

# Cap 41

La postura

- Postura ed equilibrio
- Postura e movimento
- Contributi vestibolari e cervicali
- Apprendimento motorio e controllo del riflesso vestibolo-oculare
- La visione
- Correlati percettivi
- Una visione d'insieme

# Il sistema posturale

- Deve affrontare tre problemi:
  - Mantenere una posizione eretta stabile contro la forza di gravità (equilibrio)
    - Ruolo dei riflessi (preparati decerebrati)
  - Anticipare i movimenti volontari
    - Afferrare un oggetto - spostamento del CM
  - Adattarsi alle condizioni ambientali
    - Superare ostacoli: questo coinvolge centri superiori

# Postura ed equilibrio

- Postura: posizione assunta dalle varie posizioni del corpo le une rispetto alle altre (sistema di coordinate egocentriche)
- Posizione rispetto all'ambiente circostante (sistema di coordinate exocentriche)
- Riferimento rispetto al sistema gravitazionale (sistema di coordinate geocentrico)
- L'orientamento di una parte del corpo può essere descritto rispetto ad uno di questi sistemi di riferimento a seconda del particolare contesto comportamentale

# Esempi

- Conoscenza della posizione del capo rispetto all'ambiente stabilizza la visione
- Conoscenza della posizione del capo rispetto alle altre parti del corpo stabilizza la postura eretta
- Regolarizzazione della postura del corpo rispetto alla gravità aiuta l'equilibrio posturale che può essere in un equilibrio statico e dinamico

- Il controllo posturale può avere scopi diversi:
  - Allineamento di tutti i segmenti del corpo per mantenere una postura eretta
  - Variare la postura eretta in preparazione ad un movimento volontario
  - Modificare la configurazione del corpo quando si intende fare una evoluzione (danza)
  - Mantenere l'equilibrio (sulla trave)
  - Conservare l'energia in azioni dispendiose

# Strategie posturali diverse

- In diversi animali:
  - Dimensioni corporee
  - Forma del corpo

# Postura e movimento

- Gli esseri umani utilizzano ambedue le strategie:
  - Come gli elefanti allineano le forze degli arti con la gravità (aumentano la stabilità eretta)
  - Come gli animali più piccoli flettono gli arti per reagire velocemente (come gli atleti alla partenza dai blocchi)



# I riaggiustamenti posturali debbono essere preceduti da movimenti che ne anticipano le conseguenze

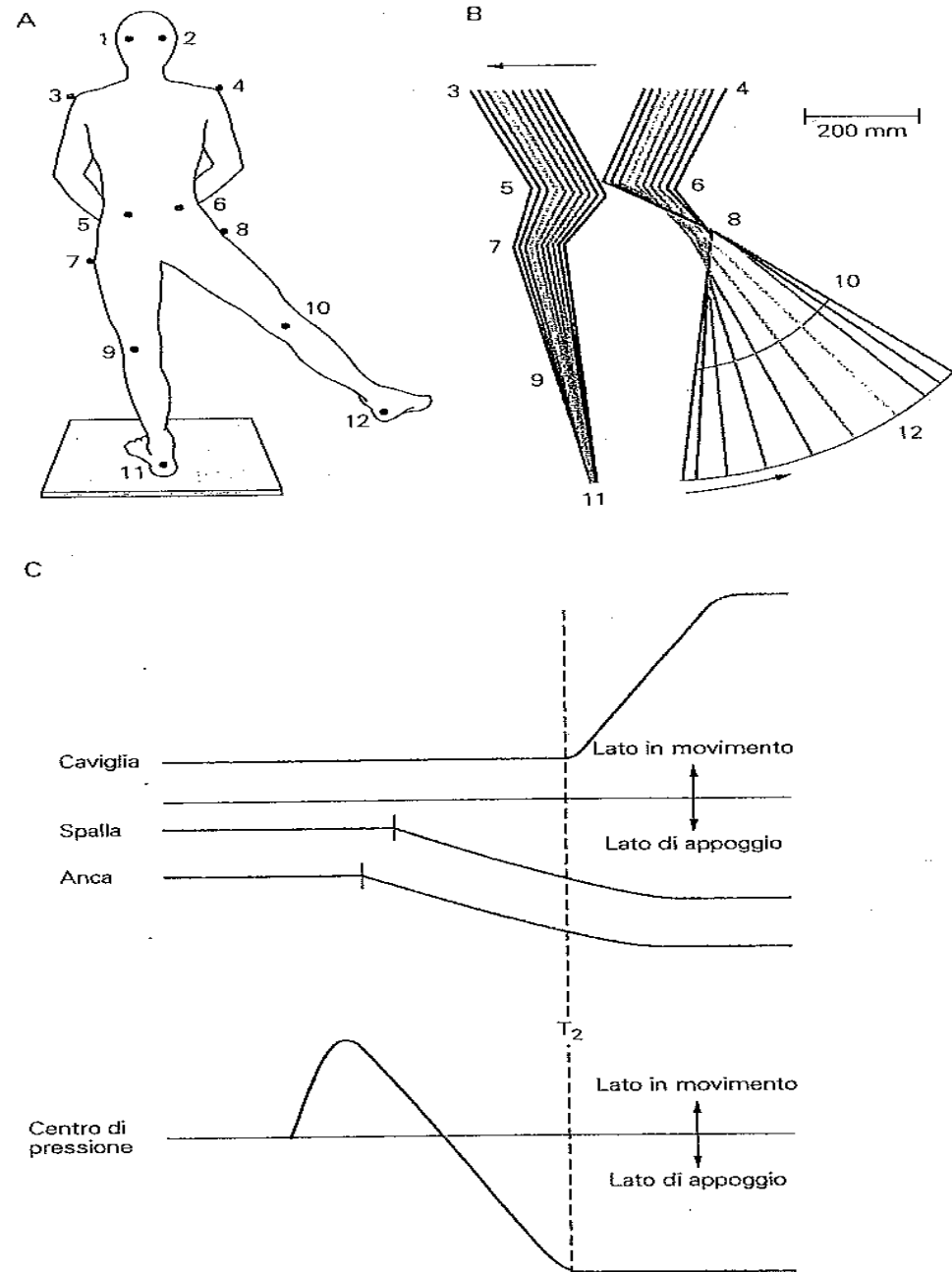
- Sollevare lateralmente un arto inferiore dalla stazione eretta:
  - Movimenti anticipatori del centro di pressione:
    - Dal lato in movimento al lato di appoggio (effetto molla) il tutto anticipa l'azione di 600ms circa
    - Spalle e anche iniziano a spostarsi
    - Centro di pressione ritorna sull'arto in appoggio
    - Il movimento inizia

**Figura 41.1** Gli aggiustamenti posturali richiedono movimenti anticipatori. (Modificata, da Lee e collaboratori, 1995.)

A. Veduta da tergo di un soggetto che sta su una piattaforma dotata di trasduttori di forza e solleva la gamba destra portandola verso destra. I punti indicati dai numeri identificano i punti del corpo dai quali è stata ricostruita l'immagine riportata in B.

B. Registrazione dei movimenti del tronco e delle gambe eseguiti durante la manovra di sollevamento della gamba. Le linee nere rappresentano il soggetto con entrambi i piedi poggiati simmetricamente per terra. Le linee colorate mostrano la successione degli eventi, campionati ad intervalli di 50 ms, che si susseguono nella direzione delle frecce e che caratterizzano l'aggiustamento posturale utilizzato per ristabilire, senza cadere, l'equilibrio sulla gamba sinistra.

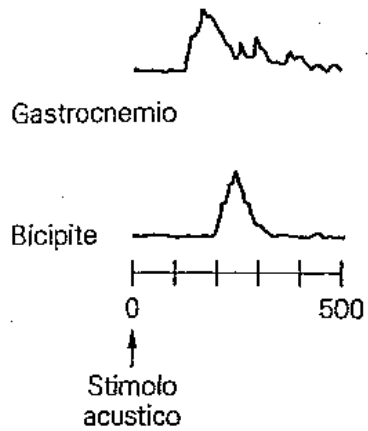
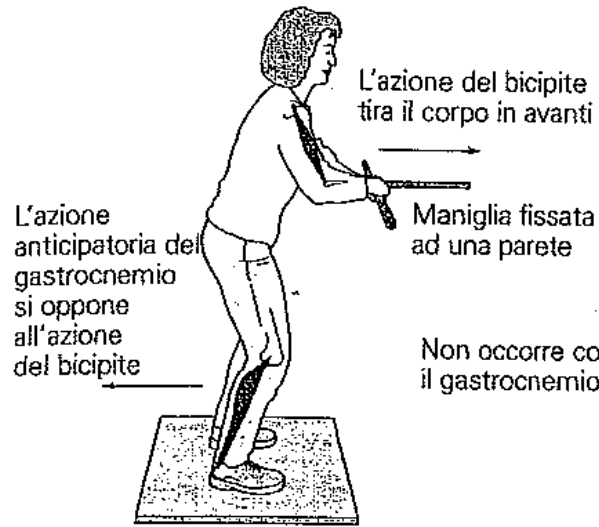
C. Le registrazioni cinematiche documentano che le anche e le spalle cominciano a muoversi prima che la caviglia cominci a sollevarsi. Il centro di pressione, registrato dai trasduttori di cui è dotata la piattaforma, si muove dapprima verso l'esterno, in direzione della gamba che viene sollevata, per spostare il centro di gravità sulla gamba di sostegno. Successivamente, quando cominciano a muoversi le spalle e le anche, esso si muove in direzione opposta sotto la gamba di sostegno per poter mantenere la nuova postura.



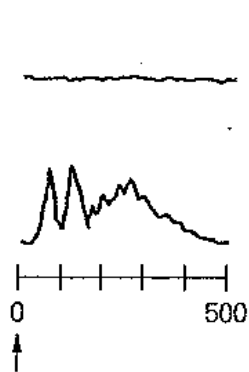
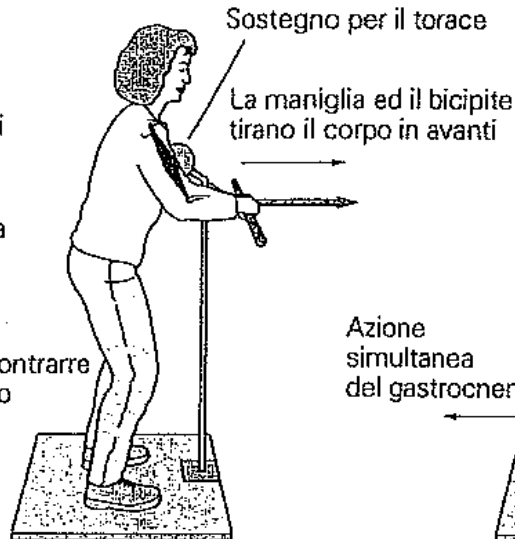
# Il controllo posturale si conforma alle esigenze richieste dai singoli atti comportamentali

- Le azioni anticipatorie sono estremamente adattabili e variano a seconda delle esigenze comportamentali

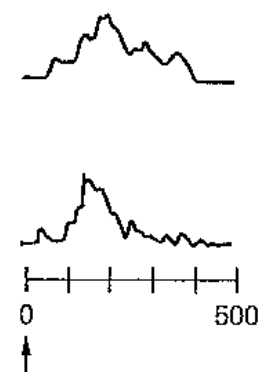
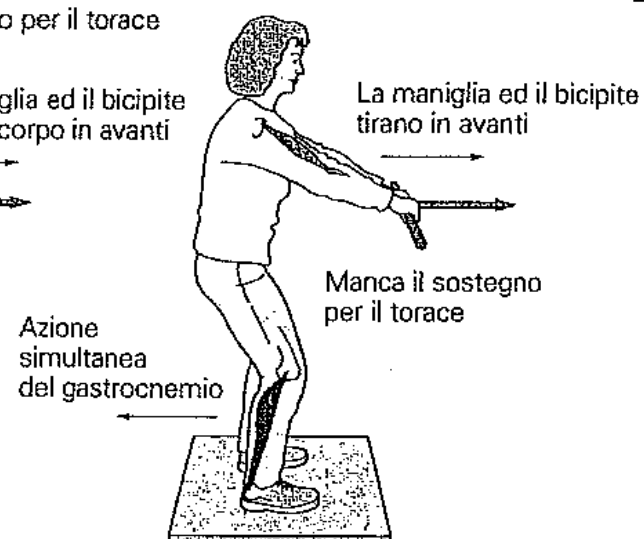
A



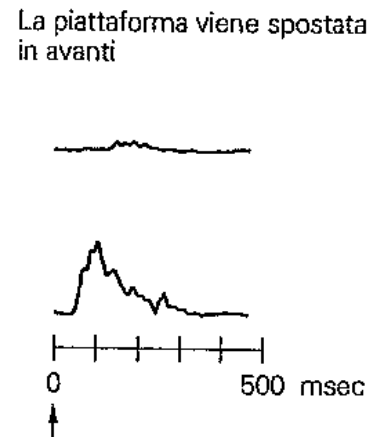
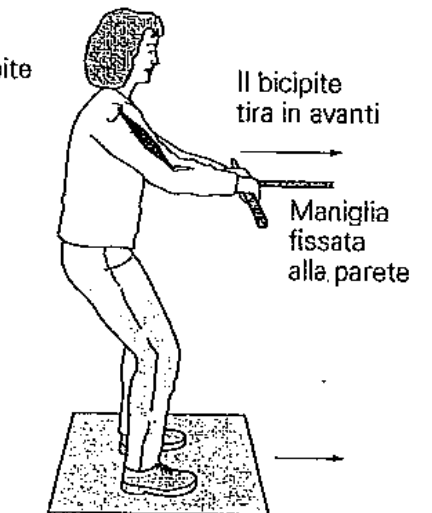
B



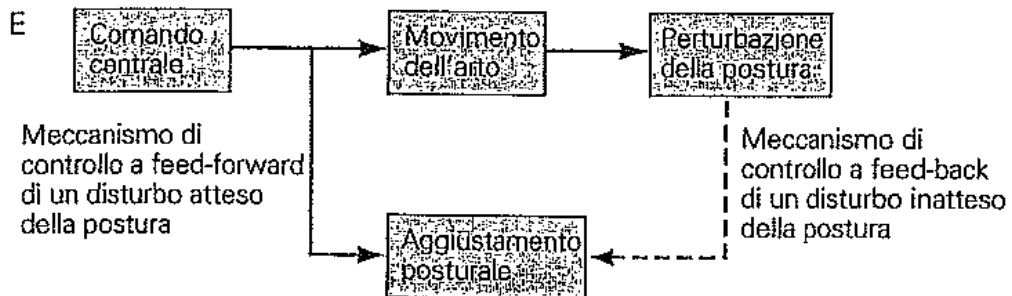
C



D



E



# Perturbazioni aspettate e non

- La conoscenza dell'arrivo di una perturbazione crea strategie motorie anticipate diverse dalla condizione dove l'arrivo della perturbazione è inaspettata.
- Quindi:
- Le risposte anticipatorie dipendono da un controllo a feedforward: il comando centrale relativo ad un movimento volontario anticipa la perturbazione attesa

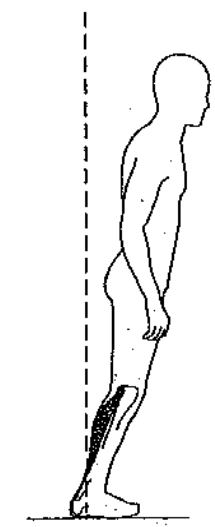
# Gli elementi di base del controllo posturale sono innati

- Animali decerebrati mostrano una strategia motoria specifica se perturbati
  - Aumenta la rigidità muscolare
  - Utilizzo dei muscoli antigravitazionali

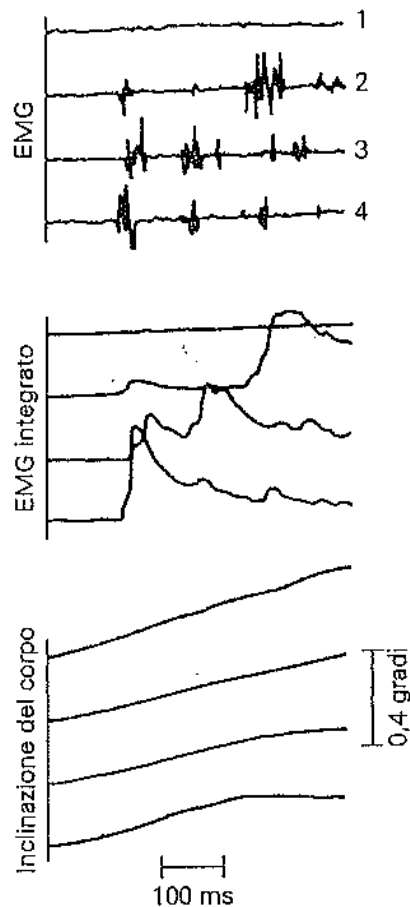
# Gli elementi di base del controllo posturale possono essere modificati mediante l'apprendimento

- Attraverso l'uso di pedane basculanti con i soggetti in posizione eretta:
  - Pedana spostata indietro : attivazione gastrocnemio (spostamento avanti del corpo)
  - Pedana inclinata: disattivazione gastrocnemio (spostamento indietro del corpo)

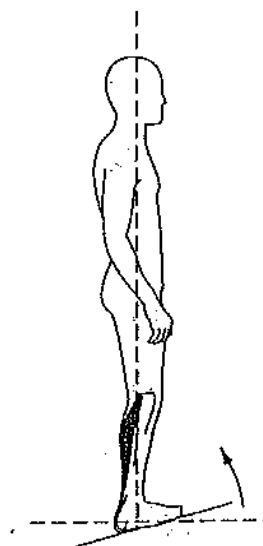
A Movimento all'indietro della piattaforma



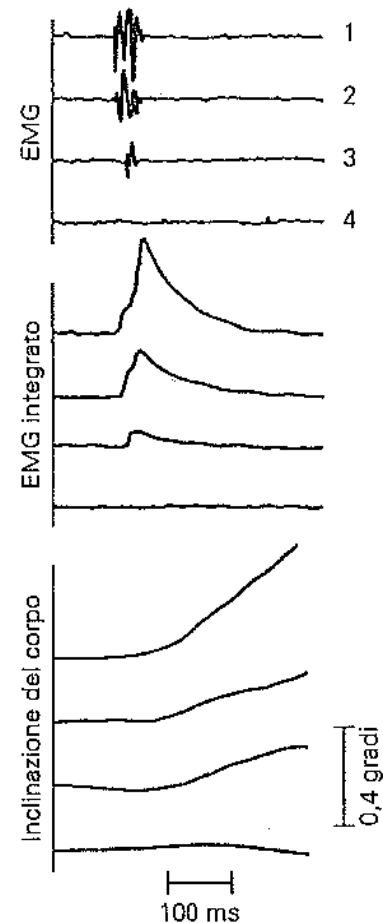
Inclinazione indotta durante quattro prove consecutive



B Rotazione della piattaforma



Rotazione diretta della caviglia durante quattro prove consecutive



**Figura 41.3** È possibile apprendere a dare risposte anticipatorie appropriate alle perturbazioni della postura. (Modificata da Nashner, 1976.)  
 A. Il movimento all'indietro della piattaforma fa inclinare il corpo in avanti e ciò fa sì che il gastrocnemio, che viene stirato da questa manovra, si contraiga opponendosi all'inclinazione in avanti del corpo per poter mantenere la postura. Nelle repliche successive di questa manovra

del muscolo tende a diventare via via più intensa e la sua latenza tende a diminuire.

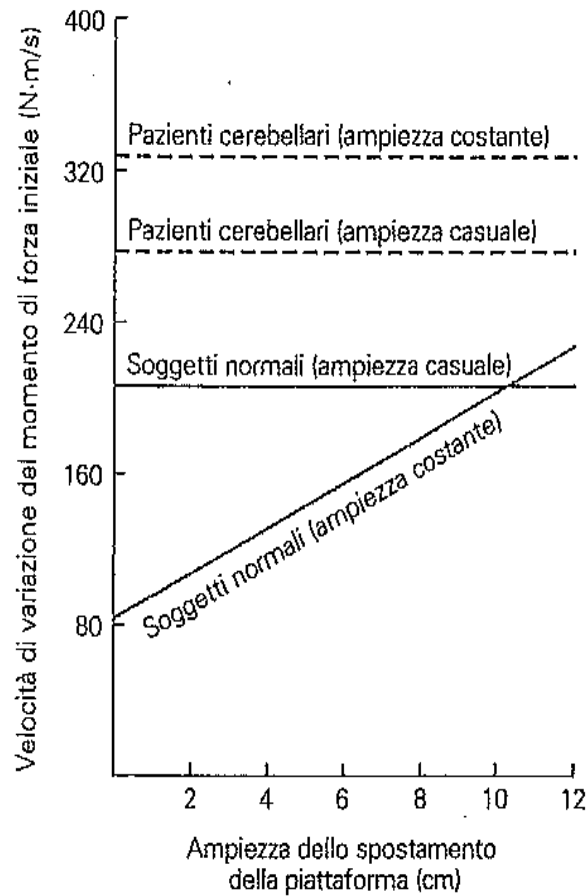
B. Quando la piattaforma viene ruotata verso l'alto, l'azione del gastrocnemio tenderebbe ad accentuare l'inclinazione all'indietro del corpo. Di conseguenza, nelle repliche successive di questa manovra la risposta del muscolo diminuisce e ciò riduce la tendenza del corpo ad inclinarsi all'indietro.



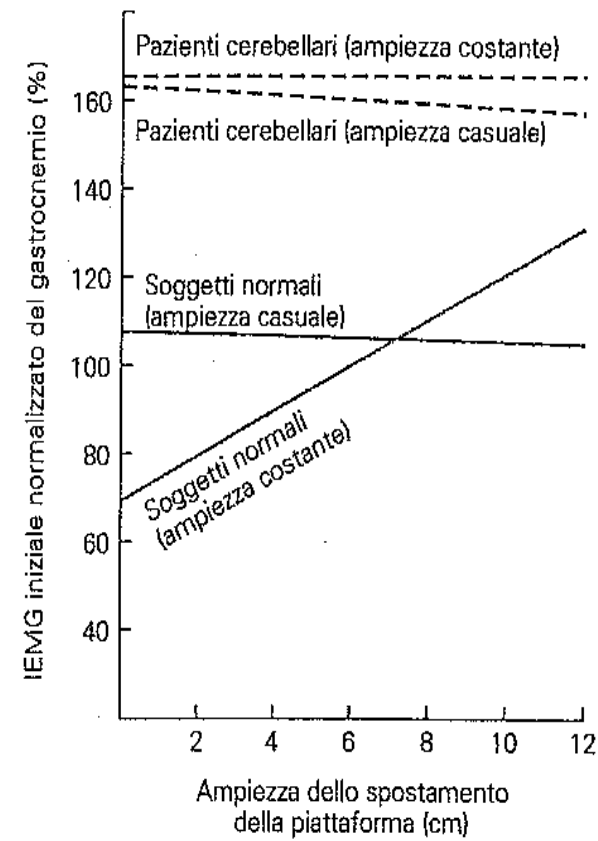
# L'adattamento del controllo posturale richiede l'integrità del cervelletto

- Pazienti con lesioni cerebellari non sono in grado di adattare il controllo della postura alle variazioni delle condizioni ambientali
- Utilizzo della piattaforma basculante:
  - Condizioni costanti stessa perturbazione
  - Condizioni dove le perturbazioni sono casuali
  - Cerebellari incapaci di adattare il movimento in condizioni sia casuali che costanti

A Momento di forza iniziale della caviglia



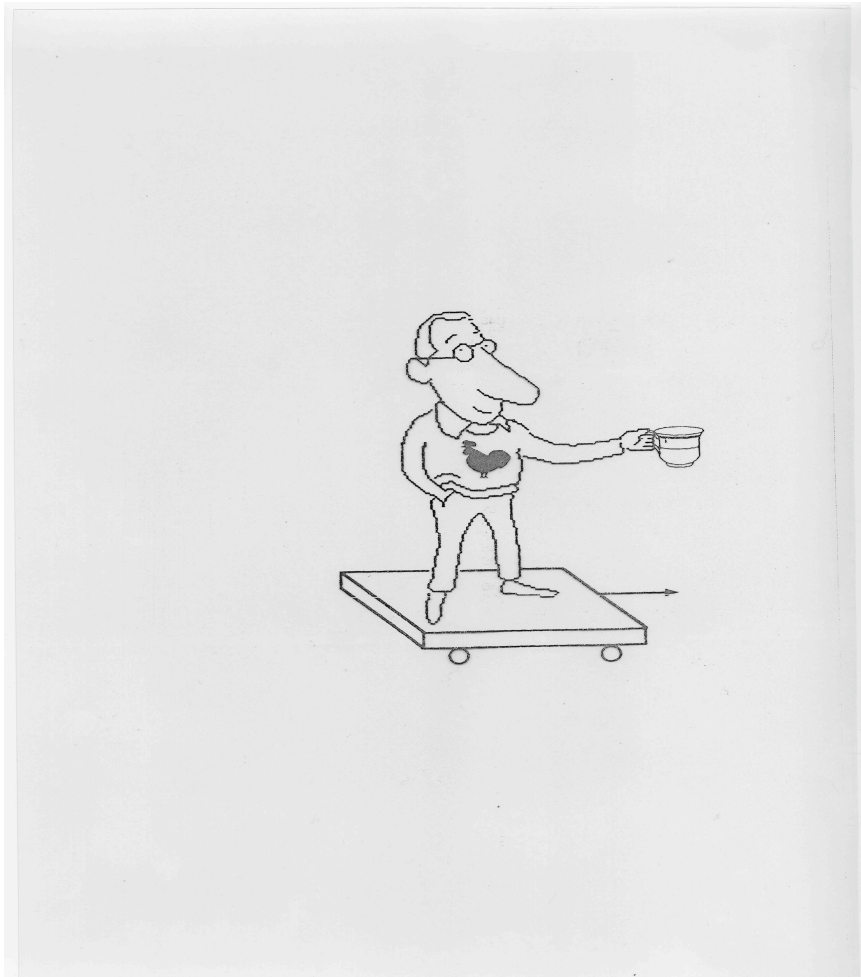
B EMG del gastrocnemio



**Figura 41.4** I pazienti di atrofia del lobo anteriore del cervelletto non sono in grado di graduare in modo appropriato le loro risposte posturali anticipatorie. I soggetti stavano in piedi su una piattaforma che, all'improvviso e in modo inatteso, veniva spostata all'indietro in misura diversa. Nei due grafici sono state tracciate le rette di regressione medie del momento di forza iniziale della caviglia (A) e dell'elettromiogramma del gastrocnemio (B) per una serie di spostamenti di ampiezza diversa in due gruppi di prove. I dati sono stati ottenuti da 10 pazienti portatori di lesioni

del lobo anteriore del cervelletto e da 10 soggetti normali. Ogni soggetto veniva sottoposto a due serie di 10 prove ciascuna. Nella prima serie la piattaforma veniva spostata in misura diversa seguendo una sequenza casuale ed imprevedibile. Nella seconda serie l'ampiezza dello spostamento della piattaforma era sempre la stessa in tutte le prove. I soggetti normali imparavano a graduare le loro risposte agli spostamenti prevedibili, mentre i pazienti con una lesione cerebellare non riuscivano a farlo. (Modificata, da Horak e Diener, 1994.)

# Come possiamo interpretare gli aggiustamenti posturali?



Dipendono dal contesto

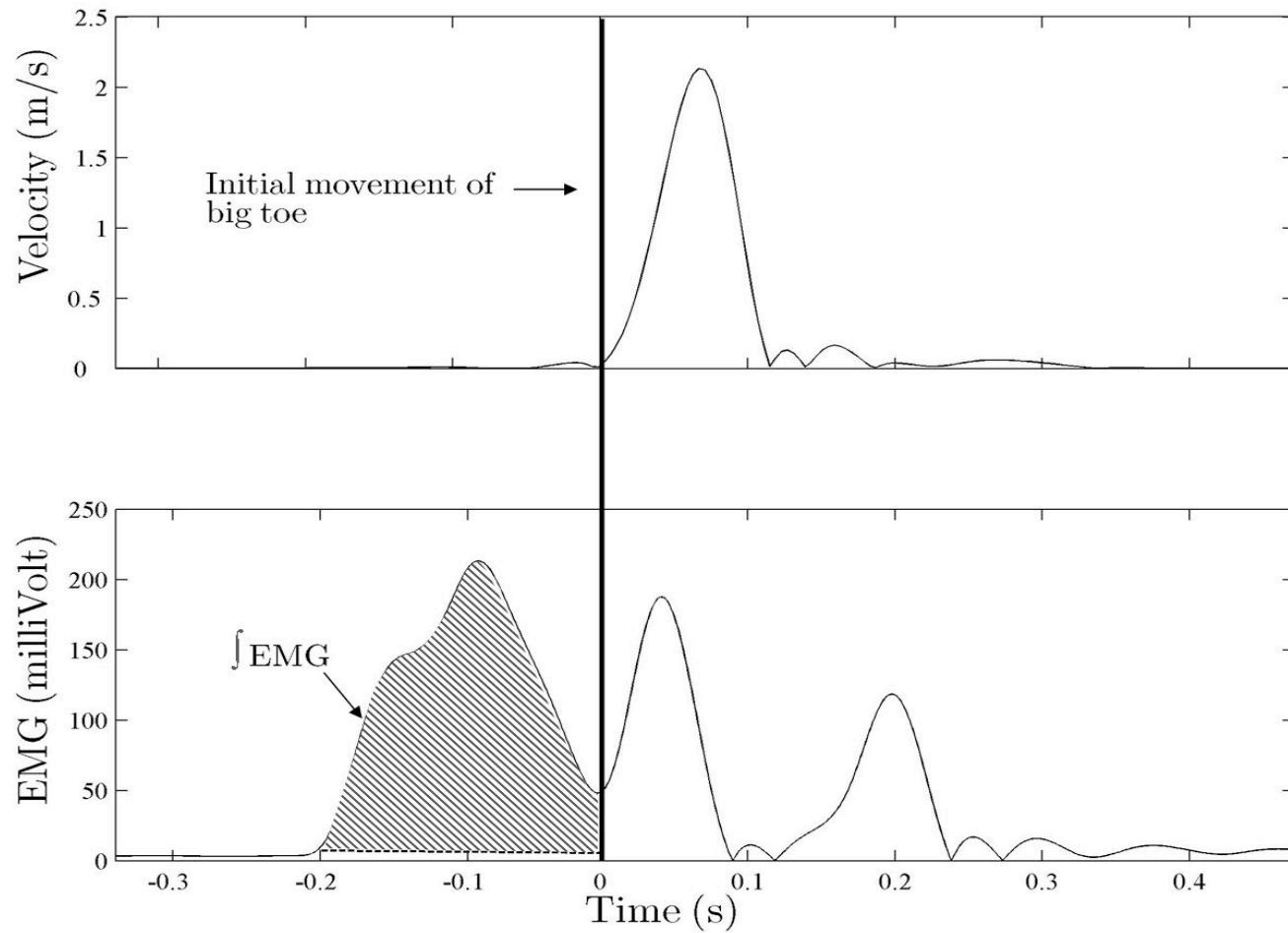
Dipendono dalle perturbazioni esterne

Dipendono dall'intenzione che abbiamo nell'eseguire un gesto

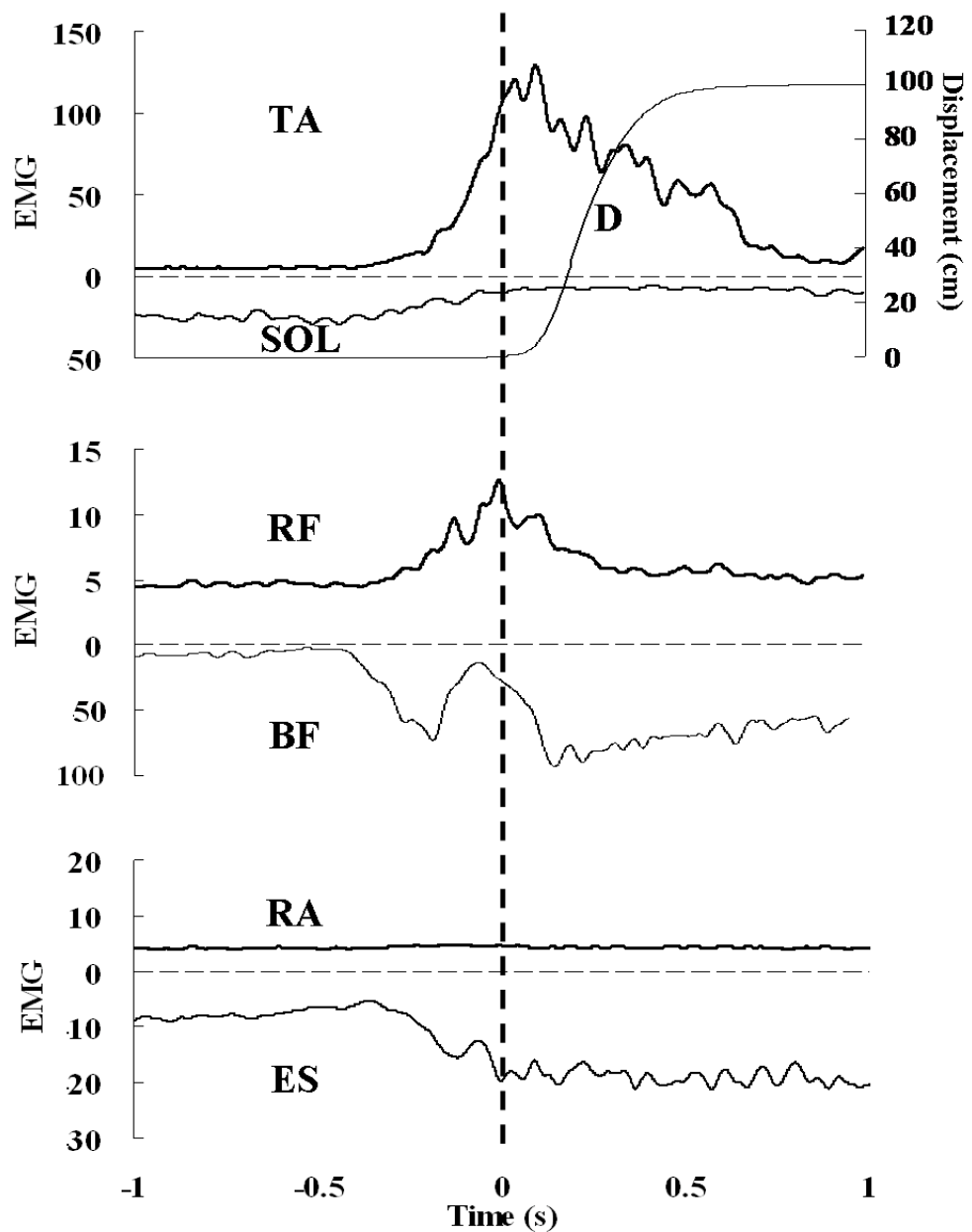
# Come anticipiamo un movimento?

- Anticipiamo i movimenti pre-contruendo i muscoli posturali
- Questa pre-contrazione è effetto diretto di un comando centrale
- Il comando centrale è diretto (feedforward) e quindi in assenza di feedback
- Queste pre-contrazioni vengono chiamate  
Aggiustamenti Posturali Preprogrammati (APA)

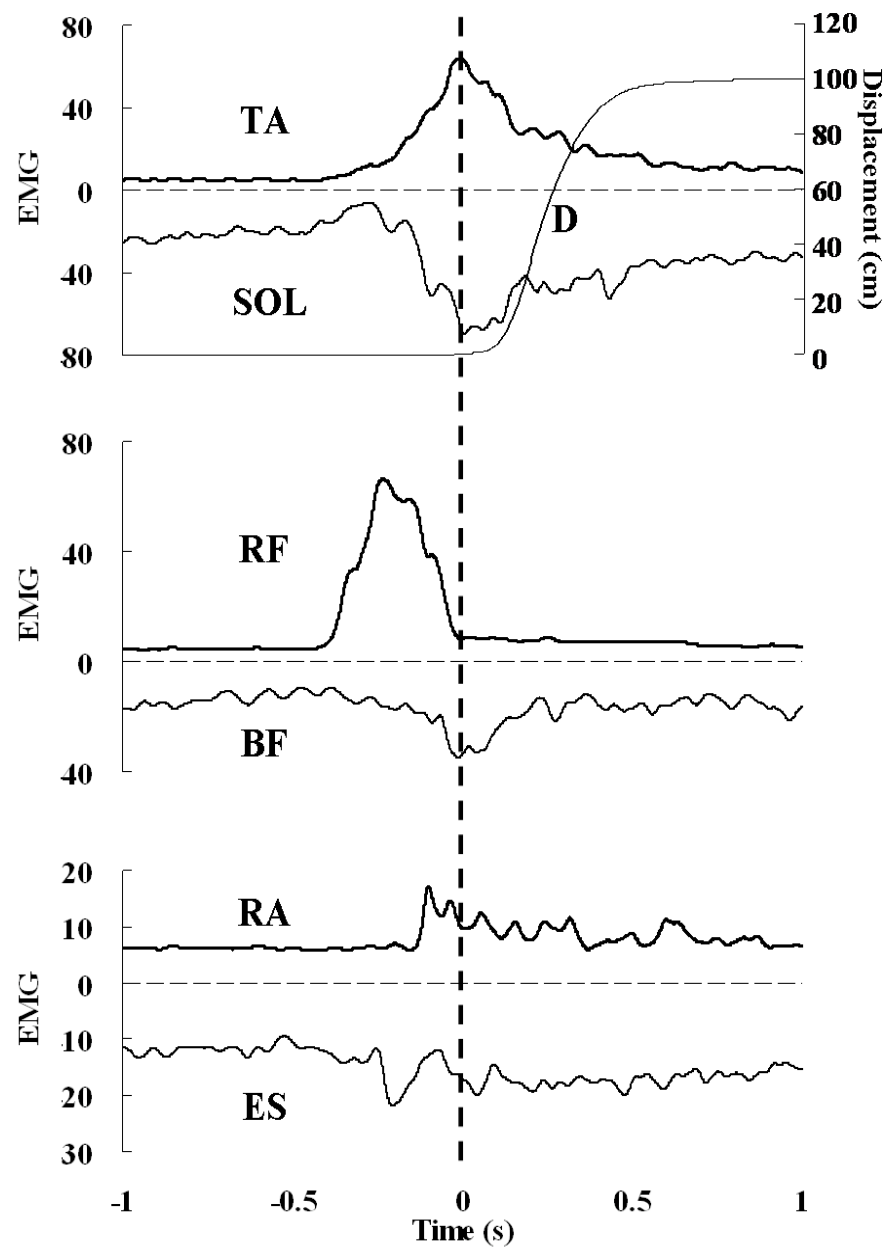
# Aggiustamenti Posturali Anticipati (APA)



### RIGHT



### LEFT



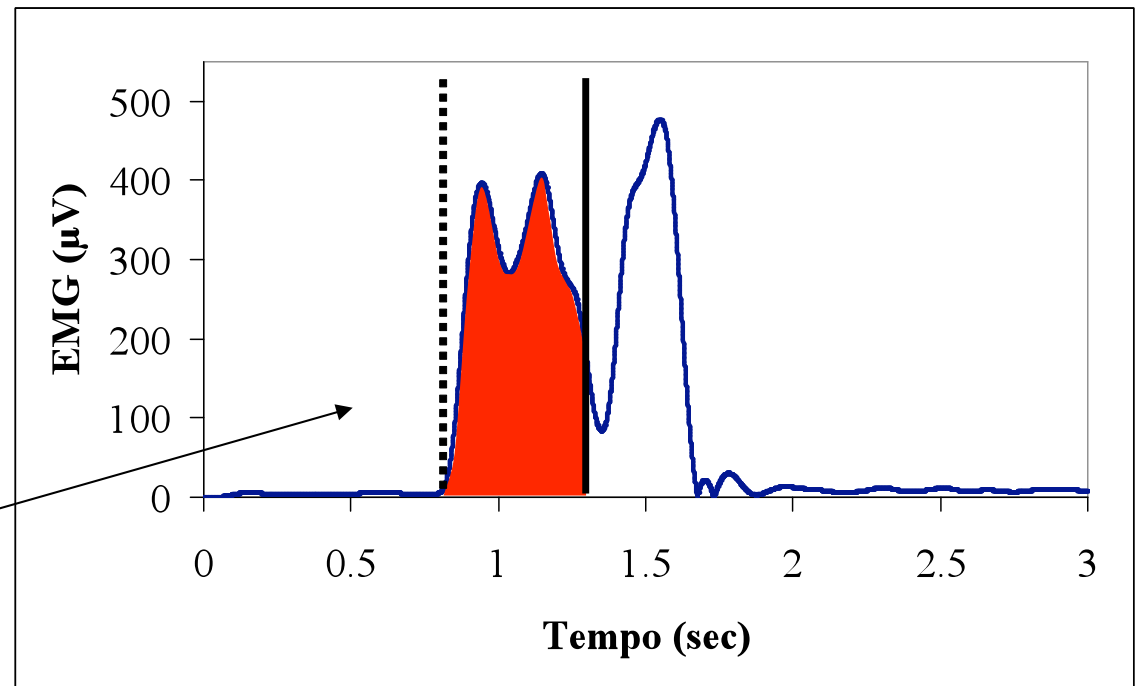
## Metodo/1 - Analisi dei dati

**EMG:**

**Inizio della contrazione**

**Ampiezza della contrazione**

**Aggiustamenti Posturali  
Anticipati (APA)**



## **Principali muscoli posturali**

Tibiale anteriore

Soleo

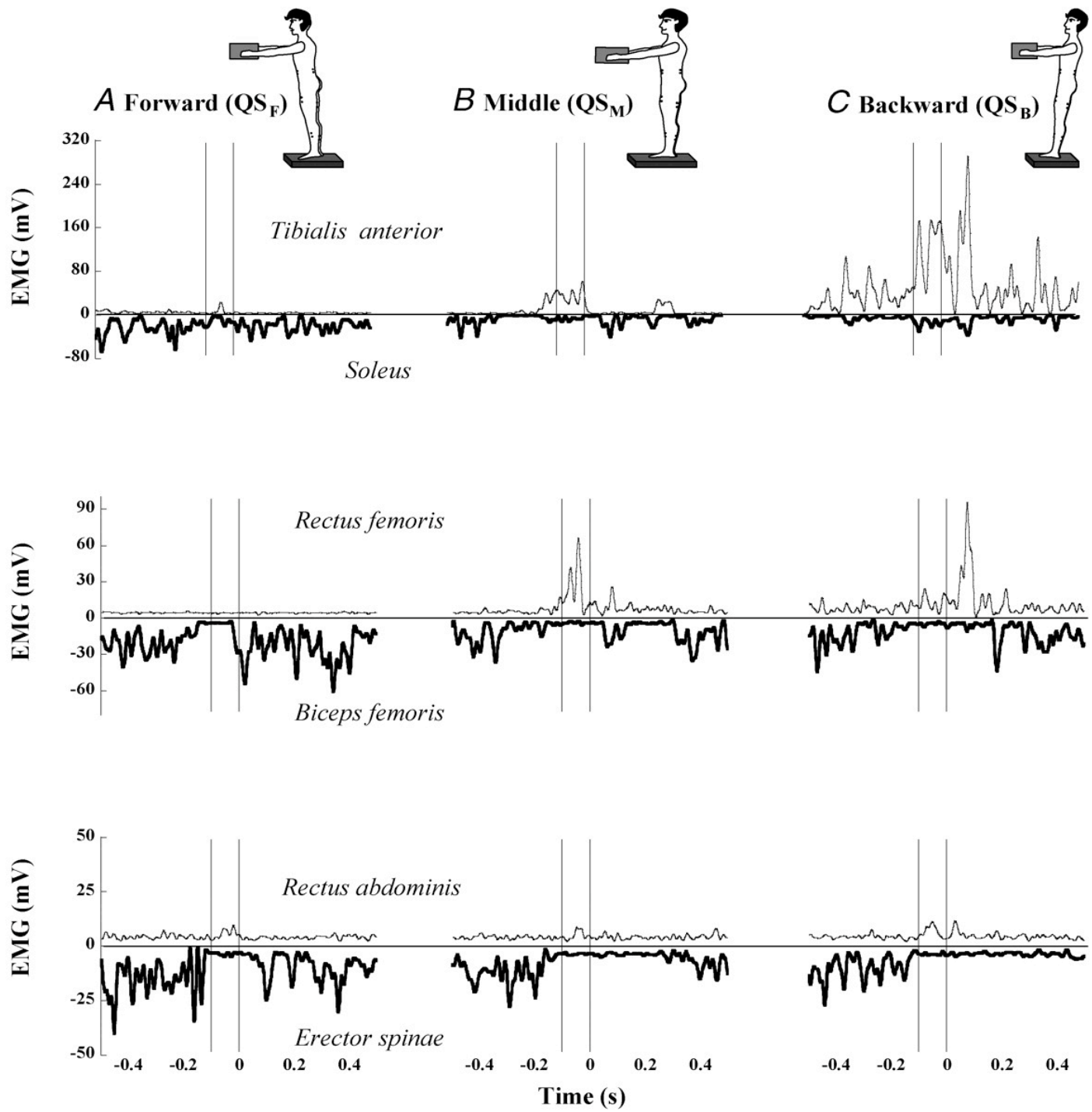
Bicipite femorale

Retto Femorale

Retto addominale

Spinale

Quiet standing

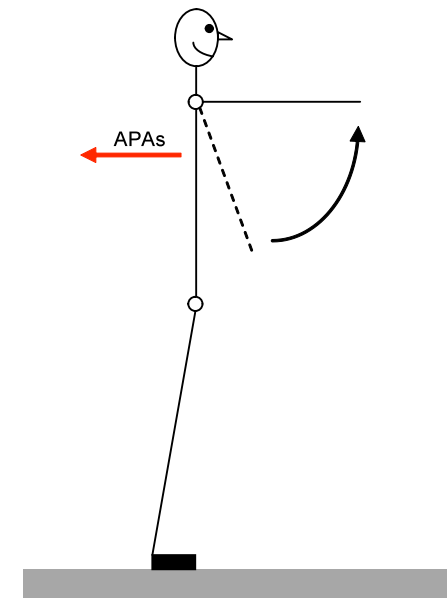
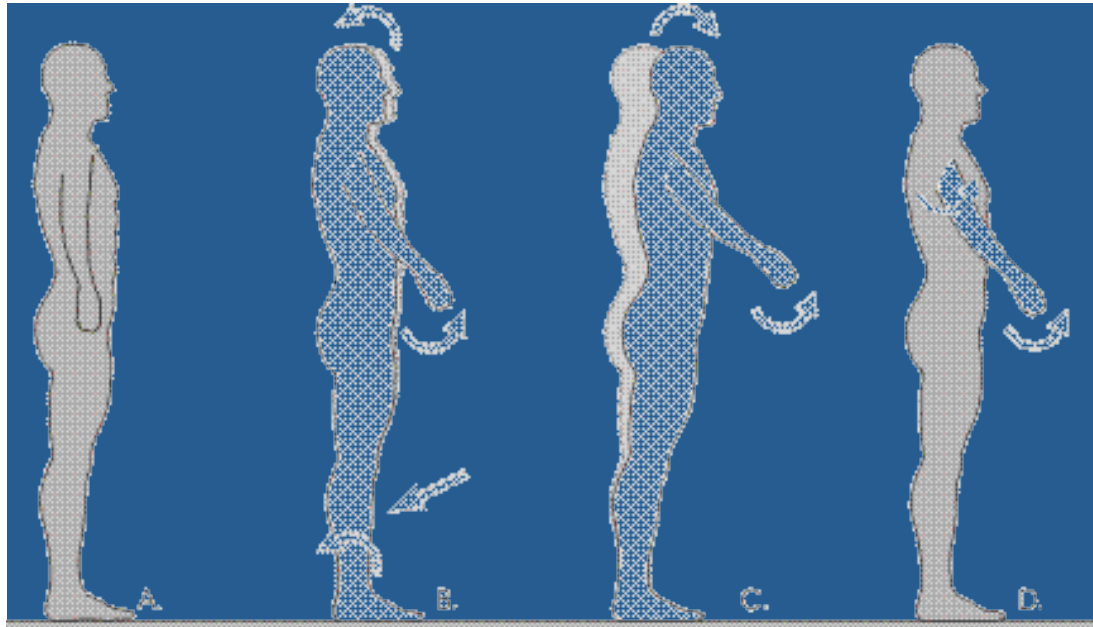


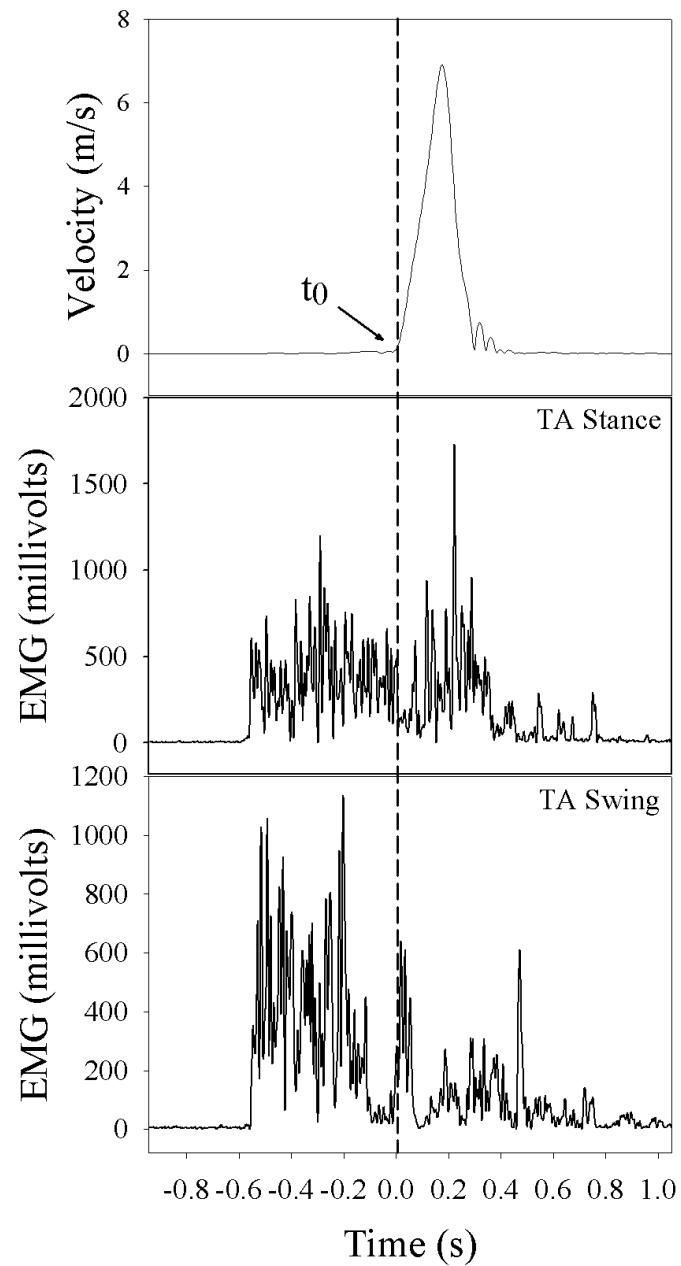


# Aggiustamenti Posturali Anticipati

- ❖ APAs sono contrazioni dei muscoli posturali generate 50-150 ms prima di compiere un movimento volontario veloce che virtualmente potrebbero portare il corpo in una situazione di instabilità
- ❖ Assumono il ruolo di neutralizzare gli effetti meccanici perturbativi attesi dall'esecuzione del movimento stesso tramite controllo a feedforward

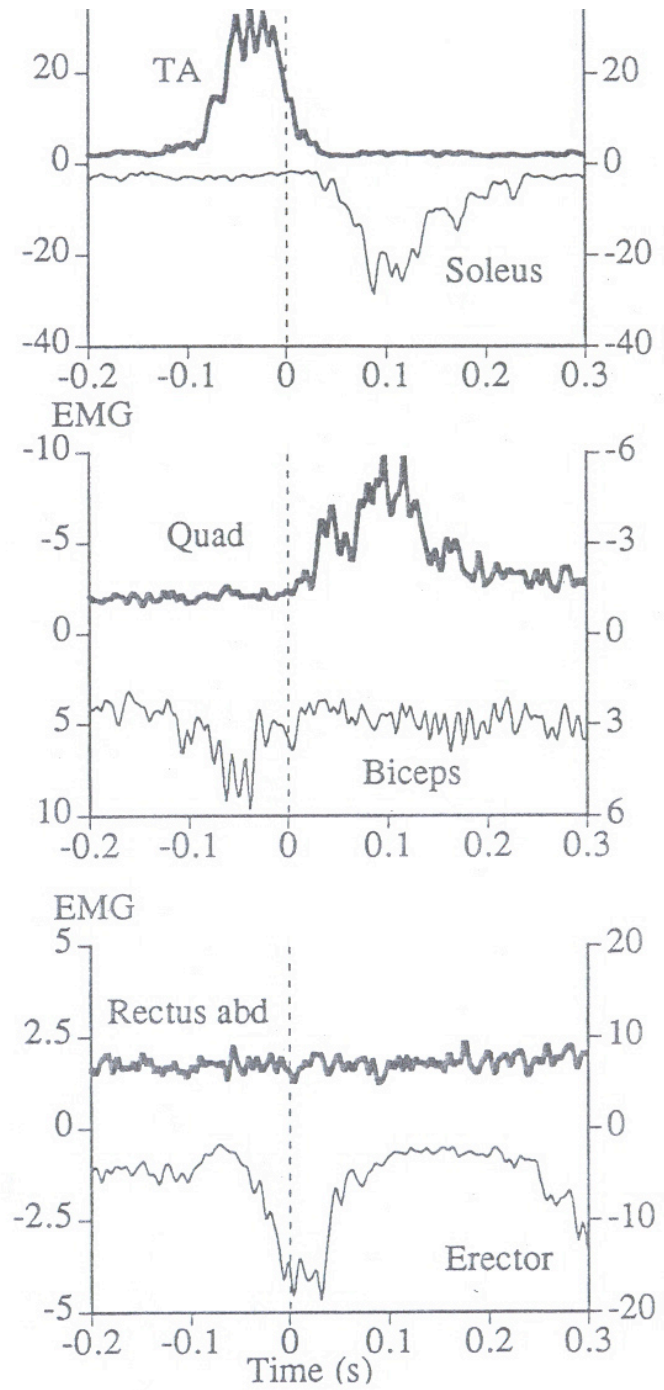
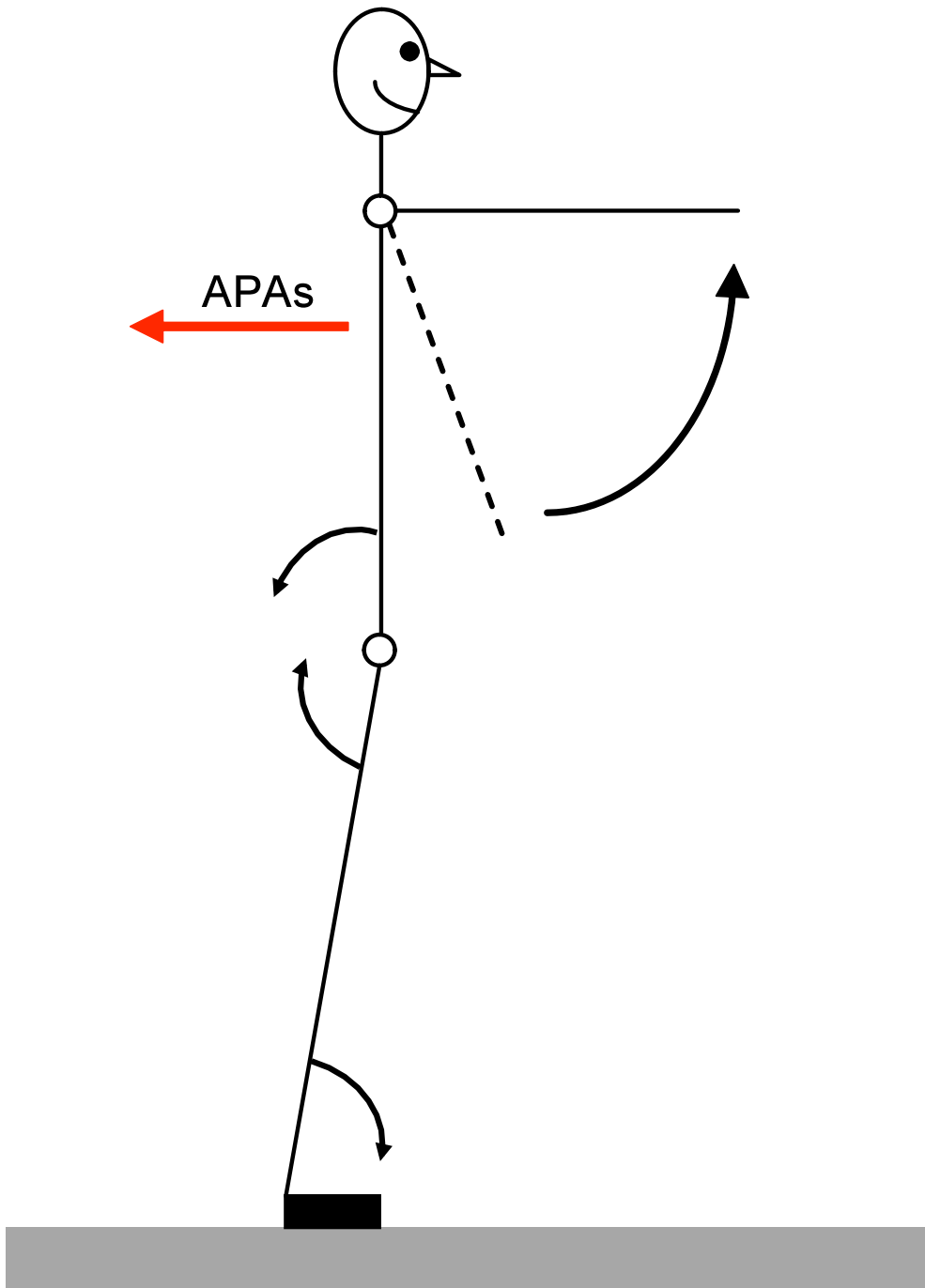
(Belenkiy V.Y., et al, 1967; Bouisset S.M. & Zattara M., 1987; Massion J., 1992,1994; Latash M.L. 1998; Aruin A., 2002)





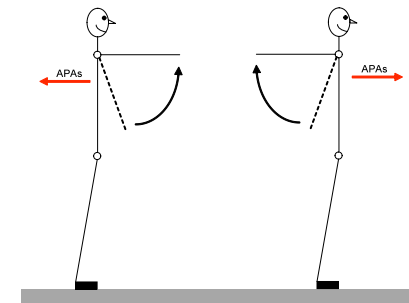
Prima che il movimento inizi  
l'attività muscolare è già  
presente

E' presente per quei muscoli  
posturali che si oppongono alla  
direzione del movimento

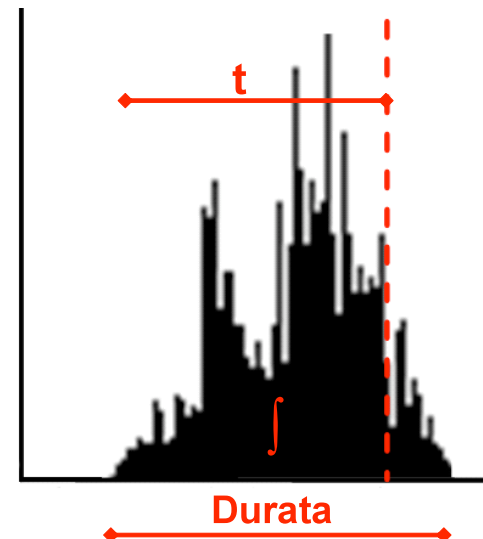


# APAs da che cosa dipendono?

- La loro intensità è proporzionale all'intensità dell'azione motoria/perturbazione esterna (Horak F.B., et al., 1984; Bouisset S.M. & Zattara M., 1987; Aruin A.S. & Latash M.L., 1995a, 1995b, 1996 )
- I muscoli coinvolti sono quelli che si oppongono alla direzione del movimento (Aruin A.S. & Latash M.L., 1995a)
- APAs sono assenti o molto piccoli in condizioni di instabilità (Nardone A. & Schieppati M., 1988; Nouillot P., et al, 1992; Aruin A.S., et al, 1998)
- La loro comparsa, durata e ampiezza è fortemente influenzata da vincoli temporali (Tempo di Reazione) (De Wolf S., et al, 1998; Slijper H., et al, 2002)



- **Insorgenza degli APAs (t)**
- **Durata**
- **Ampiezza (J)**



Gait Posture. 2012 Feb;35(2):282-6. Epub 2011  
Oct 22.

**La paura di cadere è associata a APA prolungati  
prima di iniziare il cammino in persone anziane**

Exp Brain Res. 2012 Aug;220(3-4):311-8. Epub  
2012 Jun 23.

**Afferarre pesi lanciati conosciuti e non  
conosciuti**

**Pesi conosciuti : APA modulano con il peso**

**Pesi non conosciuti: APA costanti**

# L'adattamento del controllo posturale alla locomozione viene appreso con l'esperienza

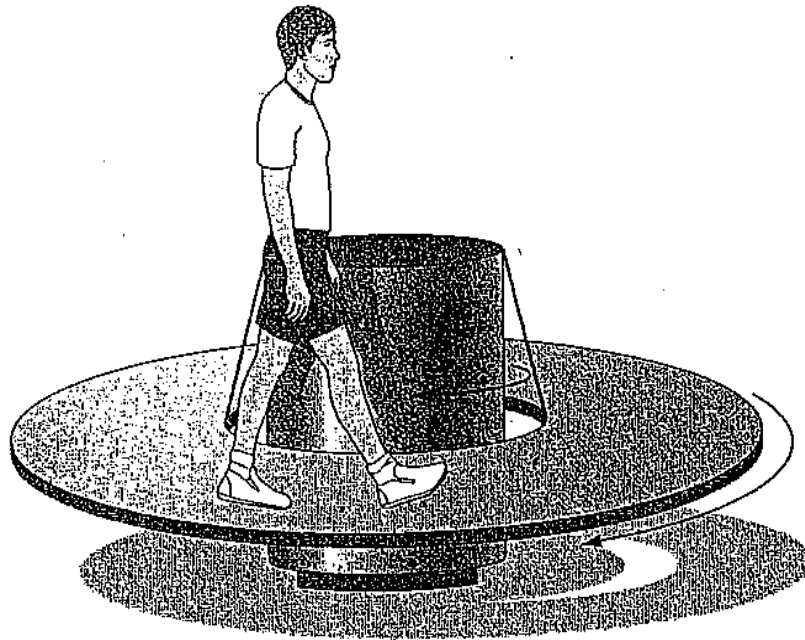
- Per eseguire correttamente questo compito occorre un accurato controllo neuromuscolare della rotazione del tronco sul piano orizzontale rispetto ai piedi in modo da evitare che la traiettoria della camminata sia curva

# Il controllo della camminata adattato alle condizioni ambientali

- Quanto incide l'informazione propriocettiva ottenuta dal cammino?
  - Camminare in cerchio (fig 41.5)

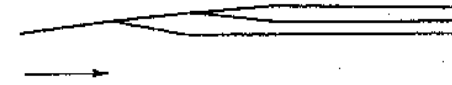


A

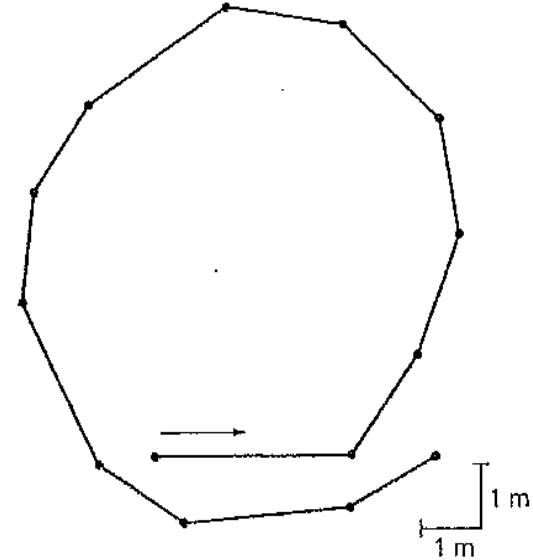


**Figura 41.5** Questo esperimento dimostra l'adattabilità delle componenti posturali della locomozione. I soggetti dovevano inizialmente camminare per 1-2 ore ad occhi aperti su un disco ruotante di forma circolare seguendone il perimetro in modo tale da rimanere fermi (A). Durante questo periodo di tempo il tronco rimaneva fisso nello spazio, mentre i piedi, dovendo ruotare sulla sottostante piattaforma in movimento, si muovevano a velocità angolare costante rispetto alla base di appoggio. Prima dell'esperimento i soggetti erano in grado di camminare dritti in avanti su una superficie stabile anche quando venivano bendati. Dopo essersi adattati a camminare sulla piattaforma rotante, quando venivano bendati, essi non erano più in grado di camminare in avanti seguendo una traiettoria rettilinea ma seguivano invece, *inconsapevolmente*, una traiettoria curva ruotando stabilmente il tronco rispetto al piede di appoggio (B) anche quando la velocità angolare del corpo era ben al di sopra della soglia vestibolare necessaria per risvegliare la sensazione di rotazione. Al contrario, dopo l'adattamento, i soggetti, anche

Traiettoria del cammino prima dell'adattamento



Traiettoria del cammino dopo l'adattamento

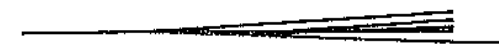


C

Traiettoria della sedia a rotelle prima dell'adattamento



Traiettoria della sedia a rotelle dopo l'adattamento



se bendati, erano in grado di muoversi su una sedia a rotelle guidata manualmente seguendo una traiettoria rettilinea (C). Queste osservazioni dimostrano che l'apprendimento motorio avviene a livello del sistema podocinetico devoluto al controllo sensitivo-motorio della rotazione del tronco rispetto al piede di appoggio.

# Contributi vestibolari e cervicali

- Ruotare tutto il corpo e poi ruotare velocemente il capo
  - Informazioni incongruenti fra i riflessi vestibolari e quelli cervicali

In circostanze normali (senza la rotazione di tutto il corpo) riusciamo a ruotare velocemente la testa senza perdere l'equilibrio

assenza di incongruenza fra i riflessi vestibolari e quelli cervicali

# I riflessi vestibolari e cervicali sono anche sottoposti a controllo volontario

- Riflessi innati:
  - Vestibolocervicali, vestibolospinali, cervico-cervicali, cervico-spinali
- Vestibolocervicale: segnali che arrivano al sistema vestibolare ritrasmettono informazioni sul movimento del capo nello spazio
  - Svolge quindi una funzione importante per stabilizzare il capo nello spazio

# Feedback negativo

- 1- il riflesso vestibolocervicale agisce sui muscoli del collo (in questo modo stabilizza il capo nello spazio)
- 2-la risposta motoria si oppone alla perturbazione e tende ad annullare il segnale vestibolocervicale (feedback negativo)

# I riflessi cervico-cervicali

- Risponde allo stiramento dei muscoli del collo e ai recettori articolari
  - Stabilizza il capo rispetto al tronco ( e non rispetto all'ambiente esterno)
- Quando il tronco è fermo:
  - I riflessi vestibolocervicali e cervico-cervicali collaborano per stabilizzare il capo
- Quando il tronco è in movimento (ruota rispetto al capo)
  - Il riflesso cervico-cerebrale è soppresso e solo il vestibolocervicale stabilizza il capo

# Riflessi innati ma sotto il controllo volontario

- Necessario perchè diversi sono i tipi di movimento

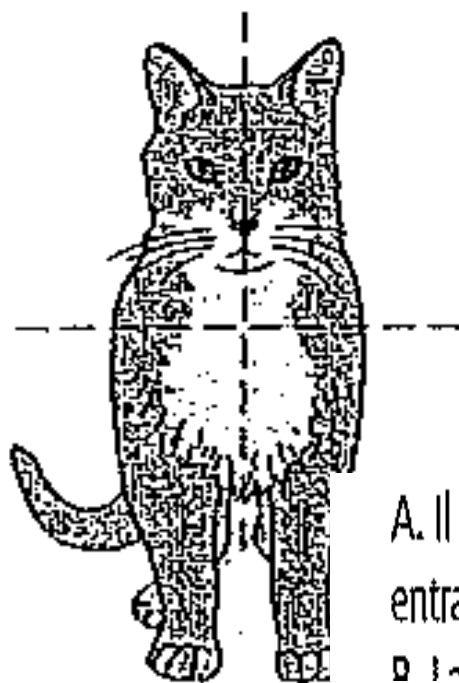
# I riflessi vestibolospinali e cervico spinali cooperano nel mantenimento della stabilità della postura

- Diverse posture includono diverse combinazioni di movimenti
  - Se capo e tronco sono entrambi flessi
    - Il riflesso vestibolospinale provoca la estensione della gamba opposta alla direzione di spostamento e la flessione della gamba omonima (per opporsi alla perturbazione)
  - Se tronco inclinato e capo no
    - Il riflesso cervicospinale si oppone all'inclinazione del tronco

- Se il capo è ruotato e il tronco rimane fisso
  - La risposta di un riflesso si oppone all'altro e la postura rimane stabile
- E' bene rilevare che anche se i riflessi sono innati le loro risposte possono essere modificate o sostituite da risposte diverse ad opera dei centri cerebrali superiori in modo da renderle congruenti al contesto comportamentale



## A Posizione normale

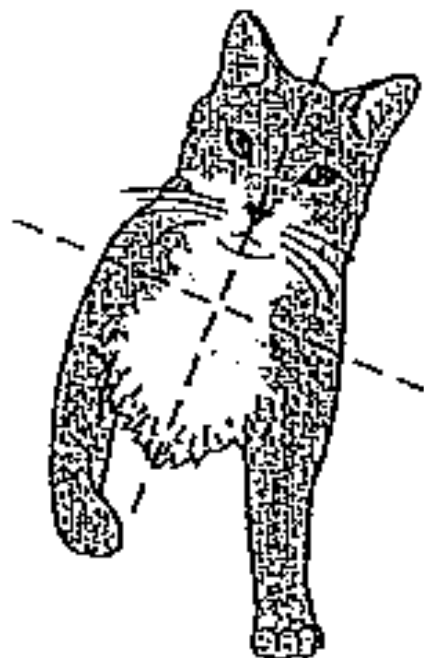


A. Il capo ed il tronco sono in posizione eretta normale e gli arti anteriori sono entrambi estesi.

B. La rotazione passiva verso sinistra sia del capo che del collo provoca

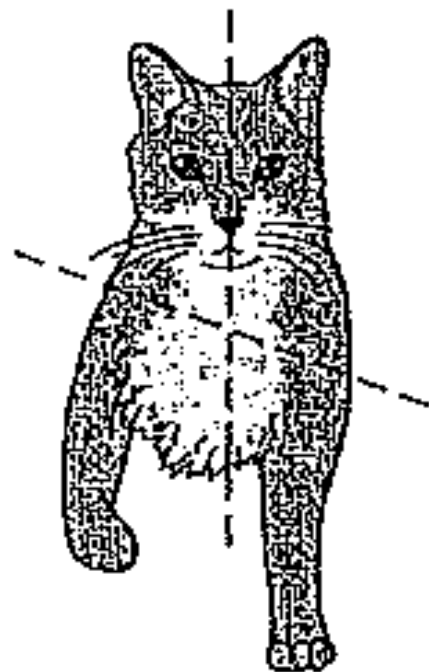
**Figura 41.6** I riflessi vestibolospinale e cervicospinale agiscono in modo sinergico nel mantenimento della postura del corpo, indipendentemente dal fatto che il capo e il tronco si muovano insieme o in modo indipendente.

B Rotazione del capo e del tronco  
(stimolazione vestibolare)



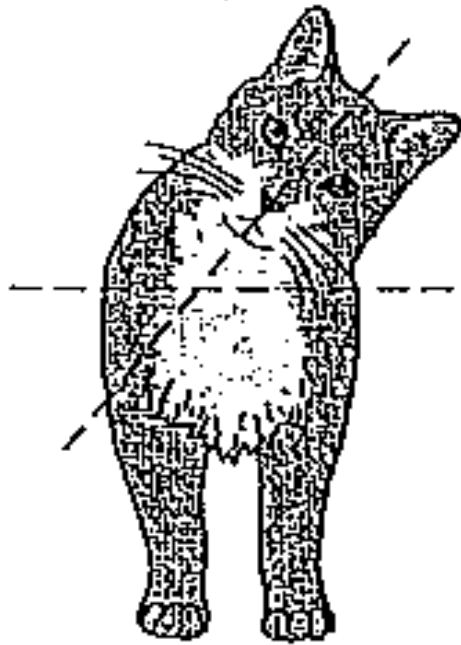
B. La rotazione passiva verso sinistra sia del capo che del collo provoca l'estensione della gamba sinistra e la flessione di quella destra. Questo tipo di risposta riflessa è di origine esclusivamente vestibolare perché non vi è alcun movimento indipendente del capo e del tronco.

C Rotazione isolata del tronco  
(stimolazione cervicale)



C. L'inclinazione del tronco verso sinistra mentre il capo viene tenuto fisso nello spazio produce la stessa risposta comportamentale osservata in B. Tuttavia, in questo caso la risposta riflessa è generata esclusivamente dal riflesso cervicospinale.

D Rotazione isolata del capo  
(stimolazione vestibolare  
e cervicale)



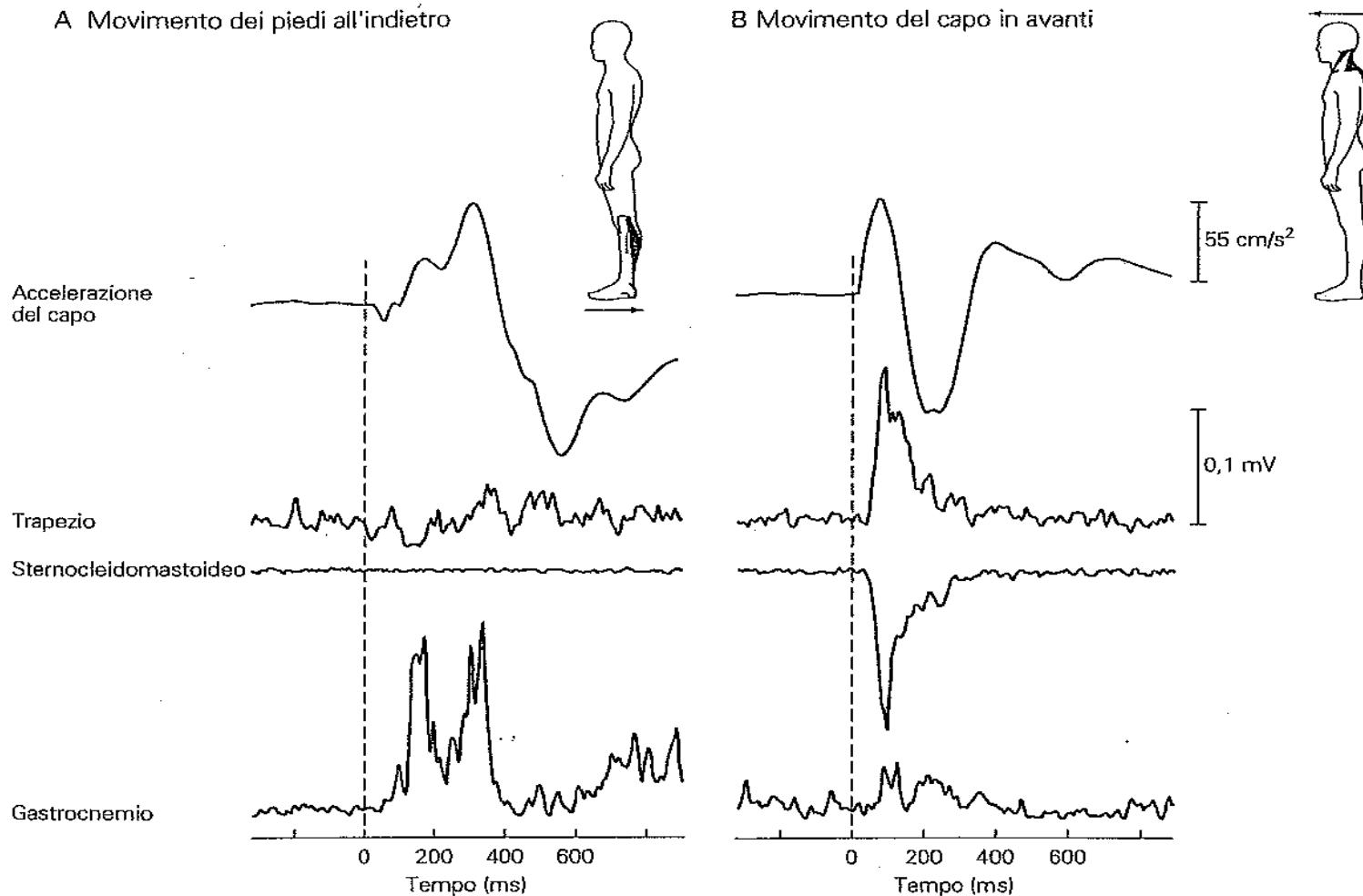
D. Quando il capo viene ruotato sia rispetto alla direzione della forza di gravità che rispetto al tronco, le risposte dei due riflessi sono opposte fra di loro e gli arti rimangono estesi, assicurando il mantenimento dell'equilibrio, e permettendo in tal modo perciò al capo di ruotare rispetto al tronco senza indurre alcuna perturbazione della postura.

# I riflessi e le cadute

- Una caduta improvvisa attiva, estendendoli, i muscoli antigravitazionali degli arti inferiori
  - La latenza di questo riflesso è di circa 100ms
  - Quindi è utile quando si cade da altezze relativamente grandi
  - Questo riflesso è soggetto a controllo centrale basato sulla valutazione della distanza dal suolo
    - Quando la valutazione è errata 100ms sono troppo lunghi per poter aggiustare il tiro ne consegue la caduta

# Il contributo vestibolare al controllo posturale dipende dal tipo di perturbazione che viene applicata

- Cambia se la perturbazione primaria viene applicata sui piedi o sul capo
  - Pazienti con deficit del labirinto vestibolare se ricevono perturbazioni a livello degli arti inferiori non hanno problemi ad attivare strategie di aggiustamento posturale mentre non riescono se la perturbazione è applicata a livello del capo



**Figura 41.7** Il contributo dell'apparato vestibolare agli aggiustamenti posturali è diverso a seconda che la perturbazione primaria agisca sui piedi o sul capo. (Modificata, da Horak e collaboratori, 1994.)

A. Un movimento improvviso dei piedi all'indietro determina la comparsa di una risposta precoce del gastrocnemio, ma non provoca alcuna risposta di rilievo nei muscoli del collo trapezio e sternocleidomastoideo.

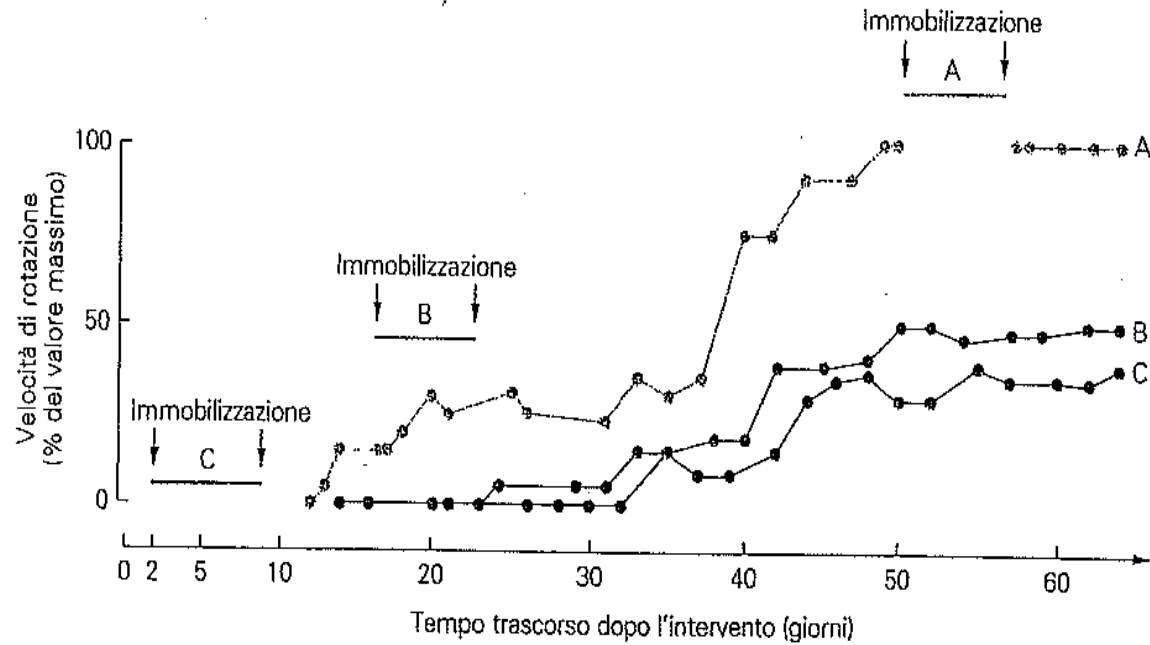
Anche se il capo si muove quando i piedi si spostano, l'attivazione dei recettori vestibolari che ne consegue non può essere responsabile della risposta del gastrocnemio perché la sua latenza è troppo breve. Questa latenza è infatti quella del riflesso da stiramento.

B. Al contrario, un'accelerazione improvvisa del capo ha effetti opposti: un'intensa risposta a breve latenza dei muscoli del collo e nessuna risposta o una risposta di piccola ampiezza nel gastrocnemio.

# La stabilizzazione del capo nello spazio

- Quando camminiamo su di una superficie ristretta (trave) stabilizziamo il capo e oscilliamo le anche per stare in equilibrio
  - Pazienti con deficit labirintici non riescono a farlo





**Figura 41.8** Nei gatti sottoposti ad asportazione unilaterale del labirinto vestibolare il grado di recupero definitivo della capacità di mantenere l'equilibrio dinamico dipende in misura considerevole dal trattamento postoperatorio. Curve di recupero della capacità di camminare su un asse che viene fatto ruotare a velocità diverse. (Le curve si riferiscono al recupero che si osserva a partire da 12 giorni dopo l'intervento chirurgico in quanto prima di questo intervallo temporale i gatti non sono in grado di camminare sull'asse neanche se questo viene mantenuto fermo.) Gli animali liberi

di muoversi recuperano completamente dopo circa 6 settimane di esercizio. Un periodo di una settimana di immobilizzazione dopo il recupero completo non ha alcun effetto (A). Immobilizzando gli animali a metà del periodo di recupero, il grado di quest'ultimo si riduce in misura considerevole (B). Una settimana di immobilizzazione effettuata subito dopo l'intervento riduce il grado *definitivo* di recupero a circa il 40% del suo livello potenziale (C). (Modificata, da Xerri e Lacour, 1980.)

# Apprendimento motorio e controllo del riflesso vestibolo-oculare

- Utilizzo di occhiali che ingrandiscono/rimpiccioliscono la scena
  - Immagini del mondo estero risultano ad es ingrandite
  - La velocità degli oggetti aumenta
  - Non c'è più una perfetta calibrazione fra i movimenti del capo e quelli degli occhi
  - Dopo settimane di utilizzo continuo degli occhiali il sistema si ricalibra

# La visione

- La stabilizzazione dell'occhio rispetto allo spazio operata dal sistema vestibolare permette di determinare quali oggetti sono stabili e quali in movimento
- Se la scena si muove tutta coerentemente il sistema visivo può essere fuorviante

- La stimolazione optocinetica
  - Sensazione illusoria di rotazione
  - Esempio stanza che si muove righe bianche e nere
  - Treno che si muove a fianco a noi

# Correlati percettivi

- Percezioni giocano un ruolo rilevante nel mantenimento delle posture
  - Vedi illusioni
- Come le percezioni reagiscono a movimenti di pezzi di corpo uno rispetto agli altri?
  - Macchinario che fa ruotare il capo il tronco e i piedi in modo indipendente
  - Rilevare quantitativamente le percezioni che il soggetto ha del movimento relativo alle diverse parti del corpo

# Relazioni fra:

- Movimento del tronco rispetto al capo tenuto fermo
  - Definizione della postura tenendo come frame di riferimento il capo
- Movimento dei piedi rispetto al tronco tenuto fermo
  - Definizione della postura tenendo come frame di riferimento il terreno

# Una visione d'insieme

- Il controllo posturale si prefigge lo scopo di orientare le diverse parti del corpo le une rispetto alle altre e rispetto al mondo esterno senza che venga perso l'equilibrio
- La postura deve essere controllata sia quando il corpo è fermo che quando è in movimento
- Il controllo della postura si avvale di movimenti anticipatori (feedforward)

- Le risposte anticipatorie possono essere anche molto complesse (sinergie muscolari)
- Possono essere apprese
- Dopo l'apprendimento diventano automatiche
- Il sistema posturale è anche in grado di reagire a perturbazioni inattese
- Alcune di queste reazioni sono innate altre vengono acquisite con l'apprendimento
- Queste risposte vengono evocate da informazioni a feedback a breve latenza di natura visiva vestibolare e somatosensitiva