

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
SCUOLA DI DOTTORATO DI RICERCA
INGEGNERIA INDUSTRIALE
INDIRIZZO MECCATRONICA E SISTEMI INDUSTRIALI



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
SCUOLA DI DOTTORATO DI RICERCA
INGEGNERIA INDUSTRIALE

DIPARTIMENTO DI INNOVAZIONE MECCANICA E GESTIONALE

INDIRIZZO MECCATRONICA E SISTEMI INDUSTRIALI

STUDIO DI SISTEMI ROBOTICI
ATTIVI INTERAGENTI PER
RIEDUCAZIONE MOTORIA

SUPERVISORE: CH.MO PROF. ING. ALDO ROSSI

COORDINATORE: CH.MO PROF. ING. ALBERTO TREVISANI

DOTTORANDO: FABIO OSCARI

CICLO XIV

alla mia famiglia e alla mia ragazza...

Indice

Parte I

Neuroriabilitazione della mano

Nel primo capitolo viene focalizzata l'attenzione sul problema dell'ictus, dal punto di vista clinico ed epidemiologico, insieme agli obiettivi e le modalità della riabilitazione neurologica.

Nel secondo capitolo l'attenzione si focalizza sulla riabilitazione della mano, descrivendo in particolare l'anatomia della mano da un lato e il sistema di controllo del movimento dall'altro.

Nel terzo capitolo vengono menzionati i campi d'applicazione della robotica con un breve confronto rivolto al campo terapeutico o riabilitativo, evidenziando anche le sostanziali differenze tra robot per usi riabilitativi rispetto ai robot tradizionali, utilizzati per impieghi industriali. Si descrive inoltre un'interfaccia molto utilizzata nei robot riabilitativi qual è quella aptica.

Infine nel capitolo quattro sono elencati e descritti i principali robot per la riabilitazione della mano con lo scopo di fornire una panoramica generale sulla situazione mondiale in questo settore.

Capitolo 1

L'ictus e la riabilitazione post-stroke

1.1 La riabilitazione e l'ictus

L'ictus, o stroke nell'accezione americana, è una patologia di forte impatto nella nostra società sia per l'elevata incidenza e mortalità, sia per l'alto numero di soggetti che presentano sequele disabilitanti. I costi per l'assistenza sanitaria e le cure ospedaliere sono enormi ed a ciò si aggiunge il peso che grava sulle famiglie e la perdita di produttività lavorativa.

Dalla letteratura emerge che nei pazienti colpiti da ictus il trattamento riabilitativo è tanto più efficace quanto più risulta precoce, intensivo e ricco di stimoli multisensoriali. Per cercare di soddisfare queste esigenze i pazienti necessitano di essere sottoposti ad un approccio fisioterapico individuale (hand to hand) di almeno 3 ore al dì, che spesso non risulta praticabile nelle nostre strutture medico-riabilitative.

Nasce da tali considerazioni l'idea (e la necessità) di ricercare nuove tecniche e nuovi strumenti da affiancare al lavoro del fisioterapista per rispondere in modo adeguato ed efficace alle esigenze terapeutiche di questi pazienti, con l'obiettivo anche di un contenimento dei costi.

1.1.1 Clinica e valutazione dello stroke

L'*ictus* è la manifestazione clinica di una malattia cerebro-vascolare caratterizzata dall'“improvvisa comparsa di segni e/o sintomi riferibili a deficit focale e/o globale (stato di coma) delle funzioni cerebrali, di durata superiore alle 24 ore o ad esito infausto” [?]. Tale definizione comprende l'infarto ischemico, l'emorragia intracerebrale primaria e alcuni casi di emorragia subaracnoidea. Il quadro clinico di un ictus varia a seconda della zona cerebrale interessata, del grado di risparmio dei circoli collaterali e dall'entità dell'evento. Si distinguono tre forme di ischemia cerebrale:

1. TIA (Transient Ischemic Attacks), con regressione completa della sintomatologia o del deficit neurologico in meno di 24 ore;
2. RIND (Reversible Ischemic Neurologic Deficit), con regressione completa della sintomatologia in qualche giorno;
3. Ictus, con esito mortale o con persistenza dei difetti neurologici focali.

Tra i fattori clinici, la gravità di presentazione dell'ictus rappresenta un importante fattore predittivo dell'esito funzionale a medio-lungo termine. Molte scale sono state sviluppate in questi anni con lo scopo di misurare tale gravità e per monitorarne l'evoluzione nel tempo, anche ai fini della definizione prognostica e del tipo di intervento riabilitativo da effettuare. Sono qui citate le più utilizzate nella valutazione della forza e della potenza muscolare, della motricità, della disabilità e indipendenza funzionale e del grado di deficit motorio.

Per la valutazione clinica della forza e della potenza muscolare viene solitamente utilizzata la MRC Scale (Scala delle paresi secondo il Medical Research Council). La MRC è un test che permette di valutare il grado di compromissione motoria di singoli muscoli o di gruppi di muscoli; infatti si passa da un grado 0, in cui non è visibile o palpabile nessun movimento, fino ad un grado 5, in cui il paziente è in grado di produrre un movimento contro la resistenza dell'esaminatore [?].

Il Motricity Index è un test che valuta le abilità motorie a livello dell'arto superiore e dell'arto inferiore. Per la corretta somministrazione della scala il paziente

viene solitamente seduto su una sedia oppure sul bordo del letto, ma all'occorrenza può essere valutato anche da sdraiato: la valutazione include il test di sei movimenti, di cui tre per l'arto superiore e tre per l'arto inferiore [?].

Tra le scale motorie più frequentemente utilizzate vi è anche la scala di FuglMeyer che considera 4 ambiti di prestazione: il livello di coscienza, la prestazione motoria, la comunicazione verbale e la capacità di percezione. La valutazione della prestazione motoria di un arto comprende tre parti differenti ma interdipendenti: la funzione motoria e l'equilibrio, la qualità della sensibilità, il range di movimento passivo e l'eventuale presenza di dolore alle articolazioni [?].

La Scala di Barthel (o Barthel Index) rappresenta una modalità di misura universalmente accettata per la valutazione del grado di autonomia e disabilità; presenta un'elevata ripetibilità ed affidabilità che rende appropriata la scala anche per il monitoraggio e per la prognosi funzionale del paziente con lesione cerebrovascolare. Richiede pochi minuti di osservazione del paziente da parte dell'operatore (medico o non) ed esplora 10 item pesati concernenti le principali attività della vita quotidiana (mangiare, lavarsi, vestirsi, spostarsi dalla sedia al letto, mobilità, capacità di salire le scale etc).

Anche la Functional Independence Measure (FIM) è una scala di valutazione della disabilità frequentemente utilizzata; come il Barthel Index anch'essa è utilizzata per valutare il grado di assistenza richiesti nel compiere le normali attività quotidiane. Si considerano item funzionali (cura della persona, trasferimenti, controllo sfinterico, ecc.), ma a differenza della Barthel Index vengono inclusi anche 5 item attinenti la valutazione degli aspetti cognitivi (comunicazione, memoria, giudizio, ecc.) [?] [?].

Tra le scale di valutazione del deficit neurologico, in genere molto più accurate nella valutazione degli ictus di gravità media rispetto a quelli di gravità maggiore, la National Institutes of Health Stroke Scale (NIHSS) è la scala più frequentemente utilizzata; comprende 15 item che esplorano lo stato di coscienza, la visione, i movimenti extraoculari, la paralisi del facciale, la forza degli arti, l'atassia, la sensibilità, la parola ed il linguaggio. Questa scala si presta bene ad effettuare valutazioni seriate e pertanto trova indicazione clinica per quantificare miglioramenti o peggioramenti del quadro neurologico durante il follow-up [?].

1.1.2 Epidemiologia dell'ictus

Nei paesi industrializzati tra cui l'Italia l'ictus è la terza causa di morte dopo le malattie cardiovascolari e le neoplasie, essendo responsabile del 10-12% di tutti i decessi per anno (circa 400.000) nei paesi della CEE. Un recente studio europeo asserisce che ci sono circa 250-350 casi di stroke all'anno ogni 100.000 persone. E si ipotizza che con l'aumento dell'età media, e conseguentemente del numero di anziani, con i cambiamenti demografici e con la persistente abitudine al fumo, tale numero potrebbe raddoppiare entro il 2025 [?]. Tale patologia riveste un'enorme importanza sociosanitaria per un duplice motivo: quello della mortalità che rimane elevata e quello della disabilità residua, grave fonte di sofferenze e di costi per i malati, per le loro famiglie e per la collettività. L'ictus cerebrale è riconosciuto come la patologia più costosa in termini di qualità della vita che monetari (costi assistenziali e terapeutici ospedalieri ed extraospedalieri, costi indiretti dovuti alla perdita di produttività per assenze dal lavoro, pensionamento anticipato, ecc. e costi familiari).

Per quanto riguarda l'Italia i dati nazionali di prevalenza e di incidenza sono quelli dello studio ILSA (Italian Longitudinal Study on Aging): nella popolazione anziana (65-84 anni) italiana il tasso di prevalenza è pari a 6,5%; lievemente superiore negli uomini (7,4%) rispetto alle donne (5,9%). L'incidenza aumenta progressivamente con l'età raggiungendo il massimo negli ultraottantacinquenni. Da questi studi di popolazione risulta che circa l'80% dei soggetti con ictus è affetto da forme di tipo ischemico, mentre le emorragie intraparenchimali rappresentano circa il 15-20% dei casi e le emorragie subaracnoidee non superano il 3% del totale. L'ictus ischemico colpisce soggetti con età media superiore a 70 anni, più spesso uomini che donne; quello emorragico intraparenchimale colpisce soggetti leggermente meno anziani, sempre con lieve prevalenza per il sesso maschile, mentre l'emorragia subaracnoidea colpisce più spesso soggetti di sesso femminile di età media intorno ai 45-50 anni. Ogni anno in Italia vi sono, quindi, 196.000 nuovi casi di stroke, di cui l'80% è rappresentato da nuovi episodi (157.000) e il resto da recidive (39.000). Inoltre di questi 196.000 nuovi casi, una minoranza (circa il 20%) decede nel primo mese successivo all'evento e circa il 30% sopravvive con esiti gravemente invalidanti. Sulla base di uno studio della

popolazione italiana del 2001 sono risultati 913.000 soggetti sopravvissuti ad un episodio di ictus con esiti più o meno disabilitanti. Lo studio ILSA riporta che nei sopravvissuti la disabilità in almeno una delle ADL (Activities of Daily Living) è presente nel 67,6% dei pazienti colpiti da un primo evento ictale, e nel 35% di questi pazienti, ad un anno dall'evento acuto, permane ancora una grave disabilità (motoria e funzionale), e una importante limitazione nelle normali attività della vita quotidiana tanto da poterli definire "dipendenti" o "non autosufficienti" [?].

Nella Regione Veneto, nel 1999, sono stati stimati quasi 10.000 casi di ictus: l'attack rate complessivo e la mortalità sono, rispettivamente, 219 e 51,8 per 100.000 abitanti/anno. Nei giovani prevalgono le forme emorragiche, mentre con l'incremento dell'età cresce la percentuale di ictus ischemici. L'età media dei pazienti con ictus risulta essere di 74 anni ma è diversa a seconda del tipo di ictus. Complessivamente si stima che circa il 73% siano ictus ischemici, 15% emorragie cerebrali, il 4% emorragie subaracnoidee e l'8% ictus non specificati. La mortalità interessa il 24% del totale, più elevata nei pazienti che presentano un ictus di tipo emorragico, mentre le recidive rappresentano circa il 23% del totale degli accidenti cerebro-vascolari per anno [?] [?].

Nell'anno 2005 si sono registrati a Padova più di 2.200 ictus: l'età media dei colpiti è di 73,8 anni mentre la distribuzione per tipologia dimostra che il 75,5% sono ictus ischemici e il 14,5% emorragici concordando con i dati regionali e nazionali. Tra i sopravvissuti, all'atto della dimissione, il 75% dei pazienti torna al proprio domicilio presentando una disabilità di grado lieve che comunque nella maggioranza dei casi richiede un trattamento in regime ambulatoriale, mentre il restante 25% richiede un trattamento riabilitativo specifico in regime di degenza ospedaliera (presso un centro di riabilitazione) o extraospedaliera, presso una Residenza Sanitaria Assistenziale o altro istituto di riabilitazione poiché presenta una disabilità di grado medio-elevato. Sulla base dei dati ottenuti dalle SDO risulta che a Padova circa 200-250 pazienti ogni anno presentano una disabilità post-stroke tale da richiedere interventi riabilitativi in regime di ricovero. A questa percentuale vanno aggiunti anche i pazienti con grave disabilità cronica che annualmente ripetono un ciclo di trattamento riabilitativo in regime di ricovero

presso un Centro di riabilitazione che riguarda una percentuale intorno al 10-15% ossia circa 150-200 soggetti/anno.

1.1.3 Trattamento riabilitativo

Il trattamento riabilitativo del paziente con esiti di lesione cerebrovascolare dovrebbe essere intrapreso il più precocemente possibile abbinandolo alla terapia farmacologia con lo scopo di favorire in massima misura il recupero delle funzioni perse e, quindi, permettere il reinserimento e l'indipendenza nell'ambiente socio-familiare [?]. La terapia riabilitativa è principalmente diretta a favorire modificazioni funzionali e adattamenti cerebrali che rientrano nell'ambito della "plasticità cerebrale" come evidenziato con tecniche di imaging funzionale. Da recenti studi emerge che nei pazienti con esiti di stroke, quanto più precocemente s'interviene con la riabilitazione tanto maggiore sarà il recupero motorio e funzionale che si potrà ottenere. Inoltre un trattamento riabilitativo risulta tanto più efficace quanto più esso è ricco di stimoli multisensoriali, somministrati precocemente e prolungatamente nel tempo.

Tipicamente i soggetti emiplegici colpiti da ictus necessitano di un approccio fisioterapico individuale "hand-to-hand" che nella fase intensiva non dovrebbe essere inferiore a 3 ore al giorno. Nei pazienti con ictus è dunque indicato attivare fin dalla fase acuta un intervento riabilitativo con il programma diagnostico e terapeutico di emergenza. Scopo dell'intervento riabilitativo è quello, oltre che di prevenire le complicanze legate all'immobilizzazione durante la fase acuta, di stimolare il paziente all'apprendimento di nuove abilità motorio-funzionali sfruttando tutti i sistemi funzionali rimasti integri, al fine di ottenere la maggior indipendenza possibile nella vita quotidiana. A questo obiettivo concorrono sia strategie mirate a ridurre il deficit motorio e cognitivo, sia tecniche di addestramento a comportamenti compensatori, che garantiscono il perseguimento di un'indipendenza funzionale nonostante la persistenza delle menomazioni.

La perdita di abilità nell'uso dell'arto superiore rappresenta forse la principale causa di disabilità nei pazienti con lesione cerebrovascolare. Si stima che circa il 20% dei soggetti non recuperi nessun uso funzionale dell'arto superiore e che l'85% vada incontro ad un recupero parziale [?]. Questa condizione non necessariamente

te contrasta con l'acquisizione di un buon livello d'autonomia, ma sicuramente penalizza il recupero dell'attività professionale e il reinserimento sociale [?]. Il recupero funzionale dell'arto superiore rappresenta un obiettivo a breve e medio termine del progetto riabilitativo per cui è sempre indicato attivare precocemente uno specifico programma di riabilitazione per il recupero dell'arto superiore paretico/plegico. Per la riabilitazione si privilegiano tecniche riabilitative di stimolazione sensitivo-motoria, benché l'evidenza a supporto dei singoli approcci sia ancora scarsa. Maggiori vantaggi in pazienti selezionati sono stati riportati con l'utilizzo di approcci che comportano una mobilitazione intensiva (spesso ripetitiva) come ad esempio nelle tecniche che comportano un "uso forzato dell'arto lesa indotto da immobilizzazione dell'arto sano" (CIMT) [?].

La letteratura riporta che un intervento riabilitativo intensivo nei primi 3 mesi dopo l'evento acuto determini un outcome motorio e funzionale migliore e più stabile nel tempo. Nelle attuali realtà ospedaliere italiane un intervento riabilitativo intensivo (cioè per un tempo di 3 ore al dì) è difficilmente praticabile poiché gli elevati costi e l'organizzazione dei tempi costringono i fisioterapisti a mediare le esigenze delle strutture con quelle dei pazienti. Le croniche carenze di personale dei Centri di Riabilitazione rendono purtroppo solo parziali gli "approcci intensivi" con risultati che ricadono sul paziente (riducendo la quantità di riabilitazione somministrata, i recuperi motorio-funzionali sono minori) e sulla società (i pazienti presentano un grado di disabilità maggiore di cui deve farsi carico la società).

Nasce da queste considerazioni l'idea di costruire delle macchine robotizzate con l'obiettivo, per l'appunto, di supportare il lavoro del fisioterapista, di aumentare l'intensità delle terapie somministrate e, soprattutto, di ricercare un contenimento dei costi di trattamento. L'obiettivo finale è quello di ridurre il più possibile il grado di disabilità del paziente con lesione cerebrovascolare e, conseguentemente, permettere il più precocemente e il più completamente possibile il reinserimento socio-familiare.

Dall'inizio degli anni Novanta alcuni Centri di ricerca internazionali stanno sperimentando macchine robotizzate da impiegare in Neuroriabilitazione; i risultati ottenuti nei pazienti che hanno sperimentato questo approccio hanno dimo-

strato un aumento di forza muscolare dell'arto superiore paretico, una riduzione del deficit motorio e un miglioramento della funzionalità dell'arto. Il miglior outcome motorio e funzionale ottenuto è stato dimostrato sia a breve che a lungo termine. La stimolazione senso-motoria ottenuta dal training con questi apparecchi robotici permette al soggetto di ricevere impulsi selettivi e intensivi i quali, probabilmente, stimolando la corteccia cerebrale sia nelle zone limitrofe alla lesione, che in altre aree cerebrali deputate al movimento, determinano risultati motori e funzionali superiori alla sola tradizionale riabilitazione. Le conseguenti modificazioni dell'attività cerebrale (che vanno sotto il nome di plasticità cerebrale) indotte dal training robotico sarebbero la principale causa dei miglioramenti funzionali e motori ottenuti dal paziente.

In conclusione, sulla base dei risultati clinici ottenuti dalla sperimentazione, i medici affermano come quella della riabilitazione mediante apparecchi robotici rappresenti una nuova via nei programmi di Neuroriabilitazione [?].

Parte II

Progettazione e validazione
sperimentale di architettura di
controllo per tele-valutazione e
tele-riabilitazione della mano

Parte III

Progettazione e realizzazione di nuovo prototipo di ortesi motorizzata

Parte IV

Controllo multi-feedback con sensory substitution

