

N°18 CENNI DI BIOMECCANICA

TERMINOLOGIA

Prima di poter affrontare una qualsiasi problematica di analisi biomeccanica, è necessario poter disporre di una certa conoscenza di base circa i principi fondamentali di azione muscolare e soprattutto essere padroni di quella terminologia specifica che apparentemente sembra rendere tutto più complicato, mentre in realtà semplifica enormemente sia il lavoro di spiegazione che di comprensione. E' senz'altro più efficace indicare una cosa con un termine tecnico ben preciso ed inequivocabile, piuttosto che con un giro di parole.

In quest'ottica sarà ora indicata la maggior parte dei vocaboli utilizzati in seguito per la descrizione delle varie azioni motorie prese in esame.

- 1) **ABDUZIONE:** movimento di un segmento corporeo (arti superiori o inferiori) che si allontana dalla linea mediana del corpo.
- 2) **ADDUZIONE:** movimento di un segmento corporeo che si avvicina alla linea mediana del corpo (movimento opposto all'abduzione).
- 3) **ANTIVERSIONE:** tipico movimento del bacino che consiste in una rotazione in avanti-basso delle creste iliache, contrapposta a quella in dietro-alto della zona coccigea.
- 4) **CIRCONDUZIONE:** passaggio diretto e continuo di un segmento corporeo per quattro posizioni diametralmente opposte in modo che il punto più lontano del segmento descriva una circonferenza.
- 5) **DIVARICATA:** allontanamento reciproco degli arti inferiori in direzioni opposte sul piano frontale o su quello sagittale (per le definizioni dei piani e assi del corpo umano vedere capitolo successivo).
- 6) **ELEVAZIONE:** passaggio lento degli arti superiori o inferiori dal basso verso l'alto.
- 7) **ESTENSIONE:** passaggio degli arti o del busto da una posizione breve o semibreve ad una lunga, in attitudine di sospensione (senza punti di appoggio).
- 8) **FLESSIONE:** passaggio degli arti o del busto da una posizione lunga ad una breve o semibreve, in attitudine di sospensione (movimento opposto all'estensione).
- 9) **INCLINAZIONE:** movimento lento del busto in atteggiamento lungo per spostarsi dalla sua linea verticale a quella orizzontale. E' un movimento a carico delle articolazioni coxo-femorali, da non confondere con la flessione del busto, che è a carico delle articolazioni tra vertebra e vertebra di tutto il rachide.
- 10) **OSCILLAZIONE:** movimento pendolare degli arti in attitudine di sospensione.
- 11) **PIEGAMENTO:** passaggio degli arti superiori o inferiori da un atteggiamento lungo ad uno breve, in attitudine di appoggio.
- 12) **PRONAZIONE:** movimento di rotazione verso l'interno (intrarotazione) tipico delle mani quando si volgono i palmi verso il basso.

- 13) **RETRAZIONE**: movimento dell'addome che si sposta all'interno, diventando concavo per azione del muscolo Trasverso dell'addome. Si definisce retrazione anche il movimento del capo che si sposta all'indietro, appiattendolo la parte cervicale del rachide.
- 14) **RETROVERSIONE**: tipico movimento del bacino che consiste in una rotazione in dietro-alto delle creste iliache, contrapposta a quella in avanti-basso della zona coccigea. Si ottiene mediante la contrazione di Addominali e Grandi Glutei.
- 15) **RADDRIZZAMENTO**: passaggio degli arti superiori o inferiori da un atteggiamento breve o semibreve ad uno lungo, in attitudine di appoggio.
- 16) **SLANCIO**: passaggio rapido degli arti superiori o inferiori da una posizione in atteggiamento lungo ad un'altra posizione sempre in atteggiamento lungo.
- 17) **SUPINAZIONE**: movimento di rotazione esterna tipico dell'arto superiore, che si effettua per portare le palme delle mani verso l'alto.
- 18) **TORSIONE**: movimento di rotazione tipico del busto e del capo, che si sviluppa attorno all'asse longitudinale del corpo (per le definizioni dei piani e assi del corpo umano vedere capitolo successivo).

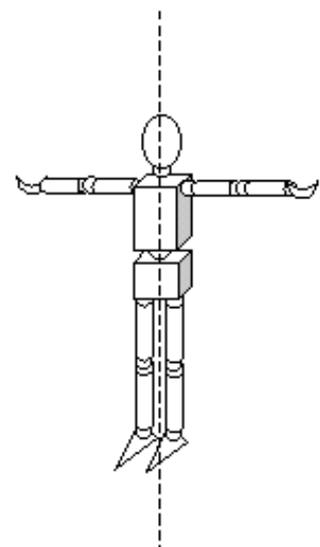
ASSI E PIANI DEL CORPO UMANO

Analizzando un qualsiasi movimento o una postura, oltre all'uso appropriato di una terminologia tecnica specifica, è assolutamente indispensabile utilizzare dei punti di riferimento in base ai quali poter descrivere l'evoluzione del gesto motorio oggetto dell'analisi. Avremo quindi la necessità di puntualizzare un sistema di coordinate spaziali, oppure, molto più semplicemente, degli assi attorno ai quali si svilupperanno movimenti di rotazione e dei piani sui quali avverranno degli spostamenti.

ASSE LONGITUDINALE

Definiamo asse longitudinale del corpo una linea con direzione alto-basso, che attraversa quindi il corpo dalla testa ai piedi.

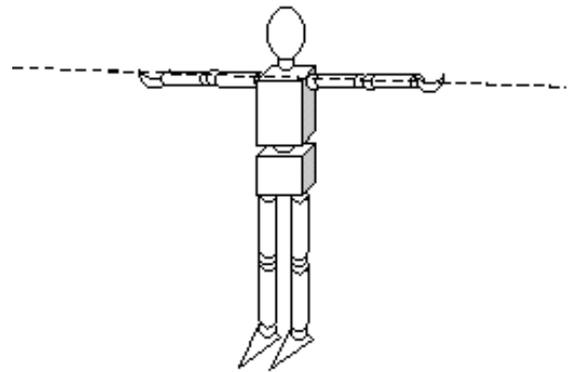
Esempio pratico: se eseguo dei saltelli a piedi uniti sul posto, posso dire di aver compiuto delle elevazioni sull'asse longitudinale del corpo, mentre se eseguo una piroetta facendo perno su un piede, posso dire di aver compiuto una rotazione attorno all'asse longitudinale del corpo.



ASSE TRASVERSALE

Definiamo asse trasversale del corpo una linea con direzione destra-sinistra, che attraversa quindi il corpo da una spalla all'altra.

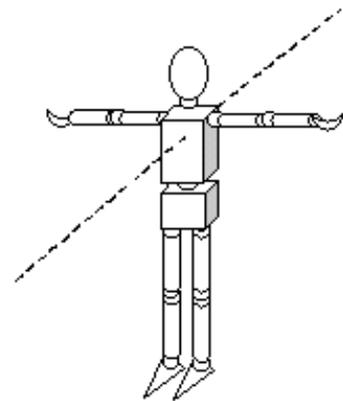
Esempio pratico: se eseguo un passo a destra o a sinistra, posso dire di aver compiuto uno spostamento laterale lungo l'asse trasversale del corpo, mentre se eseguo una capovolta avanti o indietro, posso dire di aver compiuto una rotazione attorno all'asse trasversale del corpo.



ASSE SAGITTALE

Definiamo asse sagittale del corpo una linea con direzione avanti-dietro, che attraversa quindi il corpo dal petto alla schiena.

Esempio pratico: se eseguo dei passi in avanti o all'indietro, posso dire di aver compiuto uno spostamento lungo l'asse sagittale del corpo, mentre se eseguo un movimento tipico della ginnastica come la ruota, posso dire di aver compiuto una rotazione attorno all'asse sagittale del corpo.

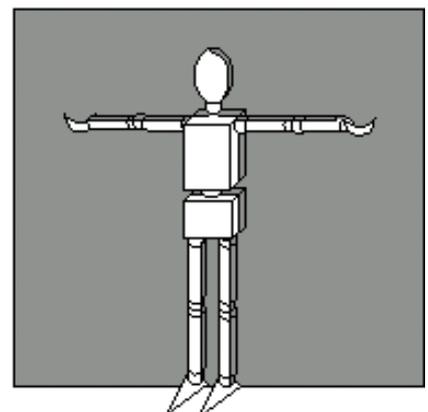


PIANO FRONTALE

Definiamo piano frontale quel piano individuato dall'asse longitudinale e da quello trasversale.

Suddivide il corpo in una parte anteriore e in una posteriore.

Esempio pratico: se eseguo dei saltelli laterali, posso dire di aver compiuto delle traslocazioni lungo l'asse trasversale e sul piano frontale.

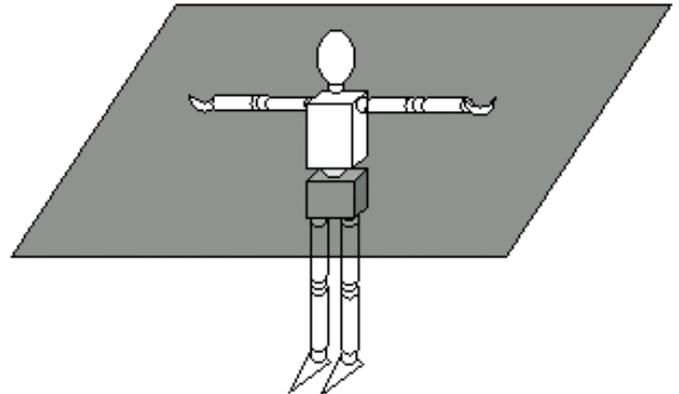


PIANO TRASVERSALE

Definiamo piano trasversale quel piano individuato dall'asse trasversale e da quello sagittale.

Suddivide il corpo in una parte superiore e in una inferiore.

Esempio pratico: se eseguo delle torsioni del busto con le braccia in fuori, posso dire che le braccia sono allineate lungo l'asse trasversale e si muovono sul piano trasversale.

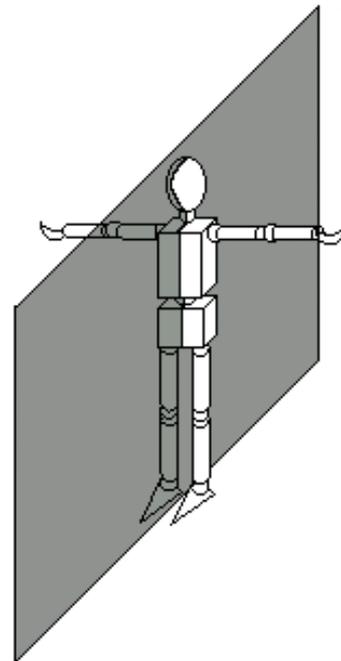


PIANO SAGITTALE

Definiamo piano sagittale quel piano individuato dall'asse longitudinale e da quello sagittale.

Suddivide simmetricamente il corpo in una parte destra e una sinistra.

Esempio pratico: se eseguo delle oscillazioni con le braccia tipiche della marcia militare, posso dire di aver compiuto delle oscillazioni con gli arti superiori sul piano sagittale.



E' chiaro che solo pochi movimenti si possono eseguire sui piani e lungo gli assi sopraddetti, infatti tali gesti motori vengono definiti "semplici".

Vista la complessità e la varietà delle articolazioni del corpo umano, parleremo di gesti motori "complessi" quando si sommano più movimenti semplici lungo assi e su piani intermedi a quelli codificati.

Come già accennato nella premessa, tutta questa terminologia strettamente tecnica potrebbe sembrare leziosa e inutile, ma con l'accumularsi di argomentazioni trattate, la precisione e la chiarezza espositiva saranno condizione necessaria e sufficiente per la comprensione.

LE LEVE

Eeguire un movimento significa compiere degli spostamenti dei vari segmenti corporei mediante delle flessioni o estensioni a carico delle articolazioni del corpo umano.

Il motore primario che ci consente di realizzare tali manovre è la contrazione muscolare, la capacità cioè di accorciamento delle fibre muscolari, che trasformano l'energia chimica in energia meccanica. Lasciamo perdere l'analisi della fisiologia della contrazione muscolare, per focalizzare l'attenzione sugli aspetti più "meccanici" della questione.

I muscoli si inseriscono mediante dei tendini (strutture di tessuto connettivo quasi completamente inestensibili) alle ossa, passando a ponte su un'articolazione (muscolo monoarticolare) o due articolazioni (muscolo biarticolare); quindi la loro contrazione (accorciamento) provocherà l'avvicinamento di due segmenti ossei incernierati tra loro da un'articolazione. La struttura scheletrica si comporterà quindi come la macchina più semplice, la leva, e sarà di conseguenza assoggettata alle leggi della fisica che ne codificano il funzionamento.

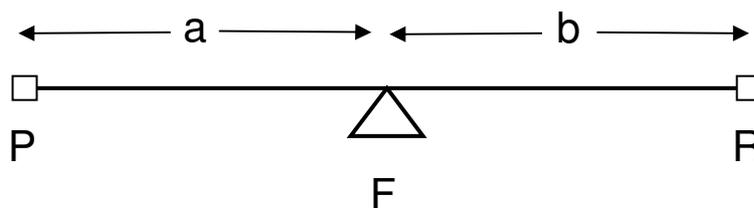
Prima di parlare delle leve scheletriche, è bene fare un passo indietro e definire con esattezza i vari tipi di leva in Fisica.

Con il termine leva, intendiamo indicare una macchina semplice, in grado di equilibrare una forza, detta RESISTENZA, con un'altra forza chiamata POTENZA; è costituita da una sbarra rigida con un asse fisso, detto FULCRO. Ad essa sono applicate due forze, la resistenza e la potenza.

A seconda della reciproca posizione del fulcro, della potenza e della resistenza, possiamo avere tre tipi di leve:

LEVA DI 1° GENERE

Definiamo una leva di 1° genere quando il fulcro F si trova tra la resistenza R e la potenza P.



La condizione di equilibrio è espressa dall'eguaglianza dei momenti della potenza e della resistenza rispetto al fulcro, secondo la formula:

$$P \text{ (potenza)} \times a \text{ (braccio della potenza)} = R \text{ (resistenza)} \times b \text{ (braccio della resistenza)}$$

Cioè le due forze applicate sono inversamente proporzionali ai loro bracci.

Pertanto, se $a > b$, risulta $P < R$ e la leva è VANTAGGIOSA

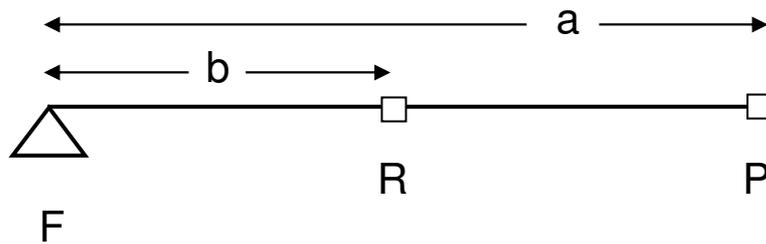
se $a < b$, risulta $P > R$ e la leva è SVANTAGGIOSA

se $a = b$, risulta $P = R$ e la leva è INDIFFERENTE

Esempi di leve di primo genere sono le forbici e la bilancia.

LEVA DI 2° GENERE

Definiamo una leva di 2° genere quando la resistenza R si trova tra il fulcro F e la potenza P.



La condizione di equilibrio è sempre espressa dalla formula:

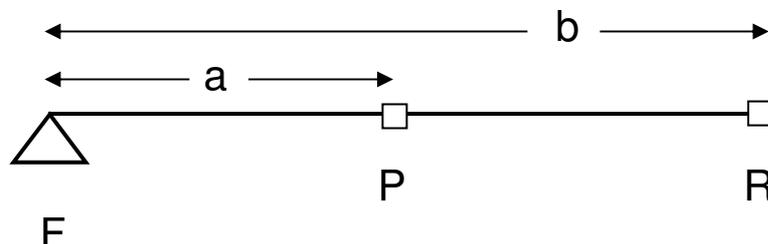
$$P \times a = R \times b$$

Però, considerando che comunque si posizioni la resistenza R rispetto al fulcro F, il braccio della potenza a sarà sempre $>$ del braccio della resistenza b; ne consegue che la leva di 2° genere è sempre VANTAGGIOSA.

Esempi di leve di secondo genere sono lo schiaccianoci e la carriola.

LEVA DI 3° GENERE

Definiamo una leva di 3° genere quando la potenza P si trova tra il fulcro F e la resistenza R.



La condizione di equilibrio è sempre espressa dalla formula:

$$P \times a = R \times b$$

Però, considerando che comunque si posizioni la potenza P rispetto al fulcro F, il braccio della potenza a sarà sempre $<$ del braccio della resistenza b; ne consegue che la leva di 3° genere è sempre SVANTAGGIOSA.

Esempi di leve di terzo genere sono le pinzette da orologiaio o le molle per prendere la brace nel camino.

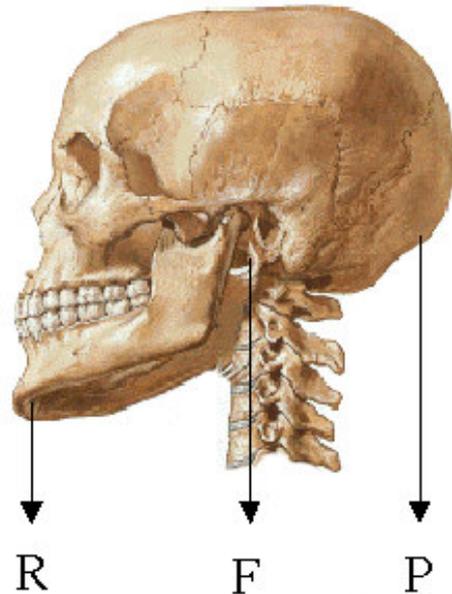
LE LEVE SCHELETRICHE

A questo punto andiamo a considerare, nella meccanica dell'apparato muscolo-scheletrico, i vari tipi di leva che possiamo individuare, tenendo presente che il fulcro sarà sempre collocato nell'articolazione interessata al movimento, la resistenza sarà determinata dal peso del segmento osseo che si dovrà spostare o in determinate situazioni dal peso del corpo, mentre la potenza sarà collocata nel punto di inserzione del muscolo sul segmento osseo considerato.

LEVA DI 1° GENERE

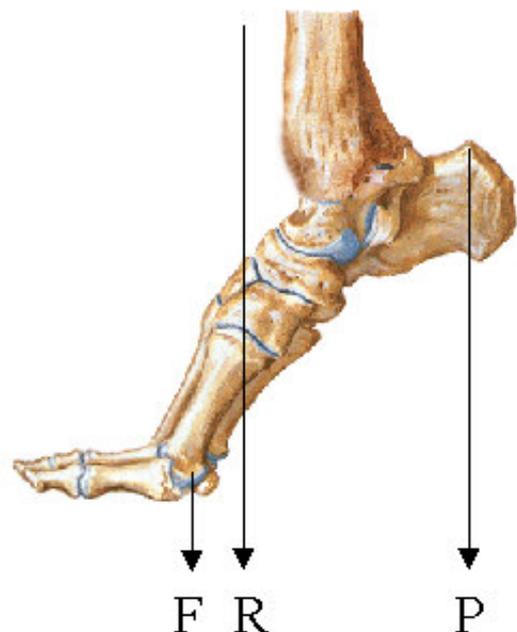
E' molto rara nel corpo umano e l'esempio più significativo è rappresentato dal cranio.

Come si può vedere nella figura accanto, il fulcro è determinato dall'articolazione atlanto-occipitale (che unisce l'osso occipitale del cranio con la prima vertebra cervicale, detta atlante); la resistenza è determinata dal peso del capo che, senza alcun supporto di tipo muscolare, tenderebbe a flettersi in avanti; la potenza è situata sulla protuberanza occipitale esterna, dove si inseriscono i principali muscoli estensori del collo (fasci superiori del Trapezio, Splenio, Semispinale, Lunghissimo della testa, Lunghissimo del collo, Retto posteriore, ecc.)



LEVA DI 2° GENERE

Come nel caso delle leve di primo genere, è piuttosto rara nelle principali articolazioni del corpo umano e l'esempio più significativo è rappresentato dal movimento di elevazione sull'avampiede. Come si può vedere nella figura accanto, il fulcro si posiziona nell'articolazione metatarso-falangea; la resistenza è determinata dal peso del corpo, il cui baricentro tende a cadere, in questa posizione, anteriormente all'articolazione tibio-tarsica (caviglia); la potenza è situata sul calcagno, dove, tramite il tendine di Achille, si inserisce il muscolo Tricipite Surale (formato da Gemelli e Soleo), principale flessore plantare del piede sotto carico.



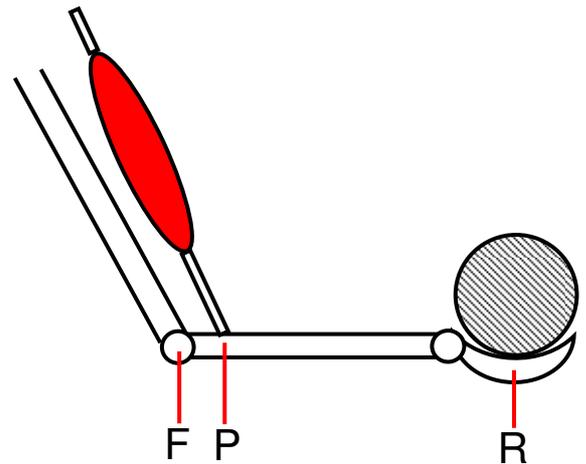
LEVA DI 3° GENERE

Come si può facilmente intuire per motivi di semplice esclusione, le leve di terzo genere offrono il maggior numero di casistiche nel corpo umano, per cui prenderemo come esempio due movimenti tra i più semplici:

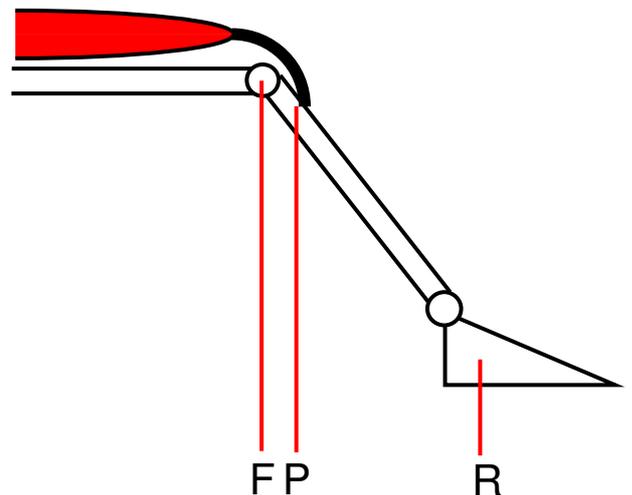
A) flessione dell'avambraccio sul braccio.

B) estensione della gamba sulla coscia.

A) Come si può vedere nella figura accanto, il fulcro è determinato dall'articolazione del gomito; la resistenza è determinata dal peso dell'avambraccio (nella figura è stato aggiunto un sovraccarico sulla mano); la potenza è situata sulla tuberosità del radio, dove si inserisce il muscolo Bicipite brachiale, uno dei principali flessori dell'avambraccio sul braccio.



B) Come si può vedere nella figura accanto, il fulcro si posiziona nell'articolazione del ginocchio; la resistenza è determinata dal peso della gamba (per gamba si intende quella parte dell'arto inferiore che va dal ginocchio al piede); la potenza è situata sulla tuberosità antero-superiore della tibia dove, tramite il legamento della patella (rotula), si inserisce il muscolo Quadricipite, principale estensore della gamba sulla coscia, soprattutto con la sua parte più superficiale detta Retto Femorale.



A questo punto, fornito il quadro completo dei leveraggi articolari, iniziamo a fare alcune considerazioni.

La prima cosa che dovrebbe saltare all'occhio, è il fatto che quasi tutte le leve del corpo umano sono di terzo genere e quindi, come precedentemente spiegato, meccanicamente svantaggiose. Ciò significa che ogni volta che dobbiamo compiere un gesto motorio qualsiasi, la forza che dovremo applicare sarà sempre superiore alla resistenza opposta dal peso che dobbiamo spostare.

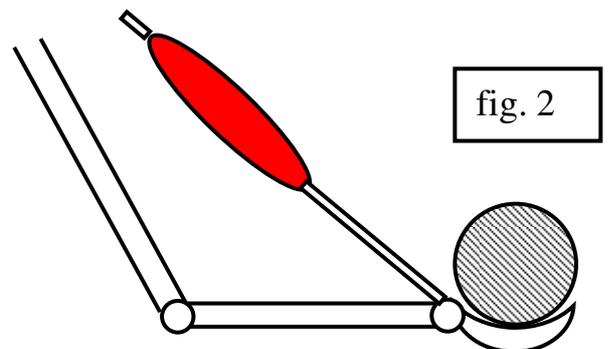
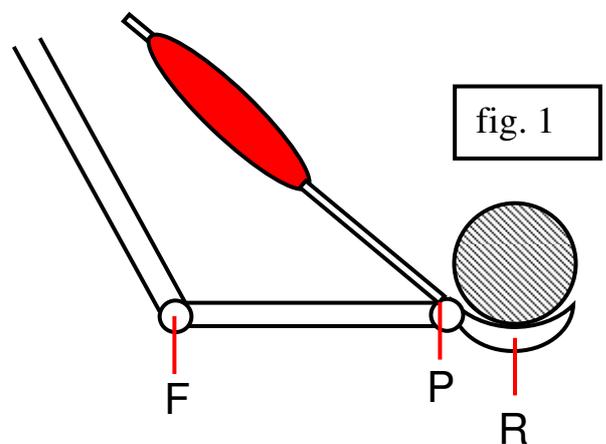
Questo fatto mette letteralmente in crisi coloro che, a giusta ragione, considerano il corpo umano come una macchina perfetta, frutto di una evoluzione selettiva che ha portato i primi microrganismi apparsi sul pianeta prima nell'ambiente marino e poi sulla terraferma, prima strisciando, poi camminando e infine ragionando.

Come può l'uomo aver superato enormi problematiche di sopravvivenza con un meccanismo muscolare inadatto, anzi del tutto svantaggioso?

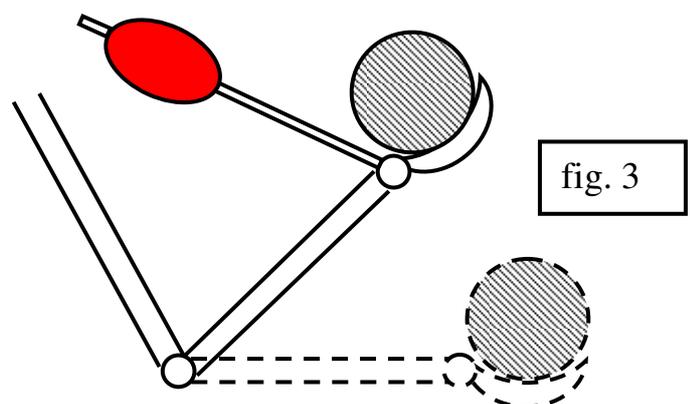
E' logico che per sollevare un peso di 10 kg si debba applicare una forza di 15 kg?

Osserviamo la figura 1 qui a lato: è stato immaginato un ipotetico muscolo che, per ridurre al minimo lo svantaggio meccanico derivante da un braccio della potenza troppo corto, si trova inserito non sulla tuberosità radiale, bensì sul polso.

In questo modo il braccio della potenza sarebbe quasi uguale a quello della resistenza, quindi per sollevare il peso di 10 kg basterebbe applicare una forza leggermente superiore.



Osserviamo ora le figure 2 e 3: per passare dalla posizione 2 a quella 3, il muscolo Bicipite brachiale dovrebbe accorciare le sue fibre di circa la metà della loro lunghezza.



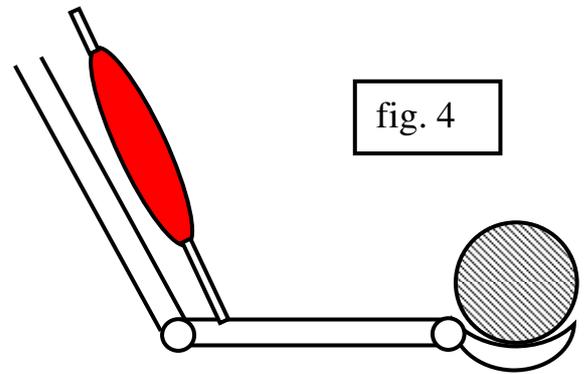


fig. 4

Nella situazione anatomicamente normale, come possiamo vedere nelle figure 4 e 5, è invece sufficiente un minimo accorciamento per ottenere lo stesso spostamento.

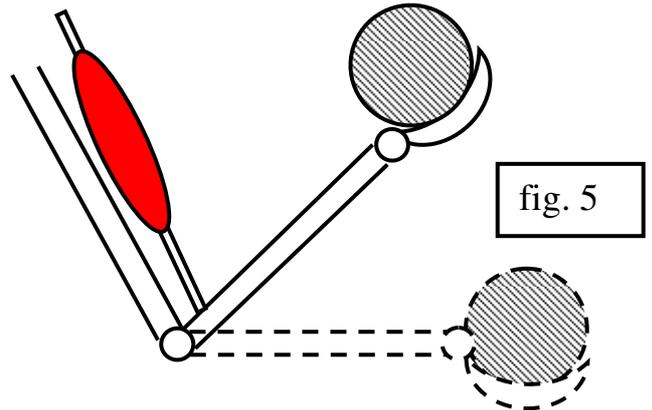


fig. 5

Ne consegue che, a parità di velocità di contrazione, il tempo impiegato per passare dalla posizione di partenza a quella di arrivo è decisamente inferiore e quindi, considerando la formula

$$V = S / T$$

dove V è la velocità, S lo spostamento e T il tempo impiegato, la leva di 3° genere sarà sì SVANTAGGIOSA, ma PIÙ VELOCE di una di 2° genere.

Ma quale vantaggio possiamo avere da un incremento della velocità?

Per capirlo dobbiamo fare un passo indietro e fare alcune considerazioni sui principi della Meccanica.

La legge fondamentale della Dinamica dice:

La forza applicata ad un corpo libero di muoversi nella direzione della forza, è uguale al prodotto della massa del corpo per l'accelerazione che esso subisce.

Espresso in formula diventa: $F = m a$

dove F è la Forza, m la massa del corpo e a l'accelerazione.

Il concetto puro di Forza si limita a chiarire che la sua applicazione ad un corpo ne produce una semplice variazione di velocità (accelerazione), mentre noi siamo abituati a considerare ogni

sforzo fisico come un Lavoro; si lavora infatti per spostare, sollevare, trascinare, spingere, ecc. e maggiore è lo spostamento, maggiore sarà il lavoro compiuto. Infatti possiamo dare la seguente definizione:

Il lavoro di una forza F , applicata ad un punto che subisce uno spostamento nella stessa direzione della forza, è uguale al prodotto dell'intensità F della forza per il modulo s dello spostamento.

Espresso in formula diventa:

$$L = F s$$

A questo punto possiamo introdurre un altro concetto mediante la definizione:

La POTENZA W di una forza costante F applicata ad un punto è uguale al rapporto tra il lavoro compiuto dalla forza e l'intervallo di tempo impiegato a compierlo.

Espresso in formula diventa:

$$W = L / t$$

ma siccome $L = F s$, sostituendo diventa

$$W = F s / t$$

ma, essendo $s / t = V$ (formula della velocità), sostituendo abbiamo

$$W = F V$$

Quindi possiamo dire che:

La Potenza W di una forza costante applicata ad un punto è uguale al prodotto dell'intensità della forza F per la velocità V .

Cerchiamo di spiegare questo concetto con un esempio molto semplice: si deve sollevare una cassa di mele del peso di 30 kg e porla su un ripiano all'altezza di 1 m.

Un uomo potrebbe compiere tale lavoro molto velocemente, in quanto è in grado di sollevare la cassa di mele in una sola volta, mentre un bambino, sollevando prima poche mele alla volta e poi la cassa vuota, eseguirebbe alla fine lo stesso lavoro, ma in un tempo più lungo.

E' quindi determinante, ai fini di un rendimento, il tempo in cui un certo lavoro viene compiuto; anche la "macchina umana" funziona seguendo questi principi, per cui

Tutte le volte che si compie un gesto motorio andremo a considerare non tanto la forza, quanto la potenza usata.

Concludendo, essendo quasi tutte le leve del corpo umano del terzo genere, favoriranno l'incremento della velocità e quindi di conseguenza della potenza.

RUOLO DEI MUSCOLI

Tralasciando l'intima struttura delle cellule muscolari e il loro funzionamento da un punto di vista biochimico, diciamo semplicemente che un muscolo, contraendosi, produce un movimento, per cui sembrerebbe facile munirsi di un buon testo di anatomia sul quale individuare, per ogni muscolo preso in esame, la relativa azione.

Purtroppo non è così semplice, infatti una cosa è partire da un muscolo per arrivare al movimento, un'altra cosa è partire da un movimento per arrivare ai muscoli implicati.

Innanzitutto diciamo che i muscoli possono agire in quattro diversi ruoli, e cioè come **PROTAGONISTI**, **ANTAGONISTI**, **SINERGICI** e **FISSATORI**.

PROTAGONISTI

Definiamo protagonista un muscolo quando, in un certo movimento, la sua azione anatomica corrisponde al gesto motorio compiuto.

Per esempio, nella flessione dell'avambraccio sul braccio protagonista del movimento è il muscolo bicipite brachiale, infatti, consultando un testo di anatomia, scopriremo che l'azione del bicipite brachiale è proprio quella di flettere e supinare l'avambraccio sul braccio.

ANTAGONISTI

Definiamo antagonista un muscolo quando, in un certo movimento, la sua azione si oppone a quella del muscolo protagonista o in altre parole, compie l'azione opposta.

Sempre nell'esempio della flessione dell'avambraccio sul braccio, se il protagonista è il bicipite brachiale, l'antagonista è il muscolo tricipite brachiale, la cui azione è quella di estendere l'avambraccio sul braccio.

SINERGICI

Definiamo sinergici quei muscoli la cui azione si somma a quella del protagonista, incrementandone la forza e affinando il movimento.

Sempre nel solito esempio della flessione dell'avambraccio sul braccio, sono sinergici del muscolo bicipite brachiale il brachiale anteriore e il brachioradiale.

FISSATORI

Definiamo fissatori quei muscoli che, inserendosi sullo stesso segmento osseo sul quale si inserisce il protagonista, con la loro contrazione tengono fermo tale segmento, permettendo al protagonista di compiere la propria azione.

Per esempio prendiamo l'azione di flessione degli arti inferiori sul busto, in pratica quando, in attitudine di sospensione, si portano le gambe a squadra.

Facciamo un'analisi muscolare completa del movimento:

PROTAGONISTA: Muscolo Ileo-Psoas.

SINERGICI: Retto femorale (capo lungo del Quadricipite), Sartorio, Tensore della Fascia Lata.

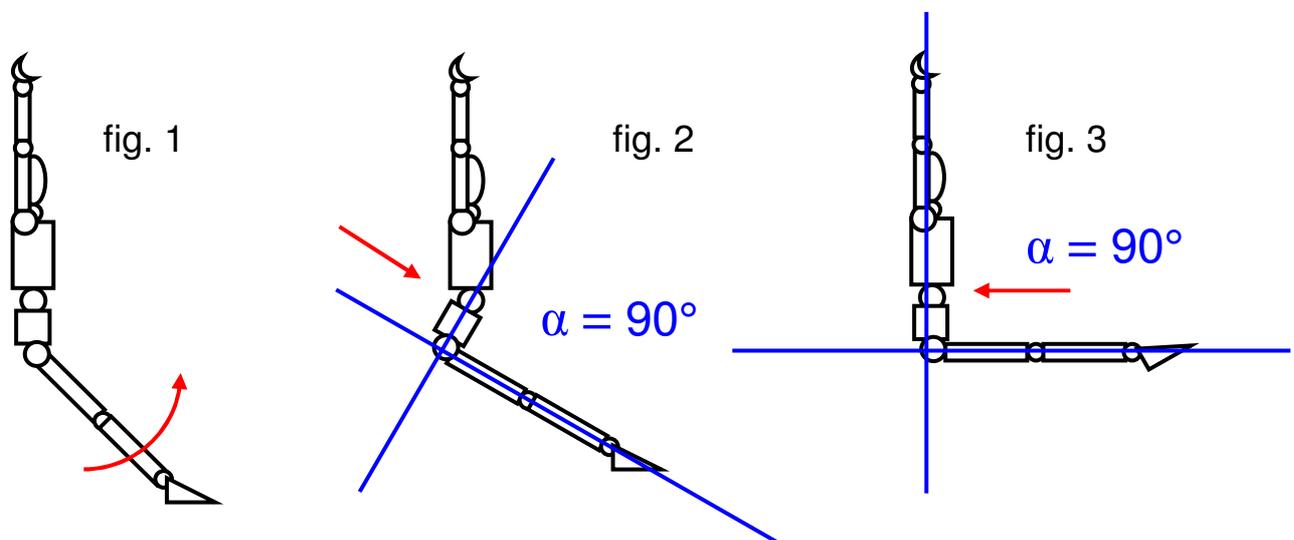
ANTAGONISTI: Grande Gluteo, muscoli Ischiocrurali (Bicipite femorale, Semitendinoso, Semimembranoso).

FISSATORI: Muscoli Addominali.

Dalla nostra esperienza sportiva, anche semplicemente scolastica, sappiamo che per eseguire l'esercizio preso in esame si necessita di una discreta forza addominale, per cui siamo portati a pensare che i muscoli addominali siano protagonisti del movimento. Se poi proviamo a compierlo, la nostra idea diventa un'assoluta convinzione, vista la tensione che si viene a creare in zona ventrale.

Però attenzione: abbiamo appena detto che i muscoli possono contrarsi in ruoli diversi, per cui il fatto di avvertire un netto aumento del tono muscolare in un determinato distretto non significa affatto che il muscolo sia protagonista del movimento.

Per dimostrare ciò è sufficiente analizzare le inserzioni dei muscoli addominali: prossimamente (in alto) originano dall'arcata costale, per poi portarsi distalmente (in basso) sul bacino; ma se non hanno inserzioni sul femore, come possono essere coinvolti nel movimento di avvicinamento degli arti inferiori al busto? Senz'altro non nel ruolo di protagonisti, ma torniamo per un attimo alle loro inserzioni distali e scopriremo (vedere la definizione di muscoli fissatori) innanzi tutto che si inseriscono sullo stesso segmento osseo (il bacino) dove si inserisce il muscolo ileo-psoas (protagonista) e per capire l'azione fissatrice osserviamo le seguenti figure:



Nella *Figura 1* vediamo come gli arti inferiori iniziano a sollevarsi per azione dell'ileo-psoas e dei vari muscoli sinergici.

Nella *Figura 2* si nota che, raggiunto un certo angolo di elevazione, il peso degli arti inferiori tende a trascinare in avanti il bacino che, senza variare l'angolo α , in pratica costringe il tratto lombare della colonna vertebrale ad aumentare la propria curva lordotica (curva a convessità anteriore).

A questo punto, vedi *Figura 3*, entrano in azione i muscoli addominali che, fissando il bacino, impediscono allo stesso di essere trascinato in avanti e permettono quindi all'ileo-psoas di compiere la propria azione da protagonista.

Tutte queste considerazioni, apparentemente troppo tecniche e complicate, in realtà sono indispensabili per capire esattamente il funzionamento della macchina umana, infatti, tornando all'esempio precedente, si potrebbe pensare che, indipendentemente dal ruolo esplicato da un muscolo, solo il fatto che si contraiga possa avere un effetto allenante.

In realtà non è esattamente così, perché per ottenere un buon potenziamento muscolare è bene che il muscolo lavori in tutta la sua escursione, dalla completa contrazione al massimo allungamento.

TIPI DI CONTRAZIONE

ISOMETRICA = una contrazione nella quale i segmenti ossei non si spostano dalla posizione iniziale, mentre il tono muscolare aumenta considerevolmente.

Nell'esempio precedente, durante l'elevazione degli arti inferiori in sospensione, i muscoli addominali si contraggono appunto isometricamente.

Quindi saranno definiti esercizi isometrici tutte le azioni muscolari eseguite in controresistenza (usando un ostacolo o la semplice contrazione dei muscoli antagonisti).

ISOTONICA = una contrazione nella quale viene mantenuto lo stesso tono muscolare durante tutto il movimento, in pratica quando si eseguono esercizi a corpo libero senza vincoli, appoggi e soprattutto sovraccarichi.

Gli esercizi di tipo isotonico non hanno effetto allenante per quanto riguarda l'incremento della massa muscolare, mentre sono insostituibili per favorire il mantenimento di una buona tonicità generale e della scioltezza articolare; vengono quindi usati in tutte le fasi di riscaldamento che precedono un allenamento o una competizione.

CONCENTRICA = una contrazione nella quale la tensione muscolare è superiore alla resistenza, per cui il muscolo si accorcia, avvicinando i segmenti ossei sui quali si inserisce.

Ad esempio, se fletto l'avambraccio sul braccio portando un certo peso verso la spalla, si tratta di una contrazione concentrica del muscolo bicipite brachiale.

ECCENTRICA = una contrazione nella quale il carico supera la tensione muscolare, per cui il muscolo resiste ad un suo allungamento, mentre i segmenti ossei si allontanano.

E' la condizione che si presenta in tutti quei movimenti di caduta controllata.

Nel solito esempio, se controllo la discesa del peso che si allontana dalla spalla, si tratta di una contrazione eccentrica del muscolo bicipite brachiale.

Per chiarire ulteriormente, prendiamo in considerazione il movimento di piegamento sugli arti inferiori: in fase di accosciata avremo una contrazione eccentrica del muscolo quadricipite, mentre in fase di sollevamento sarà sempre coinvolto il quadricipite, ma in contrazione concentrica.

L' EQUILIBRIO

In ogni corpo esiste un particolare punto detto BARICENTRO o centro di gravità, rispetto al quale il momento risultante dei pesi di tutti i punti materiali che lo compongono è nullo.

Per momento di una forza rispetto a un punto si intende il prodotto dell'intensità di una forza per il braccio della forza stessa (come abbiamo già visto nel capitolo relativo alle leve).

Il momento risultante si ottiene dalla somma vettoriale di tutti i momenti delle varie forze applicate allo stesso corpo.

In pratica, immaginiamo di applicare una forza di una certa intensità all'estremità di un oggetto appoggiato su un piano orizzontale: l'oggetto in questione tenderà a spostarsi ruotando. Se applichiamo una seconda forza all'altra estremità con direzione opposta la rotazione tenderà ad aumentare. Continuando ad applicare un numero sempre maggiore di forze in punti sempre diversi, la rotazione si farà sempre più complessa e il momento risultante potrà essere calcolato sommando tutti i momenti delle varie forze applicate.

Quando tale momento risulterà nullo, significa che tutte le forze tenderanno ad equilibrarsi, per cui il corpo rimarrà fermo.

Ogni oggetto materiale, sulla Terra, è soggetto ad una forza di attrazione detta peso del corpo, che come tutte le forze, si esprime con la formula:

$$F = m a$$

dove F è la Forza, m la massa del corpo e a l'accelerazione.

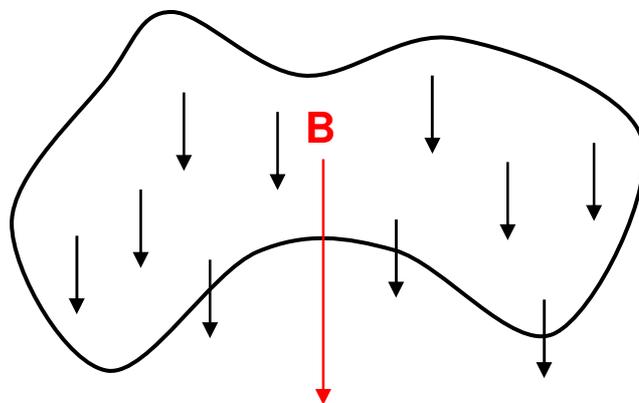
Quindi il peso si esprime con la formula:

$$p = m g$$

dove p è la Forza Peso, m la massa del corpo e g l'accelerazione di gravità, equivalente a 9,81 m / sec².

In realtà il peso di un corpo è la forza risultante del sistema di forze parallele dirette verticalmente verso il basso di ogni singolo punto materiale che compone il corpo stesso.

Il centro di tale sistema di forze parallele è chiamato baricentro del corpo e rappresenta il punto B in cui può pensarsi applicato il peso del corpo.



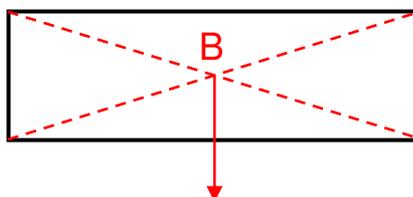
In tutti i corpi aventi un centro di simmetria, il baricentro coincide con tale punto; ad esempio il baricentro di una sfera è il suo centro, mentre il baricentro di un cubo si trova all'intersezione delle diagonali.

Nel corpo umano il discorso si fa un po' più complesso, in parte per la sua struttura non certo geometrica e in parte per la mobilità dei vari segmenti corporei.

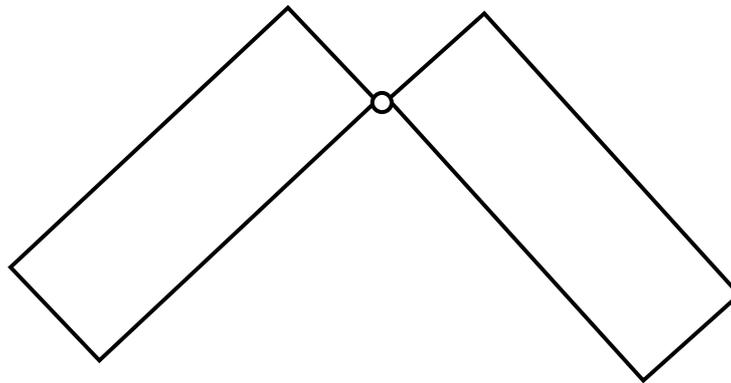
Esaminiamo quest'ultimo punto.

Torniamo, per semplificare, a considerare una figura geometrica piana, ad esempio un rettangolo.

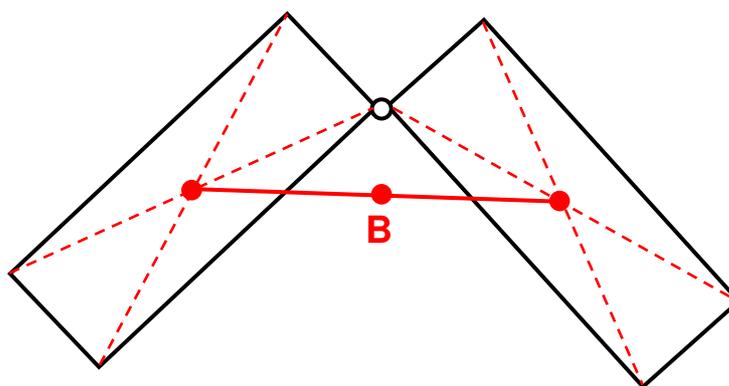
Il suo baricentro si trova all'intersezione delle diagonali, come mostrato in figura.



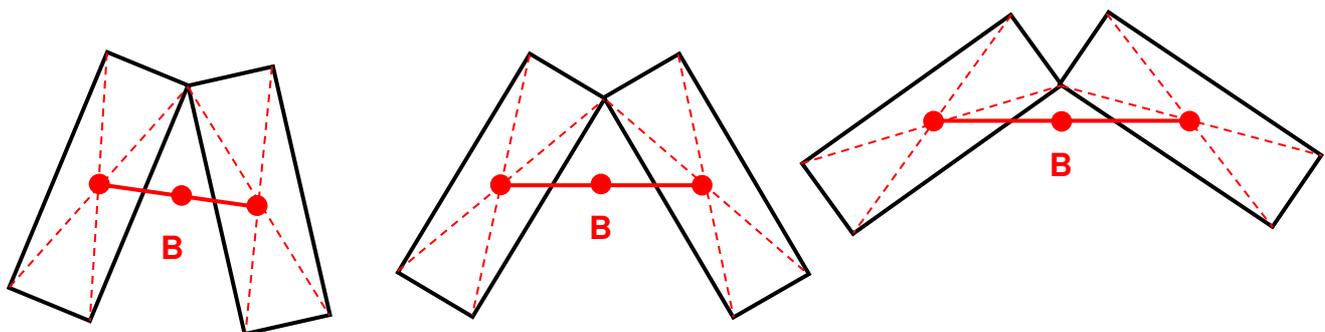
Prendiamo ora un altro rettangolo e immaginiamo di incerniarlo con il primo, creando così il simulacro di una articolazione del corpo umano, dove i due rettangoli rappresentano due segmenti ossei e la cerniera l'articolazione.



I due elementi considerati separatamente avranno il proprio baricentro all'intersezione delle diagonali, mentre se consideriamo il sistema composto dai due rettangoli uniti per un vertice, il baricentro si calcola come mostrato in figura e si andrà a localizzare addirittura fuori dai due elementi. (Per semplicità esplicativa consideriamo due elementi uguali tra loro).



A questo punto risulta chiaro, come si può vedere nelle seguenti figure, che variando il posizionamento dei due elementi, varierà di conseguenza la localizzazione del baricentro del sistema, che tenderà ad avvicinarsi o allontanarsi a seconda dell'angolo determinato dai due rettangoli.



Chiarito il concetto di baricentro, diamo la definizione di equilibrio:

Un corpo si definisce in equilibrio quando la perpendicolare condotta dal suo baricentro cade nel poligono di appoggio del corpo stesso.

Per poligono di appoggio si intende quella zona perimetrale del corpo che prende contatto con il terreno.

Possiamo avere tre tipi di equilibrio: STABILE, INSTABILE, INDIFFERENTE.

A scopo di esempio, come si vede nella seguente figura, consideriamo una lamina girevole attorno ad perno fissato ad una parete. A seconda del posizionamento del foro X avremo:

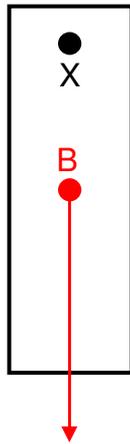


Fig. 1

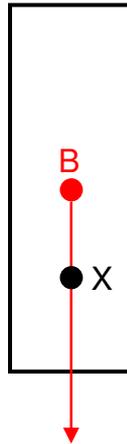


Fig. 2

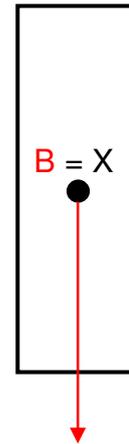


Fig. 3

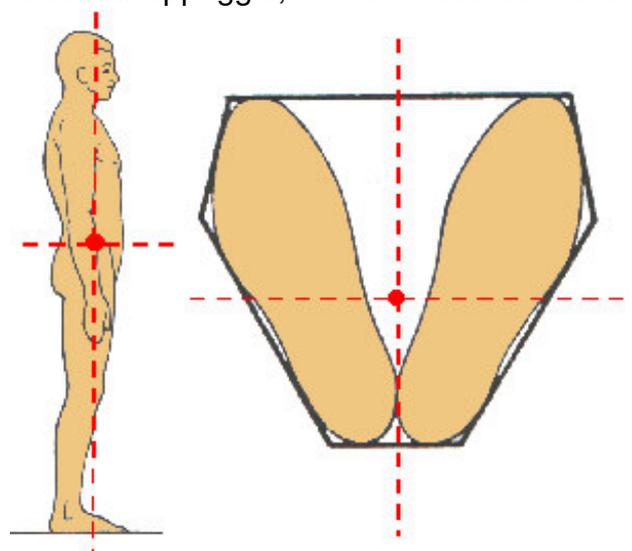
1. Equilibrio stabile quando il sistema, spostato di poco dalla posizione di equilibrio, vi ritorna per effetto del momento del peso (foro posto più in alto del baricentro). (Fig. 1)
2. Equilibrio instabile quando, applicando una forza esterna, il corpo perde la sua condizione di equilibrio (foro posto più in basso del baricentro). (Fig. 2)
3. Equilibrio indifferente quando, applicando una forza esterna, il corpo permane nel suo stato di equilibrio in quanto il braccio della forza peso è sempre zero (foro coincidente con il baricentro). (Fig. 3)

Torniamo a considerare il corpo umano: essendo un solido irregolare, con rapporti diversi tra le sue parti, non è possibile determinare il suo baricentro geometricamente, ma solo con metodologie di tipo sperimentale.

Esiste una vasta letteratura in merito, ma senza scendere nei particolari diciamo che il baricentro si colloca al livello superiore della terza vertebra sacrale, quindi ad un livello equivalente al 56 % dell'altezza del soggetto dalla base di appoggio, mentre nelle donne si trova ad un livello pari al 55 %

La condizione di equilibrio su un piano orizzontale si ottiene quando il baricentro cade verticalmente dentro la base di appoggio o poligono basale, che risulta costituito, nella posizione anatomica normale, dal contorno esterno dei piedi e dalla tangente passante per i talloni e per le punte.

Il posizionamento più o meno avanzato della proiezione del baricentro dipende dalla disposizione delle masse corporee, nonché dall'atteggiamento, che può essere talvolta anche asimmetrico.



I RECETTORI MUSCOLARI E TENDINEI

Risulta intuitivo, anche senza ricorrere a formule e calcoli complessi, che la variazione della proiezione del baricentro nel poligono basale sarà condizionata dallo spostamento delle masse corporee. E' palese che portando in avanti le braccia, magari sorreggendo un peso, si avrà uno sbilanciamento in direzione anteriore, mentre abducendo a 90° un braccio, sempre sorreggendo un peso, lo sbilanciamento sarà laterale.

Normalmente questi sbilanciamenti non sono avvertibili, in quanto esiste una compensazione automatica della struttura muscolo-tendinea che, mediante la contrazione di opportuni gruppi muscolari, riporta tutto il sistema in equilibrio.

Esiste una definizione chiarificatrice, che dice: "La stazione eretta, in realtà, è un movimento sopra una base d'appoggio. "

Per meglio capire tale asserzione, è bene sapere che, nell'intima struttura dei muscoli, esistono dei recettori sensibili allo stiramento, che inviano ai centri nervosi segnali che non sono avvertiti soggettivamente come sensazioni, ma dai quali dipende la facoltà di riconoscere la posizione e i movimenti delle varie parti del corpo.

Si tratta quindi di propriocettori che conferiscono all'organismo la sensibilità cinestetica.

La funzione dei propriocettori è essenziale per la regolazione del tono dei muscoli e dell'atteggiamento normale o postura degli arti e del tronco, nonché per la corretta esecuzione dei movimenti volontari.

I propriocettori più importanti sono i fusi neuromuscolari, che si trovano distribuiti in gran numero nei muscoli scheletrici, e i corpuscoli tendinei del Golgi, che si trovano invece nei tendini e nei legamenti articolari.

Questi corpuscoli reagiscono allo stiramento passivo delle strutture nelle quali si trovano inglobati e innescano quello che viene definito RIFLESSO MIOTATICO.

IL RIFLESSO MIOTATICO

Il riflesso miotatico è detto anche riflesso da stiramento.

Lo stimolo è rappresentato dal rapido allungamento del muscolo, la risposta si manifesta con una contrazione involontaria del muscolo stesso.

Il riflesso è regolato a livello del midollo spinale, ma è modulabile (inibito o aumentato) dai centri sovraspinali (al di sopra quindi del midollo spinale, tronco encefalico e diencefalo) a seconda del contesto e dell'utilità funzionale dello stesso.

Il fenomeno fisiologico fu studiato per la prima volta verso la fine dell'Ottocento dal neurofisiologo inglese Charles Scott Sherrington.

I recettori che trasformano lo stimolo (estensione del muscolo) in potenziale d'azione sono i cosiddetti fusi neuromuscolari, che sono dei particolari recettori meccanici che si trovano all'interno dei muscoli striati del corpo umano, disposti in parallelo e strettamente connessi con le fibre del muscolo in cui si trovano.

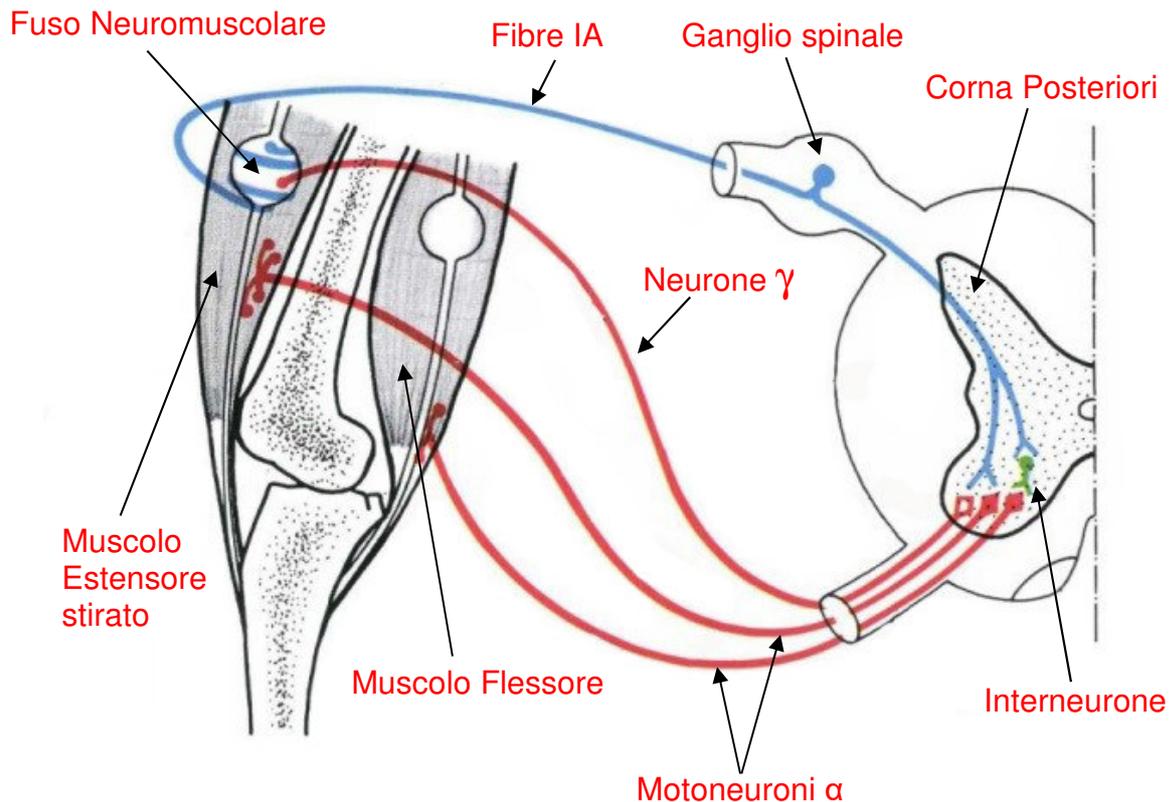
Lo stiramento provoca una deformazione delle fibre intrafusali e delle terminazioni afferenti ad esse associate (appartenenti ai neuroni del gruppo IA e II) dalle quali partono gli impulsi che tramite sinapsi attivano il motoneurone alfa che innerva il muscolo stesso e ciò ne provoca la contrazione.

Inoltre, le fibre IA provenienti dal fuso neuromuscolare vanno a sinaptare, a livello del midollo spinale, con un interneurone inibitorio che ha lo scopo appunto di inibire il muscolo antagonista a quello da cui proviene lo stimolo dello stiramento.

Così sono contemporaneamente contratti gli agonisti sinergici e rilasciati gli antagonisti.

Questo avviene secondo il principio dell'attivazione crociata dei muscoli di un'articolazione.

Il riflesso miotatico è velocità-dipendente e regola la lunghezza muscolare, salvaguardando l'integrità dello stesso in caso di stiramento brusco: la sua risposta è veloce e stereotipata, ma può essere modulata dai centri superiori qualora il riflesso non risulti funzionale. Durante una distorsione, ad esempio, i muscoli coinvolti nell'articolazione subiscono un brusco stiramento: come conseguenza avremo un'energica contrazione degli stessi muscoli, i quali salveranno la propria integrità e di conseguenza limiteranno i danni all'articolazione (stiramento o rotture legamentose della capsula e delle cartilagini).



IL RIFLESSO MIOTATICO INVERSO

Il riflesso miotatico inverso è un riflesso muscolare indispensabile per ridurre le contrazioni delle fibre volontarie.

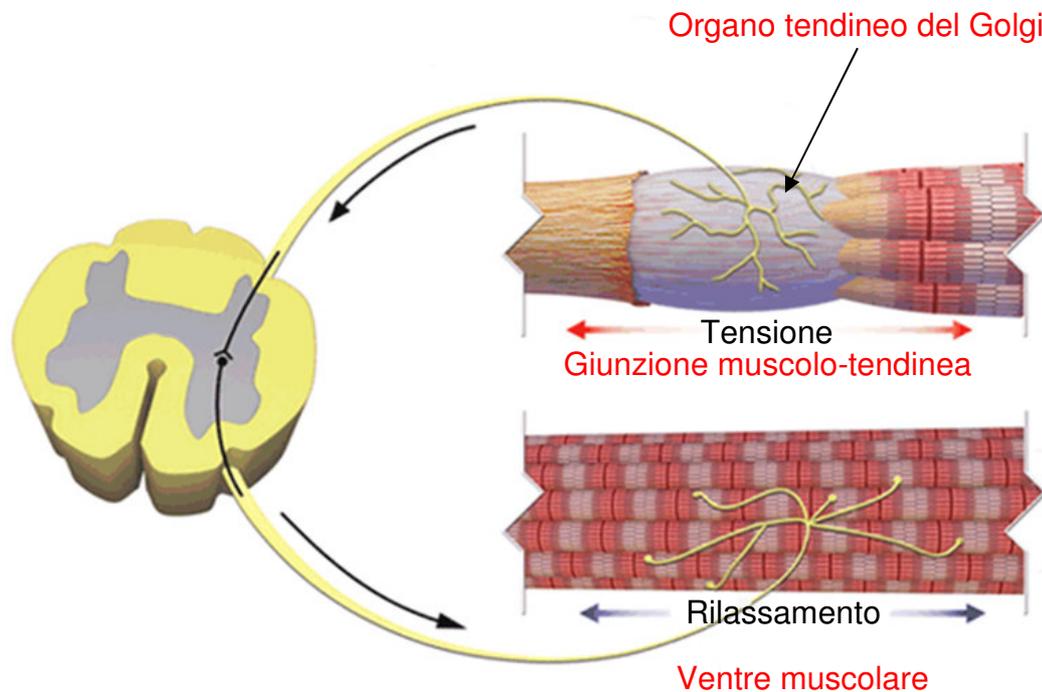
Differentemente dal riflesso miotatico normale che è dovuto ad un impulso derivato dal fusus neuromuscolare attivato dallo stiramento muscolare, quello inverso deriva dall'**organo tendineo del Golgi**, un particolare tipo di recettore localizzato a livello della giunzione tra i tendini e le fibre muscolari, che è attivato dalla contrazione del muscolo.

È sempre un circuito propriamente involontario, in quanto l'impulso generato non deriva dal cervello ma direttamente dal midollo spinale.

Quindi, in seguito allo stiramento di un tendine, dovuto alla contrazione muscolare, l'organo tendineo del Golgi che è innervato da una fibra sensitiva afferente, trasmette il segnale a

interneuroni inibenti i motoneuroni alfa che innervano quel determinato muscolo, causando il rilassamento dello stesso.

In conclusione questo riflesso ha il compito di evitare un eccessivo accorciamento del muscolo.



Ad esempio, immaginiamo che, nella stazione eretta, il busto si sbilanci leggermente all'indietro; i fusi neuromuscolari posti nei muscoli Addominali avvertono una situazione di allungamento, per cui inviano un segnale che si traduce nella contrazione di questo gruppo muscolare. Però, contraendosi i muscoli Addominali, il busto tende a sbilanciarsi in avanti, quindi i fusi neuromuscolari posti nelle strutture dorsali, ad esempio nel muscolo Quadrato dei Lombi, secondo lo stesso meccanismo, portano di nuovo il busto a sbilanciarsi all'indietro.

Ecco spiegata la definizione della stazione eretta intesa come un continuo movimento sopra una base d'appoggio, infatti ciò che apparentemente è immobile e in equilibrio, in realtà è frutto di micrometrici e continui aggiustamenti.

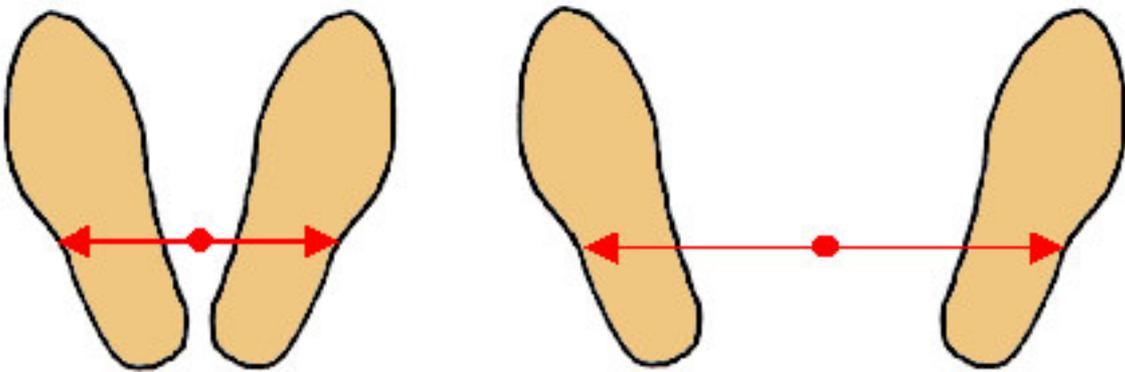
E' chiaro che queste piccole contrazioni involontarie riguardano, come si è detto, minimi movimenti non percettibili con una semplice osservazione visiva; nel caso in cui fosse necessario un posizionamento macroscopicamente più consistente, è richiesto l'intervento di un sistema di contrazioni muscolari di tipo volontario, in altre parole la ricerca dell'equilibrio diventa frutto di un'elaborazione cosciente dei dati a propria disposizione e questo implica il fatto che non sempre gli aggiustamenti sono efficaci, a causa di errori di valutazione e di scarsa capacità e sensibilità cinestetica.

IL POLIGONO BASALE

Abbiamo appena visto, nel capitolo precedente, che la condizione di equilibrio è verificata quando la perpendicolare condotta dal baricentro cade all'interno del poligono d'appoggio, quindi la prima considerazione che sorge spontanea è che per avere un ampio margine di sicurezza nella ricerca dell'equilibrio è sufficiente aumentare l'area del poligono basale.

In altre parole, aumentando la distanza tra i due piedi, il poligono circoscritto incrementerà la propria area e consentirà al baricentro di spostarsi tranquillamente pur rimanendo all'interno della stessa.

Seguendo questo ragionamento, potremmo essere indotti a pensare che, senza fare inutili calcoli, la migliore situazione di stabilità si ottiene con la massima divaricata possibile degli arti inferiori, infatti, osservando le due figure seguenti, vediamo che nella seconda posizione sono consentiti notevoli spostamenti laterali del baricentro.



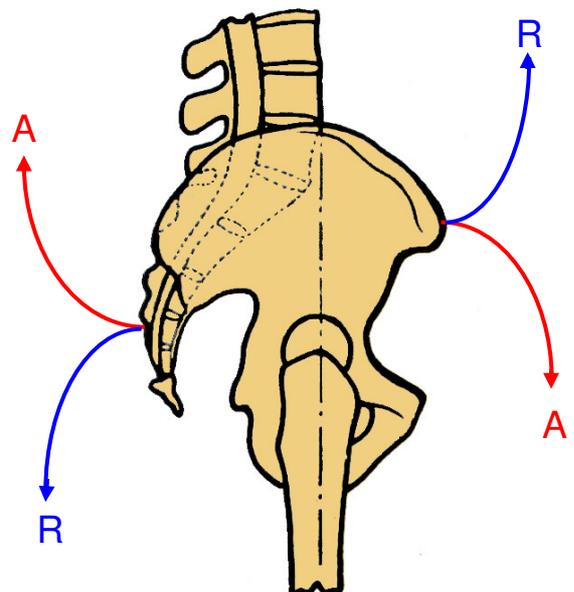
Purtroppo la soluzione non è così semplice, in quanto, come sarà dimostrato, l'aumento della stabilità in direzione laterale implica una riduzione di stabilità in senso antero-posteriore. Innanzitutto, definiamo da un punto di vista biomeccanico il cosiddetto:

EQUILIBRIO DEL BACINO

Osservando il bacino lateralmente, possiamo individuare due movimenti fondamentali:

Antiversione, che consiste in una rotazione in direzione avanti-basso delle creste iliache, contrapposta a quella in dietro-alto della zona coccigea.

Retroversione, che consiste in una rotazione in direzione dietro-alto delle creste iliache, contrapposta a quella in avanti-basso della zona coccigea.



I muscoli deputati a tali movimenti, come si può vedere nello schema accanto, formano un sistema detto OTTO MUSCOLARE, per la tipica disposizione che ricorda il numero otto.

Possiamo notare che i muscoli aventi la stessa azione motoria di antero e postero retroversione si trovano incrociati nei quadranti superiori ed inferiori, e più precisamente:

ANTIVERSIONE

Quadrante postero-superiore:

- Muscolo Quadrato dei Lombi

Quadrante antero-inferiore:

- Ileo Psoas
- Capo Lungo del Quadricipite
- Sartorio
- Tensore della Fascia Lata

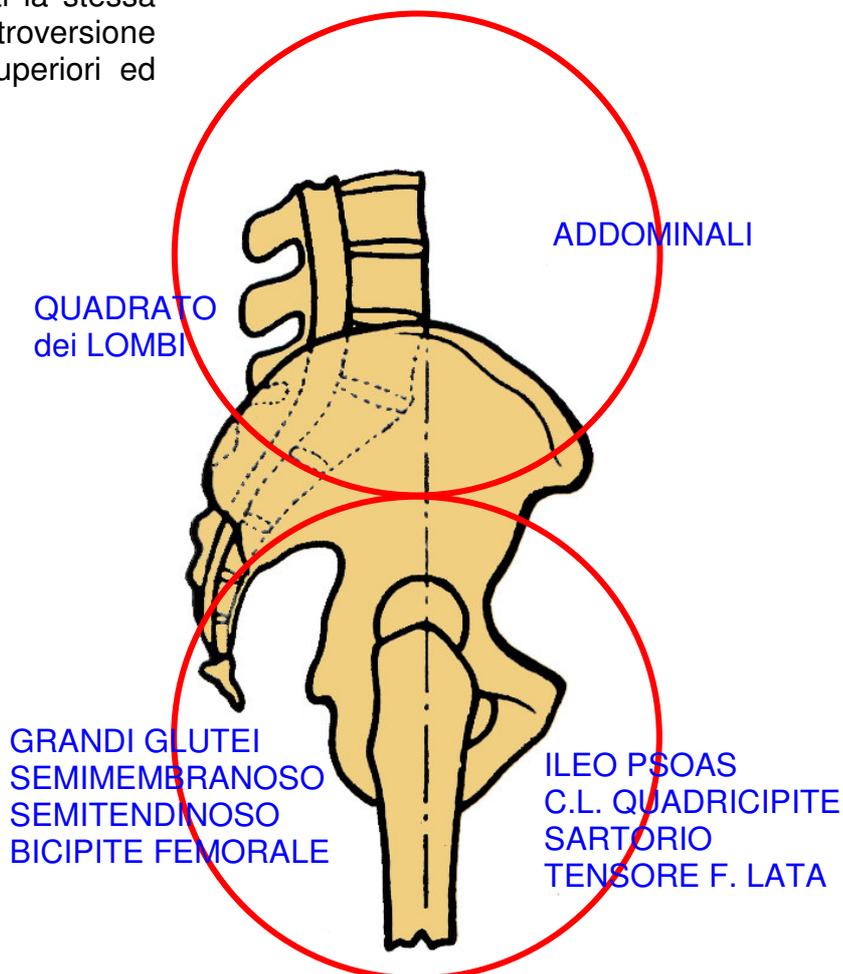
RETROVERSIONE

Quadrante antero-superiore:

- Muscoli Addominali

Quadrante postero-inferiore:

- Grandi Glutei
- Semimembranoso
- Semitendinoso
- Bicipite Femorale



Torniamo al problema dell'equilibrio in posizione di massima divaricata.

Quando gli arti inferiori si allontanano dalla linea mediana del corpo (abduzione sul piano frontale), i muscoli adduttori, sollecitati passivamente, assumono un certo tono da stiramento, in parte per azione dei fusi neuromuscolari, e in parte per limiti dovuti all'elasticità dei fasci muscolari. La diretta conseguenza è che l'inserzione prossimale, situata sulla branca ischio-pubica, tende ad essere trascinata verso l'inserzione distale, provocando un posizionamento in antiversione del bacino.

Il bacino, ruotando in direzione avanti-basso, si trascina dietro l'intera colonna vertebrale che, oltre ad accentuare la fisiologica lordosi del tratto lombare, sbilancia il corpo in avanti, spostando la proiezione verticale del baricentro all'estremità anteriore del poligono basale.

Questo spostamento, direttamente proporzionale all'ampiezza della divaricata degli arti inferiori, non provoca una netta perdita di equilibrio, ma è sufficiente per costringere tutto l'apparato muscolare del bacino e degli arti inferiori ad un lavoro di tensioni e contrazioni isometriche atte a riequilibrare il sistema.

La condizione di equilibrio non sarà quindi di tipo meccanico, ma muscolare e quindi caratterizzata da instabilità, variabilità e soprattutto sarà dispendiosa da un punto di vista energetico.

MIGLIORAMENTO DEL GESTO MOTORIO

Facendo riferimento a quanto esposto circa l'utilizzo della forza in tutte le espressioni motorie, ricordiamo che la Potenza W di una forza costante applicata ad un punto è uguale al prodotto dell'intensità della forza F per la velocità V .

Espresso in formula:

$$W = F V$$

A questo punto, se desideriamo aumentare il valore W , potremo incrementare uno dei due fattori del prodotto e quindi o la Forza F o la Velocità V .

Secondo la legge di Borelli-Weber-Fick, la forza assoluta di un muscolo è direttamente proporzionale alla sua sezione trasversa ed è abbastanza costante nei muscoli striati delle varie specie, attestandosi tra i 5 e 10 Kg/cm².

Non serve essere dei fisiologi per capire che un incremento significativo della forza prevede un aumento considerevole della massa muscolare, ottenibile solo mediante lunghe ed estenuanti sedute di allenamento mediante carichi prossimi al massimale.

Scartata quindi l'ipotesi di trasformarci in sollevatori di pesi per poter compiere un gesto motorio, esaminiamo la seconda possibilità e cioè l'incremento della velocità.

Aumentare la velocità significa compiere un gesto motorio pulito, privo cioè di inutili contrazioni sincinergiche (con questo termine si intendono tutte quelle contrazioni di muscoli sinergici e spesso antagonisti che, oltre che a dissipare preziosa energia, addirittura ostacolano il corretto lavoro dei muscoli protagonisti).

Per capire questo fenomeno, è sufficiente provare a compiere una semplice flessione dell'avambraccio sul braccio alla massima velocità possibile, partendo da una posizione iniziale di completo rilassamento muscolare e paragonarla ad una seconda flessione eseguita partendo da una condizione di contrazione isometrica totale dell'arto superiore.

Nella seconda flessione si noterà che lo stato di tensione muscolare del muscolo Tricipite Brachiale tenderà a frenare notevolmente in partenza l'azione flessoria del muscolo Bicipite, rallentando così l'intero gesto motorio.

Da tutto questo ne consegue che un buon affinamento del gesto tecnico si traduce in un uso più economico della propria muscolatura, ottenendo il massimo risultato con il minimo sforzo e soprattutto incrementando la velocità di esecuzione, con l'aumento totale della Potenza W utilizzata per compiere tale gesto.

ALLENAMENTO SPECIFICO DEI DISTRETTI MUSCOLARI INTERESSATI

Basandoci sulle precedenti considerazioni, non si deve essere indotti a tralasciare del tutto ogni forma di allenamento muscolare, data l'importanza che una buona tonicità ha sul rendimento generale di un atleta, senza poi considerare il fatto che un muscolo allenato resiste molto meglio alla fatica e permette un controllo dei segmenti ossei molto più di un muscolo ipotónico. Quindi è bene seguire un piano di allenamento il cui fine non sarà la ricerca dell'ipertrofia muscolare, ma il raggiungimento di una buona tonicità generale.

Nel caso in cui si evidenzino delle chiare carenze in determinati gesti motori, mediante una mirata analisi muscolare si possono individuare i protagonisti di tali movimenti e quindi si può lavorare in modo specifico per ovviare a tali deficit.

L'errore più comune in cui incappano purtroppo anche molti presunti "addetti ai lavori" è quello di analizzare un movimento, stabilire quali muscoli necessitano di un potenziamento e di conseguenza, se si hanno le conoscenze e le capacità idonee, iniziare un piano di lavoro, oppure, e questo è il caso più frequente, affidarsi ad una buona palestra con tanto di istruttore qualificato e chiedere un allenamento specifico per un certo gruppo muscolare.

Sembrerebbe tutto molto logico: stabilito ad esempio di avere una certa carenza nel muscolo Trapezio, si potenzia lo stesso con manubri, bilancieri o con quelle macchine tanto sofisticate e tanto di moda.

Niente di più sbagliato!

I gesti motori, anche se analizzabili e semplificabili da un punto di vista meccanico, in realtà non possono essere considerati come movimenti semplici, perché anche il gesto apparentemente più elementare risulta essere un insieme di più componenti, la cui somma produce l'effetto motorio preso in considerazione.

Tutte queste sinergie e bilanciamenti di forze hanno una loro sequenza sia spaziale che temporale che, solo se fedelmente riprodotta, produce un gesto qualitativamente ripetitivo.

Eseguire un potenziamento muscolare prescindendo da tali sinergie, in realtà non è affatto allenante, perché è vero che i singoli muscoli si tonificano ed aumentano di forza, ma lo fanno separatamente e nel momento in cui sarà loro richiesto di contrarsi secondo una certa sequenza, non saranno allenati a farlo e quindi la risposta motoria sarà probabilmente molto simile a quella verificata prima di ogni forma di potenziamento.

Concludendo, l'unico metodo veramente valido di potenziamento muscolare specifico per un determinato movimento consiste nel riprodurre, durante l'allenamento, il più fedelmente possibile il gesto motorio, eventualmente applicando sovraccarichi idonei, mantenendo molto alto il numero di ripetizioni.

Si avrà così il duplice effetto di allenamento alla resistenza, mediante la sistematica contrazione dei gruppi muscolari direttamente interessati al movimento, e l'affinamento del gesto tecnico, creando degli schemi ideomotori sempre più precisi ed efficienti.