



L'esercizio fisico di resistenza:  
biochimica e fabbisogni energetici

Adattamento a condizioni ambientali  
particolari  
e cenni sugli integratori

# Biochimica nell'esercizio fisico

- Capire i bisogni nutrizionali a livello sistemico, cellulare e molecolare
- Capire i meccanismi di adattamento e di regolazione: capire i fabbisogni energetici
- Capire strategie corrette in condizioni anche estreme (altitudine, caldo, freddo.....) durante l'esercizio fisico

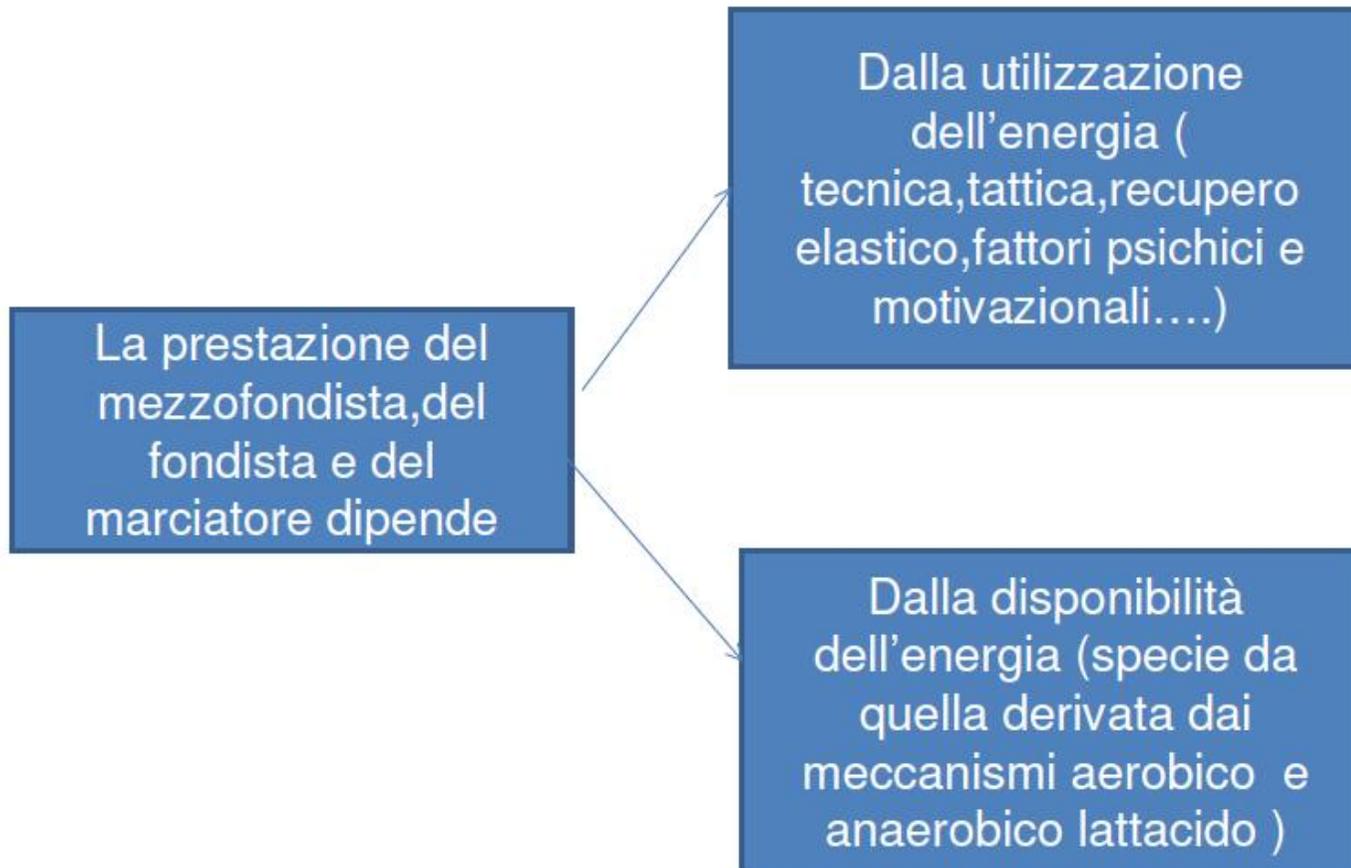
# La resistenza si può definire in generale :

- La facoltà di svolgere per lungo tempo una qualsiasi attività, senza che si determini un calo della sua efficacia.
- La facoltà di contrastare l'affaticamento fornendo la massima qualità di lavoro relativamente a :
  - Il tempo di esecuzione(da alcuni secondi a molte decine di minuti)
  - Alle masse muscolari interessate(pochi gruppi muscolari o intera massa muscolare del corpo)

La resistenza è il risultato dell'integrazione di varie funzioni dell'organismo; esse possono avere un'importanza diversa a seconda:

- del tempo di esecuzione,
- delle condizioni di esecuzione
- delle masse muscolari interessate

La resistenza è determinata da 2 gruppi di fattori :



# Metabolismo...

- Il metabolismo (dal greco μεταβολή = cambiamento) è il complesso delle [reazioni chimiche](#) e fisiche che avvengono in un [organismo](#) o in una sua parte.

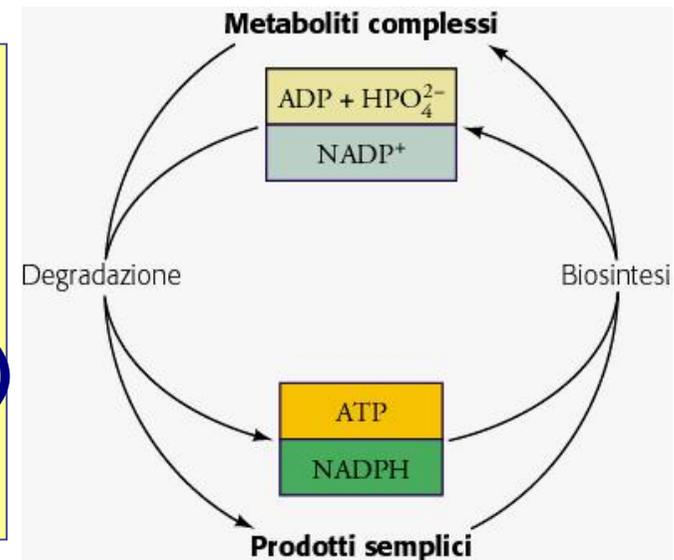
## Si divide in tre insiemi di processi

- anabolismo, che produce molecole complesse utili alla cellula a partire da molecole più semplici;
- metabolismo energetico, che comporta il recupero dell'energia producendo molecole di [ATP](#)
- catabolismo, che comporta la degradazione di molecole complesse (alimenti) in molecole più semplici e produce energia.

# Il metabolismo

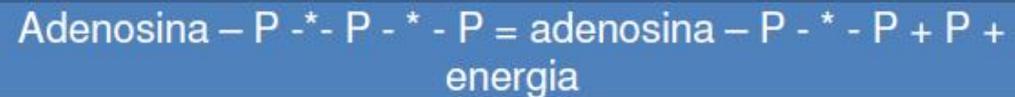
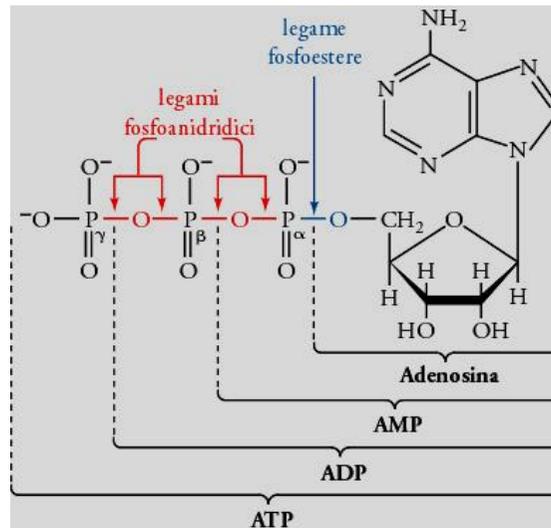
- Le attività metaboliche di una cellula comprendono:
  - reazioni che portano alla sintesi di molecole complesse (**anabolismo**). Sono reazioni endoergoniche, richiedono energia
  - reazioni per la degradazione di molecole complesse in composti semplici (**catabolismo**). Sono reazioni esoergoniche, liberano energia

**Anabolismo e catabolismo  
sono accoppiati  
(il trasportatore di energia è l'ATP)**



# L'ATP = ADENOSIN-TRIFOSFATO

- Molecola formata da 4 molecole elementari :  
1 di ADENOSINA e 3 di FOSFATO



La molecola formata dall'adenosina e da 2 fosfati (dei quali 1 ha un legame altamente energetico, mentre l'altro ha un legame normale) si chiama ADP (adenosin - di - fosfato).

Poiché nei muscoli c'è una scorta minima di ATP, sufficiente per lavorare pochi istanti, essi devono fabbricarselo continuamente.

La produzione di nuovo ATP si può verificare perché nel muscolo esistono dei sistemi enzimatici grazie ai quali viene sfruttata l'energia contenuta in altre molecole (dai cibi).

# L'ENERGIA dal cibo

- L'energia che il muscolo sa usare è quella biochimica contenuta nella molecola dell'ATP.
- Il muscolo, per la sua capacità di trasformare in movimento l'energia biochimica, è un motore;
- l'ATP è la sua benzina. Il muscolo però deve utilizzare ma anche fabbricare la sua benzina usando l'energia chimica che deriva da altre molecole (zuccheri e grassi ricavati dai cibi) per fabbricarsi questo ATP.

# L'ENERGIA dal cibo

- Ossidoriduzione
- Da un carboidrato o lipide dove il carbonio si trova in uno stato ridotto si passa a CO<sub>2</sub> e acqua dove il carbonio si trova in uno stato ossidato
- Le reazioni per l'ottenimento di energia a partire dagli alimenti costituiscono il metabolismo energetico
- Le macromolecole base sono demolite secondo le seguenti reazioni:

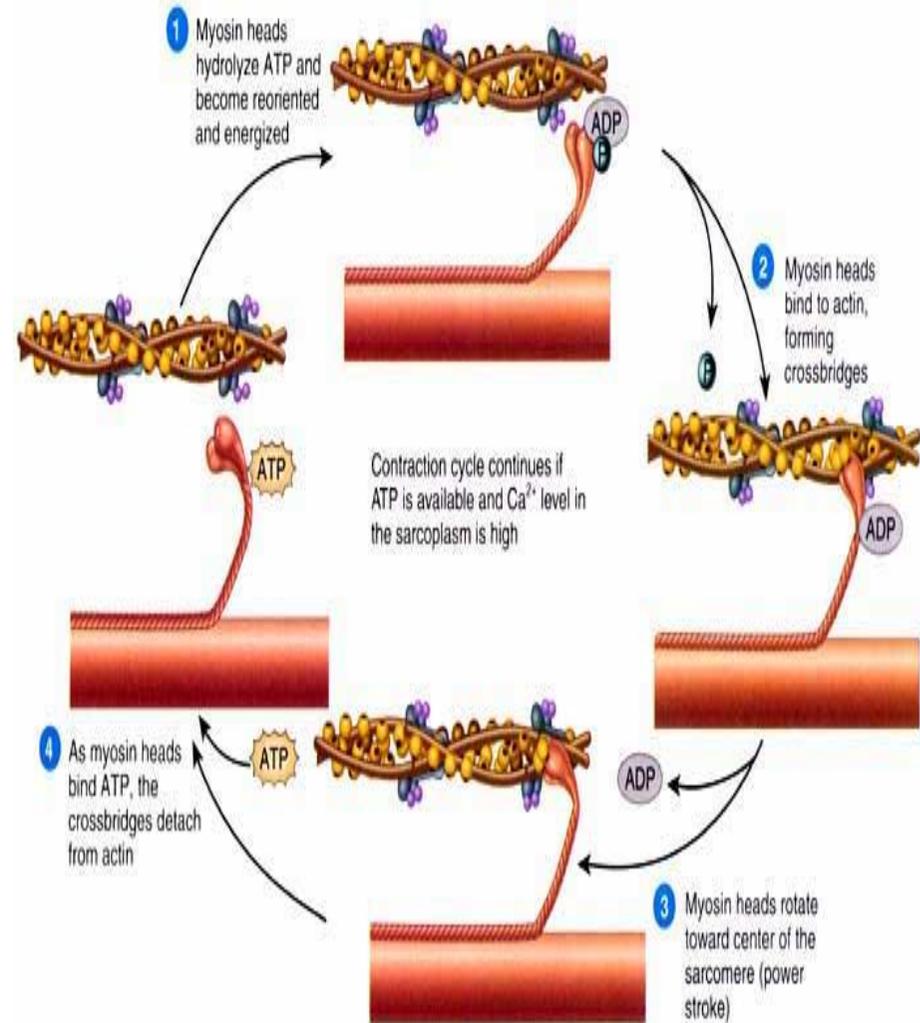
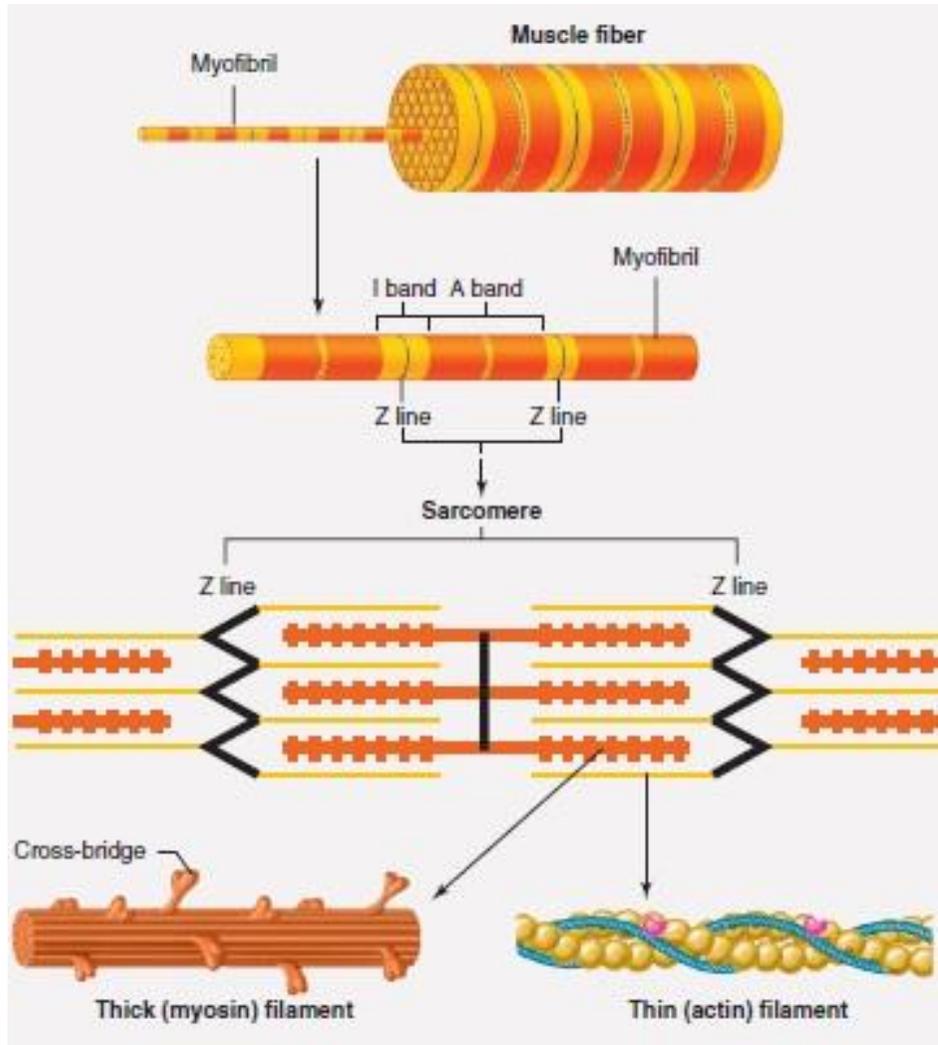
glucidi + O<sub>2</sub> → CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O + energia

protidi + O<sub>2</sub> → CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O + composti azotati + energia

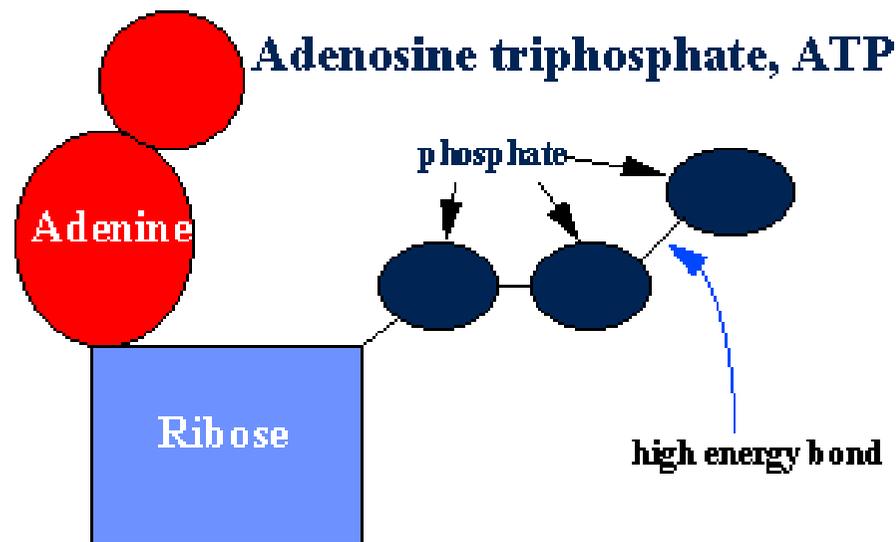
lipidi + O<sub>2</sub> → CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O + energia

Per metabolizzare i lipidi servono più molecole di ossigeno rispetto a carboidrati e proteine

# Il muscolo trasforma energia chimica in energia meccanica



Come le cellule dei muscoli producono energia per svolgere un esercizio?



La sintesi di nuovo ATP può avvenire in diverse modi , cioè, i meccanismi energetici sono :

- L'anaerobico alattacido ,  
in cui non interviene l'ossigeno e non si forma acido lattico.(l'energia per ricarica ATP viene da una molecola di CP fosfocreatina)
- L'anaerobico lattacido ,  
nel quale non interviene l'ossigeno,ma si forma acido lattico(l'energia deriva da molecole di zucchero che vengono spezzate fino a formare acido lattico ).
- L'aerobico ,  
che implica la presenza nel muscolo di ossigeno e in cui l'energia deriva dalla combustione di zuccheri o di grassi(anche poche proteine).



# Energy sources during exercise

- ATP and CP( fosfocreatine) – **alactic anaerobic source**
- Glucose from stored glycogen in the absence of oxygen – **lactic anaerobic source**
- Glucose, lipids, proteins in the presence of oxygen – **aerobic source**

# Human Energy Systems

- ATP-PC System
  - adenosine triphosphate
  - phosphocreatine
- Lactic Acid System
  - anaerobic glycolytic pathway
- Oxygen System
  - aerobic metabolic pathways

# Meccanismo anaerobico alattacido

Tipico degli sforzi brevi

Creatina - \* - P

scatto, salto, calcio al pallone... ,oltre all'ATP ,uso quello derivato dalla fosfocreatina ,costituita da una molecola di creatina e da un fosfato; queste 2 molecole elementari sono unite fra loro da un legame altamente energetico ( - \* - ):

Quando il legame - \* - si rompe viene ceduta energia utilizzata per ricaricare l'ATP. Questo meccanismo è detto "anaerobico" perché non richiede ossigeno; "alattacido" perché non produce lattato.

# Alactic anaerobic source

(for "explosive" sports: *weightlifting, jumping, throwing, 100m running, 50m swimming*)



- immediately available and can't generally be maintained more than **8-10 s**
- **ATP** stored in the muscle is sufficient for about **3 s** of maximal effort
- ATP and CP regeneration needs the energy from oxygen source

CREATINE PHOSPHATE (CP)

for short term,  
high rates of  
energy production



# Integrazione di creatinina?

- I supplementi di creatina non alterano i livelli di ATP a riposo, ma l'incrementata concentrazione di fosfocreatina conseguente alla assunzione di creatina permette di mantenere in evoluzione dinamica le concentrazioni di ATP durante uno sforzo di elevata intensità e di breve durata.
  - La fosfocreatina rappresenta, infatti, un pool di riserva energetica rapidamente utilizzabile per il ripristino del contenuto muscolare di ATP.
- **CONTROINDICAZIONI**
  - Uso di diuretici
  - Disidratazione
- **Allergia o ipersensibilità individuale alla Creatina**
- **Deficit della funzione renale**
  - **EFFETTI AVVERSI**
    - Disidratazione
- **Disturbi gastrointestinali, diarrea**
  - Crampi muscolari
  - Disfunzione renale
  - Ritenzione idrica
- **Aumento del rischio di strappo muscolare**

# Meccanismo anaerobico lattacido

- Detto anche “meccanismo della glicolisi anaerobica” perché vi è demolizione di zuccheri (glicolisi) in assenza di ossigeno(anaerobiosi).

Le molecole dello zucchero (glucosio) non vengono demolite totalmente, ma fino alla formazione di acido lattico; nel muscolo si vengono a formare lattato(LA-)e ione idrogeno(H<sup>+</sup>), oltre a quell'energia che serve a ricaricare l'ATP, partendo da ADP e P :

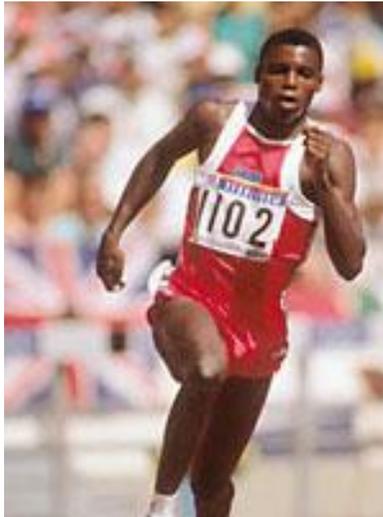


Lattato e ione idrogeno sono scorie che disturbano la muscolatura ,entrambi possono uscire dalle fibre muscolari (se lo sforzo è prolungato)e immettersi nel sangue

I muscoli ricorrono al meccanismo anaerobico lattacido, quando lo sforzo che compiono è molto intenso (corse a piedi, dai 400 a 1500 m, nel nuoto dai 200m ai 400m...

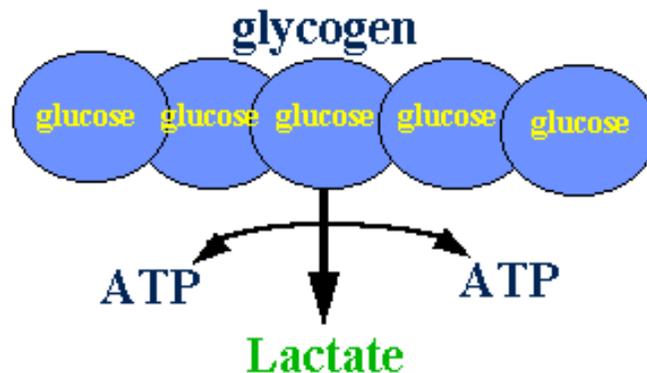
# Lactic anaerobic source

(for "short" intense sports: *gymnastic, 200 to 1000 m running, 100 to 300 m swimming*)



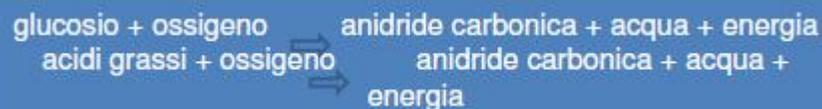
- for less than 2 min of effort
- recovery time after a maximal effort is 1 to 2 h
- recovery: lactate used for oxidation (muscle) and gluconeogenesis in the liver

## ANAEROBIC GLYCOLYSIS



# Il meccanismo aerobico

- L'energia utilizzata per ricaricare l'ATP può derivare dalle molecole di glucosio che vengono completamente demolite, attraverso una serie di reazioni biochimiche, fino ad anidride carbonica e acqua. Oltre al glucosio possono essere usati anche proteine e acidi grassi liberi che vengono ossidati fino ad ottenere anidride carbonica ed acqua



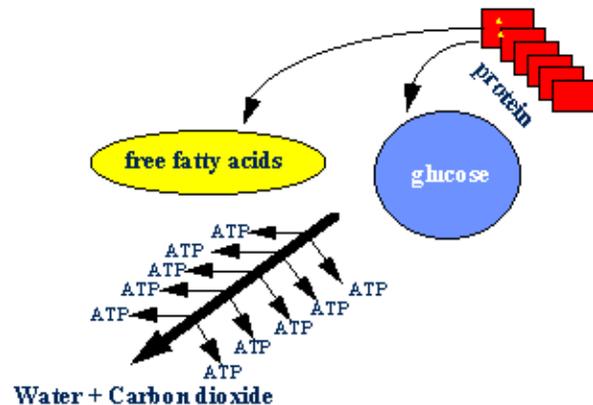
# Aerobic source

(for "long" sports;  
after 2-4min of exercise)

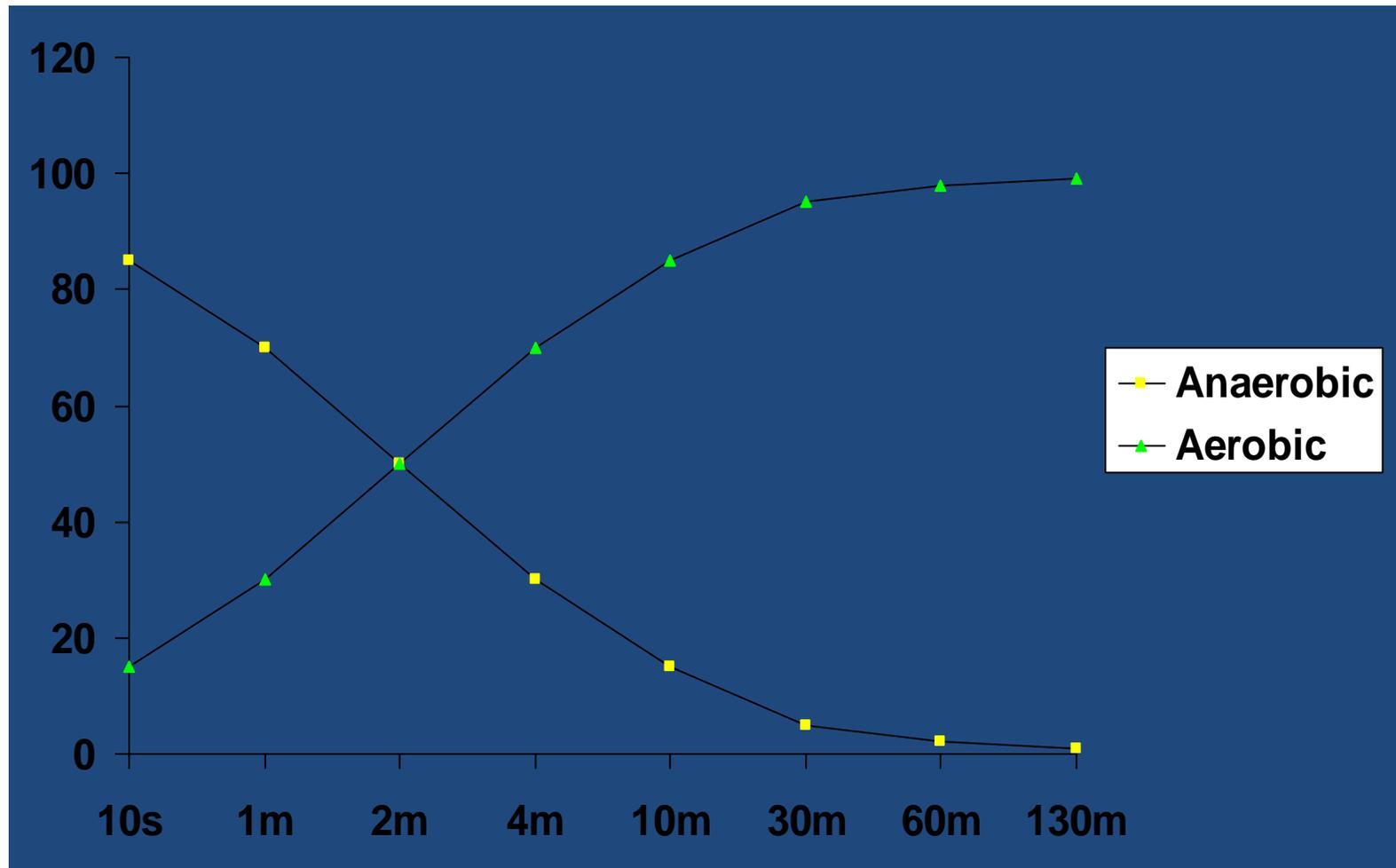


- recovery time after a maximal effort is **24 to 48 hrs**
- carbohydrates (early), lipids (later), and possibly proteins
- *the chief fuel utilization gradually shifts from carbohydrate to fat*
- the key to this adjustment is hormonal (increase in fat-mobilizing hormones)

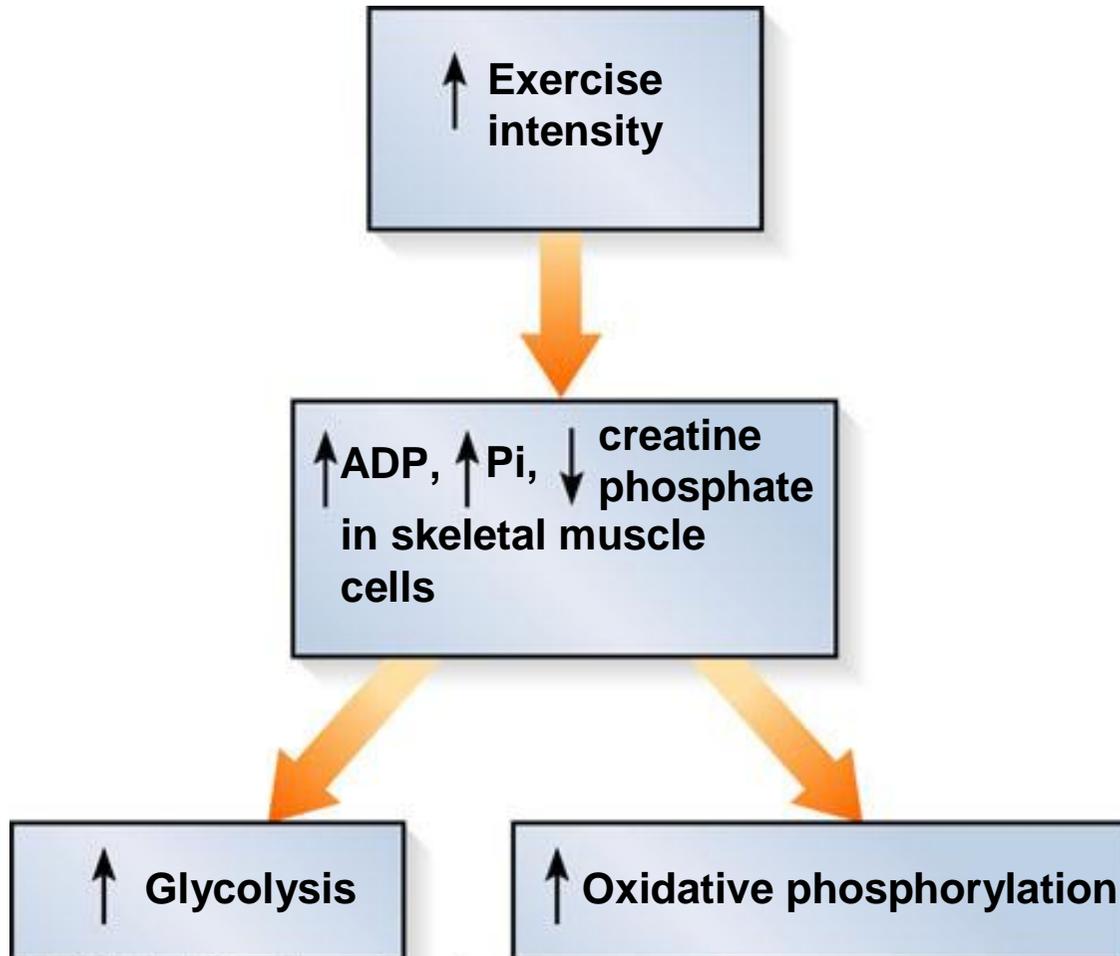
## OXIDATIVE PHOSPHORYLATION



# % Contribution of Aerobic and Anaerobic Energy Sources



# Metabolismo del muscolo



(c) 2003 Brooks/Cole - Thomson Learning

- Low ATP and creatine phosphate stimulate glycolysis and oxidative phosphorylation.

- **Exercise can increase rates of ATP formation and breakdown more than tenfold**

# Human Energy Stores

Sources of energy for energy systems

- ATP-PC
- Carbohydrates
  - Muscle glycogen
  - Blood glucose
  - Liver glycogen

# Human Energy Stores

- Fats - Triglycerides
  - Adipose triglycerides
  - Muscle triglyceride
- Hormone sensitive lipase
  - Activity enhanced with caffeine
- Ketone bodies
  - partially oxidized fatty acids
  - produced in liver, burned in muscle
  - significant source of energy during prolonged endurance exercise

# Human Energy Stores

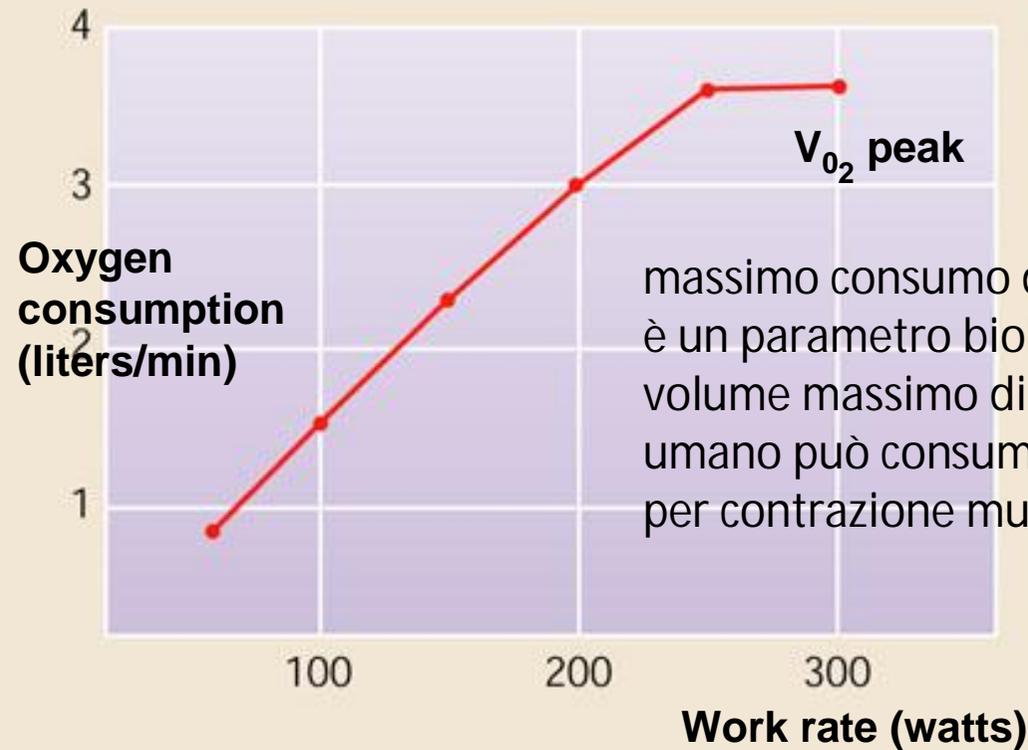
- Proteins
- direct muscle oxidation  
(branched chain amino acids)
- gluconeogenesis in liver from amino acids

- Con **ENERGIA**, come per gli altri meccanismi energetici, si intende quella che serve per produrre nuovo ATP a partire da ADP e P.
- In quest'ultimo caso, comunque, sia che si parta dal glucosio sia che si parta dagli acidi grassi, è necessario l'intervento dell'ossigeno, che deve essere trasportato da dove si trova (aria), fino a dove sarà usato (muscoli o meglio nei mitocondri delle fibre muscolari).

# VO2 MAX

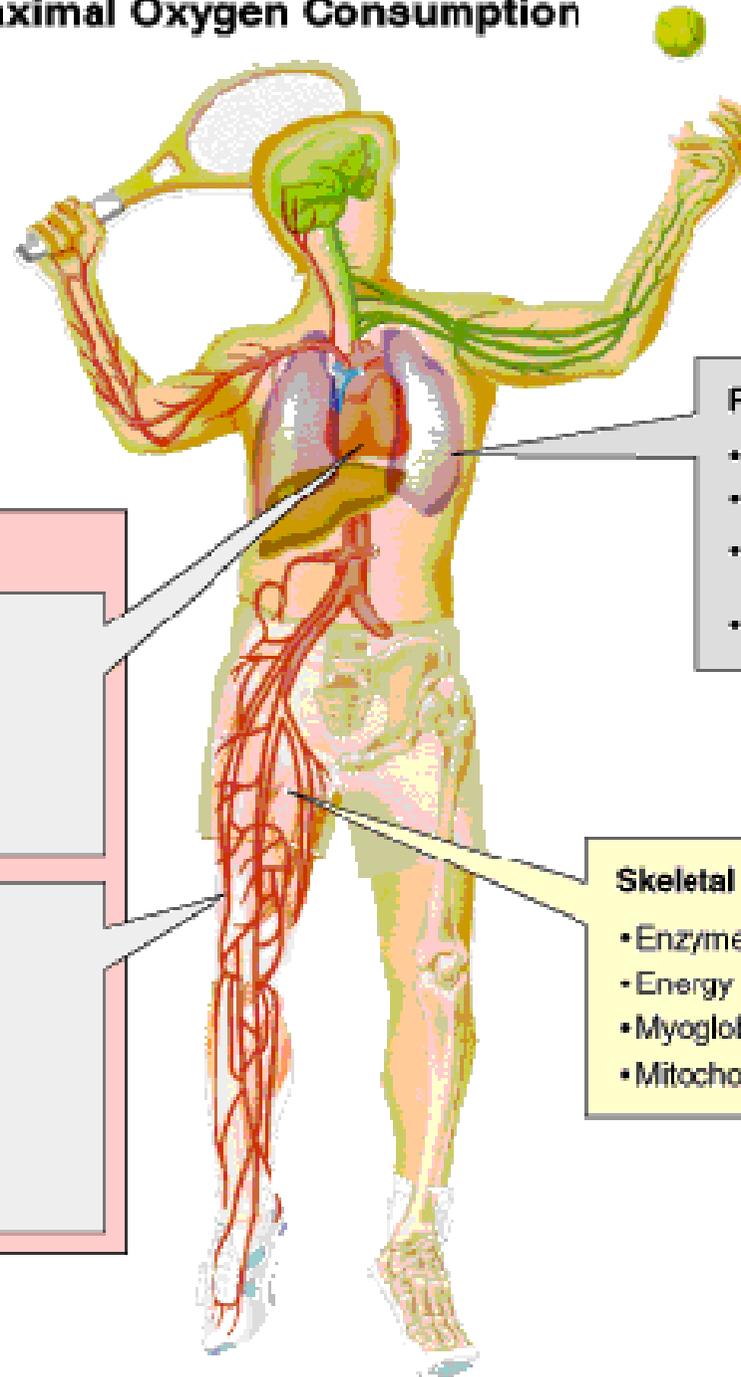
- In molte discipline sportive (10000 metri mezza maratona, prova dell'ora in bicicletta, sci di fondo, marcia ) la prestazione dipende in grandissima parte dalla quantità di ossigeno che ,per ogni secondo, l'atleta è in grado di far arrivare ai muscoli e che i muscoli riescono a utilizzare.
- Naturalmente anche in altre specialità gli atleti sono avvantaggiati se hanno un meccanismo aerobico efficiente.

↑ exercise work → ↑ O<sub>2</sub> usage →  
Person's max. O<sub>2</sub> consumption (V<sub>O<sub>2</sub>max</sub>)  
reached



massimo consumo di ossigeno (VO<sub>2max</sub>) :  
è un parametro biologico che esprime il  
volume massimo di ossigeno che un essere  
umano può consumare nell'unità di tempo  
per contrazione muscolare

## ► Possible Limitation to Maximal Oxygen Consumption



### Cardiovascular System

#### *Central circulation*

- Cardiac output (heart rate, stroke volume)
- Arterial blood flow
- Hemoglobin concentration

#### *Peripheral circulation*

- Flow to nonexercising regions
- Muscle blood flow
- Muscle capillary density
- Oxygen diffusion
- Oxygen extraction
- Hemoglobin-oxygen exchange

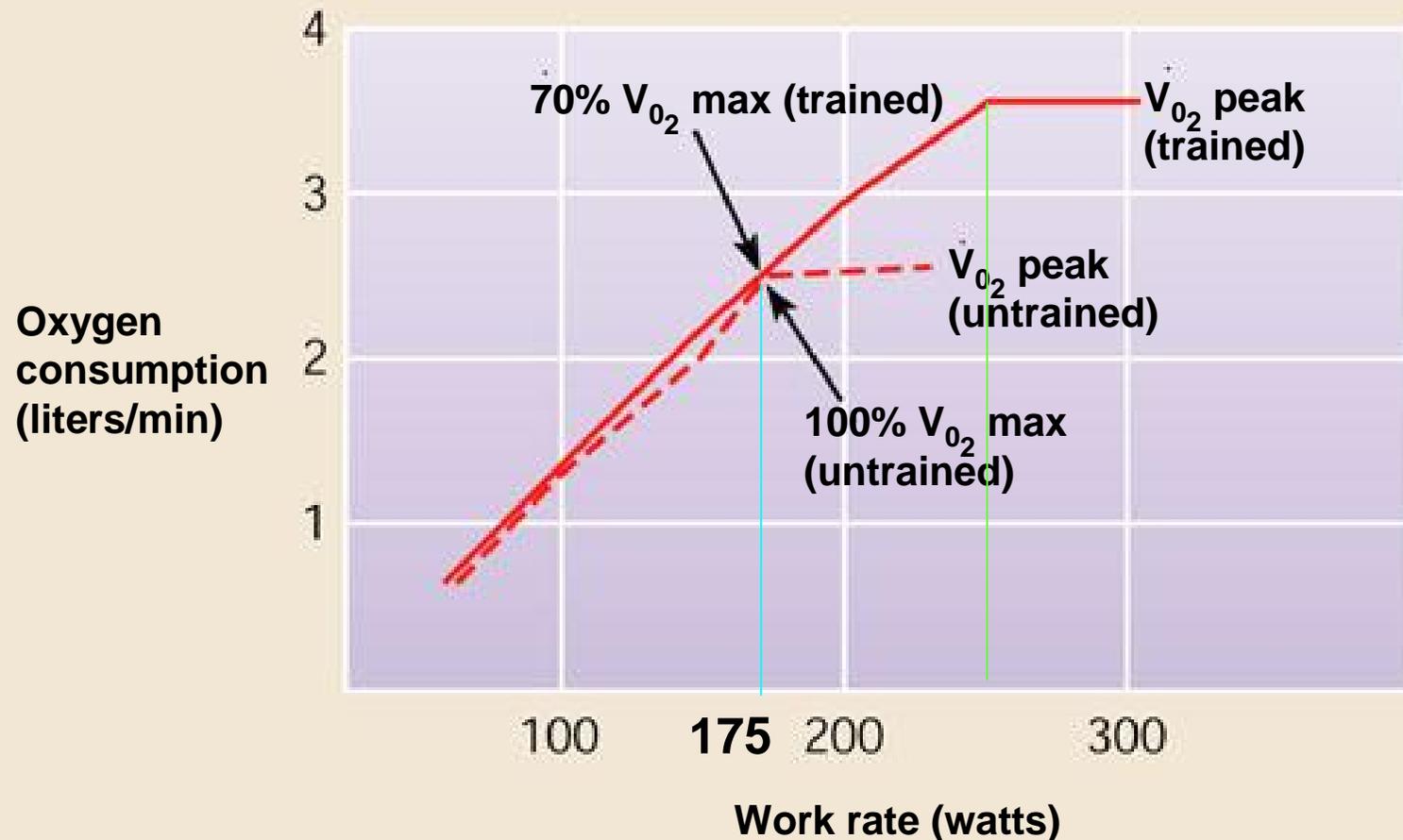
### Respiratory System

- Oxygen diffusion
- Ventilation
- Alveolar ventilation: perfusion ratio
- Arteriovenous oxygen difference

### Skeletal Muscle

- Enzymes and oxidative potential
- Energy stores and delivery
- Myoglobin
- Mitochondria size and number

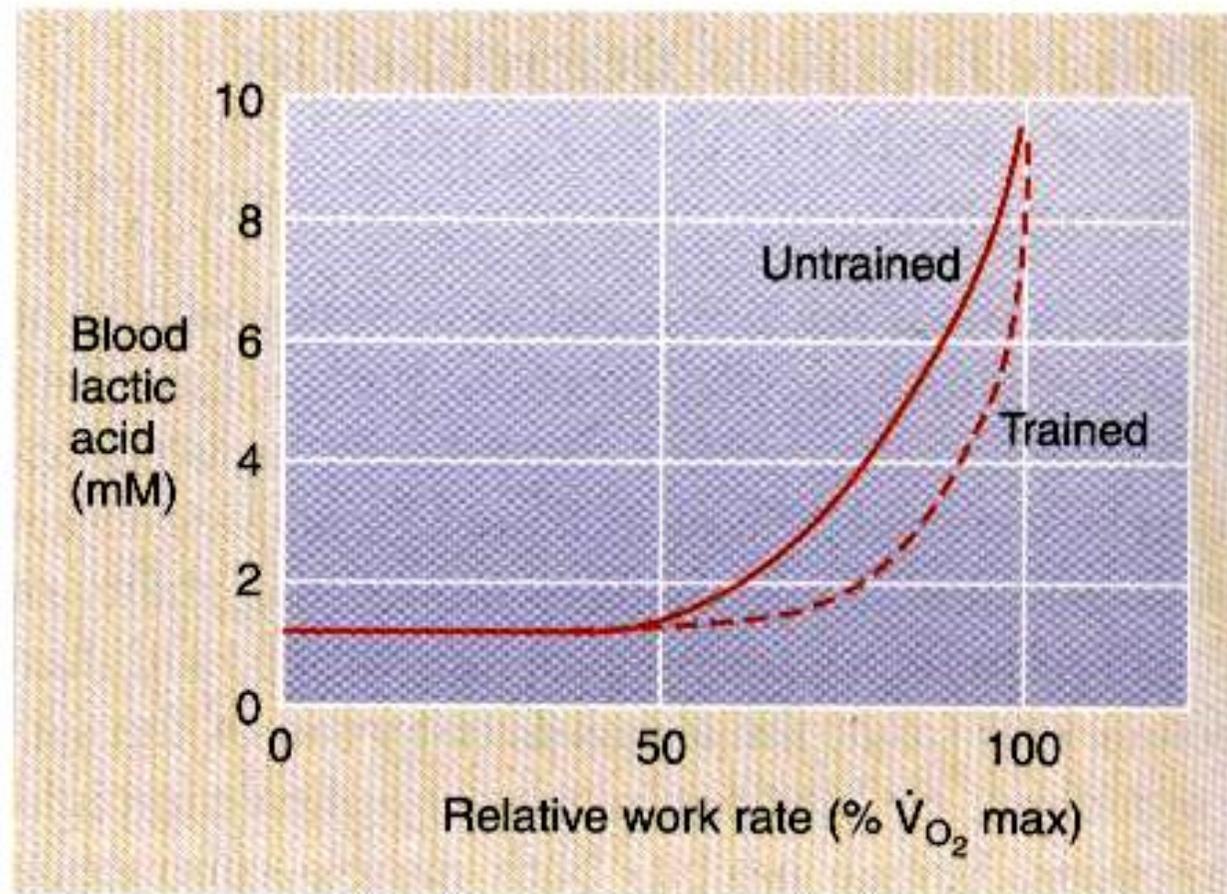
**The ability to deliver O<sub>2</sub> to muscles and muscle's oxidative capacity limit a person's V<sub>O<sub>2</sub>max</sub>**. Training → ↑ V<sub>O<sub>2</sub>max</sub>



# ADATTAMENTO ALL'ESERCIZIO

- Increased fatigue resistance is mediated by:
  - ↑ muscle capillary density
  - ↑ myoglobin content,
  - ↑ activity of enzymes (oxidative pathways)
  - ↑ oxidative capacity linked to ↑ numbers of mitochondria
- Increased capacity to oxidize FFA shifts the energy source from glucose to fat (to spare glucose)

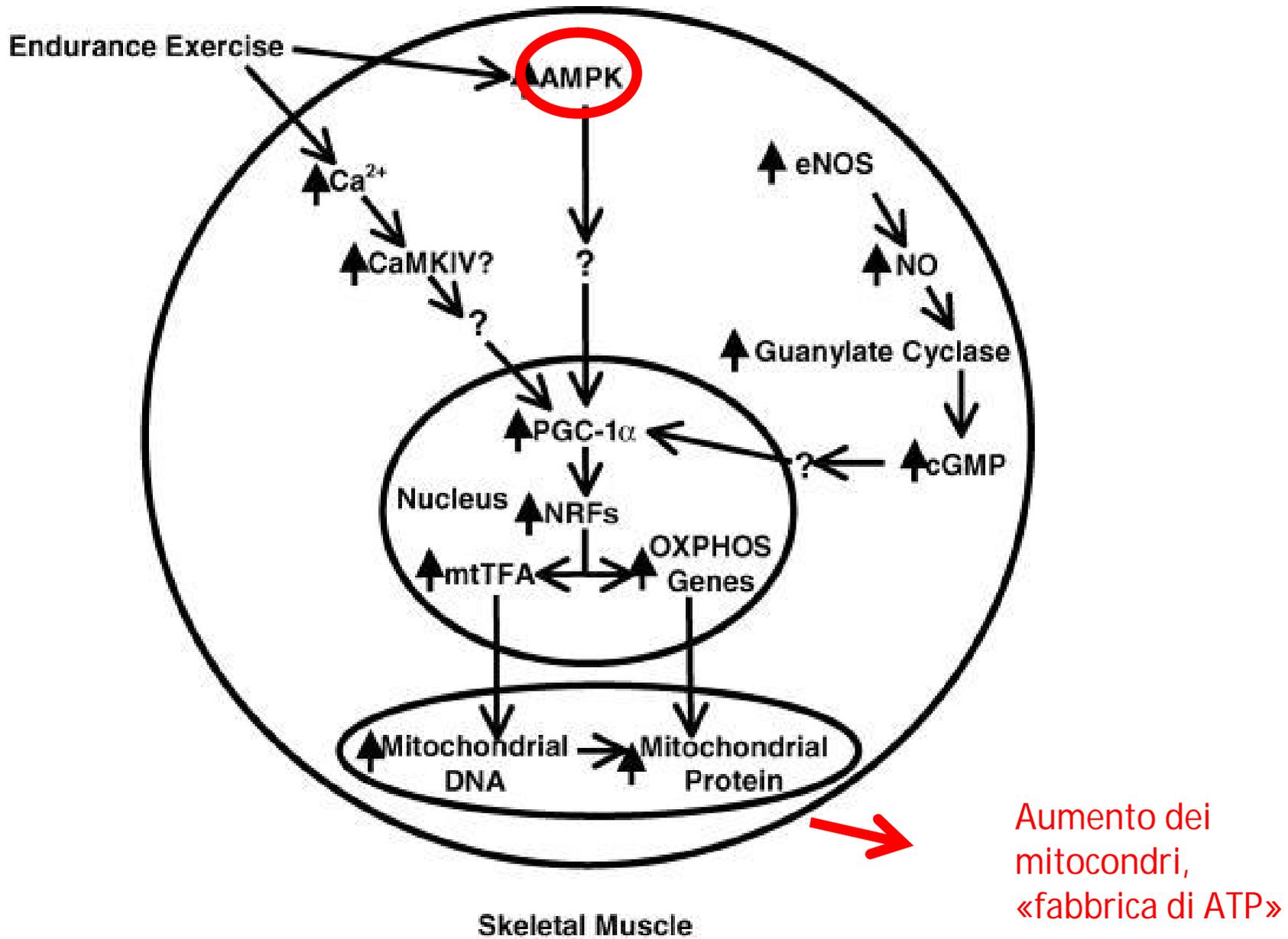
Training reduces blood lactic acid levels at work rates between approx. 50% and 100% of  $\dot{V}O_2$ max



## Adaptations to Endurance Training

<b>Respiratory</b>	Enhanced $O_2$ exchange in lungs Improved blood flow through lungs Decreased submaximal respiratory rate Decreased submaximal pulmonary ventilation
<b>Cardiovascular</b>	Increased cardiac output Increased blood volume, red blood cell count and hemoglobin concentration Enhanced blood flow to skeletal muscle Reduced submaximal heart rate Improved thermoregulation
<b>Musculoskeletal</b>	Increased mitochondrial size and density Increased oxidative enzyme concentrations Increased myoglobin concentrations Increased capillarization in muscle bed Increased $O_2$ difference between arterial and venous blood

From Essentials of Strength Training & Conditioning (2000)



# Muscle fatigue



- Acido lattico
- ↓ATP (accumulation of ADP and  $P_i$ , and reduction of creatine phosphate) →  
→ ↓  $Ca^{++}$  pompaggio e rilascio nei SR → ↓  
contrazione e rilassamento
- Squilibri ionici → cellule muscolari sono meno reattive alla stimolazione motoneuronale

# The rate of FFA utilization by muscle is limited



- Oxidation of fat can only support around 60% of the maximal aerobic power output
- restricted blood flow through adipose tissue
- insufficient albumin to carry FFA
- glucose oxidation limits muscles' ability to oxidize lipids
- *perhaps the ability to run at high intensity for long periods was not important in terms of the evolution of *Homo sapiens* (maybe the ability to sprint, to escape from a predator was more important)?*

# Nagatomo svela il suo segreto: "Prugne salate"

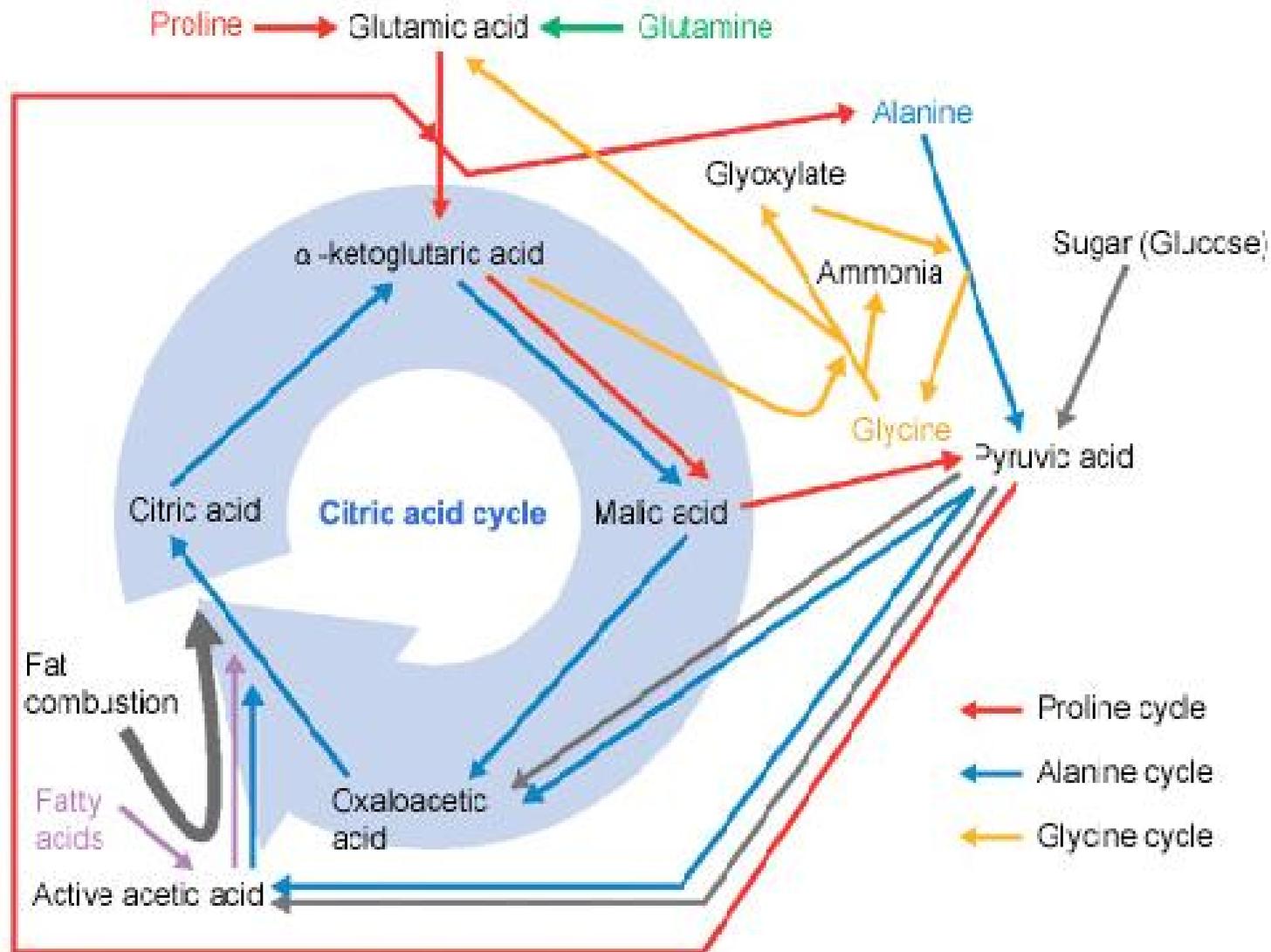
## Il terzino nipponico dell'Inter confessa: "Le prendo sempre prima di ogni partita"



- – Qualcuno se lo chiede: "Ma come fa quel giapponese a correre così?". Il giapponese in questione è Yuto Nagatomo in forza all'Inter capace di coprire anche 15 km a partita e apparentemente di non accusare stanchezza. Il merito di questa sua capacità non è solo di un duro allenamento, ma delle prugne salate. "Mangio tante 'umeboshi', cioè 'le prugne (ume) salate della salute' -ha rivelato il campione del Sol Levante – Sono ricche di acido citrico e aiutano a smaltire la stanchezza. Le prendo sempre prima di ogni partita".

OPPURE SUCCO DI LIMONE E SUCCO DI MELA

# Integratore: citrato



- Cenni....

**DIVERSE CONDIZIONI CALDO FREDDO  
ALTITUDINE**

# TEMPERATURE REGULATION

## HEAT GAIN

HORMONES

ENVIRONMENT

MUSCULAR  
ACTIVITY

BASAL METABOLIC  
RATE

Core temperature rises when heat gain exceeds heat loss which occurs when exercising, particularly in hot, humid conditions.

The opposite occurs when heat loss exceeds heat production, as experienced in cold conditions.

## HEAT LOSS

RADIATION

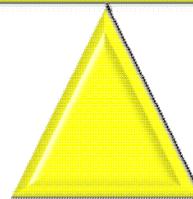
CONDUCTION

CONVECTION

EVAPORATION



Home



# FREDDO (1)

- FREDDO incide significativamente sul metabolismo del glicogeno muscolare determinando una riduzione dei suoi depositi nel muscolo e di conseguenza l'insorgenza precoce del senso di fatica.
  - Aumento della Termogenesi
  - Riassetamento ormonale che comporta un incremento della glicogenolisi ormonale
  - Ridotta capacità ossidativa dei muscoli con conseguente minor utilizzo dei lipidi di riserva e conseguente maggior utilizzo delle scorte di glicogeno: aumento dell'acido lattico e senso di fatica

# FREDDO (2)

- Il FREDDO riduce la percezione della sete e della disidratazione.

PROGRAMMARE UN'INTEGRAZIONE idrosalina che permette il bilanciamento degli elettroliti, necessari per una buona performance e per ritardare la sensazione di affaticamento: SUCCO DI MELA O ACQUA SUCCO DI LIMONE E MIELE.

# FREDDO (3)

- Aumento fabbisogno energetico >5% sotto i 14°C
- Preferire per la maggior parte carboidrati complessi (ideale grano saraceno) e grassi insaturi
- Mangiare piccoli pasti e frequenti per aumentare la termogenesi e non sovraccaricare lo stomaco
- Evitare la disidratazione programmando di bere ad intervalli regolari

# CALDO (1)

Aumenta il fabbisogno energetico per la termoregolazione circa 21 kcal per ogni grado oltre i 30°C, mentre >40°C supera le 56kcal per kg di peso corporeo.

- aumenta la ventilazione polmonare
- aumenta il lattato e il metabolismo anaerobico
- Aumenta l'utilizzo di glicogeno e di glucosio circolante
- Aumenta l'attività delle ghiandole sudoripare

## CALDO (2)

- Mangiare poche proteine animali
- Eccedere in carboidrati complessi frutta e verdura
- Aumento dei carboidrati e buon bilanciamento dei lipidi tra saturi ed insaturi
- Piano di idratazione costante con costante apporto di sali minerali

# ALTITUDINE (1)

- Diminuzione della pressione parziale di ossigeno, diminuisce la concentrazione di ossigeno in ogni respiro, aumento del lattato
- Aumenta la frequenza del respiro
- Aumenta la perdita di acqua e si perde il senso della sete
- Aumenta la CO<sub>2</sub> secreta dai polmoni ad ogni respiro e per deve essere riequilibrato il rapporto acido base

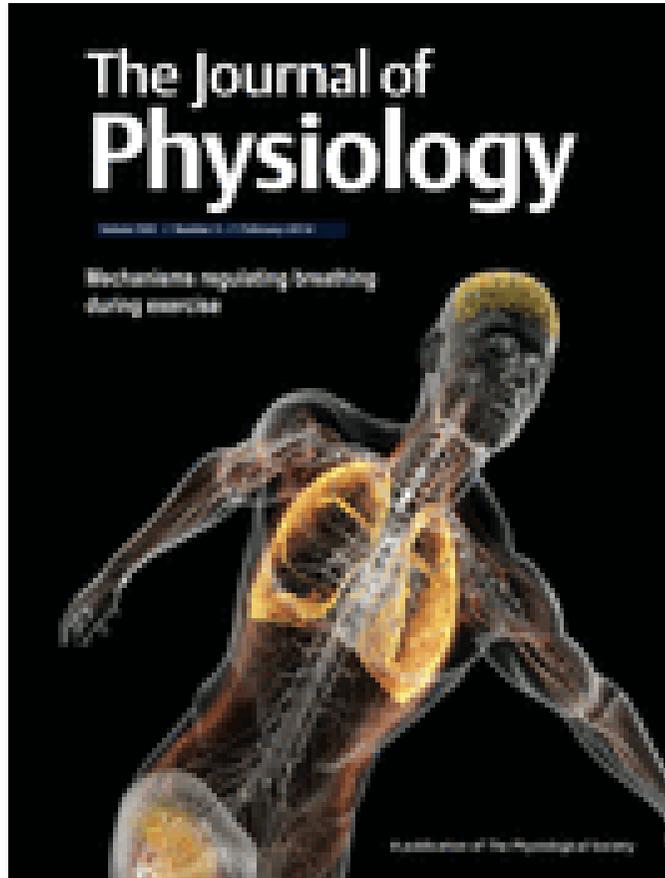
# ALTITUDINE

- *Nel lungo tempo*
- Aumenta il numero di globuli rossi
- Secrezione di basi tramite i reni per ripristinare l'equilibrio acido base, e minor tolleranza al lattato
- Migliora l'efficienza di trasporto di ossigeno da parte dei globuli rossi ai tessuti
- aumento del numero di mitocondri e di enzimi ossidativi

# ALTITUDINE

- *IMPLICAZIONI PRATICHE*
- *DIETA AD ALTO CONTENUTO DI CARBOIDRATI COMPLESSI SOPRATTUTTO INTEGRALI, hanno bisogno di meno molecole di ossigeno per produrre ATP rispetto ai grassi*
- *POCO SALE, MIGLIORA L'ADATTAMENTO E IL "mountain sickness".*
- *DIETA RICCA IN FERRO MA NON NECESSARIAMENTE DALLA CARNE E VITAMINA C PER ASSORBIRLO MEGLIO.*
- *Megadose di vitamine potrebbero essere pericolose se non inutili*
- *Equilibrare bene i grassi tra saturi e insaturi, pochi e preferibilmente a catena corta*
- *Controllare l'idratazione, l'altitudine compromette il senso di sete*

# Integratori? Antiossidanti?



Gøran Paulsen, et Al.; J.of Physiology,  
3/02/2014

Vitamin C and E supplementation hampers  
cellular adaptation to endurance training in  
humans: a double-blind randomized  
controlled trial

L'INTEGRAZIONE DI VITAMINA C OSTACOLA L'ADATTAMENTO CELLULARE DURANTE LA RESISTENZA

## Enough Is Enough: Stop Wasting Money on Vitamin and Mineral Supplements

Jules Levin on 12/17/2013

ANTIOXIDANTS & REDOX SIGNALING  
Volume 18, Number 10, 2013  
© Mary Ann Liebert, Inc.  
DOI: 10.1089/ars.2011.4498



Discoveries

COMPREHENSIVE INVITED REVIEW

---

### Oxygen Consumption and Usage During Physical Exercise: The Balance Between Oxidative Stress and ROS-Dependent Adaptive Signaling

Zsolt Radak,<sup>1</sup> Zhongfu Zhao,<sup>1,2</sup> Erika Koltai,<sup>1</sup> Hideki Ohno,<sup>3</sup> and Mustafa Atalay<sup>4</sup>

FRUTTOSIO.....



# The toxic truth about sugar

Added sweeteners pose dangers to health that justify controlling them like alcohol, argue Robert H. Lustig, Laura A. Schmidt and Claire D. Brindis.

## DEADLY EFFECT

Excessive consumption of fructose can cause many of the same health problems as alcohol.

### Chronic ethanol exposure

Hematologic disorders

Electrolyte abnormalities

Hypertension

Cardiac dilatation

Cardiomyopathy

Dyslipidemia

Pancreatitis

Obesity (insulin resistance)

Malnutrition

Hepatic dysfunction (alcoholic steatohepatitis)

Fetal alcohol syndrome

Addiction

### Chronic fructose exposure

Hypertension (uric acid)

Myocardial infarction (dyslipidemia, insulin resistance)

Dyslipidemia (de novo lipogenesis)

Pancreatitis (hypertriglyceridemia)

Obesity (insulin resistance)

Malnutrition (obesity)

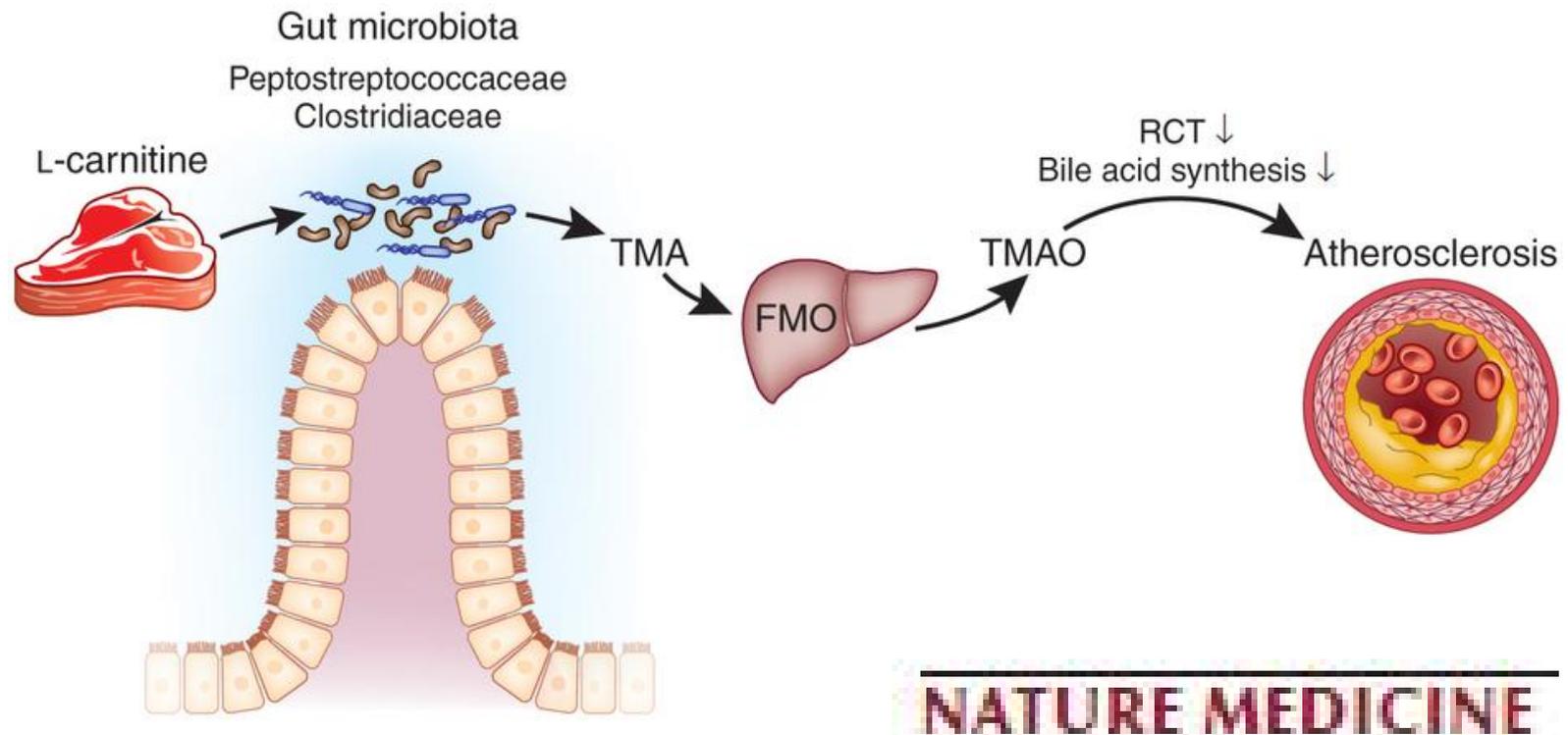
Hepatic dysfunction (non-alcoholic steatohepatitis)

Habituation, if not addiction

Source: ref. 1

# Intestinal microbiota metabolism of L-carnitine, a nutrient in red meat, promotes atherosclerosis

Robert A Koeth<sup>1,2</sup>, Zeneng Wang<sup>1,2</sup>, Bruce S Levison<sup>1,2</sup>, Jennifer A Buffa<sup>1,2</sup>, Elin Org<sup>3</sup>, Brendan T Sheehy<sup>1</sup>, Earl B Britt<sup>1,2</sup>, Xiaoming Fu<sup>1,2</sup>, Yuping Wu<sup>4</sup>, Lin Li<sup>1,2</sup>, Jonathan D Smith<sup>1,2,5</sup>, Joseph A DiDonato<sup>1,2</sup>, Jun Chen<sup>6</sup>, Hongzhe Li<sup>6</sup>, Gary D Wu<sup>7</sup>, James D Lewis<sup>6,8</sup>, Manya Warriar<sup>9</sup>, J Mark Brown<sup>9</sup>, Ronald M Krauss<sup>10</sup>, W H Wilson Tang<sup>1,2,5</sup>, Frederic D Bushman<sup>5</sup>, Aldons J Lusis<sup>3</sup> & Stanley L Hazen<sup>1,2,5</sup>



**NATURE MEDICINE**

Received 7 December 2012; accepted 27 February 2013; published online 7 April 2013; doi:10.1038/nm.3145