L'esercizio di resistenza

L'esercizio fisico di resistenza

- **l'esercizio di resistenza è un esercizio di intensità costante, prolungato, con una durata variabile tra 4 min e 4 ore** (Whyte, 2006)

  comprende **attività sulla media distanza** (per esempio **ciclismo su pista**, **canottaggio** e **nuoto**) e **lunga distanza** (**corsa della maratona** e a **lunghe tappe ciclistiche su strada**, come quelle del Giro d'Italia)

- **l'esercizio di ultra-resistenza** ha **durata superiore alle 4 ore**, comprende attività come il **triathlon dell'Ironman** o la **ultra-maratona** (100Km del passatore)

l'intensità dell'esercizio è costante: **lo scopo degli atleti è quello di allenarsi alla massima potenza possibile per un tempo più lungo possibile**.

Produzione di energia negli esercizi di resistenza

Il **ripristino dell'ATP** impiega il **metabolismo ossidativo di carboidrati e lipidi** forniti da:

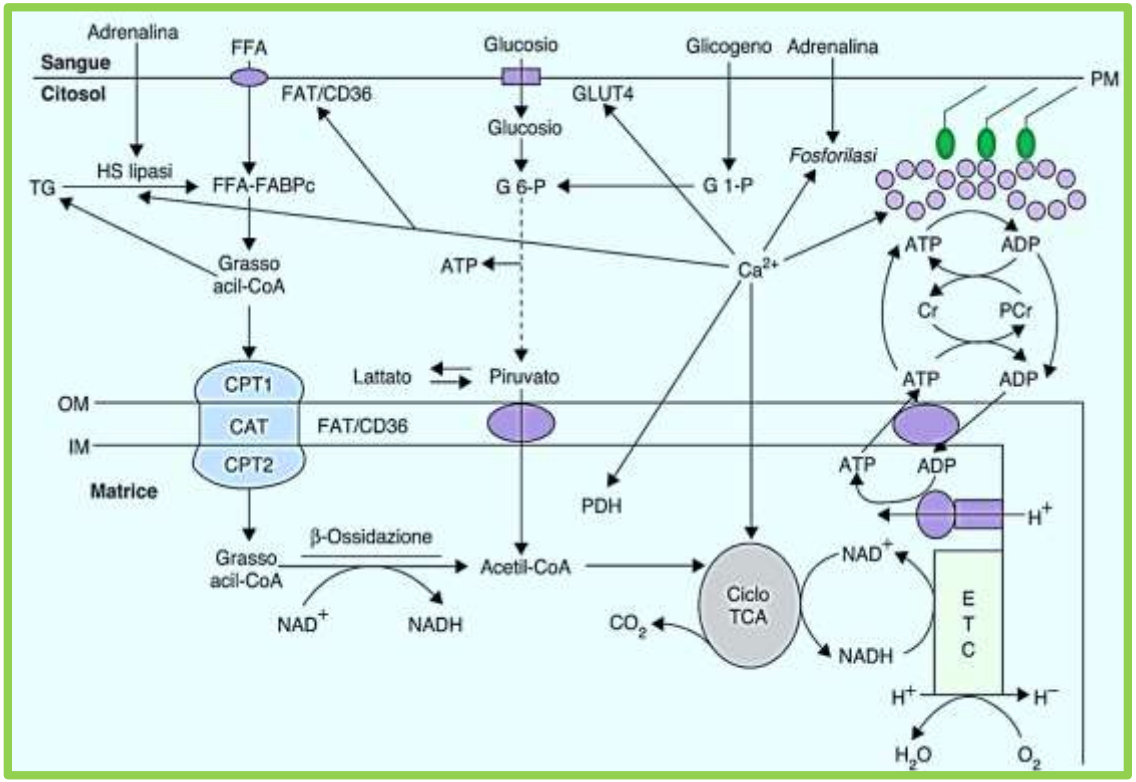
- **fonti intramuscolari**
  - glicogeno muscolare
  - trigliceridi intramuscolari (IMTG)

- **fonti extramuscolari**
  - acidi grassi liberi plasmatici (FFA - derivati dalla lipolisi del tessuto adiposo)
  - glucosio plasmatico (dal glicogeno epatico o dal glucosio alimentare).

Le **proteine** (aminoacidi) contribuiscono solo per una piccola % alla produzione di ATP durante l'esercizio (**5%**)

Regolazione metabolica durante l'esercizio di resistenza

- la **disponibilità dei substrati** - controllati dalla dieta e dagli ormoni chiave - catecolamine e l'insulina



- l'**abbondanza dei trasportatori dei substrati** attraverso le membrane cellulari e mitocondriali

- l'**attività degli enzimi chiave** coinvolti nelle vie metaboliche

Meccanismi che modificano l'attività delle differenti vie energetiche

- di **regolazione immediata** delle vie che modulano l'attività degli enzimi di comando delle vie di produzione dell'energia

  - fosforilazioni e defosforilazioni degli enzimi principali
  - modulatori allosterici (ADP, AMP, IMP, Pi, Ca^{2+}, H^{+})
  - concentrazione dei substrati (un aumento li attiva)
  - concentrazione dei prodotti (un aumento li inibisce)

- di **regolazione ormonale** (**insulina**, **adrenalina**)

- di **adattamento** al tipo di esercizio (**ALLENAMENTO**)

ALLENAMENTO

Variabili dell'allenamento che influenzano la biochimica delle vie di produzione dell'energia:

- l'**intensità dell'esercizio**
- la **durata**
- lo **stato nutrizionale**
- il **livello di allenamento**

Per definire l'intensità dell'esercizio …

di resistenza	ALLENAMENTO	di forza
25-90 % VO2max	**100%** VO2max	**130 %** VO2max
SOTTO massimale	**massimale** (stato attuale)	**SOPRA** massimale
25-45-65-80-90 %		all-out

Modificazioni metaboliche causate dall'intensità dell'esercizio

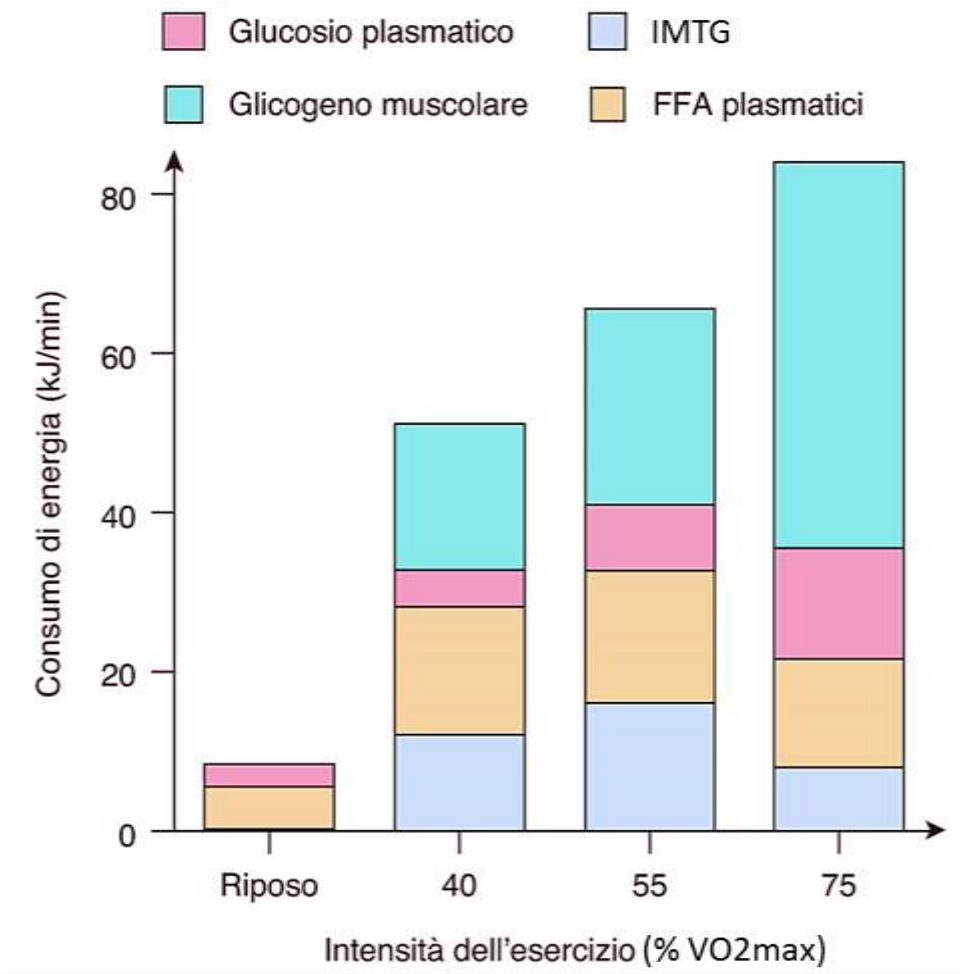
Effetto dell'intensità dell'esercizio

*il contributo dei carboidrati e dei lipidi nella produzione di ATP varia in funzione dell'**intensità dell'esercizio***

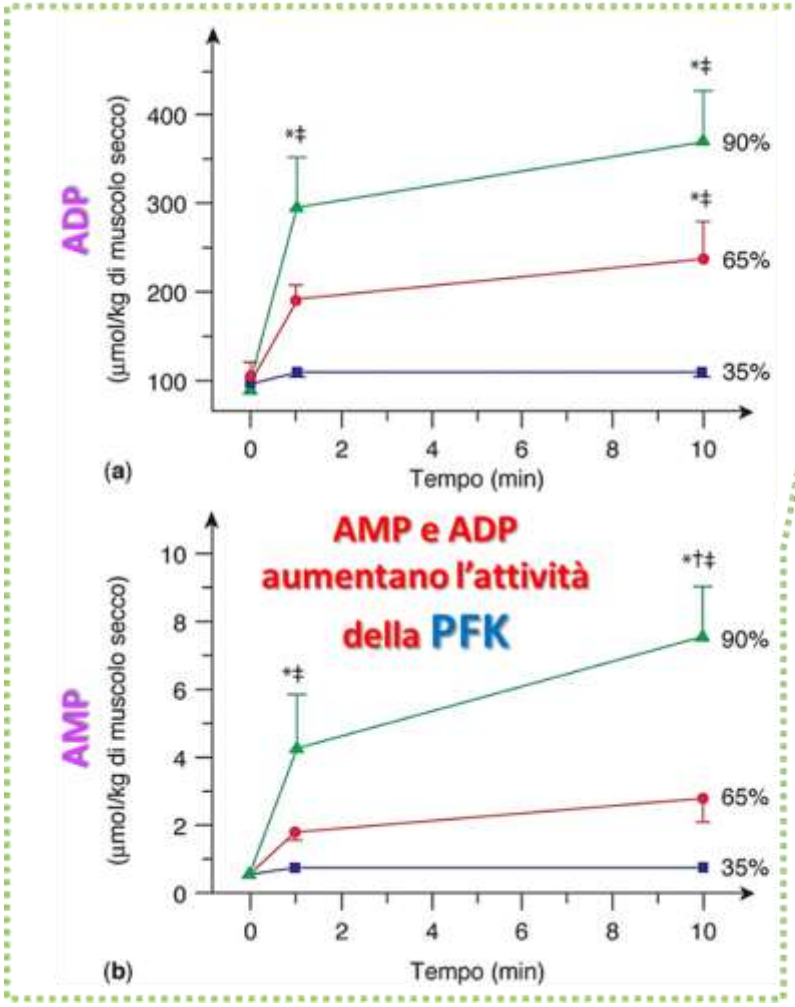
25% ⟷ VO2max ⟷ **90 %**

sotto massimale

A maggiori intensità dell'esercizio (a ritmi più elevati, che richiedono grandi quantità di energia e contrazione alla massima velocità possibile) **predomina il contributo dei carboidrati** mentre **cala il contributo dei lipidi**



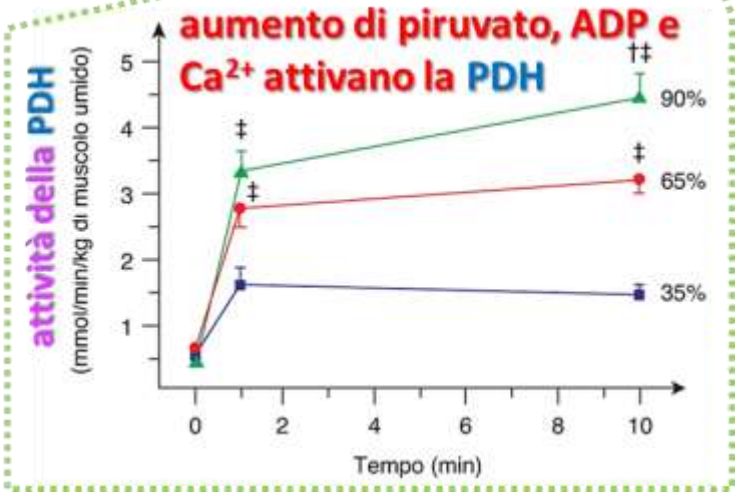
L'**aumento della richiesta di ATP** produce **ADP** e **AMP** → attivano la glicolisi
aumenta l'attività di **PDH** ← aumenta PIR



25% VO2max 90 %

aumenta il consumo di ATP

aumenta l'attività di PDH

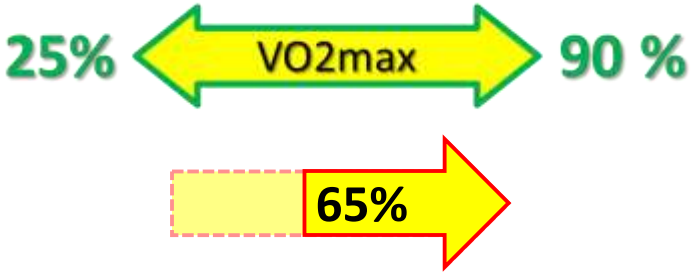


Aumenta l'ossidazione del glucosio attraverso la glicolisi

Aumenta l'ossidazione aerobica del piruvato (ciclo di Krebs)

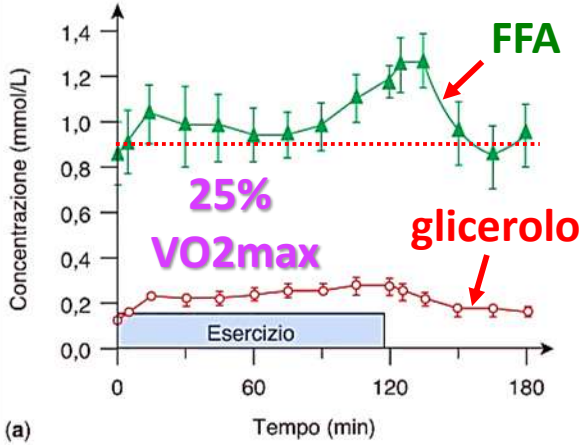
(a) **aumenta l'ossidazione aerobica del glucosio**

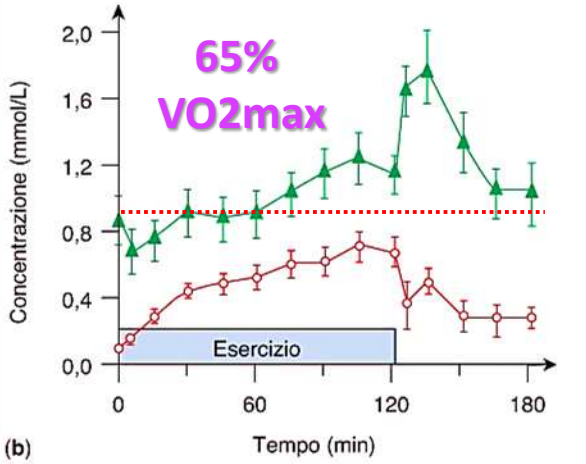
il contributo dei lipidi alla produzione di ATP diminuisce ad intensità di esercizio >65% VO2max

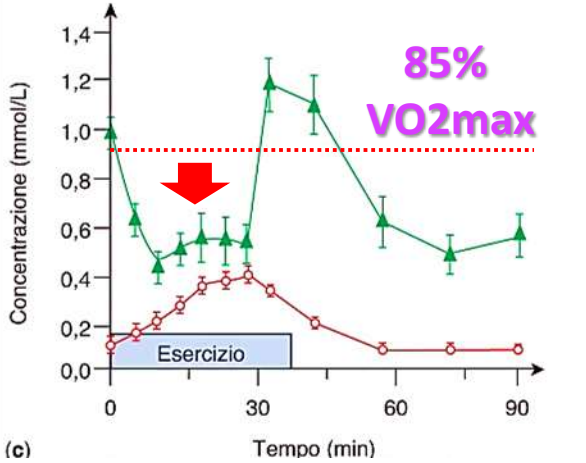


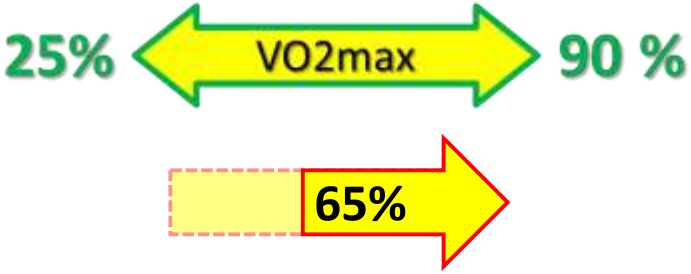
(b) **diminuisce il livello di FFA plasmatici**

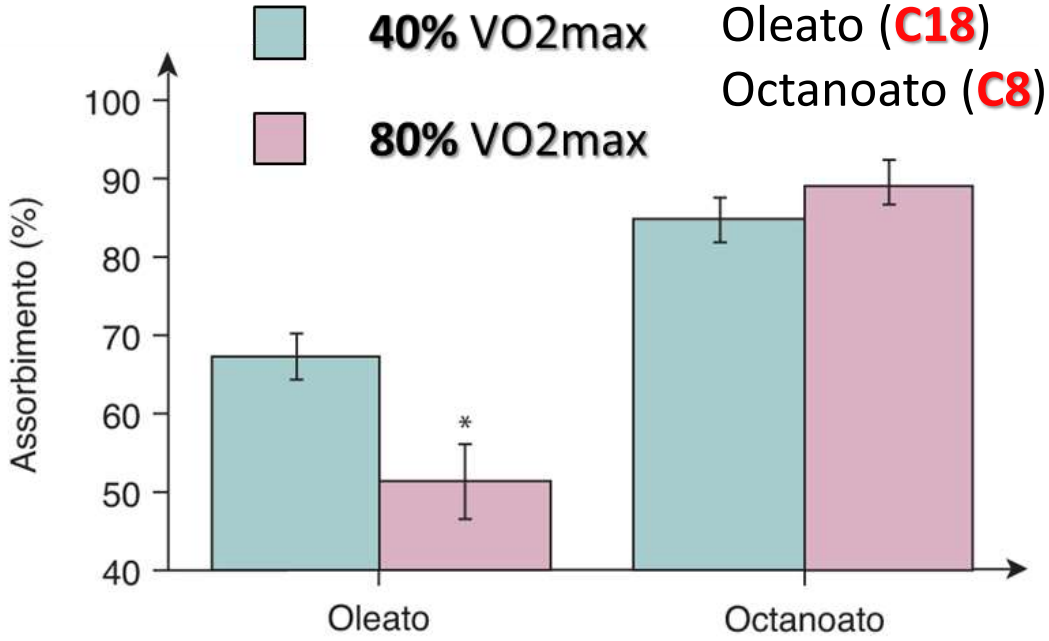
sforzo intenso (>65% VO2max): **aumenta il flusso ematico verso i muscoli** → <u>arriva poco sangue al tessuto adiposo</u> → arriva **poca ALBUMINA necessaria per il trasporto degli FFA** (la lipolisi è comunque attiva → NB si produce glicerolo che va in circolo poiché non necessita di albumina)









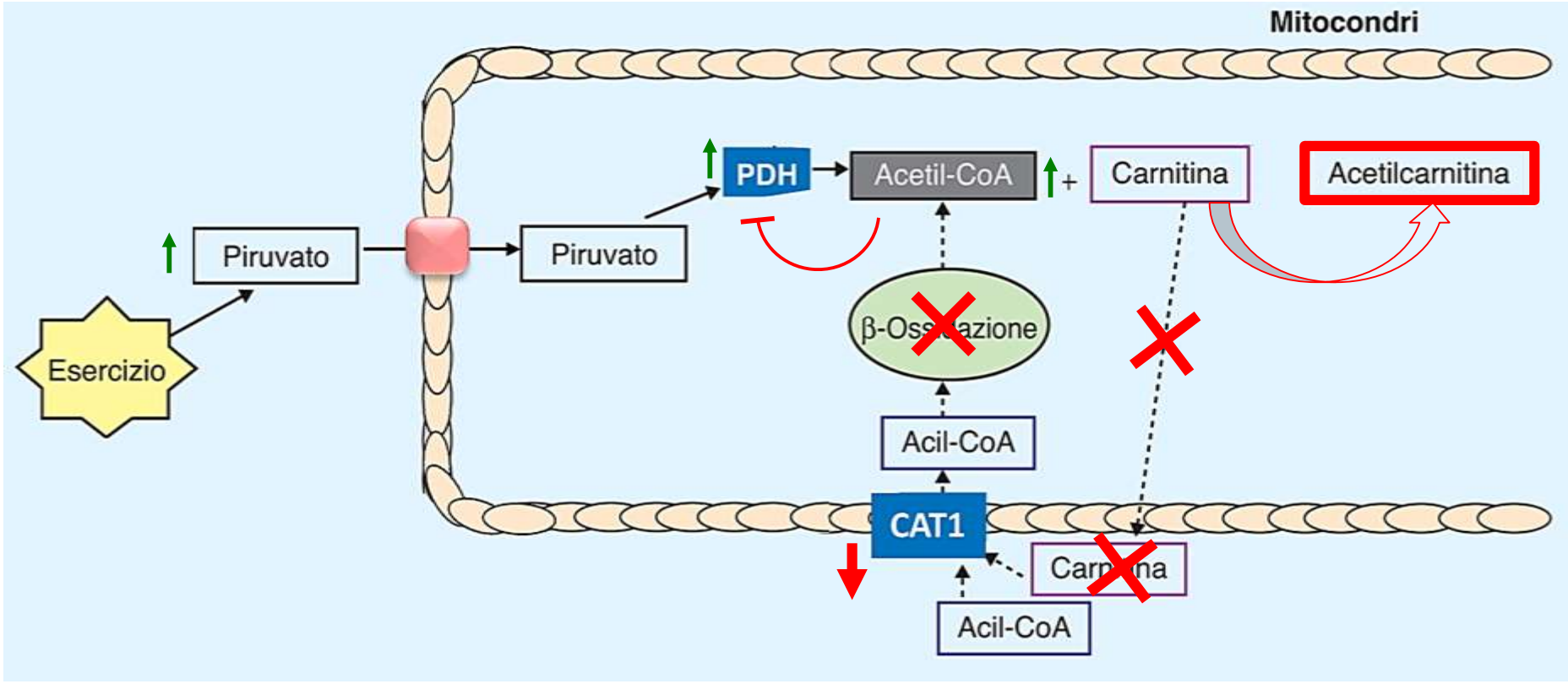


(c) **diminuisce l'ossidazione dei lipidi**

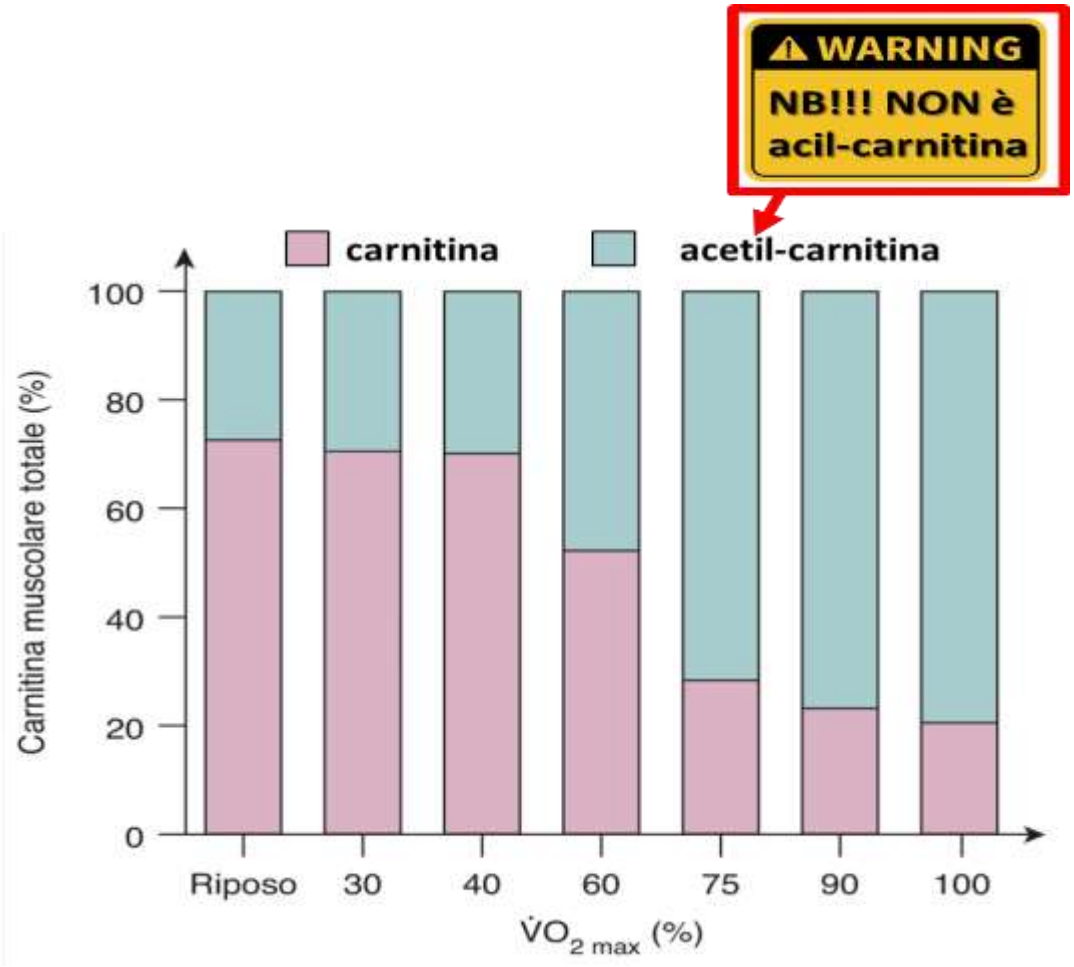
sforzo intenso (>65% VO2max): **cala l'ossidazione dei lipidi** (beta-ox) **nel muscolo**

Cala l'attività della CAT1

perché?



Il **maggiore afflusso di piruvato** proveniente dal glucosio **aumenta l'attività di PDH → aumenta l'acetilCoA** proveniente dal glucosio → che **eccede la velocità di utilizzo nel ciclo di Krebs** → l' **eccesso di acetilCoA potrebbe inibire la PDH** → il muscolo non potrebbe soddisfare il fabbisogno energetico richiesto dall'intensità dell'esercizio (>65% VO2max)



la **carnitina assorbe l'eccesso** di acetilCoA prodotto, **diventando acetil-carnitina** → non è più libera per trasportare gli acidi grassi

→ cala la disponibilità di CARNITINA

La **carnitina è un substrato dell'enzima CAT1,** indispensabile per il trasporto degli FFA a catena lunga (ma non quelli a <C12) attraverso la membrana mitocondriale interna → cala il flusso di FFA verso il mitocondrio → la **beta-ox rallenta** (alimentata ora solo dagli FFA <C12.

In definitiva, la biochimica ci insegna che:

«se aumento il ritmo di un esercizio di resistenza consumo in modo preferenziale il glucosio»

Per cui prima di un allungo… se voglio sostenerlo … sarebbe consigliabile integrare con carboidrati prima e durante

Modificazioni metaboliche prodotte dalla durata dell'esercizio

Effetto della durata dell'esercizio

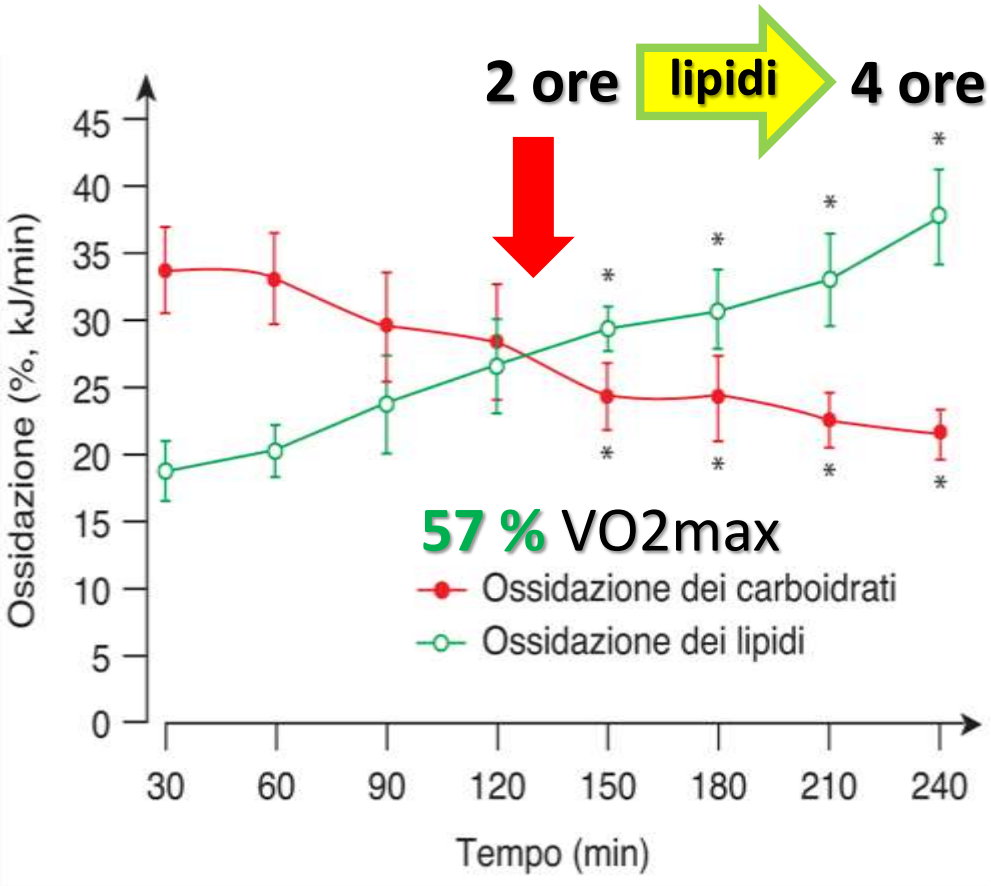
contributo dei carboidrati e dei lipidi nella produzione di ATP in funzione della ***durata dell'esercizio (<65% VO2max)***

10 min → **tempo** → **ore**

L'esercizio a prolungato nel tempo (a intensità costante)

- **aumenta l'ossidazione lipidica**
- **riduce la velocità di ossidazione dei carboidrati**

2 ore → **lipidi** → **4 ore**



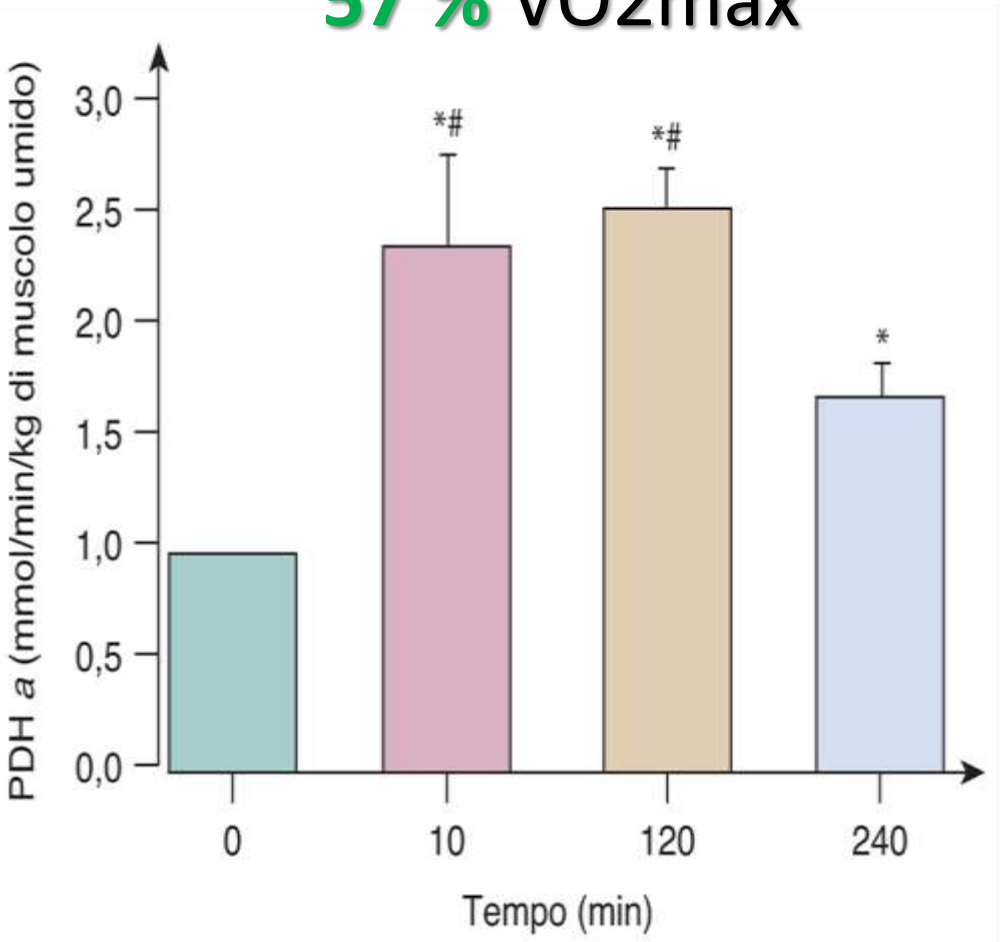
2 ore → **tempo** → **4 ore**

Aumento della durata dell'esercizio → riduce l'attività della PDH

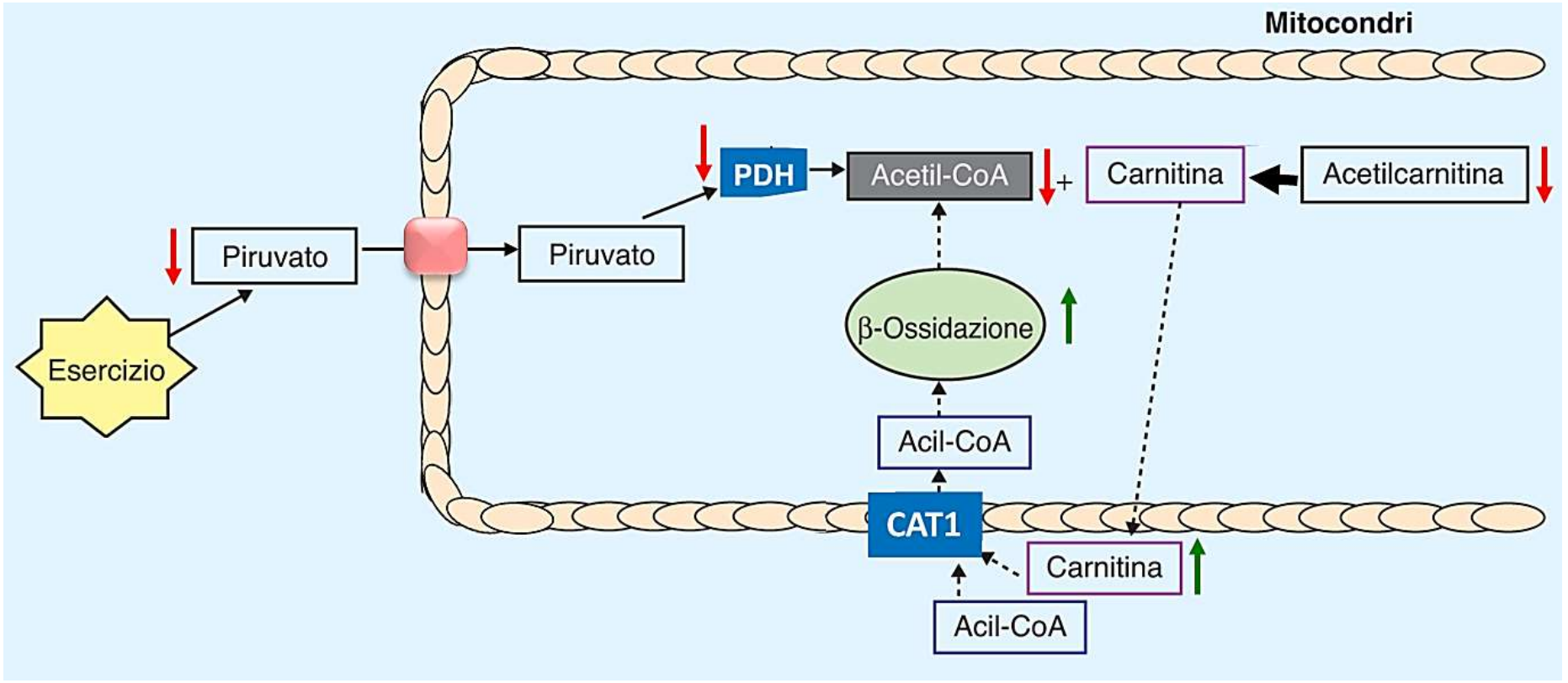
il **glicogeno** muscolare ed epatico è **ormai consumato** ed è ridotta anche l'attività gluconeogenica del fegato (alimentata solo dalla degradazione delle proteine)

La difficoltà a mantenere livelli glicemici adeguati stimola la produzione di **glucagone** che **blocca** la **PK impedendo la produzione di piruvato**

57 % VO2max



cala l'attività della PDH → si riduce la produzione di acetil-CoA derivato dagli zuccheri

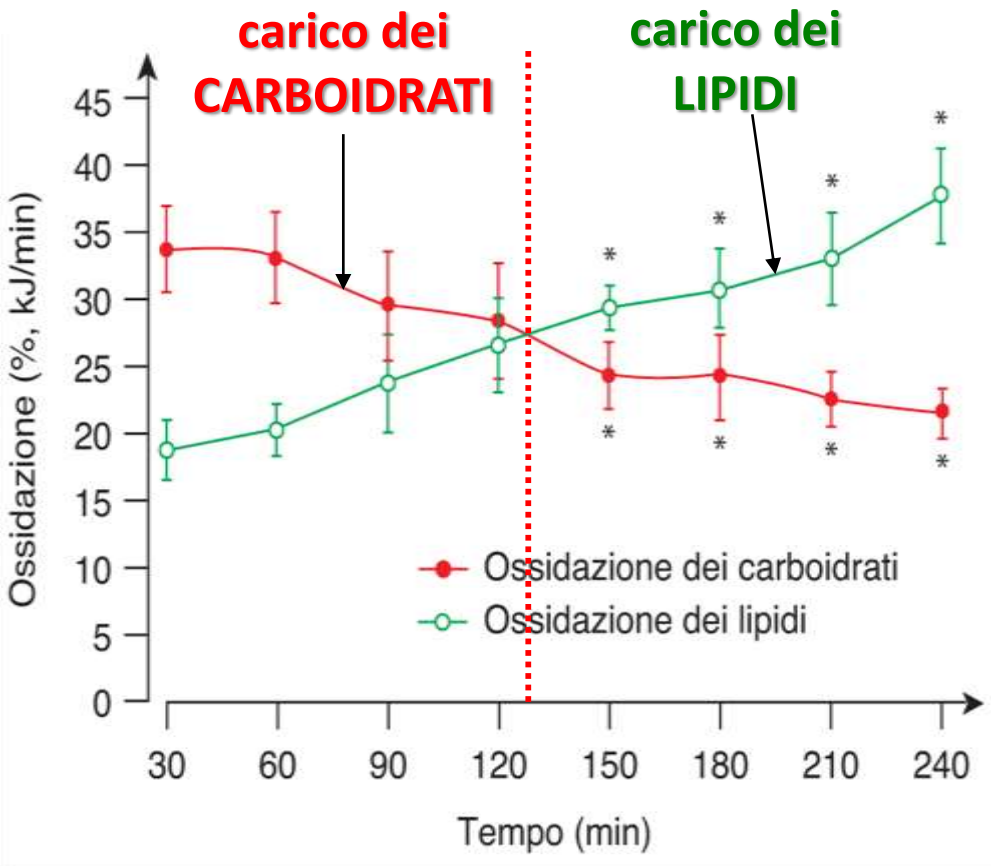


L'esercizio prolungato nel tempo consuma il glucosio → riduzione dei livelli di piruvato → riduzione dell'attività della PDH → si riduce il livello di acetilCoA derivato dai carboidrati → la acetil-carnitina ritorna ad essere carnitina → ritorna ad essere disponibile per la CAT1 → aumento beta-ox

«Il muscolo inizia dal dolce, ma quando finisce …passa al salato»

Modificazioni metaboliche prodotte dalla stato nutrizionale

Poichè l'apporto dei carboidrati o dei lipidi prevale a seconda della durata dell'esercizio fisico, si usano strategie nutrizionali differenti a seconda della distanza da percorrere



Protocolli per incrementare i carboidrati

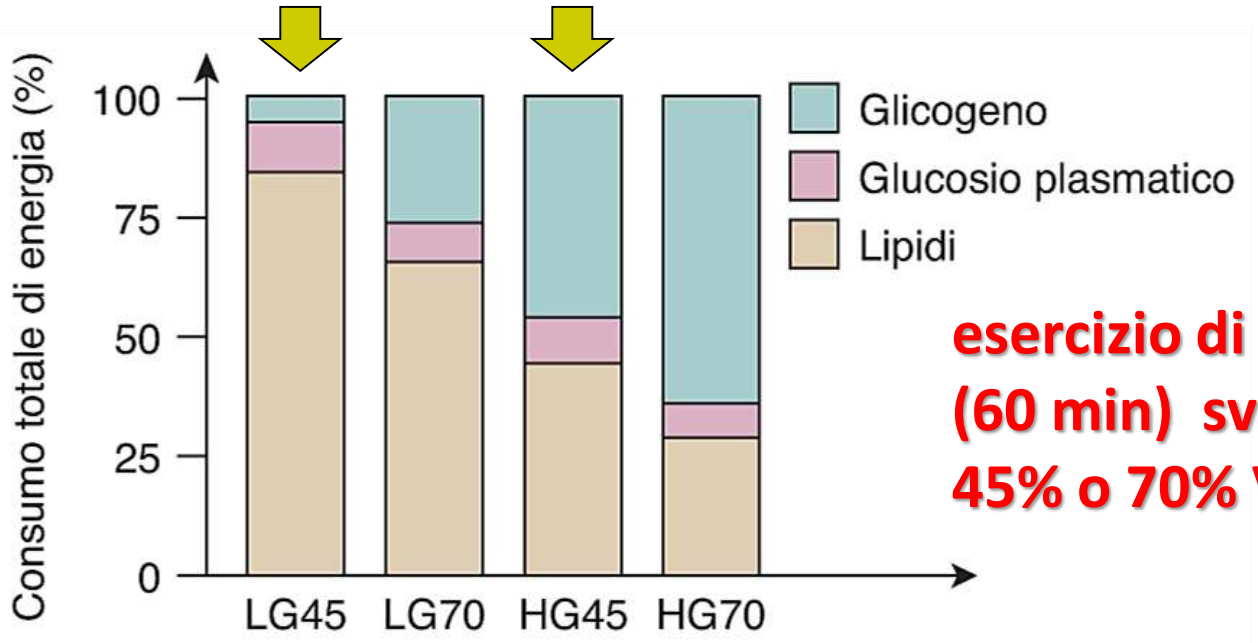
Gli atleti impegnati in esercizi di resistenza adottano spesso un **regime dietetico di carico dei carboidrati**, così da **aumentare la scorta di glicogeno muscolare**.

Vengono svolti esercizi fino allo sfinimento intesi a esaurire le scorte di glicogeno, seguiti da una dieta ricca di carboidrati per indurre una grande velocità di **resintesi di glicogeno** che arriva **a livelli maggiori** rispetto alla situazione precedente.

Tale regime alimentare, assunto non solo in prossimità delle gare, **permette di sostenere carichi di lavoro maggiori** anche durante gli allenamenti (aumenta l'allenabilità dell'atleta)

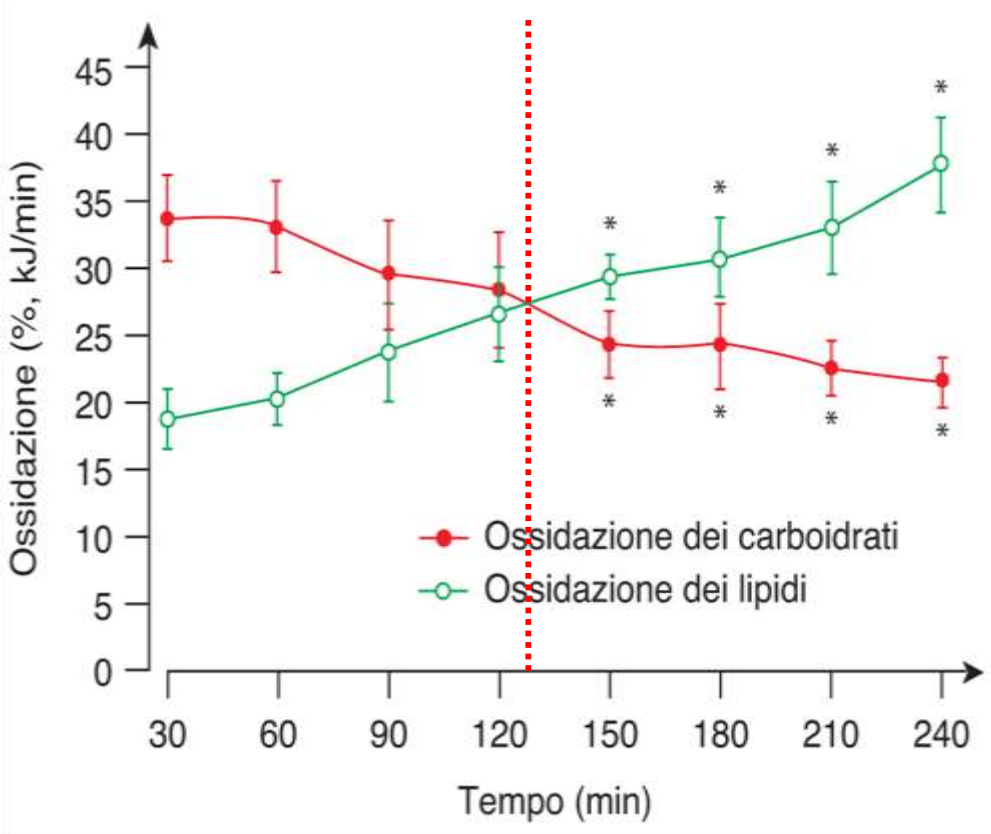
Effetto dello stato nutrizionale

LG = basso contenuto di glicogeno muscolare
HG = alto contenuto di glicogeno muscolare



esercizio di resistenza (60 min) svolto a 45% o 70% VO2max

Il metabolismo aumenta il consumo dei carboidrati (anche in condizioni di esercizio <65% VO2max in cui in condizioni normali in cui prevale il consumo dei lipidi)



In caso di **esercizio di resistenza prolungata** l'ossidazione dei carboidrati diventa meno importante e **cresce l'importanza del contributo dei LIPIDI**

Si usano strategie nutrizionali per aumentare la disponibilità di FFA e l'ossidazione lipidica.

Adattamento lipidico: dieta ad alto contenuto di grassi (e basso contenuto di carboidrati, come la **chetogenica**) per un periodo fino a due settimane, durante il quale si eseguono un protocollo di allenamento normale per intensità e volume, seguito da una dieta per 13 giorni ad alto contenuto di carboidrati accompagnata da una forte riduzione dell'allenamento → in queste condizioni i carboidrati vengono trasformati in grassi

adattamento lipidico

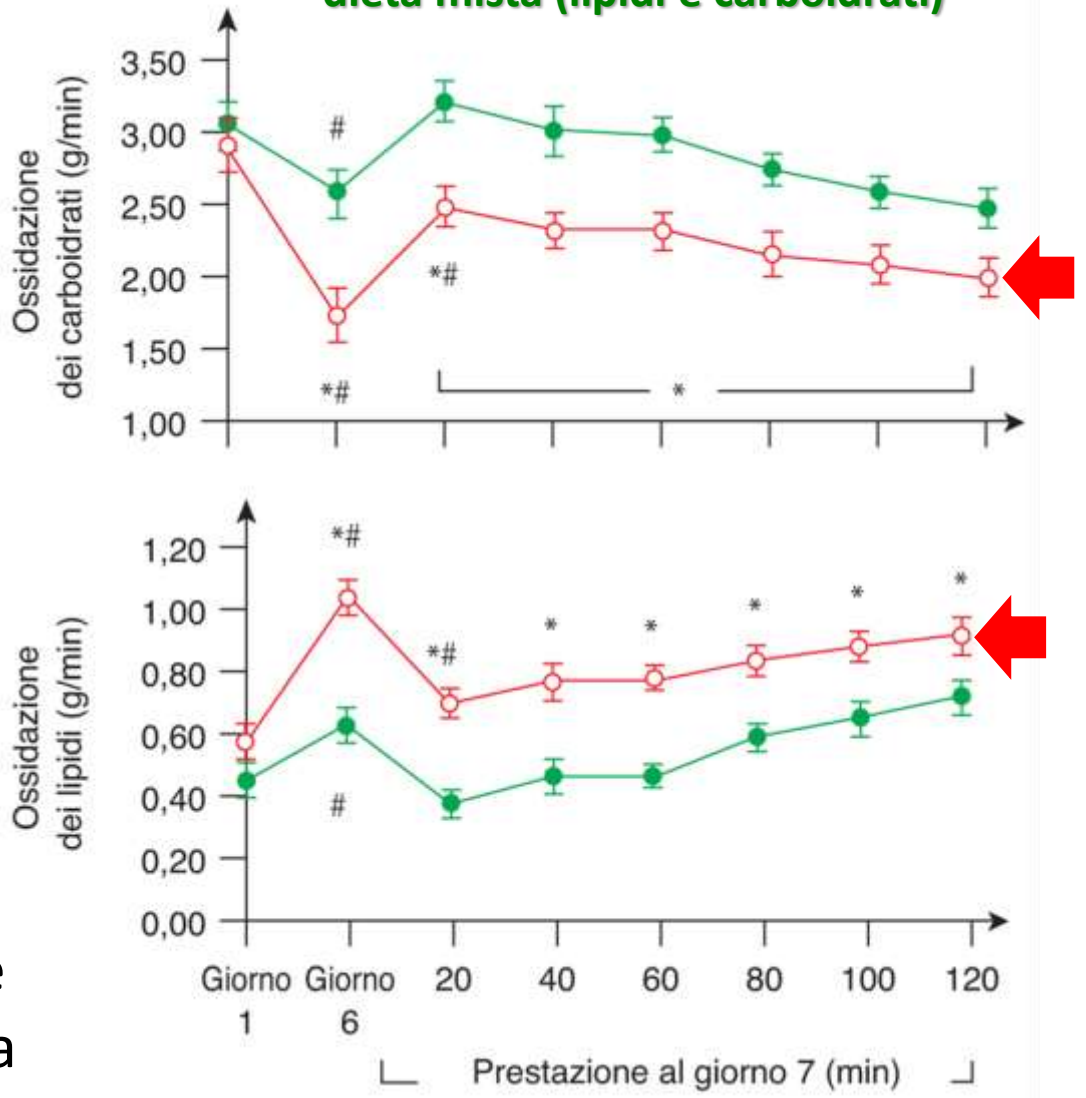
La **dieta a contenuto prevalente di lipidi (x6 gg)**

- aumenta l'ossidazione dei **lipidi**
- riduce l'ossidazione dei **carboidrati**

durante l'esercizio svolto nonostante sia stato ripristinato il livello dei carboidrati al giorno 6

Nella dieta a carico lipidico il **muscolo si è adattato ad utilizzare i lipidi** come fonte prevalente e di conseguenza permette un **risparmio di glicogeno**

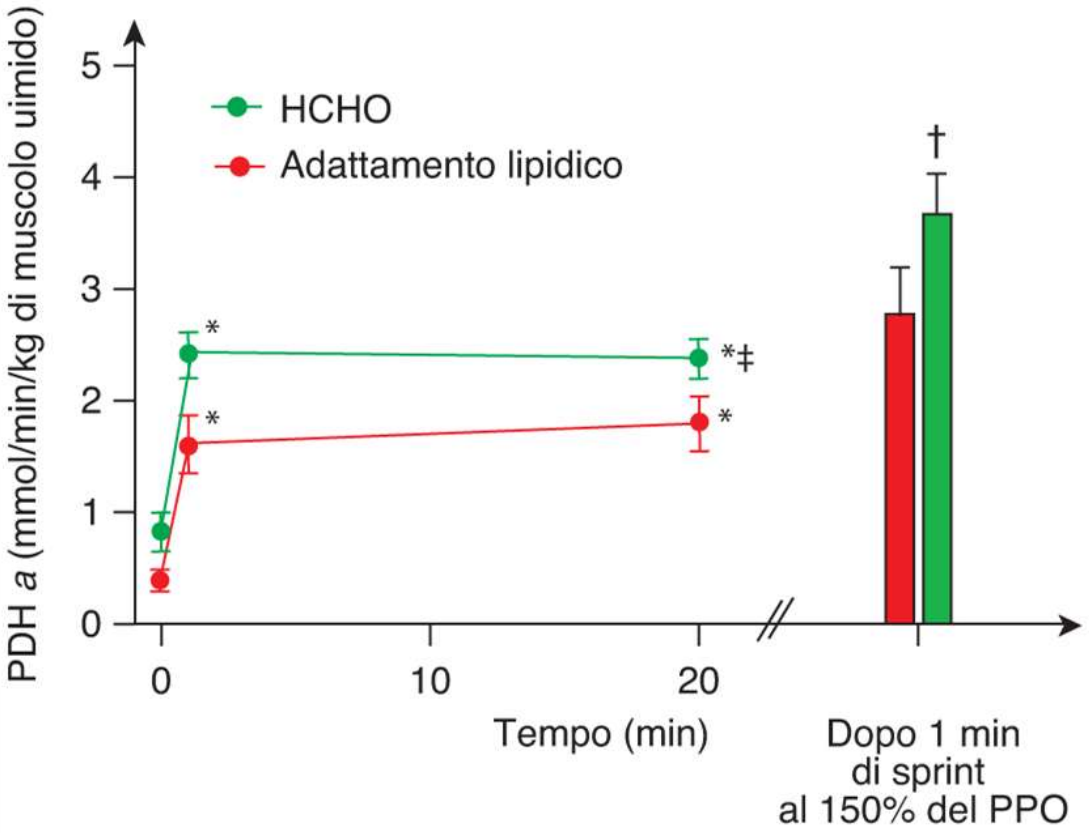
dieta prevalenza di lipidi
dieta mista (lipidi e carboidrati)



Effetti prodotti dalla dieta a carico dei lipidi

- aumento di FFA e glicerolo plasmatici
  (aumento della lipolisi nel tessuto adiposo)
- aumento del contenuto di trigliceridi intramuscolari
- aumento dell'attività della HSL nel muscolo a riposo
  (aumento della lipolisi nel muscolo)

L'adattamento lipidico quindi, attraverso un aumento cronico della disponibilità di FFA plasmatici (dovuto al consumo di una dieta ricca di grassi), **aumenta la capacità muscolare di sintetizzare trigliceridi e di metabolizzarli**.



Il ridotto utilizzo dei carboidrati comporta una ridotta attività della PDH anche durante l'esercizio

Può rappresentare un problema

Il vulnus della dieta a carico dei lipidi nello sport

Gare caratterizzate da lunghi tratti a ritmo lento ma anche da brevi tratti di esercizio fisico ad alta intensità (sprint) richiedono un'elevata velocità di ossidazione dei carboidrati (e quindi dell'attività di PDH)

- p.e. gare di ciclismo con arrivi in volata -

Modificazioni metaboliche prodotte dallo stato di allenamento

Effetti dello stato di allenamento

L'allenamento di resistenza causa un elevato numero di adattamenti sia fisiologici sia metabolici

Fisiologici: aumento dell'assorbimento massimale dell'ossigeno, ritardo nel raggiungimento della soglia del lattato

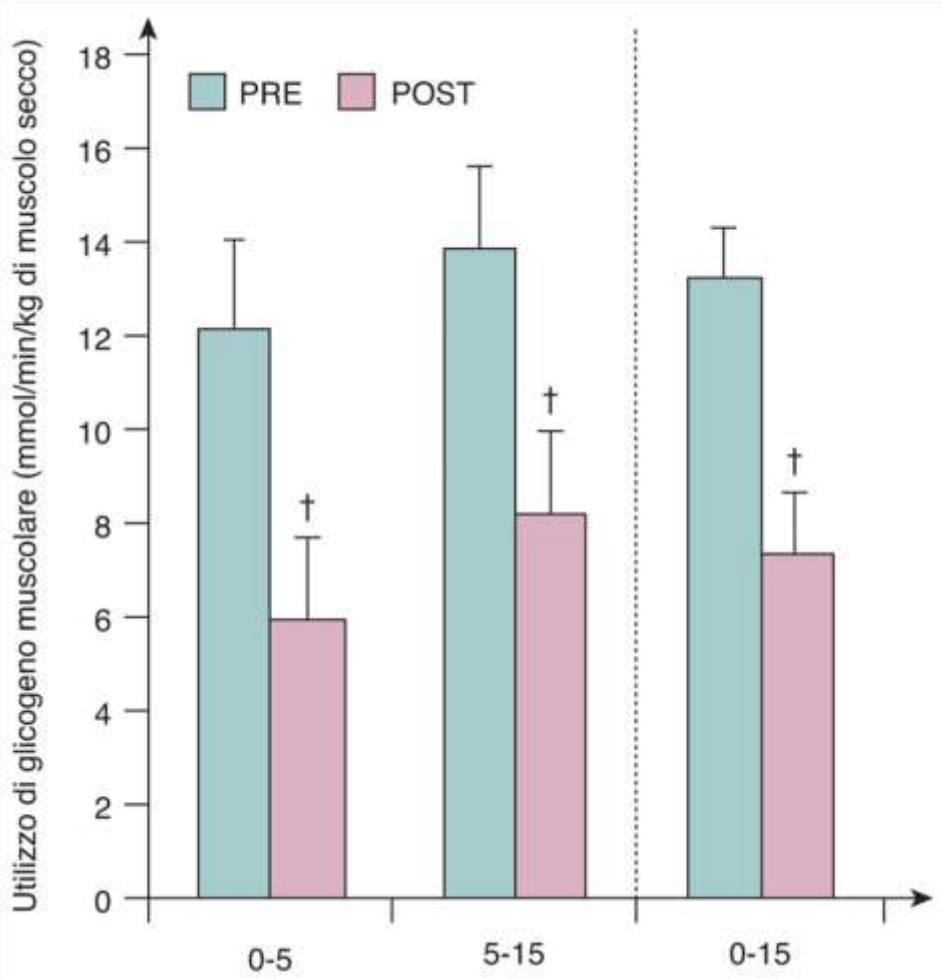
Metabolici: aumento delle dimensioni e del numero dei mitocondri, per produrre ATP attraverso il metabolismo ossidativo; **aumento** della densità capillare, **delle proteine di trasporto dei substrati**, dell'attività degli enzimi coinvolti nelle principali vie metaboliche, **della capacità del muscolo scheletrico di depositare glicogeno e trigliceridi**; **riduzione dell'uso dei carboidrati con un concomitante aumento dell'ossidazione lipidica.**

Metabolismo dei carboidrati

l'allenamento riduce l'uso del glicogeno

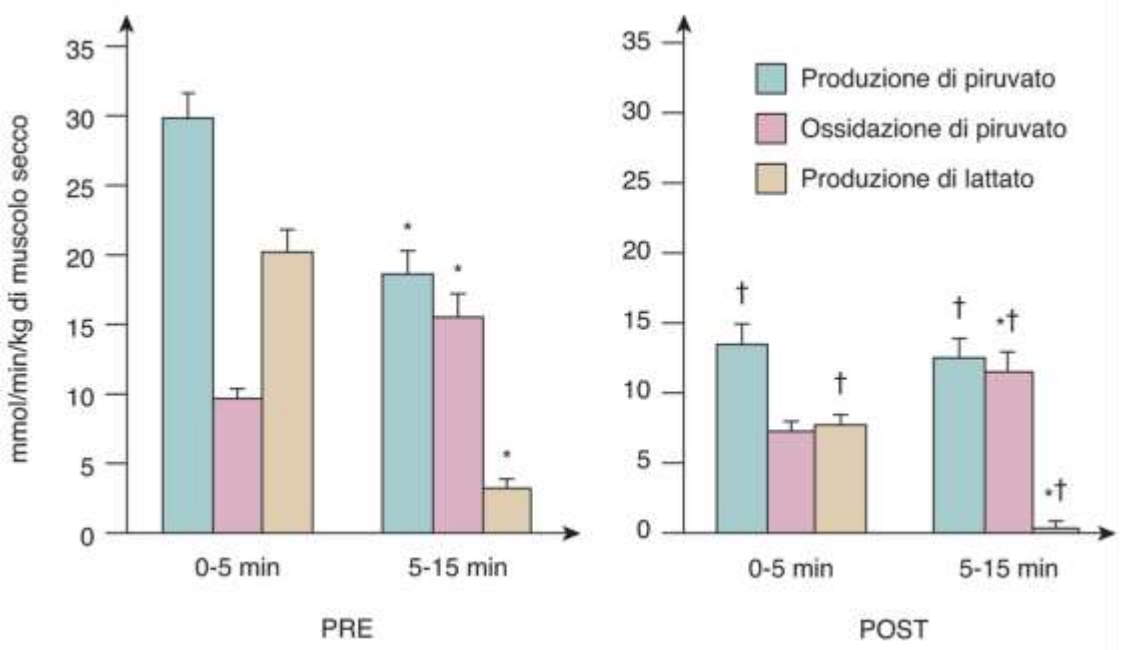
Consumo di glicogeno nei primi 15 min di esercizio a 80% VO2max, eseguito prima (PRE) e dopo (POST) 7 settimane di allenamento

La riduzione della glicogenolisi rilevata dopo l'allenamento è dovuta a meccanismi allosterici (ridotto contenuto di ADP, AMP e Pi) che portano ad una ridotta attività della glicogeno fosforilasi.

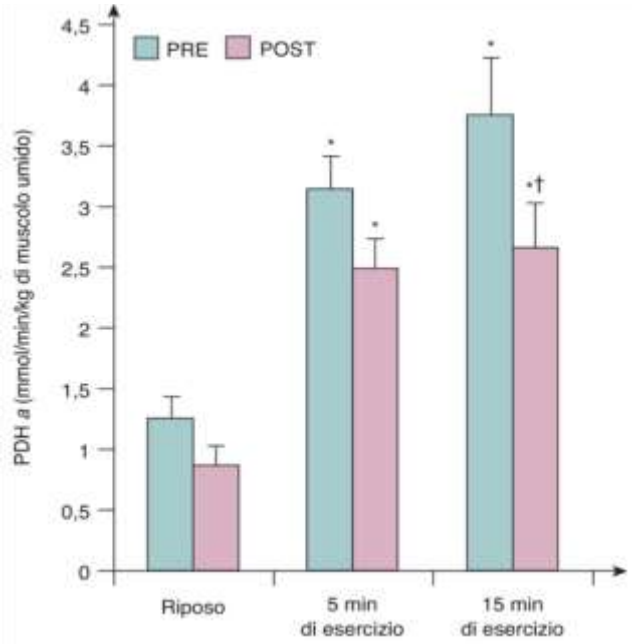


l'allenamento riduce l'uso del glucosio

riduce la produzione di piruvato



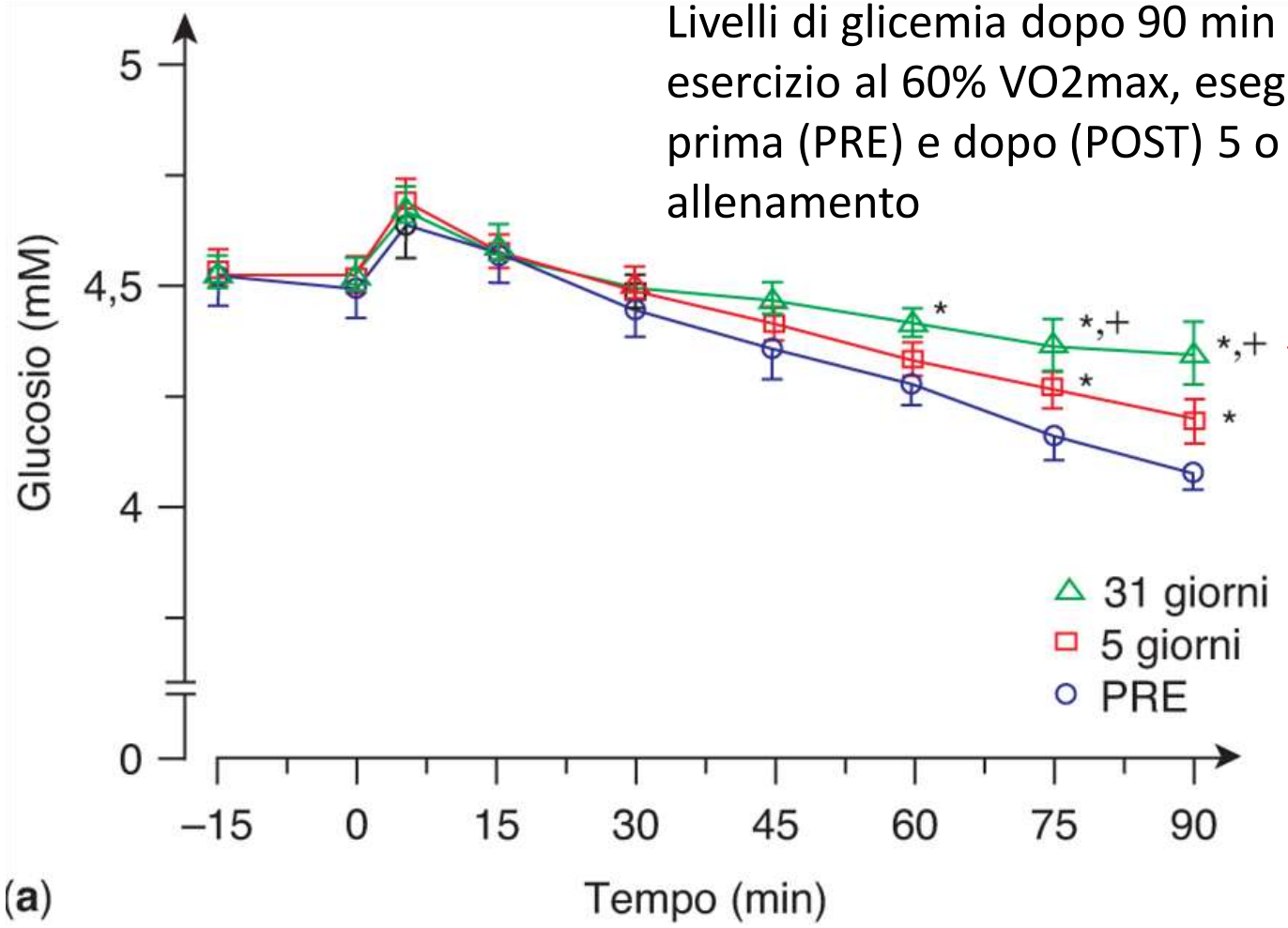
riduce l'attività della PDH



L'allenamento **riduce il consumo di glucosio** per riduzione dell'attività della glicolisi e della PDH

l'allenamento riduce l'uso del glucosio → dimostrato anche dai livelli di glucosio ematici (minor ipoglicemia da esercizio)

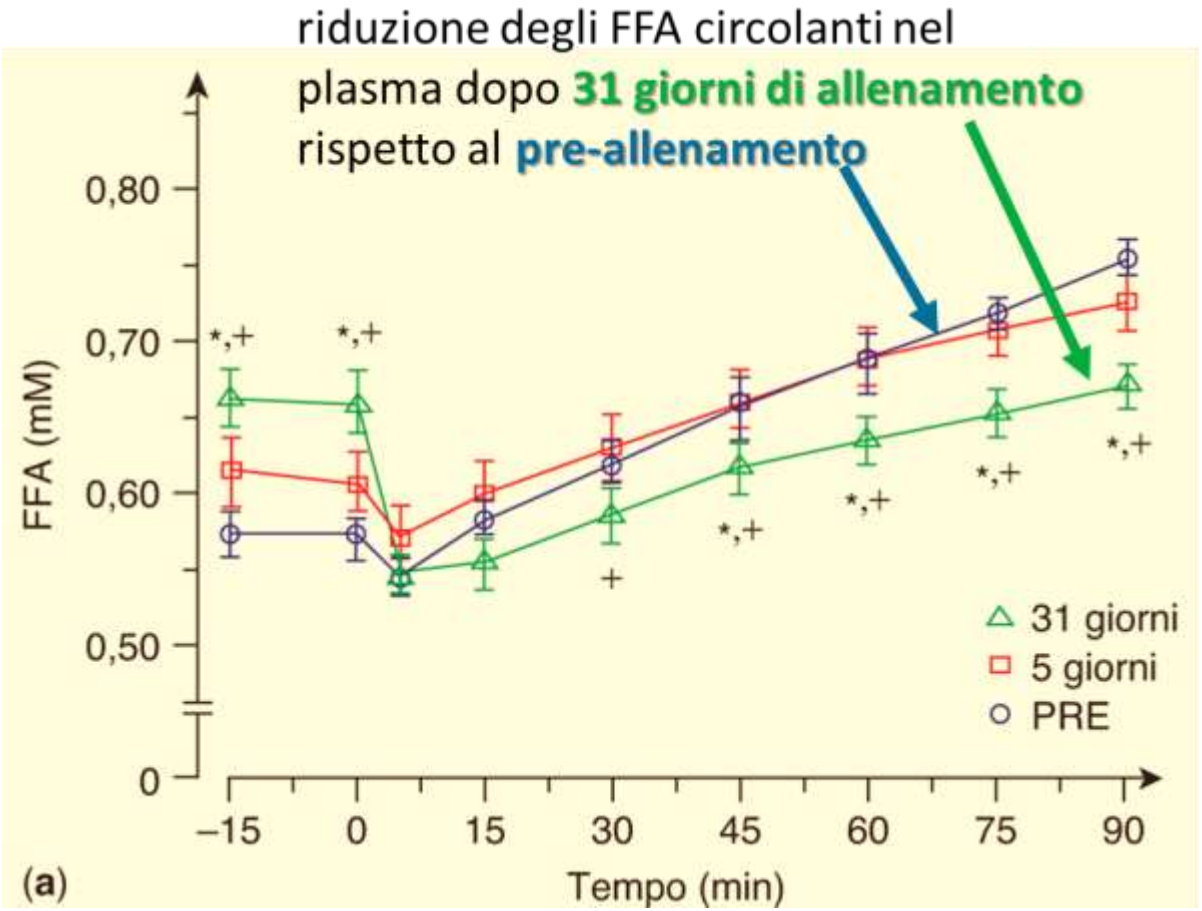
Livelli di glicemia dopo 90 min di esercizio al 60% VO2max, eseguito prima (PRE) e dopo (POST) 5 o 31 gg di allenamento



ipoglicemia di minor entità

Metabolismo dei lipidi

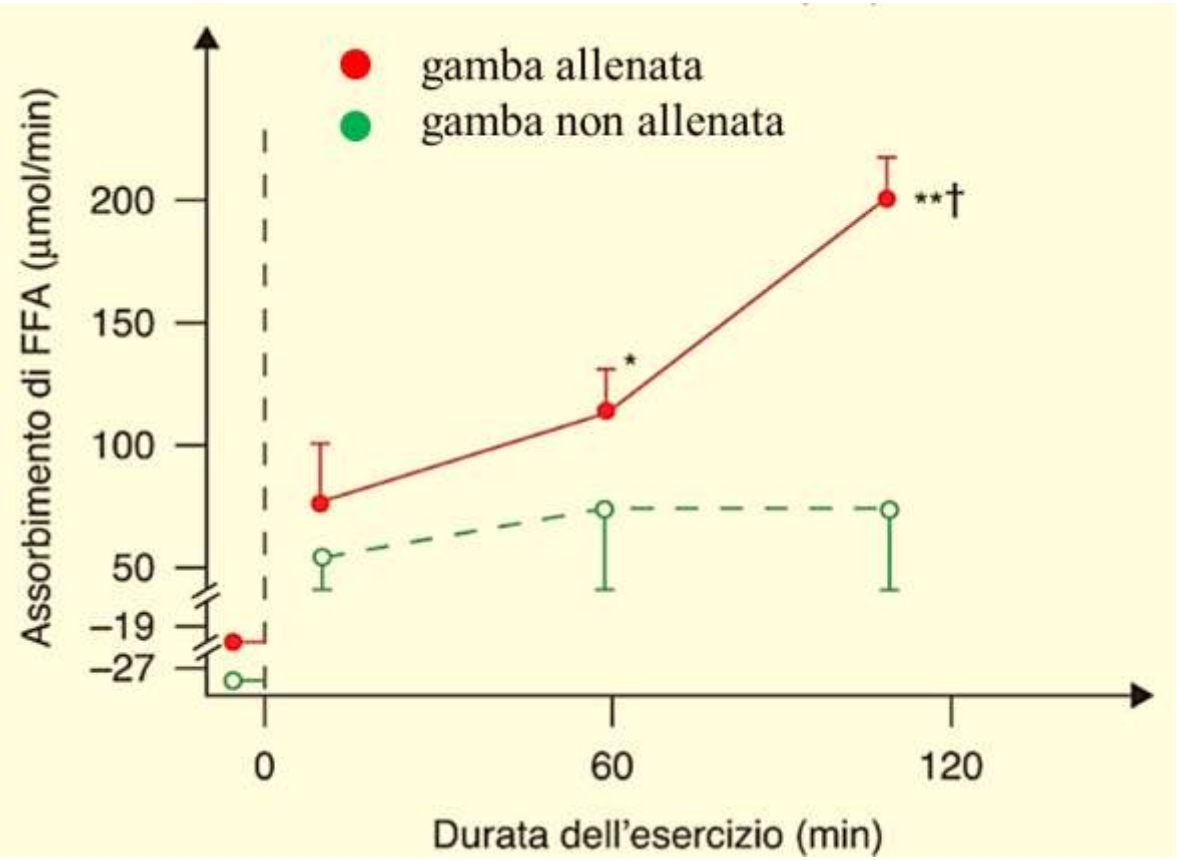
- l'allenamento di resistenza sposta il consumo dai carboidrati ai lipidi (maggiore ossidazione dei lipidi)



L'allenamento aumenta il consumo di FFA plasmatici

Il muscolo allenato assorbe più efficientemente gli FFA plasmatici

l'allenamento aumenta l'assorbimento muscolare di FFA

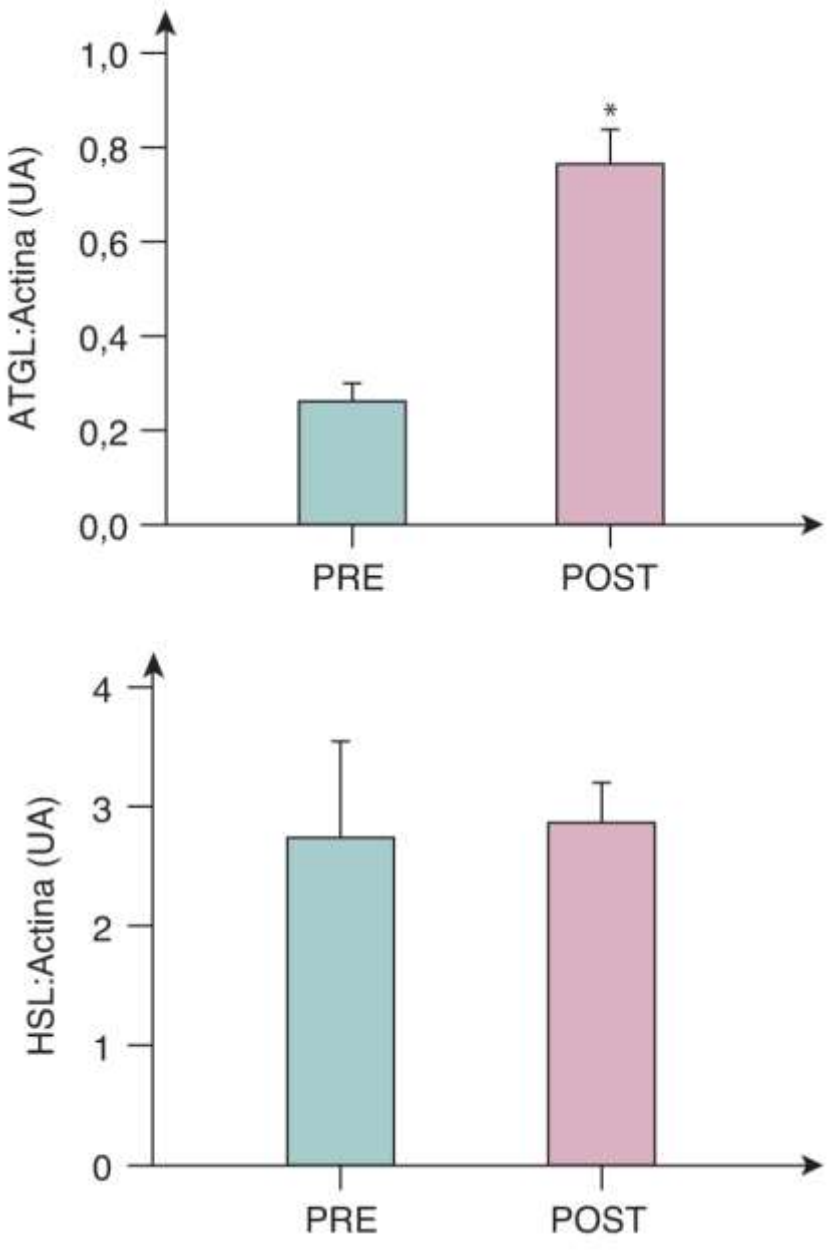


l'allenamento di resistenza:

- incrementa il contenuto proteico di $FABP_{pm}$ e FAT/CD36, due trasportatori degli FFA nel muscolo
- **aumenta la lipolisi dei depositi di trigliceridi intramuscolari (IMTG)**

- **aumenta la lipolisi dei depositi di trigliceridi intramuscolari (IMTG)**

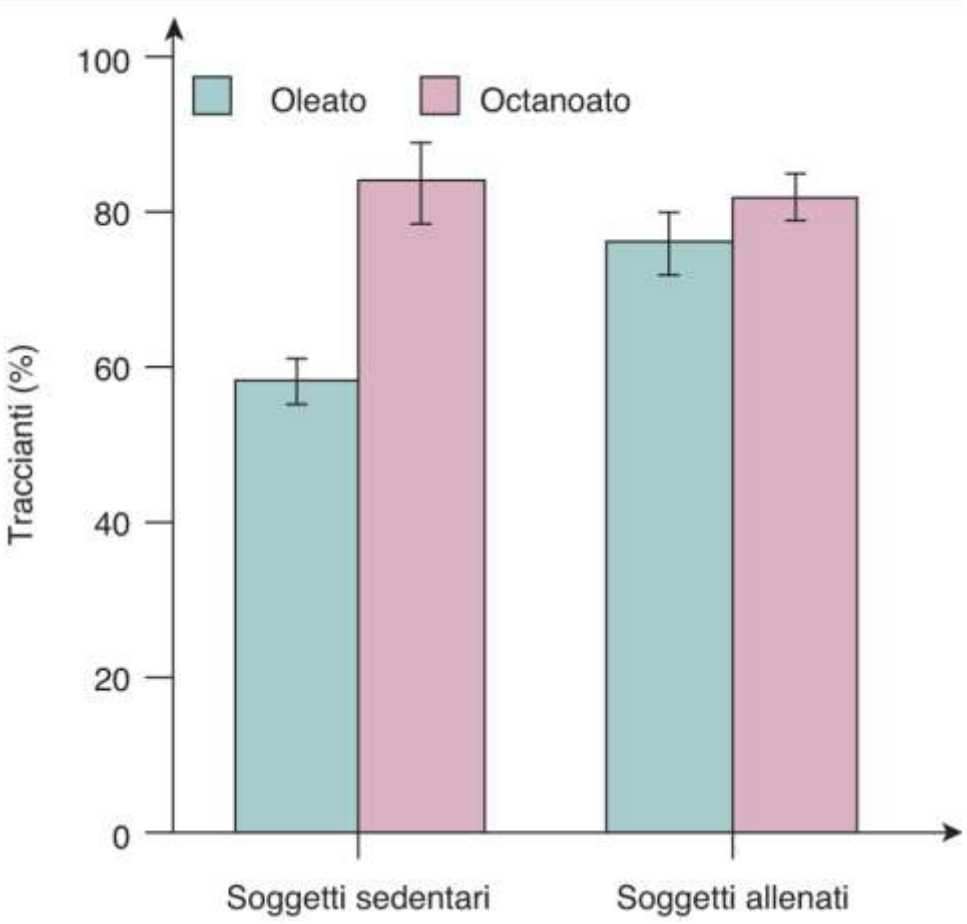
Il muscolo in seguito all'allenamento di resistenza esprime maggiori livelli della **lipasi dei trigliceridi del tessuto adiposo (ATGL)** che incrementa la lipolisi di IMTG



aumenta il trasporto degli FFA a catena lunga nel mitocondrio

la percentuale di oleato assorbito e ossidato è più alta nei soggetti allenati rispetto a quelli non allenati.

Al contrario, l'assorbimento e l'ossidazione di octanoato non era diversa nei diversi stati di allenamento.



aumenta l'attività di CAT1

Materiale didattico di supporto

- Materiale delle lezioni sarà reperibile nel minisito dell'insegnamento; esso è utile come traccia degli argomenti svolti, ma non sostituisce il libro di testo

- Piattaforma on line Moodle: approfondimenti e test di autovalutazione

Raccomandazione importante: Il materiale delle lezioni è per USO PERSONALE dello studente iscritto al corso di Biochimica per le Scienze Motorie UniFE ed è fatto divieto di diffonderlo in qualsiasi maniera, potendo contenere immagini/filmati per i quali valgono i diritti di copyright.