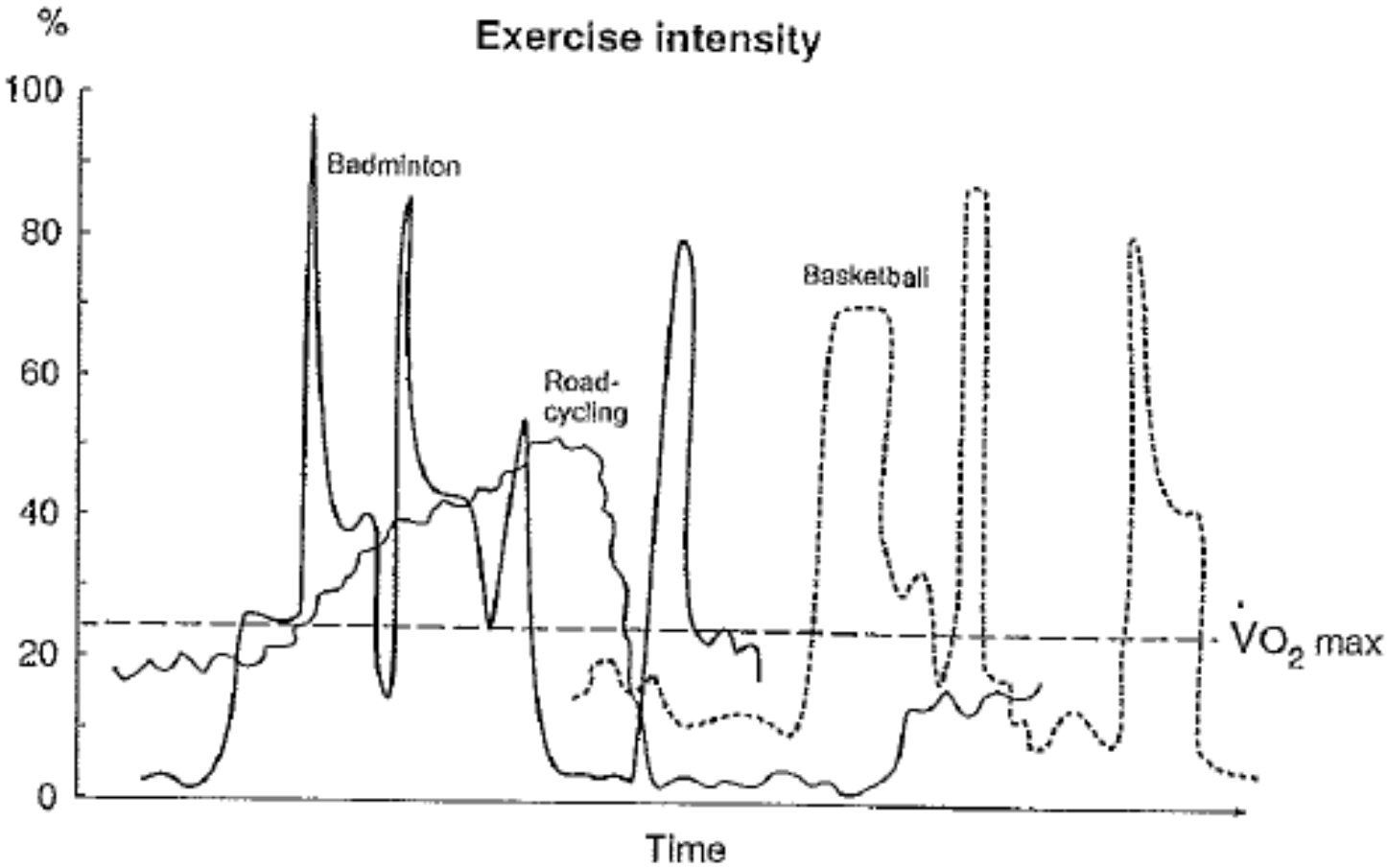
Bioenergetica dell'esercizio intermittente

Fisiologia della prestazione sportiva

Università degli Studi di Verona
Scienze Motorie
aa 2013-1014


%
Exercise intensity
100
80
60
40
20
0
Badminton
Road-
cycling
Basketball
$\dot{V}O_2$ max
Time

Approccio di Margaria

Ipotesi

• Se un esercizio sovramassimale è eseguito per circa 10 s, si contrae solo un debito di ossigeno alattacido.

• La velocità di ripagamento di tale debito è alta, caratterizzata da un t1/2 di circa 20-30 secondi.

• Quindi, un periodo di recovery breve può essere sufficiente a ripagare il debito consentendo al soggetto di eseguire di nuovo l'esercizio sfruttando lo stesso meccanismo energetico.
• L'esercizio potrebbe essere eseguito per un tempo assai prolungato (teoricamente infinito) senza alcun accumulo progressivo di lattato.
• La quantità totale di lavoro svolto con questa modalità è di molto superiore a quella ottenuta se si fosse eseguito l'esercizio senza interruzione sino ad esaurimento

Protocollo utilizzato

• Corsa continuata ad intensità sovramassimale sino ad esaurimento

• Corsa intermittente sovramassimale: 10 secondi di corsa separati da periodi di recupero di 10, 20 e 30 secondi

• *Per ogni protocollo, si eseguivano, in giorni differenti, 2, 5, 10 e 20 serie o si arrivava ad esaurimento*

• Potenza richiesta dalla corsa sovra massimale: circa **108 ml kg-1 min-1** (pari a circa il 200 % V'O2max)

• Dispendio energetico: **18 ml O2 per ogni serie**

• V'O2 respiro per respiro e picco [La] dopo il termine dell'esperimento

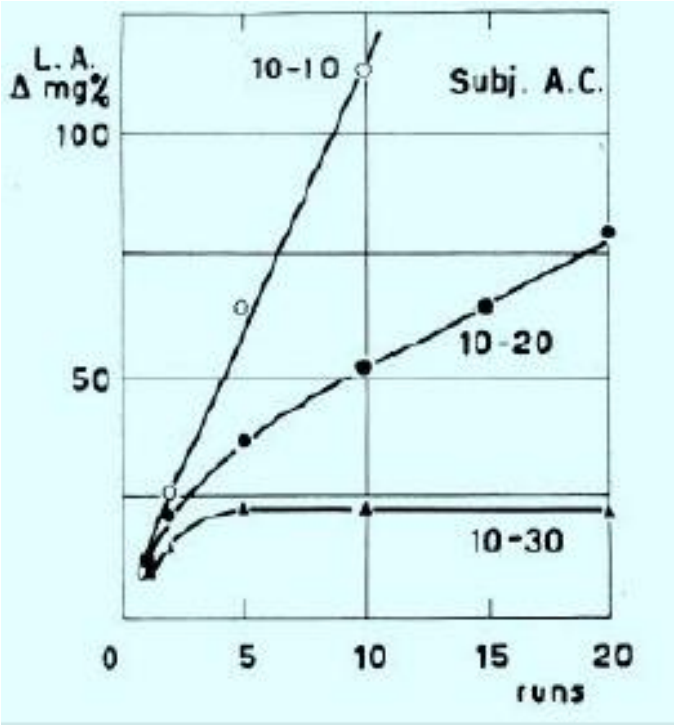
Risultati: tempo di esaurimento

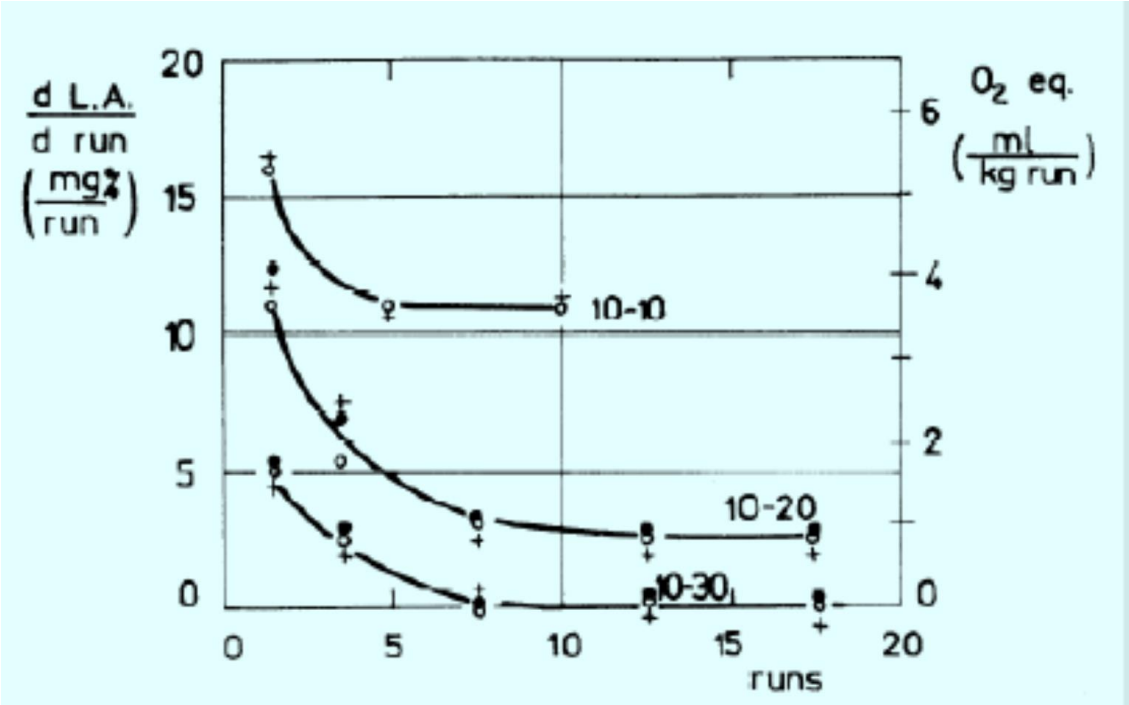
Continuato	10-10 secondi di pausa	10-20 secondi di pausa	10-30 secondi di pausa
35 s	100 s	200	Indefinito

- Se l'esercizio era eseguito con 30 secondi di recupero tra

un run e il successivo, il soggetto continuava all'infinito

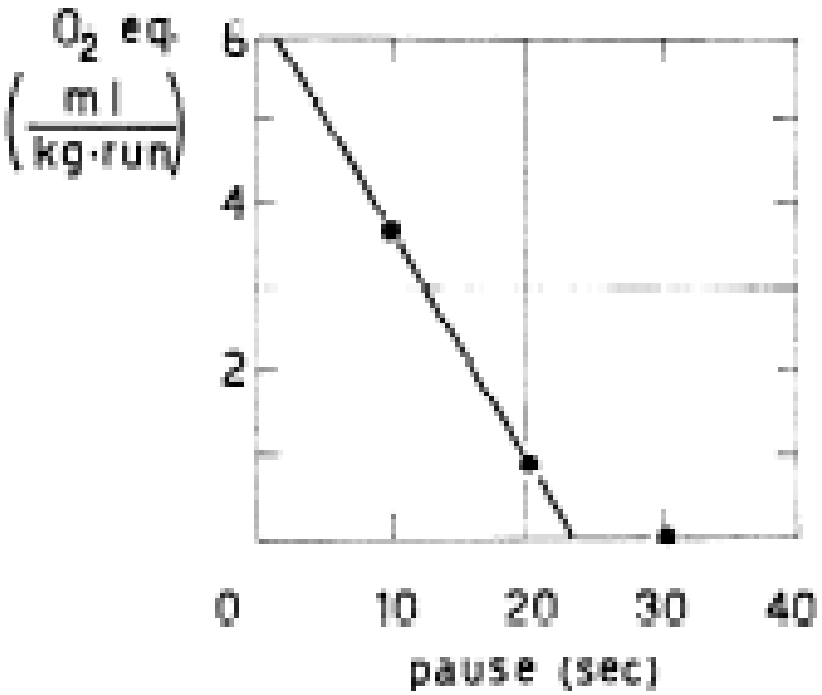
Risultati: [La] e velocità di accumulo di La





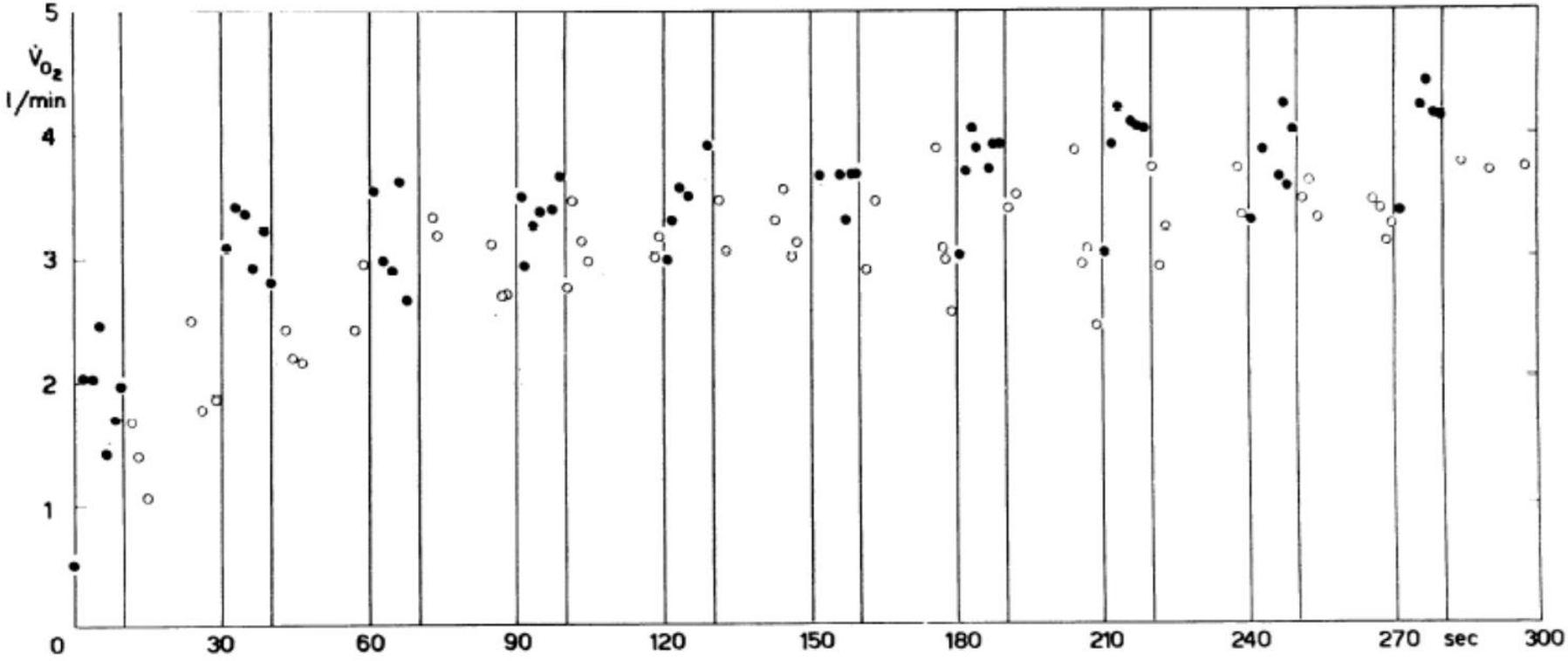
- [La] cresce all'inizio, ma si stabilizza nel caso di 10-30 s
- La velocità di accumulo di La per run raggiunge uno stato stazionario o va a 0
- Lo stesso dicasi per l'energia metabolica lattacida espressa in ml O_2 per run

Tasso di produzione di La



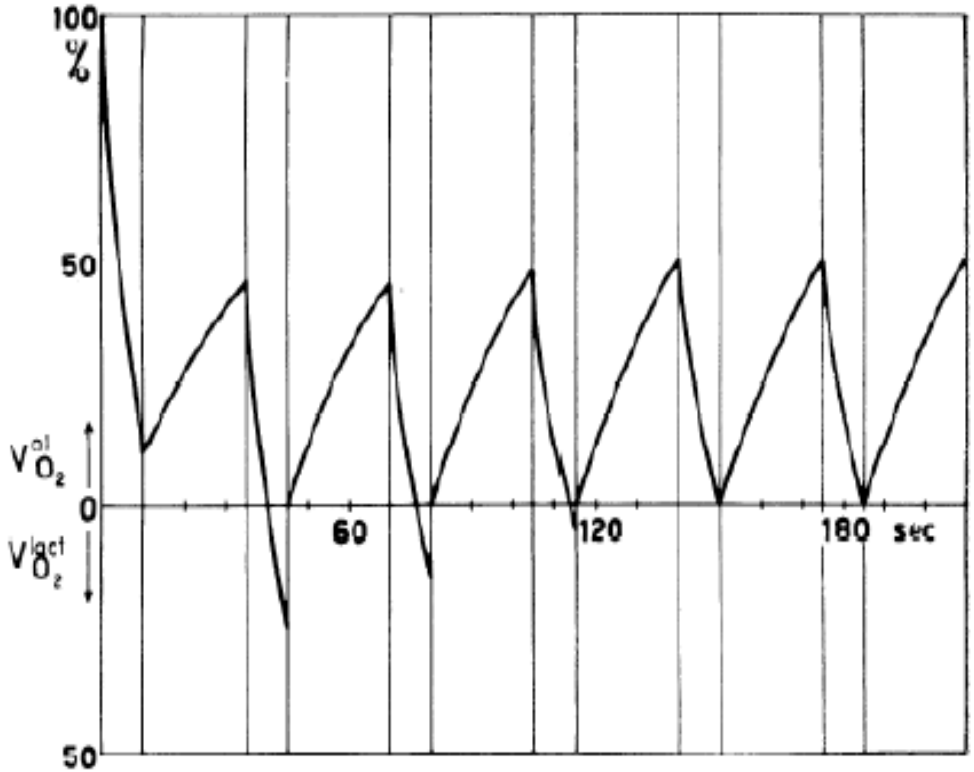
25 sec no accumulo LA, e ripagamento deb O2

Risultati: Consumo di ossigeno



	10-10 secondi di pausa	10-20 secondi di pausa	10-30 secondi di pausa
V'O2netto (ml/min/kg)	54	47	41
$V'O2_{La}$ (ml/min/kg)	10	2,5	0

Interpretazione



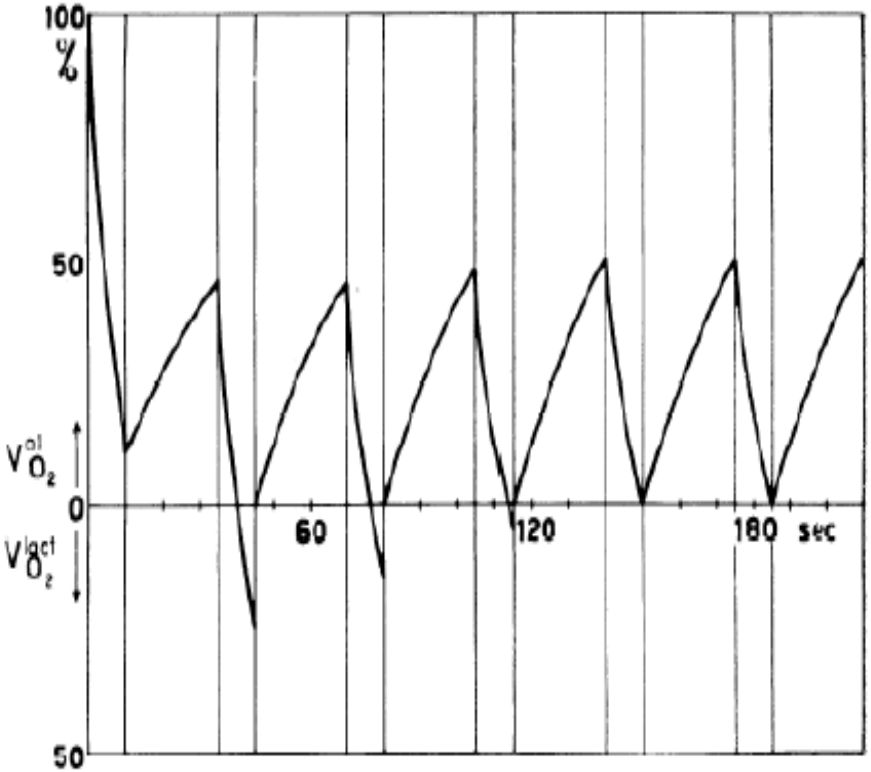
Il primo run è corso a spese quasi completamente delle fonti anaerobiche alattacide (debito di O2 alattacido 90% escorte di PCr ridotte al 10%)ù

• Nel successivo periodo di recupero, le scorte di PCr sono ricostituite per circala metà.

• In occasione del secondo run, il V'O2 è aumentato e il metabolismo aerobico contribuisce al dispendio energetico totale in misura maggiore rispetto al primo run.

• Quindi, il debito di ossigeno alattacido contratto è inferiore: 75%

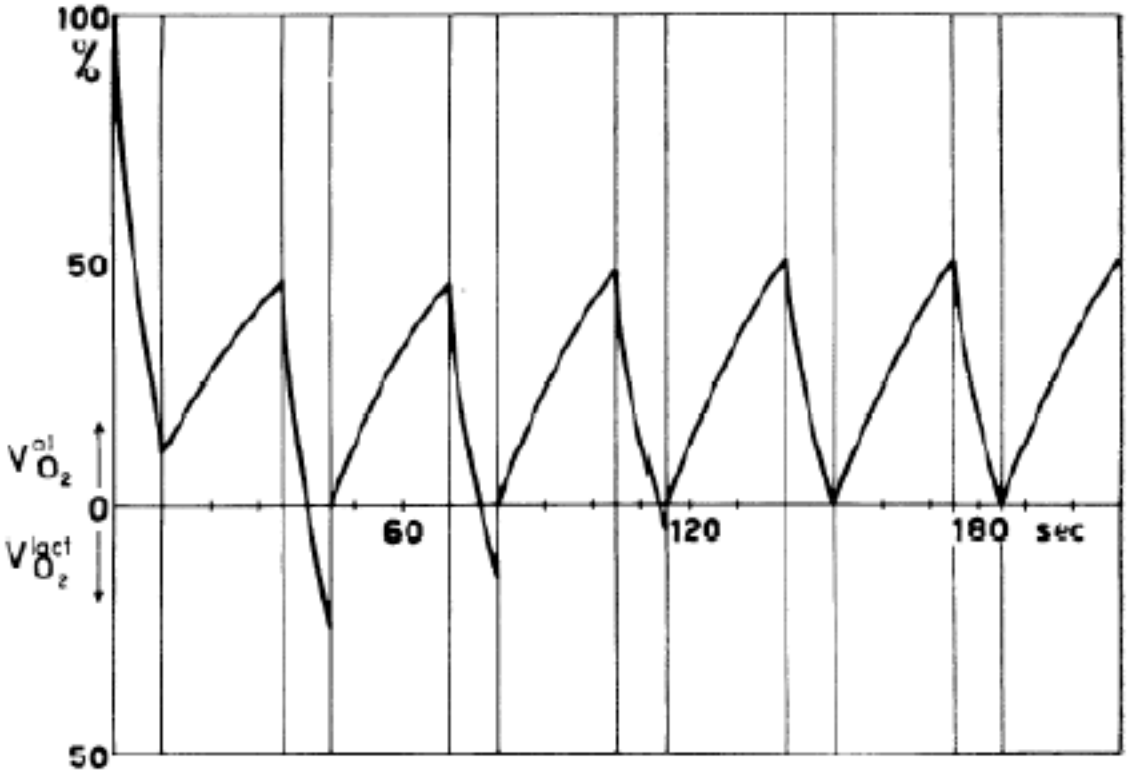
Interpretazione



Però, questa quantità di energia è superiore a quella disponibile sotto foma di PCr (il tempo di recupero non è stato sufficiente per ripagare completamente il debito)

- Quindi, si forma una quantità apprezzabile di La
- Durante il terzo run, il V'O2 è ulteriormente aumentato e quindi, si può contrarre un debito di ossigeno alattacido minore e si produce meno lattato

Interpretazione



Dal quarto run in poi, il V'O2, stabilizzatosi, consente di contrarre
un debito alattacido ancora più piccolo e non c'è più bisogno di produrre ATP per via lattacida.

• Da questo punto in poi, il debito alattacido accumulato oscilla tra il 100 e il 50 %

Bilancio energetico

E’ possibile trarre anche un bilancio energetico

1. E richiesta: 18 ml O2/kg per run
2. V’O2 medio allo ss: circa 50 ml/min/kg
3. Circa 10 ml/kg sono ascrivibili a fonti anaerobiche alattacide
4. Nel primo run, le richieste sono tutte soddisfatte per mezzo della contrazione del debito di ossigeno alattacido
5. Nei runs successivi sino al raggiungimento di SS, è possibile calcolare il bilancio energetico:

1. Misurando O2 consumato nel corso del run
2. Stimando il contributo lattacido
3. Conoscendo la richiesta energetica

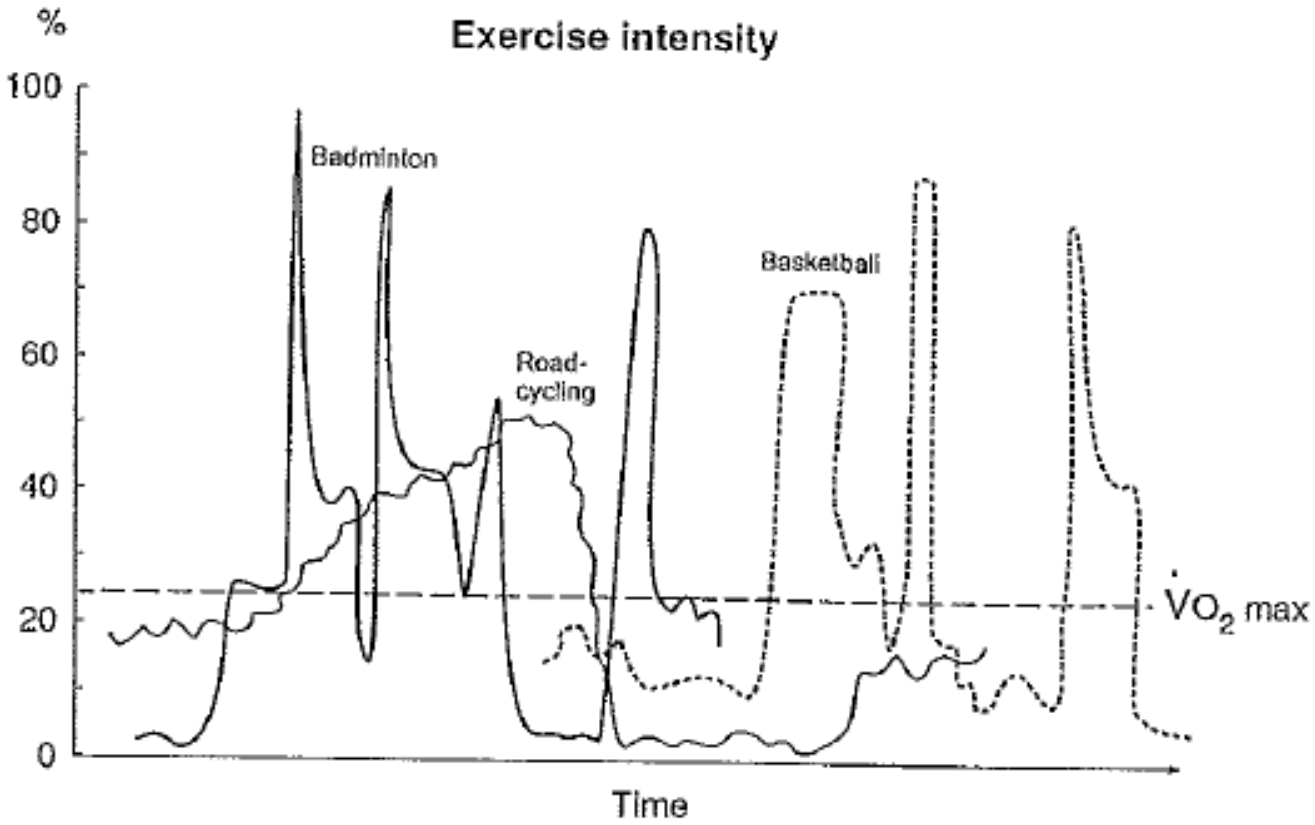
Conclusioni

Se il tempo di recupero è sufficiente per ripagare il debito di ossigeno alattacido contratto durante l'esercizio sovra massimale, non si produce lattato.

• In questo modo, l'esercizio può continuare per tempi indefiniti

• La quantità di lavoro totale è molto più elevata di quella che si compie nel caso in cui lo stesso esercizio è compiuto senza interruzioni

Fisiologia dell'esercizio intermittente



- Intensità che richiede VO2max può essere solo il 25% di quella del picco di potenza.
- 15s bout-15s rest x 60 min con intensità pari a VO2max, solo pochi min se intensità è 70% della massima

Energia Aerobica durante esercizio Intermittente

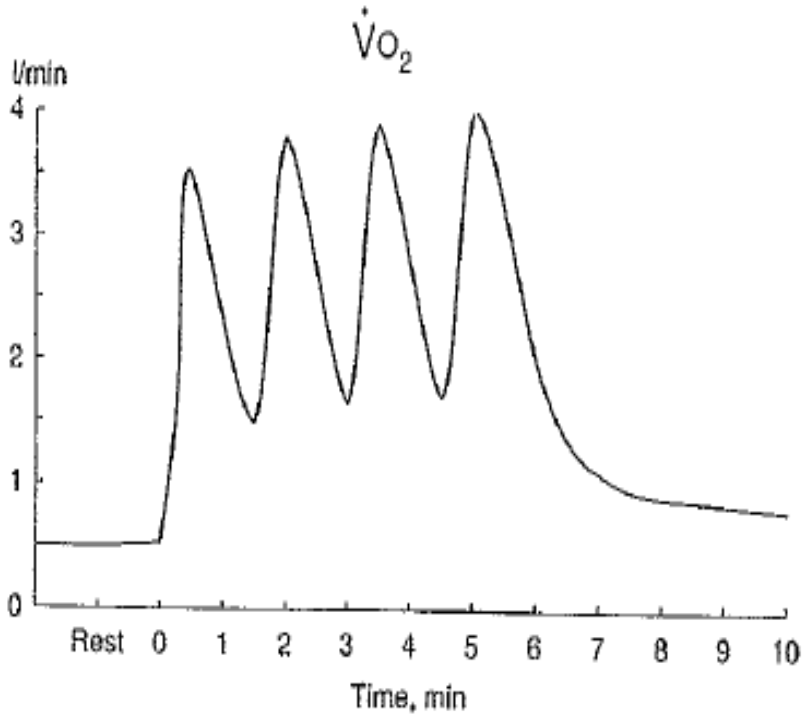


FIG. 5–2. Oxygen uptake measured breath by breath before and during intermittent cycling consisting of four 30-second-duration exercise periods (425 W) separated by 1-minute recovery periods.

- Fonti dirette di O2 disponibile ammontano a circa 900 ml O2/20kg muscolo (DW).
- Insufficiente a coprire la richiesta
- Si genera un grande debito di O2
- Fondamentali sono tempi di riposo tra i bouts (brevi).

Energia Aerobica durante esercizio Intermittente

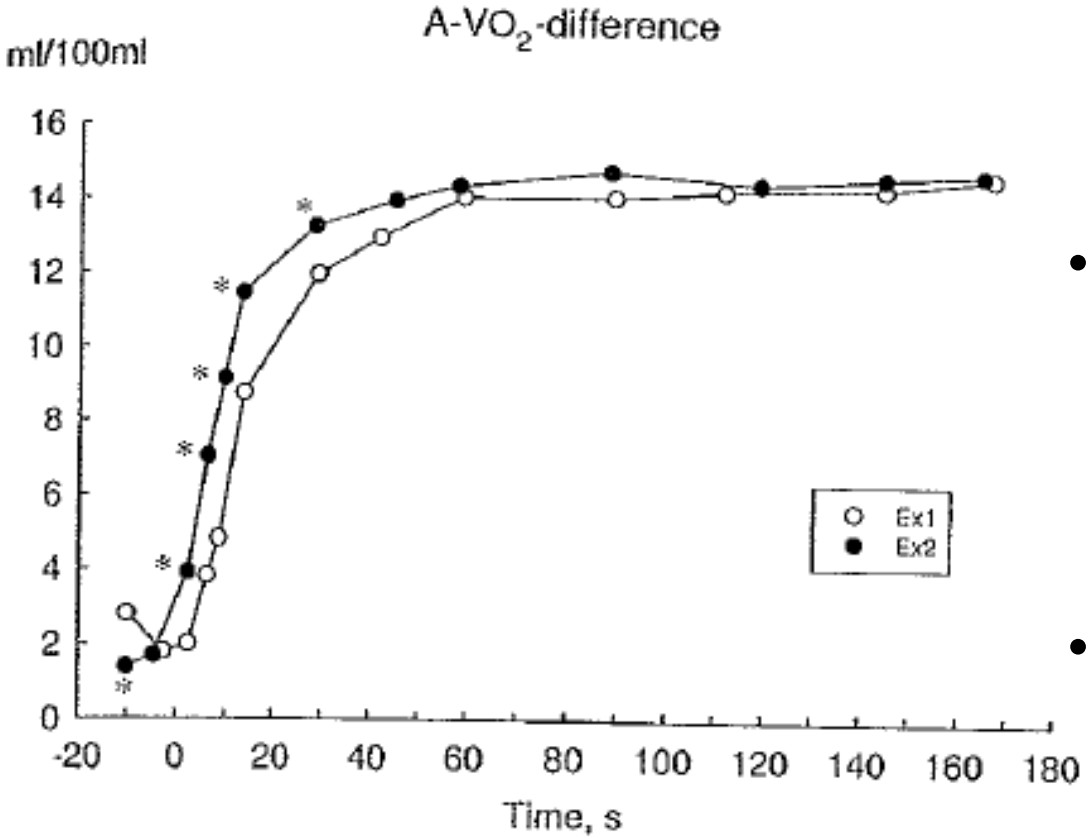
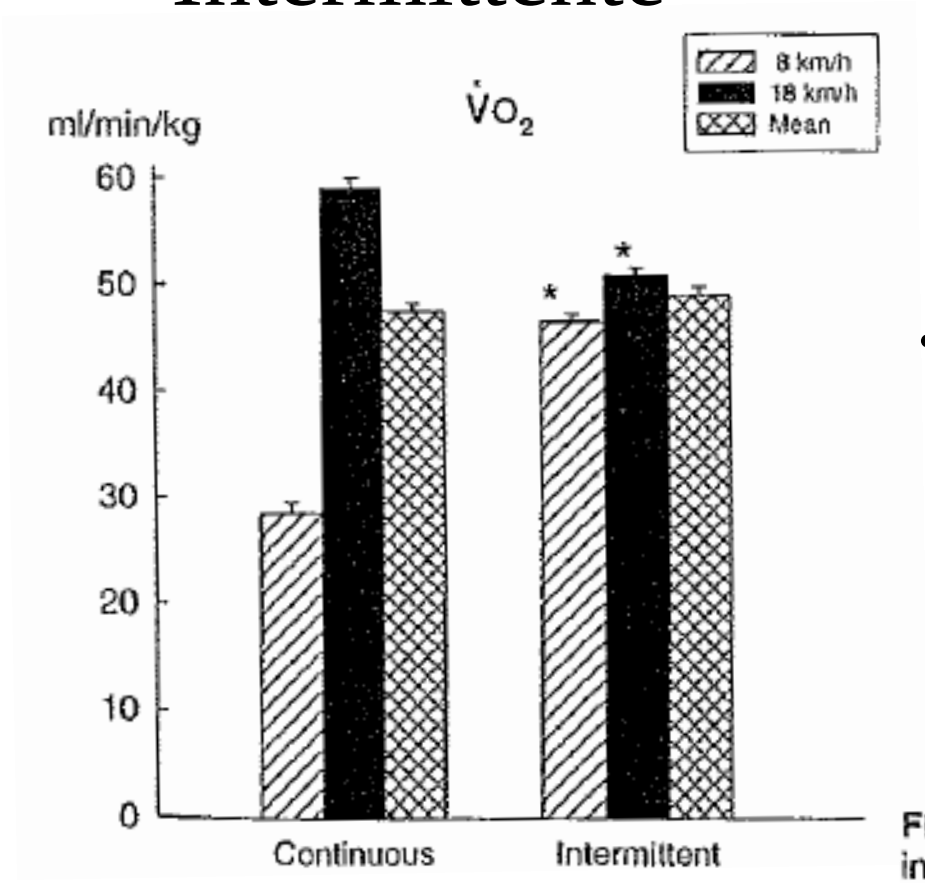


FIG. 5–3. Oxygen extraction of the exercising leg during repeated intense one-legged knee-extensor exercise (63 W). The two exercise periods were separated by a 6-minute rest period. Data presented as means. *, Significant difference between EX1 and EX2.

- Estrazione di ossigeno (gamba) durante ripetizioni intense (63W) intervallo di 6 min tra le due rip.
- Cinetica del consumo di Ossigeno più rapida assocità a aumento dell attività della piruvato deidrogenasi (PDH).
- Legame PDH catena di trasp elettroni non chiaro.
- Riduzione deficit di O2, ma la domanda di O2 è comunque grande.

Energia Aerobica durante esercizio Intermittente



- Lavori che richiedono una potenza metabolica fino a VO2max richiedono in media un consumo di ossigeno uguale (continuo=intermittente).

- Se l'intensità è maggiore di VO2max, il consumo di O2 risulta maggiore nell'intermittente rispetto al continuo.

FIG. 5–4. Oxygen uptake ($\dot{V}O_2$) during continuous (*left*) and intermittent treadmill running alternating between 10 seconds at 8 km/h^{-1} and 15 seconds at 18 km/h^{-1} (*right*). Mean $\dot{V}O_2$ (*right-hatched bars*) is determined as [$\dot{V}O_2$ (at 8 km/h^{-1}; *left-hatched bars*) × 10 + $\dot{V}O_2$ (at 18 km/h^{-1}; *open bars*) × 15]/25. Data presented as means ± standard error of the mean (SEM). *, Significant difference between continuous and intermittent running.

Energia Aerobica durante esercizio Intermittente

- Se l'intensità è maggiore di VO2max, il consumo di O2 risulta maggiore nell'intermittente rispetto al continuo.
- Es ripetuti anche di pochi sec, fanno aumentare notevolmente VO2 (2.85l/min=65%Vo2max, nei primi 30s di recovery dopo 5 sprint di 5s separati da 30s recovery)

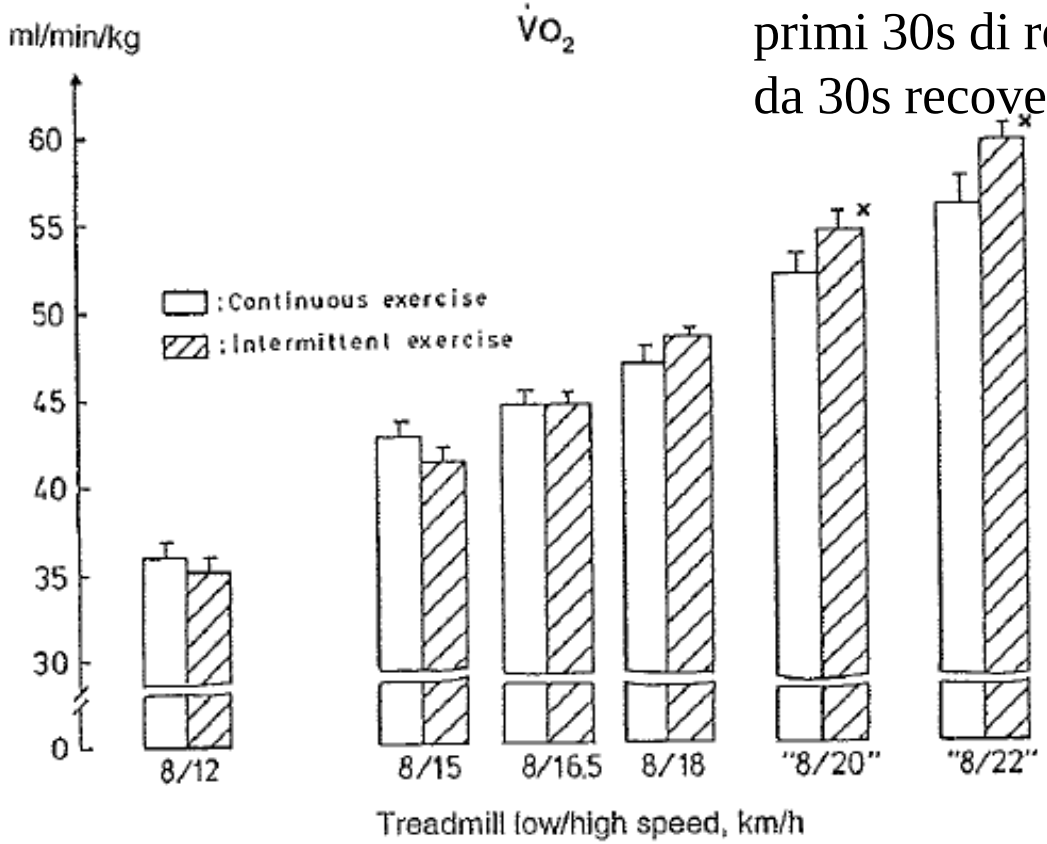


FIG. 5–5. Oxygen uptake ($\dot{V}O_2$) during continuous (*open bars*) and intermittent (alternating between 10 seconds at 8 km/h^{-1} and 15 seconds at a higher speed; *hatched bars*) treadmill running at the same mean speed. Oxygen uptake for the continuous exercise is estimated as [$\dot{V}O_2$ (at 8 km/h^{-1}) × 10 + $\dot{V}O_2$ (at the high speed) × 15]/25, except for "8/20" and "8/22," in which $\dot{V}O_2$ is determined during continuous running at the same speed as for the intermittent exercise (15.2 and 16.4 km/h^{-1}, respectively). Data presented as means ± SEM. *Significant difference between continuous and intermittent exercise.

Energia Anerobica durante esercizio Intermittente

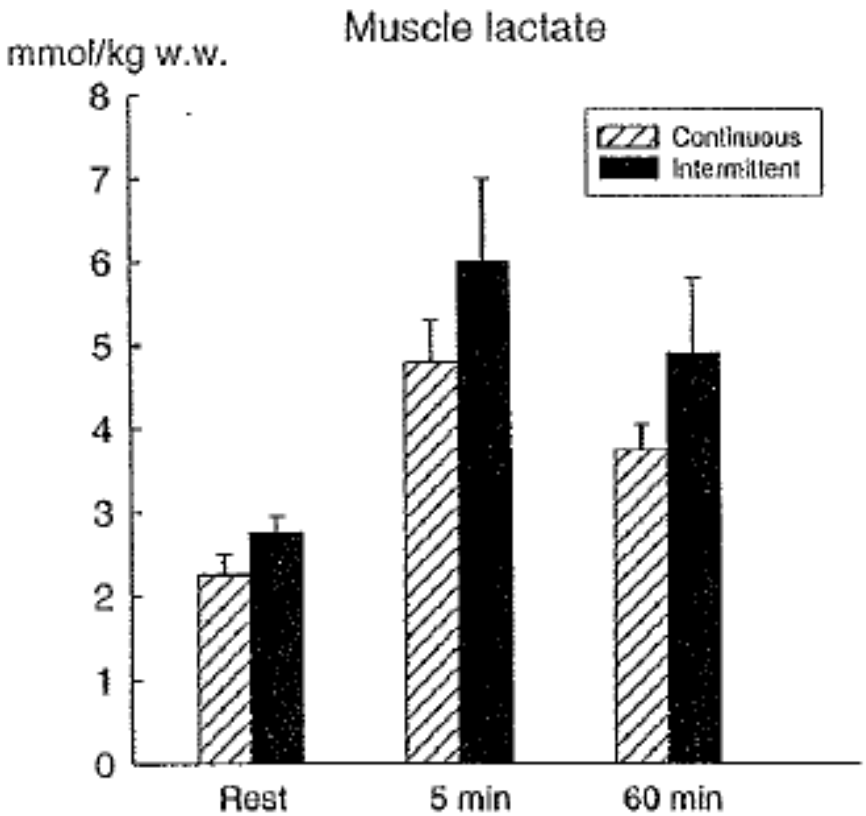


FIG. 5–6. Muscle lactate concentration at rest as well as after 5 and 60 minutes of continuous exercise at an intensity of 157 W (*open bar*) and of intermittent cycling alternating between 15-second exercise (299 W) and 15-second rest periods. Means ± SE are given. (Data adapted from ref. 5.)

- Non si sono viste differenze nella concentrazione di lattato tra esercizio continuo ed intermittente ad intensità pari al 50% Vo2max (15s bout-15s rest).
- Comunque una concentrazione di lattato maggiore si è sempre riscontrata dopo intermittente.

ATP- CP

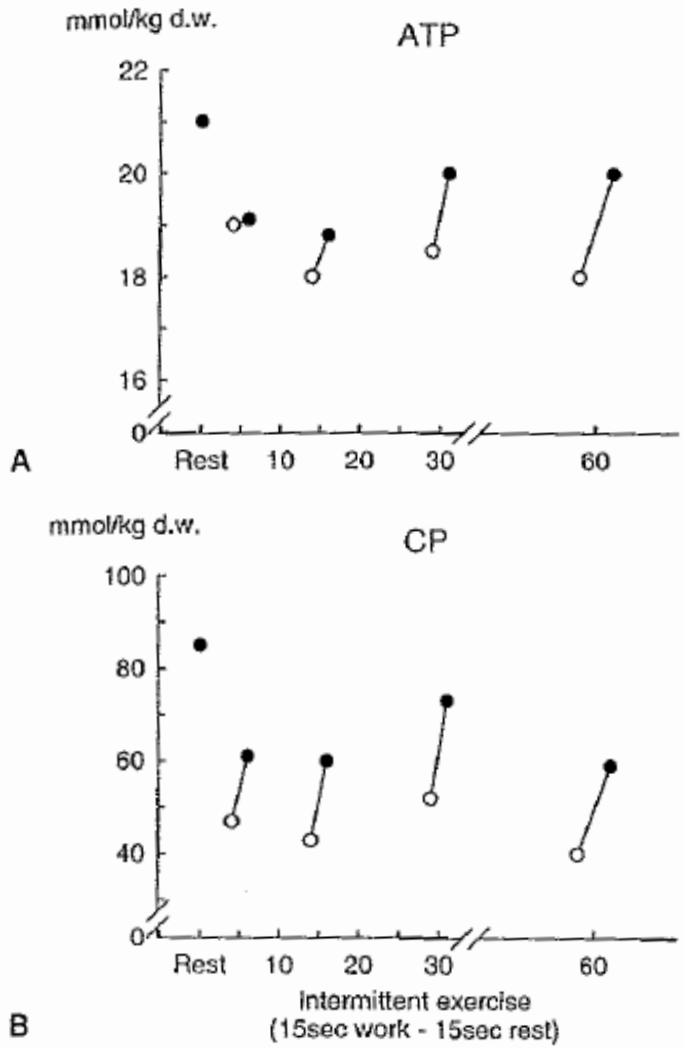


FIG. 5–7. Muscle adenosine triphosphate (ATP) (A) and creatine phosphate (CP) (B) concentration at rest and during intermittent cycling alternating between 15-second exercise and 15-second rest periods. *Open symbols* represent values immediately after exercise and *filled symbols* after 15 seconds of rest. (Data adapted from ref. 23.)

- Si è vista qualche piccola variazione di concentrazione di ATP e CP dopo es continuo.
- Mentre si sono vista maggiori fluttuazioni dopo es intermittente.
- (15s rest-15s Bout; dopo 5 min CP 40% del valore iniziale e aumentava a 70% dopo solo 15sec)

Richiesta metabolica

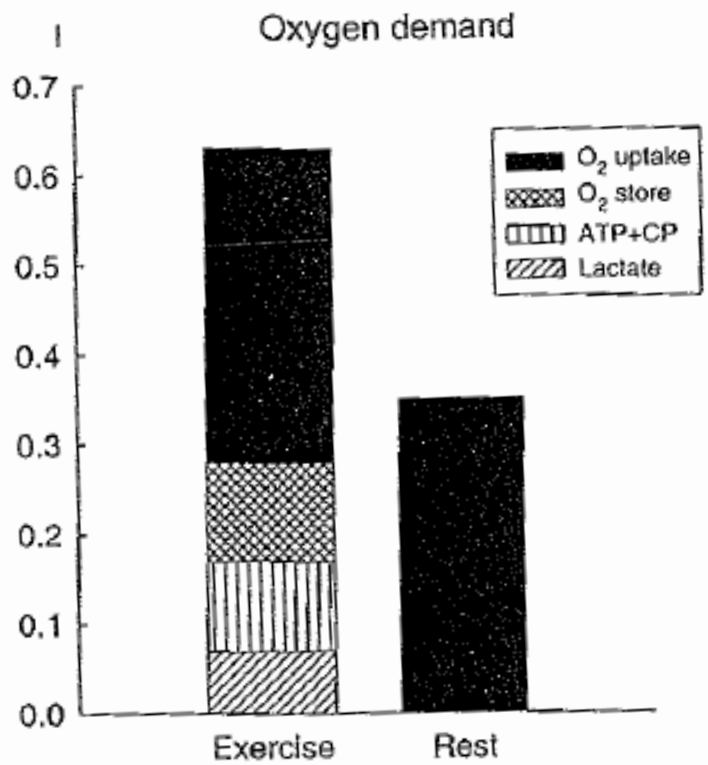


FIG. 5–8. Energy demand during the 15-second exercise periods (*left*) and oxygen uptake during the 15-second recovery periods (*right*) of intermittent cycling. The contribution to the oxygen deficit during the exercise periods from lactate accumulation, phosphagen depletion (ATP + CP) and oxygen stores, assuming a mass of active muscle of 11 kg, is indicated. Means ± SE are given. (Data adapted from ref. 5.)

- Richiesta metabolica durante 15s esercizio (sn) e VO2 in 15s di recupero (dx) .

- [La], deplezione di ATP, CP e riserve di O2 conta per circa il 46% considerando una massa di 11Kg di muscoli attivi

Accumulo di Lattato

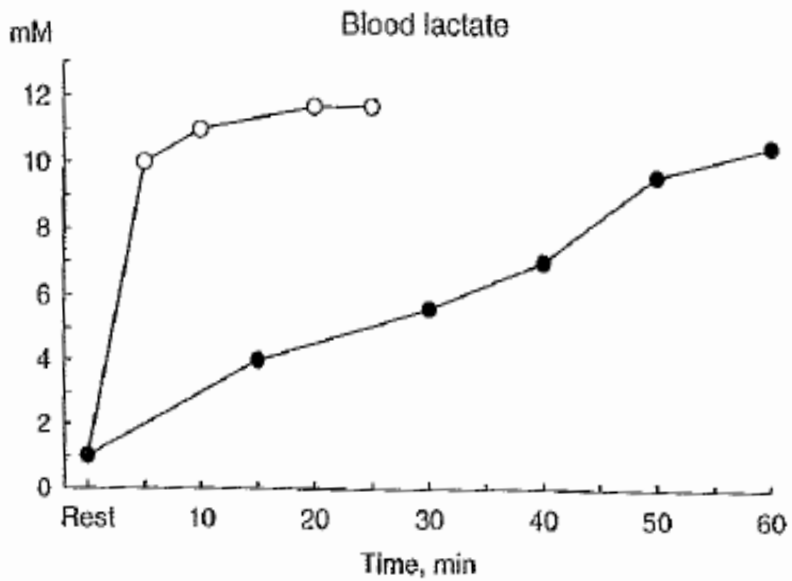


FIG. 5–9. Blood lactate concentration for a subject running to exhaustion at a speed of 22.75 km/h (*open circle*) and 22.00 km/h (*filled circle*). (Data adapted from ref. 6a.)

- Rapporto tra esercizio e recupero è importante per l'accumulo di lattato nel muscolo e nel sangue (1:2) differenza significativa tra i bouts 10-20 s (no lactate accumulation) e 30-60 s (↑La significativamente) .
- Questo è dovuto all'impiego al differente impiego delle riserve di O2 (Mb e Hb).
- Soglia critica (22Km/h-22.75Km/h 20s run e 10 rest)
- Risposta metabolica dipendente da durata del recovery.

Es intermittente sovramassimale

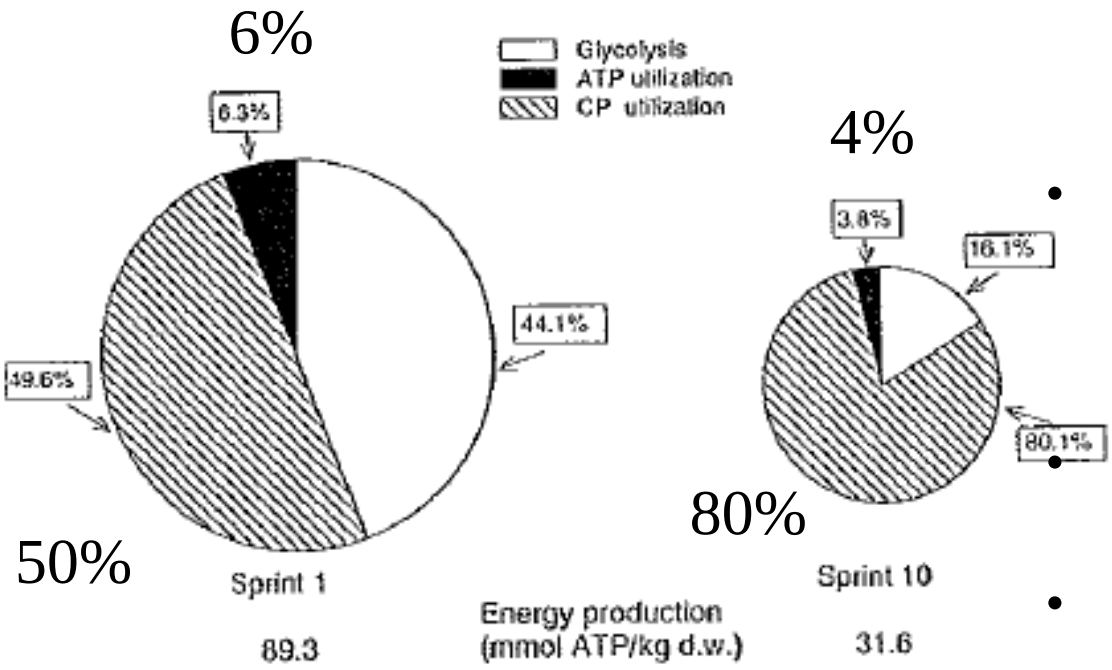


FIG. 5–10. Total muscle anaerobic energy production (not including energy production related to lactate release) and relative contribution of ATP and CP as well as glycolysis during the first and tenth 6-second sprints. The sprints were separated by 24 seconds of rest. (Data adapted from ref. 13.)

- Performance peggiora in funzione della durata, anche se [la] accumulato diminuisce.
- 10 rip di 6s : 33% riduzione della Peak Power 27% mean Power.
- La produzione totale di Energia anaerobica è stimanta essere circa 1/3 di quella disponibile al primo bout.
- Velocità della glicogenolisi (1rip):4.4 mmol/KgDW/s
- Velocità della glicolisi (1rip):2.3 mmol/KgDW/s
- Velocità della glicogenolisi (10rip):0.4 mmol/KgDW/s
- Velocità della glicolisi (10rip)::0.3 mmol/KgDW/s

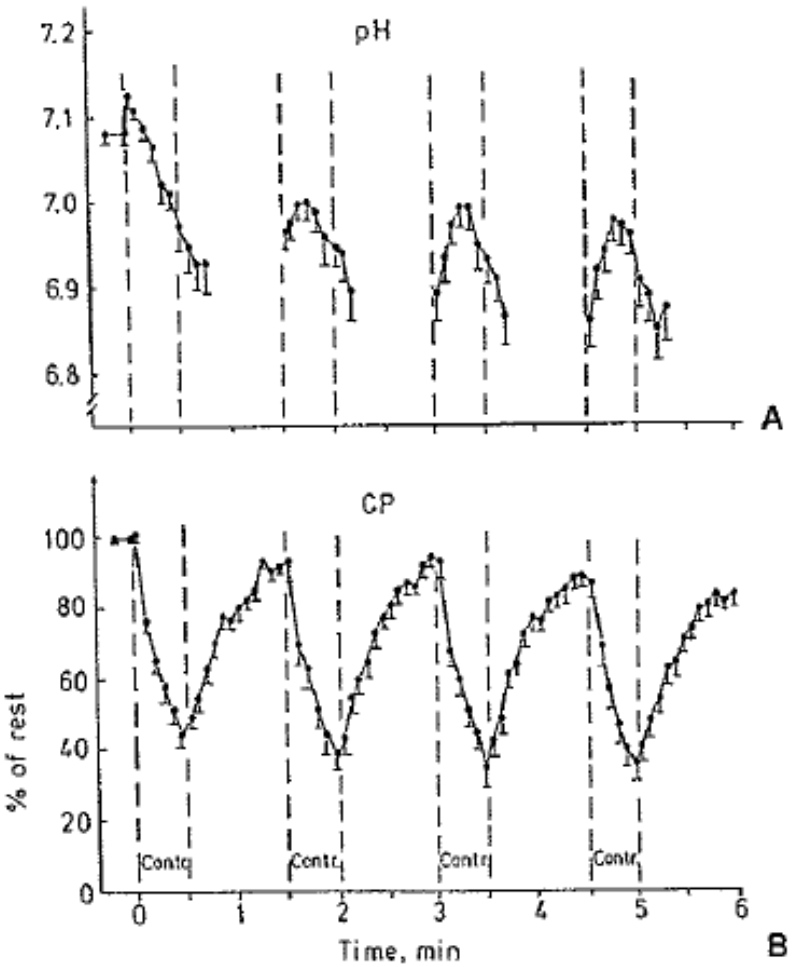


FIG. 5–11. Muscle CP concentration (A) and estimated muscle pH (B) determined by nuclear magnetic resonance (NMR) during repeated 30-second maximal isometric contractions. The CP concentration is expressed in relation to the concentration at rest. Means ± SEM are given. (Data adapted from ref. 25.)

- CP simile durante 4 MVC da 30s in NMR.
- Ma potenza prodotta ridotta durante i 4 bout
- Questo porta a evidenziare un rallenatmento della glicolisi.

- Che cosa causa il rallentamento della glicosi?
- ↓ [gly] non è un fattore causale
- ↑ [H+] influenza negativamente la glicolisi, ↓ pH ha effeti inibitori su forforilasie PFK (enzimi chiave della glicogenolisi e glicolisi rispettivamente) (effetti trascurabili a pH6.6)

Citrato

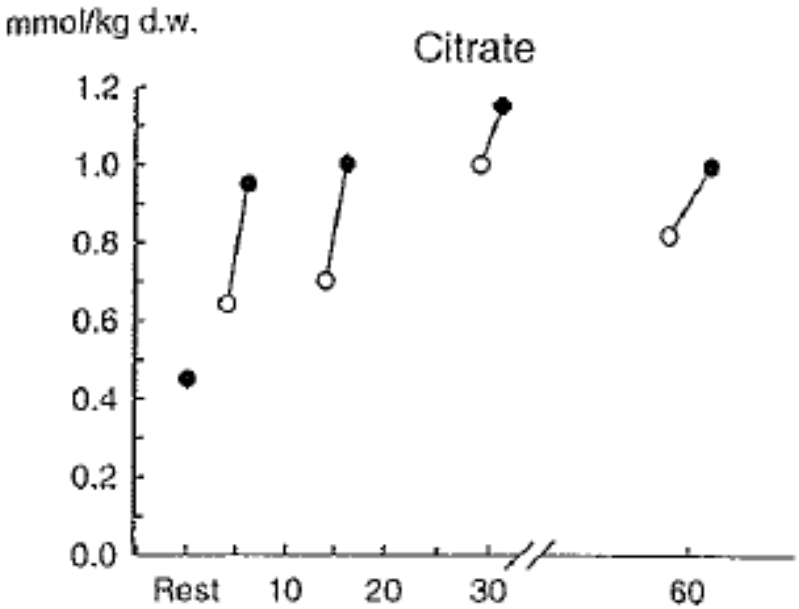


FIG. 5–12. Muscle citrate at rest and during intermittent cycling alternating between 15 seconds of exercise and 15 seconds of rest. *Open symbols* represent values immediately after exercise and *filled symbols* after 15 seconds of rest. (Data adapted from ref. 23.)

- ↑ [H+] sia attribuibile all' aumento del citrato a livello del citosol (misure fatte in vitro)
- Il citrato inibisce l'attività di PFK, potenziando gli effeti inibitori si ATP su PFK e stimolando l'attività del fruttoso-1,6 difosfato.
- [citrato] aumentava dopo 5, 10, 30 min di 15sec bout 15 sec rest at VO2max.
- Si ritiene che a sua volta sia l'effeto di aumento di enzima Acetil CoA da parte della B ossidazione e diminuzione dell'attività del ciclo del acido citrico

Utilizzo di substrati

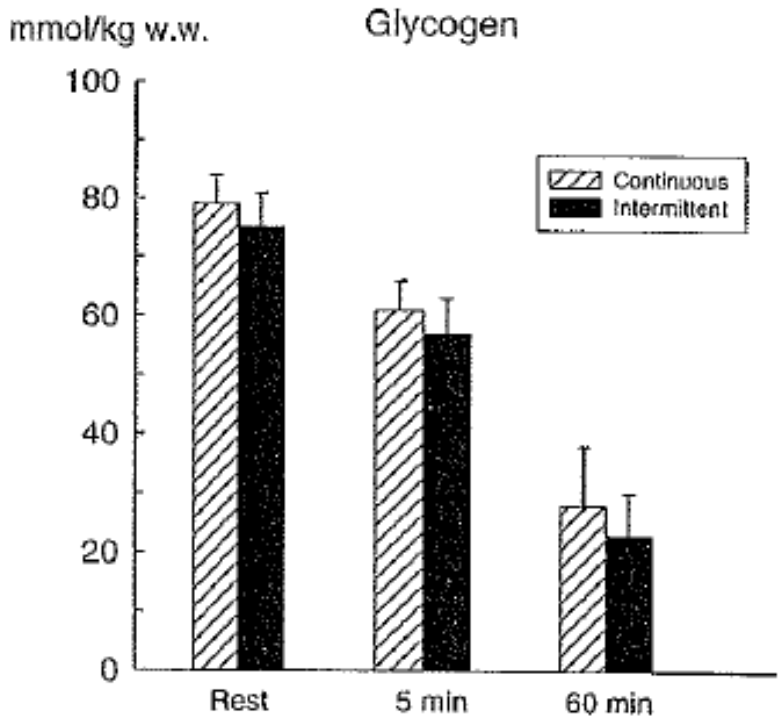
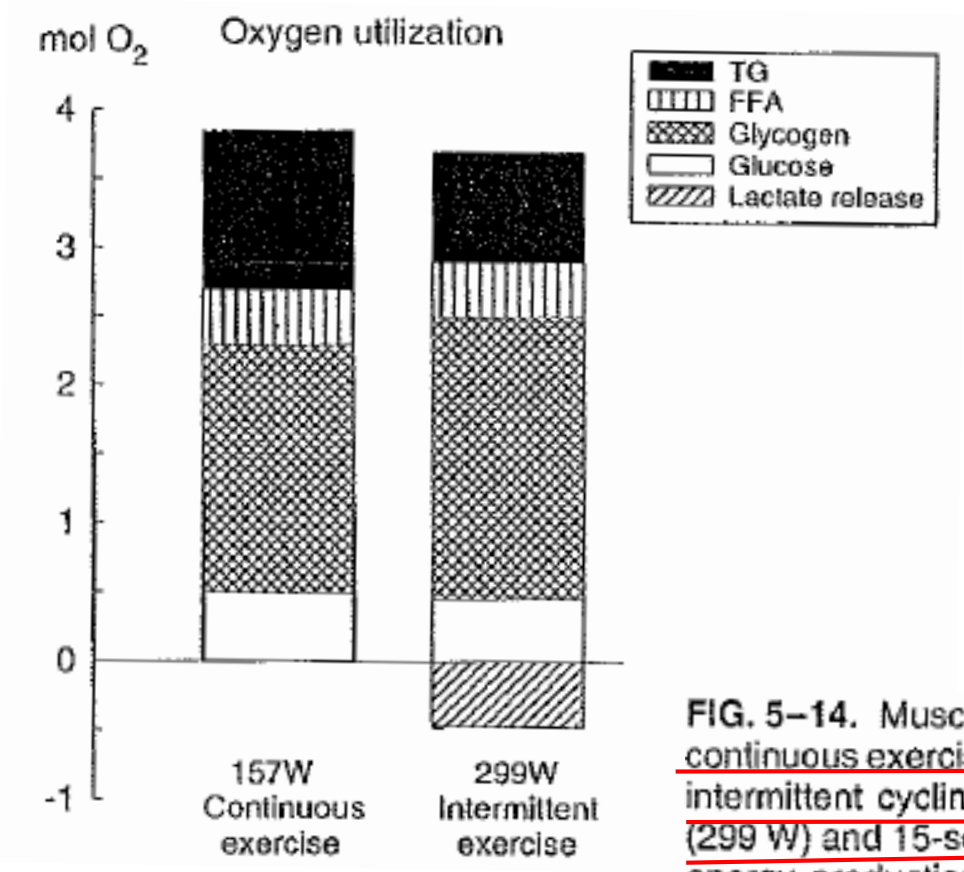


FIG. 5–13. Muscle glycogen concentration at rest as well as after 5 and 60 minutes of continuous exercise at an intensity of 157 W (*open bar*) and of intermittent cycling alternating between 15-second exercise (299 W) and 15-second rest periods. (*closed bar*). Means ± SE are given. (Data adapted from ref. 5.)

- Es. continuo → esaurimento in pochi min. Es. intermitt → sostenibile per un ora, no fatica. (a potenza pari a $V'O_{2max}$).
- [La] acc e uso del glicogeno simile in esercizio continuo e esercizio intermittente.
- Riduzione del glicogneno muscolare durante esercizio intermittente.



- Ossidazione dei carboidrati simile nei due tipi di lavoro.
- Ossidazione degli acidi grassi è considerevolmente superiore durante esercizio intermittente rispetto al continuo (fatto a metà potenza rispetto all'intermittente)

FIG. 5–14. Muscle substrate utilization during 60 minutes of continuous exercise at an intensity of 157 W (*open bar*) and of intermittent cycling alternating between 15-second exercise (299 W) and 15-second rest periods. The *total bar* shows the energy production based on measurements of leg oxygen uptake. The contribution from fat and carbohydrate oxidation is estimated from leg respiratory quotient (RQ) values. The uptake of FA and glucose from the blood and contribution to carbohydrate and fat oxidation, respectively, as well as lactate release, is also shown. The use of muscle glycogen is estimated as the difference between total oxidation of carbohydrates and glucose uptake, and the utilization of intramuscular/blood-borne triglycerides is determined as total fat oxidation subtracting oxidation related to fat uptake. (Data adapted from ref. 5.)

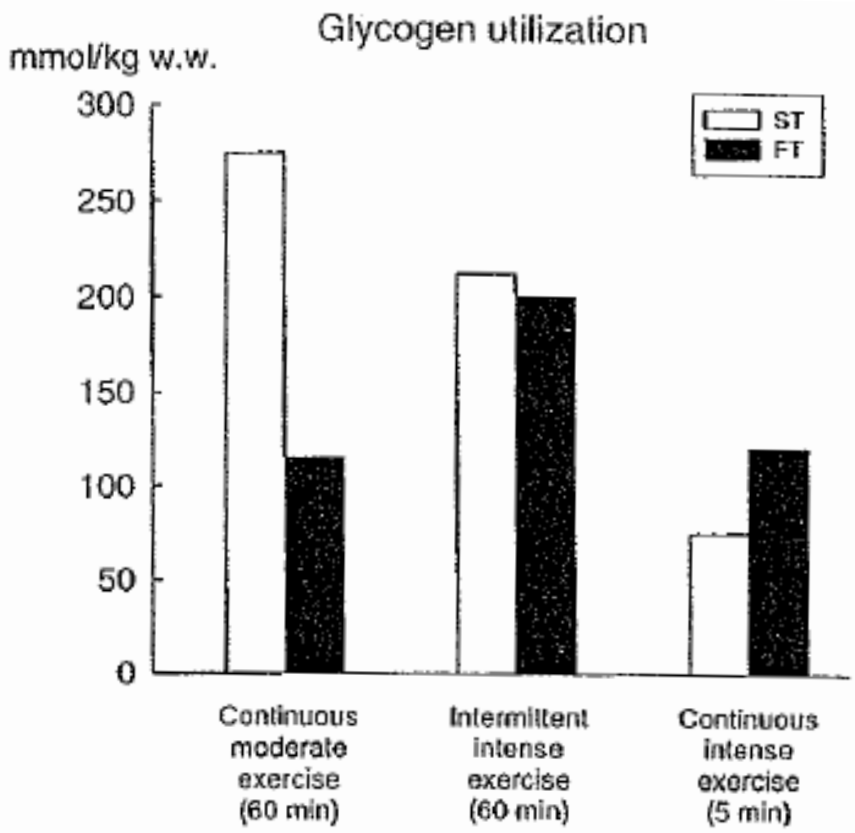


FIG. 5–15. Glycogen depletion in slow twitch (ST; *open bar*) and fast twitch (FT; *filled bar*) muscle fibers after 60 minutes of continuous exercise at an intensity of 157 W (*left*), of intermittent cycling alternating between 15-second exercise (299 W) and 15-second rest periods (*middle*) and continuous exhaustive exercise (299 W; 4–6 minutes, *right*). (Data adapted from ref. 23.)

- Reclutamento delle fibre muscolari soprattutto (ST) in es continuo a intensità pari a metà es. intermitt.
- sia fibre ST che FT durante esercizio intermittente.
- Importanti implicazioni per l'allenamento:
  - In es intermittente è possibile allenare fibre (FT) che altrimenti sarebbero reclutate solamente dopo ORE di es sottomassimale continuo.
  - ES intermitt. Sostiene stress metabolico prolungato senza affaticare il reclutamento.
  - CP e glicolisi primarie vie di supporto, con sostegno alla produzione che ossidazione di lattato.
- Recovery :
  - CP risintetizzato parzialmente in recovery.
  - Glicogeno Muscolare in recovery è basso.
  - Acidi grassi e glucosio ematico sono usati maggiormente
  - Maggior attività degli enzimi della β-ossidazione

Performance durate esercizio intermittente

- Abilità nel sostenere performance massimalmente (max Peak Power)
  - MVC restored in 2 min
  - Time to fatigue ridotto 40% dopo contrazioni al 66% MVC.
  - Peak Power 3' dopo 30s wingate si riporta a 90% dell'iniziale.
  - Dopo 3' all'esaurimento la potenza resta del 10% più bassa anche un ora dopo.
- Emerge che non viene compromessa la capacità di generare forza bensì alta potenza .

→

Fatica da riduzione di drive neurale (corticale), scarsa in atleti (componente muscolare).

ATP-CP

- ATP: raramente scende al di sotto del 60% dei livelli pre esercizio anche dopo es all'esaurimento volontario.
- Biopsie evidenziano compartimentizzazione dell'ATP . (livelli critici in siti specifici e blocco della contrazione)
- Risintesi di CP e livello è correlato con performance in es. intermittente

Lattato muscolare e Protoni

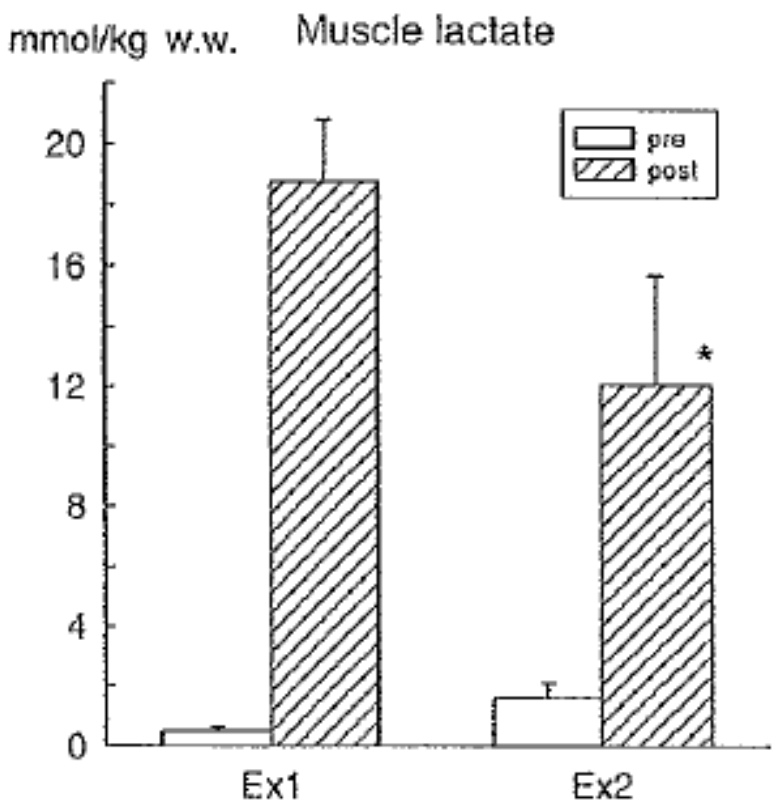


FIG. 5–16. Muscle lactate concentration prior to and at the end of two exhaustive knee-extensor exercise bouts separated by 1 hour of recovery. Note that the muscle lactate concentration at exhaustion was significantly lower at the end of exercise. (Data adapted from ref. 14.)

- Discutibile se il lattato porti alla fatica:
- Ioni Lattato inibiscono attività del reticolo sarcoplasmatico e l'attività dei canali del Ca++, limitano lo sviluppo di tensione muscolare, ma non hanno effetto sui livelli massimi di Ca++ e forza in fibre isolate.
- Grafico, stessa massima potenza all'esaurimento, dopo 60 min, ma concentrazioni di lattato solo 65% dell'iniziale.
- pH muscolare da 7.1 a 6.5-6.8 all'esaurimento. NMR mostra livelli ancora più bassi in alcune fibre.
  - In vitro , compromissione PFK e fosforilasi, accoppiamenti ecc-contrazione, affinità Ca++ troponina, ricaptazione Ca++ nel ReticoloSarc.
- Comunque pH non risulta un determinante della fatica

Accumulo di K+

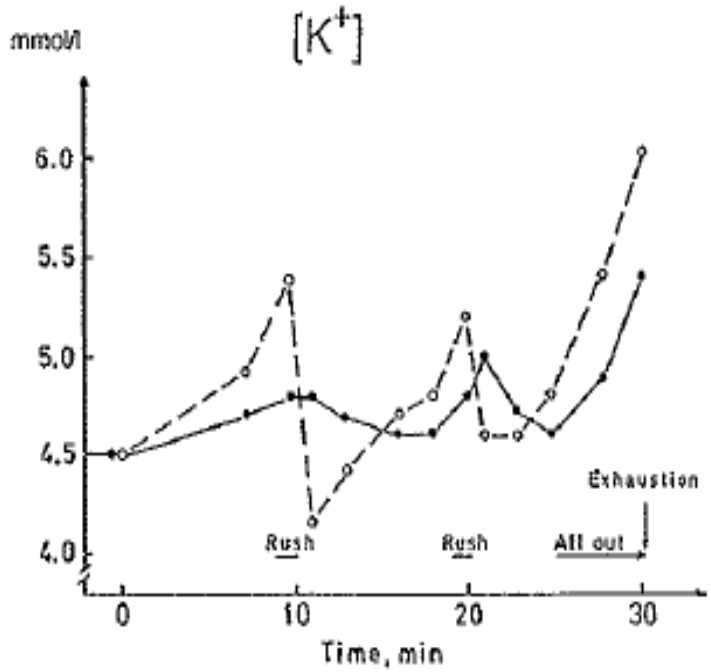


FIG. 5–17. Arterial (*filled circles*) and femoral venous (*open circles*) potassium (K^+) concentrations during knee-extensor exercise (60 W; kick frequency: 60 seconds) for one subject. Twice during exercise the kick frequency was elevated to 80 seconds for 1 minute (rush), and toward the end of the protocol the subject exercised to exhaustion (all-out). (Data adapted from ref. 25.)

- Accumulo di K+ risulta stimolare i recettori delle terminazioni III e IV, che sostengono una inibizione a livello spinale.
- Inibizione della propagazione del potenziale d'azione dovuta all'azione del potassio sul sarcolemma della fibra muscolare e possibile blocco trasmissione nei tubuli a T.
- Progressivo accumulo nell'interstizio dovuto al massiccio efflusso e scarsa ricaptazione.
- Ruolo della riduzione di pH nell'aumentare il rilascio di potassio all'esterno della cellula.

- In es intermittente, si ha rilascio di K+ ma anche ricaptazione nel recovery → minor fenomeni di fatica.
- Grafico intenso ricaptazione dopo Rush (Na+/K+).

Glicogeno muscolare e fatica

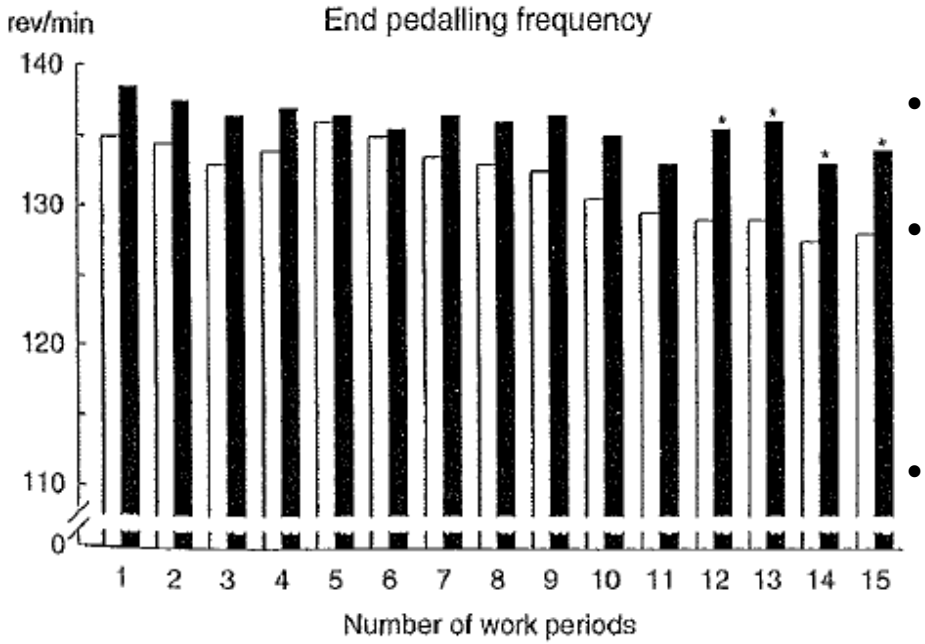


FIG. 5–18. Pedaling frequency during last 2 seconds of fifteen 6-second periods of intense cycling separated by 30-second rest periods with a diet low (*filled bars*) and high (*open bars*) in carbohydrates in the days before the test. The subjects were asked to maintain a pedaling frequency of 140 revolutions per minute. Note that after the high-carbohydrate diet the subjects' ability to keep a high pedaling frequency was better. (Data adapted from ref. 52a.) *Significant difference between high- and low-carbohydrate diet.

- Non si osserva fatica fino a valori di Glicogeno < 40 mmmol/kg.
- Anche se maggior apporto di carboidrati accompagnato da maggior accumulo di glicogeno ritarda la fatica (soprattutto in esercizio intermittente prolungato).
- Reclutamento frequente di stesse fibre porta a deplezione selettiva e progressiva riduzione del numero di fibre disponibili per produrre forza.
- Rate in sufficiente al ciclo degli acidi tricarbossilici TCA.

Concludendo

- Sistema a erobico contribuisce significativamente alla produzione di enegia sia in esercizio che nel recovery, sistema anaerobico fornisce energia del bout.
- Durante il Recovery, ossidazione dei grassi è sostanziale come il glucosio preso dal sangue.
- Fatica associata al processo di accoppiamento eccitazione-contrazione (K+) e riduzione del drive neurale da inibizione riflessa spinale.

Bibliografia

- Energy utilization in intermittent exercise. Margaria R et al. JAppl Physiol 26: 752-756, 1969
- Physiology of intermittent Exercise. Exercise and Sport Science. W. E. Garrett, D.T. Kirkendall. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, 2000