

## Riflesso non è stereotipia: i servomeccanismi spinali si adeguano alle intenzioni ed alle previsioni motorie.

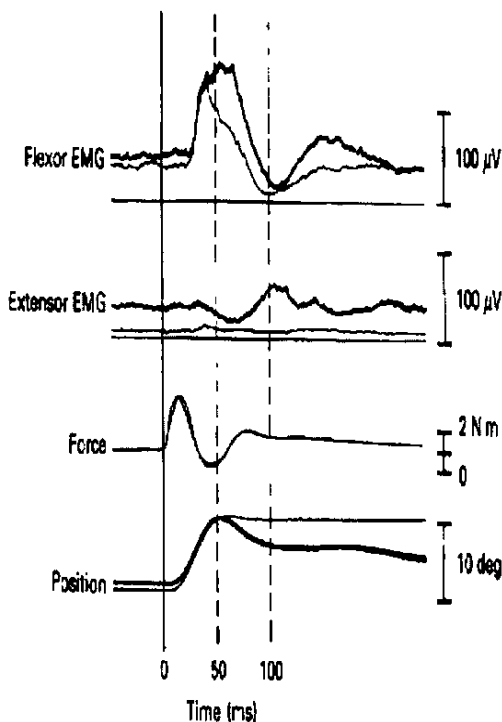
Le reazioni automatico-riflesse, compreso il relativamente semplice riflesso da stiramento monosinaptico, possono essere finemente regolate in funzione delle necessità meccaniche del movimento od anche delle intenzioni e delle aspettative del soggetto. Possiamo così sintetizzare l'idea-guida di una delle più fertili linee di ricerca della neurofisiologia contemporanea. Sono stati escogitati i più vari "paradigmi" sperimentali a conferma della validità di questa conclusione generale: si va da esperimenti in cui si chiede la contrazione volontaria di singoli muscoli ad altri in cui si chiede il mantenimento dell'equilibrio in risposta alle più varie perturbazioni. Invariabilmente, reazioni riflesse utili alla soddisfazione delle richieste motorie appaiono amplificate, mentre riflessi inutili o controproducenti appaiono inibiti od esclusi (3).

Fra le tante recenti pubblicazioni sul tema ci ha colpito un articolo che non solo conferma la plasticità delle reazioni riflesse, ma illustra elegantemente anche un comportamento motorio generale: e cioè, come ci si prepara a resistere all'improvviso aumento di una forza esterna, a seconda che siamo disponibili o no a subire uno spostamento (2). Relativamente semplice il "paradigma" sperimentale: il soggetto siede con il braccio flesso a 90°, il gomito esteso semi-pronato. La mano ha le dita semi-flesse, ed appoggia con il palmo sopra un supporto curvo, connesso all'albero di un motore in grado di imprimere alla mano piccoli e rapidi movimenti di estensione (5° in circa 30-40ms), e di registrare nel contempo la forza opposta al polso. Durante le prove si registra anche l'attività elettromiografica di superficie dai flessori e dagli estensori della mano. Al soggetto viene chiesto di esercitare una forza molto modesta (meno del 10% della forza massima) e di resistere agli imprevedibili movimenti del motore, ma in due

circostanze diverse. In un gruppo di prove il soggetto dovrà "mantenere la forza" applicata al supporto palmare, lasciandosi estendere il polso. In altre prove egli dovrà "mantenere la posizione" resistendo allo spostamento, anche a spese di variazioni di forza. Qui sta il punto più interessante del modello sperimentale: durante le prove "mantenere la forza" (parecchie decine) un computer memorizza le oscillazioni della forza opposta dal soggetto durante l'estensione del polso, fino al loro ritorno in condizioni basali ad estensione ultimata. Nelle successive prove "mantenere la posizione" il computer obbligherà il motore a riprodurre la media delle forze registrate nelle prove "mantenere la forza". Ne deriveranno non solo forze, ma anche escursioni del polso molto vicine a quelle ottenute nelle prove del tipo "mantenere la forza". Ci si può chiedere perché il motore non sia stato programmato per riprodurre gli stessi spostamenti nelle due situazioni. Questo tipo di regolazione impedirebbe di studiare il meccanismo di recupero della posizione di partenza dopo la perturbazione; inoltre, esso renderebbe poco "credibile" l'istruzione "mantieni la posizione", visto che il motore produrrebbe comunque forze tali da estendere il polso. Il soggetto, invece, deve poter ritornare alla posizione di partenza, e così "sentire" che è meccanicamente possibile mantenerla, purché i suoi muscoli ne siano in grado. In sostanza, nelle due diverse condizioni l'unica differenza importante non è fisica, ma psicologica: le intenzioni del soggetto. Situazione ideale, dunque, per studiare come le intenzioni modifichino le risposte riflesse.

Prima domanda: nelle due condizioni sono davvero diverse le reazioni riflesse? La Fig.6 suggerisce di sì. Le due tracce superiori riportano il segnale EMG di superficie dai flessori e dagli estensori del polso, nella situazione "mantenere forza" (linea sottile) e "mantenere posizione" (linea spessa). Le due tracce inferiori riportano, in funzione del tempo, la forza applicata dalla mano ed il suo movimento estensorio. Si noti come le variazioni di forza siano praticamente indistinguibili nelle due condizioni sperimentali. Ogni traccia rappresenta la media delle tracce registrate in 8 soggetti, nell'ultima delle decine-talvolta centinaia di prove eseguite in ciascuna condizione. La figura è ricca di informazioni. In primo luogo, nella condizione "mantenere la posizio-

Fig. 6 Il soggetto siede con il braccio flesso, ed il palmo della mano semipronata che appoggia su un supporto curvo, applicandovi una modesta forza costante. Il supporto è mosso da un motore programmato per imporre al polso spostamenti brevi e rapidissimi in estensione. Si registrano l'attività elettromiografica di superficie (EMG) dai flessori e dagli estensori del polso (prima e seconda traccia dall'alto), le forze applicate dalla mano ed i suoi spostamenti in estensione (terza e quarta traccia dall'alto). Ogni traccia rappresenta la media, in 8 soggetti, delle tracce registrate durante l'ultima di almeno 64 perturbazioni, quando si era instaurato un completo apprendimento delle prestazioni richieste. Queste erano di due tipi: in gruppi di 32 prove successive al soggetto poteva essere richiesto o "mantieni costante la forza" (linee sottili) oppure "mantieni costante la posizione" (linee spesse). Nelle prove del tipo "mantieni la posizione" le forze prodotte dal motore riproducevano con notevole precisione quelle registrate in precedenza nelle prove del tipo "mantieni la forza". Forze e spostamenti durante la perturbazione erano quindi molto simili nelle due condizioni: cambiavano radicalmente soltanto le intenzioni del soggetto. Nel "mantenere la forza" si nota un breve aumento di attività dei flessori, rispetto all'attività basale, con latenza compatibile con un riflesso da stiramento. Il riflesso si esaurisce entro 100 ms. Nel "mantenere la posizione" il soggetto 1) aumenta l'attività di base dei flessori, 2) coattiva gli estensori (il che spiega perché resta comparabile la forza netta prodotta nelle due situazioni), 3) presenta un aumento di attività EMG dei flessori espressione di una componente tardiva del riflesso da stiramento - fra 50 e 100 ms dall'inizio della perturbazione. La coattivazione flessori-estensori "irrigidisce" il polso che dovrà "mantenere la posizione", ed insieme con il vivace riflesso da stiramento dei flessori ne renderà più precoce e rapido il ritorno verso flessione (da Doemges F, Rack PMH, 2).



ne" l'attività EMG dei flessori (linea spessa, traccia in alto) è aumentata, rispetto alla condizione "mantenere la forza", già prima che la perturbazione inizi, e l'aumento è ancor più rilevante fra 50 e 100 ms dall'inizio della perturbazione, nel periodo in cui si manifesta la componente tardiva del riflesso da stiramento. In secondo luogo, è molto aumentata anche l'attività EMG degli estensori (secondo set di curve dall'alto), anche se l'aumento tende a ridursi quando l'EMG dei flessori cresce. La differenza di comportamento nelle due prestazioni è il risultato di un apprendimento. La Fig. 7 riporta i tracciati medi ottenuti nelle prime 32 prove (in alto) e in 32 prove ottenute dopo diverse sessioni sperimentali in giorni successivi. Nel secondo set di prove la curva con tratto spesso si "stacca" da quella a tratto sottile: ciò dimostra la nascita di una risposta specifica per la condizione "mantenere la posizione", a partire da una risposta indistinguibile da quella prodotta per "mantenere la forza". Ma che

cosa significa questa differenza? Secondo l'interpretazione più semplice essa rappresenta un diffuso aumento di attività di agonisti ed antagonisti, già prima che la perturbazione inizi, modulato poi da un classico riflesso da stiramento (eccitazione dei flessori stirati, inibizione degli estensori accorciati). La coattivazione degli estensori spiega come il soggetto possa mantenere la stessa forza richiesta nella condizione "mantenere la forza", pur in presenza di un'aumentata attività EMG dei flessori. Questa coattivazione, in effetti, fa parte della reazione "mantenere la posizione", ma questo non è tutto. La Fig. 3 illustra che cosa succede in un soggetto in cui si paralizzano gli estensori con infiltrazione di anestetico intorno al nervo radiale. A sinistra è riportata la media di 32 registrazioni prima della paralisi; a destra, la media di 64 registrazioni dopo la paralisi. Dopo la paralisi nella condizione "mantenere la posizione" (linee spesse) l'attività basale dei flessori cala, mentre permane

l'aumento della loro risposta riflessa. La scomparsa dell'attività degli estensori, tuttavia, rende molto più lento il ritorno alla posizione di partenza.

Conclusioni: mantenere la posizione richiede sia la coattivazione flessori-estensori, sia un aumento del guadagno del riflesso da stiramento dei flessori, a parità di forze e spostamenti in gioco. L'aumento del riflesso da stiramento non dipende da un aumento dell'attività di base dei flessori stessi, ma è l'effetto diretto dell'intenzione di compiere una certa prestazione invece che un'altra (è fenomeno "task dependent").

Se ci è facile capire perché il sistema nervoso centrale si prepara a "mantenere la posizione" rendendo più vivace il riflesso da stiramento dei flessori, meno intuitivo è perché si instauri una co-contrazione agonisti-antagonisti. La spiegazione è relativamente semplice: quanto più sono contratti, tanto più i muscoli si comportano come strutture rigide (stiff), che resistono sia allo stiramento che all'accorciamento. La forza flessoria netta era uguale nelle due situazioni, ma ciò nonostante nella situazione "mantenere la posizione" il polso era molto potenzialmente molto più stabile grazie alla "stiffness" della coppia flessori-estensori.

Questa "stiffness" favorisce un ritorno precoce e rapido alla posizione di partenza, già prima che faccia sentire il suo effetto il riflesso da stiramento. Lo dimostra il ritardo con cui si corregge la posizione quando gli estensori sono paralizzati.

Il lavoro illustra analiticamente un comportamento già noto alla neurofisiologia (1) e che è anche esperienza comune: "l'irrigidimento" (la co-contrazione superflua dei più vari gruppi muscolari) quando siamo di fronte a compiti ignoti, ed abbiamo timore di "andar fuori misura". E, per converso, la "sciolttezza" con cui il compito motorio viene svolto quando ne abbiamo appreso l'esecuzione ottimale. Gli autori non ne fanno menzione, ma a noi è venuta subito in mente la spasticità. Essa consiste sostanzialmente di due fenomeni: iperreflessia allo stiramento e co-contrazione agonisti - antagonisti, proprio i fenomeni necessari anche nel soggetto sano per "tener duro" nel "mantenere la posizione". Il quadro clinico che definiamo spasticità, dunque, non è un comportamento in quanto tale abnorme,

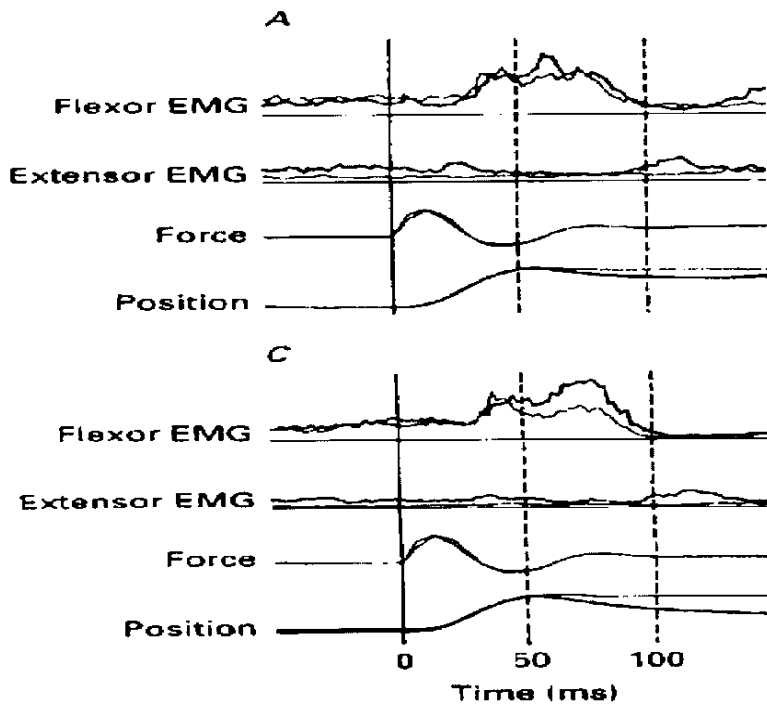


Fig. 7. Il diverso comportamento fra la situazione "mantieni la forza" e la situazione "mantieni la posizione" è il risultato di un rapido apprendimento motorio. Stesse tracce della Fig. 1, relative però ad un solo soggetto. Ciascuna rappresenta la media di 32 prove per ciascuna situazione. In A sono riassunte le prime 32 prove, in B le 32 prove eseguite dopo diverse sessioni sperimentali. Le modifiche più evidenti indotte dall'allenamento sono l'aumento di attività dei flessori, nella situazione "mantieni la posizione", fra 50 e 100 ms dopo l'inizio della perturbazione. All'aumento di questa attività riflessa corrisponde un inizio più precoce del ritorno verso la posizione di partenza. Fin dalle prime prove, invece, è presente la coattivazione flessori-estensori nella situazione "mantieni la posizione", ma non in quella "mantieni la forza" (da F Doemges, 2).

non presente nel sano: in patologia esso è abnorme nella sua intensità, ma soprattutto nella sua

non modulabilità in risposta alle intenzioni ed all'apprendimento. E' un poco come se la "regolazione

prestazione-dipendente... fosse messa fuori uso, e lasciata su un solo livello standard" (2). Questa osservazione può fornire sostegno a principi di trattamento basati sul recupero della capacità di modulazione movimento-dipendente, più che sullo spegnimento tout-court del fenomeno.

Il lavoro appena descritto ci offre lo spunto per una considerazione conclusiva più generale. Lo studio del comportamento motorio nell'Uomo non può prescindere dall'analisi dei suoi aspetti meccanici, né da quella dei suoi aspetti psicologici. La neurofisiologia moderna non può più restare all'interno del sistema nervoso.

#### BIBLIOGRAFIA

- 1) Bernstein NA. The coordination and regulation of movements, 1987, Pergamon Press, Oxford
- 2) Doemges F, Rack PMH. Task dependent changes in the responses of human wrist joints to mechanical disturbance. J Physiol 1992; 447: 575 - 585
- 3) Prochazka A. Sensorimotor gain control: a basic strategy of motor systems? Progr Neurobiol 1989; 33: 281 - 307

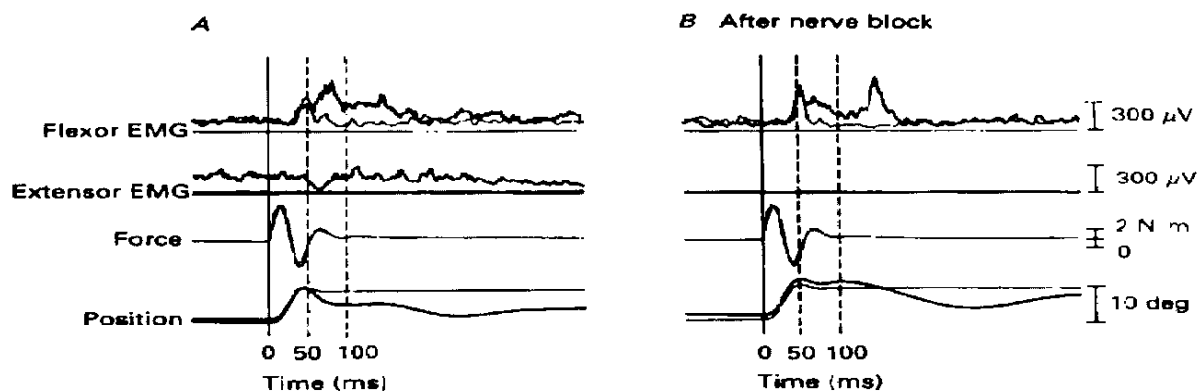


Fig. 8. Stesse tracce delle Figg. 1 e 2, relative ad un solo soggetto. In A, media di 32 prove per ciascuna situazione ("mantieni la forza", linee sottili, e "mantieni la posizione, linee spesse). In B, media di 64 prove dopo paralisi degli estensori della mano indotta con anestesia tronculare radiale. La paralisi del radiale riduce anche l'attività basale dei flessori, e determina un rallentamento nel ritorno della mano alla posizione di partenza. I flessori, però, mantengono l'aumento del loro riflesso da stiramento fra 50 e 100 ms dall'inizio della perturbazione: co-attivazione e aumento del riflesso sono fenomeni indipendenti (da F Doemges, 2).