retina sulla base di:

1. Evidenze patologiche, d'immagini o altri elementi diagnostici oggettivi che riguardino il danno ischemico focale o di una zona di distribuzione vascolare specifica a livello di encefalo, midollo spinale o cellule retiniche
2. Evidenze cliniche di danni ischemici focali a livello encefalico, midollo spinale e retina che si basino su sintomo persistenti che durino più di 24H o che conducano alla morte, escludendo altri tipi di eziologie.

Si possono trovare due tipologie di ictus: ischemico (80% delle forme) ed emorragico (20% delle forme). L'*ischemico* può essere suddiviso a sua volta in aterotrombotico ed embolico. Il primo è legato alla patologia aterotrombotica dei tronchi arteriosi più grossi in cui il lume dell'arteria può ridursi acutamente od occludersi in seguito a complicazioni della placca. Il secondo è caratterizzato dall'occlusione di un vaso a causa di un'embolia, ovvero frammenti di materiale tromboembolico (eritrociti e fibrina) che si stacca da un trombo situato prossimalmente ed occlude un vaso distalmente [Basile, Inziatari 2015]. L'*emorragico*, invece, può essere suddiviso a seconda della localizzazione dello stravasamento e quindi: emorragia intraparenchimale ed subaracnoidea.

Secondo i dati del ministero della salute 2013 in Italia l'ictus è la terza causa di morte, dopo le malattie ischemiche del cuore e le neoplasie. Lo stroke infatti rappresenta il 10-12% di tutti i decessi per anno e la prima causa di invalidità. Ogni anno si verificano in Italia circa 196.000 casi di incidenti cerebro-vascolari, di cui il 20% sono recidive (39000). Il 10-20% delle persone colpite da ictus cerebrale muore entro un mese e un ulteriore 10% entro il primo anno di vita. Solo il 25% dei pazienti guarisce completamente, il 75% sopravvive con qualche forma di disabilità, e di questi la metà è portatore di un deficit così grave da perdere l'autosufficienza.

L'ictus è più frequente dopo i 55 anni, la sua prevalenza raddoppia successivamente ad ogni decade; il 75% degli ictus si verifica nelle persone con più di 65 anni. La prevalenza dell'ictus nelle persone di età 65-84 anni è del 6,5% (negli uomini 7,4%, nelle donne 5,9). Secondo i dati Spread (Stroke Prevention And Educational Awareness Diffusion) del 2012 in Italia l'ictus ischemico colpisce soggetti con età media intorno ai 50 anni, più spesso uomini che donne; quello emorragico intraparenchimale colpisce soggetti in media meno anziani, sempre con lieve prevalenza per il sesso maschile; l'emorragia

subaracnoidea colpisce più spesso soggetti di sesso femminile, di età media intorno ai 50 anni circa.

Questi dati esprimono dunque l'importanza che ha questa patologia a livello nazionale, sia per un fattore sociologico ma anche per un peso economico che grava sul Sistema Sanitario Nazionale

Infatti, risultati di uno studio condotto dal centro di ricerca della Bocconi di Milano stimano che i costi per ogni persona sopravvissuta all'ictus si aggirano tra gli 11.747 € fino a 19.953€. [Fattore 2012].

1.2 Patofisiologia, recupero motorio e meccanismo riparativi

Per comprendere al meglio su quali meccanismi e strutture va ad agire la neuro riabilitazione, appare necessario riassumere le caratteristiche pato-fisiologiche di un danno vascolare del sistema nervoso centrale [SNC].

L'ischemia cerebrale interrompe l'apporto di ossigeno e glucosio in una certa zona del cervello. Di conseguenza quest'area non sarà più in grado di ricostruire le proprie scorte energetiche (ATP) attraverso il metabolismo ossidativo. Il cervello infatti deve continuamente utilizzare ATP per mantenere il potenziale di membrana dei neuroni, per questo motivo le scorte di ATP tendono a finire velocemente. Sono presenti due meccanismi di compenso, la rifosforilazione oppure la glicolisi anaerobia, che comunque sono usufruibili per poco tempo [Fazio, 2000]. Senza ATP il neurone non sarà più in grado di mantenere attiva la pompa sodio/potassio ed inizierà a depolarizzarsi. Proseguendo con questo meccanismo in molte aree dell'encefalo, il parenchima dello stesso genererà un fenomeno chiamato "depolarizzazione anossica", ossia la depolarizzazione associata a forti alterazioni metaboliche. Quest'ultime rimangono per un breve tempo reversibili per poi diventare irreversibili. [Fazio, 2000]

Nel corso del danno ischemico acuto si è dimostrata inoltre una riduzione del consumo energetico e della funzionalità di aree cerebrali lontane ("remote") rispetto alla regione lesa. Questa interruzione del flusso di segnali dalla zona lesa alle zone lontane fa sì che ci sia una temporanea situazione di shock, con un ipometabolismo e una ridotta funzionalità, questo fenomeno viene chiamato "diaschisi".

L'estensione del danno provocato dall'ischemia è collegata a due fattori: il livello di perfusione durante il periodo ischemico e la durata dell'ischemia. Osservazioni sperimentali e cliniche hanno dimostrato che la ricanalizzazione spontanea di un vaso occluso non è un fenomeno raro. Esiste però la possibilità di avere un "danno da

riperfusionem” che, in alcuni casi, può aggravare e ulteriormente danneggiare il tessuto ischemico (improvviso innalzamento della pressione idrostatica, improvviso incremento di ioni superossido, ulteriore danno tissutale dato dai leucociti) [Fazio, 2000].

Il SNC non possiede la capacità di ripristinare l’anatomia antecedente l’evento ictale, per questo motivo è difficile stabilire quali siano i meccanismi del recupero funzionale post-lesionale. Per comprendere questi meccanismi appare dunque utile analizzare gli eventi che avvengono in fase acuta e in fase tardiva. La ripresa in fase acuta è dovuta a:

- riduzione dell’edema
- assorbimento dei prodotti tossici
- modificazioni biochimiche (cambiamenti ionici e del pH)
- ripristino della normale circolazione nelle zone circostanti il danno con riperfusionem della zona penombra

Invece i meccanismi del ripristino della funzione in fase tardiva sui quali la riabilitazione può indurre aver un effetto sono:

- Modificazione dei rapporti sinaptici con l’utilizzo di connessioni prima inattive
- La presenza d’attività di aree che sono potenzialmente in grado d’assumere una funzione vicaria
- Aeree non danneggiate che siano in grado di svolgere funzioni ulteriori simili a quelle delle aeree danneggiate

Tutti questi fenomeni fanno riferimento alla capacità di adattamento o plasticità del SNC, e dovranno essere sfruttati attraverso interventi riabilitativi.

Data l’importanza di questa caratteristica del nostro SNC si è deciso di dedicare il prossimo paragrafo al fenomeno della neuroplasticità.

1.3 Neuroplasticità e riabilitazione

Fino a poco tempo fa il mondo scientifico credeva che il cervello, essendo un organo complesso con funzioni straordinarie, non fosse modificabile e le sue cellule fossero destinate ad una progressiva ed inesorabile morte. Si riteneva infatti che il tessuto nervoso una volta sviluppato fosse fisso ed immutabile e tutto ciò che veniva lesionato non potesse essere recuperato o rigenerato. A sostegno di questa tesi si presentava sia l’impossibilità di studiare in vivo con il microscopio il cervello, sia un’evidenza clinica che dimostrava quanto fossero rare le remissioni complete dei sintomi in pazienti con danni al sistema nervoso [Yukihiro, 2015]. Una conseguenza di questo stato dell’arte è stata una scarsa considerazione della riabilitazione di pazienti con patologie neurologiche.

Una svolta decisiva avvenne nel 1998, quando lo svedese Peter S. Eriksson pubblicò sulla rivista *Nature Medicine* un articolo che dimostrò come anche le cellule nervose siano soggette al fenomeno della mitosi, soprattutto a livello dell'ippocampo e delle strutture periventricolari dell'encefalo [Eiksson, 1998].

Solo alle soglie del terzo millennio, si è confermato una volta per tutte che il sistema nervoso è in grado di modificare la propria struttura in risposta sia agli stimoli provenienti dall'organismo sia a quelli provenienti dall'ambiente esterno.

La neuroplasticità può essere quindi definita come: *“un cambiamento nell'intensità delle connessioni sinaptiche in risposta ad uno stimolo ambientale o ad un'alterazione nell'attività sinaptica di un sistema”* [Murphy e Corbett, 2009].

La plasticità cerebrale è il risultato di tre fenomeni: lo sprouting dei dendriti, neurogenesi (e sinaptogenesi), e infine la produzione di fattori neurotrofici. Il primo è un termine inglese che significa gemmazione o germogliazione e si riferisce allo sviluppo di nuove connessioni sinaptiche tra i neuroni; il secondo, invece, implica la possibilità che si possano formare nuove cellule nervose o che quelle silenti possano diventare attive [Arya, 2011]. Eric Kandel fu il primo a dimostrare che quando impariamo qualcosa di nuovo i nostri neuroni modificano la loro struttura creando nuove connessioni sinaptiche: i cambiamenti a breve termine avverrebbero semplicemente attraverso modificazioni biochimiche temporanee a livello delle terminazioni sinaptiche, mentre i cambiamenti a lungo termine implicherebbero un processo decisamente più complesso in cui la protein-chinasi A dal corpo della cellula passerebbe all'interno del nucleo favorendo l'espressione di alcuni geni; i geni attivati produrrebbero a loro volta altre proteine che, modificando la struttura, favorirebbero la crescita di nuove connessioni sinaptiche [Perozzo, 2012]. Ecco quindi che la neuroplasticità è una caratteristica del sistema nervoso centrale che può essere sfruttata per modificare strutture o funzioni che sono state alterate da un danno vascolare [Chen, Epstein, 2010].

Un'altra convinzione, ormai superata, è l'idea che il cervello sia organizzato in aree anatomiche altamente specializzate da un punto di vista funzionale e che una lesione a tale aree porti inesorabilmente alla perdita della funzione sottostante.

Dopo la fase acuta post-ischemica, si verificano delle compensazioni funzionali che dipendono dall'architettura della rete lesionata. La letteratura sui deficit motori e linguistici sembra confermare che ci sia un miglior recupero quando la riorganizzazione avviene direttamente nelle aree adiacenti alla zona infartuata. Nel caso questo non fosse possibile, a causa di un coinvolgimento esteso della regione, la compensazione può avvenire attraverso il reclutamento di aree omologhe dell'emisfero controlaterale anche

se il recupero potrebbe essere minore [Cao, 1998]. Studi recenti, infatti, hanno evidenziato come in seguito a lesione della corteccia motoria, fenomeni dello sprouting assonale e la sinaptogenesi si verificano non solo nelle zone peri-lesionali, ma anche in aree motorie contro-laterali, questo a dimostrare come i due emisferi cerebrali siano funzionalmente collegati e in equilibrio mediante una mutua inibizione interemisferica che risulterà alterata in seguito a una lesione emisferica [Butefish, 2003]. Questi meccanismi descritti sono spontanei (come l'attenuazione della diaschisi e il fenomeno della riperfusione grazie all'angiogenesi) e sono una possibile spiegazione del recupero osservabile fino a dieci settimane dopo l'ictus [Kwakkel, 2006]. Non tutti i cambiamenti che avvengono nel cervello hanno però un esito significativo per la riacquisizione dell'abilità motoria, infatti, le riorganizzazioni a livello neuronale possono essere adattative o compensative, cioè possono indurre cambiamenti positivi al recupero, ma anche possono innescare fenomeni mal adattativi.

Per quanto riguarda il recupero del movimento, per ottenere una riorganizzazione funzionale della corteccia motoria, si è visto come l'esercizio terapeutico sia uno dei fattori più rilevanti in grado d'indurre l'acquisizione di nuovi compiti motori favorendo una riorganizzazione adattativa. La maggior parte dei protocolli per la riabilitazione dell'ictus si basa sull'apprendimento motorio, che non è altro che la capacità del SNC d'apprendere dall'esercizio e dall'esperienza motoria.

E' infatti dimostrato che il motor learning favorisce notevolmente lo sprouting dei dendriti, la formazione di nuove sinapsi e la produzione di sostanze neurochimiche [Mulder, 2004]. Questo è un fenomeno associato alla pratica o all'esperienza che porta a modificazioni permanenti nelle abilità di produzione di movimenti finalizzati. Le variabili che incidono in maniera importante sulla capacità di apprendimento sono l'intensità, la ripetitività, la rilevanza funzionale del gesto e l'utilizzo di feedback durante l'esercizio [Straudi, 2011]. Durante l'esecuzione di un compito motorio i processi d'apprendimento possono venir consolidati utilizzando diverse tipologie di feedback (visivo, uditivo, tattile). In conformità a queste recenti acquisizioni, nuove tecniche riabilitative sono state proposte per cercare di ottimizzare le potenzialità del recupero motorio.

1.4 Apprendimento e controllo motorio

La sfida che la medicina e la fisioterapia si pongono per il recupero della funzione dell'arto superiore, compromesso da un danno neurologico, si intreccia con i concetti di

controllo e apprendimento motorio. Per questo motivo, con il fine di proporre programmi riabilitativi efficaci, si dovrà comprendere e analizzare le strategie e i processi neuronali che entrano in gioco durante il *motor learning*.

Il movimento inizia quando si ha l'intenzionalità di compiere un gesto. Questo processo origina nelle aree o corteccie motorie primarie e nelle aree associative motorie situate nei lobi frontali. Queste aree ricevono afferenze dalle aree sensoriali, dal cervelletto e dai gangli della base. Le efferenze partono da neuroni ad assone lungo (cellule piramidali), che proiettano al tronco encefalico e al midollo spinale [Silverthorn, 2013].

Il controllo del movimento volontario può essere suddiviso in tre tappe: decidere e programmare il movimento, iniziarlo ed eseguirlo. La corteccia ha un ruolo chiave nelle prime due tappe. I movimenti richiedono la conoscenza della propria posizione nello spazio, la decisione su quale movimento fare, un piano per eseguire il movimento e la capacità di mantenere il piano in memoria per un tempo sufficientemente lungo da poterlo fare. Come anche per i movimenti riflessi, si utilizza il feedback sensoriale continuo per rifinire il processo [Silverthorn, 2013]. Si può quindi affermare che il cervello debba compiere continue computazioni per trasformare le informazioni in entrata (input) in informazioni in uscita (output).

Un modello di motor learning consolidato nel tempo è quello della rete neurale descritto da Kawato nel 1987. L'autore parte dall'ipotesi che la corteccia associativa fornisca alla corteccia motoria la traiettoria desiderata, e il comando motorio venga poi calcolato tramite l'utilizzo di feedback sensoriali. Le componenti di questo modello sono essenzialmente tre: in primo luogo il "*percorso delle informazioni*" (nodo transcorticale) in secondo luogo il sistema composto dal cervelletto e dal nucleo rosso, che rappresenta il "*modello neurale interno dinamico diretto*" del sistema muscolo-scheletrico ed infine il sistema cerebro-cervelletto e nucleo rosso che rappresenta il "*modello neurale interno dinamico inverso* del sistema muscolo-scheletrico". Una volta che la corteccia associativa ha inviato il comando a quella motoria, il sistema muscolo-scheletrico interagisce con l'ambiente e realizza il movimento, anche se spesso inizialmente la traiettoria non coinciderà con il comando iniziale. La traiettoria effettiva è misurata dalla proprioccezione e inviata successivamente alla corteccia motoria. In seguito, entra in azione il controllo a feed-back utilizzando l'errore che è stato registrato. Una limitazione di questo processo è il ritardo provocato dal feedback. A seconda della provenienza del feedback in questione, si definiscono due tipi di modelli principali: il *modello diretto* riceve informazioni dai risultati del movimento, mentre il *modello dinamico inverso* acquisisce un modello neurale interno del sistema muscolo-scheletrico. Una volta appreso questo modello

interno si può affermare che c'è stato un apprendimento motorio, in inglese definito come *motor learning* che può effettuare una previsione approssimativa del movimento già nel momento in cui si verifica l'intenzionalità di muoversi. Questa predizione dell'errore è trasmessa alla corteccia motoria e ai muscoli tramite il tratto rubrospinale. Poiché il tempo di comunicazione cerebro-cervelletto è di 10-20 ms, risulterà più corto rispetto al tratto supraspinale, in questo modo le performance del feedforward control con il modello interno, sono migliori rispetto al ciclo più lungo del feedback sensoriale. Tutto ciò può avvenire grazie alla plasticità sinaptica. [Kawato, 1987].

Successivamente Kawato ha completato questo modello ipotizzando che il cervello possa essere organizzato in vari *framework*, ognuno dei quali risulta composto da un modello anticipatorio e da un modello inverso. Attraverso i framework multipli il cervello ha la possibilità di eseguire un grande numero di azioni con differenti proprietà cinematiche e dinamiche [Kawato, 1998].

Riassumendo, il modello si basa sulla cooperazione di due meccanismi di controllo: uno a feedback ed uno a feedforward. Il primo opera nella fase iniziale dell'addestramento in cui le informazioni sensoriali vengono continuamente filtrate ed analizzate in modo tale da far emergere differenze tra i movimenti pensati e quelli effettuati; il risultato sarà un miglioramento della performance. Questi processi risulteranno particolarmente utili nel mantenere costante una variabile, come nel caso del controllo della postura. Il secondo meccanismo emerge maggiormente nella fase successiva del motor learning, in esso la discrepanza fra la traiettoria desiderata e quella attuata è utilizzata come un segnale d'apprendimento di un modello feedforward, che agisce in parallelo e gradualmente prende il posto del controllore a feedback. Nel controllo a feedback il limite è dato dal ritardo delle vie sensoriali e motorie la cui conseguenza sarà un'autocorrezione, mentre nel feedforward i limiti saranno dati dalla capacità di fare esperienza della persona e dalla necessità di avere a disposizione un'ambiente relativamente costante dunque con poche variabili.

Il SNC sarà dunque interessato ad utilizzare il controllo a feedforward per movimenti veloci e ben coordinati mentre il feedback control per correggere eventuali variazioni di movimento rispetto all'obiettivo prefissato.

1.5 Ruolo del feedback nell'esercizio terapeutico

Si è scelto di focalizzare gli aspetti principali dell'apprendimento motorio che hanno rilevanza nella riabilitazione dell'ictus, in particolare considerando due modalità

terapeutiche: la task-oriented therapy e la realtà virtuale. Il primo definisce la somministrazione del feedback intrinseco ed estrinseco durante un protocollo definito di esercizi, mentre il secondo riguarda l'utilizzo di un ambiente virtuale in cui è possibile impostare la frequenza e la modalità di somministrazione del feedback durante la terapia. Il feedback può essere di origine intrinseca o estrinseca: il primo rappresenta l'informazione che proviene da recettori specializzati all'interno di muscoli, articolazioni, tendini e cute, così come quelli provenienti da recettori visivi, uditivi sia durante che dopo la produzione di movimento. Al contrario il feedback estrinseco è quell'informazione sul movimento che viene fornita al soggetto da una sorgente esterna. Una forma di feedback estrinseco è la conoscenza dei risultati (CR) che è definita come informazioni dell'esito di risposta [Magill, 2001].

Un altro tipo di feedback estrinseco è la conoscenza della performance (CP). Al contrario di CR, CP è l'informazione relativa alla sequenza motoria prodotta, piuttosto che al suo esito. In ambiente terapeutico CP è usata maggiormente in ambito riabilitativo e questo appare appropriato per due ragioni: la prima è che l'esito è spesso evidente al paziente, mentre la risposta motoria che produce l'esito non è così ovvia, la seconda è che spesso vi sono numerose componenti che portano all'esito desiderato.

Dopo un ictus, i sistemi di feedback intrinseci dell'individuo possono essere compromessi causando difficoltà nell'esecuzione della performance motoria; tuttavia, l'utilizzo del feedback estrinseco può rivelarsi risolutivo ai fini dell'apprendimento e dell'esecuzione di un determinato task motorio.

Un aspetto fondamentale riguarda la quantità di feedback che dovrà essere fornito durante la seduta riabilitativa. Dagli studi sperimentali si evince che un feedback frequente è utile nelle prime fasi dell'apprendimento, finché l'azione non è compresa nei suoi aspetti essenziali. Un feedback frequente somministrato con eccessiva frequenza, pur determinando miglioramenti rapidi, può però rilevarsi poco vantaggioso a lungo termine, poiché il soggetto tenderà a essere dipendente dal terapeuta che invece di fare riferimento a delle elaborazioni autonome per risolvere il compito [Ribeiro, 2011]. Al fine di ottenere un miglior apprendimento motorio si è stimato che la percentuale migliore di somministrazione di feedback sia del 33% [Wulf, 2002]. Un altro metodo per sviluppare un'elaborazione autonoma del paziente è di fornire il feedback solo la richiesta motoria va oltre le capacità residue del paziente [Lee e Carnahan, 1990]. Un'ulteriore strategia è quella di fornire il feedback solo quando il paziente stesso lo richiede: questa modalità può essere utilizzata in soggetti che hanno acquisito già delle abilità motorie che gli permettono di avere controllo sull'esecuzione del movimento richiesto. Lo studioso

Magill ritiene infatti che le persone non abbiano effettivamente bisogno di feedback molto frequenti ma soltanto nel 7% delle prove. [Magill, 2001]

Capitolo 2: Arto superiore e mano, compromissione e recupero

2.1 L'arto superiore plegico

Il disordine motorio più rilevante nei soggetti che hanno subito un danno vascolare al SNC è la paresi. Questa può essere definita come “*ridotta capacità d’attivazione volontaria dei motoneuroni*” [Angelini, 2015]. In opposizione, la *plegia* è definita come la completa incapacità di effettuare movimenti volontari e quindi di reclutare l’apparato muscolare.

Tra le due la più frequente causa di disabilità nei pazienti colpiti da ictus si trova l’emiparesi, che nella fase acuta interessa oltre l’80% dei pazienti [Gimigliano, 2005]. Proprio per questa alta percentuale l’emiparesi rappresenta la menomazione che più frequentemente viene trattata dai fisioterapisti [Doyle, 2010].

Poiché l’emiparesi è la conseguenza di un danno al sistema cortico-spinale, si avrà una difficoltà nel trasferimento di comandi motori dalla corteccia al midollo spinale. Di conseguenza le caratteristiche principali dell’emiparesi sono principalmente tre: la debolezza muscolare, l’alterazione del tono muscolare e la coattivazione dei muscoli antagonisti [Villeneuve 2014]. A seconda dei singoli quadri del paziente, si possono ritrovare in aggiunta: aggiustamenti posturali anormali, alterata sinergia di movimenti, mancanza di coordinazione muscolare e deficit di sensibilità [Cristea, 2001]. Vista la moltitudine di aspetti che caratterizza l’emiparesi e la loro coesistenza, è più appropriato parlare di *sindrome paretica*. In particolare, per quanto riguarda gli arti superiori i muscoli più colpiti in termini di funzioni motorie sono: l’abduktore della spalla, i flessori del gomito, estensori del polso e gli estensori e flessori delle dita [Cho, 2012]. La spasticità si verifica tra le prime settimane e il terzo mese dopo l’ictus e può persistere anche nella fase cronica [Wissel, 2013]. Il perdurare di un simile quadro potrebbe portare a complicanze secondarie come dolore, contratture, riduzione del ROM passivo. A lungo termine queste complicanze potrebbero portare a cambiamenti strutturali nel tessuto connettivale e nelle fibre muscolari.

Uno studio americano ha concluso che circa il 65% dei pazienti, che ha subito un incidente vascolare a livello cerebrale, ha delle limitazioni funzionali all’arto superiore un peggioramento della qualità di vita. L’iniziale recupero della funzione dell’arto, nella fase post acuta, è dovuto più a una riorganizzazione spontanea del SNC che non agli effetti della riabilitazione [Kiper, 2011].

Interessanti appaiono i risultati di una meta-analisi condotta da Nancy Mayo, che ha concluso come il recupero funzionale post-stroke pur nella grande differenza delle situazioni cliniche, presenti alcune costanti:

1. A tre mesi dallo stroke la gran parte dei pazienti non raggiunge una condizione di funzionalità normale: nello specifico il 93% delle alterazioni riguardano l'arto superiore, il 79% uno schema e un timing del passo adeguato e per il 40% le ADL.
2. Il 56% dei sopravvissuti presenta una grave paresi dell'arto superiore, il 37% mostra un recupero parziale, mentre solo nel 7% dei pazienti si ha una risoluzione completa
3. La maggior parte del recupero dell'arto superiore avviene nei primi 30 giorni
4. Una funzionalità ridotta dell'arto superiore è strettamente associata ad un'ospedalizzazione più lunga e ad una peggiore prognosi [Mayo,1999]

Ad oggi, la letteratura non fornisce risultati determinanti per quanto riguarda le molteplici modalità riabilitative per esiti di patologie neurologiche vascolari. Infatti gli studi che confrontano in maniera rigorosa le diverse metodiche riabilitative sono scarsi e molto cauti nell'esporsi a delle conclusioni nette.

Possiamo però individuare delle metodiche riabilitative tradizionali (Bobath, Perfetti e Kabath), che alcuni studi concludono non essere sempre soddisfacenti [Ada, 2006] ed altre più moderne, definite aumentative (Realtà Virtuale, task oriented therapy, robotica ecc..), che si rifanno a nuove acquisizioni fisiopatologiche.

Nelle fasi appena successive alla lesione, le linee guida SPREAD suggeriscono di effettuare nelle fasi precoci dell'ictus un'intensa mobilizzazione passiva quotidiana degli arti paretici in tutto il range di movimento. [SPREAD, 2003]. Questa indicazione è supportata da recenti studi che dimostrano come la mobilizzazione passiva alteri lo stato inibitorio del SNC e quindi le risposte comportamentali [Hogan, Krebs, 2006].

Nelle prime fasi post ictus infatti la perdita di forza muscolare è una conseguenza della perdita di input discendenti di motoneuroni spinali, mentre nei mesi successivi la riduzione è dovuta principalmente alla diminuzione di un'area settoriale trasversa e al disuso. In una review, lo studioso Ada raccomanda d'inserire interventi diretti a stimolare il rinforzo muscolare nei primi sei mesi successivi alla lesione [Ada, 2006]. In fase acuta infatti l'obiettivo è la prevenzione della disabilità motoria secondaria evitando l'insorgere di quella che è uno dei fenomeni più rischiosi a cui si può andare incontro: il "*learned non-use*" che consiste nella iper attivazione del lato non leso al fine di compensare il deficit del lato paretico, a cui consegue una plasticità mal adattativa e un'ulteriore perdita di capacità manipolative, di forza e di destrezza dell'arto superiore colpito.

A tal proposito interessante è lo studio pilota condotto da Carraro e Masiero nel 2008 in cui sono stati confrontati due gruppi di pazienti affetti da ictus in fase acuta (una settimana dopo la lesione): il primo eseguiva mobilizzazione all'arto superiore tramite robot mentre il secondo un trattamento standart basato sul concetto terapeutico Bobath. Grazie all'utilizzo della scala clinica MRC è emerso un miglioramento della forza dei muscoli deltoide, tricipite e supinatori nel gruppo sperimentale, confermando che una precoce mobilizzazione passiva può produrre benefici motori clinicamente significativi.

2.2. Metodiche tradizionali

La ricerca clinica in questi ultimi anni ha permesso lo sviluppo di nuove metodiche riabilitative che offrono innovative possibilità terapeutiche ai pazienti colpiti da ictus. Il miglioramento delle tecniche riabilitative deriva dagli studi dei substrati anatomici e dal continuo confronto tra le differenti scuole [Kollen, 2009].

Le metodiche possono essere suddivise essenzialmente in 2 filoni uno “*sherringtoniano*” (Bobath, Kabath ecc..) in cui l'attività motoria è il risultato di comandi motori operati da vie riflesse e uno “*corticalista*” (Perfetti) che sostiene il ruolo essenziale della re-programmazione del movimento elaborata a livello corticale. Nel primo caso c'è un rapporto temporale di immediatezza tra stimolo e risposta motoria, nel secondo l'esercizio dovrà raggiungere uno stato di coscienza. Analizzando la letteratura ancora oggi mancano prove efficaci circa la superiorità dell'uno o dell'altro metodo.

Si aggiunge ad essi il concetto Bobath, che si basa sull'inibizione dell'attività riflessa abnorme e sulla facilitazione dell'attività posturale e motoria normale. Nella review condotta da Kollen sono stati analizzati sette articoli con un alto indice di qualità RCTs, i quali indagano l'efficacia del metodo Bobath per l'arto superiore. Di questi, tre dimostravano miglioramenti maggiori rispetto ad altri approcci mentre i restanti 4 non evidenziavano alcune differenze [Kollen, 2012].

Il metodo Perfetti invece propone l'esercizio terapeutico come problema di tipo conoscitivo. Viene quindi richiamato l'uso di processi cognitivi, in particolare dell'attenzione e della memoria. Inoltre il corpo viene considerato come una superficie recettoriale e sostiene che il soggetto non impara il movimento bensì le sensazioni che derivano da questo (tattili, pressorie o cinestesiche). Nel trial clinico di Chanubol del 2012 sono stati confrontati due gruppi di pazienti affetti da ictus e trattati a poche settimane di distanza dalla lesione. Il gruppo di controllo ha svolto un ciclo di terapia convenzionale

per l'arto superiore, mentre il gruppo sperimentale ha effettuato un ciclo di terapia secondo il metodo Perfetti. Dai test clinici (Action Research Arma Test , Barthel Index e box and block test) non risulta alcuna differenza in termini di miglioramento tra i due gruppi [Chanubol et al , 2012]. E' necessario sottolineare che gli studi scientifici di questo metodo sono veramente pochi.

2.3 Metodiche aumentative

Oltre le tecniche tradizionali, si stanno sviluppando degli approcci riabilitativi innovativi, le quali spesso assumono un significato molto pratico-operativo. Infatti con questo termine si vogliono indicare delle procedure, e non dei sistemi di conoscenza chiusi [Tesio, 2006]. Senza dubbio nessuna di queste tecniche è alternativa alle altre.

Una tecnica fisioterapica efficace è la *constraint-induced movement therapy (CIMT)* la quale limita l'utilizzo del lato sano e sottopone l'arto superiore paretico a un esercizio intensivo, ripetitivo e orientato al gesto funzionale [RoT, 2006].

Il razionale su cui si basa questa tecnica è il tentativo di ristabilire l'equilibrio inter-emisferico diminuendo gli input somato-sensoriali provenienti dall'arto superiore sano aumentando contemporaneamente gli input all'emisfero lesionato. A tal proposito lo studio randomizzato-controllato EXCITE, che ha coinvolto 222 pazienti, ne dimostra l'efficacia nella riabilitazione dell'arto superiore [Wolf et al. 2006]. Inoltre studi con la stimolazione magnetica transcranica (TMS) hanno sottolineato l'eccitazione corticale successiva a questo tipo di trattamento [Liepert, 2001].

Tuttavia solo pochi centri sono in grado di erogare questo tipo di terapia poiché i protocolli prevedono un trattamento riabilitativo giornaliero per due settimane e una restrizione complessiva dell'arto sano per almeno il 90 % della giornata.

Un nuovo approccio riabilitativo per il recupero della motricità dell'arto superiore è stato strutturato dalla scoperta dei "neuroni specchio" nell'area corticale della scimmia, che vengono attivati sia nell'osservare che nell'eseguire un movimento [Gallese, Rizzolati, 1998]. La *mirror therapy* viene definita dagli autori come una metodica riabilitativa, utilizzata in pazienti con ictus, che prevede il movimento di entrambe le mani o braccia in modo simmetrico indicando al paziente di osservare il movimento dell'arto sano allo specchio. In questo modo il paziente ha l'impressione che simultaneamente anche l'arto paretico si stia muovendo [Altshuler, 1998]; in questo modo le afferenze vengono attribuite alla mano paretica e riattivano i circuiti [Altaucher, 1999]

In merito, in letteratura, tra le review più importanti ritroviamo quella condotta da Van Peppen. Negli studi analizzati la terapia andava dai 15 ai 30 minuti al giorno per una durata variabile dalle 2 alle 6 volte a settimana. I risultati dimostrano una scarsa evidenza di miglioramento della destrezza dell'arto paretico [Van peppen, 2004].

In ambito clinico, l'utilizzo di nuove tecnologie per l'arto superiore ha assunto un ruolo importante nella riabilitazione neuromotoria assumendo un ruolo di completamento alla riabilitazione tradizionale. Nello specifico, la riabilitazione robotica permette la somministrazione intensiva di input somato-sensoriali all'emisoma paretico attraverso la ripetizione dei gesti motori. Solitamente la terapia svolta con i dispositivi robotici prevede movimenti passivi, attivi o attivi-assistiti, da applicare alle diverse fasi della riabilitazione a seconda della gravità del paziente. Il robot registra i parametri cinematici e dinamici del movimento, può imporre perturbazioni e può assistere "protesicamente" il paziente quando non segue il movimento corretto. Uno dei primi sistemi robotici prodotti è il MIT-MANUS, un manipolatore con due gradi di libertà che permette un esercizio intensivo di reaching. Studi clinici hanno dimostrato che a differenza della terapia tradizionale, il trattamento svolto con il dispositivo MIT-MANUS per una durata di 4-5 sessioni settimanali per un periodo di nove settimane, ha avuto un recupero maggiore a livello della spalla e del gomito [Fasoli, 2003].

Non è ancora stato verificato quanto un miglioramento di prestazione richiesto nel contesto robotico sia trasferibile, sul medio-lungo periodo, ad attività di vita quotidiana [Fasoli, 2004].

2.4 Task oriented therapy

Nell'apprendimento motorio un principio fondamentale è che il cambiamento indotto nel SNC è specifico rispetto all'attività praticata. Questo aspetto risulta essere cardinale nel metodo riabilitativo task oriented la cui validità scientifica è stata investigata inizialmente negli animali. Si è visto infatti che in quest'ultimi, è stata registrata un'espansione delle rappresentazioni M1 dei movimenti delle dita evocate in seguito ad un allenamento intensivo di recupero di oggetti di piccole dimensioni, mentre le rappresentazioni del polso e del braccio adiacenti sono diminuite [Kandel, 2014]. Su questa base sono nati gli approcci *task-oriented* che comportano la formazione di competenze e attività finalizzate ad accrescere la partecipazione del soggetto.

Questo approccio si è in seguito sviluppato con gli studi condotti dalle scienze del movimento sul processo del *motor learning* [Schmidt, Lee 2005] definendolo un metodo in cui vengono impostati dei parametri ben precisi quali contenuti, modalità e tempistiche sia degli esercizi proposti che dei feedback forniti [Teasell 2008].

Studi recenti dimostrano che un programma riabilitativo, finalizzato al recupero motorio post stroke, per essere efficace, debba avere le seguenti caratteristiche: essere eseguito con un'elevata intensità di ripetizioni, proporre compito che sia più specifico e significativo possibile e situato in un setting che sia ricco di feedback [Hubbard, 2009]. E' dimostrato infatti che l'apprendimento motorio risulta essere massimo quando viene proposto un compito il più specifico possibile [Goldstone, 1998]. Nonostante l'elevata quantità di ripetizione risulti essere necessaria nella modificazione corticale del sistema motorio, diversi studi hanno evidenziato come maggiori e più rapidi cambiamenti si ottengano proponendo nuove difficoltà all'interno dello stesso esercizio oppure richiedendo nuovi movimenti [Hubbard, 2009]. La neurofisiologia ha poi sottolineato l'importanza dell'oggetto utilizzato e del compito proposto al paziente, poiché l'insieme dei neuroni cortico-motori ha organizzato la propria attivazione a seconda del compito specifico più che all'attivazione di uno specifico muscolo [Hubbard, 2009].

Infatti le proposte di esercizio in cui si richiede la semplice ripetizione di un movimento a-finalistico, fanno sì che ci sia un miglioramento solamente in quel specifico compito, senza alcun trasferimento alle attività della vita quotidiana. Se invece all'interno dell'esercizio vengono inserite numerose variabili, modificabili a seconda della gravità della patologia, il paziente dovrà affrontare ogni volta dei problemi motori, attivando così quello specifico pool di motoneuroni per quella determinata azione e non solamente una semplice sequenza di azioni muscolari. Infine, affinché la proposta sia il più possibile congruente con gli studi sul *motor learning*, si dovrà coinvolgere il paziente attraverso modalità multisensoriali e contemporaneamente valutare le componenti principali del compito, che possono essere la qualità della traiettoria, la distanza, la sinergia muscolare e l'utilizzo di feedback verbali il rinforzo dei miglioramenti identificati [Bowdena, 2013]. In letteratura sono confermati gli effetti positivi di questo approccio terapeutico. Uno studio interessante appare quello condotto da Guin Bin Song nel 2015 in cui si sono confrontati i miglioramenti di proposte task-oriented rispetto ad esercizi standard ripetitivi per gli arti superiori. Sono stati coinvolti 40 pazienti divisi in due gruppi: il gruppo "task" e gruppo "bilateral repetitive training", il primo aveva 5 compiti eseguiti con crescenti difficoltà, tra i quali prendere e bere da un bicchiere, asciugare un tavolo, pettinarsi ecc.. mentre il secondo non considerava variazioni all'interno degli esercizi

proposti. I risultati riportano che nella valutazione finale si sono riscontrati miglioramenti significativamente maggiori nel gruppo “task” nelle scale cliniche Box and Block, Jebsen Taylor test, Modified Barthel Index [Guin bon song, 2015]. Lo studio di Park nel 2016 effettuato su due pazienti conferma i risultati di Guin. I due pazienti erano stati colpiti da ictus ed entrambi sono stati valutati con la scala FIM e MFT per valutare l’arto superiore, e anche in questo caso, in tutti parametri misurati si sono registrati dei miglioramenti.

Anche molte reviews hanno convalidato l’efficacia del metodo task-oriented. Tra le più importanti ritroviamo un lavoro olandese condotto da Rensink nel 2009 nella quale sono stati raccolti fino a 1506 articoli e di queste ne hanno selezionati 147 articoli (studi randomizzati controllati) che rispettassero i criteri di qualità RCTs. Le conclusioni di tale ricerca sono state le seguenti: il miglioramento dell’equilibrio è migliore quando sono proposti programmi terapeutici con specifici task, si ha un maggior miglioramento della stabilità del tronco e della precisione del movimento durante l’esecuzione di reaching e grasping, infine si registra una maggior efficacia nel recupero funzionale degli arti superiori rispetto al trattamento classico (soprattutto se ci si concentra su un’esercitazione di task specifici) [Resink, 2009].

Per avere una visione davvero completa circa l’efficacia di questa metodica è utile annoverare lo studio randomizzato controllato condotto da Higgins nel 2006, svolto su pazienti cronici. Nello studio sono stati inclusi 90 pazienti con ictus avvenuto almeno 1 anno prima, e di questi una parte è andata a formare il gruppo sperimentale (sottoposti a task specifici per l’arto superiore) e una parte il gruppo di controllo (sottoposto ad esercizi per il cammino). I risultati a fine delle sei settimane di trattamento non hanno riscontrato differenze tra i due gruppi, dimostrando che un intervento riabilitativo task-oriented per gli arti superiori in pazienti con esiti di ictus ormai cronici non risulta efficace [Higgins, 2006].

2.5 Realtà Virtuale

Nonostante la comprovata efficacia dei programmi task-oriented, queste attività utilizzate nella terapia convenzionale dimostrano dei limiti che si presentano qualora si voglia effettuare delle rilevazioni precise sulle prestazioni dei pazienti, uno fra tutti la traiettoria del movimento. Un’altra limitazione è data dalla scarsa possibilità di personalizzare in modo dinamico i trattamenti, a seconda delle caratteristiche del paziente, nello specifico i parametri riguardanti la qualità, la durata e la varietà degli esercizi. Un’ultima limitazione che è stata evidenziata in più studi è la difficoltà di motivare il paziente a

causa della ripetitività degli esercizi. Tutti questi aspetti possono essere in parte superati tramite l'utilizzo della realtà virtuale [Riva, 2009].

Il termine realtà virtuale è stato coniato per la prima volta da Jaron Lanier nel 1986 e viene definita come una combinazione di hardware e software che consente di simulare esperienze di vita quotidiana attraverso l'utilizzo di ambienti tridimensionali interattivi. Più di un decennio fa Stava e Jones hanno descritto i vantaggi dell'introduzione della realtà virtuale nel mondo della riabilitazione con una semplice parola *rivoluzionaria* [Satava, 2002]. Analizzando la letteratura scientifica questo entusiasmo può essere percepito tutt'oggi grazie alla sua ulteriore espansione.

Generalmente la realtà virtuale comprende un sistema di *rendering* grafico che genera 20-30 fotogrammi al secondo, un software per la modellazione degli oggetti e ambienti tridimensionali, strumenti input (sensori di posizione, trackers, data gloves o semplicemente un mouse) che rilevano i movimenti dell'utente e li inviano al computer, gli strumenti di output (visivi, uditivi e tattili) che immergono l'utente nell'ambiente virtuale [Burdea, 2003]. A seconda dei diversi tipi di hardware e software impiegati è possibile distinguere diversi tipi di realtà virtuale. Realtà virtuale *immersiva* in cui il paziente si ritrova completamente immerso nell'ambiente generato dal computer (solitamente grazie all'utilizzo di un casco o una visiera), il *Computer Assisted Virtual Environment* in cui il mondo virtuale generato viene proiettato in una stanza e permette esperienze virtuali collettive; la *realtà aumentata* in cui grazie alla presenza di oggetti virtuali si ottiene un arricchimento della percezione sensoriale dell'ambiente virtuale; ed infine la realtà virtuale *non immersiva* in cui la visiera viene sostituita da un monitor del computer ed il paziente interagisce con esso con un mouse, joystick o dei sensori. L'utilizzo di questo strumento in riabilitazione comporta dei vantaggi: innanzitutto permette direttamente al fisioterapista di progettare degli scenari per facilitare l'esercizio terapeutico, come per esempio (l'intensità, la frequenza e le modalità di feedback somministrati) In secondo luogo la realtà virtuale permette di definire le difficoltà dell'esercizio proponendo o un'ampia possibilità di personalizzazione a seconda delle caratteristiche del paziente (si può cambiare la frequenza della comparsa degli stimoli, il tipo di feedback, la complessità del compito). In terzo luogo con questa tecnologia è possibile registrare in maniera accurata e precisa i dati cinematici come per esempio la traiettoria, i sub movimenti, il jerk del movimento e utilizzarli per costruire degli indici di performance, ottenendo una valutazione maggiormente completa e oggettiva circa i miglioramenti del paziente [Bohil, 2011]. Infine la realtà virtuale permette di ripetere esercizi in ambienti molto coinvolgenti e, soprattutto, responsivi.

Tra i lavori più accreditati che ne dimostrano la sua efficacia ritroviamo la review condotta da Laver nel 2011, in cui sono stati inclusi 19 trial. I risultati definiscono che l'utilizzo maggiore di questa tecnologia riguarda il recupero dell'arto superiore (8 studi) rispetto all'inferiore (3 studi) e le funzioni motorie globali (3 studi). In 7 studi, che complessivamente comprendevano 205 pazienti trattati, si definisce un miglioramento significativo della funzionalità dell'arto superiore dovuto al trattamento in realtà virtuale. Gli autori concludono affermando che la realtà virtuale è efficace nel recupero delle funzionalità motorie dell'arto superiore emiparetico e nel supportare training finalizzati al recupero delle attività di vita quotidiana [Laver, 2011]. Uno studio randomizzato controllato che ha confrontato la realtà virtuale con quella fisica è quello condotto da Subramanian nel 2012: lo studio comprende 32 pazienti colpiti da ictus, ai quali è stato chiesto d'indicare 6 specifici oggetti target presenti nell'ambiente che poteva essere di tipo reale oppure virtuale, attraverso un'assegnazione casuale. Nell'ambiente virtuale invece, ai pazienti veniva richiesto d'indicare degli oggetti in uno scenario della corsia del supermercato per un complessivo di 72 volte. Entrambi i gruppi ricevevano al termine di ogni esecuzione un feedback sonoro e visivo che indicava una corretta accuratezza e velocità di esecuzione. I risultati di questo studio hanno dimostrato che entrambi le realtà, fisica e reale, sono efficaci, osservabile grazie ad un miglioramento dell'attività motoria dell'arto superiore. Gli autori ipotizzano che tale miglioramento sia imputabile all'intensità degli esercizi (72 prove). Si è inoltre osservato che la realtà virtuale ha comportato maggiori miglioramenti per quanto riguarda l'accuratezza di specifici movimenti del braccio, probabilmente a causa dei maggiori feedback visivi che hanno reso i pazienti più consapevoli delle loro azioni stimolandoli a pianificare meglio e a correggere i gesti motori. Da sottolineare inoltre il minor livello di stress nei pazienti del gruppo realtà virtuale, evidenziando il fatto che questo tipo di riabilitazione sia più motivante e sostenibile. Si può affermare dunque che ci sia un'efficacia comprovata dell'utilizzo della realtà virtuale per l'attività richiesta all'arto superiore nei disturbi riguardanti danni del sistema nervoso centrale, dimostrando come l'utilizzo di nuove tecnologie possa, oltre che rendere più piacevole il trattamento, migliorare le attività della vita quotidiana del paziente.

Obiettivo dello studio

L'obiettivo dello studio è valutare se l'integrazione di un protocollo di esercizi task-oriented con un ambiente di realtà virtuale possa essere efficace nella riabilitazione della manualità fine in pazienti colpiti da ictus. Si verificherà quindi l'efficacia del protocollo proposto e successivamente i risultati ottenuti verranno poi confrontati con un protocollo task-oriented svolto in ambiente non virtuale. Sarà possibile dunque definire un'effettiva differenza tra le due diverse proposte terapeutiche per la riabilitazione della mano in pazienti colpiti da ictus.

Capitolo 3: Materiali e Metodi

3.1 Il Campione

E' stato condotto uno studio clinico longitudinale pilota nel quale sono stati inclusi pazienti ricoverati presso il la Fondazione IRCSS Ospedale San Camillo del Lido di Venezia.

I criteri di inclusione per l'arruolamento dei pazienti sono stati i seguenti:

- Ictus ischemico o emorragico a carico dell'arteria cerebrale media (ACM)
- Presenza di un quadro di moderata/severa emiparesi a carico dell'arto superiore definita come un punteggio inferiore a 38 al Box and Blocks Test (range normale compreso tra i 56 e 86)
- Età maggiore di 18 anni

Mentre i criteri di esclusione corrispondono ai seguenti punti:

- Presenza di patologie articolari o traumi precedenti a carico della mano o dell'arto superiore
- Presenza di neglect
- Presenza di altre patologie neurologiche concomitanti (degenerative e/o traumatiche)
- Presenza di uno stato depressivo che richiedesse una terapia medica
- Presenza di una completa emiplegia

Tutti i soggetti sono stati sottoposti ad una valutazione clinica prima e dopo il trattamento.

I pazienti che rientrano nei criteri di inclusione sono stati sottoposti ad un ciclo di trattamento con HandBox per la riabilitazione della mano fine

3.2 Ambiente Virtuale: protocollo riabilitativo strutturato

Il razionale che sta alla base dell'elaborazione del protocollo utilizzato nello studio è stato l'integrazione dei principi della task oriented therapy con i vantaggi che la realtà virtuale offre. I criteri di scelta degli esercizi sono stati due: il primo si riferisce alla volontà di proporre dei compiti motori che fossero il più specifici possibili per il recupero della motricità di mano e polso, il secondo è stata la scelta di voler trattare pazienti colpiti con ictus con diversi gradi di impairments motorio del distretto distale dell'arto superiore. Gli

esercizi proposti infatti richiedono la capacità di singolarizzare il movimento di ogni dito con l'obiettivo di aumentare la coordinazione e l'organizzazione degli schemi motori oltre che di migliorare il deficit di forza presente. I compiti motori, a cui i pazienti erano sottoposti, seguivano i principi del trattamento task-oriented. Al soggetto veniva richiesto di risolvere dei problemi motori quali ad esempio: colpire dei target posti tra due dita con movimenti di abduzione e adduzione, oppure di colpire delle palline poste sopra ad ogni singolo dito con movimenti di estensione.

Il sistema di realtà virtuale utilizzato nello studio è il “Virtual Reality Rehabilitation System” (VRRS®-Khymeia Grupo, Ltd., Noventa Padovana, Italy). Questo è uno dei sistemi più collaudati e completi della realtà virtuale.



Figura 1 Dispositivo VRRS

Esso non è altro che un “hub” centrale a cui tramite porte USB è possibile collegare dispositivi periferici totalmente integrati con il sistema. Il software si basa sui paradigmi dell'apprendimento motorio che sono il feedback aumentato e l'immaginazione motoria. In questo modo, fornendo un maggior numero d'informazioni specifiche di quel movimento si è in grado d'ottenere dal paziente delle performance migliori. Inoltre con questo dispositivo si è in grado di facilitare il ritrovamento di circuiti, a livello centrale, di un determinato schema motorio.

Questo sistema, come accennato precedentemente, fornisce un ambiente virtuale aumentato, con il quale il paziente si relaziona per eseguire dei compiti motori. Durante la terapia, i feedback sono espressi in modalità assai variabili, come per esempio suoni ad ogni raggiungimento del target, comparsa di una “stellina” a rappresentare una riuscita completa del compito motorio, avviso di perdita del segnale per mal posizionamenti della mano e caduta di oggetti se colpiti con movimenti troppo bruschi. Un vantaggio nell'utilizzo della realtà virtuale è che il paziente non dovrà più dividere l'attenzione tra la propria azione e quella del terapeuta, come accade nelle riabilitazione tradizionale.



Figura 2 Dispositivo periferico Hand Box

Per agire in modo specifico nei distretti dell'arto superiore è stato utilizzato un dispositivo periferico denominato HANDBOX. Questo dispositivo può essere definito come una “scatola interattiva” che è in grado di rilevare la mano senza che il paziente indossi alcun sensore: infatti è sufficiente inserire la mano al suo interno, appoggiata ad un supporto oppure alla base dell'handbox, e

iniziare l'esercizio scelto dal terapeuta. La capacità di catturare i movimenti di polso e mano è possibile grazie all'installazione di un Leap Motion controller all'interno del case. Esso rappresenta il cuore del funzionamento della macchina, appare quindi necessario analizzare il suo funzionamento.

Questo strumento può essere definito come un sensore optoelettronico. Il Leap Motion Controller nasce nel 2012 da un progetto di David Holz e Michael Bucwald in Florida. A differenza dei sensori di prossimità riesce a riconoscere in modo adeguato la posizione

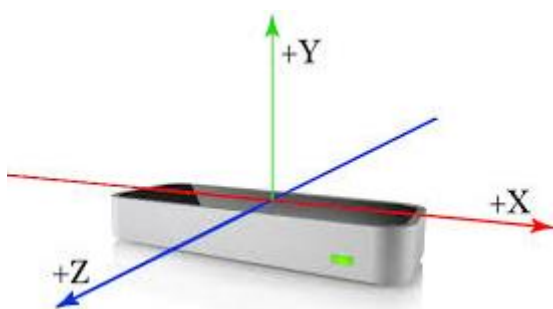


Figura 3 Sistema di assi descritto dal Leap Motion

delle dita, del palmo, la loro accelerazione e rotazione del palmo, ha inoltre la caratteristica di mappare un campo tridimensionale. Questo dispositivo si connette all'handbox tramite un cavo usb. Il Leap Motion utilizza 3 LED IR (infrarossi) e 2 sensori ottici creando così un campo

tridimensionale di circa 120cm X 60cm X 60 cm, con una lettura dei frame campionati dai sensori IR di almeno 50 fps (frame per secondo). Il sensore riesce a mappare alcuni punti cardine che permettono di effettuare una rappresentazione delle mani. Questi punti possono essere usati come parametri per rilevare la posizione e velocità della mano. Questi dati verranno poi rielaborati per ricostruire la dorsiflessione, abduzione-adduzione della mano e la flessione-estensione, abduzione-adduzione di tutte le dita. A differenza di altri sensori quali ad esempio il Kinect di Microsoft, questa interfaccia non funziona come uno scanner 3D ma utilizza driver proprietari diventando così un Human Computer Interface, essendo specifico per il riconoscimento di oggetti prodotti da mani e dita; da esperimenti trovati in letteratura la precisione reale è di 0.2mm rispetto a quelle dichiarate di 0.01mm [Weichert, 2013].

I dati che vengono catturati dal sensore leap vengono inviati ad un effettore finale rappresentato dal sistema VRRS. Esso permette di visualizzare i movimenti della mano all'interno dell'ambiente virtuale in un monitor.

La periferica VRRS HANDBOX è ancora un prototipo che dovrà essere proposto a breve nel mercato. Per questo motivo nel *primo step* dello studio si è effettuato un'operazione di "debugging", segnalando al costruttore le porzioni di software affette da errore a seguito dell'utilizzo del programma. Nella verifica funzionamento si sono ritrovati rilevazioni poco sensibili del quarto e quinto dito, perdite maggiore di segnale nel caso i soggetti avessero mani più piccole rispetto alla media e report con dati cinematici non implementati. Inoltre si è progettato il setting terapeutico disponendo il dispositivo HANDBOX in un tavolo apposito e ad una giusta distanza dal sistema VRRS, in questo modo anche i pazienti con carrozzina hanno potuto interagire con un'ergonomia ottimale. Nel *secondo step* si è scelto d'indagare l'effettiva responsività della macchina con pazienti neurologici in cui ritroviamo ipocinesie, ipercinesie e sinergie alla mano e all'arto superiore. Si è proceduti effettuando delle sedute di prova dai pazienti più gravi ai meno gravi, utilizzando classi di box e block di 5 unità d'ampiezza. Si è osservato che la realtà virtuale permette una buona interazione dei compiti motori richiesti anche con pazienti con Box and Block compresa tra 0-5 (ultima classe), più gravi rispetto a studi condotti nella realtà fisica [Mazzarotto, 2013].

Nel *terzo step* si è iniziata la parte sperimentale, inizialmente si è progettato il protocollo riabilitativo che verrà descritto

3.3 Protocollo riabilitativo task-oriented

Il protocollo riabilitativo utilizzato prevede sedute di 1 ora ciascuna, e venivano proposte per 5 giorni a settimana per la durata totale di tre settimane, per un totale di 15 sedute effettive. La seduta di trattamento si svolgeva come segue: una prima parte della seduta, circa 10 minuti, era composta dedicata alla corretta posturazione del paziente, alla mobilizzazione dell'arto superiore e alla preparazione tessuti della struttura muscolo-scheletrica della mano attraverso tecniche manuali (stretching dei muscoli interossei, dei muscoli flessori del polso ed estensori delle dita). La seconda parte della seduta, circa 40 minuti, corrispondeva prevedeva la somministrazione degli esercizi con realtà virtuale per polso, mano e dita. Gli ultimi minuti erano dedicati a una richiesta di feedback da parte del paziente percepite relativi alla performance eseguita.

Gli esercizi proposti sono stati disposti con tre difficoltà: difficoltà 0, con appoggio della mano e avambraccio su un piano, difficoltà 1, con appoggio del palmo e avambraccio su supporto, ed infine difficoltà 2, con appoggio solo avambraccio, al fine di incrementare il livello di difficoltà del compito. Questa scelta è stata effettuata poiché la progressione favorisce una riorganizzazione della corteccia motoria, favorendo l'apprendimento motorio.

Poiché abbiamo constatato che l'intensità è un elemento importante nel recupero motorio, gli esercizi scelti per il paziente venivano ripetuti più volte durante la stessa seduta e durante il ciclo stesso. Ad ogni seduta veniva segnato, su un'apposita griglia di registrazione, il livello di difficoltà dell'esercizio, il numero di ripetizioni, il tempo impiegato ed eventuali osservazioni (vedi Allegato 2). In questo modo è stato possibile controllare l'andamento del paziente ed adattare l'intensità del trattamento. Attraverso i dati raccolti si è inoltre stabilita la quantità e la tipologia adeguata di feedback da fornire al paziente. In linea con le evidenze scientifiche trovate in letteratura, si è preferito fornire feedback sulla performance (adeguatezza del movimento, corretta postura) con una frequenza ridotta.

Il protocollo task-oriented con cui verranno confrontati i risultati dello studio pilota è stato definito nel 2014 da una tesista triennale dell'Università Degli Studi di Padova. Le proposte riguardavano attività familiari quali ad esempio afferrare degli oggetti e porli in un contenitore, prendere un bicchiere d'acqua e portarlo alla bocca. Le esercitazioni prevedevano l'utilizzo di oggetti comuni della vita quotidiana quali: posate, penne, forbici, monete. In questo protocollo si è sottolineata l'importanza di porre degli obiettivi che possano essere raggiungibili dal paziente e la possibilità d'utilizzare dei parametri, col fine di registrare eventuali cambiamenti. Come nel protocollo di realtà virtuale, particolari difficoltà o miglioramenti venivano segnati in un'apposita griglia ed utilizzati per riadattare le difficoltà e la tipologia dell'esercizio. Infine si sono forniti dei feedback di conoscenza per rendere cosciente il paziente sull'esattezza delle traiettorie di movimento.

3.4 Valutazione clinica

In questo studio, per determinare i cambiamenti indotti dal protocollo riabilitativo, è stata eseguita una valutazione clinica iniziale e finale. Le scale valutative analizzano gli impairments motori in particolare la destrezza della mano in diverse situazioni motorie. Le scale utilizzate sono: Fugl-Meyer Upper Extremity (FM-UE), ASHWORTH (ASH),

Blox and Blocks Test (BBT), Nine Hole Pegboard Test (NHPT), Reaching Performance Scale (RPS) e Functional Independence Measure (FIM).

La sezione arto superiore della Fugl-Meyer Upper Extremity è una delle scale più utilizzate, pubblicata nel 1975 dallo Scandinavia Journal of Rehabilitation Medicine, ed ha permesso di valutare il recupero motorio in maniera oggettiva senza basarsi sul recupero delle attività della vita quotidiana. La sezione dell'arto superiore può ottenere un punteggio complessivo compreso tra 0 e 66; vengono valutati 33 item (ad esempio coordinazione, riflessi, dolore e range di movimento, test di presa), e ciascun item può ottenere un punteggio variabile tra 0 e 2.

Tuttavia questa scala indaga solo parzialmente la destrezza fine della mano e delle dita e si è quindi scelto di utilizzare altri due strumenti: la Box and Block test e la Nine Hole Pegboard Test. Nel primo test il paziente ha di fronte a sé una scatola rettangolare divisa in due scompartimenti identici, in uno dei quali sono presenti dei cubetti colorati di legno. Il compito del soggetto è di spostare quanti più cubetti possibili da uno scompartimento all'altro, in un tempo di 60 secondi. Le consegne sono di prendere un cubetto alla volta e con la mano di superare la barriera posta tra i due scompartimenti. Al termine si contano il numero di cubetti spostati, il test va effettuato prima dal lato sano e poi da quello paretico [Mathiowetz, 1985]. Il secondo test consiste invece di raccogliere 9 pioli ed inserirli verticalmente all'interno di una base forata. Il tempo a disposizione è di 50 secondi. I vantaggi di questo test sono la brevità del test, una buona sensibilità alle variazioni e la portabilità. Un svantaggio riscontrato è che essendo un test a tempo, si valuta la velocità d'esecuzione, non è detto però che con un tempo maggior il paziente riesca comunque ad eseguire il compito assegnato [Grice, 2003].



Figura 4 Box and Block test



Figura5 Nine hole tes

Per analizzare le strategie di movimento compensative messe in atto dal paziente durante il movimento di raggiungimento e prensione di un oggetto è stata utilizzata la *Reaching Performance Scale*. Questa scala in letteratura è utilizzata per pazienti con esiti di emiparesi da ictus [Levin M, 2004].

Il compito richiesto è il raggiungimento di un cono posizionato sopra un tavolo, inizialmente vicino (10 cm) e poi lontano (30cm). Durante il movimento si analizzeranno 6 diversi item a cui si darà un punteggio che andrà da 0 a 3. I punteggi riguarderanno lo spostamento del tronco, il movimento armonico/fluido, il movimento della spalla, il movimento del gomito, prensione e infine valutazione generale.

Si è scelto d'indagare anche quanto, eventuali cambiamenti delle abilità manuali, andassero a influire nell'autonomia del paziente nelle attività di vita quotidiana. E' stata quindi utilizzata la *Functional Independence Measure (FIM)*, essa è strutturata in 18 items a cui si dovrà dare un punteggio da 7 (completa autosufficienza) a 1 (completa dipendenza dagli altri). Infine si è deciso di valutare, tramite la scala Ashworth, se il protocollo portasse miglioramenti a livello di tono muscolare o meno.

3.5 Metodi Statistici

Gli outcome clinici sono stati inseriti in un foglio Excel ed in seguito elaborati con il programma R studio e SacS. Inizialmente si è effettuata un'analisi descrittiva calcolando media, deviazione standart, mediana, valore minimo e massimo per ogni valore d'interesse.

L'analisi inferenziale è stata effettuata con il test Shapiro-Wilk al fine d'osservare la normalità delle distribuzioni dei dati. In seguito, a seconda del livello di significatività dello Shapiro-Wilk, si è scelto d'utilizzare il t-test se maggiore di 0,05, il Wilcoxon test se minore di 0,05.

Capitolo 4: Risultati

4.1 Analisi descrittiva del campione

Il campione incluso nello studio longitudinale è composto da 15 pazienti, i quali rispettavano tutti i criteri di inclusione ed esclusione. Il campione è a sua volta suddiviso in due sottogruppi: il primo ha partecipato al protocollo task-oriented mediato da realtà virtuale (5 pazienti), il secondo invece (10 pazienti) ha fatto parte di uno studio precedentemente condotto per una tesi triennale del corso di Laurea di Fisioterapia dell'Università degli studi di Padova [Montini, 2015].

Il gruppo era composto dal 40% (6) di uomini e il 60% di donne (9); di questi il 73% (11) era stato ricoverato per esiti di ictus ischemico e il 27% (4) emorragico. I pazienti che hanno subito una lesione dell'emisfero sinistro corrisponde al 53% (8) mentre il restante 47% una lesione dell'emisfero destro (7). L'età media dei pazienti corrisponde a 67,1 anni mentre la media dei giorni che sono trascorsi dall'evento vascolare è di 773,4 giorni (con un range compreso tra un minimo di 53 giorni e un massimo di 4674)

Il gruppo che ha seguito il trattamento con Realtà Virtuale era costituito da cinque pazienti di cui l'80% (4) erano uomini e il 20% (1) donne, l'80% (4) era stato ricoverato per esiti di ictus ischemico e il 20 % (1) emorragico. I pazienti che hanno subito una lesione all'emisfero sinistro corrisponde al 40% (2) mentre il 60% (3) ha avuto una lesione all'emisfero destro. L'età media dei pazienti corrisponde a 66 anni mentre la media dei mesi che sono trascorsi dall'evento vascolare è di 6,4 mesi (quattro pazienti andavano da 62 a 245 giorni, mentre un solo pazienti ha avuto l'evento ictale 512 giorni prima).

Non si è registrata nessuna problematica nell'interazione paziente e sistema VRSS. Dalle valutazioni fatte è emerso che un paziente soffriva di un forte nistagmo e fotofobia post ictus, si è quindi adeguato il setting oscurando l'ambiente e portando il monitor a una distanza di almeno un metro e mezzo, ma il paziente è riuscito ad eseguire l'intero ciclo di terapia con Hand Box.

Il gruppo che ha seguito trattamento seguendo il protocollo task-oriented era costituito dall'80% (2) da donne e il 20% (2) da uomini, il 70% (7) ha avuto una lesione all'emisfero destro il 30% (3) al sinistro. L'età media dei pazienti è di 67,6 anni mentre il tempo medio trascorso dall'evento ictale è di 1064,1 giorni.

4.2 Analisi dei risultati del gruppo trattamento Realtà Virtuale

L'analisi descrittiva e i risultati clinici sono riportati nelle Tabelle 1-3. Il confronto tra i punteggi basali e quelli finali, emersi dalle scale di valutazione clinica, ha evidenziato un miglioramento notevole di tutti gli outcome.

Tabella 1 Analisi descrittiva degli outcome clinici a inizio trattamento

Variabili	m (sd)	min-MAX	M[Q1-Q3]
F-M TOT	111,80(16,16)	97-138	112[100-112]
F-M UE	38,2(14,82)	16-57	41[35-42]
RPS	23,2(9,9)	8-33	28[19-28]
NHPT	0,086(0,14)	0-0,33	0,04[0,04-0,06]
FIM	96,20(11,56)	83-108	97[86-107]
B&B test	21,4(15,40)	2-37	29[8-31]
ASH	0,4(0,55)	0-1	0[0-1]

F-M TOT: Fugl Meyer totale, F-M UE: Fugl Meyer Upper Extremity, RPS: Reaching Performing Scale; NHPT: Nine Hole Pegboard Test; FIM: Functional Independence Measure; B&B: Box and Block Test; m: media; sd: deviazione standard; min: minimo; Max: massimo; Q1: 1° quartile ; Q2: 2° quartile ; M: mediana

Tabella 2 Analisi descrittiva degli outcome clinici a fine trattamento

Variabili	m (sd)	min-MAX	M[Q1-Q3]
F-M TOT	123 (14,3)	106-143	122[115-143]
F-M UE	46 (11,22)	29-58	45[44-54]
RPS	28,2 (7,9)	17-36	32[23-33]
NHPT	0,112 (0,160)	0-0,38	0,04[0,04-0,38]
FIM	103,4(12,25)	89-113	112[91-112]
B&B test	27,2(18,3)	5-47	33[11-40]

F-M TOT: Fugl Meyer totale, F-M UE: Fugl Meyer Upper Extremity, RPS: Reaching Performing Scale; NHPT: Nine Hole Pegboard Test; FIM: Functional Independence Measure; B&B: Box and Block Test; m: media; sd: deviazione standard; min: minimo; Max: massimo; Q1: 1° quartile ; Q2: 2° quartile ; M: mediana

Tabella 3 Analisi descrittiva degli outcome clinici: variazione

Variabili	m (sd)	min-MAX	M[Q1-Q3]
F-M TOT	-11,2 (4,8)	-17, -5	-10[-15,-9]
F-M UE	-7,8 (5,8)	-13, -1	-10[-13,-2]
RPS	-5 (2,3)	-9,-3	-4[-5,-4]
NHPT	-0,026 (0,037)	-0,08, 0	0[-0,05, 0]
FIM	-7,2 (4,76)	-15, -3	-6[-8,-4]
B&B test	-5,8	-10, -3	-4[-9, -3]

F-M TOT:Fugl Meyer totale, F-M UE: Fugl Meyer Upper Extremity, RPS: Reaching Performing Scale; NHPT: Nine Hole Pegboard Test; FIM: Functional Independence Measure; B&B: Box and Block Test; m:media; sd: deviazione standart; min: minimo; Max: massimo; Q1: 1°quartile ; Q2: 2°quartile ; M: mediana

Attraverso l'analisi inferenziale si è proceduti ad osservare se i miglioramenti che si sono registrati nel confronto degli outcome pre-post siano statisticamente significativi, cioè che siano effettivamente reali e non dovuti al caso.

Come spiegato nel paragrafo precedente, si è utilizzati il t.test o il wilcoxon test a seconda del p value ottenuto dallo shapiro test. Per avere una rappresentazione più chiara dei miglioramenti si sono riportati degli istogrammi in cui in ascissa sono rappresentati i punteggi ottenuti dalle scale, mentre in ordinata l'ID paziente.

Nel primo grafico (Grafico 1) viene rappresentata la scala *Fugl Meyer*: il confronto tra i valori pre e post trattamento evidenzia un miglioramento di 11,2 punti. Il t.test inoltre mostra che la differenza è molto significativa (p-value=0,0065)

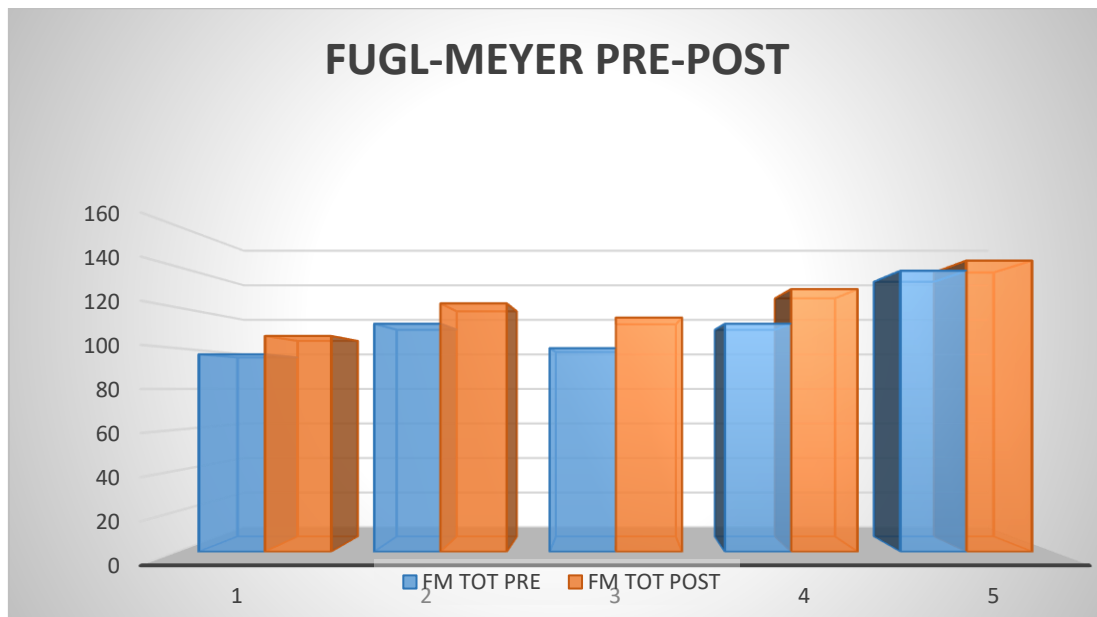


Grafico 1 Effetto del trattamento Realtà Virtuale sulla Fugl- Meyer totale. Il grafico a barre riporta i punteggi ottenuti da ogni paziente alla valutazione iniziale (barra blu) e alla finale (barra arancione).

Nel secondo grafico (Grafico 2) vengono riportati i punteggi della sezione “valutazione arto superiore” della Fugl-Meyer. Il confronto pre-post trattamento indica un miglioramento di 7,8 punti. Il p value ottenuto dal t.test indica che il miglioramento è significativo (p-value=0,041)

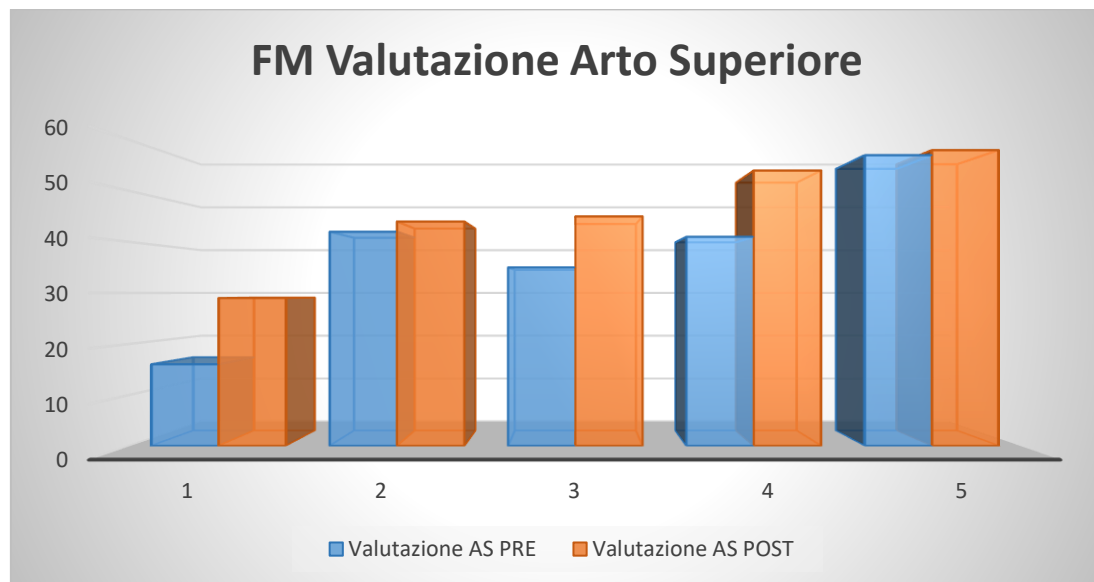


Grafico 2: Effetto del trattamento Realtà Virtuale sulla sezione “Valutazione arto superiore” della Fugl -Meyer. Il grafico a barre riporta i punteggi ottenuti da ogni paziente alla valutazione iniziale (barra blu) e alla finale (barra arancione).

Il grafico successivo (Grafico 3) mostra che il miglioramento dei punteggi per la scala *Reaching Performing Scale* equivale a 3 punti. Con il t.test si è appurato che il miglioramento è molto significativo (p-value = 0,0088).

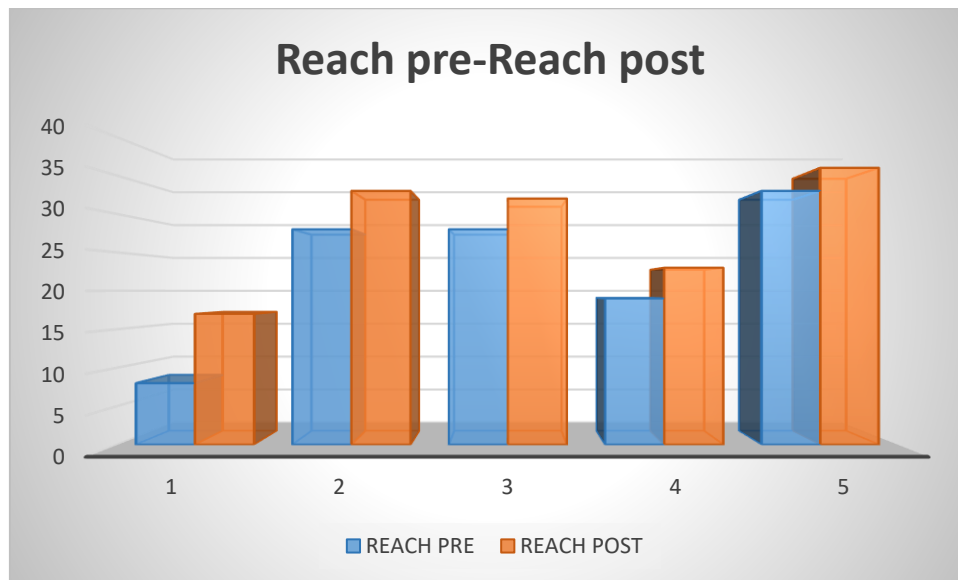


Grafico3: Effetto del trattamento Realtà Virtuale sulla Reaching Performance Scale. Il grafico a barre riporta i punteggi ottenuti da ogni paziente alla valutazione iniziale (barra blu) e alla finale (barra arancione).

Il quarto grafico (Grafico 4) rappresenta i risultati del block and box test, ritenuto importante ai fini di questa tesi, poiché valuta la capacità funzionale e fine del sistema mano-braccio. I miglioramenti emersi dal confronto pre-post trattamento sono stati di 5,8 punti. Attraverso il t.test si può affermare che il miglioramento è statisticamente significativo (p-value=0,019)

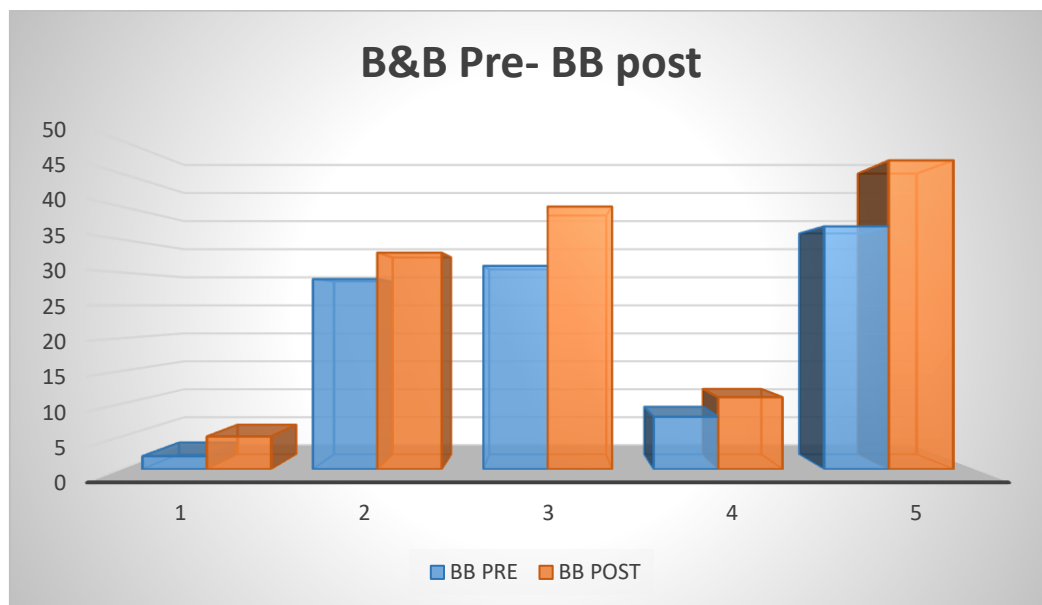


Grafico 4: Effetto del trattamento Realtà Virtuale sul Block and Box test. Il grafico a barre riporta i punteggi ottenuti da ogni paziente alla valutazione iniziale (barra blu) e alla finale (barra arancione).

L'ultimo grafico mostra il miglioramento ottenuto tramite la *scala FIM* che equivale a 7,2 punti. Si è utilizzato il Wilcoxon test attraverso il quale il miglioramento è risultato statisticamente non significativo per pochi punti ($p\text{-value}=0,0625$)

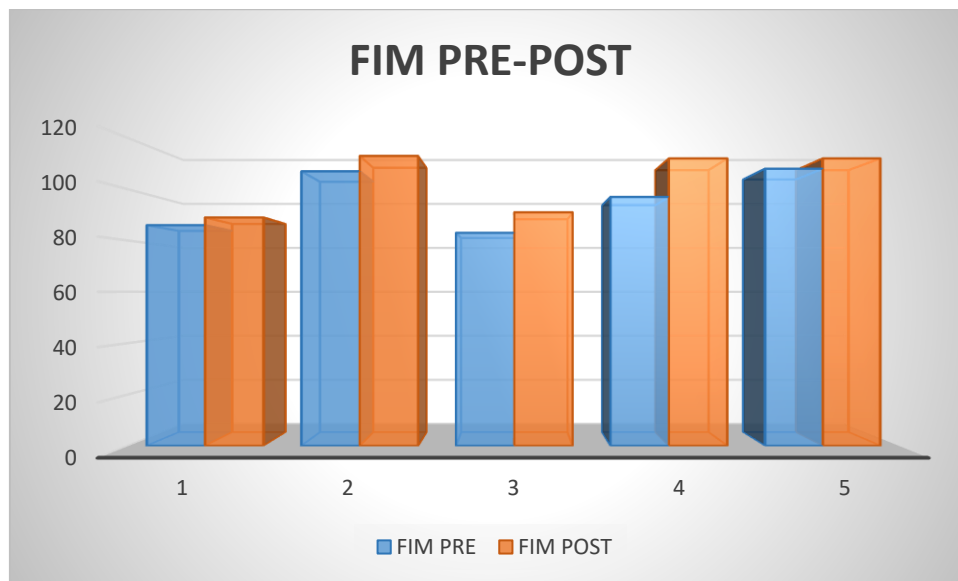


Grafico 5: Effetto del trattamento Realtà Virtuale sulla scala FIM. Il grafico a barre riporta i punteggi ottenuti da ogni paziente alla valutazione iniziale (barra blu) e alla finale (barra arancione).

4.3 Analisi dei risultati del gruppo di trattamento task-oriented

L'analisi descrittiva e i risultati clinici sono riportati nelle Tabelle 4-6. Il confronto tra i punteggi basali e quelli finali, emersi dalle scale di valutazione clinica, ha evidenziato un miglioramento di tutti gli outcome clinici (F-MUE, punti=2,1; RPS, punti=2; NHPT=0,06; FIM, punti=4,50; B&B test, punti=3,4; ABILHAND, punti=0,81)

Tabella 4 Analisi descrittiva degli outcome clinici a inizio trattamento

Variabili	m (sd)	min-MAX	M[Q1-Q3]
F-M UE	55,40(8,53)	40-66	58,50[54,25-60,50]
RPS	30,8(6,60)	20-36	35[25-36]
NHPT	0,25(0,22)	0-0,58	0,17[0,07-0,44]
FIM	101,6(22,83)	60-126	108,5[84-120,8]
B&B test	28,90(13,63)	6-52	27,5[22,25-34]
ABILHAND	1,83(2,44)	-2,61-5,88	1,42[0,73-2,74]

F-M UE: Fugl Meyer Upper Extremity, RPS: Reaching Performing Scale; NHPT: Nine Hole Pegboard Test; FIM: Functional Independence Measure; B&B: Box and Block Test; m:media; sd: deviazione standart; min: minimo; Max: massimo; Q1: 1°quartile ; Q2: 2°quartile ; M: mediana

Tabella 5 Analisi descrittiva degli outcome clinici a fine trattamento

Variabili	m (sd)	min-MAX	M[Q1-Q3]
F-M UE	53,3 (9,2)	37-63	56,5[48-61,9]
RPS	28,80(8,62)	15-36	34,5[20,5-35,6]
NHPT	0,19(0,16)	0-0,47	0,15[0,07-0,32]
FIM	97,10(24,31)	52-126	100,5[79,25-116,8]
B&B test	25,60(13,10)	3-47	27,5[16,25-33,75]
ABILHAND	1,02 (2,31)	-3,26-5,18	1,04[-0,04-1,90]

F-M UE: Fugl Meyer Upper Extremity, RPS: Reaching Performing Scale; NHPT: Nine Hole Pegboard Test; FIM: Functional Independence Measure; B&B: Box and Block Test; m:media; sd: deviazione standart; min: minimo; Max: massimo; Q1: 1°quartile ; Q2: 2°quartile ; M: mediana

Tabella 6 Analisi descrittiva degli outcome clinici: variazione

Variabili	m (sd)	min-MAX	M[Q1-Q3]
F-M UE	2,61(3,63)	-2-10	1[0-3]
RPS	2(3,71)	0-9	0[0-1]
NHPT	0,06(0,08)	-0,04-0,28	0,05[0,01-0,08]
FIM	4,50(4,86)	0-16	3,50[1,25-6,25]
B&B test	3,4(5,48)	-4-14	3[0,5-6]
ABILHAND	0,81(0,85)	0-2,44	0,71[0,13-0,98]

F-M UE: Fugl Meyer Upper Extremity, RPS: Reaching Performing Scale; NHPT: Nine Hole Pegboard Test; FIM: Functional Independence Measure; B&B: Box and Block Test; m:media; sd: deviazione standart; min: minimo; Max: massimo; Q1: 1°quartile ; Q2: 2°quartile ; M: mediana

Anche con questo campione si è proceduti a verificare se i miglioramenti ottenuti con il trattamento task-oriented, siano significativi oppure no, cioè se l'ipotesi che fossero imputabili al caso possa essere rifiutata oppure no.

L'analisi inferenziale dimostra una differenza non statisticamente significativa per gli outcome clinici Fugl-Meyer (p-value=0,10), *Reaching Performance Scale* (p-value=0,12), *Box and Blocks test* (p-value=0,08). Un miglioramento significativo è

emerso invece nell'analisi dei punteggi della scala clinica *Nine Hole Pegboard Test* (p-value=0,03), scala *FIM* (p-value=0,01), *Abilhand* (p-value=0,01).

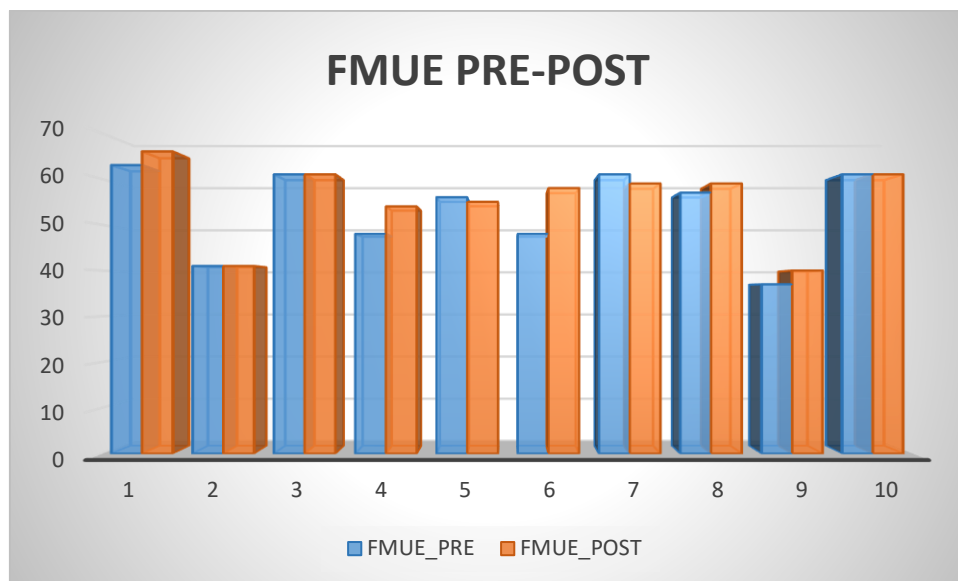


Grafico 6: Effetto del trattamento *Task-oriented* sulla sezione "Valutazione arto superiore" della *Fugl -Meyer*. Il grafico a barre riporta i punteggi ottenuti da ogni paziente alla valutazione iniziale (barra blu) e alla finale (barra arancione).

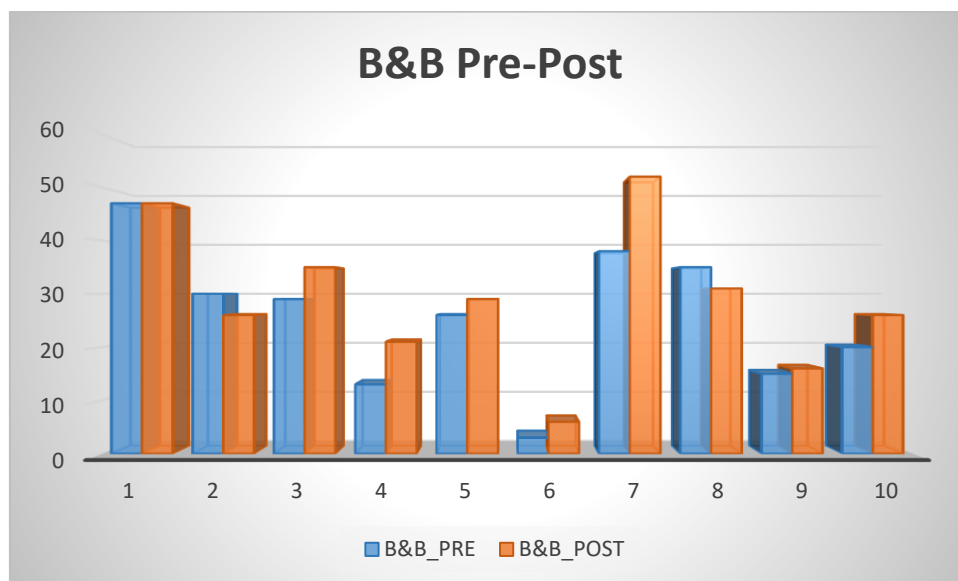


Grafico 7: Effetto del trattamento *Task-oriented* sul *Block and Box test*. Il grafico a barre riporta i punteggi ottenuti da ogni paziente alla valutazione iniziale (barra blu) e alla finale (barra arancione).

4.4 Analisi dei risultati del confronto tra i due gruppi di trattamento

L'analisi statistica tra i due gruppi di trattamento, Realtà Virtuale e task-oriented in ambiente reale, è stata effettuata attraverso controllo appaiati. Sono stati selezionati 5 pazienti dal gruppo che avevano seguito il protocollo task-oriented condotto nell'ambiente reale. Per ottenere le caratteristiche cliniche più simili possibili al momento dell'arruolamento, si è scelto di effettuare l'appaiamento per età e per punteggio iniziale di Fugl-Meyer Upper Extremity. Per rispondere alla domanda "i due trattamenti sono significativamente diversi?" si è eseguito il T-test a due code per dati accoppiati.

I risultati dell'analisi comparativa per età non ha evidenziato una differenza significativa (FM-UE $p=0,108$; FIM $p=0,781$; RPS $p=0,234$; NHPT $p=0,510$; B&B $p=0,356$). I risultati del T-test ad una coda, hanno riportato i seguenti valori del p value (FM-UE $p=0,054$; FIM $p=0,390$; RPS $p=0,117$; NHPT $p=0,255$; B&B $p=0,178$) che fanno rifiutare in ogni caso l'ipotesi che i due trattamenti portino a miglioramenti delle scale significativamente diversi.

I risultati dell'analisi comparativa per punteggio iniziale di Fugl-Meyer Upper Extremity hanno evidenziato una non significatività in tutte le scale ad eccezione della Box and Blocks Test. I risultati del test T-test per dati appaiati a due code sono: FM-UE 0,086; FIM 0,105; RPS 0,117; NHPT 0,298; B&B 0,0196. I risultati invece del T-test per dati appaiati ad una coda sono: FM-UE 0,173; FIM 0,211; RPS 0,23; NHPT 0,597; B&B 0,039

Capitolo 5: Discussione

In questo studio si è indagato l'effetto clinico di un protocollo task-oriented integrato con la Realtà Virtuale, specifico per il recupero neuro-motorio della mano. In letteratura non si sono trovati studi simili, il dispositivo handbox è infatti un prototipo solo recentemente immesso nel mercato. Per questo motivo è stata fondamentale la fase preliminare, durante la quale si è calibrato il sistema virtuale, il setting terapeutico e l'interazione paziente-hand box. Senza questa fase non si sarebbe potuto costruire un protocollo riabilitativo adeguato.

Gli esercizi inseriti all'interno del protocollo sono stati scelti affinché potessero essere adattati per pazienti con differenti situazioni cliniche (più o meno gravi).

I risultati ottenuti hanno rilevato notevoli miglioramenti nelle diverse scale cliniche nel confronto tra i valori iniziali e finali degli outcome, in concordanza con le evidenze scientifiche presenti in letteratura sull'utilizzo della realtà virtuale [Turolla A., 2014] e sull'esercizio task-oriented per l'arto superiore [Hubbard I.J., 2009]. Questi risultati si sono dimostrati statisticamente significativi, quindi si è riusciti a fornire delle evidenze a favore dell'adeguato utilizzo del sistema Realtà Virtuale per il recupero motorio e funzionale della mano, dopo ictus.

L'unico dato che non ha dimostrato un miglioramento significativo è la scala FIM.

Una possibile spiegazione di quest'ultimo risultato è il fatto che il trattamento era maggiormente focalizzato nel recupero specifico della mano e quindi non ci sia stato un miglioramento significativo generale dell'arto superiore, il quale influisce notevolmente nelle attività della vita quotidiana misurate con la FIM.

In tutti i pazienti nell'arco delle tre settimane si è notato: una fase iniziale in cui c'è stata una familiarizzazione con il sistema macchina e con gli esercizi specifici, una seconda fase in cui c'è stata una presa di coscienza dei movimenti con un aumento del controllo e della coordinazione della mano (maggior qualità di movimento), infine una terza fase in cui si è registrato un aumento oggettivo della prestazione richiesta (maggior numero di ripetizioni). La distinzione di queste tre fasi è stata clinicamente evidente, benché le varie fasi si siano sovrapposte nel tempo.

Tra le scale in cui si è ottenuto un più ampio miglioramento ritroviamo la *Box and Block test* e la *Reaching performance scale*. Tali scale analizzano sia la motricità grossolana e fine che, la capacità di raggiungimento e presa dell'oggetto. Questo risultato è congruente con le ipotesi iniziali, infatti un punto cardine del trattamento è stata la progressione

dell'intensità, arrivando a compiere molte ripetizioni di un determinato esercizio. Un vantaggio riscontrato dall'utilizzo dell'*Hand Box* e del sistema VRSS è stata la forte motivazione di ogni paziente nell'affrontare le richieste che l'esercizio proponeva. L'impegno di ogni partecipante dello studio è stato tangibile e non necessitava di ulteriore incoraggiamenti, tanto che alla fine di ogni seduta si poteva notare una certa fatica mentale e fisica.

Un altro risultato positivo è emerso dalla sezione "*valutazione arto superiore*" della scala *Fugl-Meyer*. In essa vengono valutate anche alcune prese fini della mano, un miglioramento in tal senso è concorde col fatto che il trattamento si focalizzava maggiormente sul tratto distale esercitando dei gesti motori fini.

Invece l'effetto clinico ottenuto nei pazienti sottoposti a trattamento task-oriented considerati in questa tesi ha dimostrato miglioramenti significativi solo in alcune scale. A differenza del trattamento proposto con realtà virtuale, c'è stato un miglioramento significativo per quanto riguarda la scala *FIM*, che potrebbe ricondursi ad esercizi in cui c'è stata una maggiore generalizzazione dell'azione motoria, riproducibile nell'ambito della vita quotidiana.

Nelle altre scale cliniche *Reaching Performance Scale*, *Box and Block test* e *Fugl-Meyer* non si sono registrati miglioramenti significativi. Le spiegazioni potrebbero essere due: la prima legata alla scelta nel preferire una maggiore variabilità di esercizi rispetto all'intensità, la seconda collegata ad un protocollo che esercitasse una motricità diversa da quella analizzata da queste scale cliniche.

Alla comparazione statistica, effettuata tra i due campioni formati da 5 pazienti, scelti per quanto riguarda il gruppo task-oriented tra i dieci iniziali confrontabili per l'età, non è emersa in nessuna scala una differenza statisticamente significativa tra i miglioramenti dei due gruppi.

Questa non significatività potrebbe avere tre spiegazioni: la prima che il confronto è stato effettuato con un campione troppo ristretto d'individui. Con questa piccola potenza anche un solo paziente del gruppo task-oriented che abbia avuto maggiori miglioramenti rispetto alla realtà virtuale non può essere considerata come un'eccezione, poiché corrisponde già al 20% del totale. Una seconda spiegazione potrebbe essere che la selezione dei 5 pazienti del gruppo task-oriented abbia portato a scegliere casualmente i soggetti che non abbiano avuto miglioramenti significativi da questo trattamento. In ultima analisi si può considerare il fatto che le due modalità di trattamento portano realmente a dei risultati simili. Per questo motivo si è condotta una comparazione statistica tra i due campioni, scegliendo 5 pazienti del gruppo task-oriented confrontabile per punteggi basali della

Fugl-Meyer Upper Extremity. In questa analisi l'unico miglioramento che si è dimostrato essere significativo è stato quello del test Box and Block, nel quale si è concluso che il trattamento con Realtà Virtuale ha portato a maggior miglioramenti rispetto al trattamento task-oriented. Questa conclusione è congruente con le aspettative di questa tesi, la maggior intensità dei trattamenti registrata nel campione Realtà Virtuale ha fatto sì che il paziente acquisisca una miglior capacità di presa sia in termini di forza che di resistenza, riuscendo a trasportare così un maggior numero di cubetti.

Certamente per avere una maggior chiarezza nel confronto tra i due campioni e capire quale delle tre ipotesi effettuate è la più corretta andrebbe aumentata la potenza dello studio in entrambi i campioni.

Conclusioni

I risultati di questo studio, sebbene siano ancora da considerarsi preliminari, hanno dimostrato l'efficacia nell'utilizzo di un protocollo task-oriented integrato con la Realtà Virtuale, per la riabilitazione della mano dopo ictus.

Nonostante i risultati promettenti, bisogna considerare i limiti dello studio. Il primo che la strumentazione è ancora un prototipo e necessita di ulteriori aggiustamenti di software ed implementazioni d'esercizi, si sono registrate infatti errori di lettura della mano e alcuni "bug" nella congruenza tra la rappresentazione del movimento della mano reale con quello dell'avatar virtuale. Un secondo limite è dato dalla numerosità del campione che è composto da soli 5 pazienti per le caratteristiche dei criteri d'inclusione, quali ad esempio il moderato impairment all'arto superiore. Tuttavia rispetto al lavoro precedente si è riusciti a reclutare pazienti con risultati peggiori ai test clinici pre trattamento: FM-UE gruppo Realtà Virtuale 38,2 con sd di 14,82, mentre la FM-UE gruppo task oriented equivale a 53,3 con una sd di 9,2. In questo studio rispetto al lavoro precedente si può sottolineare un'alta motivazione da parte del paziente nell'affrontare l'esercizio richiesto, non si sono mai registrati segnali di noia, al contrario a fine seduta si sono registrati segnali di stanchezza per il notevole coinvolgimento da parte del paziente. Una spiegazione potrebbe essere che con la realtà virtuale il soggetto riesca a effettuare azioni che in ambiente reale sarebbero più difficoltose o addirittura impossibili. Dai risultati ottenuti e dalle osservazioni effettuate si può affermare che la Realtà Virtuale, attraverso l'hand-box ed il protocollo proposto, abbia potenziato la fase cognitiva e associativa caratterizzanti il trattamento task-oriented, portando a dei miglioramenti delle abilità motorie della mano. Tuttavia la traslazione dei risultati ottenuti nella funzione motoria nel dominio dell'autonomia, non ha avuto miglioramenti significativi, probabilmente a causa della scarsa variabilità degli esercizi ed alla bassa potenza del campione. Dal confronto tra i gruppi si è riusciti a dimostrare la maggior efficacia del trattamento con Realtà Virtuale per il test Box and Block, per la cui interpretazione si ipotizza che questo sia dovuto alla maggior intensità dei trattamenti effettuati tramite Hand-Box. Nelle altre scale cliniche non si hanno avuto differenze significative per effetto del trattamento. Alla luce di tali risultati si può suggerire, per gli studi futuri, d'implementare il protocollo con nuovi esercizi, cercando di mantenere un'alta intensità di ripetizioni, poiché si è visto essere efficace nei risultati delle scale cliniche. Infine sarebbe interessante, indipendentemente dal protocollo proposto, un follow-up per osservare l'eventuale mantenimento delle abilità acquisite.

BIBLIOGRAFIA

Ada L, Dorsch S., Canning CG. (2006) "*Strengthening interventions increase strenght and improve scitivity after stroke: a systematic review*" Aust J Physiother Vol.52, pp 241-248

Altshuler EL., Wisdom SB., Stone L., Foster C., Galasko D., Llewellyn DM., Ramachandran VS. (1999) "*Rehabilitation of hemiparesis after stroke in a mirror*" Vol. 353 pp.2035-2036

Angelini C., Battistin L. (2015) "*Neurologia Clinica*" pp.280-301

Arya KN. (2011) "*Movement therapy induced neural reorganization and motor recovery in stroke: a review*" Vol 4, pp. (528-537)

Basile L., Inizitari D. (2015) "*Clinica Neurologica*" Vol 1, pp 330 -335, Bologna

Bohil CJ, Alicea B, Biocca F. (2011) "*Virtual reality in neuroscience: research and therapy.*" Vol. 12 pp.752-762.

Bowden MG., Woodbury ML., Duncan PW., (2013) "*Promoting neuroplasticity and recovery after stroke: future directions for rehabilitation clinical trials*" Vol.1 pp. 37-42

Buerdea G., Coiffet F., (2003) "*Virtual Reality Technology*" Volume 1 Computer Science

Butefish C. (2003) "*Remote changes in cortical excitability after stroke*" Vol 2, pp. 470-482

Cao Y., D'Olhaberriague L., Vikingstad E. M., Levine S. R., Welch K. M. (1998) "*Pilot study of functional MRI. to assess cerebral activation of motor function after poststroke hemiparesis*". Stroke Vol. 29, pp. 112–122.

Chanubol R1., Wongphaet P., Chavanich N., Werner C., Hesse S., Bardeleben A., Merholz J., (2012) "*A randomized controlled trial of Cognitive Sensory Motor Training Therapy on the recovery of arm function in acute stroke patients.*" Vol.12 pp. 1096-1104

Chen H., Epstein J. (2010) “*Neural plasticity after acquired brain injury: evidence from functional neuroimaging.*” Vol.2, pp. 306-312

Cirstea C.M., Ptito A., Levin M.F. (2006) “*Feedback and Cognition in Arm Motor Skill Reacquisition After Stroke*”, Stroke, Vol 37, pp.1237-1242

Doyle S., S. Bennet e S.E.Fasoli (2010) “ *Interventions for Sensory Impairment in the upper Limb after Stroke*”. The Cochrane Library Vol.6

Eriksson PS, Perfilieva E, Bjork-Eriksson T et al. (1998) “ *Neurogenesis in the adult human hippocampus*”. Nature Med 1998 Vol 4, pp.13-17

Fasoli E., Hermani I., Walter R., Neville H. (2003) “*Effects of Robotic Therapy on Motor Impairment and Recovery in Chronic Stroke*” Vol.84 pp. 477-482

Fazio L. (2000) “*Neurologia*” Vol 2, pp 23-30

Gallese V., Rizzolatti G., Umiltà MA. Rochat MJ., Caruana F., Jezzi A., Escola L., Intskirveli I., Grammont F., (2010) “*Responses of mirror neurons in area F5 to hand and tool grasping observation.*” Vol. 4 pp.605-616

Gimigliano F., F. P. Di Domenico,, P. Di Blasio, P. De Sena, S. R. Brancaccio e G.

Iolascon. (2005). “*Il recupero dell’arto superiore paretico nei pazienti ictati: stato dell’arte ed esperienza riabilitativa*”. European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine Vol.41 pp. 57-62

Goldstone RL (1998). “*Perceptual learning*”. Annual Reviews in Psychology Vol.49 pp. 585–612.

Grice K., Vogel KA., Le V., Mitchell A., Muniz S., Vollmer MA. (2003) “*Adult norms for a commercially available Nine Hole Peg Test for finger dexterity.*” Vol 5 pp. 570-573

Gui Bon Song (2015) “*The effects of task-oriented versus repetitive bilateral arm training on upper limb function and activities of daily living in stroke patients*” Vol 5 pp.1353-1355

Higgins J., Salbach NM., Wood-Dauphinee S., Richards CL., Côté R., Mayo NE. (2006) “*The effect of a task-oriented intervention on arm function in people with stroke: a randomized controlled trial*” Vol 4 pp. 296-310

Hogan N., Krebs HJ., Rohrer B., Palazzo JJ., Fasoli SE., Stein J., Hughes R., Frontera WR., Lynch D., Volpe BT., (2006) *"Motion or Muscles? Some behavioral factors underlying robotic assistance of motor recovery"* Rehabil Res Dev Vol. 43 pp. 605-618

Hubbard J., Parsons MW., Neilson C., Carey LM., (2009) *"Task-specific training: evidence for and translation to clinical practice."* Vol 4 pp. 175-189

Kandel J., Schwartz H., Thomas M., Jessell R., (2014) *"Principi di Neuroscienze"* casa editrice ambrosiana.

Kawato M (1998) *"Internal models for motor control and trajectory planning. Current Opinions in Neurobiology"* Vol. 9 pp.718-727

Kiper P. (2011) *"The effectiveness of reinforced feedback in virtual environment in the first 12 months after stroke"* Vol.5 pp.436-444

Kollen BJ., Lennon S., Lyons B., Wheatley-Smith L., Scheper M., Buurke JH., Halfens J., Geurts AC., Kwakkel G., (2009) *"The effectiveness of the Bobath concept in stroke rehabilitation: what is the evidence?"* Vol. 4 pp. 89-97

Kwakkel G., Kollen B., Twisk J., (2006) *"Impact of time on improvement of outcome after stroke"* Vol.9, pp. 2348-2352

Laver k., George S., Thomas S., Deutsch JE., Crotty M. (2012) *"Cochrane review: virtual reality for stroke rehabilitation"* Vol.3 pp. 523-530

Lee H., Caharnan H., (1990) *"Bandwidth knowledge of results and motor learning: More than just a relative frequency effect"* Vol.42 pp.777-789

Levin MF., Desrosiers J., Beauchemin D., Bergeron N., Rochette A. (2004) *"Development and validation of a scale for rating motor compensations used for reaching in patients with hemiparesis: the reaching performance scale."* Vol 1 pp.8-22

Liepert J., Uhde I., Gräf S., Leidner O., Weiller C. (2001) *"Motor cortex plasticity during forced-use therapy in stroke patients: a preliminary study."* Vol. 4 pp.315-321

Magill RA. (2001) *"Motor learning as a function of KR schedule and characteristics of task-intrinsic feedback"* Vol.1 pp. 59-66

Masiero S. and Carraro (2008) "*Upper limb movements and cerebral plasticity in post stroke rehabilitation*", Aging Clinical and Experimental Research, Vol 20, n° 2, pp 103-108.

Mathiowetz V, Volland G, Kashman N, Weber K. (1985) "*Adult norms for the Box and Block Test of manual dexterity.*" Vol.6 pp.386-391

Mayo N.E., Wood-Dauphinee S., Ahmed S., et al. (1999) "*Disablement following stroke*", Disability and Rehabilitation, Vol 21, pp 258-268.

Mazzarotto. D., Turolla A., (2014) "*Modalità aptiche e task-oriented per il recupero della mano dopo ictus: dati preliminari di uno studio controllato*", Tesi di Laurea.

Montini S., Turolla A., (2015) "*La riabilitazione della mano dopo ictus attraverso l'utilizzo di un protocollo task-oriented: studio pilota*" Tesi di Laurea

Mulder T. (2004) "*The role of motor imagery in learning a totally novel movement.*" Vol. 2 pp. 212-217

Murphy C., Dale C., (2009) "*Plasticity during stroke recovery: from synapse to behaviour.*" Nature Reviews Neuroscience Vol. 10, pp. 861-872

Perozzo P., Tatu MK. (2011) "*Il cervello e la sua modificabilità*". Vol. 5; ACSA Magazine n.3.

Rensink M., Schuurmans M., Lindeman E., Hafsteinsdóttir T. (2009) "*Task-oriented training in rehabilitation after stroke: systematic review*" Vol 4 pp. 737-754

Ribeiro D.C., Sole G., Abbott J.H., Milosavljevic S. (2011), "*A rationale for the provision of extrinsic feedback toward management of low back pain*", Manual Therapy, Vol 16, n°3, pp 301-305.

Riva G. (2009) "*Virtual reality: An experiential tool for clinical psychology*" Vol.3 pp. 337-345

Ro T., Noser E., Boake C., Johnson R., Gaber M., Speroni A., Bernstein M., De Joya A., Scott Burgin W., Zhang L, Taub E., Grotta JC., Levin HS.(2006)"*Functional reorganization and recovery after constraint- induced movement therapy in subacute stroke:casereports.*" Neurocase Vol.12 pp.50-60.

Sacco R.L., Kasner S.E., Broderick J.P., Caplan L.R., Connors J.J., Culebras A., Elkind M.S., George M.G., Hamdan A.D., Higashida R.T., Hoh B.L., Janis L.S., Kase C.S., Kleindorfer D.O., Lee J.M., Moseley M.E., Peterson E.D., Turan T.N., Valderrama A.L., Vinters H.V.; American Heart Association Stroke Council, Council on Cardiovascular Surgery and Anesthesia; Council on Cardiovascular Radiology and Intervention; Council on Cardiovascular and Stroke Nursing; Council on Epidemiology and Prevention; Council on Peripheral Vascular Disease; Council on Nutrition, Physical Activity and Metabolism (2013) *“An Updated Definition of Stroke for the 21st Century: A Statement for Healthcare Professionals From the American Heart Association/American Stroke Association”*, Stroke, Vol 44, n° 7, pp 2064-2089.

Schmidt R.A., Lee T.D. (2005) *“Motor control and learning: a behavioural emphasis”* 4th ed, Champaign, IL: Human Kinetics Publishers.

Satava R., Jones SB., (2002) *“Medical application of Virtual Reality”* editor Handbook of Virtual Environments pp. 368-391

See J., Dodakian L., Chou C., Chan V., McKenzie A., Reinkensmeyer DJ., Cramer SC., (2013) *“A standardized approach to the Fugl-Meyer assessment and its implications for clinical trials.”* Vol.8 pp.732-741

Silverthorn D.U. (2013) *“Fisiologia Umana, un approccio integrato”* Pearson pp. 300-330

Straudi S., M. G. Benedetti e P. Bonato. 2011. *“Neuroplasticità e Motor Learning: nuove strategie nella riabilitazione dell'arto superiore nel paziente con ictus cerebrale.”* Scienza Riabilitativa Vol.1 pp. 13-15

Stroke Prevention and Educational Awareness Diffusion (SPREAD) (2012), *Linee Guida Italiane sulla prevenzione e trattamento dell'ictus cerebrale – 7° Edizione*, Disponibile on-line all'indirizzo: <http://www.siapav.it/pdf/SPREAD%202012.pdf>.

Van Peppen RP., Kwakkel G., Wood-Dauphinee S., Hendiks HJ., Van der Wees PJ., Dekker J. (2004) *“The impact of physical therapy on functional outcomes after stroke: what's the evidence?”* Vol 8 pp.833-862

Teasell RW., Foley NC., Salter KL., Jutai JW., (2008) “*A blueprint for transforming stroke rehabilitation care in Canada: the case for change.*” Vol. 3 pp. 575-578

Turolla A., Kiper P., Agostini M., Luque-Moreno C., Tonin P. (2014) “*A reinforced feedback in virtual environment for rehabilitation of upper extremity dysfunction after stroke: data from a randomized controlled trial*” Biomed Res. Int

Villeneuve M. (2014) “*A piano training program to improve manual dexterity and upper extremity function in chronic stroke survivors*” Vol. 8 pp 662

Weichert F., Bachmann D., Rudak B., Fisseler D., (2013) “*Analysis of the Accuracy and Robustness of the Leap Motion Controller*” Vol 5 pp. 6380-6393

Wissel J., A. Manack e M. Brainin. (2013) “*Toward an epidemiology of poststroke spasticity. Neurology*”. Vol 4 pp. 255-259

Wolf et al,(2006) “*Effect of constraint -induced movement therapy on upper extremity function 3 to 9 months after stroke: the EXCITE randomized clinical trial*”, The Journal of the American Medical Association, Vol 296, n° 17, pp 2095-2104.

Wulf G., McConnel N., Gärtner M., Schwarz A. (2002) “*Enhancing the learning of sport skills through external-focus feedback*” , Journal Motor Behaviour, Vol 34, n° 2, pp 171-182.

Yukhiro H. (2015) “*Brain Plasticity and Rehabilitation in Stroke Patients*” Vol. 82, pp.4-13 J. Nippon Medical School.

ALLEGATI

Allegati n°1

PROTOCOLLO CLINICO REALTA' VIRTUALE STRUTTURATO CON ESERCIZI TASKORIENTED SPECIFICI PER LA MANO

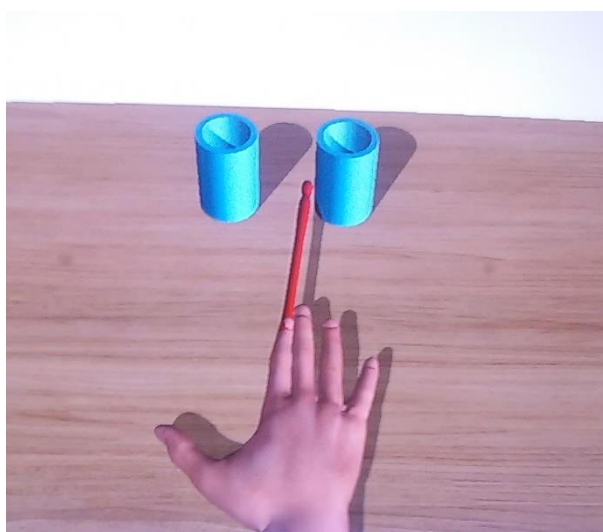
Esercizio 1: ABDURRE L'INDICE VERSO UN OBIETTIVO

Obiettivo

Migliorare l'abilità di abduurre l'indice

Istruzioni

Posizionare il paziente seduto con l'avambraccio pronato e il polso in estensione con differente tipologie d'appoggi a seconda della difficoltà scelta. Rendere cosciente il paziente del movimento desiderato. Indicare al paziente di non far cadere le tazze con l'asticella richiedendo un controllo sull'attivazione muscolare. Assicurarsi che non ci sia un coinvolgimento eccessivo nell'attivazione delle altre dita o di gruppi muscolari distali.



Progressioni e Variazioni

Difficoltà 0: Posizionare la mano e avambraccio con appoggio completo

Difficoltà 1: Posizionare la mano e avambraccio con appoggio del palmo

Difficoltà 3: Posizionare la mano e avambraccio con appoggio dell'avambraccio

Esercizio 2,3,4: ABDURRE MEDIO (2) , ANULARE (3) E MIGNOLO (4)

Obiettivi, istruzioni e Progressioni sono le medesime dell'esercizio 1

Esercizio 5: RAGGIUNGIMENTO DEL TARGET, CON MOVIMENTO D'ESTENSIONE IN SEQUENZA DELLE DITA CON INTERFALANGEE ESTESE

Obiettivo: Migliorare l'estensione del dito indice, medio, anulare e mignolo.
Migliorare la propiocezione.
Migliorare la coordinazione e il controllo di movimento in sequenza delle dita.

Istruzioni:

Posizionare il paziente seduto con l'avambraccio pronato e appoggiato sul supporto posto di fronte a lui. Insegnare al paziente d'estendere le dita singolarmente e ritmicamente. Assicurarsi che le articolazioni interfalangee ritornino poi allineate affinché compaia il target nel dito successivo.



Progressioni e Variazioni

Difficoltà 0: Posizionare la mano e avambraccio con appoggio completo

Difficoltà 1: Posizionare la mano e avambraccio con appoggio del palmo

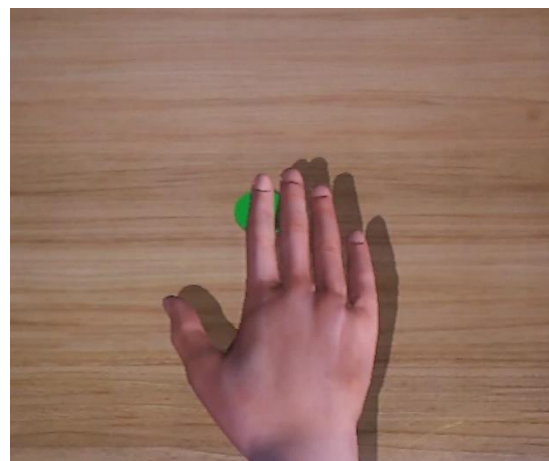
Difficoltà 3: Posizionare la mano e avambraccio con appoggio dell'avambraccio

Esercizio 6: TAPPING IN SEQUENZA, CON MOVIMENTO DI FLESSIONE DELLE DITA A INTERFALANGEE ESTESE

Obiettivo: Migliorare il movimento di flessione del dito indice, medio, anulare e mignolo.
Migliorare la propiocezione.
Migliorare la coordinazione e il controllo di movimento in sequenza delle dita.
Migliorare la capacità di singolarizzazione di movimento

Istruzioni

Posizionare il paziente seduto con l'avambraccio pronato e appoggiato sul supporto posto di fronte a lui. Insegnare al paziente di flettere le dita singolarmente e ritmicamente, con posizione di partenza a dito esteso. Assicurarsi che il paziente raggiunga il target affinché l'esercizio possa continuare con il dito successivo



Progressioni e Variazioni

Difficoltà 0: Posizionare la mano e avambraccio con appoggio completo

Difficoltà 1: Posizionare la mano e avambraccio con appoggio del palmo

Difficoltà 3: Posizionare la mano e avambraccio con appoggio dell'avambraccio

GRIGLIA DI REGISTRAZIONE R.V. MANO

Nome Paziente:

Data:

ID Paziente:

Numero Seduta:

	Difficoltà	Ripetizioni	Tempo	Considerazioni
Esercizio 1 Abdurre e Addurre dito indice				
Esercizio 2 Abdurre e Addurre dito medio				
Esercizio 3 Abdurre e Addurre dito mignolo				
Esercizio 4 Abdurre e Addurre dito anulare				
Esercizio 5 Estendere velocemente una alla volta le cinque dita				
Esercizio 6 Taping veloce in sequenza per ogni dito				

