Fabbisogno di energia per l'attività fisica

In qualsiasi tipo di sport si consuma energia; la "miscela di carburante" che alimenta l'esercizio, dipende da:

- intensità dello sforzo
- durata dello sforzo
- stato nutrizionale
- stato di allenamento dell'atleta

Il dispendio energetico dell'atleta può arrivare complessivamente a 3500-4000 Kcal a seconda dell'intensità e della durata del lavoro svolto, del tipo del lavoro stesso, dalle condizioni ambientali

L'alimentazione ha lo scopo di soddisfare una duplice necessità dell'organismo:

- Fornire l'energia necessaria per il mantenimento della vita e dell'attività muscolare (esigenze energetiche)

- Provvedere alla protezione, alla riparazione e alla costruzione dei tessuti (esigenze plastiche)

Lavoro muscolare

Il dispendio energetico con l'attività fisica ovviamente è variabile a seconda del tipo di attività. Può andare dal 15% circa per stili di vita sostanzialmente sedentari, fino a valori anche pari a 3-4 volte il MB (atleti e attività occupazionali particolarmente pesanti)

Uomini e donne che praticano attività sportiva non hanno bisogno di alimenti addizionali oltre a quelli ottenuti da una dieta ben bilanciata

Tipi di attività fisica

Attività aerobica

Attività sostenuta e vigorosa (nuoto, corsa) che aumenta il volume ematico ed il numero di globuli rossi

Attività anaerobica

Sforzi intesi di breve durata. Aumenta il volume della massa magra

Anaerobiosi

L'ATP si può formare tramite:

- **trasferimento del gruppo fosforico dalla fosfocreatina all'ADP**

- **scissione del glicogeno epatico o muscolare**

Aerobiosi

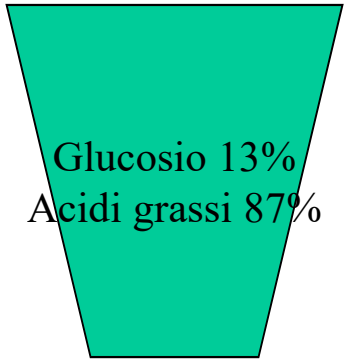
L'ATP si ottiene dall'ossidazione di:

- **carboidrati**
- **lipidi**
- **proteine**

Sviluppa una minore potenza ma può avere una maggiore durata

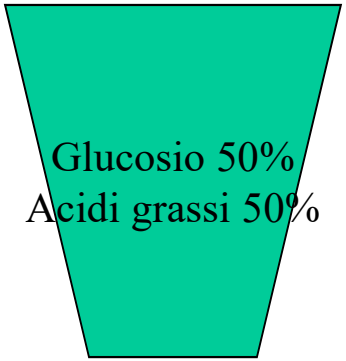
Tipo di carburante utilizzato nelle diverse attività

Riposo

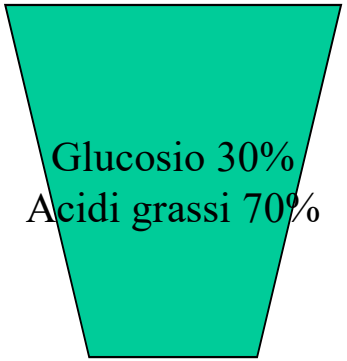


Sforzo di elevata intensità e breve durata

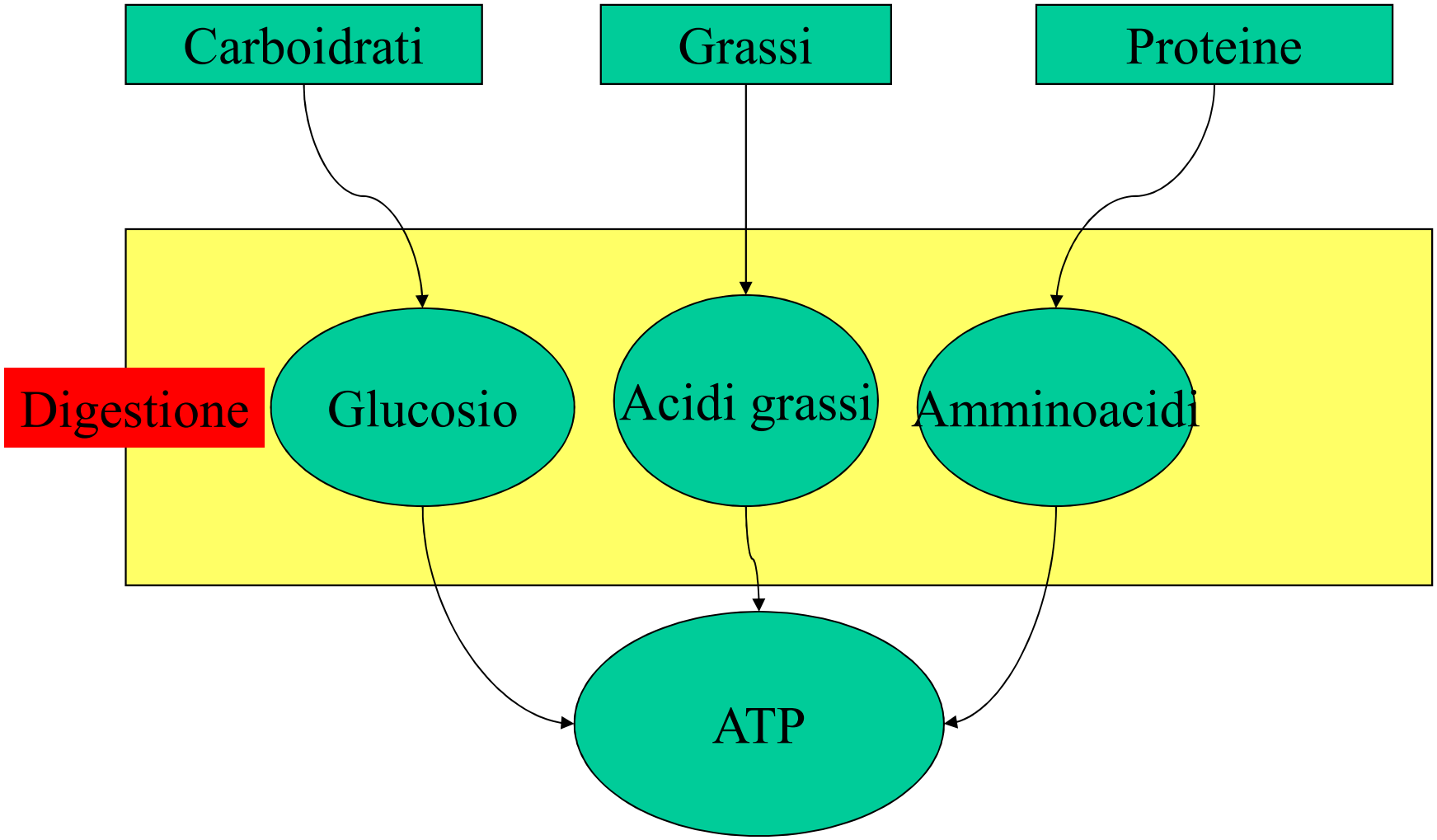
Sforzo di media intensità e modesta durata



Sforzo intenso e prolungato (maratona)



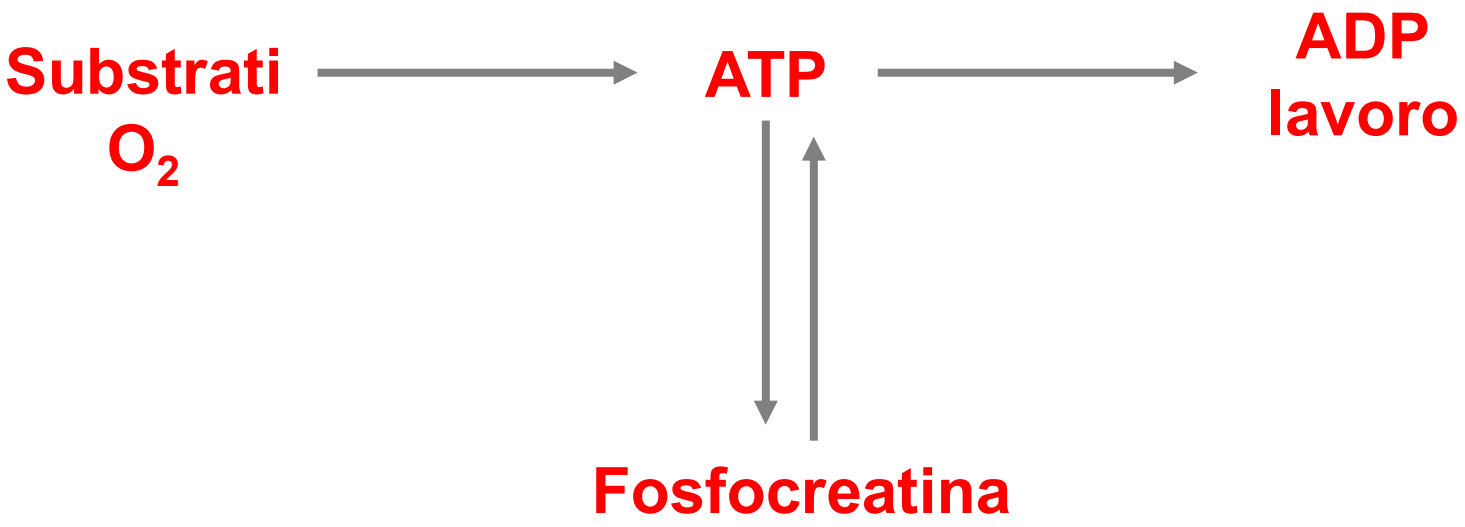
Produzione di ATP



Esistono due tipi di esercizi fisici:

- aerobico (es. corsa sulla lunga distanza)
- anaerobico (es. scatto veloce o sollevamento pesi)

Durante l'esercizio anaerobico i muscoli utilizzano le riserve di glicogeno e fosfocreatina



Eventi metabolici del muscolo striato

Gli eventi metabolici che hanno grande importanza nella contrazione muscolare nel muscolo striato sono:

1. La glicogenolisi e la glicolisi, con produzione di acido piruvico e lattico; il muscolo striato è dotato di lattico deidrogenasi M, che forma preferenzialmente lattato;

2. Il ciclo di Krebs, molto attivo, in tessuto come quello muscolare molto ricco di mitocondri;

3. L'utilizzazione, attraverso la β-ossidazione, degli acidi grassi provenienti dal tessuto adiposo, e dei corpi chetonici;

4. La formazione di ATP, ad opera della glicolisi, della β-ossidazione, del ciclo di Krebs, e di due enzimi molto efficienti nel muscolo:

   a) La reazione della creatina kinasi

$$\text{creatina}\sim\text{fosfato} + \text{ADP} \longleftrightarrow \text{creatina} + \text{ATP}$$

   sono conosciuti tre isoenzimi della creatina kinasi, quello del muscolo striato (CK-MM), quello del muscolo cardiaco (CK-MB) e quello del tessuto cerebrale (CK-BB), di grande importanza diagnostica.

   b) La reazione miokinasica

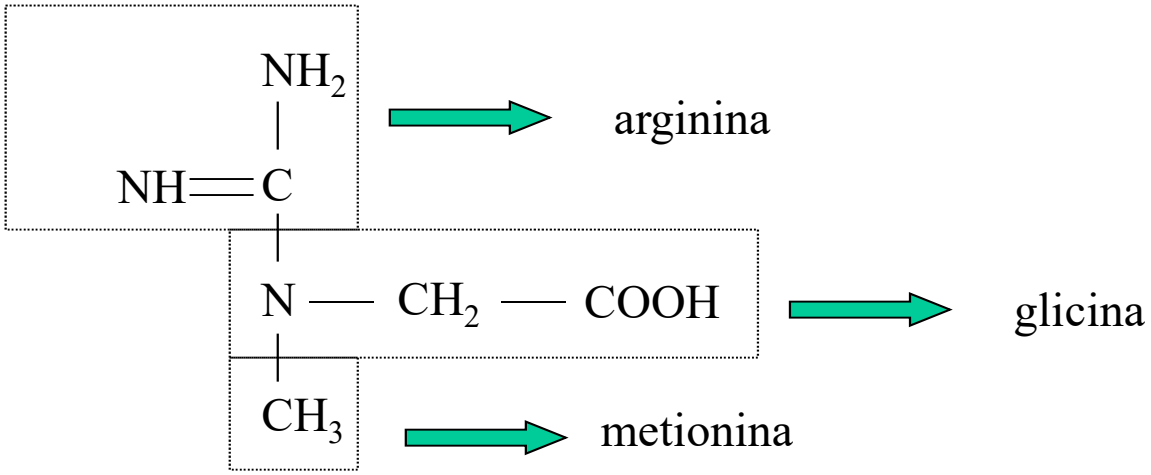
$$2\ \text{ADP} \longleftrightarrow \text{ATP} + \text{AMP}$$

L'accumulo di AMP, che bloccherebbe la reazione miochinasica e la formazione di ATP ad essa legata, è favorita dal fatto che nel muscolo striato è molto efficiente un'altra reazione, la adenilico deaminasi:

$$\text{AMP} + H_2O \longrightarrow \text{IMP} + NH_3$$

5. L'acido lattico e l'alanina (provenienti dal piruvato) sono convogliati al fegato e innescano la gluconeogenesi epatica, così il fegato può continuare a rifornire il muscolo di glucosio

CREATINA



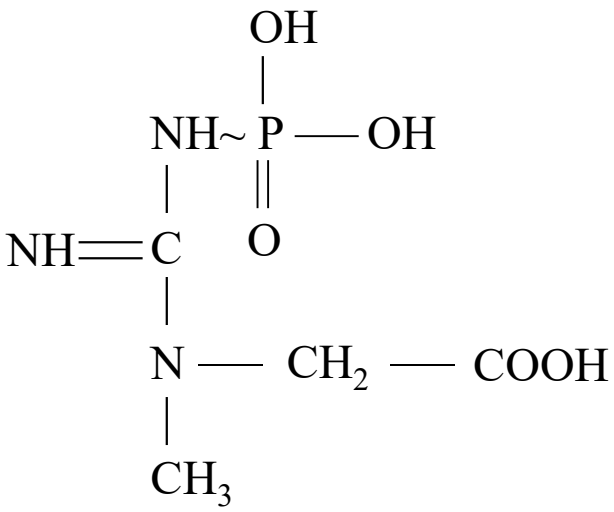
La creatina (acido metil-guanidin-acetico) viene sintetizzata nell'organismo a livello epatico e renale a partire da tre amminoacidi: la metionina che fornisce il gruppo metilico (reazione di transmetilazione); la glicina fornisce il gruppo acetico (e l'azoto) e l'arginina il gruppo amidinico.

Dagli organi di sintesi la creatina viene rilasciata in circolo e quindi catturata dai muscoli (cardiaco e scheletrico) e dal cervello che per la maggior parte la fosforilano producendo fosfocreatina.

Un uomo di 70 Kg ha circa 120 g di creatina (il 95% nei muscoli) ed il turn-over giornaliero (cioè la quantità giornaliera che viene eliminata e che deve essere rimpiazzata mediante sintesi endogena ed assunzione alimentare) è di circa 2 g (1,6% del contenuto totale di creatina) e l'altro 50% mediante sintesi endogena da metionina, glicina ed arginina.

L'assunzione alimentare di creatina esercita effetti inibitori sulla sintesi endogena mediante meccanismo a feed back.

STRUTTURA DELLA FOSFOCREATINA

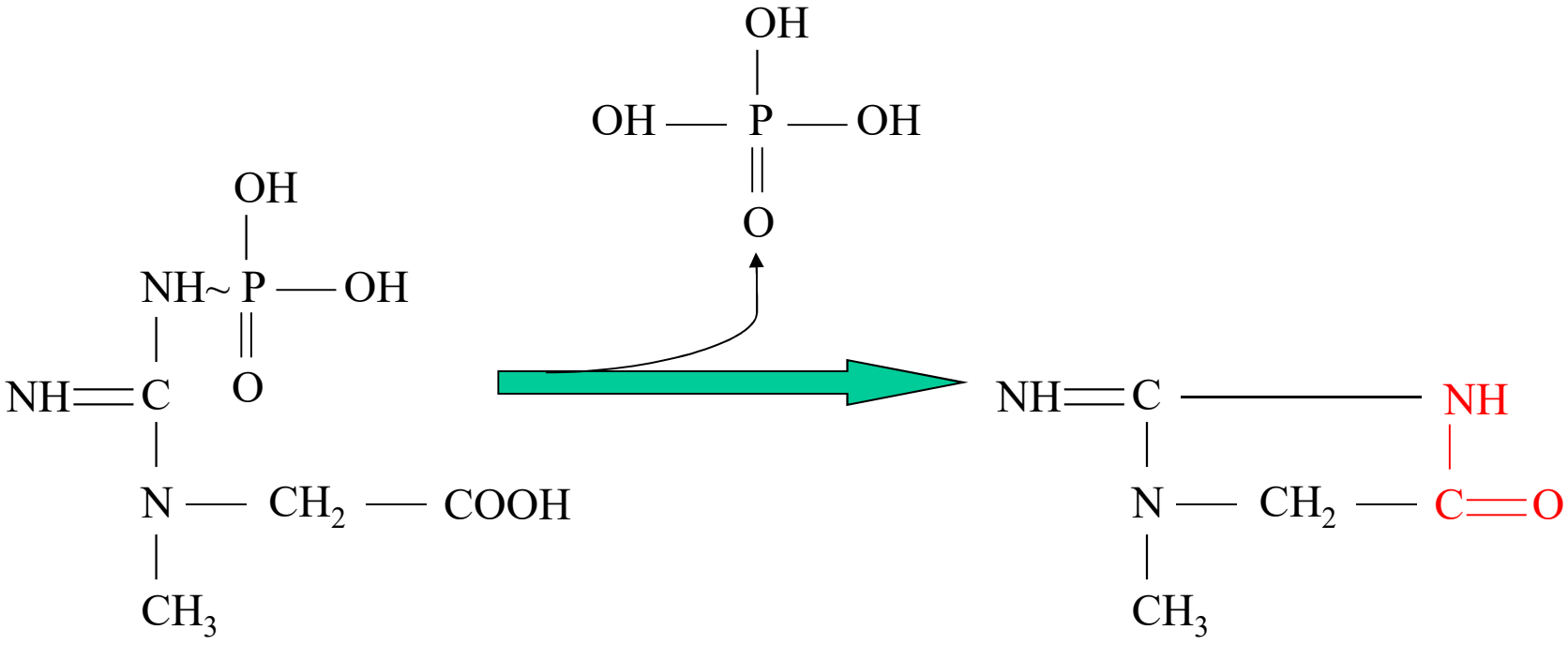


ΔG°= -10 Kcal/mol

La fosfocreatina rappresenta una *forma di riserva di energia chimica* disponibile ad essere rapidamente convertita in ATP

La rapida sintesi di ATP da fosfocreatina fornisce un contributo fondamentale al mantenimento dei livelli di ATP nei primi 4-6 secondi di uno sforzo massimale.
Durante la fase di recupero sarà l'ATP sintetizzata mediante meccanismo aerobico che permetterà la risintesi della fosfocreatina.

La conversione di fosfocreatina in creatinina produce una inattivazione funzionale della molecola

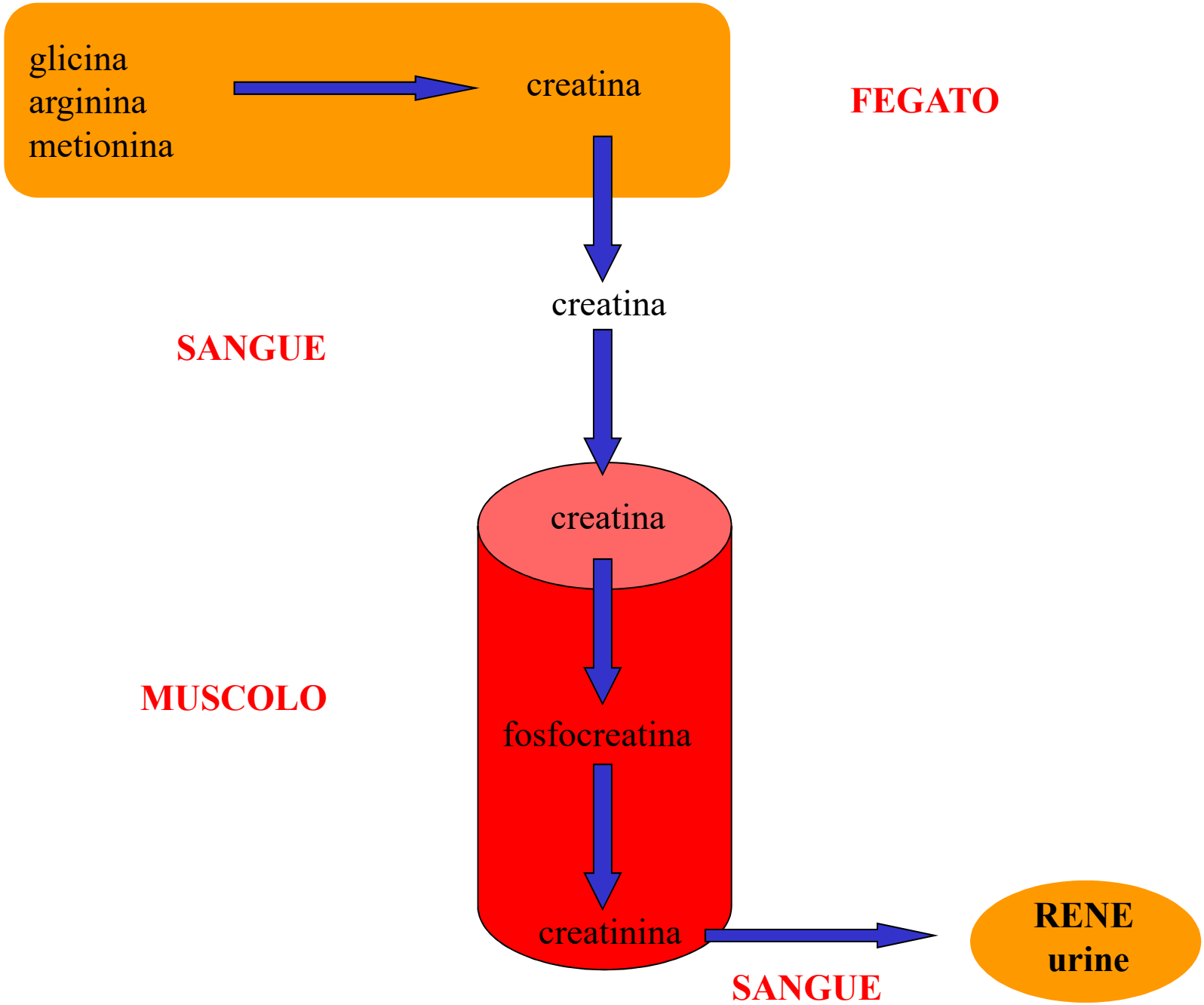


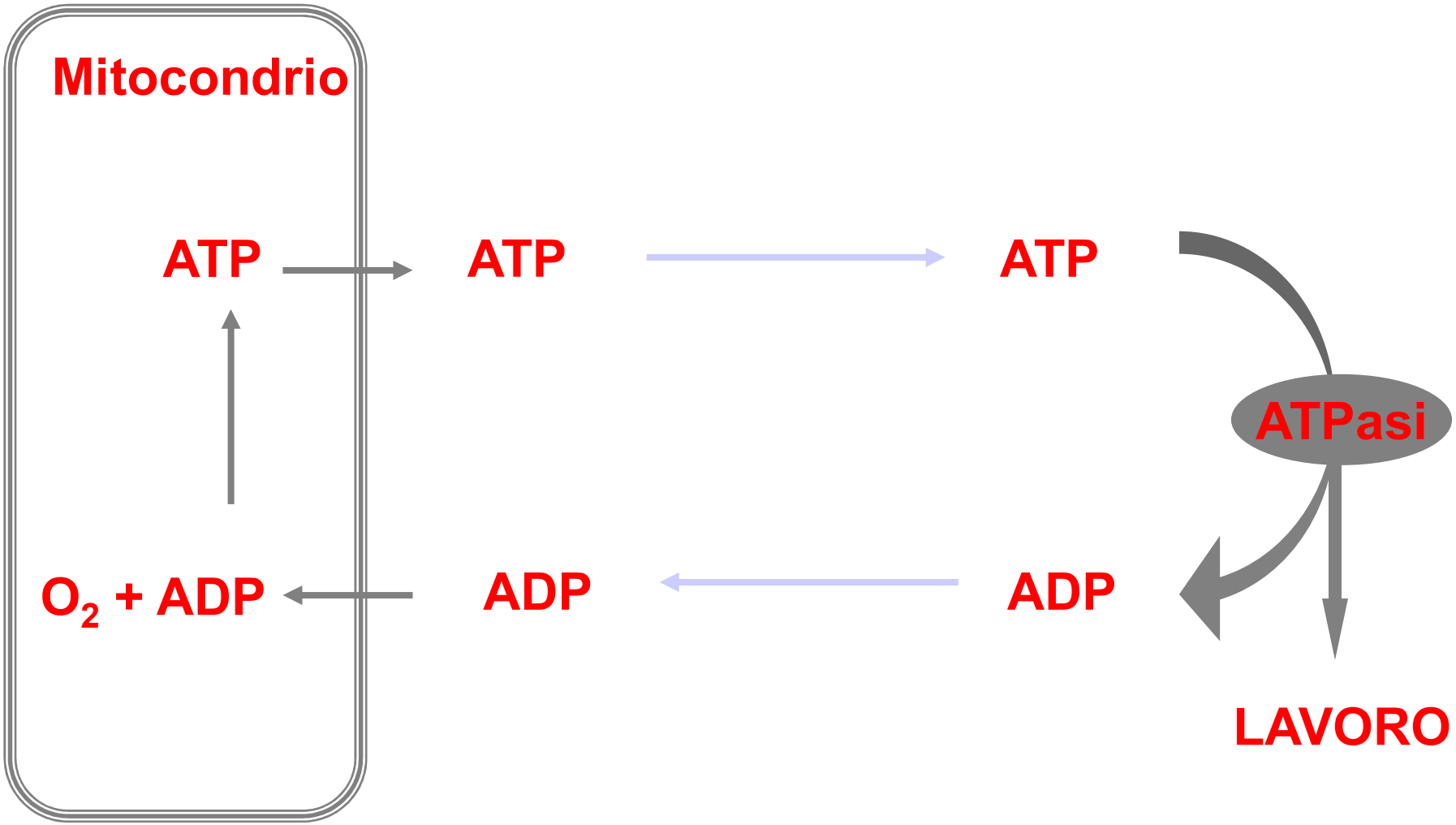
Fosfocreatina

Creatinina

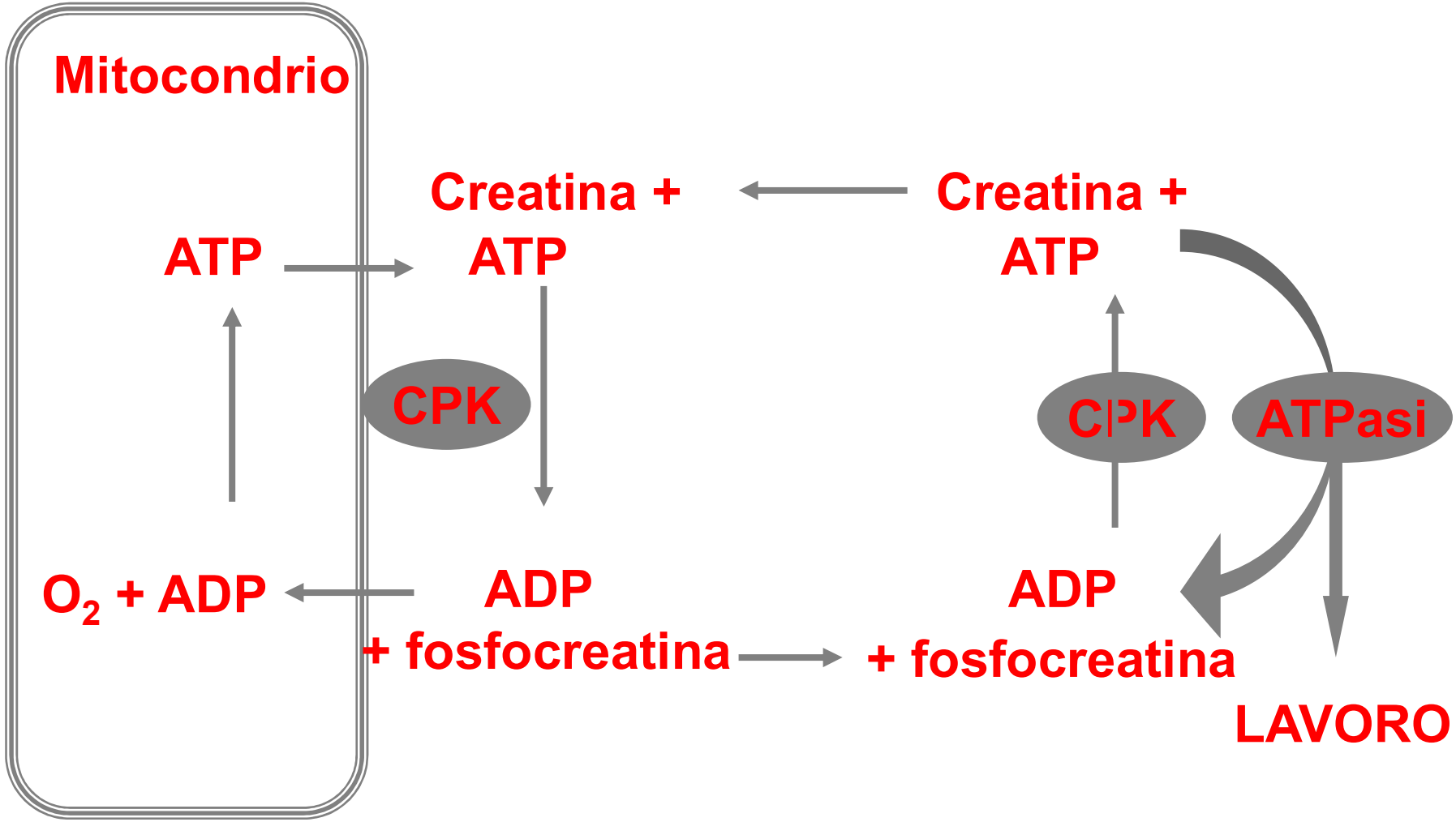
La creatinina è una forma inattiva di creatina che deve essere eliminata dall'organismo attraverso le urine.

Un aumento della creatinina nel sangue è un indice di sensibile danno renale


glicina
arginina
metionina
creatina
FEGATO
creatina
SANGUE
creatina
MUSCOLO
fosfocreatina
creatinina
SANGUE
RENE
urine


Mitocondrio
ATP
ATP
ATP
ATPasi
O_2 + ADP
ADP
ADP
LAVORO

Fosfocreatina come shuttle di energia



I meccanismi di sintesi di ATP per la contrazione muscolare si possono dividere in:

- Meccanismi anaerobici alattacidi
- Meccanismi anaerobici lattacidi
- Meccanismi aerobici

Meccanismi anaerobici alattacidi

a. Sintesi di ATP da fosfocreatina nella reazione catalizzata dalla creatina kinasi

$$\text{creatina}\sim\text{fosfato} + \text{ADP} \longleftrightarrow \text{creatina} + \text{ATP}$$

b. Sintesi di ATP nella reazione catalizzata dalla miokinasi

$$2\ \text{ADP} \longleftrightarrow \text{ATP} + \text{AMP}$$

Poiché la concentrazione di ATP in cellula è molto più alta di quella dell'AMP, piccole variazioni nella concentrazione di ATP si riflettono in un notevole aumento percentuale della concentrazione dell'AMP

L'AMP è un ottimo segnale dello stato energetico della cellula

Meccanismi anaerobici lattacidi

Produzione di lattato dalla glicolisi anaerobica con resa netta di 2 molecole di ATP per mole di glucosio

Meccanismi aerobici

- **catabolismo degli zuccheri (glicolisi aerobica)**
- **catabolismo dei grassi (β-ossidazione)**
- **catabolismo degli amminoacidi (transdeaminazione)**

Quali processi metabolici producono ATP nel processo aerobico?

- **Processo aerobico**
  - **Glicogeno**
  - **Glucosio ematico**
  - **Acidi grassi**
  - **Corpi chetonici**
  - **Aminoacidi (proteine)**

CLASSIFICAZIONE DELLE ATTIVITÀ SPORTIVE A SECONDA DEL LORO COSTO CALORICO

Prevalentemente aerobiche	Aerobico-anaerobiche alternate	Prevalentemente anaerobiche
corsa di fondo	calcio	corsa veloce
corsa campestre	judo	salto con l'asta
ciclismo	basket-ball	salto in lungo
nuoto	rugby	salto in alto
sci di fondo	hockey su ghiaccio	salto triplo
cannottaggio	hockey su prato	lancio del disco
sport estensivi o di lunga durata	pallavolo	sport intensivi o esplosivi o di velocità
Kcal/Kg/h di allenamento min. 6 max. 18	Kcal/Kg/h di allenamento min. 5 max. 15	Kcal/Kg/h di allenamento min. 3 max. 12

L’esercizio aerobico

- **Vengono coinvolti, durante le prime fasi, questi substrati:**

- ❑ **Glicogeno muscolare**
- ❑ **Glucosio ematico**

Inizialmente il glicogeno muscolare!

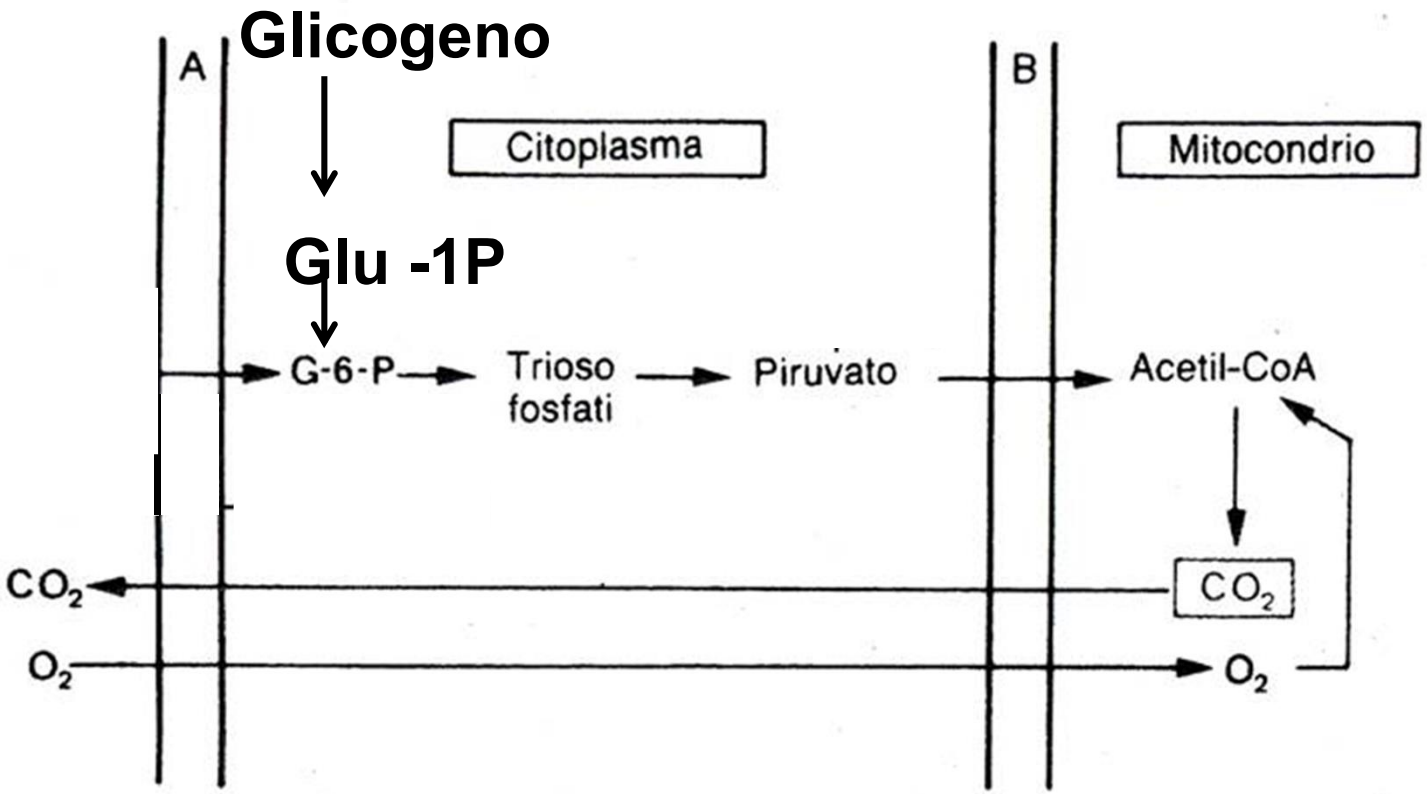
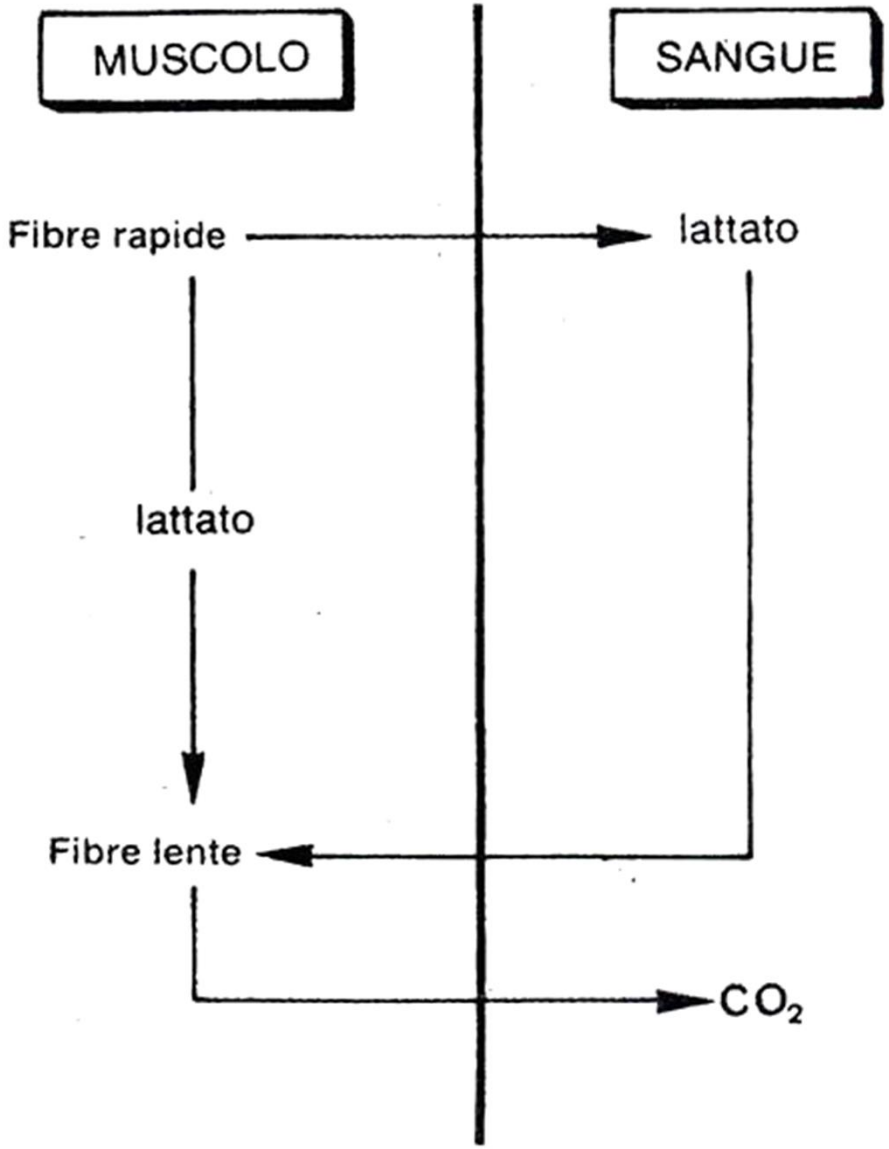


Fig. 11.12 *Utilizzazione del glucosio*
① = Glucosio-6-P fosfatasi; A = membrana cellulare; B = membrana mitocondriale.

2°

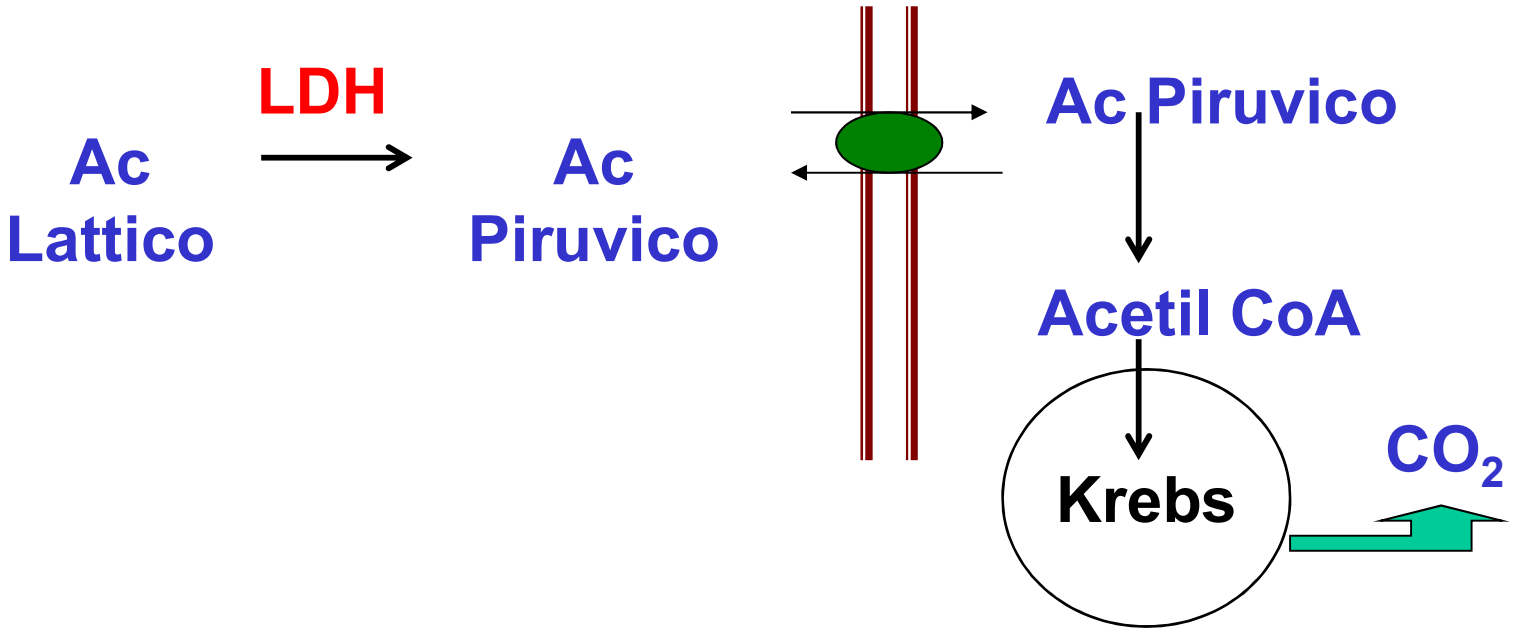
L'acido lattico prodotto dalle fibre bianche (rapide)



Metabolismo del lattato nel muscolo.

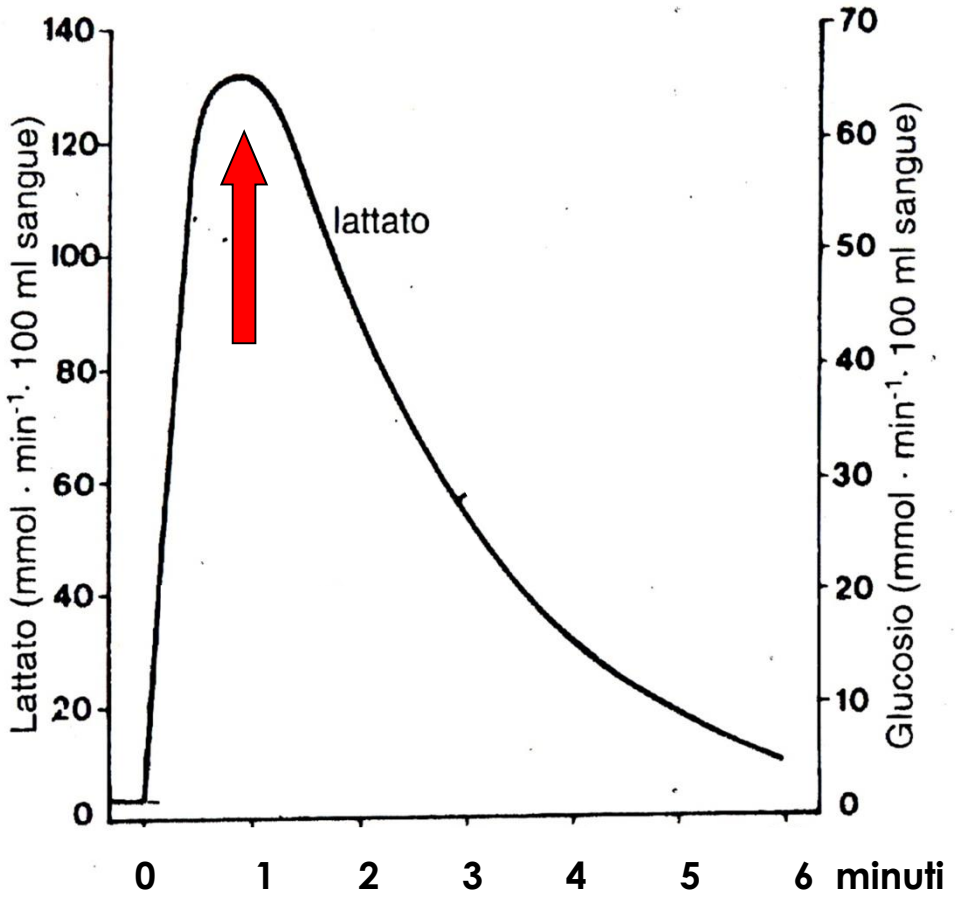
Produzione ATP

- **Le fibre rosse utilizzano oltre che il glucosio proveniente dal glicogeno muscolare anche in parte l'acido lattico che proviene dalle fibre bianche**:



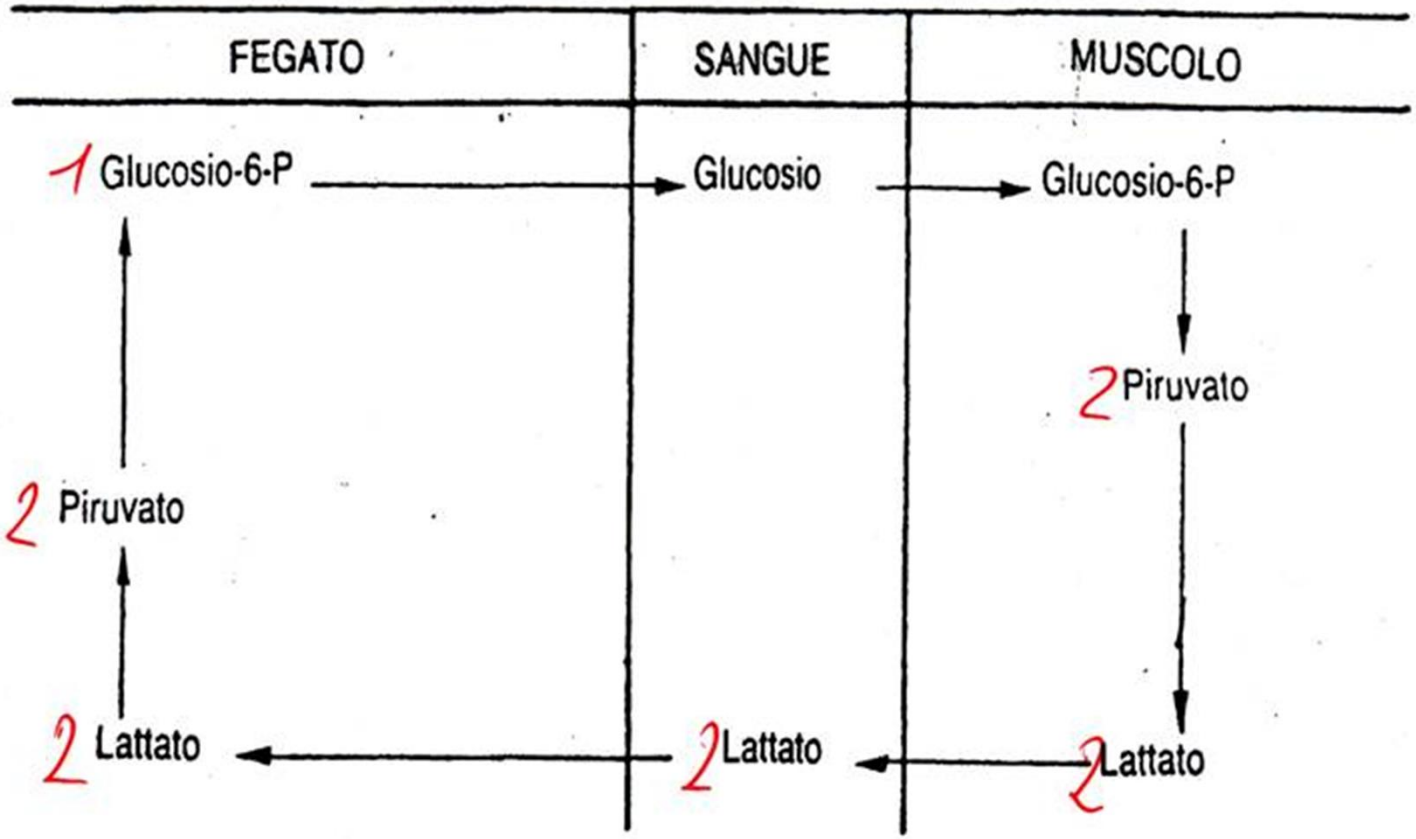
- **La maggior parte di acido lattico, rilasciato dalle fibre bianche, viene però rilasciato nel sangue, dove:**
- **aumenta nelle prime fasi dell'esercizio, per poi scendere rapidamente!**

- **L'acido lattico presente nel sangue viene trasportato al fegato e al muscolo cardiaco.**

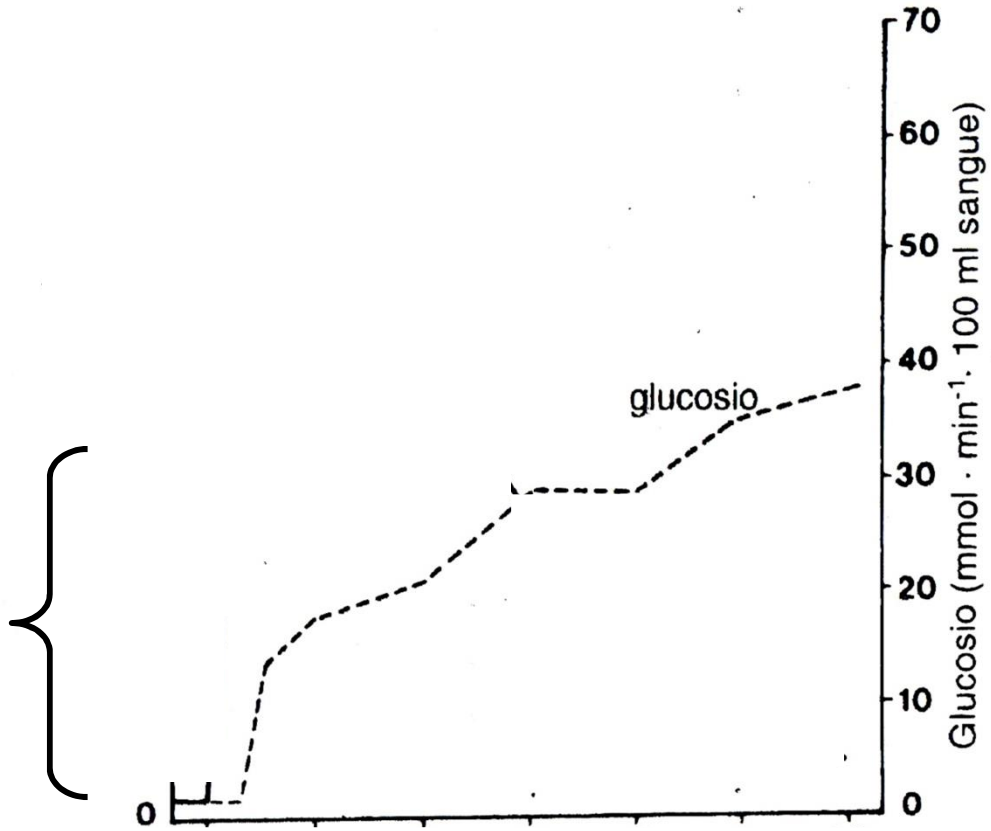


Rilascio del lattato

3° evento – Glucosio ematico



Circolo "muscolo-fegato" o "ciclo di Cori".



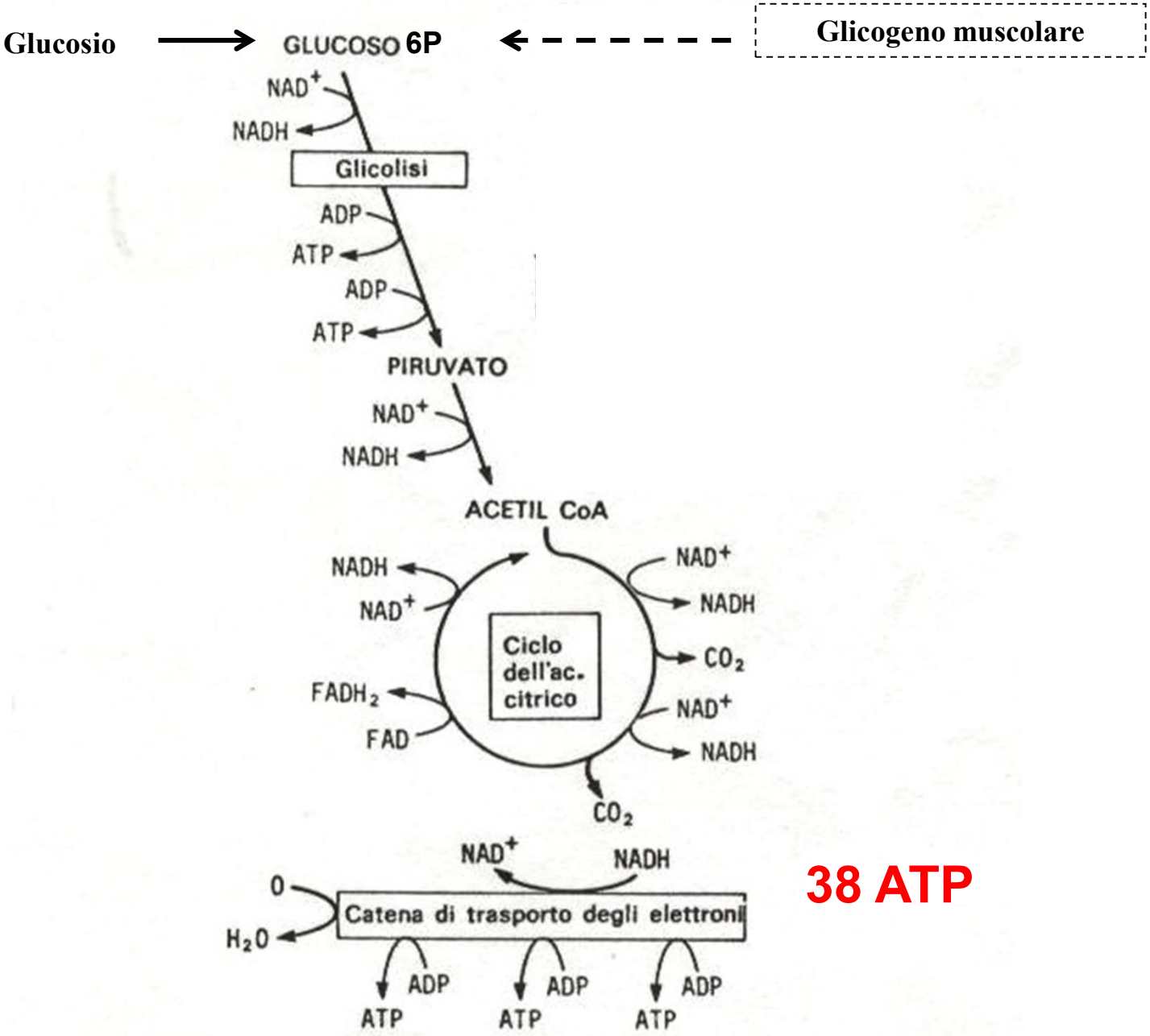
Rilascio di glucosio dal fegato durante l'esercizio

Rilascio del lattato ed assunzione di glucosio nel muscolo in esercizio.

Glucosio ematico

- **E' soprattutto l'utilizzo di questo metabolita a rifornire di materiale al muscolo scheletrico nelle prime fasi del lavoro aerobico.**

- **Il rilascio di glucosio dal fegato è sotto il controllo dell'adrenalina.**


Glucosio
GLUCOSO 6P
Glicogeno muscolare
NAD+
NADH
Glicolisi
ADP
ATP
ADP
ATP
PIRUVATO
NAD+
NADH
ACETIL CoA
NADH
NAD+
Ciclo dell'ac. citrico
FADH2
FAD
NAD+
NADH
CO2
NAD+
NADH
CO2
NAD+
NADH
0
H2O
Catena di trasporto degli elettroni
ADP
ATP
ADP
ATP
ADP
ATP
38 ATP

Contributo percentuale del glucosio, dei NEFA del sangue e del glicogeno muscolare al consumo di ossigeno dei muscoli durante un esercizio prolungato di media intensità

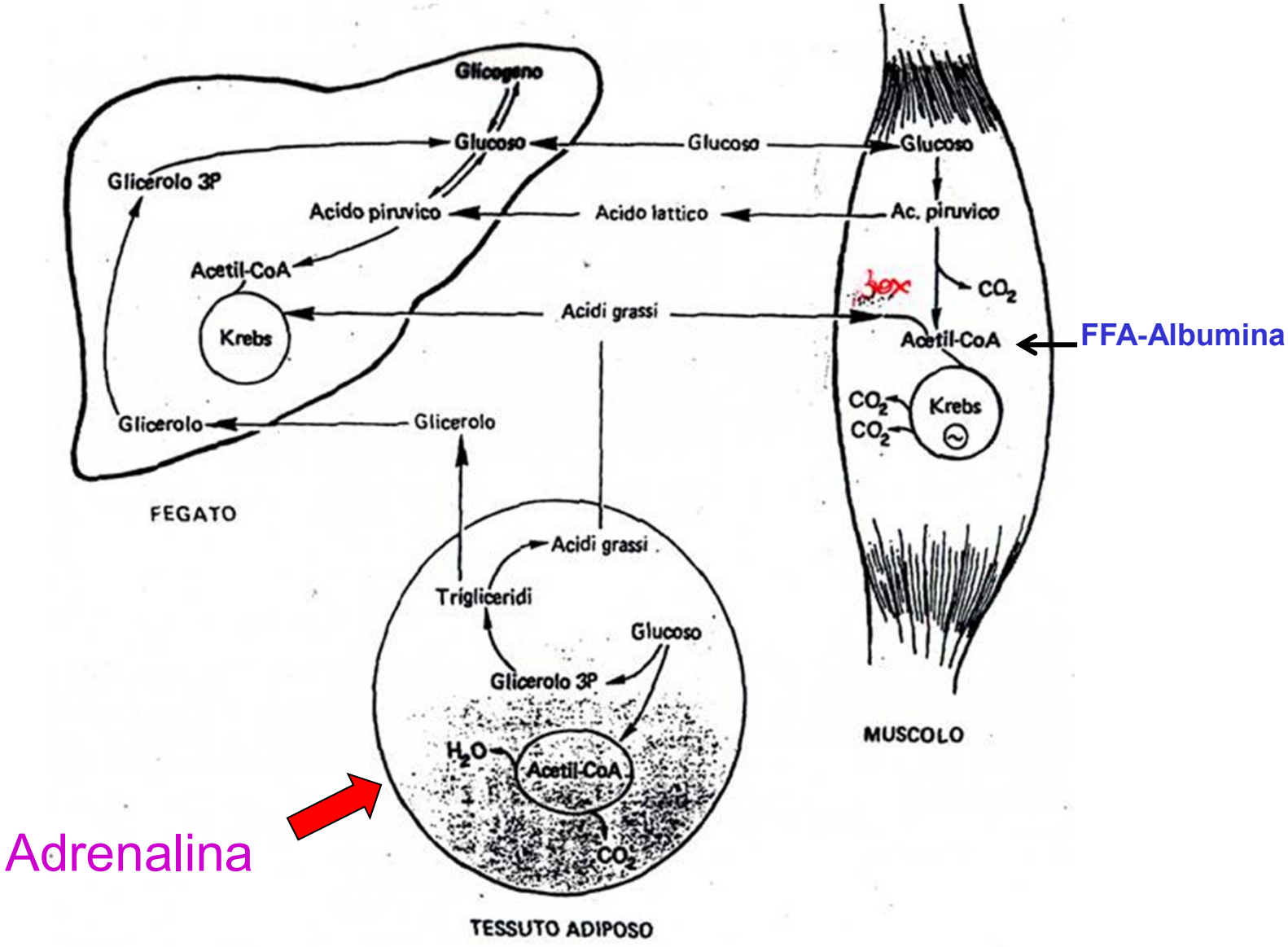
Durata esercizio (min)	Glucosio ematico (%)	NEFA ematici (%)	Glicogeno muscolare (%)
40	27	37	36
90	41	37	22
180	36	50	14
240	30	62	8

Utilizzo lipidi

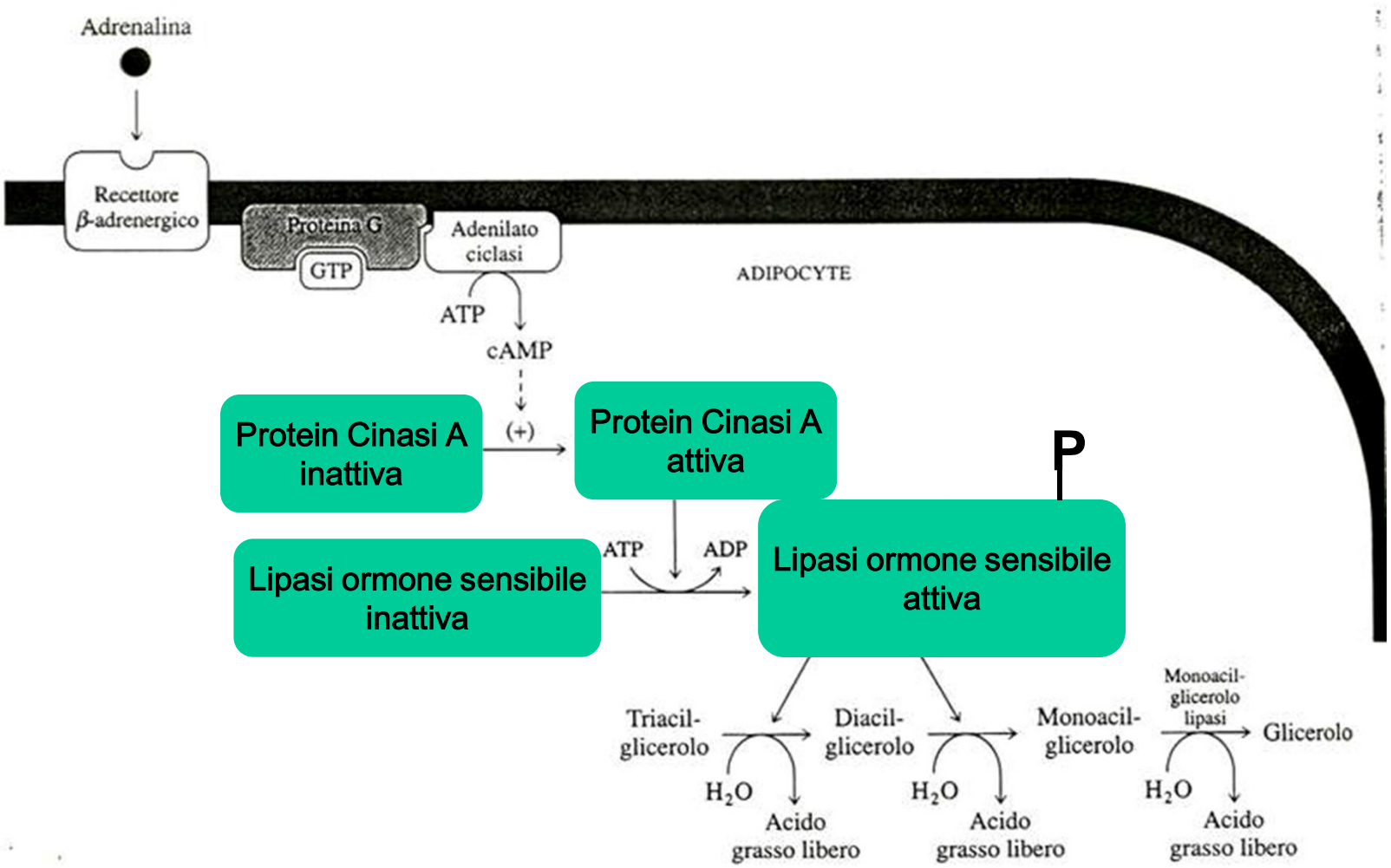
- **Con l'aumento dell'attività fisica aerobica, si è osservato un maggior coinvolgimento degli acidi grassi provenienti:**
- **FFA – legati all'albumina presenti nel plasma**
- **Acidi grassi provenienti da grassi del tessuto adiposo**
- **Acidi grassi provenienti da grassi presenti nel muscolo scheletrico**

Disponibilità acidi grassi

- **Come mai si liberano gli acidi grassi dal tessuto adiposo?**
- **Lo sforzo fisico si accompagna sempre con un maggior rilascio di adrenalina, dovuta allo stress fisico.**
- **L'adrenalina stimola in maniera differente il fegato, il muscolo scheletrico e il tessuto adiposo su questo ultimo l'azione si può così sintetizzare:**



- Correlazione metabolica fra tessuto epatico, adiposo e muscolare.


Adrenalina
Recettore β-adrenergico
Proteina G
GTP
Adenilato ciclasi
ADIPOCYTE
ATP
cAMP
(+)
Protein Cinasi A inattiva
Protein Cinasi A attiva
P
ATP
ADP
Lipasi ormone sensibile inattiva
Lipasi ormone sensibile attiva
Triacil-glicerolo
Diacil-glicerolo
Monoacil-glicerolo
Monoacil-glicerolo lipasi
Glicerolo
H_2O
Acido grasso libero
H_2O
Acido grasso libero
H_2O
Acido grasso libero

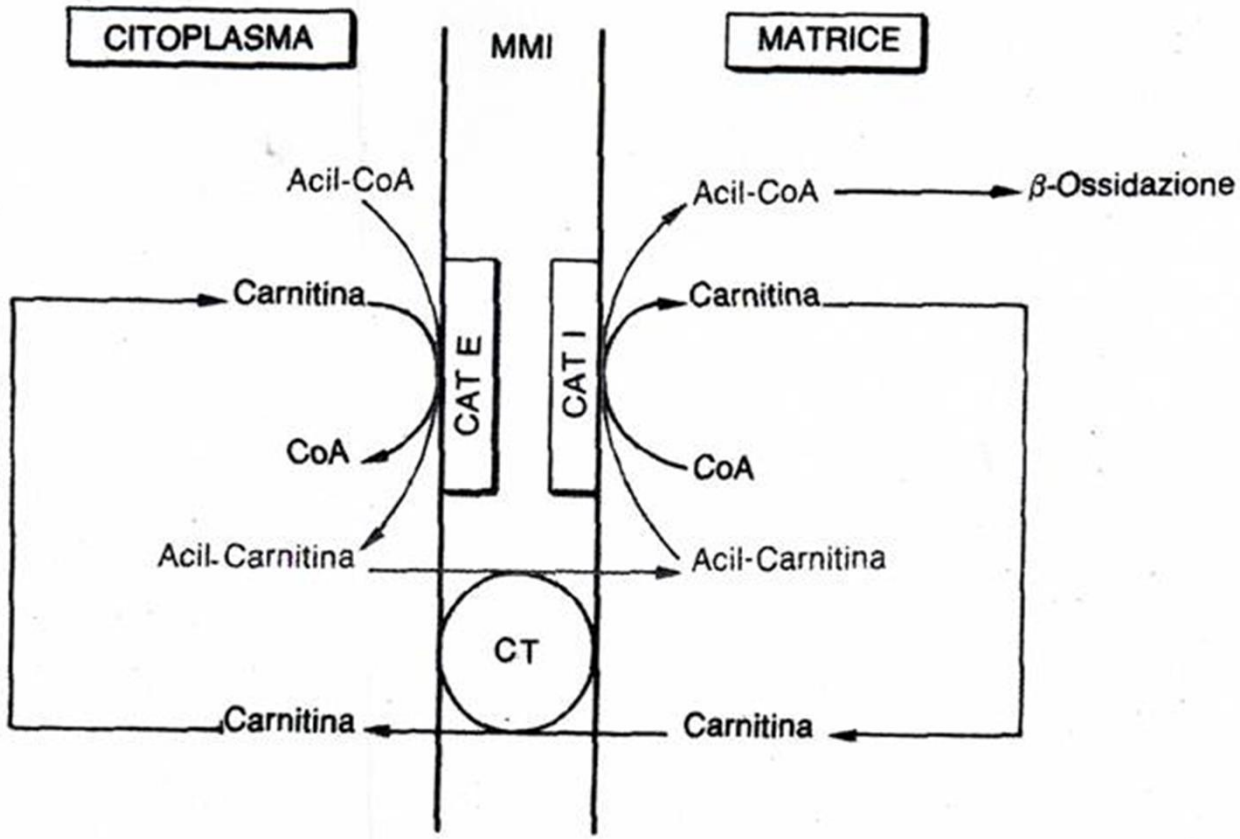


Fig. 12.12 *Trasporto carnitina dipendente degli "acili" a lunga catena.*
MMI = Membrana mitocondriale interna; CPT I = carnitina palmitoil-CoA trasferasi I (esterna); CPT II = carnitina palmitoil-CoA trasferasi II (interna); CT = carnitina traslocasi.

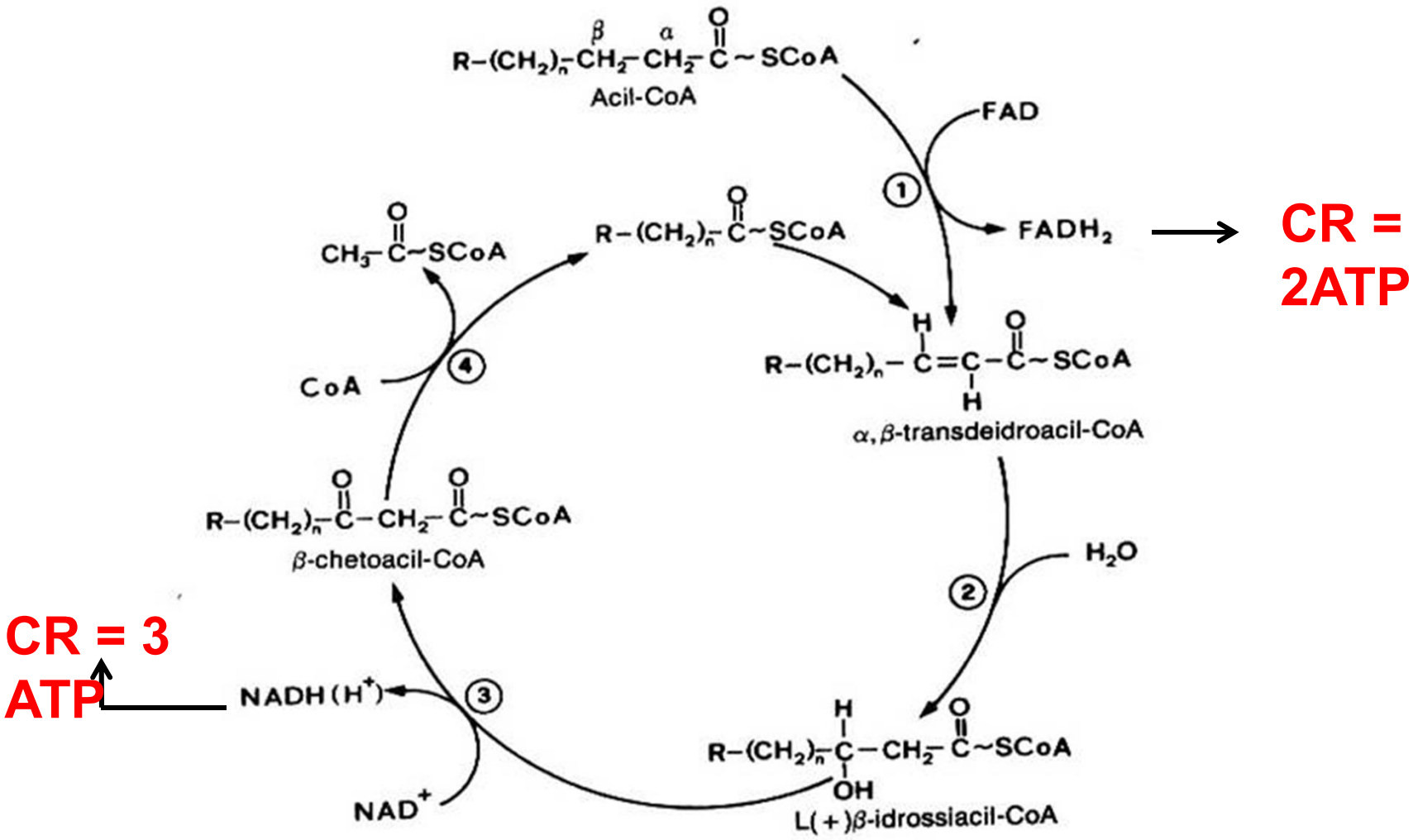


Fig. 12.14 α-β-ossidazione di un acil-CoA: Schema della rivoluzione iniziale. ① = Acil-CoA deidrogenasi; ② = enoil-CoA idratasi; ③ = L (+) β-idrossiacil-CoA deidrogenasi; ④ = β-chetotiolasi.

β - ossidazione

- **Un acido grasso a 18 atomi di carbonio viene demolito in 8 giri a:**
- **9 acetil CoA**
- **Da ogni distacco si liberano:**

- **1 $NADH.H^+$ e 1 $FADH_2$ = 5ATP**
- **Si liberano pertanto:**
- **8 x 5 = 40 ATP**

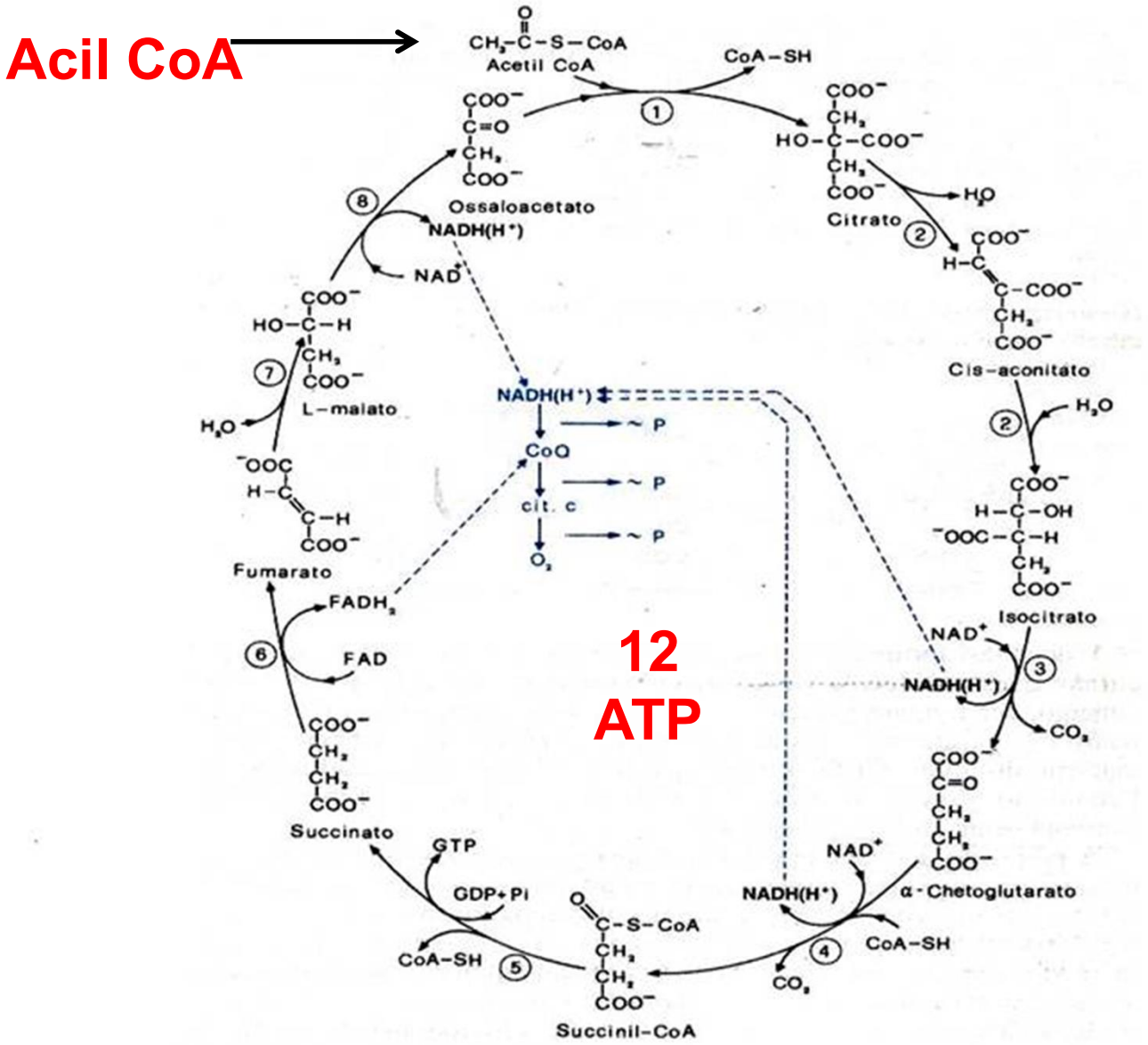
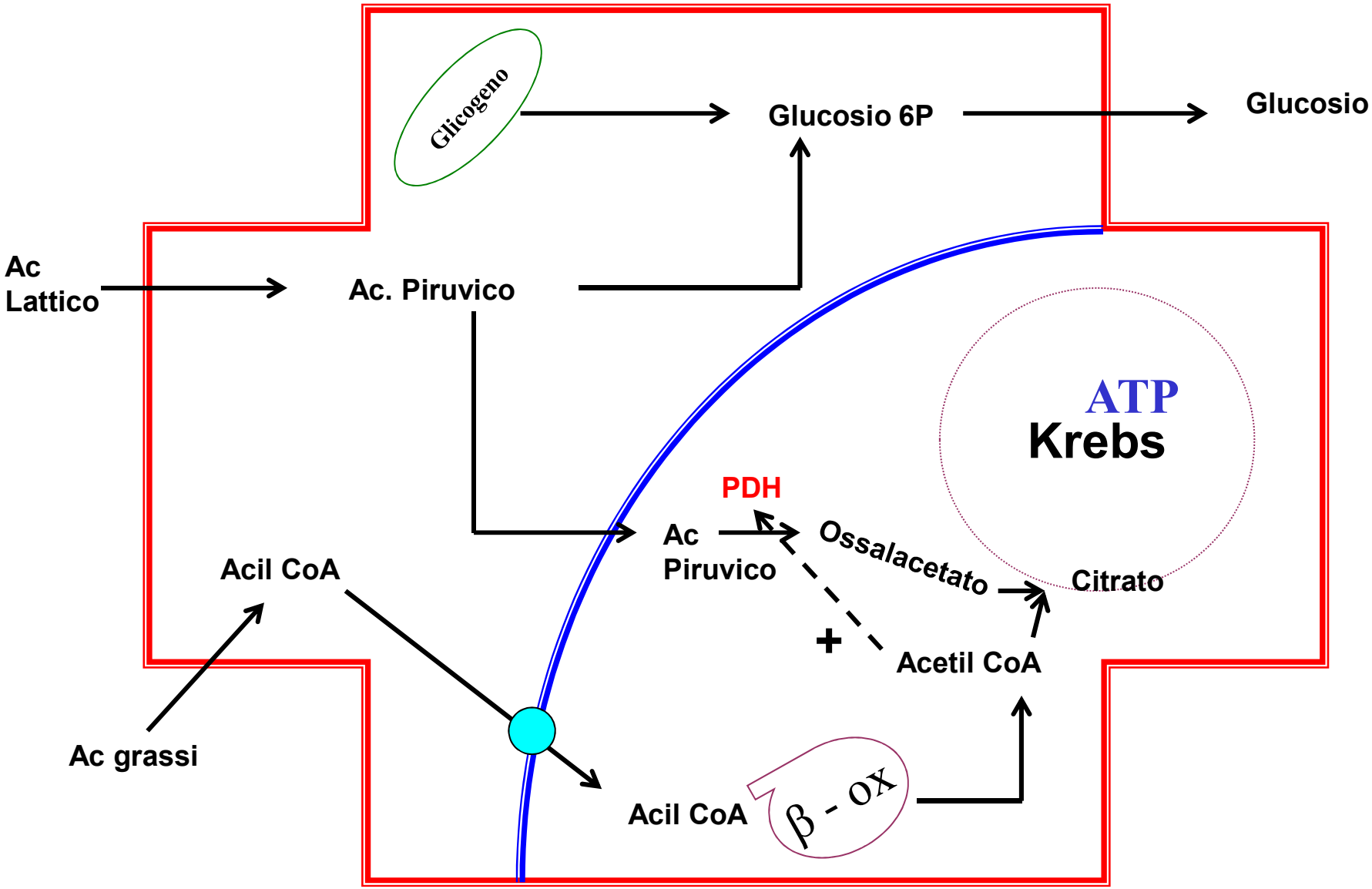


Fig. 11.22 *Ciclo degli acidi tricarbossilici.*
① = Citrato sintetasi, ② = aconitasi; ③ = isocitrato deidrogenasi; ④ = α-chetoglutarato deidrogenasi; ⑤ = succinil-CoA sintetasi; ⑥ = succinato deidrogenasi; ⑦ = fumarasi; ⑧ = malato deidrogenasi.
Le reazioni ③ e ④ sono irreversibili, le altre sono reversibili.

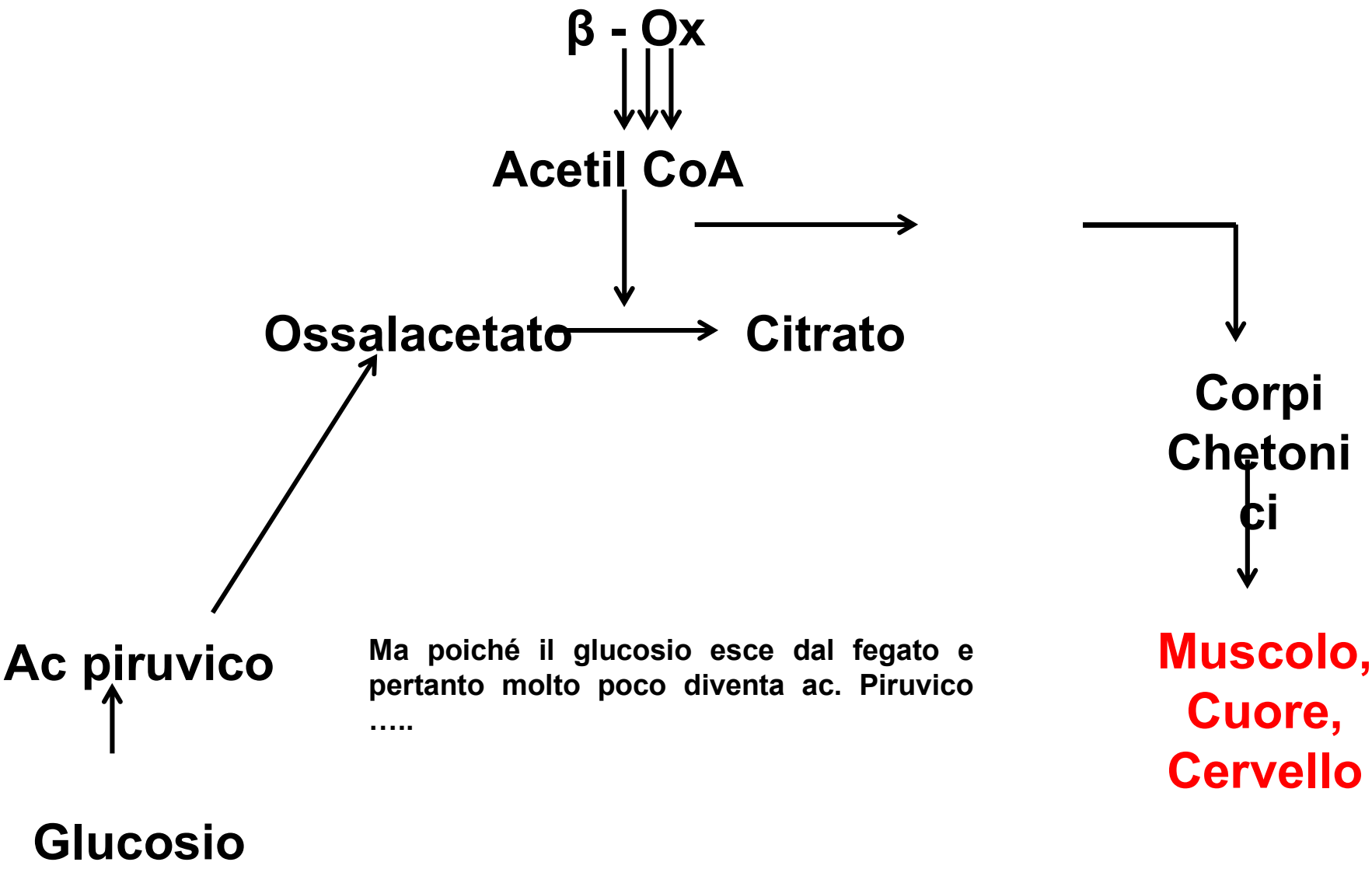
Situazione fegato

- **Anche il fegato è sotto l'effetto della adrenalina e pertanto:**
- **demolisce il glicogeno epatico e trasferisce il glucosio nel sangue**
- **converte l'acido lattico proveniente dal muscolo in glucosio (che poi rilascia nel sangue)**
- **Che substrati utilizza come fonte energetica in questi momenti?**


Glicogeno
Glucosio 6P
Glucosio
Ac
Lattico
Ac. Piruvico
ATP
Krebs
PDH
Ac
Piruvico
Ossalacetato
Citrato
Acil CoA
+
Acetil CoA
Ac grassi
Acil CoA
β - ox

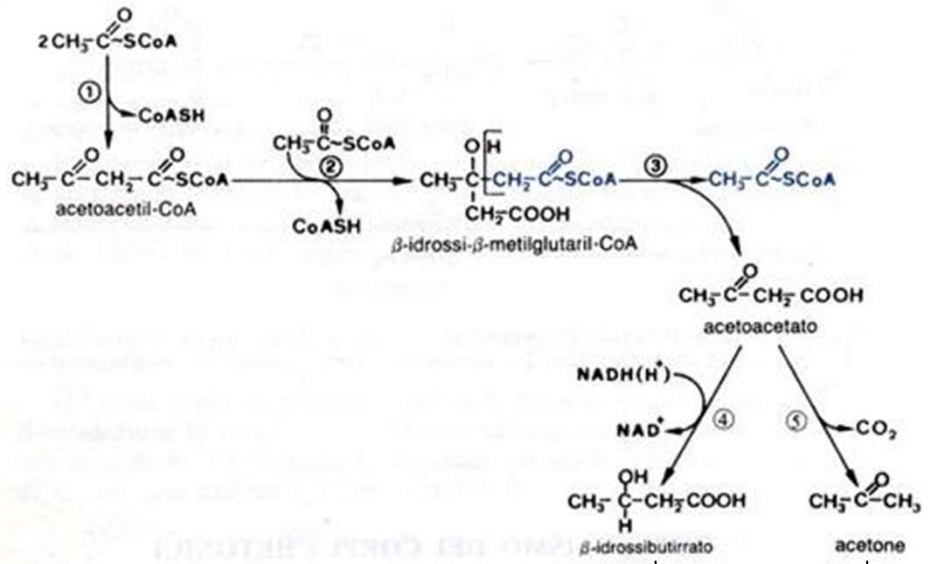
Fegato

Eccesso di Acidi grassi



FEGATO

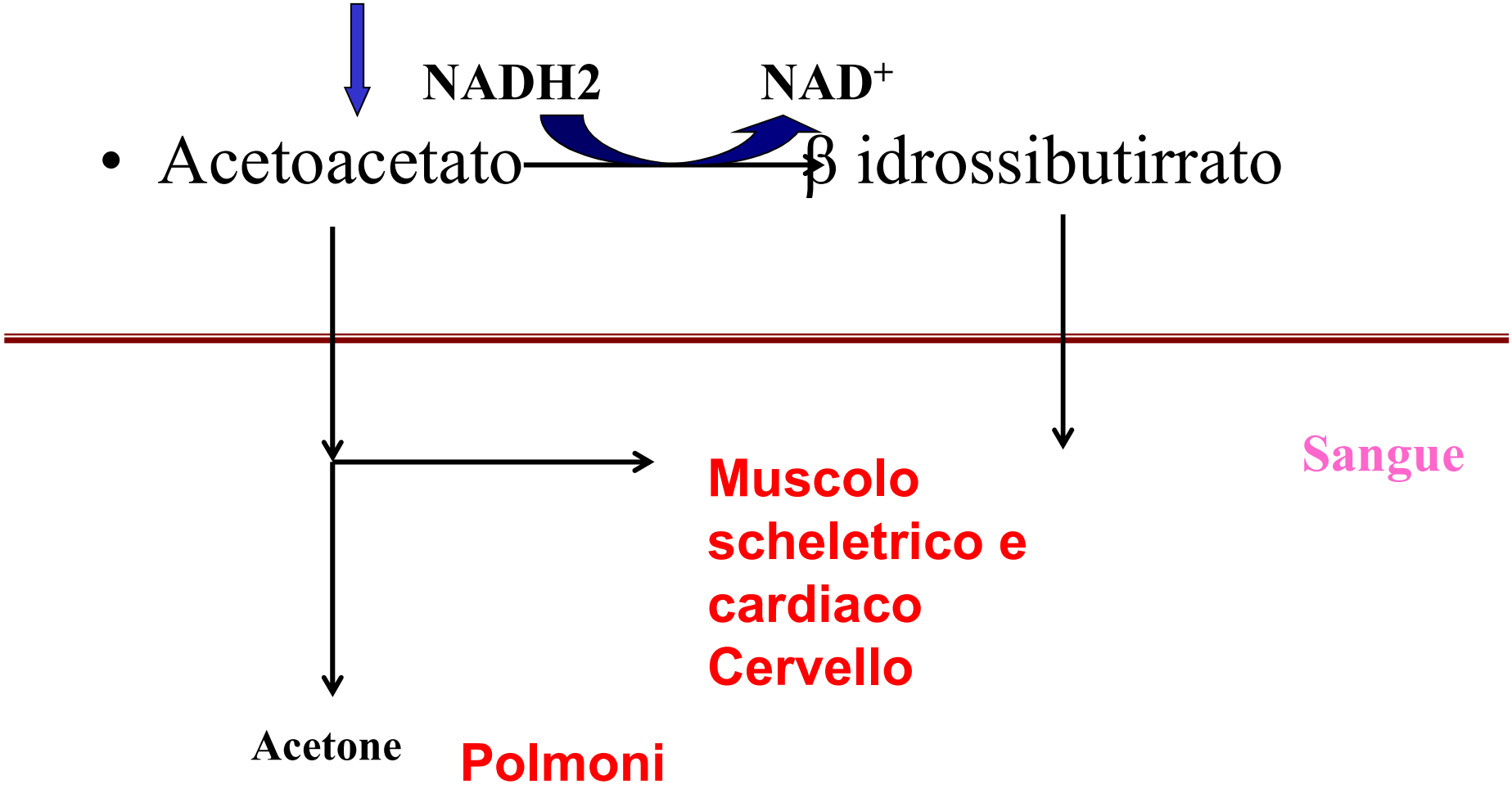
Acidi grassi ← **Acidi grassi**



Polmoni

Muscolo

- Corpi chetonici:
- 3 Acetil - CoA



Utilizzo proteine

- **Alcune proteine del corpo non sono prontamente disponibili, ma alcune muscolari ed alcune epatiche invece vengono prontamente catabolizzate, in particolare durante un esercizio di lunga durata**
- **Pertanto anche le proteine possono essere utilizzate durante un esercizio aerobico.**

Proteine

- **Esiste pertanto una regolazione a livello muscolare che spinge in alcune condizioni gli aminoacidi verso la sintesi ed in altre situazioni invece li indirizza verso il catabolismo.**
- **Questi stimoli sono per lo più legati alla azione degli ormoni, in particolare del cortisolo, ormone prodotto dalla surrene.**

Eliminazione NH_3

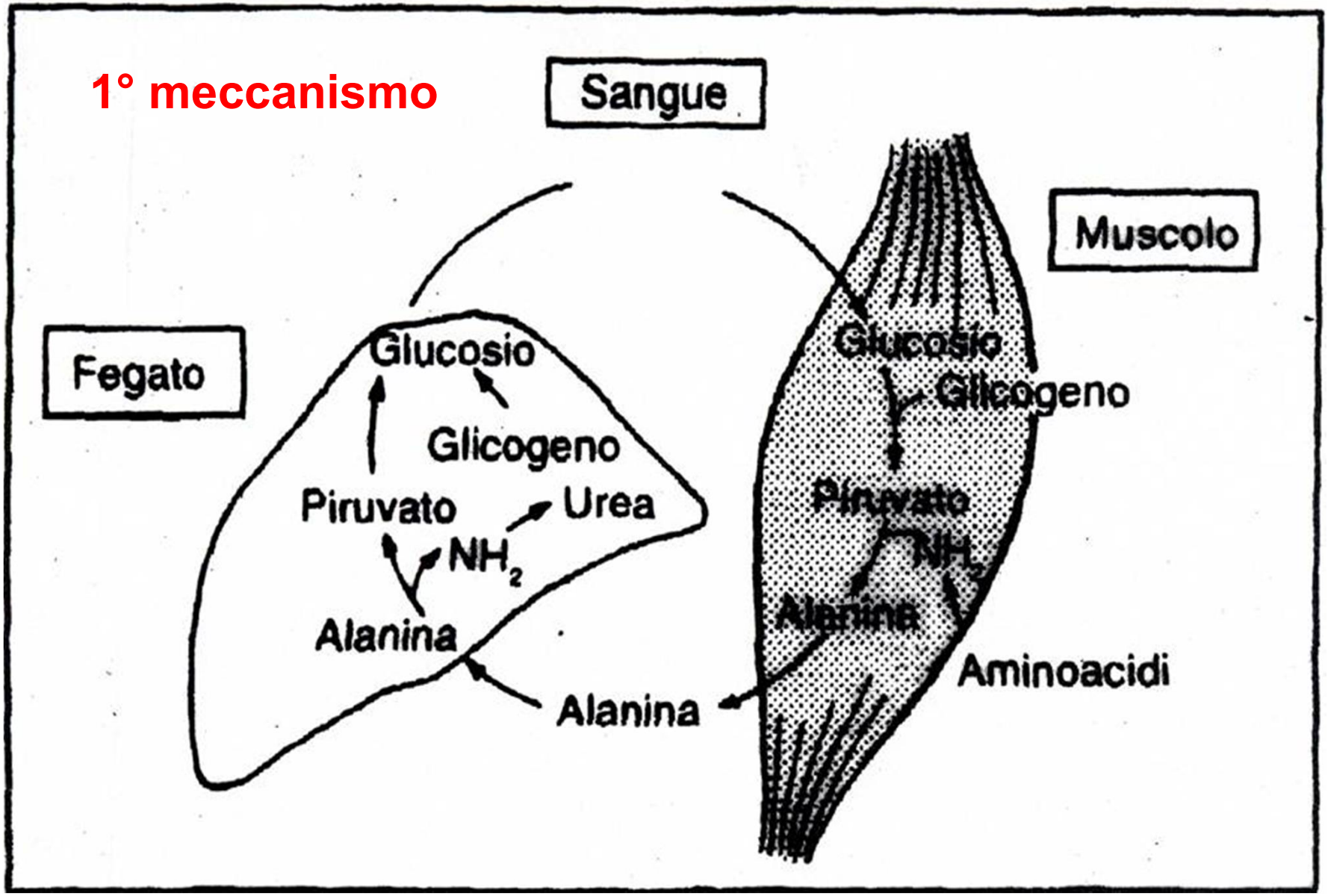
- Due meccanismi:
- 1° Transaminazione

Aa + Ac.Piruvico ⇌ Alanina + α-chetoacido

NH_2

2° Desaminazione

Aa ⟹ α-chetoacido + NH_3


1° meccanismo
Sangue
Muscolo
Fegato
Glucosio
Glicogeno
Piruvato
Urea
NH_2
Alanina
Glucosio
Glicogeno
Piruvato
NH_2
Alanina
Aminoacidi
Alanina

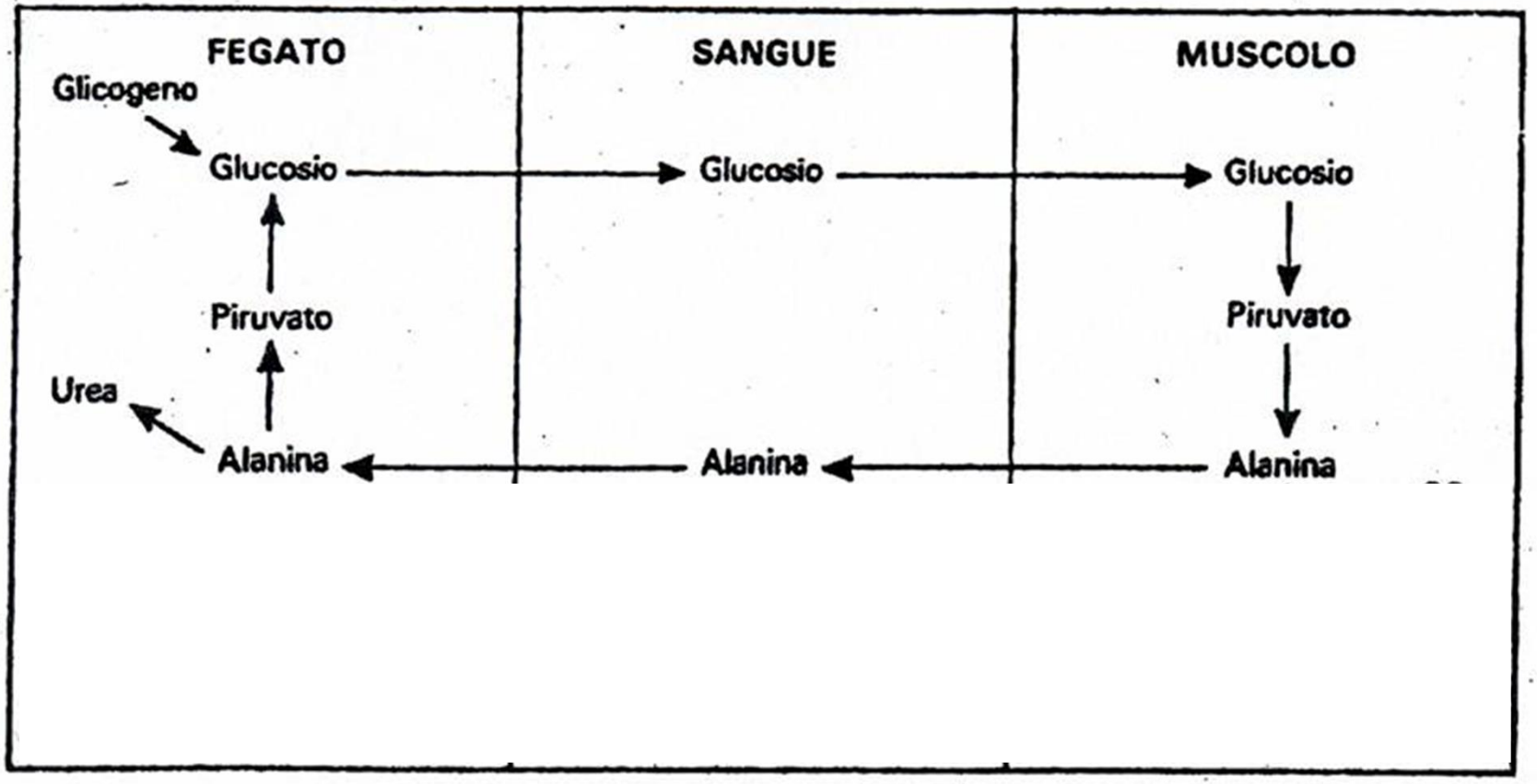


Figura 9 Il ciclo alanina-glucosio:

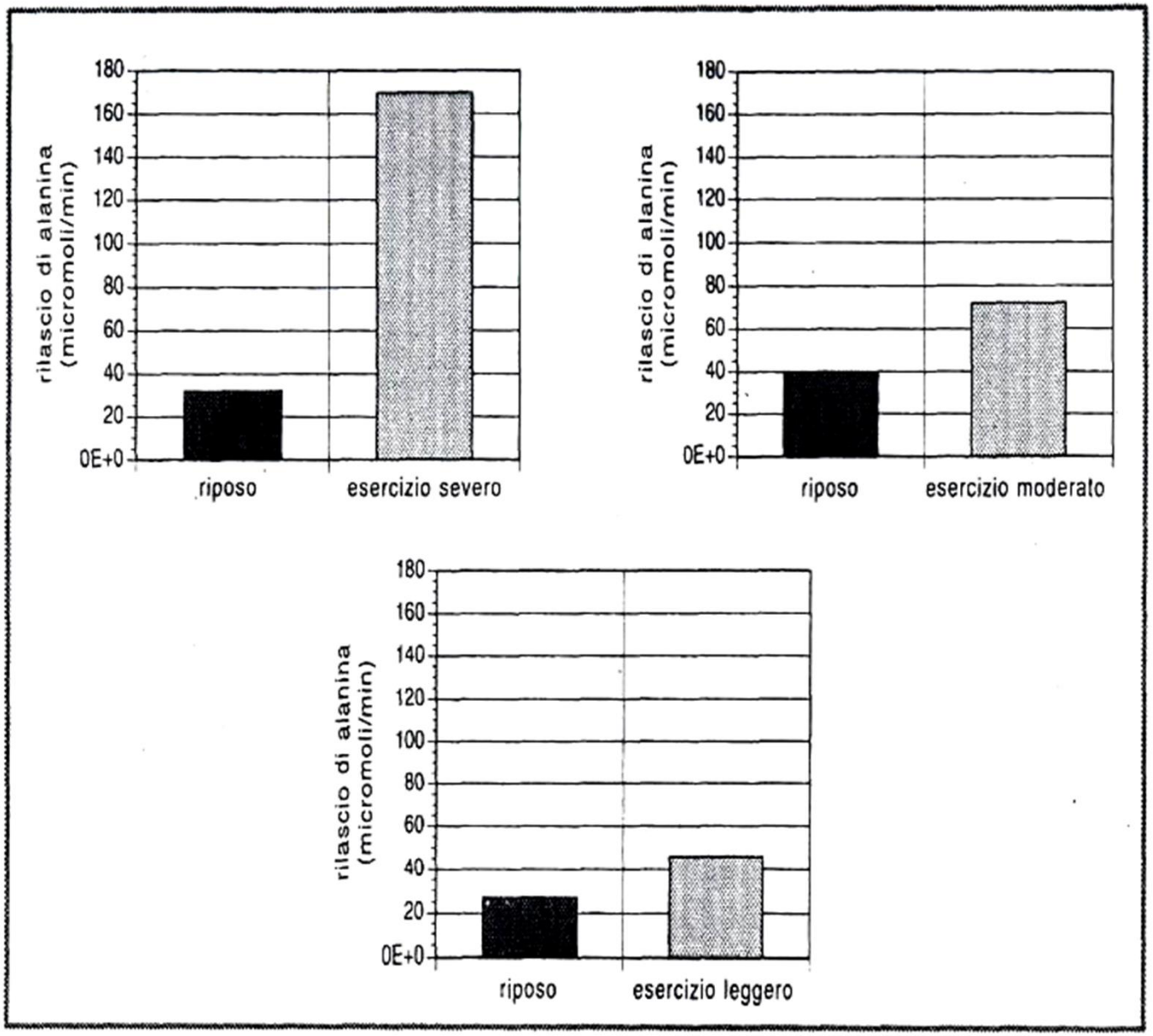


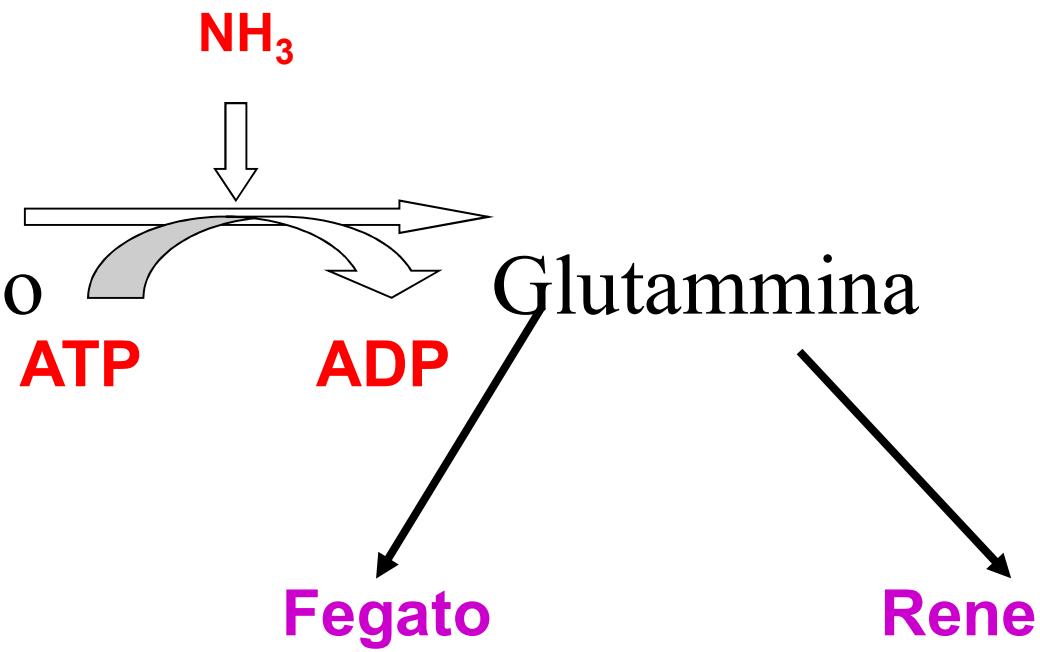
Figura 15.2. *Effetto dell'intensità dell'esercizio sul rilascio dell'alanina da muscoli delle gambe.*

2° meccanismo

Eliminazione NH_3

- Formazione di glutammina

- Ac glutammico



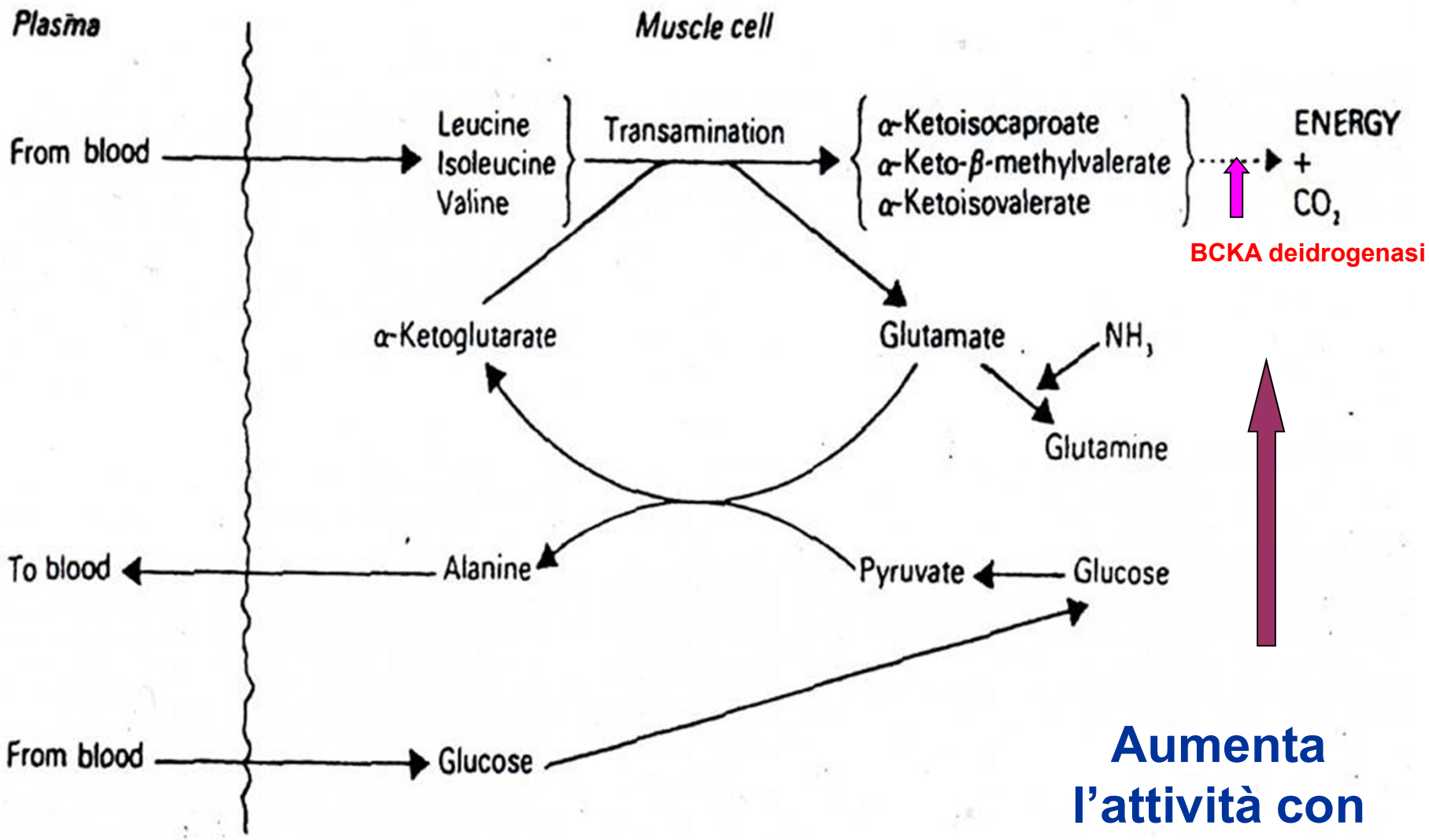
Quota proteica

- **L'introduzione di proteine di origine animale risolve i problemi degli aa essenziali, però gli alimenti contengono alte percentuali di grassi saturi e colesterolo.**
- **L'introduzione di proteine di origine vegetale risolve il problema dei grassi saturi e del colesterolo, ma presenta il problema degli aa essenziali.**

aa ramificati

- **Un discorso particolare meritano gli aa ramificati (BCCA) (valina, leucina ed isoleucina) presenti in alta concentrazione nel muscolo scheletrico e cardiaco.**

- **Il significato biologico e l'interesse scientifico è legato alla "incapacità" del fegato di metabolizzarli e pertanto essi vengono dirottati e catabolizzati dal muscolo.**



Metabolism of branched-chain amino acids by muscle.

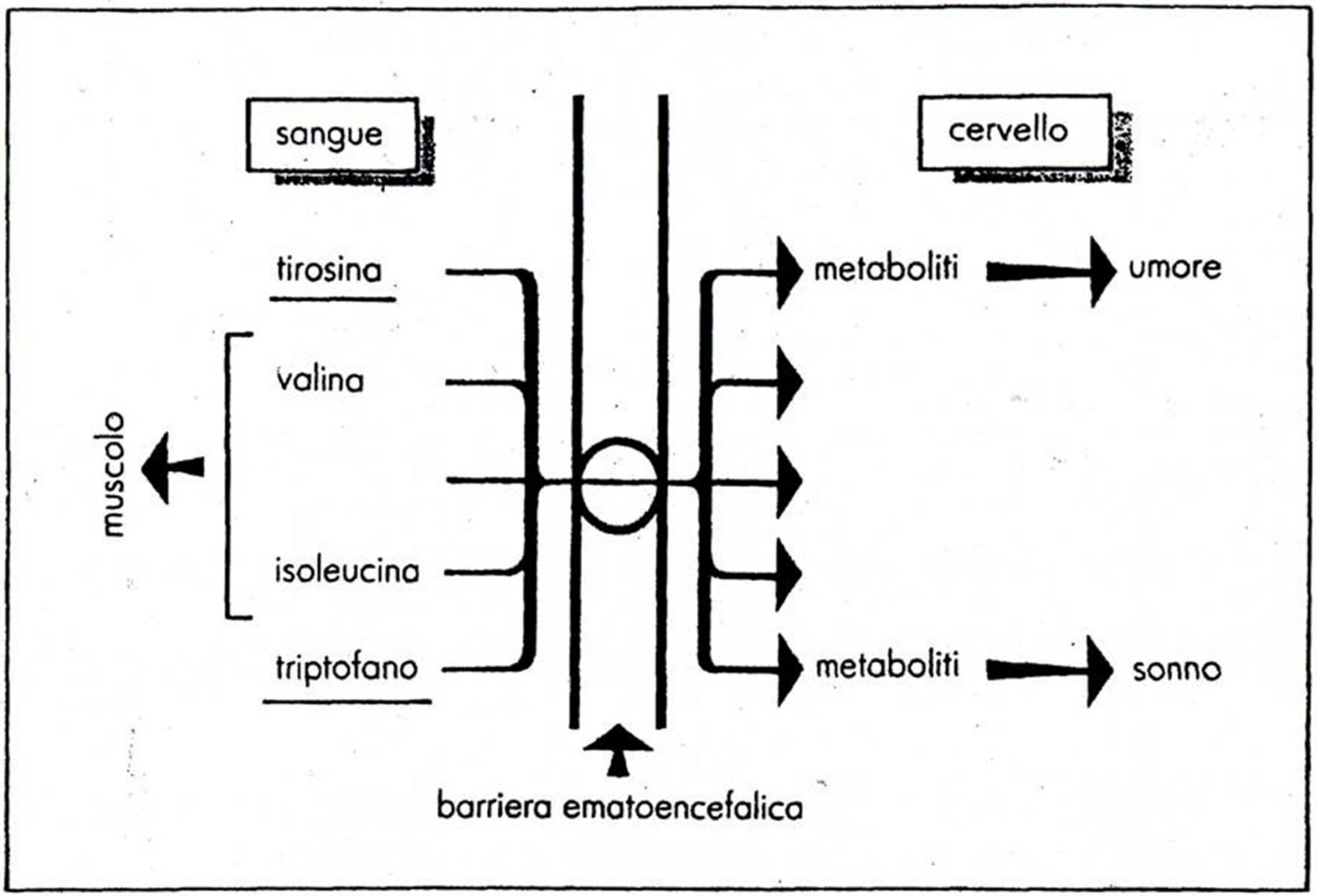
Aumenta l'attività con lo sforzo muscolare

La Fao consiglia di assumerli in rapporto di 2:1:1:

Leucina	**40 mg/kg/die**
• **Isoleucina**	**23mg/kg/die**
• **Valina**	**20mg/kg/die**

- **Il fabbisogno è di 83 mg/kg/die, in un soggetto di 70 Kg è necessario introdurre almeno**
  - **6 g/die.**

- **Per un atleta il valore viene raddoppiato**
  - **10-12 g/die.**



Competizione fra aminoacidi per il comune carrier ai fini del trasporto attraverso la "barriera ematoencefalica"

TIPI DI ATTIVITA' FISICA

- **MODERATA** ⇨ **Passeggiata a passo svelto**
- **VIGOROSA** ⇨ **Jogging, ciclismo in piano**

- **CONTINUA** ⇨ **Ogni giorno**
- **INTERMITTENTE** ⇨ **3-4 volte la settimana**

- **DI RESISTENZA** ⇨ **Intensità media - Tempo lungo**
- **DI POTENZA E DI FORZA** ⇨ **Intensità alta - Tempo medio/breve**

- **AEROBICA** ⇨ **Sci di fondo, jogging, ciclismo in piano**
  (Glucosio, Ac.grassi, O_2)
- **ANAEROBICA ALATTACIDA** ⇨ **100 m. piani, lancio peso/disco**
  (ATP-CP in assenza di O_2)
- **ANAEROBICA LATTACIDA** ⇨ **Nuoto fino a 200 m., corsa 200-800 m.**
  (Glicogeno in carenza di O2- Lattato)

- **AEROBICA/ANAEROBICA** ⇨ **Sport di squadra**
  Alternate

Tipi di esercizio fisico e metabolismo

Attività aerobiche	Attività anaerobiche
Jogging	Calcio
Marcia/camminare	Tennis
Pattinaggio	Pallavolo
Corsa lenta	Basket
Sci di fondo (lento)	Sci alpino
Nuoto (lento)	Body Building
Ciclismo (lento in pianura)	Ciclismo su pista
Danza aerobica	

Meccanismi di sintesi di ATP	Potenza ATP/min	Capacità moli di ATP totali	Resa ATP per mole di substrato
anaerobico alattacidi	3,8	0,4	1 ATP per mole di fosfocreatina (reazione catalizzata da creatina kinasi)
anaerobico lattacidi	1,9	1,2	2 ATP per mole di glucosio (glicolisi anaerobica) 3 ATP per mole di glucosio da glicogeno (glicogenolisi + glicolisi anaerobica)
aerobici	1	Infinita	36-38 ATP per mole di glucosio (glicolisi + decarb. oss. piruvato + ciclo di Krebs) 129 ATP per mole di palmitato (β-ossidazione + ciclo di Krebs)

Potenza = quantità di ATP sintetizzata nell'unità di tempo

Capacità = quantità totale di ATP che si potrebbe sintetizzare se tutti i substrati a disposizione per quella via metabolica fossero consumati

Resa energetica = moli di ATP sintetizzate per mole di substrato iniziale consumato

Valutazione del dispendio energetico da esercizio fisico

MET: equivalente metabolico
Kcal = MET x Kg x ora

riposo	1	tennis	5
guidare	1	sci	6.8
camminare	2.5	nuoto	7
ballare	3	corsa	10
bicicletta	3.5	roccia	12
passo svelto	4.5		
taglialegna	4.9		

esempio uomo di 70 kg in 1/2 ora di corsa spende circa: 70 x 10 x 0.5 = 350 kcal

Effetti dell'esercizio fisico sul metabolismo glucidico

- ↓ insulinemia
- ↑ ormoni controregolatori (glucagone, catecolamine, cortisolo)
- ↑ gluconeogenesi
- ↑ anabolismo proteico
- ↓ del grasso viscerale per effetto di catecolamine
- ↓ massa grassa ed ↑ massa magra
- ↑ sensibilità insulinica e ↓ valori insulinemici

Effetti dell'esercizio fisico sul metabolismo lipidico

- ↑ ormoni controregolatori (glucagone, catecolamine, cortisolo)
- ↑ lipolisi
- ↓del grasso viscerale per effetto di catecolamine
- ↓ dell'apporto acidi grassi esterificati al fegato e della produzione di VLDL
- ↓ trigliceridemia
- ↓ della lipasi epatica con aumento delle HDL

Effetti dell'esercizio fisico sul metabolismo lipidico

Chetogenesi

Deficit di insulina

↓

Attivazione lipolisi tessuto adiposo

↓

Aumentata conc. plasm. FFA

↓

Aumentata capt. epatica. FFA

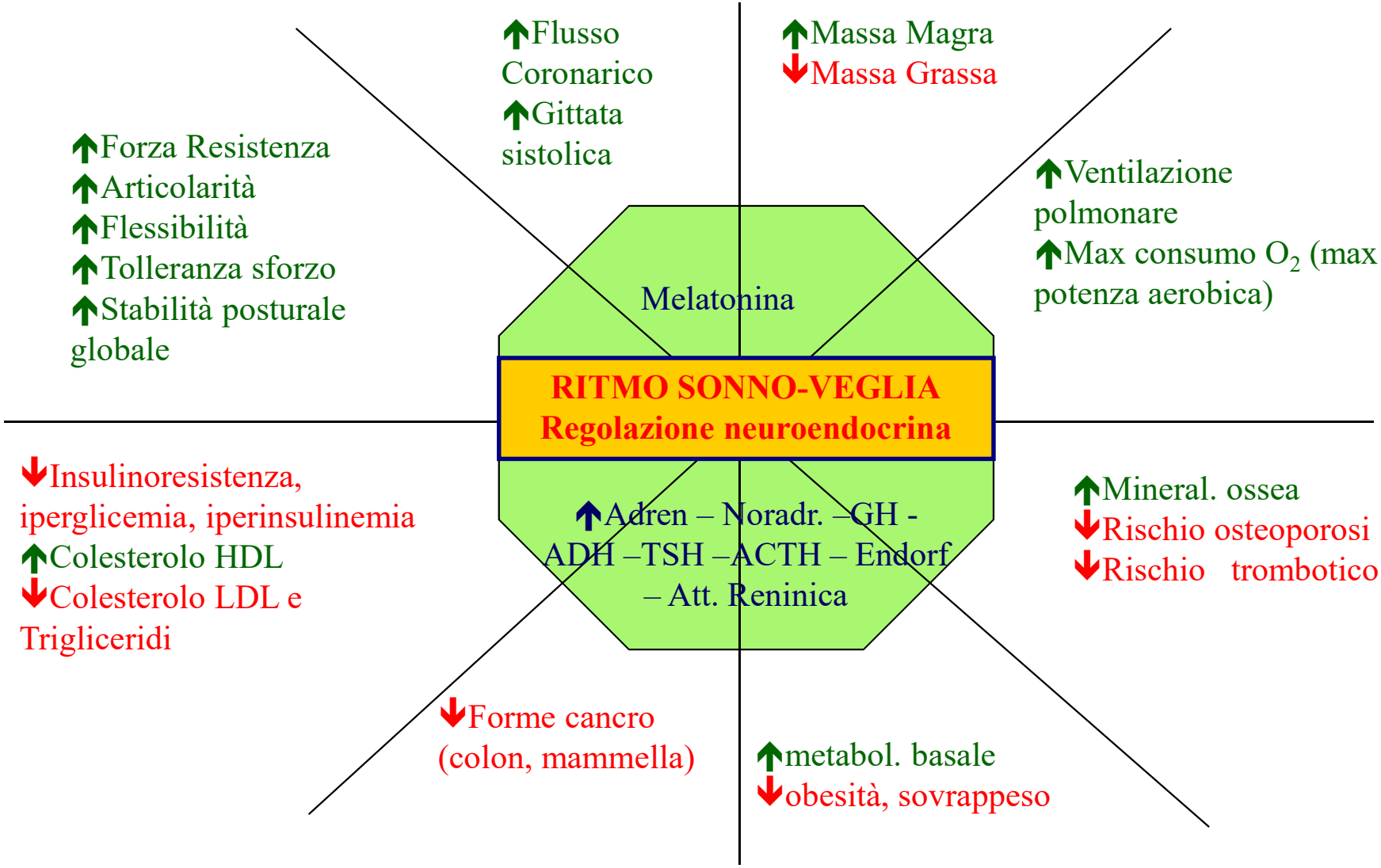
↓

Accelerata chetogenesi

Aumento sensibilità all'insulina nel muscolo durante l'esercizio fisico

- ↑ perfusione del letto vascolare
- ↑ sensibilità dei recettori per l'insulina
- ↑ esposizione dei recettori per l'insulina
- ↑ disponibilità di O_2
- ↑ trasporto del glucosio dentro la cellula

EFFETTI POSITIVI DELLA PRATICA REGOLARE DELL'ESERCIZIO FISICO



Relazione tra carico lavoro e frequenza cardiaca (VO_2) fino a F.C. max Teorica = 220 – età

1. Zona allenamento senza benefici — - intensità troppo bassa
   – F.C. < 60% F.C. max Teorica

2. Allenamento dimagrante — - intensità medio/bassa
   (acidi grassi circolanti)
   – F.C. = 60/70% F.C. max Teorica

3. Allenamento Cardio-Resp. e Muscolare — - maggiore intensità
   (glucosio plasmatico, glicogeno muscolare)
   Glicolisi Anaerobica Alattacida
   – F.C. = 70/85% F.C. max Teorica

4. Soglia anaerobica — - max. intensità per met. aerobico
   (in carenza di O_2 dà lattato 4mM)
   – F.C. > 85% F.C. max teorica

Frequenza cardiaca di allenamento

La FC allenante può essere determinata per via indiretta utilizzando la FC max teorica [(220 - età) o nomogrammi corretti per età e sesso]

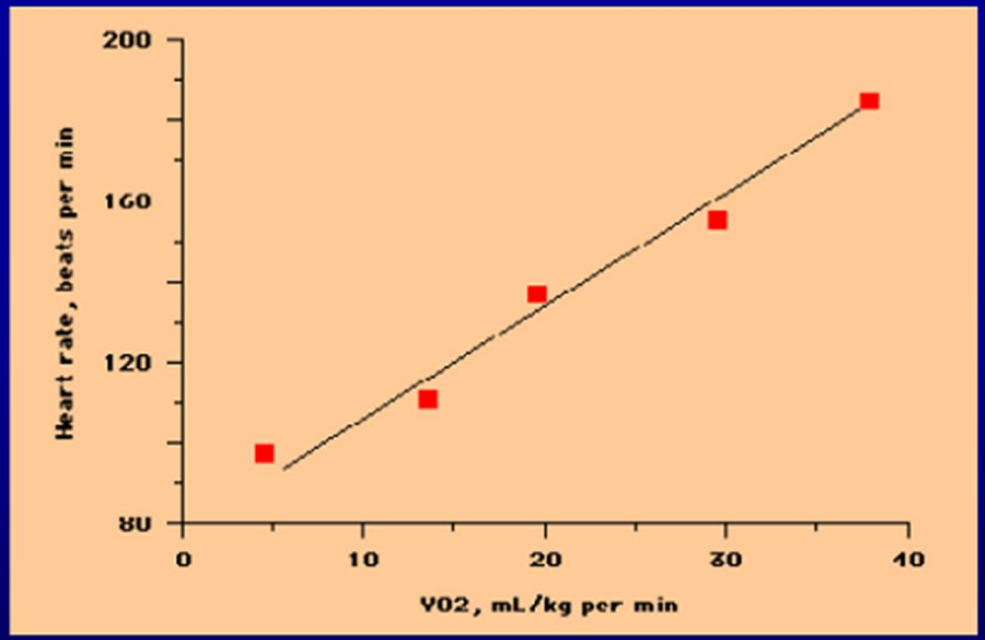
oppure direttamente mediante l'esecuzione di un test ergometrico massimale limitato dai sintomi [FC max sforzo].

Es.	**FC max teorica**= 220-60 anni= 160 bpm 60% FCmax= 96 bpm 80% FCmax= 128 bpm **Range FC di allenamento = 96-128 bpm**

Es.	FC max sforzo= 155 bpm 60% FCmax= 93 bpm 80% FCmax= 124 bpm **Range FC di allenamento = 93-124 bpm**

Il VO_2 max rappresenta il più alto valore di VO_2 raggiungibile per un certo tipo di esercizio, evidenaziato dalla incapacità del VO_2 di aumentare ulteriormente nonostante un aumento del carico di lavoro.

VO_2 e frequenza cardiaca



Relazione tra incremento del consumo di ossigeno durante esercizio fisico e frequenza cardiaca

Un equivalente metabolico (MET) è pari a 3,5 ml/kg/min di VO_2 (quantità media di ossigeno consumato a riposo).

Un quarantenne non allenato può raggiungere un carico di 10 MET; gli atleti elite superano 20 MET

Allenamento

Intensità esercizio	Tipo di esercizio	Effetto allenante	Substrato utilizzato
40-60%	aerobico	Perdita di peso	lipidi/glicogeno
60-85%	aerobico/anaerobico	Cardiovascolare e respiratorio	glicogeno/lipidi
>85%	anaerobico	Potenza muscolare	glicogeno

Esercizio fisico per perdere peso

Aerobico	passo svelto, marcia/corsa, bicicletta, nuoto, sci da fondo, step, canoa, danza, ginnastica, ecc
Frequenza	almeno 3-4 volte la settimana
Durata	almeno 30 min
Intensità	50-65% della VO_2 max

• La massima potenza aerobica, che esprime la massima potenza che l'organismo è in grado di erogare ricorrendo esclusivamente a reazioni aerobiche corrispondente al punto di inizio dell'accumulo del lattato

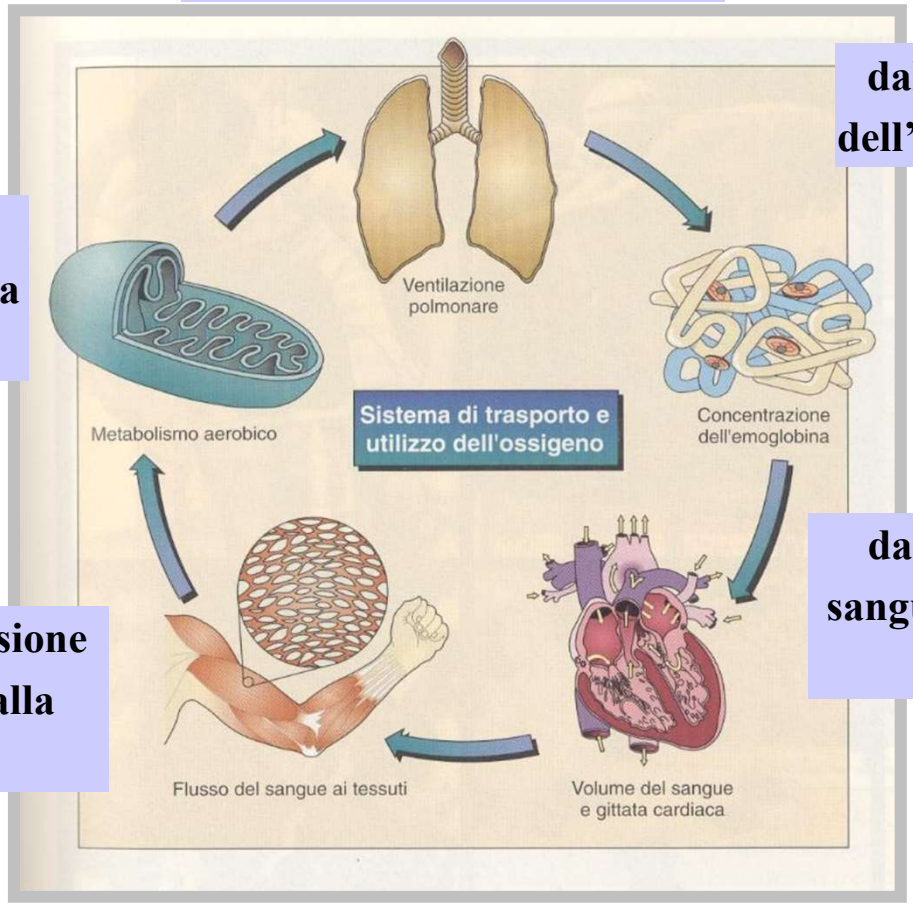
La massima potenza aerobica

La massima potenza aerobica dipende dalla funzionalità del sistema trasporto-utilizzo dell'O_2

dall'entità degli scambi gassosi nel polmone

dalla capacità di diffusione dell'O_2 dagli alveoli al sangue

dall'entità dei processi ossidativi all'interno della cellula

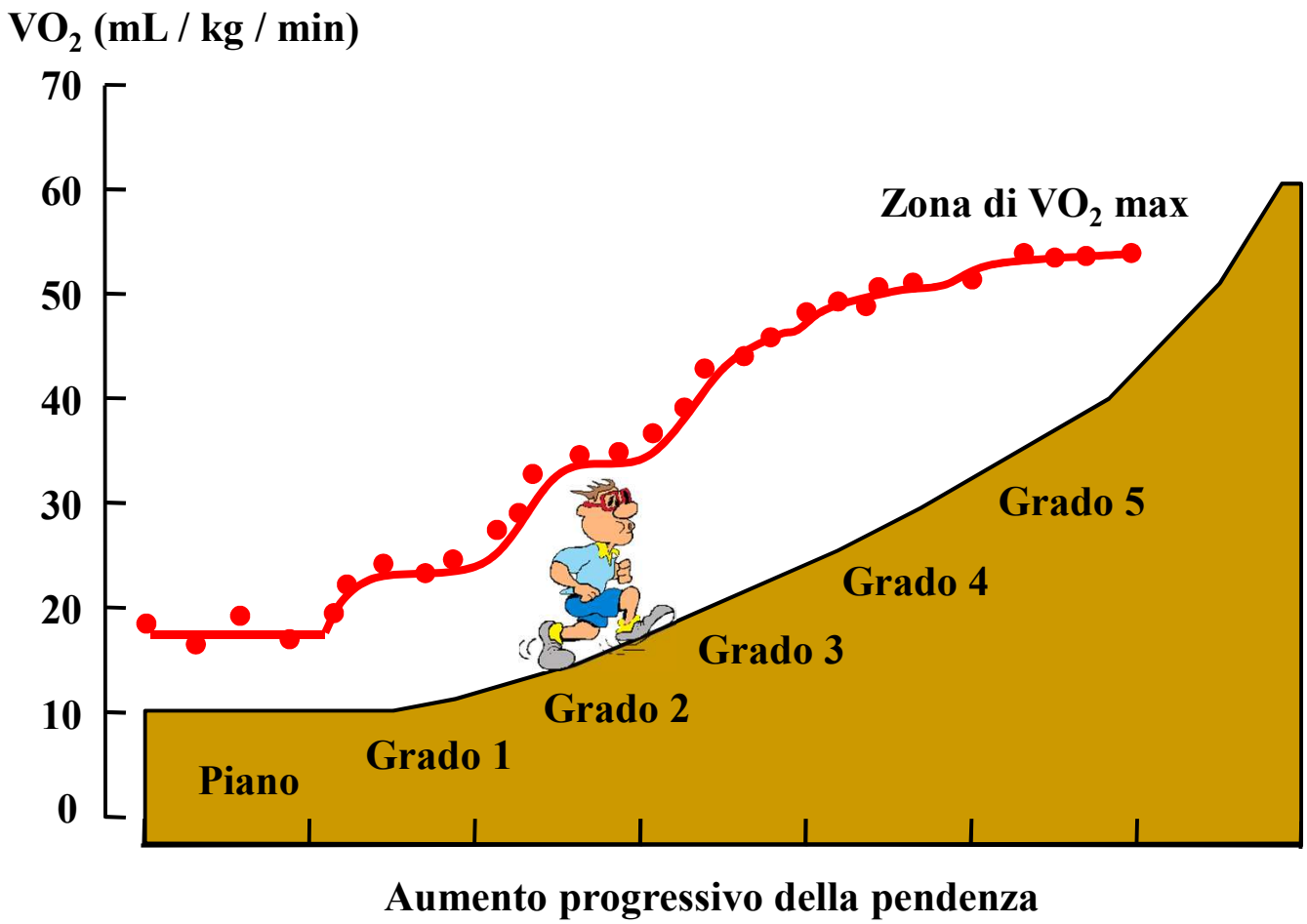


dalla capacità del sangue di trasportare l'O_2

dalla capacità di diffusione dell'O_2 dai capillari alla cellula

La massima potenza aerobica

Corrisponde al livello più elevato raggiungibile da un soggetto nell'utilizzazione dell'ossigeno per l'ossidazione dei substrati energetici nel corso di un esercizio muscolare



Fattori che influenzano la massima potenza aerobica:

- **Fattori genetici**
- **Sesso**
- **Tipo di esercizio**
- **L'allenamento**
- **Composizione corporea**

Sesso:

Il VO_2max nelle femmine è mediamente inferiore del 15-30% rispetto ai maschi perché:

i maschi possiedono mediamente una maggiore massa magra e pertanto possono erogare una maggiore potenza

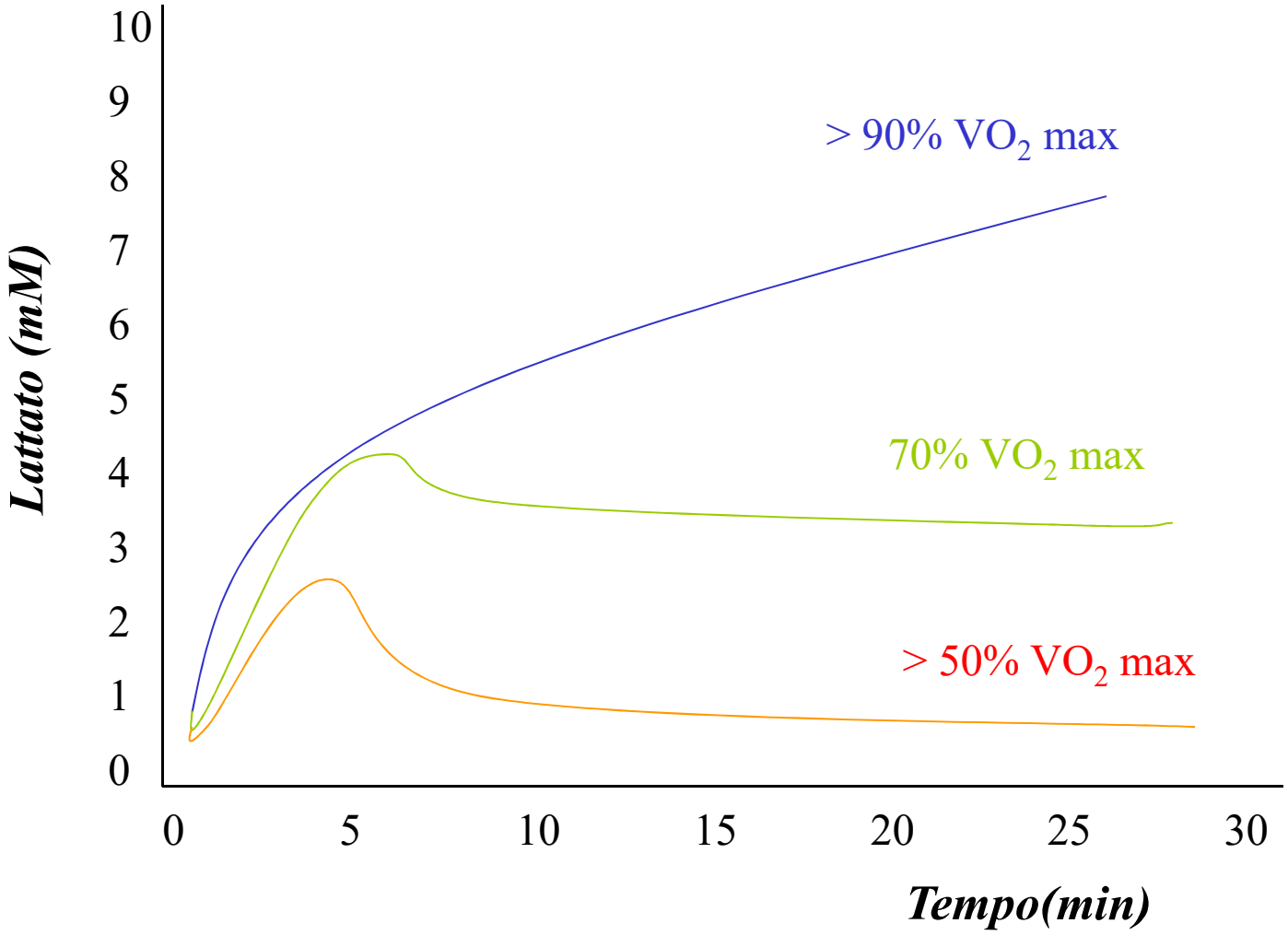
La massima potenza aerobica

Il massimo consumo di O_2 si considera raggiunto quando:

- Il soggetto non è più in grado di sostenere lo sforzo
- Il consumo di O_2 non aumenta più, anche se l'atleta riesce a sostenere un carico di intensità ulteriormente aumentata
- La concentrazione di lattato ematico raggiunge le 8 - 10 mM
- La FC corrisponde alla FCmax teorica
- Il quoziente respiratorio ha superato il valore 1:

$$QR = \frac{VCO_2}{VO_2}$$

Andamento del concentrazione ematica di lattato in funzione della durata e dell'intensità dello sforzo



Soglia anaerobica

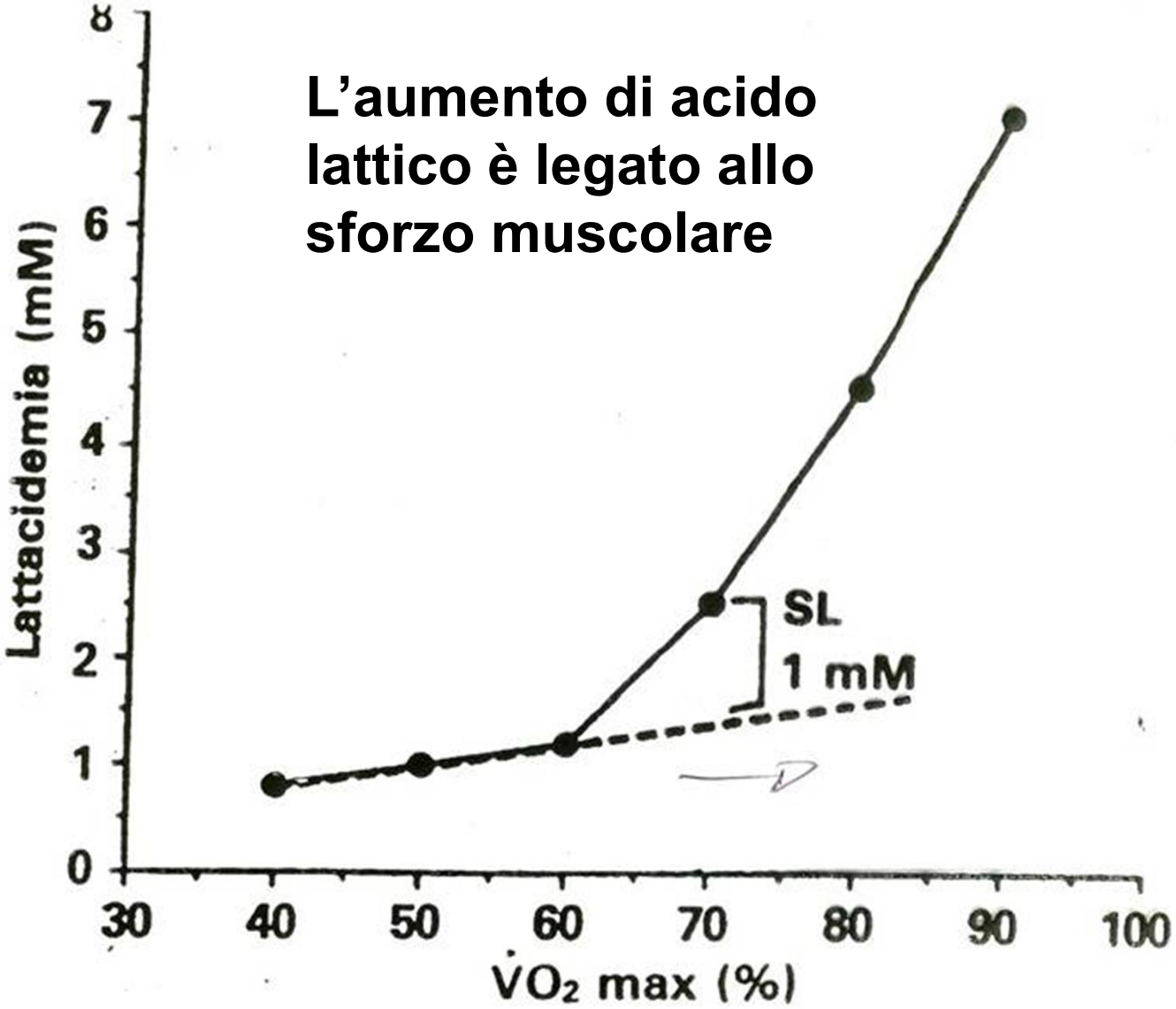
- **Livello del consumo di O_2 durante esercizio al di sopra del quale la produzione di energia avviene anche attraverso un metabolismo anaerobico**

- **Il più alto valore di VO_2 che può essere mantenuto durante esercizio prolungato senza accumulo di acido lattico**

Soglia anaerobica

- **Rappresenta:**
- **Il massimo carico di lavoro che può essere sostenuto da un soggetto per tempi prolungati senza che ciò comporti accumulo di:**
- **Acido lattico**
- **Fino a quando la sua concentrazione rimane intorno a 1 – 2,5 mM non si creano problemi per il muscolo**

L'aumento di acido lattico è legato allo sforzo muscolare



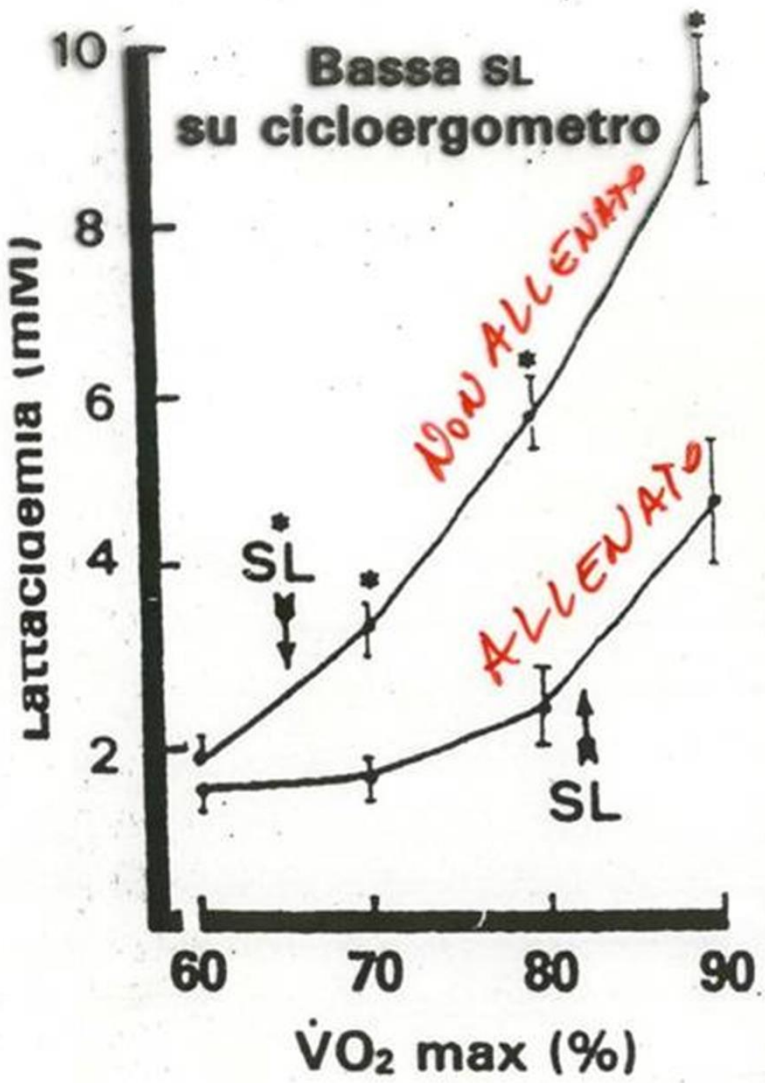
Latticemia

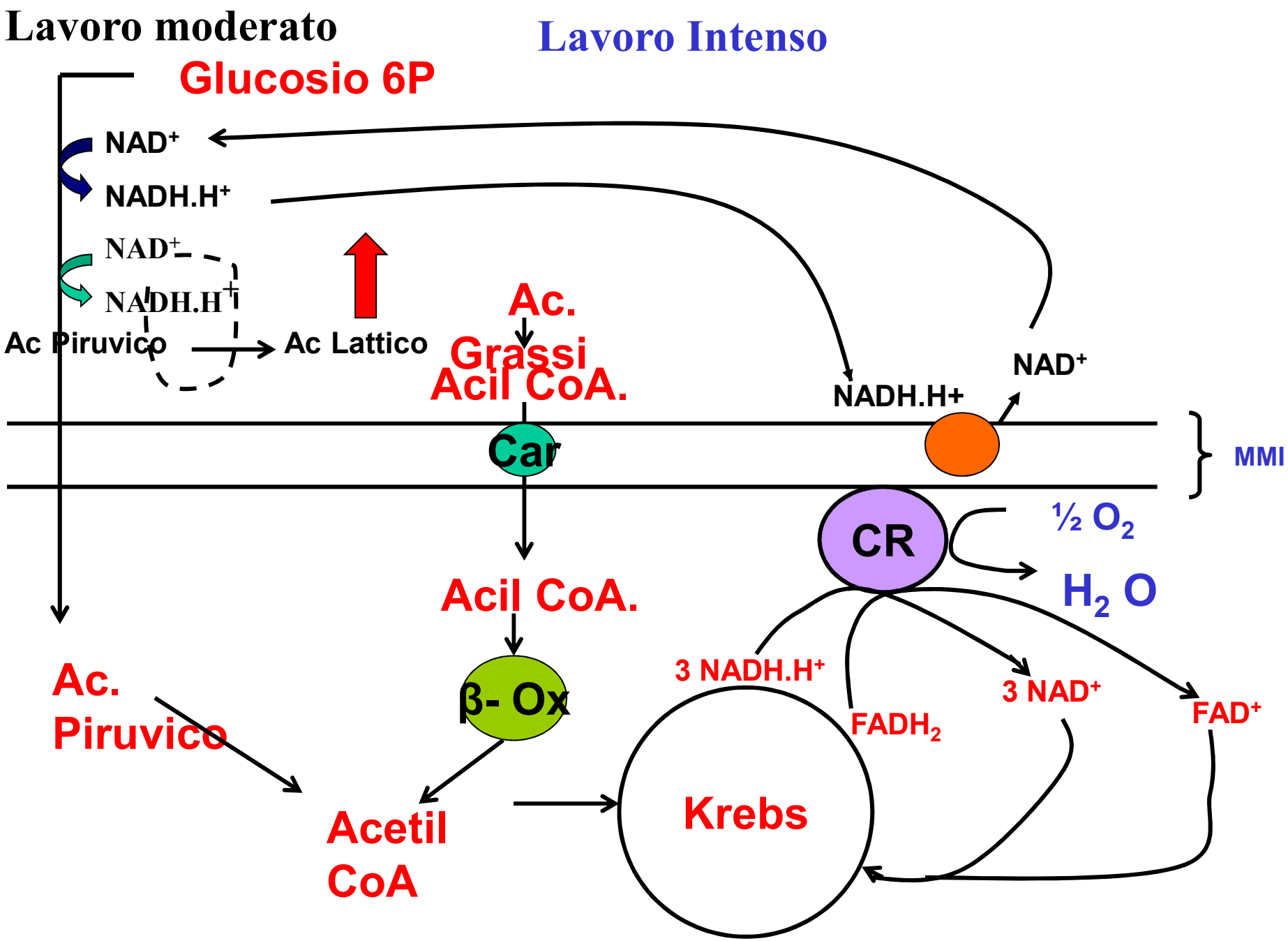
- **L'aumento dell'acido lattico è legato allo sforzo fisico e pertanto al consumo di ossigeno.**
- **Più aumenta e più si intensifica il lavoro fisico, maggior contributo di ossigeno viene richiesto dalle fibre muscolari**
- **Ma esiste un limite!**
- **Se lo si supera l'organismo non è più in grado di rispondere**

Consumo ossigeno

- **In condizioni basali e di riposo il consumo di ossigeno è:**
- **200 - 250 ml/min 12-15 litri/h**
- **In attività fisiche intense si arriva fino a:**
- **4.000 ml/min 240 litri/h**
- **In tal caso, gli atleti sottoposti a sforzi enormi non riescono a introdurre sufficiente ossigeno e si ha aumento della latticemia**

Quale è il motivo per il quale si forma un eccesso acido lattico nelle fibre rosse abituate al lavoro aerobico?



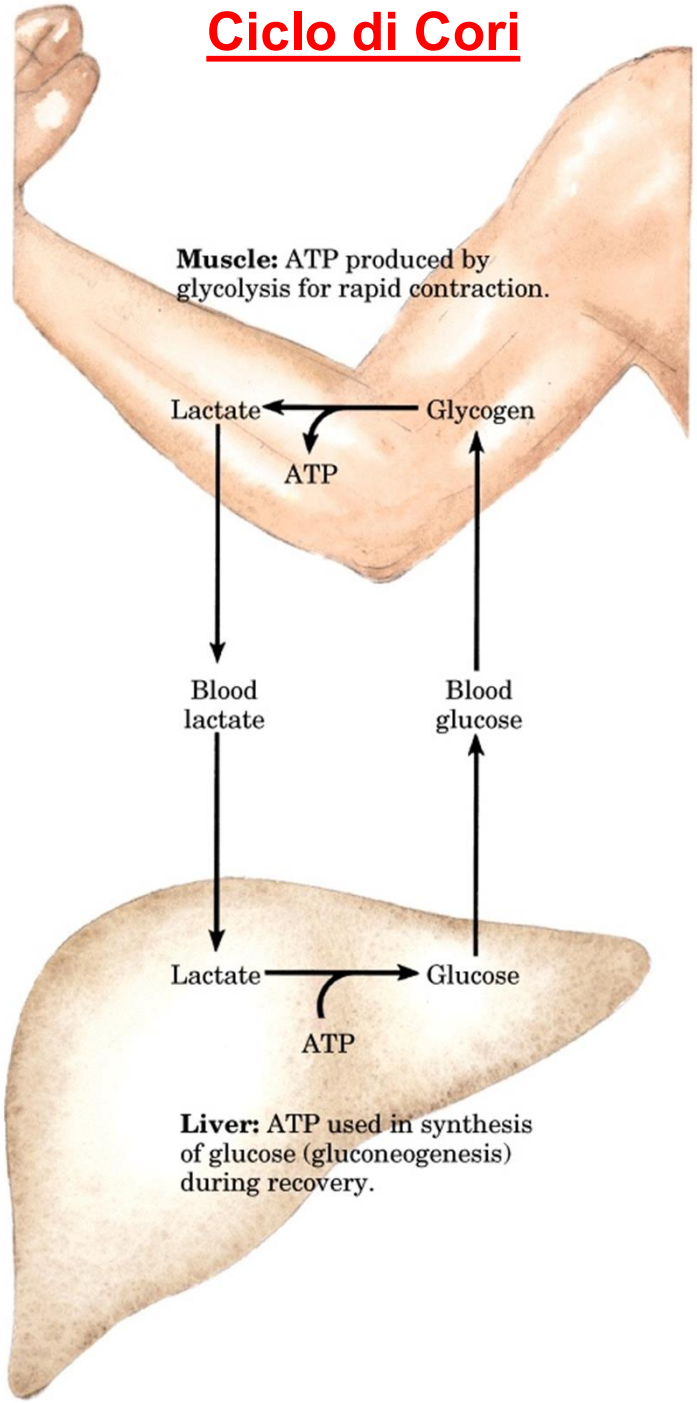

Lavoro moderato
Lavoro Intenso
Glucosio 6P
NAD+
NADH.H+
NAD+
NADH.H+
Ac Piruvico
Ac Lattico
Ac.
Grassi
Acil CoA.
NADH.H+
NAD+
Car
MMI
CR
½ O2
H2 O
Acil CoA.
Ac.
Piruvico
β- Ox
3 NADH.H+
FADH2
3 NAD+
FAD+
Acetil
CoA
Krebs

Le caratteristiche fondamentali dei 3 metabolismi sono riassunte da questa tabella:

Sistema	**Metabolismo**	**Erogazione di energia**	**Substrati utilizzati**	**Produzione di ATP**
Anaerobico Alattacido	Anaerobico svolto nel muscolo	Molto rapida e potente	ATP-CP non ci sono prodotti di scarto	Molto limitata Range da 0 a 7/10"
Anaerobico Lattacido	Anaerobico svolto nel citoplasma	Rapida e di media potenza	Glicogeno muscolare produce residuo metabolico di acido lattico	Limitata Range da 10 a 120" Con ottimizzazione a 20/40"
Aerobico È il metabolismo di base del corpo per la sua vita	Aerobico	Lenta e di bassa potenza	Glicogeno muscolare ed epatico, glucosio ematico, acidi grassi, corpi, chetonici, aminoacidi I residui metabolici sono CO_2 e H_2O	Teoricamente illimitata Ottimizzazione per la lipolisi dopo 20'

Ciclo di Cori

Il ciclo di Cori consente la sintesi di glucosio dal lattato, glucosio che può essere ritrasportato al muscolo per sostenere l'ulteriore lavoro muscolare



• La durata dell'allenamento aerobico deve partire da un minimo di 20 minuti circa (ottimale tra i 20 e i 45 minuti) dovuta al tempo necessario perché il regime aerobico raggiunga la sua piena funzionalità.

• La durata dell'esercizio è strettamente legata all'intensità con cui viene eseguito l'allenamento. Infatti l'esercizio sarà tanto più lungo quanto più bassa l'intensità di lavoro e viceversa.

Per esempio se si dovrà lavorare per un tempo superiore ai 45 minuti l'intensità della frequenza cardiaca dovrà essere intorno al 60-65 % del suo valore massimo, mentre per tempi contenuti tra 20 e 45 minuti, la frequenza cardiaca potrà essere innalzata anche al 75-80 % del suo valore max.

Fatica muscolare

Fatica acuta nelle attività di breve durata (anaerobico alattacido)

- *Deplezione Fosfocreatina*
- *Alterazione potenziale di membrana*

Fatica acuta nelle attività di media durata (anaerobico lattacido)

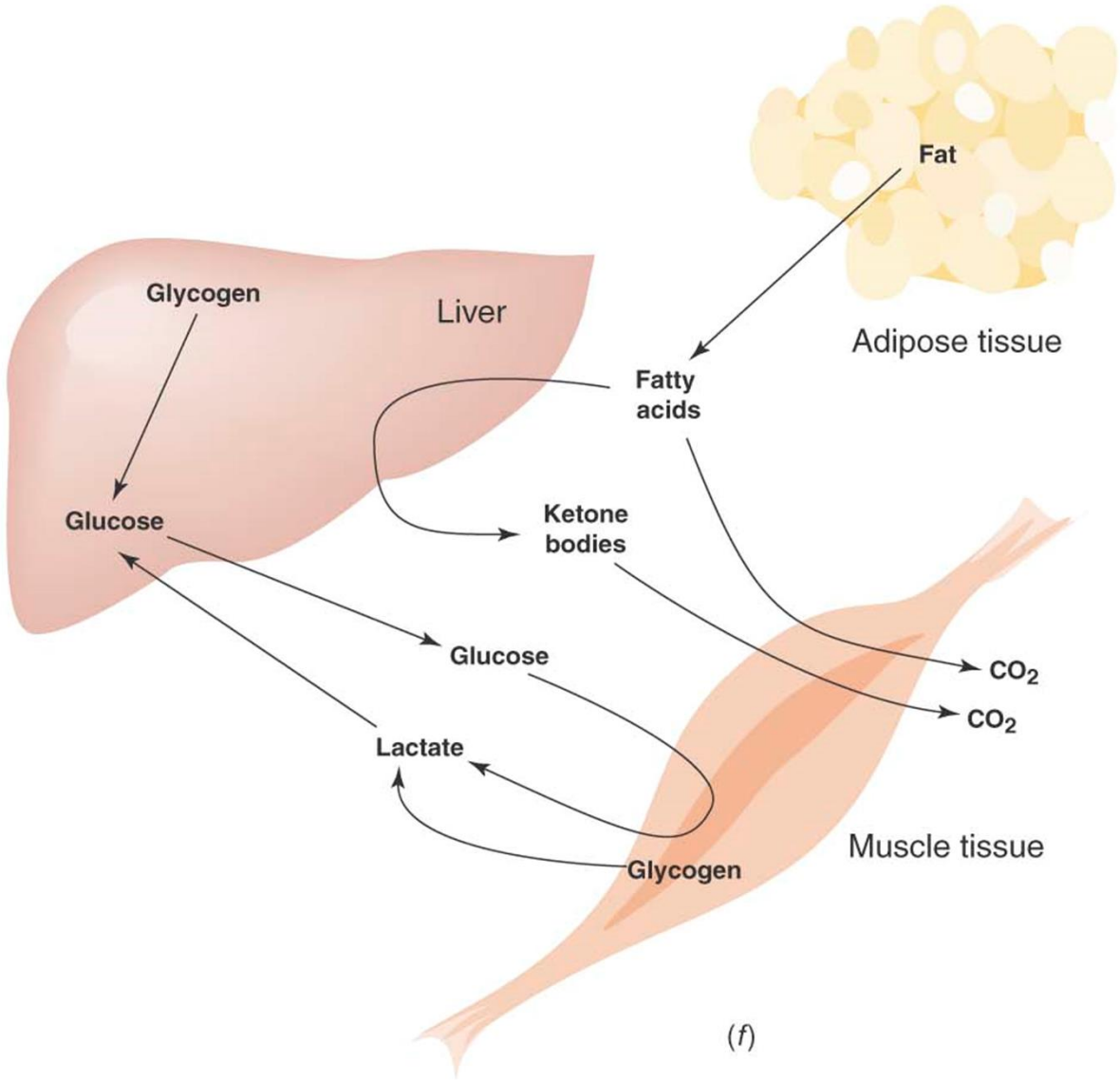
- *Aumento $[H^+]$ intracellulare (ac. lattico $\rightarrow$ lattato)*
- *ridotto rilascio e ricaptazione Ca^{++} dal RS*
- *riduzione forza ponti actomiosinici*
- *inibizione glicolisi anaerobica (fosfofruttochinasi)*
- *aumento dell'ammoniaca*
- *ridotta $[K^+]$ intracellulare*
- *aumento $[Na^+]$ intracellulare*

Fatica muscolare

Fatica acuta nelle attività sportive

- **Deplezione del glicogeno muscolare** (1,5-2 g/100 g)
- **Perdita di acqua e di elettroliti** (K^+ e Mg^{++})
- **Ipoglicemia**
- Produzione di **ammoniaca** da metabolizzazione dell'AMP
- Aumento rapporto **aa. aromatici**/ramificati

Interrelazioni metaboliche durante l'esercizio fisico



Intensità dello sforzo

Substrato energetico (ATP)
Sintesi da acidi grassi liberi
(FFA) + glucosio

Movimento

Esercizio a bassa intensità

Miscela di FFA (>) + Glu

Meccanismo aerobico

Miscela di Glu (>) + FFA

Meccanismo aerobico

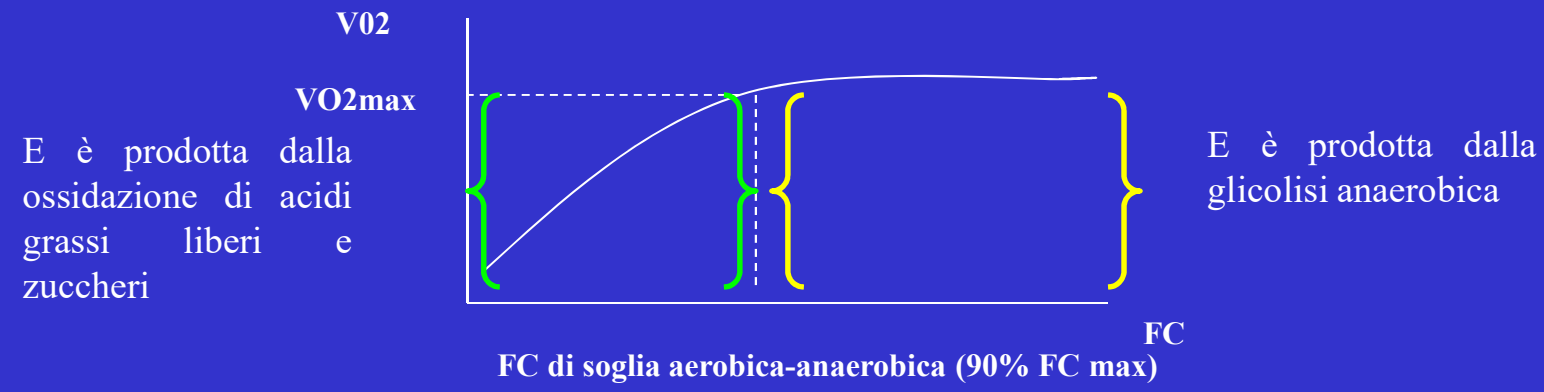
Esercizio ad alta intensità

Glu

Meccanismo anaerobico

Intensità dello sforzo

L'esercizio ad intensità crescente comporta l'incremento di 2 parametri misurabili: consumo di O2 (VO2) e FC



VO2 max = capacità aerobica massima (capacità di utilizzare il meccanismo aerobico per produrre Energia).

Soglia aerobica-anaerobica: FC alla quale si innesca il meccanismo anaerobico per la produzione di Energia. Si produce anche acido lattico

1. L'allenamento con FC < FC di soglia sviluppa il meccanismo aerobico
- L'allenamento con FC = FC soglia (85-90% FC max) innalza la soglia anaerobica
2. L'allenamento con FC > FC soglia sviluppa il meccanismo anaerobico e la tolleranza all'acido lattico
3. L'esercizio con FC< 60% non è allenante

Come si calcola la FC di soglia

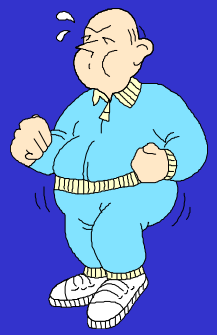
1. Metodo diretto

   Ergospirometria: test ergometrico massimale con valutazione consumo di O2 (VO2) alle diverse FC e produzione di acido lattico.

2. Metodo teorico

- FC massima teorica (220-età). Es atleta di 40 anni. FCmax = 180
- FC di soglia = 90% della FC max. Es FC soglia= 167
- FC < a FC soglia = lavoro aerobico
- FC > a FC soglia = lavoro anaerobico

La FC condiziona l'utilizzo dei substrati energetici



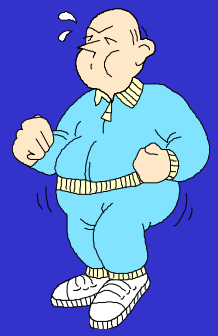
25% VO2max → **50% VO2max** → **75% VO2max**

25% VO2max	50% VO2max	75% VO2max
75% ATP da FFA	50% ATP da FFA	25% ATP da FFA
25% ATP da Glu	50% ATP da Glu	75% ATP da Glu

Con esercizio di bassa intensità (25-50% VO2 max) si utilizzano prevalentemente acidi grassi.

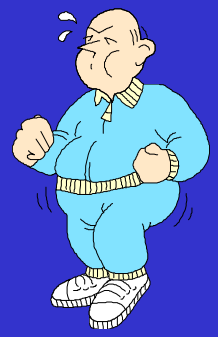
Programma di allenamento per perdere peso: bassa intensità (25% FC max per 2 ore o 50% FC max per 1 ora)

I carburanti per l'esercizio



Nei primi minuti di ogni esercizio e poi ogni volta che si supera la "soglia aerobica- anaerobica"

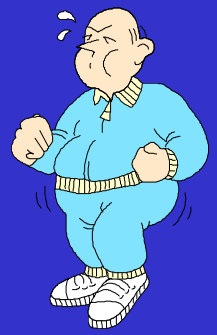
1. Energia (ATP) : glicolisi anaerobica del glicogeno muscolare con produzione di acido lattico



Per esercizio a bassa intensità di bassa o lunga durata. Es. Fondo lento

1. Energia (ATP) : ossidazione FFA

Riserve FFA: TG dei tessuti

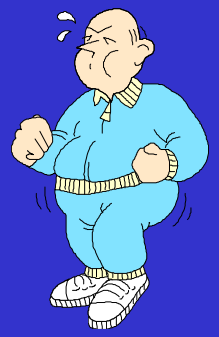


Per esercizio a intensità crescente e media durata. Es Fondo medio

1. Energia (ATP): ossidazione FFA + glicolisi aerobica glucosio
2. Se si supera la "soglia aerobica-anaerobica":glicolisi anaerobica del glicogeno muscolare con produzione di acido lattico

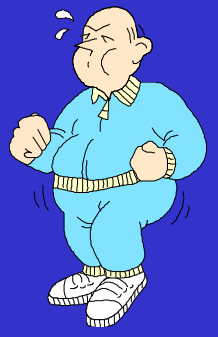
Riserve FFA: TG dei tessuti

Riserve glucosio: glicogeno epatico



Per esercizio a intensità crescente e lunga durata. Es maratona

1. Energia (ATP): prima da glicolisi aerobica glucosio, poi (per esaurimento delle scorte di glicogeno epatico) prevalentemente da ossidazione FFA
2. Se si supera la "soglia aerobica-anaerobica":glicolisi anaerobica del glicogeno muscolare con produzione di acido lattico



Per esercizio ad elevata intensità e breve durata (esercizio anaerobico) Es. 100m piani

1. Energia (ATP): glicolisi anaerobica del glicogeno muscolare con produzione di acido lattico

Intensità dell'esercizio e parametri vitali

Intensità esercizio	Leggero	Moderato	Intenso	Molto intenso
Attività	Cammino spedito	Correre	Correre velocemente	Corsa estrema (100 m piani)
FC	< 60% VO2 max	60-70% VO2 max	75- 90% V02 max	>90% VO2max
Fonte Energia	Grassi	Grassi e Zuccheri	Zuccheri e grassi	Zuccheri
Metabolismo	Aerobico	Aerobico	Aerobico anaerobico	Anaerobico
Respirazione	Normale Si riesce a parlare	Aumentata Si parla a fatica	Molto aumentata E' difficile parlare	Apnea Non si riesce a parlare

Costo energetico delle attività sportive

Energia spesa per l'attività muscolare. Dipende da:

1. Tipo di attività: aerobica, aerobica-anaerobica, anaerobica
2. Intensità della attività: leggera, moderata, intensa

Attività aerobiche	Attività aerobiche anaerobiche	Attività anaerobiche
Corsa di fondo, campestre, ciclismo, nuoto, sci fondo, canottaggio	Calcio, pallacanestro, pallavolo, judo, rugby	Corsa veloce, salti, lanci, sollevamento pesi
Dispendio energetico 6-18 Kcal/Kg/h	Dispendio energetico 5-15 Kcal/Kg/h	Dispendio energetico 3-12 Kcal/Kg/h

Quali benefici attendersi dalla attività sportiva

a. Adattamenti funzionali all'esercizio fisico

- Apparato cardiocircolatorio: < FC a riposo e sotto sforzo; < PAS/PAD a riposo e sotto sforzo; > capacità totale di esercizio; > massa eritrociti; > flusso ematico nei tessuti (< volume sistolico, > capillarizzazione, > calibro vasi periferici); > fibrinolisi
- Apparato respiratorio: > CV,> FEV1, > capacità respiratoria
- Apparato muscolo-scheletrico:> forza e massa muscolare, > elasticità tendini, > densità ossea
- Sistema immunitario: > risposta immunitaria (< con esercizi strenui)
- Sistema urinario: > velocità di filtrazione
- Funzioni psicologiche: > benessere, miglioramento ritmo sonno-veglia

b. Adattamenti metabolici all'esercizio fisico

- Metabolismo lipidico: < CH Tot, < LDL, < TG (> captazione muscolare), > HDL (> liberazione da endotelio)
- Metabolismo glucidico: < glicemia (> captazione muscolare)
- Sistema ormonale: < insulina, > glucagone, > catecolamine, > cortisolo, > STH, > endorfine,

Diabete 1(< produzione di insulina)

1. L'allenamento aumenta la tolleranza al glucosio: < fabbisogno di insulina
2. Rischi: ipoglicemia durante l'esercizio; necessità di consumo regolare di carboidrati e scorta di glucosio

Diabete 2 (insulino-resistenza)

L'allenamento aumenta la sensibilità tissutale all'insulina: < fabbisogno farmaci ipoglicemizzanti

Benefici EBM della attività sportiva

- Invecchiamento di successo: < declino della forma fisica
- < mortalità e morbilità generale e specifica (CI, Ictus, CA): per coesistenza di altri fattori protettivi (alimentazione, non fumo…) e per azione di attività fisica come fattore protettivo indipendente
- Stile di vita migliore (alimentazione, < uso di generi voluttuari)
- Stabilizzazione-miglioramento diabete, ipertensione, vasculopatie periferiche, osteoporosi, umore (ansia-depressione)
- Riduzione peso corporeo