

Confronto tra metabolismo cerebrale e muscolare *

Gianni Benzi

G. Benzi

Direttore fiduciario del C.S. & R. Fidal

Nella pratica esistono grandi differenze tra il metabolismo cerebrale e quello muscolare, e queste devono essere tenute presenti sia nell'allenamento che nella gara vera e propria.

Nelle specialità dei salti i carburanti sono sostanzialmente rappresentati dal glicogeno che, per la via anaerobica glicolitica, arriva fino al piruvato e quindi al lattato, fig. 1, parte alta (nella parte bassa è rappresentata la produzione dell'energia per la via aerobica, ciclo di Krebs, che però riguarda molto poco questa specialità).

I meccanismi che intervengono nella specialità dei salti sono due:

- quello anaerobico alattacido (fig. 2), il più importante, rappresentato dalla scissione dell'ATP, in ADP ed in AMP, e dal creatin-fosfato, che interviene soprattutto durante la fase di stacco (in quanto meccanismo di rapida liberazione di energia);
- meccanismo anaerobico lattacido, con produzione di lattato.

Il meccanismo aerobico serve solamente nella fase di recupero.

Dal punto di vista energetico possiamo distinguere tre caratteristiche di base del metabolismo cerebrale:

- 1) la unidirezionalità delle fonti energetiche, o la unicità del carburante (il cervello funziona col glucosio, e questo va portato dentro a forza);
- 2) la ipossia potenziale (pur essendo funzionante solamente a O₂, c'è una bassa disponibilità);
- 3) precarietà dello stato energetico (povertà di riserve energetiche).

L'allenatore deve tener presente che l'atleta può avere più che ottimi muscoli, ma in ogni caso il cervello, dal punto di vista bioenergetico, è nelle condizioni su accennate.

* Trattasi del resoconto testuale di un intervento del Prof. G. Benzi: esso conserva, pertanto, le caratteristiche e la struttura, oltre all'immediatezza, del discorso parlato.

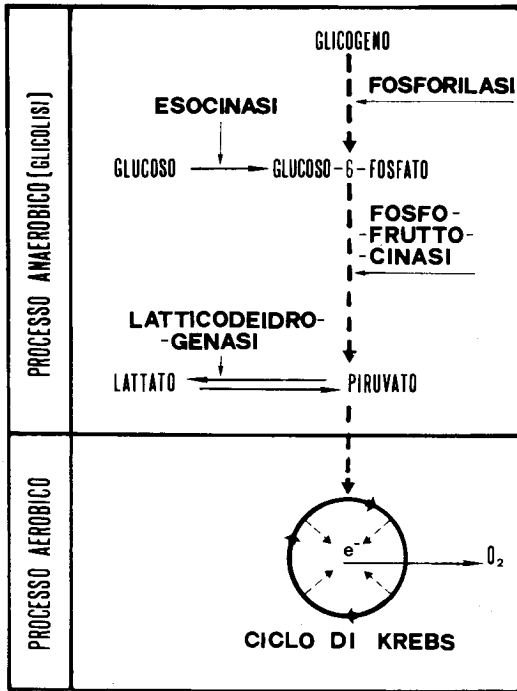


fig. 1

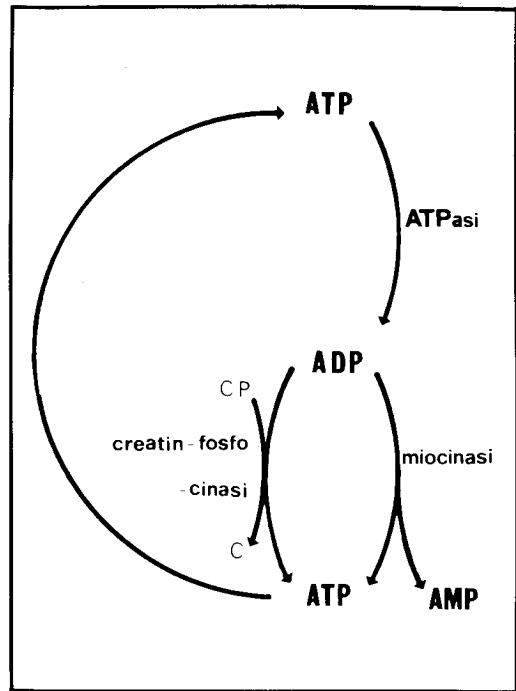


fig. 2

Prima caratteristica

Che cosa significa unidirezionalità delle fonti energetiche?

I carburanti del nostro organismo possono essere rappresentati da (fig. 3):

- lipidi (acidi grassi),
- glucidi (glucoso, zucchero),
- sostanze proteiche (aminoacidi).

Mentre a livello muscolare si possono utilizzare come carburante tutte queste sostanze, ed in par-

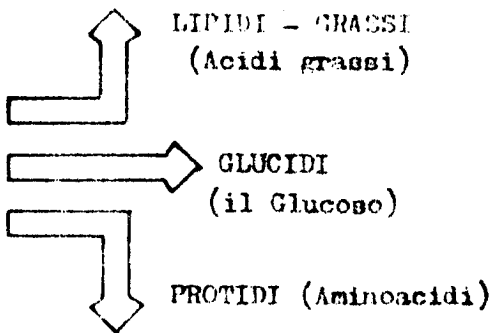


fig. 3

ticolare le prime due (lipidi e glucidi), a livello cerebrale vengono sostanzialmente utilizzati soltanto i glucidi o zuccheri.

Cioè mentre il muscolo per la sua contrazione può utilizzare lipidi e glucidi, il cervello può utilizzare soltanto glucidi; le due esigenze sono quindi diversificate.

Ci si può domandare il perché di questo funzionamento diversificato. Questo non dipende certamente perché non ci siano enzimi adatti per utilizzare altre sostanze ma deriva dal fatto che a livello cerebrale, a differenza di quello muscolare, esiste una barriera, barriera ematoencefalica, che non consente alle molecole di entrare liberamente. Difatti per immettere nel cervello il glucoso esistono dei «carriers», cioè dei trasportatori che lo passano dal sangue al cervello.

Esistono inoltre dei trasportatori che passano gli aminoacidi neutri e basici dal sangue al cervello, ma in condizioni fisiologiche dal punto di vista energetico, questo meccanismo di trasporto non è molto importante. Cioè in sostanza, l'atleta può aver delle difficoltà energetiche cerebrali quando non ne ha dal lato muscolare.

Difatti, nelle cellule muscolari il glucoso entra liberamente senza difficoltà perché nel sangue il glucoso si trova in un liquido idrofilo; e nel muscolo, che è sostanza idrofila, si trova pure in un tessuto ricco d'acqua (il 75% del muscolo è for-

mato d'acqua), quindi non c'è nessuna difficoltà per il suo libero passaggio dal sangue al muscolo, invece questo passaggio è difficilissimo dal sangue al cervello, in quanto il tessuto nervoso è lipofilico ed idrofobico, cioè attira i grassi e respinge l'acqua (l'incremento del trasporto del glucosio nel cervello è difficile, perché è attivo e c'è da tener presente che mentre nel muscolo quando si effettua un fenomeno prestativo la cinetica è di tipo rettilineo, quella del cervello è invece di tipo esponenziale).

Dunque c'è necessità di far passare il glucosio in un tessuto, costituito fondamentalmente da grassi, in cui non si diffonde liberamente, ed allora bisogna portarcelo dentro a forza, ed esistono appunto dei sistemi di trasporto che adempiono a questo incarico. Questi sono i carriers (trasportatori) che lo «strappano» da un mezzo in cui sta bene, e lo trasportano dentro ad un tessuto grasso, come è quello cerebrale (fig. 4); tutto questo costa fatica, cioè energia.

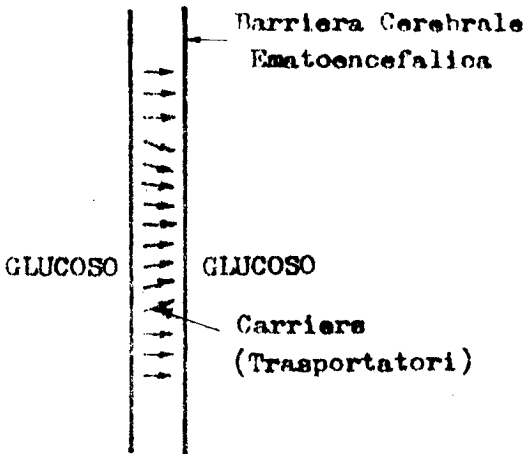


fig. 4

Seconda caratteristica

Per comprendere l'ipossia potenziale è indispensabile analizzare la vascolarizzazione a livello del muscolo e del tessuto nervoso.

La vascolarizzazione a livello muscolare (flusso, vascolarizzazione muscolare) è sovradimensionata rispetto alle sue esigenze funzionali, tanto è vero che chi è seduto ne utilizza il 3-5%.

Invece a livello cerebrale questa è molto scarsa, tanto è vero che ascoltando la mia lezione, indipendentemente dal fatto che siete concentrati, se ne utilizza circa il 98%.

Nel campo ematico (fig. 5/a-b) questo è un fatto molto importante. Se «a» è il flusso ematico muscolare, «b» quello cerebrale, le condizioni a riposo sono 5% di flusso a livello muscolare, 98% a livello cerebrale. Quindi per il muscolo vi è ancora il 95% perché possa raggiungere il massimo, e questo rappresenta il «range» (lo spazio) in cui l'atleta, durante il suo esercizio, può mettersi in equilibrio con il lavoro muscolare che deve fare, mentre invece a livello cerebrale, si ha soltanto la possibilità del 2% su cui poter variare.

Dunque dal punto di vista vascolare cerebrale l'atleta, anche in condizioni di riposo, si trova sempre a flussi massimali, mentre invece da quello muscolare si trova con una piccolissima quota interessata e può quindi aumentare la risposta come vuole.

Allora come è possibile che l'atleta riesca ad impegnarsi a fondo, cerebralmente solamente col 2% di aumento di flusso?

Nella fibra muscolare o unità motoria muscolare, di forma cilindrica (fig. 6), i vasselli sono distribuiti molto bene simmetricamente attorno a questa, sia in senso longitudinale che trasversale, con una monodirezionalità del flusso e l'O₂ passa facilmente dentro la fibra muscolare. Qui il flusso ematico procede in un solo senso ed il sangue entra arterioso ed esce venoso. Il cervello, che ha una scarsissima riserva funzionale, per la ridotta vascolarizzazione, per sopravvivere i capillari sono disposti con un sistema e rete, asimmetrici (fig. 7), ed i flussi possono invertirsi costantemente all'interno di questo.

Se non ci fosse questa caratteristica anatomica, ad ogni movimento che facciamo seguirebbe praticamente una perdita di coscienza.

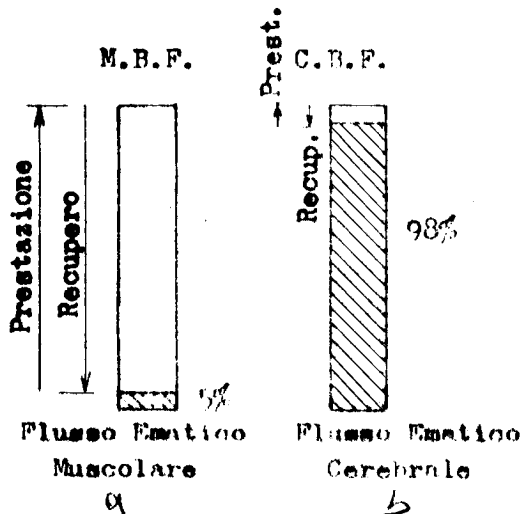


fig. 5

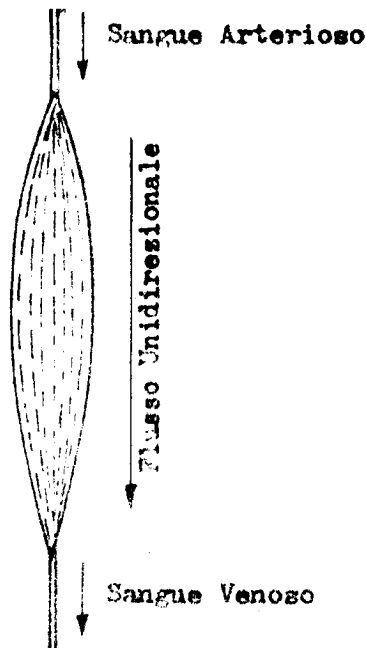


fig. 6

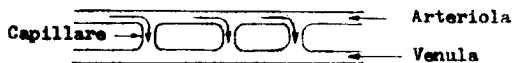


fig. 7

Terza caratteristica

La terza ed importantissima caratteristica è quella della precarietà dello stato energetico, e cioè il tallone d'Achille degli atleti, e cioè come mai non riescono a concentrarsi.

Nei muscoli le riserve di glicogeno e di glucosio sono enormi. Nessun saltatore durante l'allenamento o la gara, consuma completamente queste sostanze, mentre a livello cerebrale la situazione risulta drammaticamente rovesciata. Qui la concentrazione di glicogeno e di glucosio è bassissima, tanto è vero che se si chiude un vaso che rifornisce il sangue per una certa zona del cervello (fig. 8), questa al massimo potrà sopravvivere per tre minuti. Quindi il cervello si trova in una situazione molto difficile proprio perché ha una quantità molto, ma molto bassa di glicogeno e glucosio, ed in più già a riposo consuma un'enorme quantità d'energia, mentre invece il muscolo ne consuma pochissima.

Quando l'atleta si allena oppure gareggia che valore ha la somma di queste tre caratteristiche del cervello?

Se un saltatore in allenamento o in gara viene sottoposto ai fenomeni di stress, attiva la scissione dei glucidi (attivazione da stress) questa non è ovviamente finalizzata al valicamento dell'asticella, però anche questo consuma molto glicogeno di scorta.

Però a livello muscolare questo ha poca importanza, perché ha tanto glicogeno e glucosio di riserva e nello stesso tempo ha facilità di riceverlo, mentre invece il cervello ha poco glicogeno e glucosio ed in più non ha soltanto il problema di portarlo dentro, ma la successiva risintesi è lentissima. Vediamo ad esempio cosa succede quando un atleta ha commesso, prima di gareggiare, un piccolo errore alimentare: ad esempio ha mangiato molta marmellata e bevuto molta coca cola o aranciate. Come si sa mangiare molta marmellata e bere coca cola od aranciate significa provocare un scarico di insulina che, porta dopo qualche decina di minuti, ad un abbassamento della concentrazione del glucosio nel sangue.

In questo caso se l'atleta continua a gareggiare, non risentirà molto a livello muscolare di questa ipoglicemia, ma ne risentirà a livello cerebrale, perché abbassandosi lo zucchero (la glicemia nel sangue), diventa molto più difficoltoso il già difficile necessario e continuo rifornimento di glucosio che l'atleta deve avere al cervello.

Se consideriamo che durante un allenamento pesante, una gara, tendono già normalmente a verificarsi queste condizioni di stress in cui (il ripetere certi tipi di esercizi di forza esplosiva è già uno stress) si ha una ipoglicemia, però dal punto di vista energetico, se il rendimento muscolare può rimanere costante per tutta la durata dell'impegno, il rendimento energetico cerebrale tende a diminuire (fig. 9).

Questo è particolarmente drammatico nel salto in alto in quanto il rendimento cerebrale dovrebbe aumentare man mano che l'asticella viene elevata, cioè quando le misure diventano più impegnative.

In questo modo penso così di aver suscitato dei problemi evidenziando l'importanza del metabolismo energetico del cervello. Ovviamente il problema è molto più complesso e difficile di quello che vi ho esposto ma mi sono limitato a fare delle esemplificazioni.

Interventi sulla relazione di G. Benzi

All. POLACCO: con il training autogeno si possono migliorare queste facoltà di resistenza del cervello allo stress; vi sono inoltre delle precise

diete alimentari che possano ovviare, almeno parzialmente, a queste difficoltà?

BORDIGNON: con particolari allenamenti specifici si può migliorare questa resistenza?

RELATORE: sono dell'opinione che la cosa più importante, quella che può interessare per questo scopo, è quella di attuare dei tipi di allenamento

dell'energia del processo anaerobico alattacido, e ripaga il debito di questo processo mediante quello aerobico.

Nel processo anaerobico alattacido non influenzano l'adrenalina, lo stress, perché è solamente un problema enzimatico del muscolo, invece nel processo aerobico, l'adrenalina, lo stress, l'ipo-

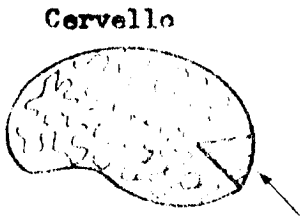


fig. 8

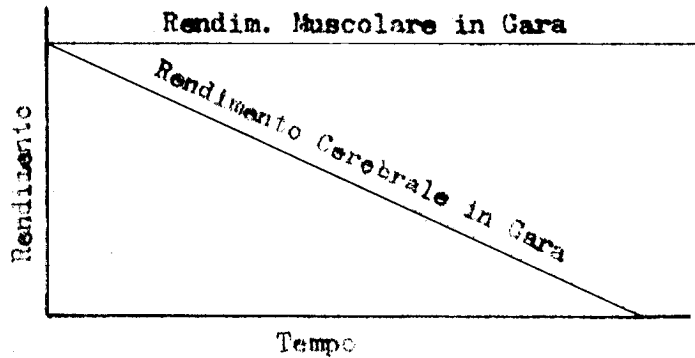


fig. 9

che tengano conto di questa necessità, in quanto la dieta od il training autogeno sono solamente dei mezzi di allenamento, se difatti consideriamo l'allenamento nel suo complesso in questo deve venire compreso il problema della dieta, della psicologia etc... cioè tutti i problemi.

Un secondo meccanismo di compenso che ha l'atleta è l'incremento della velocità con cui si attua questa reazione. Cioè se questa velocità è ad esempio di valore uno a riposo, (cioè gli enzimi fanno fare velocità uno quando è l'individuo a riposo), questi nella sua operatività la può portare anche a 5-7. Quindi nell'allenamento si deve fare in modo che il cervello migliori l'attivazione dei meccanismi di liberazione di energia, come si fa col muscolo che lo si cimenta per far sì che migliori l'attivazione degli enzimi, e così per il cervello bisogna che si trovino dei sistemi di allenamento che utilizzino i mezzi di attivazione della glicolisi.

Ad esempio quando l'atleta entra in pedana per la gara, si concentra... può essere creata una condizione di attivazione molto superiore di quella dell'allenamento, anzi in questo non la si potrà mai creare perché si è detto si stress, ma si poteva anche dire allenamento, oppure adrenalina il che è la medesima cosa.

Come l'allenamento attiva i processi glicolitici a livello del muscolo, il saltatore in gara entra in pedana, esegue la rincorsa e salta per mezzo

glicemia, entrano in questo gioco. Se, per ipotesi, potessimo isolare il cervello ed allenarlo, cercheremo di provocare l'attivazione di tutti quegli enzimi, per far sì che la loro velocità aumenti di valore es. da quattro a otto o dieci, perché come visto, la drammaticità del salto in alto, è che ci si trova a dover fare le prestazioni più alte alla conclusione, mentre invece ad esempio il maratoneta prosegue la gara come può, basta che riesca a superare il traguardo magari esausto, sfinito, anche cadendo nelle braccia di chi gli porge la coperta, e tutto finisce lì.

LOCATELLI: ci sono atleti che hanno delle possibilità nervose differenti per cui c'è chi riesce ad avere maggiori scariche di adrenalina che altri, ma per noi allenatori penso che il problema stia nel non far scaricare gli atleti nel periodo precedente la gara, mediante allenamenti che influenzano negativamente sul S.N.C.

RELATORE: purtroppo questo può anche accadere perché l'atleta è in condizioni di stress, ma non c'è più adrenalina, mentre invece voi cercate lo stress da gara.

C'è un processo d'attivazione che riguarda tutto l'asse dell'ipofisi surrenale (fig. 10), cioè se c'è lo stress che va a finire nei surreni, ma questi sono già stati scaricati nei giorni precedenti la gara, causa il lavoro di forte impegno (ci sarà ovviamente meno possibilità di liberarla), i surreni

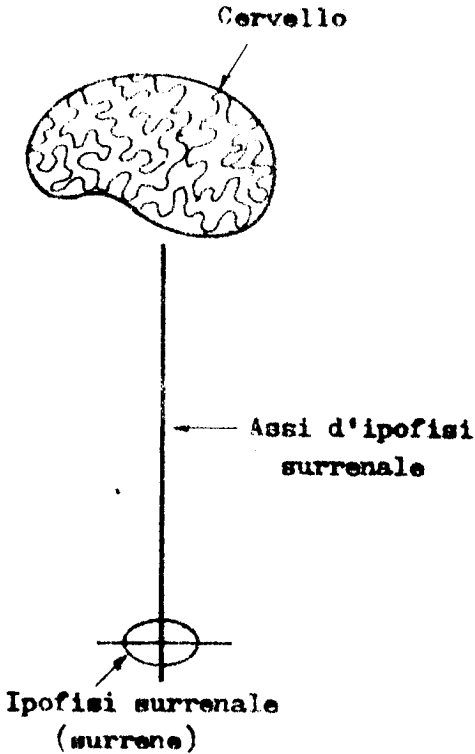


fig. 10

devono essere sì in stato di allarme, ma non scaricati; in stato di allarme in quanto se l'atleta riposa per tre giorni, ovviamente sarà una macchina lenta per metterli in funzione, quindi: in stato di allarme sì, ma non in condizioni di svuotamento.

Penso però che forse negli allenamenti si potrebbe inserire una qualche metodica adatta allo scopo (il cervello più lo studiamo e più vediamo quanto è difficile la soluzione dei problemi ad esso connessi).

Un primo contributo lo si potrebbe avere dai neurofisiologi i quali hanno messo a punto un'attrezzatura, dotata di un rilevatore di frequenza cardiaca, e di accelerometro, che ora pure noi possediamo, che preleva dal cervello dei segnali elettrici, i quali vengono poi analizzati sul computer, facendo lo spettro di potenza del cervello.

Questo procedimento è in certo qual modo, analogo a quello dell'analisi della fase di stacco con la pedana piezoelettrica in cui si ha lo spettro delle forze messe in gioco.

Trattiamo ora il problema alimentare. Questo è molto semplice, è sufficiente prendere degli alimenti che non contengano saccarosio, cioè che non facciano scaricare insulina. Nella figura 11

diamo per accettato la normale glicemia e insulinemia (concentrazione di insulina e di glucosio nel sangue). Se si assume marmellata o saccarosio, si avrà un aumento della concentrazione del glucosio ematico, indi nel volgere di 40-45 minuti avviene una sua diminuzione con valori al di sotto della norma (ipoglicemia).

In merito alla glicemia normale osservando l'andamento della curva dell'insulina (fig. 11) si

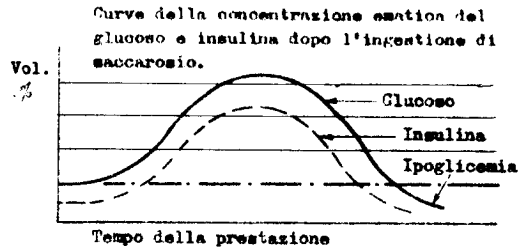


fig. 11

può notare che succede la medesima cosa, un aumento dell'insulina provoca come variazione la caduta del glucosio ematico.

Per evitare questo, ma unicamente per evitare questo errore alimentare, (fig. 12), non evidenzia

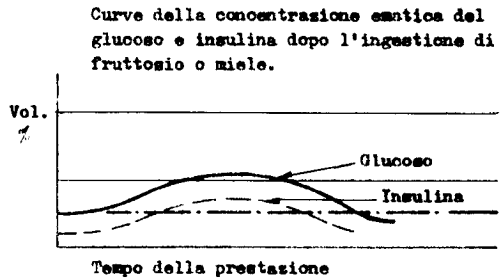


fig. 12

cosa bisogna fare, ma quello che non si deve fare. Basta semplicemente evitare saccarosio, zucchero, o marmellata, ma prendere miele o glucosio.

Anche in questo caso però si ha un aumento del glucosio ematico e dell'insulina, però con un effetto più ridotto, l'insulina aumenta di meno ma aumenta e così il fruttosio, dunque meglio non prendere nulla.

TECNICO: quindi è necessario creare, a livello muscolare, delle riserve di glicogeno sufficienti per far fronte a tutta la gara, e, questo livello, qualsiasi risorsa può fronteggiare le esigenze del-

la prestazione, mentre per il cervello no, e quindi si possono riscontrare nell'esecuzione tecnica difetti di coordinazione od altro.

Non deve neppure essere trascurata la dieta dei giorni precedenti la gara. A parer mio, quando l'atleta si allena in pedana, non deve assumere dello zucchero, e neppure bere latte, in quanto anche il lattosio fa cadere il tasso di glicemia. *E' la classica sindrome del soggetto che ha bevuto del latte*, difatti dopo 40-45 minuti il lattosio determina una caduta, l'atleta suda, si sente le gambe deboli, e nella muscolatura ce n'è dell'energia mentre non c'è nel cervello.

Quindi prendere delle uova, delle proteine sotto qualsiasi forma.

In sintesi con questa breve lezione, si è voluto chiarire questo: gli atleti a volte rendono poco perché qualcosa è stato carente a livello del metabolismo cerebrale, difatti non è sempre solamente una questione di muscoli (*purtroppo mentre voi potete, la sequenza dell'adattamento muscolare è molto sequenziale*). In un soggetto che attua un training a livello muscolare, le sequenze di adattamento, inteso nel senso etimologico di «adaptation» (non quello italiano «mi adatto a star male»), consistono nel raggiungimento di uno steady-state.

Ciò mentre a livello muscolare l'atleta si dispone così (diagramma) e quindi si possono avere delle piccole oscillazioni, a livello cerebrale invece, proprio per questa cosa l'adattamento procede così. Si possono avere delle enormi variazioni a noi prevedibili, come ad esempio può essere quella del soggetto che la sera ha avuto un imbarazzo gastrico e la mattina seguente si sente esaurito, però muscolarmente può ancora essere efficiente, cioè mentre si può prevedere con una certa sicurezza l'adattamento della situazione muscolare, per quella cerebrale la cosa non è stata ancora codificata.

BORDIGNON: per migliorare la capacità di trasformazione del glicogeno a livello cerebrale, ad esempio dal valore 1 a 5-7, ritiene utile che dopo l'ultimo allenamento prima della gara, si facciano vedere le azioni svolte concentrandosi su queste al fine di immettere dei segnali che possano migliorare questa capacità?

RELATORE: in questo caso non posso rispondere direttamente, posso riferire solamente quello che ho visto e cioè un certo tipo di training, training ideomotorio, che lei sta ipotizzando, su atleti dei 400 ostacoli.

A questi soggetti seduti in completo rilassamento muscolare, erano stati applicati degli elettrodi sui muscoli, sul cervello, e sul cuore, indi venivano fatti concentrare sui tempi reali dello

svolgimento della loro gara, e questo per più volte; tutto veniva registrato su nastro di un poligrafo di 12 canali.

Dal punto di vista cerebrale le reazioni ad esempio che si notavano in un certo soggetto erano esattamente le medesime che denotava quando era in gara; logicamente data la situazione mancava la reazione muscolare che difatti rimaneva a zero; però dal punto di vista cardiaco quando gli riusciva un buon training, e cioè riviveva esattamente la realtà della gara, venivano rilevate delle variazioni cardiache e cerebrali (B-B1) assolutamente sovrapponibili cioè senza fare fatica muscolare l'atleta ne faceva una enorme dal lato cerebrale cioè viveva la «realtà» riproducendo una precisa caratteristica, e cioè la sua difficoltà, il terrore nell'attaccare il secondo ostacolo in quanto doveva cambiare arto e questo effettivamente era il suo dramma in campo, difatti la frequenza cardiaca saliva fortemente, e così pure gli impulsi cerebrali indi, dopo il passaggio, il tutto ritornava ai valori normali.

I tecnici quando hanno analizzato il grafico li per li erano rimasti sorpresi di questa variazione repentina, di questo momentaneo andamento anormale e non riuscivano a scoprirne le cause, ma quando hanno caratterizzato il soggetto hanno chiarito quale fosse il suo dramma.

TECNICI TEDESCHI: nell'allenamento vi sono dei segnali che non passano per il cervello, ma vanno attraverso la colonna spinale, per cui si può fare un vero allenamento mentale inserendo anche nell'allenamento degli elementi di questi valori per cercare un loro adattamento.

RELATORE: il training ideomotorio riguarda ovviamente l'uomo nella sua normalità. C'era già stata una precisazione: all'inizio di un 400 Hs l'atleta corre fortemente corticalizzato, c'è un grosso controllo, perché la situazione è stata esattamente rappresentata, quando però l'atleta entra nella seconda parte della gara corre spinalizzato, cioè automatizzato.

Sia chiaro comunque che l'allenamento ideomotorio è una parte dell'allenamento, come d'altronde tutti gli altri mezzi che possono essere definiti parcellari.

Sono comunque d'accordo che un allenamento di questa natura riproduca soprattutto delle situazioni psico-affettive più che delle situazioni specifiche, però è già un tipo di training.

Quindi, nel nostro caso, è necessaria la ripetizione visualizzata del salto, indi facendo concentrare l'atleta; questi deve vivere l'azione, mentre si controllano le reazioni con rilevatore dell'attività cardiaca, per vedere se le reazioni sono le medesime di quelle della prova reale.

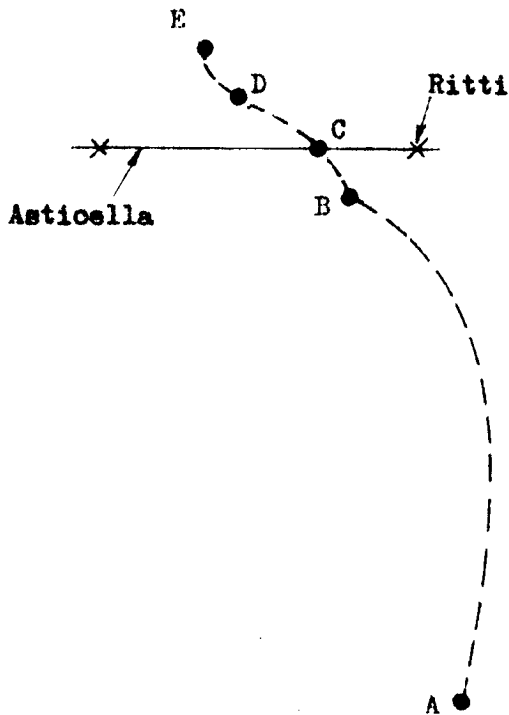


fig. 13

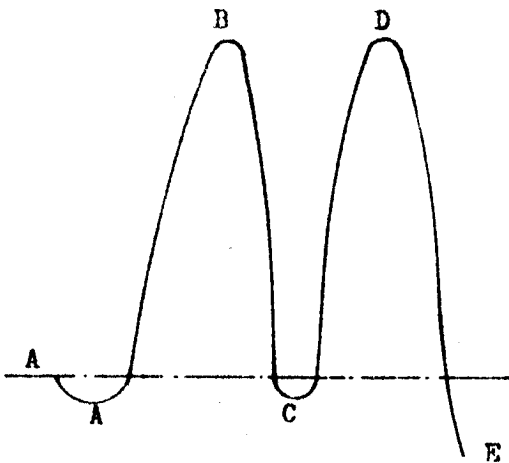


fig. 14

Metteno un elettrodo si può fare la derivazione della variazione di frequenza dell'azione d'un saltatore e questa deve riprodurre i medesimi cambiamenti:

- un aumento dell'accelerazione nella rincorsa,
- la massima frequenza nella fase di stacco,
- bradicardia in quasi tutta la fase di volo,
- riaccelerazione dopo l'atterraggio,
- massimo di tachicardia nel tempo di recupero.

Se nel training ideomotorio si ottiene la riproduzione di questo andamento significa che questo tipo d'allenamento è efficace e se il soggetto ripete perfettamente le diverse prove dovrebbe esaurirsi dopo 10-20 ripetizioni, in quanto questo costa un'elevata fatica cerebrale; tanto è vero che soggetti sottoposti a questo tipo così violento di training, per le prime settimane soffrivano d'insonnia.

Comunque, non posso riferire dati riguardanti l'affaticamento cerebrale durante tutto il salto, posso solamente rispondere sui dati cardiaci; se però accettiamo che ci sia correlazione tra la frequenza cardiaca e la funzione cerebrale, allora si può affermare cosa succede valutando le variazioni pulsatorie.

In merito non possiedo dati diretti di rilievi elettroencefalografici, però col beneficio di inventario si può accettare questa correlazione.

Nella fig. 13 è segnato in «A» il soggetto che si prepara al salto, ha una frequenza cardiaca normale, o addirittura bassa; questa aumenta di mano in mano che si svolge la rincorsa, è altissima nella fase di stacco, punto «B», e cade addirittura nel valicamento della asticella, punto «C» (l'atleta è quasi in bradicardia), riaccelera nell'atterraggio, punto «D», per poi abbassarsi nel punto «E».

Nella fig. 14, sono segnate le curve di oscillazione durante il salto, ci sono due picchi (il valicamento dell'asticella, come visto, viene praticamente fatto in bradicardia).

Dunque se si può affermare che la frequenza cardiaca può essere correlata (come una retta) con l'attivazione funzionale cerebrale, si può dire che durante il valicamento dell'asticella si ha il punto di minor uscita energetica, mentre quello di maggior uscita è allo stacco e all'atterraggio.

Indirizzo dell'Autore:

Prof. Gianni Benzi
Istituto di Farmacologia
Facoltà Scienze MM.FF.NN.
Piazza Botta, 11
27100 Pavia