



La Mirror Therapy, una nuova opportunità in riabilitazione

*“Corso di Riccione”, 23° Corso di
Aggiornamento
21-24 maggio 2012*

Razionale e basi neurofisiologiche

*N. Cosentino, Presidio Riabilitativo Ospedaliero B.V.C.
Struttura Complessa di Rieducazione e Recupero
Funzionale
Fatebenefratelli, San Maurizio Canavese (TO)*





La Mirror Therapy, una nuova opportunità in riabilitazione

alcune premesse



- ✧ plasticità neuronale
- ✧ tecniche e metodiche per indagarla (TMS, fMRN, PET, EEG, MEG)
- ✧ neuroni specchio e possibili implicazioni in riabilitazione



Plasticità neuronale

Il Sistema Nervoso Centrale è:

✧ **COMPLESSO**

✧ **RIGIDO**

✧ **PLASTICO**





Plasticità neuronale

Il Sistema Nervoso Centrale

È COMPLESSO

- ✧ *numero e tipologia neuronale*
- ✧ *quantità di sinapsi*
- ✧ *intrinseca struttura tridimensionale (neuroni, loro prolungamenti e dendriti)*
- ✧ *interazioni con le cellule gliali*
- ✧ *diversa combinazione di tipo di neurone da cui proviene lo stimolo, tipo di sinapsi, neurotrasmettitore utilizzato*

È RIGIDO

- ✧ *immobilità cellulare*
- ✧ *stasticità dei rapporti intercellulari*
- ✧ *alta specializzazione*
- ✧ *incapacità di divisione dei neuroni nella vita adulta*
- ✧ *riparazione per apoptosi (morte cellulare)*



Plasticità neuronale

Il Sistema Nervoso Centrale

La plasticità è

- ✧ una proprietà intrinseca del cervello umano: ci consente l'adattamento alle pressioni ambientali, ai cambiamenti fisiologici e non, all'esperienza
- ✧ molto alta nelle prime fasi dello sviluppo del cervello, quando selezioniamo ed eliminiamo i circuiti neuronali, per poi riorganizzarli “dinamicamente” nelle fasi successive
- ✧ considerata la base anatomo-funzionale della riabilitazione neurologica: il S.N.C. rispondere in maniera attiva ad una lesione con meccanismi riparativi basati sulla rigenerazione e riorganizzazione di circuiti nervosi



Plasticità neuronale

Possiamo distinguere:

- ✧ Plasticità del “neurone”: fenomeni dinamici a carico delle cellule (cambiamenti di forma, posizione o numero)
- ✧ Plasticità della “sinapsi”: anatomicamente di modesta entità, interessa piccole porzioni della cellula, ma è molto importante dal punto di vista fisiologico
- ✧ Plasticità “estesa”: coinvolge circuiti, aree (omolaterali e non)
- ✧ Neurogenesi in età adulta??? Trapianti?



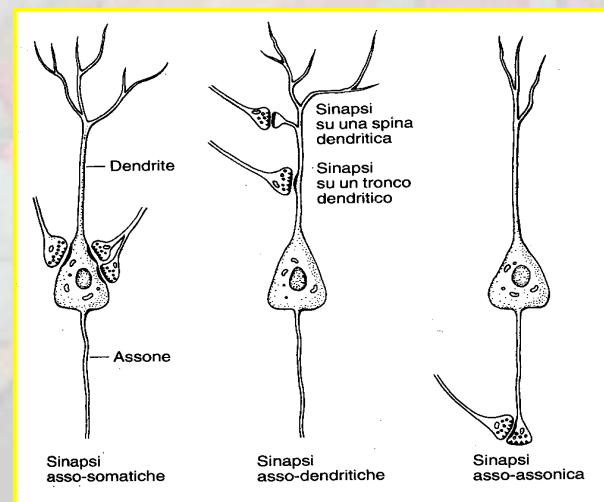
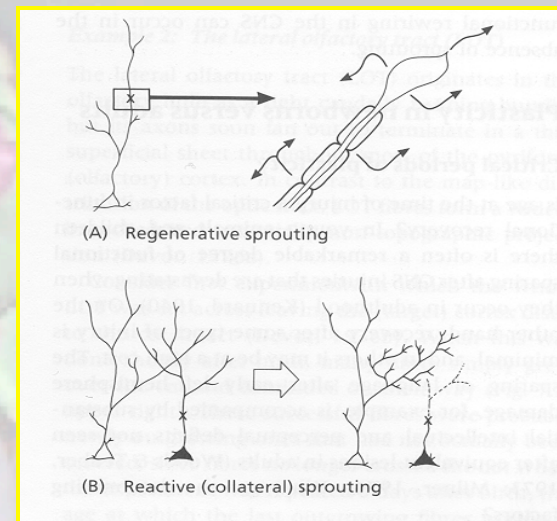
Plasticità neuronale

✧ **SPROUTING**: gli assoni, i dendriti ed i terminali sinaptici possono rigenerare con un meccanismo di estensione protoplasmica

(gli assoni possono raggiungere sinapsi vacanti dopo la morte dei neuroni limitrofi, il neurone può diventare responsivo ad altri assoni se gli assoni innervanti si inattivano e muoiono)

✧ **MODIFICAZIONI DELLA EFFICACIA SINAPTICA**: aumento del numero o della sensibilità dei recettori

(supersensività da denervazione: aumentata risposta ad un neurotrasmettitore dopo distruzione dell'assone afferente; supersensività da inattività : aumentata risposta ad un neurotrasmettitore per l'inattività dell'assone afferente)





Plasticità neuronale “estesa”

✧ **SMASCHERAMENTO COMPENSATORIO** di vie nervose o di contatti sinaptici, preesistenti, ma funzionalmente inattivi

(in seguito ad apprendimento, o a lesione, avviene un cambiamento implicito o esplicito nella strategia nell'esecuzione di un compito, che consente ad un processo cognitivo secondario, che normalmente ha un ruolo minore nell'esecuzione del compito, di assumere un ruolo primario)

✧ **SOSTITUZIONE:** utilizzazione di un circuito neurale, precedentemente impiegato per un altro compito funzionale (a causa della presenza di circuiti paralleli o **ridondanza**)

✧ **ESPANSIONE DELLA MAPPA FUNZIONALE** in seguito a lesione, una regione che si trova vicino ad un'area danneggiata estende la sua sfera funzionale/neuronale nella corteccia adiacente; anche l'apprendimento può indurre un ampliamento nell'estensione funzionale nelle aree corticali adiacenti



Plasticità neuronale “estesa”

- ❖ **RIORGANIZZAZIONE CROSS-MODALE** in seguito a deprivazione sensoriale, le aree sensoriali primarie e secondarie deputate allo stimolo percettivo di tale senso vengono a riorganizzarsi per rispondere ad altre modalità sensoriali
- ❖ **ADATTAMENTO DELLE REGIONI OMOLOGHE** in seguito a lesione, regioni funzionalmente omologhe dell'emisfero controlaterale possono vicariare le funzioni lese
- ❖ **DANNO NEURONALE E RIPARAZIONE** tali processi rigenerativi, tuttavia, trovano ostacolo in altri fenomeni che tendono ad impedire la loro crescita e costituiscono i principali ostacoli alla rigenerazione degli assoni e, pertanto, impediscono la ricostruzione dei circuiti interrotti. (es. la cicatrice gliale)



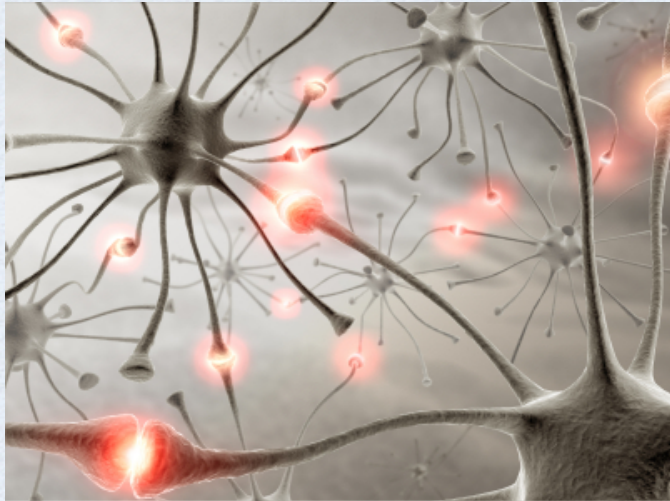
Plasticità neuronale

La neurogenesi ed i trapianti

- ✧ Studi sperimentali sugli animali e funzionali sull'uomo, hanno evidenziato che esiste una neurogenesi anche in età adulta: *Nuovi neuroni generati da cellule staminali endogene vengono continuamente aggiunte in regioni circoscritte del cervello (strato subependimale di ventricoli laterali, neuroni olfattivi mucosa nasale) di mammiferi adulti; questo può avere implicazioni in processi che richiedono plasticità come la memoria o per sostituire neuroni perduti*
- ✧ Un'ultima conquista nel campo del recupero funzionale, dopo lesione del sistema nervoso centrale, è quella dei trapianti che consente di sostituire le cellule degenerate e che ha trovato nel morbo di Parkinson la prima applicazione terapeutica con risultati positivi. (Freed et al. "Transplantation of human embryonic dopamine neurons into the brains of patients with Parkinson's disease" N. Engl J 2001)

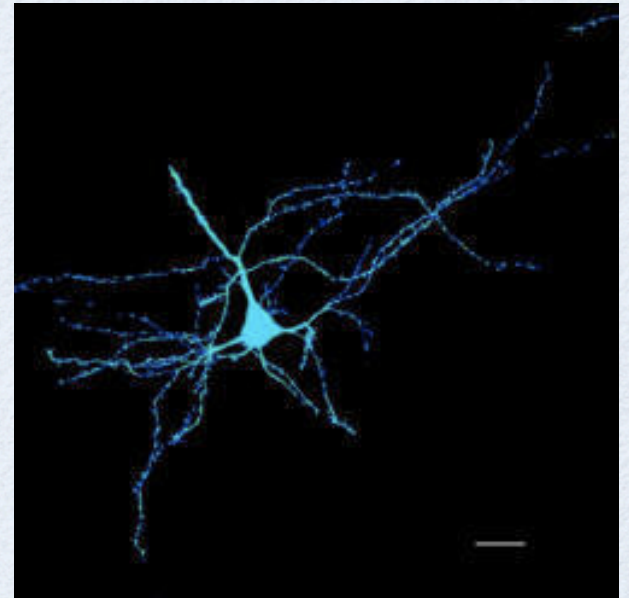


Studi sulla plasticità neuronale



✧ come....

✧ quali i campi di interesse....





Studi sulla plasticità neuronale

Tecniche invasive, utilizzate negli animali

✧ Livello sinaptico

variazione di ampiezza degli EPSP (potenziali eccitatori post-sinaptici)

✧ Livello cellulare

variazione di risposta dei singoli neuroni

✧ Livello regionale

variazione di risposta di popolazioni neuronali



Studi sulla Plasticità nell'uomo

Tecniche non invasive, utilizzate nell'uomo

Neuroimaging:

- PET
- fMRI

permettono di visualizzare in tre dimensioni, con notevole definizione spaziale, le variazioni di flusso sanguigno determinate nelle diverse regioni del cervello dall'esecuzione e dall'osservazione di specifici atti motori e di misurarne il grado di attivazione

Neurofisiologia:

- EEG
- MEG
- TMS

consentono di rilevare specifiche attivazioni del sistema motorio



Studi sulla Plasticità nell'uomo

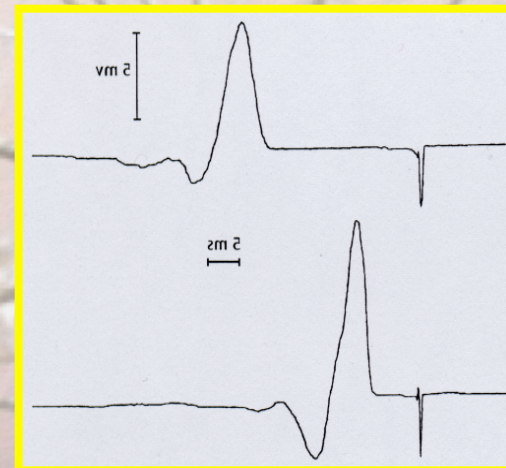
STIMOLAZIONE MAGNETICA TRANSCRANICA



✧ Dalla metà degli anni '80 la Stimolazione Magnetica Transcranica viene utilizzata in clinica neurologica come strumento diagnostico per patologie che comportano un'alterazione della funzionalità di diverse strutture nervose.

A. Barker 1985

✧ In particolar modo consente di stabilire se esistano delle lesioni di diversa natura (infiammatoria, ischemica, compressiva, tumorale) lungo la via motoria





Studi sulla Plasticità nell'uomo

TMS (Transcranial Magnetic Stimulation)

- ✧ applicazione di uno stimolo magnetico alla corteccia motoria, con intensità appropriata
- ✧ registrazione dei potenziali motori (MEP, motor evoked potentials) nei muscoli controlaterali
- ✧ studio dello stato di eccitabilità del sistema motorio in varie condizioni sperimentali e patologiche

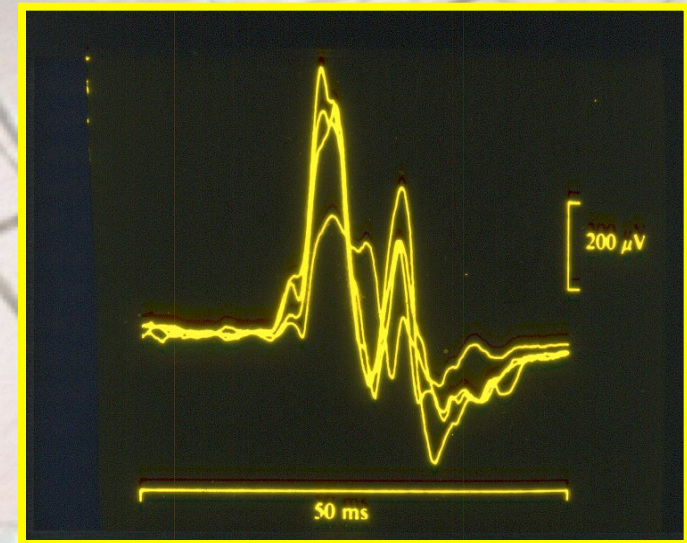




Studi sulla Plasticità nell'uomo

Conduzione Cortico-Motoneuronale

- ✧ Presenza/Assenza dei MEPs
- ✧ Latenza dei MEPs (ms)
- ✧ Tempo di Conduzione Motoria Centrale (ms)



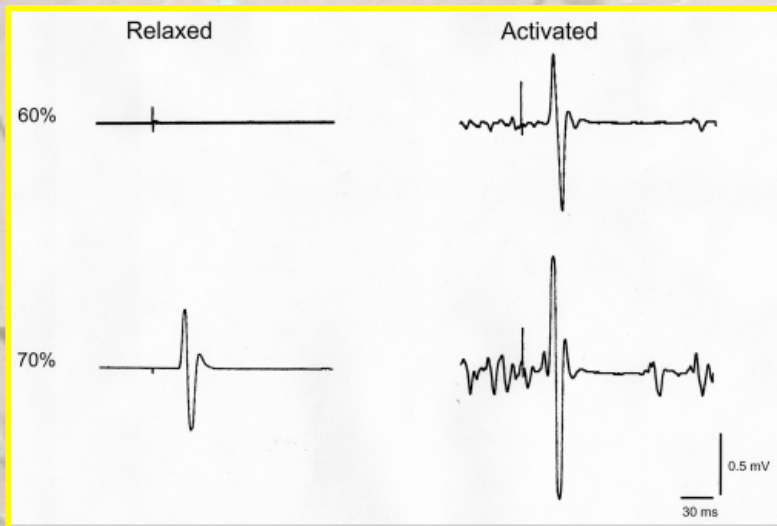
- rallentamento della conduzione
- dispersione temporale degli impulsi



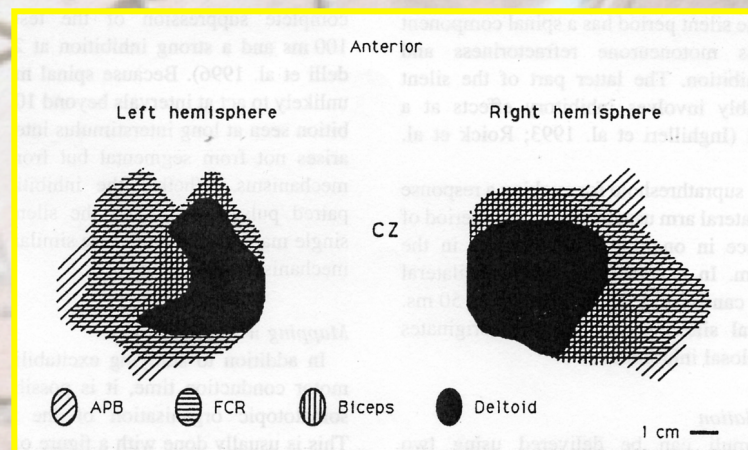
Studi sulla Plasticità nell'uomo

Eccitabilità Cortico-Motoneuronale

Soglia ed ampiezza dei MEP



Mappe corticali



Misura della % di motoneuroni
spinali attivata dalla TMS

Misura del numero e della
rappresentazione topografica
dei punti eccitabili sulla
corteccia



Studi sulla plasticità neuronale

La riorganizzazione plastica non coinvolge solamente singoli neuroni, bensì intere regioni cerebrali.

- ✧ Uno degli aspetti più studiati della plasticità del sistema nervoso centrale riguarda le mappe sensoriali, cioè quelle aree della corteccia cerebrale dove esiste un'organizzazione topografica della superficie del corpo e delle varie modalità sensoriali che la coinvolgono.
- ✧ Una delle più studiate mappe sensoriali è quella esistente a livello dell'area somatosensoriale primaria (S-I), nella quale le diverse parti del corpo sono rappresentate in maniera ordinata. Questa topografia della superficie corporea non è statica, nel senso che può andare incontro a modificazioni e rimodellamenti in circostanze particolari.



Studi sulla plasticità neuronale

- ✧ E' stata studiata la riorganizzazione della mappa sensoriale in **S-I** nella scimmia in seguito a lesioni di diverse parti del corpo.
- ✧ L'amputazione di un dito produce un rimodellamento neuronale a livello di S-I, tale rimodellamento consiste nella scomparsa della rappresentazione del dito amputato in S-I e nell'espansione delle rappresentazioni delle dita adiacenti; in tal modo, un'area di corteccia cerebrale di S-I che prima conteneva le informazioni provenienti dal dito amputato, ora contiene informazioni provenienti dalle dita adiacenti.

Merzenich et al. "Somatosensory cortical map changes following digit amputation in adult monkeys" Journal of Comparative Neurology April 1984



Plasticità neuronale

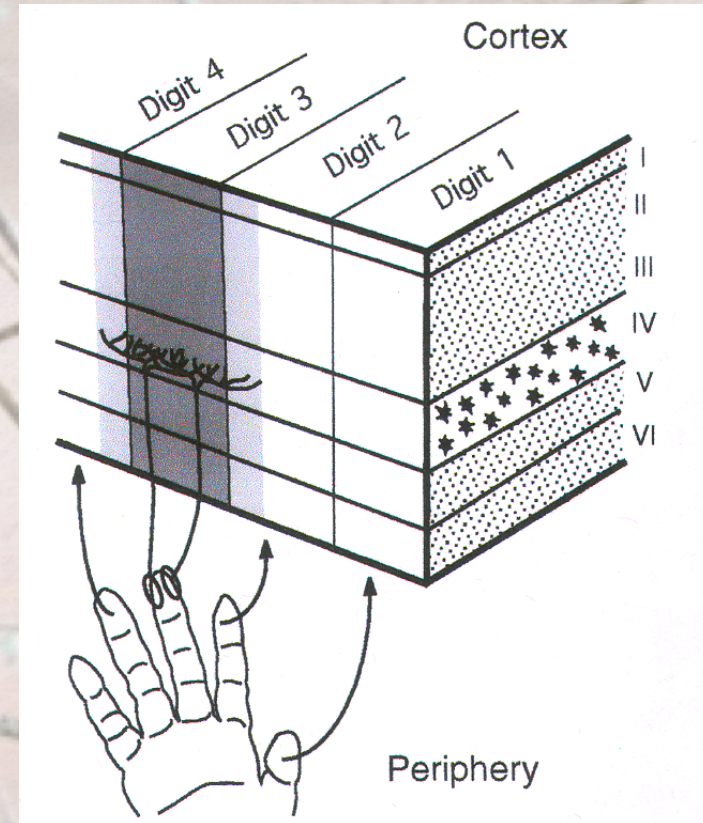
Emergerebbero almeno due
distinte fasi della "riorganizzazione":

- ✧ la prima, rapida e limitata nell'estensione, imputabile a variazioni degli impulsi eccitatori ed inibitori
- ✧ la seconda, che richiede giorni e settimane, imputabile ad una riorganizzazione topografica della corteccia



Plasticità neuronale: la riorganizzazione "rapida"

- ✧ In condizioni normali, l'area corticale non riceve tutti gli impulsi (vi è una bilancia "dinamica" tra impulsi eccitatori ed inibitori)
- ✧ Gli impulsi eccitatori raggiungono i neuroni "target" della corteccia primaria somatosensoriale (zona più scura); ma alcuni impulsi raggiungono anche una zona adiacente (zona grigia), ove sono rappresentate le zone corporee vicine
- ✧ Dopo un insulto (denervazione temporanea) ad dito vicino, la rappresentazione corticale di "D3" si espande immediatamente nelle rappresentazioni adiacenti; si è ridotta l'attività inibitoria intracorticale e si è "espansa" quella eccitatoria
- ✧ Il livello attentivo dell'animale si correla positivamente al livello di alterazione corticale



(Calfort, et al, "Acute changes in cutaneous receptive fields in primary somatosensory cortex", Neurophysiol. 65,178-187, 2006)



Plasticità neuronale: la riorganizzazione “lenta”

- ✧ A distanza di giorni e settimane da una privazione sensoriale, si verifica una più estesa riorganizzazione della mappa corticale
- ✧ Il substrato di questa riorganizzazione si deve ad un rimodellamento sinaptico, come spiegherebbe il postulato formulato dal neuro-psicologo Hebb nel 1949:

Quando l'assone di una cella A è abbastanza vicino per eccitare una cella B ed è in grado ripetitivamente e persistentemente di provocare un potenziale d'azione, alcuni cambiamenti metabolici, o processi di crescita, prendono parte in una od entrambe le cellule in modo di aumentare l'efficienza di A nell'eccitare B

*Stent, A physiological mechanism for Hebb's
postulate of learning, 1973*

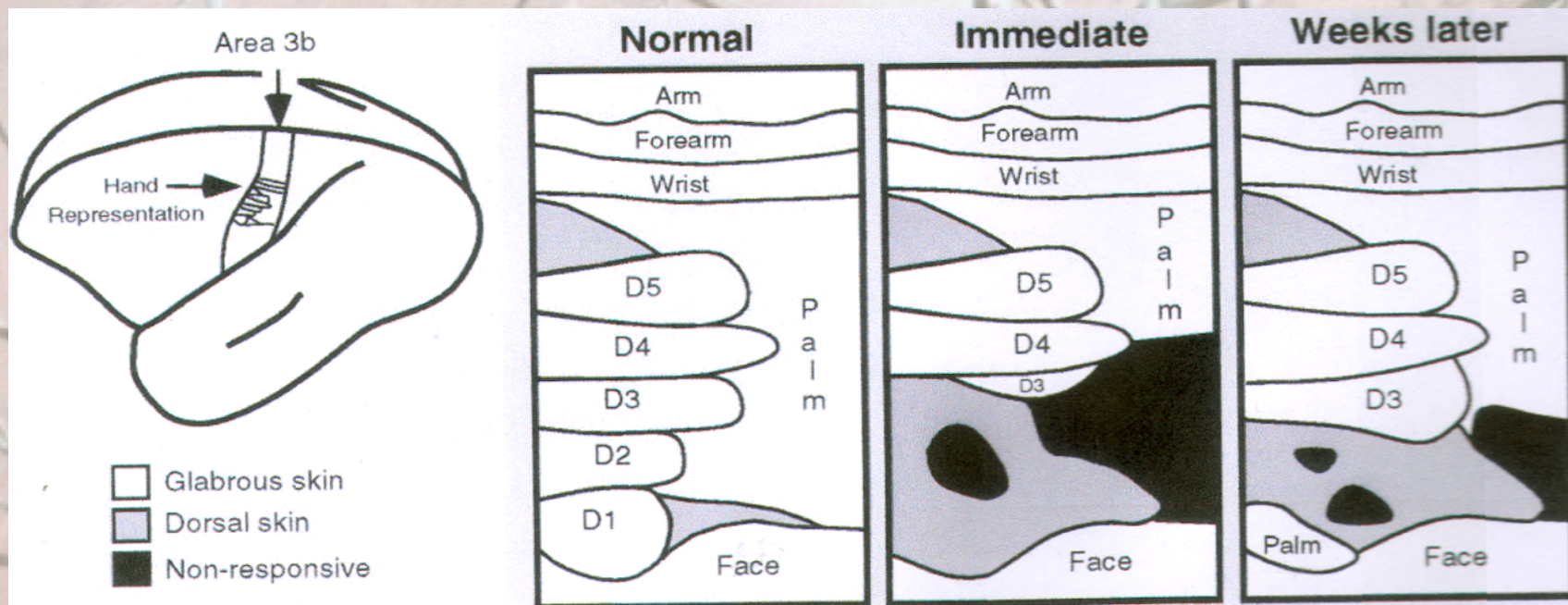
E' possibile riformulare il postulato in due regole principali:

- 1) Se due neuroni che si trovano nelle parti opposte di una sinapsi sono attivi contemporaneamente allora la sinapsi è rinforzata.
- 2) Se due neuroni che si trovano nelle parti opposte di una sinapsi sono attivi asincronamente allora la sinapsi è indebolita o eliminata.



Plasticità neuronale: la riorganizzazione “lenta”

Merzenich et al, descrissero le prime evidenze della riorganizzazione della corteccia dei primati, studiando gli effetti della sezione del nervo mediano alla mano



Massive cortical reorganization of somatosensory cortical areas following restricted deafferentation. "Neuroscience 8: 33-55, 1983.)



Plasticità neuronale: la riorganizzazione “lenta”

- ✧ Kano et al., a circa 2 settimane dalla deafferentazione sensitiva di un arto, valutarono che la rappresentazione corticale del “tronco” si espande e migra in quella dell’arto; il blocco selettivo dei recettori NMDA con infusione continua di APV (2-amino-5-fosfonovalerate) in corteccia, impedisce tale cambiamento; se ne dedurrebbe che il processo di riorganizzazione delle mappe dipende da un’attività mediata dai recettori NMDA, recettore postsinaptico dell’acido glutammico (Kano et al. “Functional reorganization of adult cat somatocortex is dependent on NMDA receptors”; *Neuroreport*, 2,77-80)
- ✧ Garraghty et al., hanno deprivato una circoscritta area della corteccia somatosensoriale di una scimmia adulta, sezionando il nervo mediano alla mano ed hanno valutato anch’essi le conseguenze del blocco dei recettori NMDA; in una scimmia hanno confermato che la corteccia “deprivata” riprendeva la responsività e si “espandeva” a 4 settimane dalla sezione del mediano; in altre 3 scimmie, in cui i recettori NMDA furono bloccati, la corteccia deprivata rimaneva non responsiva (Garraghty et al. “NMDA receptors and plasticity in adult primate somatosensory cortex”. *J. Comp.Neurol.* 367,319-326.



Plasticità neuronale: riorganizzazione “sottocorticale”

Vi sono evidenze, che la “riorganizzazione” corticale rifletta modificazioni che avvengono anche a livello sottocorticale:





Plasticità neuronale: riorganizzazione “sottocorticale”

- ✧ **midollo spinale:** le cellule delle corna dorsali rispondono alla deprivazione sensoriale con meccanismi simili a quelli della corteccia (Wilson et al. *“Reorganization of the receptive fields of spinocervical tract neurons following denervation of a single digit in the cat.” J Neurophysiol*. 1987)
- ✧ **tronco cerebrale:** i nuclei gracile subirebbero anch’essi un rimaneggiamento, ma i dati sono controversi; le variazioni avverrebbero solo per una sezione completa della radice dorsale, ma non per quella di un nervo (McMahon et al. *“Plasticity in the nucleus gracilis of the rat.” Exp. Neurol.* 1983)
- ✧ **talamo:** le evidenze di “rimaneggiamento” topografico sono maggiori, anche per denervazione periferica (Rasmusson et al. *“Changes in the organization of the ventroposterior lateral thalamic nucleus after digit removal in adult raccoon.” Comp. Neurol.* 1996)



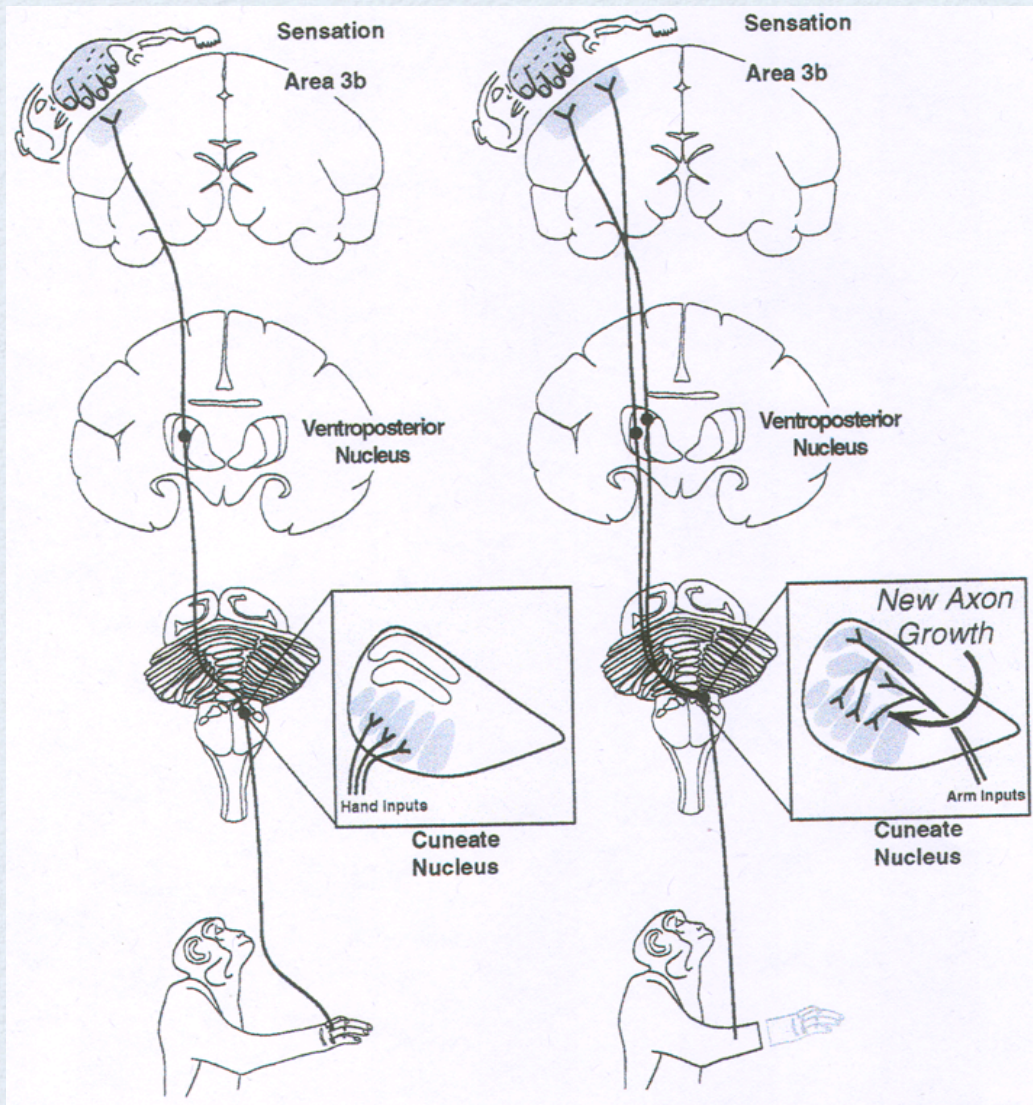
Plasticità neuronale: anche il cervello adulto può ricrescere

1991: cade un 'assioma

- ✧ Pons e coll., mappando con un microelettrodo la corteccia somatosensoriale di scimmie adulte a cui, mediante rizotomia, era stata causata una totale e permanente perdita di sensibilità ad un arto, scoprirono che una vasta zona di corteccia, ove era normalmente rappresentata la sensibilità di quell'arto, veniva riattivata dagli stimoli provenienti dal viso: l'"espansione" era così vasta, da non poter essere giustificata solo da connessioni preesistenti o da rimaneggiamenti sinaptici (Pons et al. "Massive cortical reorganization after sensory deafferentation in adult macaques". Science 1991)
- ✧ Nelle scimmie amputate ad una mano, anche ad anni di distanza dal trauma, è stata evidenziata una riorganizzazione della corteccia somatosensoriale e del nucleo cuneato del tronco (Florence et al. "Large-scale reorganization at multiple levels of the somatosensory pathway follows therapeutic amputation of the hand in monkeys". J. Neurosci. 1995)



Plasticità neuronale: anche il cervello adulto può “ricrescere”



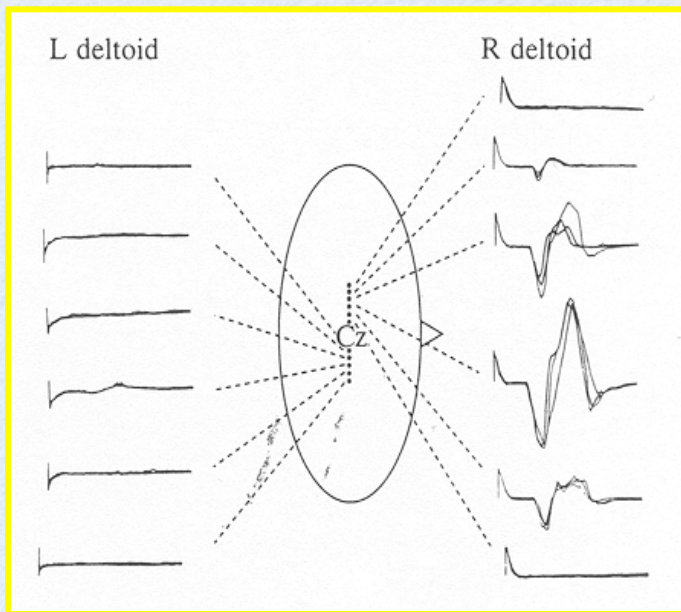
- ✧ l'area che rappresenta la mano amputata, acquista responsività per gli stimoli dalla porzione residua dell'arto amputato
- ✧ la porzione di corteccia somatosensoriale per il viso, che è a lato di quella della rappresentazione della mano, si espande
- ✧ gli assoni terminali delle fibre nervose che conducono gli stimoli provenienti dall'arto amputato, non sono confinati ad una piccola porzione marginale del nucleo caudato, ma si “diramano” fino a 1-2 mm all'interno della regione ove normalmente è rappresentata la mano: i neuroni che inizialmente rispondevano alla mano, risponderanno agli stimoli provenienti dal moncone



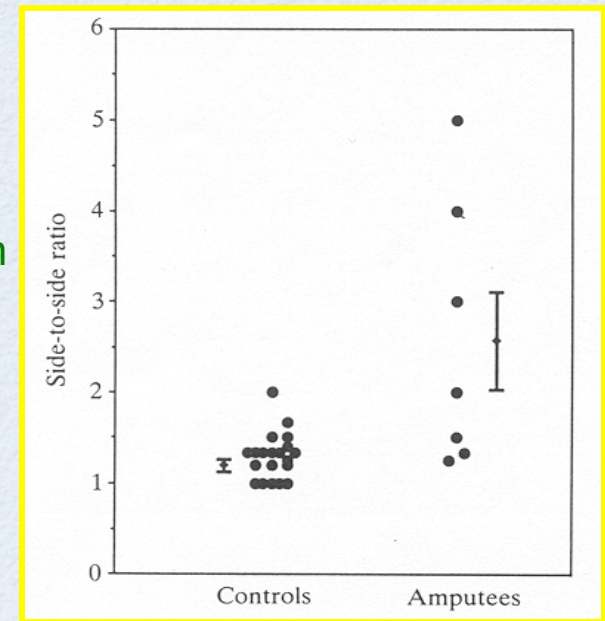
Plasticità neuronale: anche il cervello adulto può “ricrescere”

- ✧ Si viene a creare un “pattern di attivazione anomalo” tra il nucleo cuneato del tronco ed il nucleo ventro-posteriore del talamo : quella porzione di corteccia somatosensoriale che in condizioni normali è attivata dagli stimoli sulla mano, viene, invece, attivata da stimoli provenienti dal moncone, quando questo è toccato o anche solo sfiorato.
- ✧ Lo stimolo tattile sul moncone viene percepito ed elaborato come proveniente dalla mano e può essere la causa del dolore “fantasma”

Kaas, Florence et al. “Brain reorganization and experience”, Peabody J.



Cohen et al. “Motor reorganization after upper limb amputation in man. A study with focal magnetic stimulation.” Brain, 1991

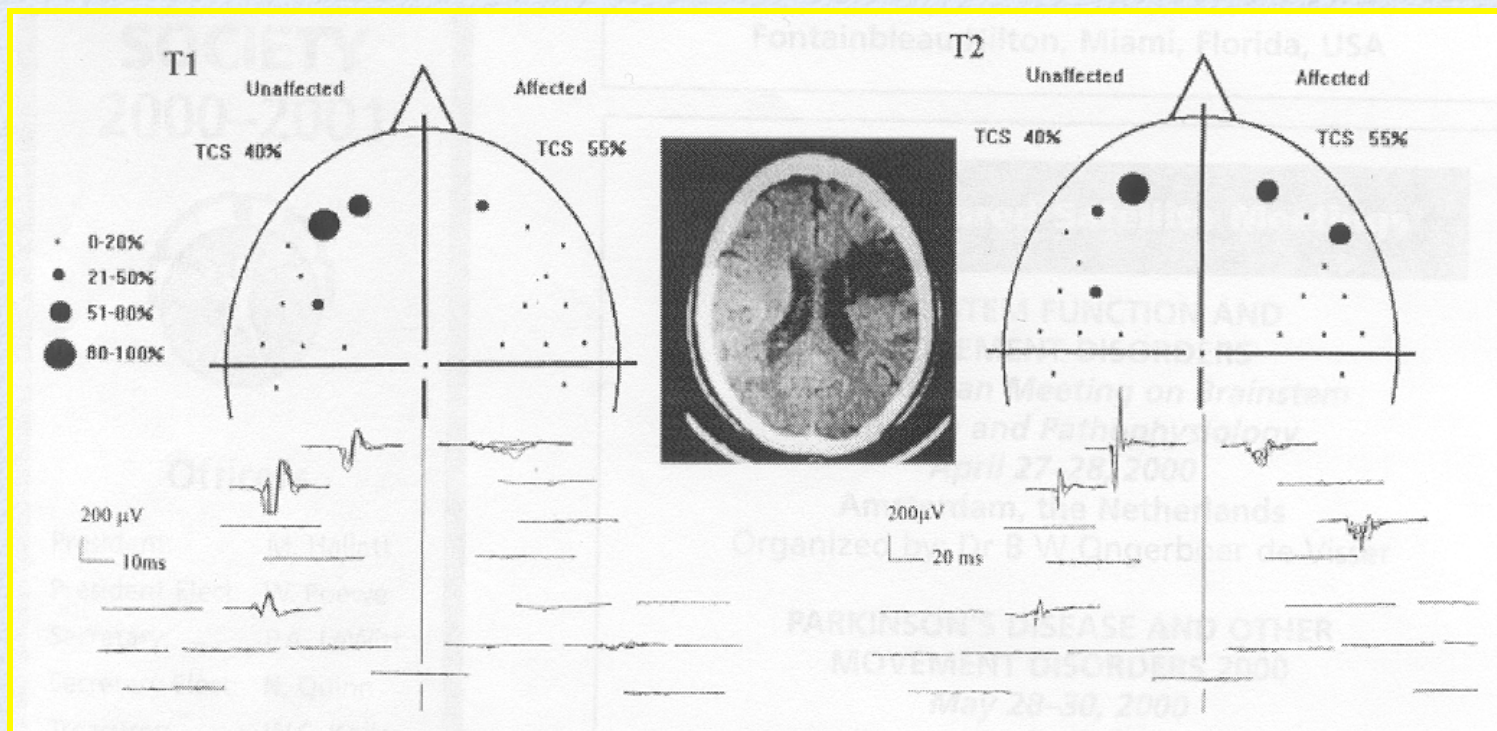


Nei pazienti con amputazione del braccio (al gomito) la rappresentazione motoria dei muscoli prossimali all'amputazione è ampliata



Plasticita' e "ictus" cerebrale

I MEPs possono essere assenti nella fase acuta dell' ictus e ricomparire durante il recupero motorio



Traversa et. al. "Mapping of motor cortical reorganization after stroke", Stroke, 1997



Plasticita' e "ictus" cerebrale

E' discusso se le proiezioni ipsilaterali possano svolgere un ruolo nel recupero dopo "ictus"

Caramia et al. hanno evidenziato:

- ✧ L'attivazione della corteccia motoria ipsilaterale in soggetti affetti da esiti motori di ictus ischemico, i MEPs "ipsilaterali" erano differenti da quelli evocati per stimolazione controlaterale per latenza (più brevi) ed ampiezza (minori).
- ✧ I MEPS ipsilaterali non erano presenti nei soggetti sani di controllo; la presenza di MEPS "ottimali" (soglia di eccitabilità più bassa e maggiore ampiezza) correlavano positivamente con il recupero funzionale della mano.

Caramia et al. "Cerebral plasticity after stroke as revealed by ipsilateral responses to magnetic stimulation" 1996



Plasticita' e "ictus" cerebrale

Turton et al. hanno esaminato 21 soggetti a 5 settimane dall'ictus, e poi regolarmente nel corso dei 12 mesi successivi:

- ✧ i soggetti con buon recupero funzionale della mano avevano una buona risposta elettromiografica alla stimolazione transcranica dei muscoli dell'arto superiore
- ✧ in 9 soggetti, le "buone" risposte ipsilaterali erano elicitate sia stimolando l'emisfero affetto che quello sano; tali risposte non comparivano nei soggetti sani di controllo ed erano più "marcate" in quelli con basso recupero.

Turton et al."Contralateral and ipsilateral EMG responses to transcranial magnetic stimulation during recovery of arm and hand function after stroke." *Eletroencephalogr Clin* 1996

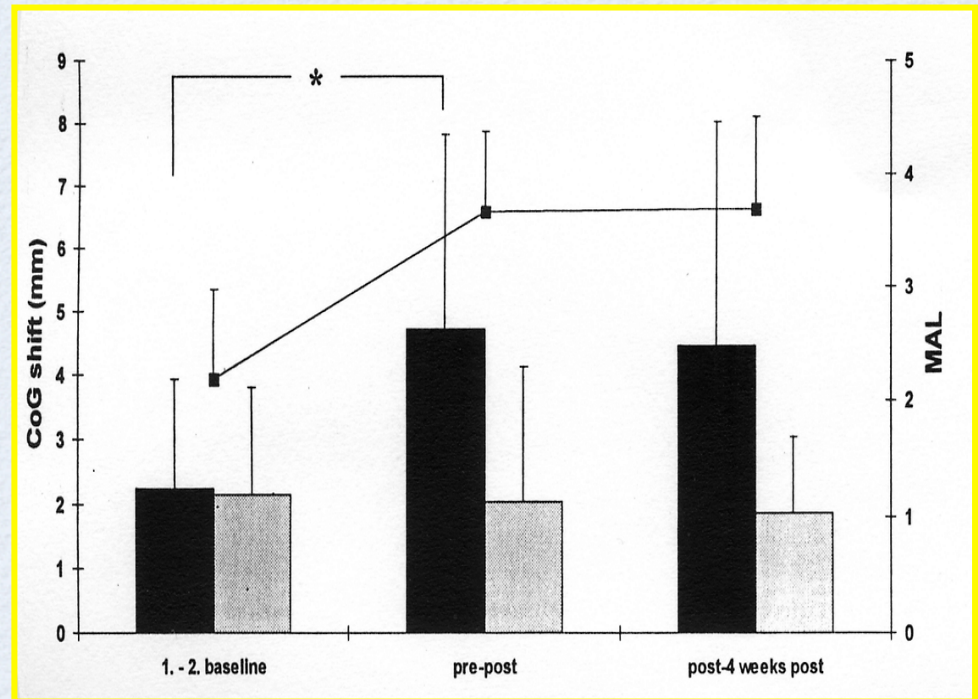


Plasticita' e "ictus" cerebrale

La 'constraint-induced therapy' (x 2 settimane)
determina un aumento dell'ampiezza dei MEP con
variazione topografica del centro della mappa

⇒ reclutamento di
aree motorie adiacenti

Liepert et al. "Treatment-
induced cortical reorganization after stroke in
humans." stroke 2000 & 2001



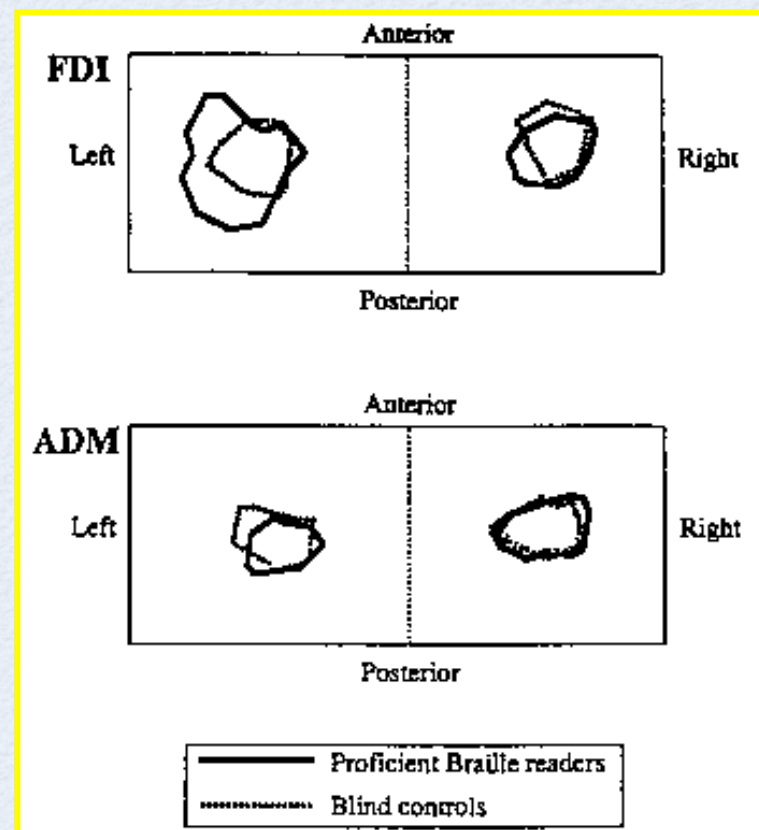


Plasticità neuronale ed esercizio

Modificazioni plastiche corticali possono essere indotte dal comportamento

In pazienti non-vedenti che utilizzano la lettura Braille, la rappresentazione corticale del muscolo FDI, è aumentata rispetto alla mano non utilizzata o ai controlli normali

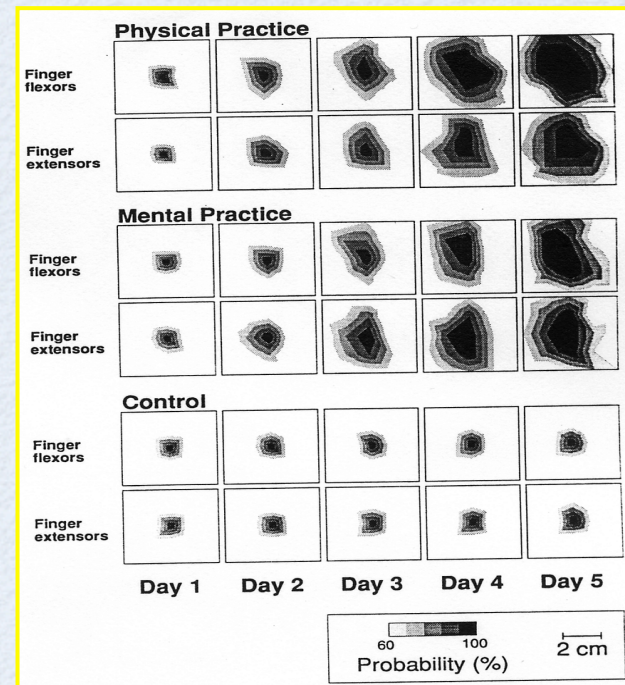
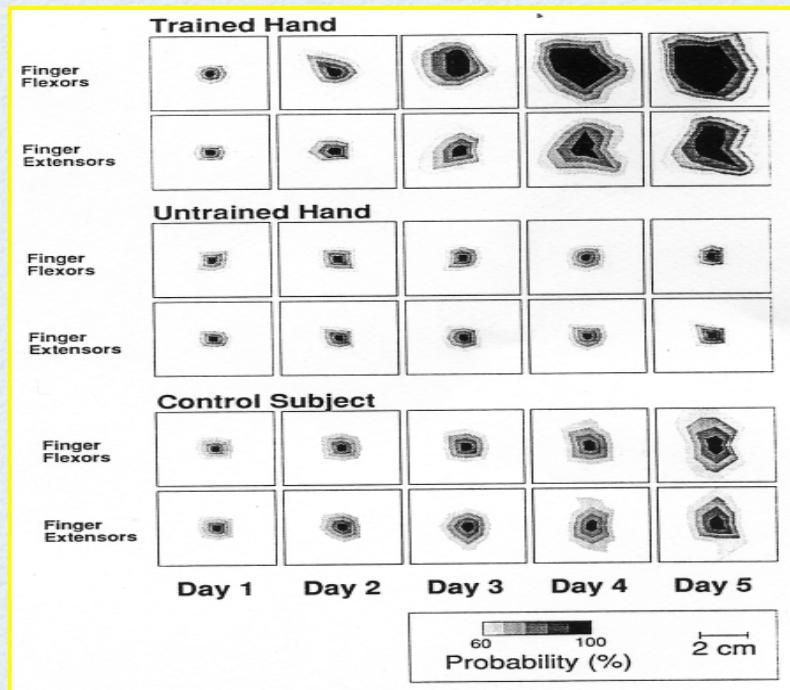
Pascual-Leone et al. "Plasticity of the sensorimotor cortex representation of the reading finger in Braille readers". Brain, 1993





Plasticità neuronale ed esercizio

L'ampiezza della rappresentazione corticale dei muscoli della mano aumenta dopo un apprendimento di 5 giorni una nuova abilità motoria (esercizio al pianoforte per 2 ore al giorno)



L' ampiezza
aumenta
anche se si
esercita la
sola “mental
practice”,
senza
toccare i
tasti

Pascual-Leone et al.”Modulation of muscle responses evoked by transcranial magnetic stimulation during the acquisition of new fine motor skills”.J. Neurophysiol.1995



Plasticità neuronale ed esercizio

- ✧ Singole sedute di fisioterapia attiva determinano un incremento della rappresentazione dei MEP con parallelo recupero della destrezza (per 24 ore)

Liepert et al. "Training-induced changes of motor cortex representations in stroke patients". Acta Neurol Scand" 2000

- ✧ Movimenti sincroni di mano e piede inducono una modulazione dell'output motorio; è verosimile vi sia un'interazione tra le aree della corteccia motoria che rappresentano la mano ed il piede

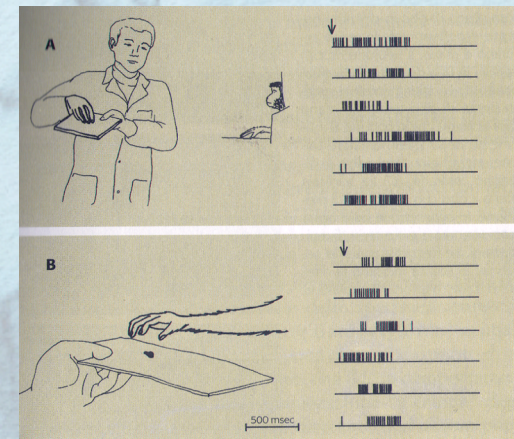
Liepert et al. "Motor plasticity induced by synchronized thumb and foot movements". Exp. Brain Res. 1999



Neuroni specchio

- ✧ Rizzolatti ed i suoi collaboratori hanno scoperto che i neuroni dell'area F5 (porzione posteriore della corteccia frontale agranulare, nella scimmia) si attivano non per singoli movimenti, bensì, quando la scimmia compie un atto motorio, indipendentemente che si a compiuto con la mano destra o sinistra o addirittura con la bocca
- ✧ lo stesso tipo di movimento (es. flessione del dito indice) attiva il neurone durante un atto motorio (afferrare) ma non lo attiva durante un altro (grattare)
- ✧ il neurone specchio si attiva sia quando la scimmia compie l'azione, sia quando la vede eseguire dall'esperimentatore

G.Rizzolatti, Università di Parma "Il cervello che agisce", in "So quel che fai"





Neuroni specchio

Gli studi di elettrofisiologia e di brain imaging hanno poi confermato l'ipotesi che nell'uomo siano presenti “meccanismi di risonanza” analoghi a quelli della scimmia, ma ci sono alcune rilevanti differenze

nell'uomo il **sistema neuroni specchio** :

- ✧ è più esteso
- ✧ codifica atti motori transitivi ed intransitivi
- ✧ si attiva anche quando l'azione è semplicemente mimata
- ✧ ha un ruolo importante per lo sviluppo del linguaggio, nella comprensione delle emozioni e nel comportamento sociale

attenzione: le tecniche impiegate sono diverse...nella scimmia si registra l'attività di singoli neuroni, nell'uomo si registra l'attivazione di aree corticali sulla base delle variazioni del flusso sanguigno

G.Rizzolatti, Università di Parma "Il cervello che agisce", in "So quel che fai"



Neuroni specchio

I neuroni specchio sono stati trovati nel lobo frontale (corteccia pre-motoria e nel lobo parietale (corteccia somatosensoriale primaria), aree considerate motorie e prive di funzioni cognitive

La corteccia pre-motoria:

- ✧ è responsabile delle sequenze complesse
- ✧ seleziona i movimenti
- ✧ i suoi neuroni specchio si attiverebbero nella MT all'osservazione ed imitazione dei movimenti

La corteccia somatosensoriale:

- ✧ i suoi neuroni specchio si attiverebbero nella MT all'osservazione del “contatto”

I neuroni specchio sono stati individuati anche nel giro frontale inferiore, corrispondente all'area 44 di Brodman, cioè la parte posteriore dell'area di Broca, considerata analoga all'area F5 della scimmia

(Di Pellegrino et al 1992, Rizzolatti, et al 1996, Keysers et al 2004, Buccino et al 2001)



Neuroni specchio

- ✧ L'attivazione dei neuroni specchio può essere considerata condizione di **facilitazione del movimento osservato** attraverso l'interiorizzazione delle sequenze motorie necessarie per un certo movimento che sarà eseguito in futuro
- ✧ Lo stretto legame tra le risposte visive e quelle motorie compiute da altri, evoca nel cervello dell'osservatore, un atto motorio potenziale, analogo a quello spontaneamente attivato durante l'organizzazione e l'effettiva esecuzione di quell'azione
- ✧ La differenza è che in un caso esso resta allo stadio di atto potenziale, ovvero **“rappresentazione motoria interna”**, mentre nell'altro, si traduce in una **“concreta serie di movimenti”**

G.Rizzolatti, Università di Parma "Il cervello che agisce", in "So quel che fai"



Neuroni specchio

- ✧ gli studi funzionali degli ultimi decenni hanno, quindi, evidenziato che il sistema motorio possiede una molteplicità di strutture e funzioni tali da non poter essere considerato il semplice esecutore passivo di comandi generati altrove
- ✧ sono una scoperta importante perché sottolineano l'**aspetto motorio** della nostra cognizione
- ✧ rispetto al modello classico delle scienze cognitive, che si basano sugli aspetti percettivi, i neuroni specchio ci insegnano che **alla base dell'apprendimento c'è l'azione**
- ✧ l'ipotesi più plausibile sulla funzione dei neuroni specchio è che essi contribuiscano a creare una “idea di movimento, ovvero una **rappresentazione interna dell'azione** svincolata dalla possibile esecuzione

G.Rizzolatti, Università di Parma "Il cervello che agisce", in "So quel che fai"



Neuroni specchio

In sintesi, nell'uomo, i neuroni specchio:

- ✧ codificano atti motori transitivi ed intransitivi
- ✧ selezionano il tipo di atto motorio
- ✧ selezionano la sequenza dei movimenti che compongono l'atto motorio
- ✧ si attivano "bilateralmente" per azioni compiute sia con la mano destra che con quella sinistra
- ✧ si attivano anche con il suono che appartiene ad uno specifico atto motorio
- ✧ hanno come ruolo primario la "comprensione del significato delle azioni altrui"



Neuroni specchio: implicazioni in riabilitazione

- ✧ la riabilitazione classicamente si focalizza sulle compensazioni, ovvero su tecniche per riuscire ad utilizzare altri gesti motori per compensare appunto l'atto motorio che non si è più in grado di eseguire.
- ✧ l'approccio riabilitativo con l'osservazione e l'imitazione motoria si basa, invece, sulla riorganizzazione dei circuiti neuronali, promuovendo la plasticità neuronale mediante l'utilizzo di più afferenze sensoriali (visive, uditive e propriocettive) ed attivando connessioni anche in assenza di movimento
- ✧ l'osservazione di movimenti eseguiti allo specchio provoca un'eccitabilità corticospinale simile a quella dell'esecuzione vera del movimento; se viene, ad esempio, utilizzato l'arto sinistro, l'illusione provoca la sensazione che si sia utilizzato l'arto destro, con l'attivazione del emisfero sinistro e viceversa



Neuroni specchio: implicazioni in riabilitazione

- ✧ l'attività neuronale associata all'osservazione e all'immaginazione motoria, attiva, oltre al sistema Mirror, aree cerebrali coinvolte nei processi visuospaziali e cinestesici (corteccie temporali, parietali ed occipitali, nuclei della base e cervelletto, contro ed omolaterali)
- ✧ questo “circuito“ implica diverse modalità e gerarchie di attivazione, in relazione al coinvolgimento di informazioni visive, acustiche, propriocettive ed emozionali
- ✧ variando le strategie motorie (“motor instruction tasks”: complessità, bimanualità) ed i processi cognitivi richiesti (comprensione, immaginazione, simulazione mentale), varieranno la reti neuronali coinvolte
- ✧ possono essere coinvolti circuiti, motori e non, potenzialmente integri in soggetti affetti da defici motorio completo



Neuroni specchio: implicazioni in riabilitazione

Il sistema motorio può, quindi, essere attivato “senza movimento”:

- ✧ **l'azione osservata**: utilizzo di azione osservata in soggetti che presentano deficit motori (Buccino, 2006)
- ✧ **l'immagine motoria** (virtualy imagery) : rappresentazione mentale di atti motori in assenza di attivazione muscolare (Jeannerod, 1995)
- ✧ **l'osservazione con l'intenzione di imitare** (OTI): vi è una differente attività neuronale quando, oltre all'osservazione passiva, si associa l'istruzione di “pensare di imitare” (Pomeroy, 2005); vi si associa la “sensazione chinestesica del movimento” (kinesthetic imagery)



Neuroni specchio: implicazioni in riabilitazione

- ✧ Il tempo impiegato ad immaginare un movimento è strettamente correlato al tempo necessario ad eseguirlo fisicamente, suggerendo che i movimenti reali e quelli immaginati sono funzionalmente simili (Decety, Jeannerod et al, "The timing of mentally represented actions". Behav Brain Res 1989)
- ✧ diversi studi hanno messo in luce il ruolo svolto dall'immaginazione motoria, nel processo di "ri-apprendimento" dei movimenti dell'arto superiore in soggetti che hanno subito un danno cerebrovascolare (Braun ,Beursken et al "Effects of Mental Practice in Stroke Rehabilitation: A Systematic Review"; Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, June 2006)
- ✧ studi di brain imaging funzionale hanno evidenziato che l'esecuzione e l'immaginazione di azioni, attivano medesime regioni della corteccia motoria, dei gangli della base e del cervelletto (Jackson, Lafleur et al." Role of mental practice using motor imagery in neurologic rehabilitation", Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, August 2011)



Neuroni specchio: implicazioni per la neuroriabilitazione

Conclusioni

- ✧ l' "imitazione motoria" proposta ai pazienti per il recupero della loro performance motoria, è sicuramente una funzione cognitiva complessa, che passa attraverso specifici stadi, come l'osservazione, l'immagine e infine l'esecuzione motoria
- ✧ stante la difficoltà di raccogliere chiare evidenze scientifiche per le proposte riabilitative, tradizionali e non, la comprensione dei meccanismi della plasticità neuronale e della neuro-anatomo-fisiologia ci può suggerire la scelta di più specifici interventi terapeutici per

la progettazione di razionali strategie riabilitative



La Mirror Therapy, una nuova opportunità in riabilitazione

*“Corso di Riccione”, 23° Corso di
Aggiornamento
21-24 maggio 2012*



Grazie per l'attenzione !