

OPORAVAK METABOLIČKIH SISTEMA NAKON VJEŽBANJA

Prof dr M.Kezunovic

Bez oporavka sav naporan rad je uzaludan!

Pod **pojmom oporavka** nakon fizičkih sportskih aktivnosti, najčešće se podrazumjeva period od završetka rada pa do uspostavljanja funkcija organizma na približnom ili na nivou stanja mirovanja.





U fazi odmora pod uticajem oksidativnih aktivnosti i promjena metabolizma, postepeno nestaju uzroci pojave zamora izazvanog fizičkim radom.

Brzina oporavka će, prije svega zavisiti od vrste napora, intenziteta i obima rada.

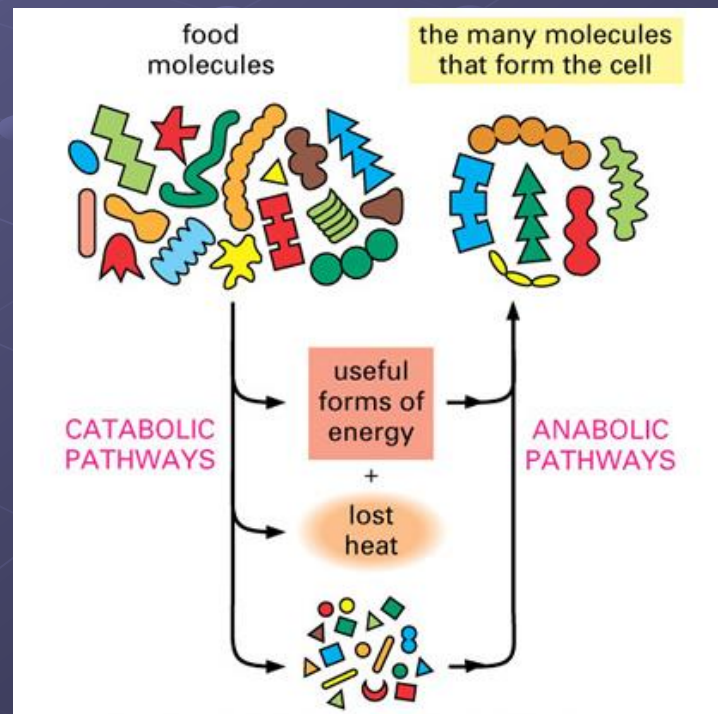
U **živoj ćeliji** se neprekidno odvija ogroman broj hemijskih reakcija.

Svi hemijski procesi vezani za ukupan promet materije naziva se **metabolizam**.

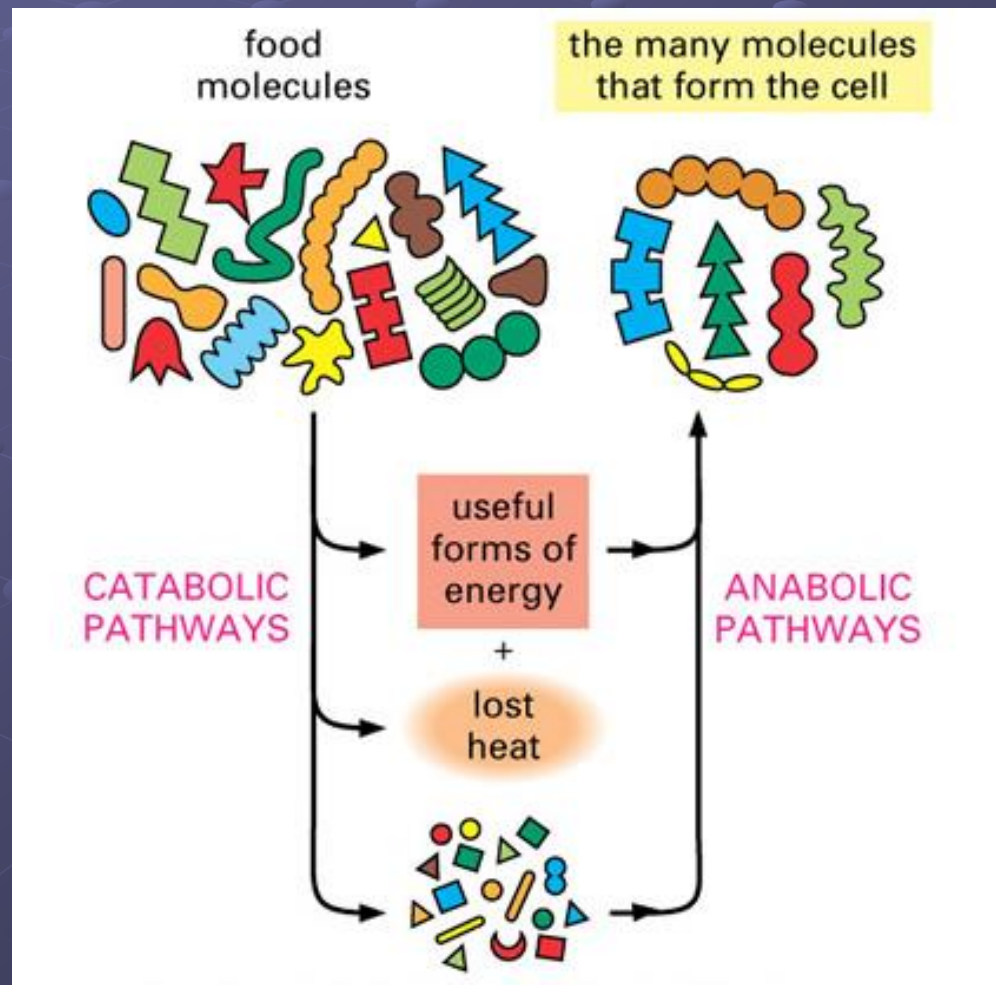
Metabolizam karakterišu dva osnovna procesa: ***anabolizam i katabolizam***.

Anabolizam predstavlja sintezu složenih jedinjenja iz prostih, uz **potrošnju energije**.

Proces anabolizma se **neprekidno odvija** (ćelija neprekidno sintetiše proteine, šećere, masti i dr.) jer ćelija ima stalnu potrebu za energijom.



Katabolizam su reakcije razgradnje složenih jedinjenja na prosta, uz **oslobađanje energije**, pripadaju mu procesi kao što su disanje, varenje i dr.



Oporavak omogućava tijelu da obnovi zalihe energije i popravi povrijeđeno tkivo.

Sport ili bilo koji drugi oblik fizičke aktivnosti uzrokuje promjene u tijelu kao što su **rašćlanjivanje mišićnog tkiva** i **pražnjenje zaliha energije** kao i **gubitak tečnosti**.

Odmor omogućava obnovu ENERGIJE i tkiva.

Energetske potrebe kod **sportista** su veće nego kod ljudi koji se ne bave sportom aktivno.

Intenzivan trening pojačava metaboličku, fizičku i psihičku aktivnost kod sportista.

Utrošak energije u mirovanju- **bazalni metabolizam**

BM je energija potrebna za obavljanje osnovnih funkcija organizma tokom mirovanja (**disanje, održanje tjelesne temperatura**).



Faktori koji utiču na bazalni metabolizam:

- čista mišićna masa
- dob, pol
- trening sa opterećenjem
- frekvencija obroka
- rad štitne žlijezde, tiroidni hormoni

Organizam svakodnevno koristi **ugljene hidrate, masti i belančevine** da bi obezbjedio neophodnu energiju za održavanje ćelijskih funkcija u mirovanju i tokom fizičke aktivnosti.

Energija koja se oslobađa tokom razgradnje hrane služi za fosforilaciju ADP i obnavljanje energetski bogatog jedinjenja ATP.

Bez adekvatnih količina ATP-a **mišićna kontrakcija**, a samim tim i ljudski pokret bio bi nemoguć.

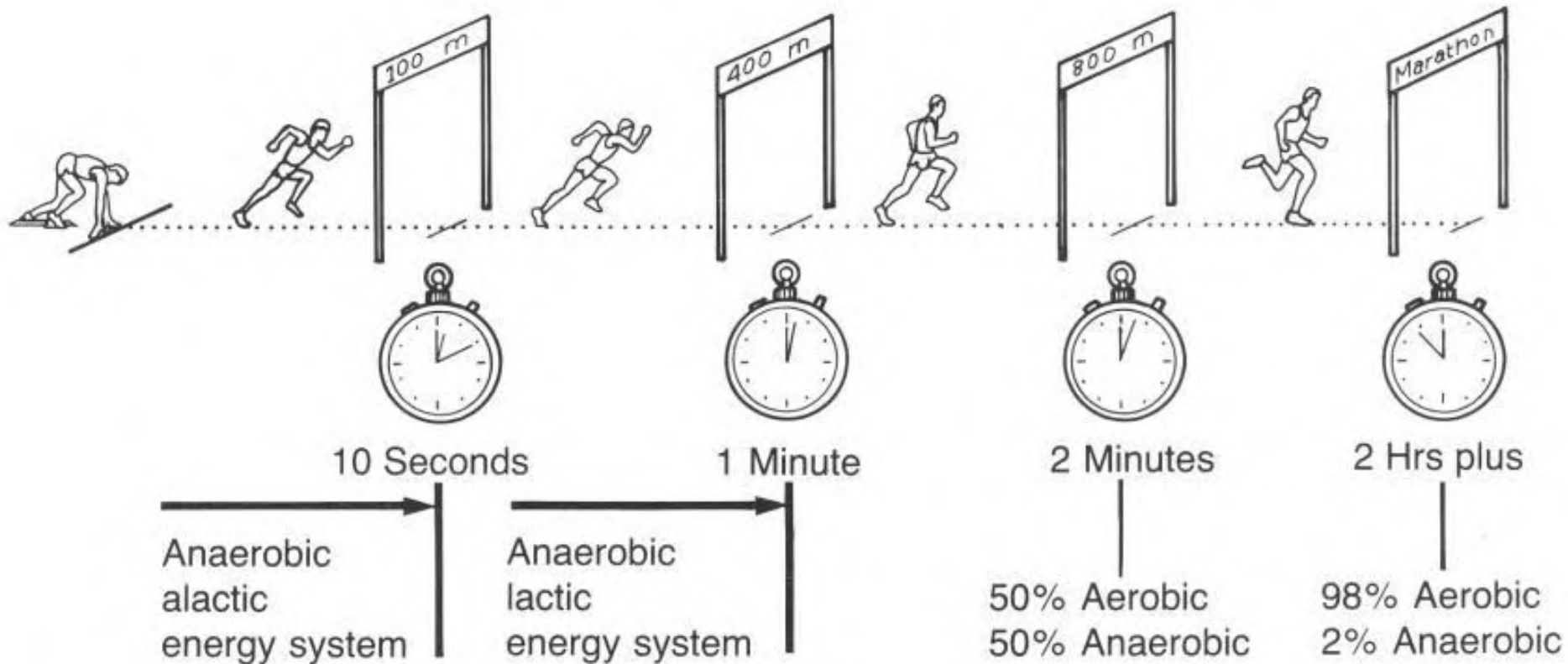
ATP se čuva u ograničenim količinama u mišićnim ćelijama.

Postoje **tri procesa** kojima se sintetiše ATP.

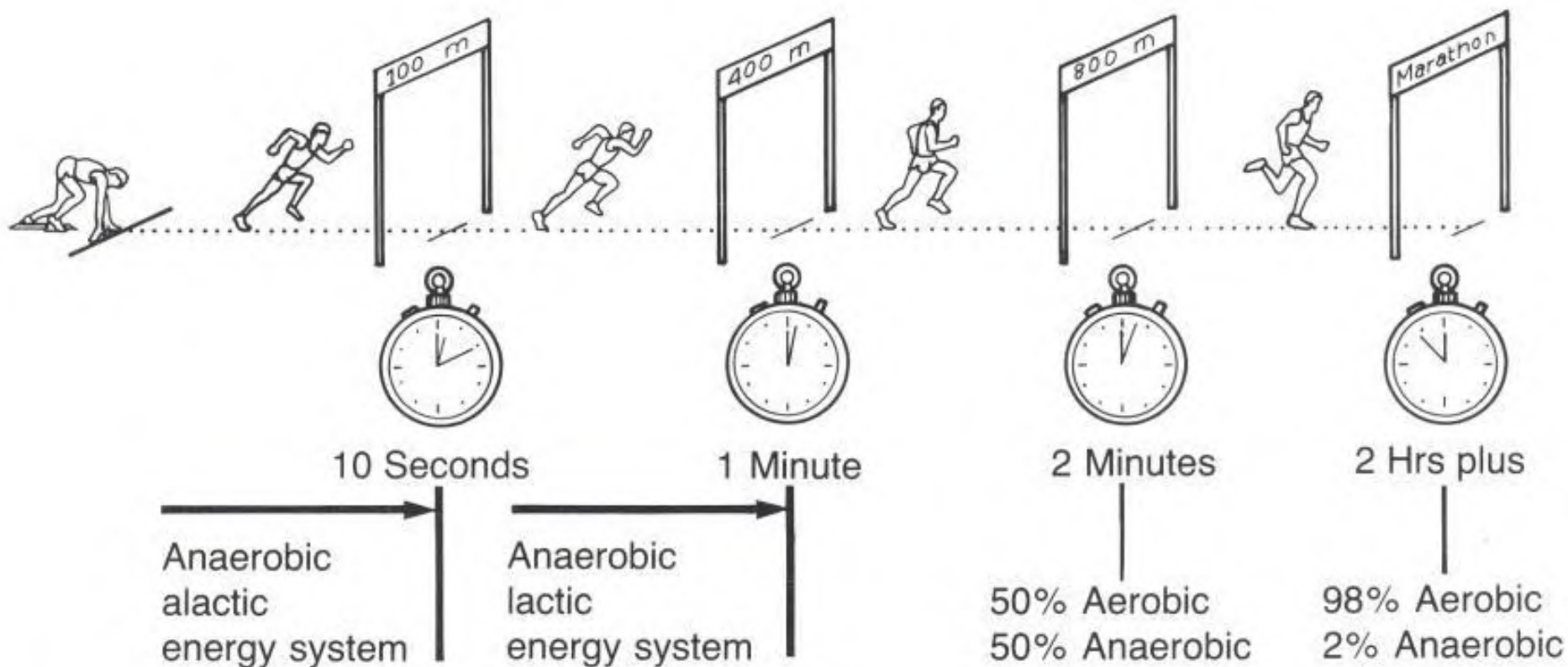


Svaki proces se **razlikuje** po svojoj sposobnosti da **obezbjedi energiju** za mišićne aktivnosti različitog intenziteta i trajanja.

Brze, eksplozivne aktivnosti kao što je **sprint na 100 metara** zahtjevaju brzi dotok energije, dok se aktivnosti dužeg trajanja i manjeg intenziteta kao što je **maraton** oslanjaju na energiju iz drugih izvora.



Osnovni izvor energije za aktivnosti između ova dva ekstrema zavisi prevashodno od intenziteta fizičke aktivnosti, a zatim i od njenog trajanja.



Tri metabolička puta za stvaranje energije su:

- **ATP-fosfokreatinski sistem (ATP-PC) ili fosfageni sistem,**



Phosphagen system

8-10 seconds (100 m)

Sprinter

- **glikolitički sistem i**



Glycogen-lactic acid system

1.3-1.8 minutes (400 m)

Swimmer

- **oksidativni sistem.**



Aerobic respiration

Unlimited time (15 km)

Sinteza ATP-a putem ATP-PC i glikolitičkog sistema ne zahtijeva prisustvo O^2 i naziva se

anaerobni put

Oksidativno stvaranje ATP-a zahtijeva prisustvo O^2 to je

aerobni proces

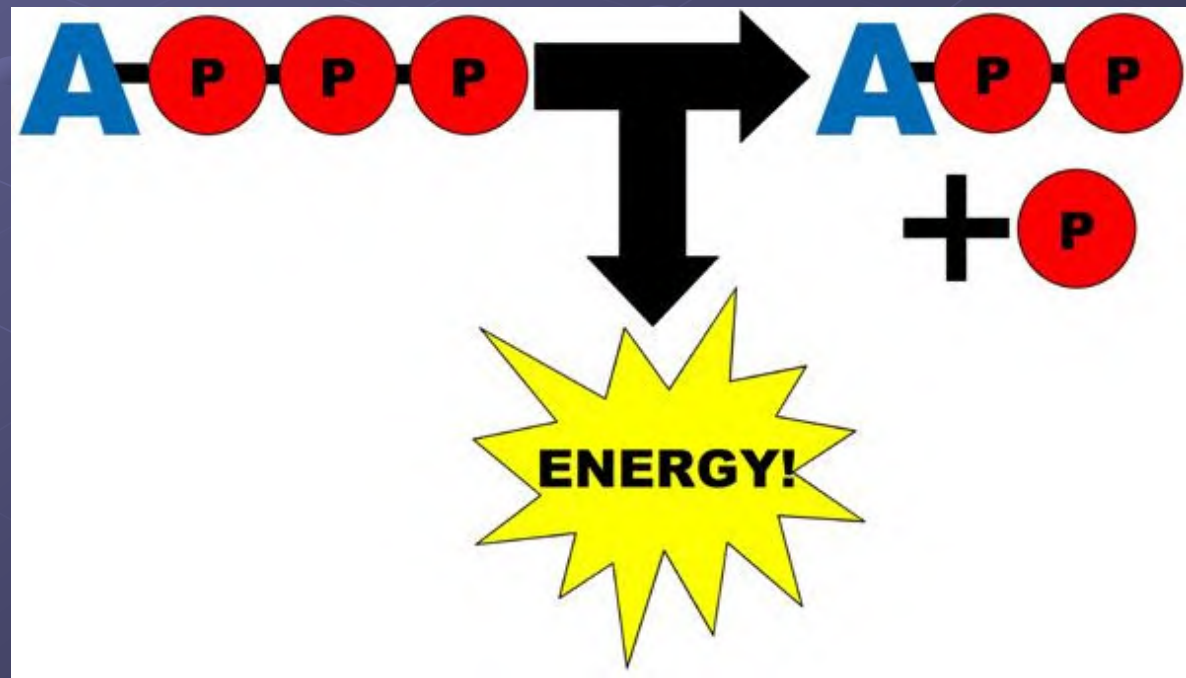
Iako **svaki energetski sistem** ima posebne karakteristike, ni u jednom momentu **ni jedan** energetski sistem sam **ne** obezbjeđuje cjelokupnu potrebnu energiju.

Adenozin trifosfat - fosfokreatinski sistem (ATP - PC)

Pošto energija koja se oslobađa razlaganjem ATP-a zadovoljava **sve forme bioloških** aktivnosti, ATP se smatra "**energetskom monetom**" ćelija.

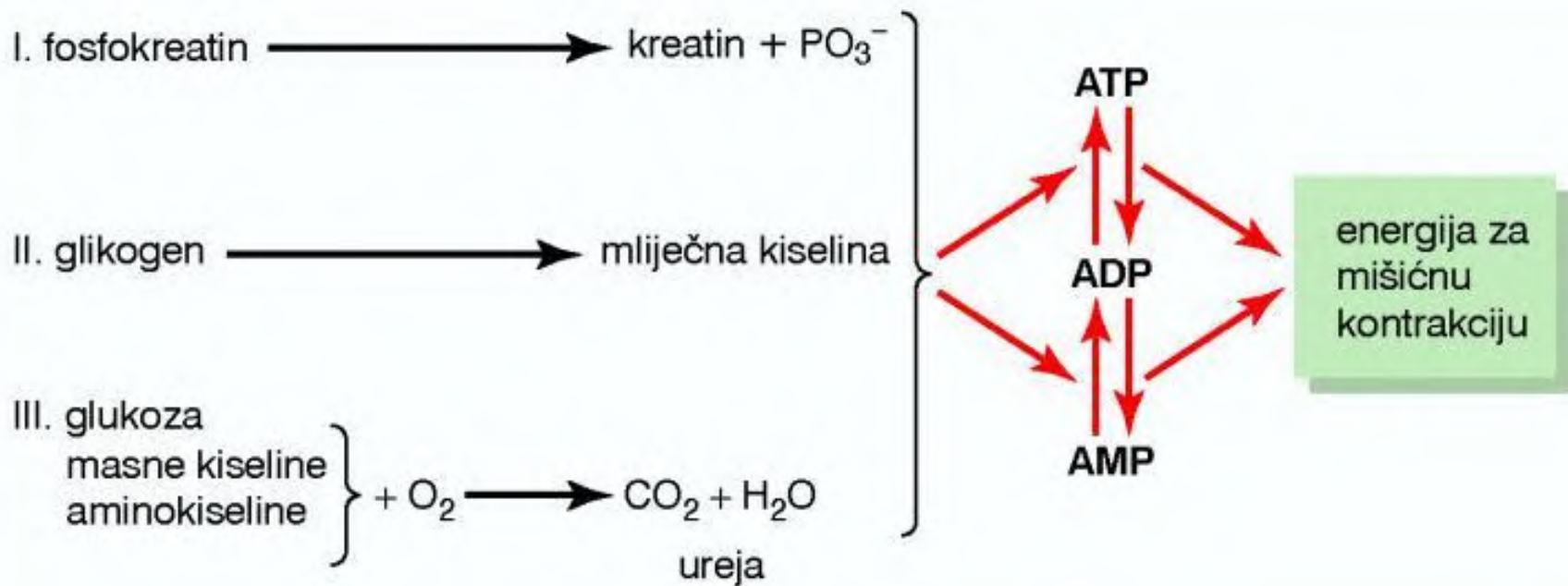
ATP - PC

Pretvaranje ATP-a u ADP i njen neorganski fosfat (P) omogućava ćeliji da **stvara energiju** za neposredno korišćenje tokom kratkotrajne fizičke aktivnosti velikog intenziteta (npr. **sprint ili skokovi**).



Tokom prvih nekoliko sekundi mišićne aktivnosti **ATP-PC sistem** održava koncentraciju ATP-a u ćeliji na relativno konstantnom nivou, pošto ćelija koristi PC, drugi visokoenergetski fosfagen.

Kada se (**fosfokreatin**) PC razloži na kreatin i fosfat oslobođena energija se koristi za ponovno spajanje **ADP-a** i **P** u **ATP**, koji se zatim koristi kao energetska izvor za mišićnu kontrakciju.



Pošto ne postoje receptori za PC na mišićima, energija iz PC se ne koristi direktno.

U svakom kilogramu mišića uskladišteno je oko 5 mmol ATP-a i 15 mmol PC.

lako ATP-PC sistem ima najveću stopu oslobađanja energije, njen kapacitet je limitiran na samo 3 do 7 sekundi.

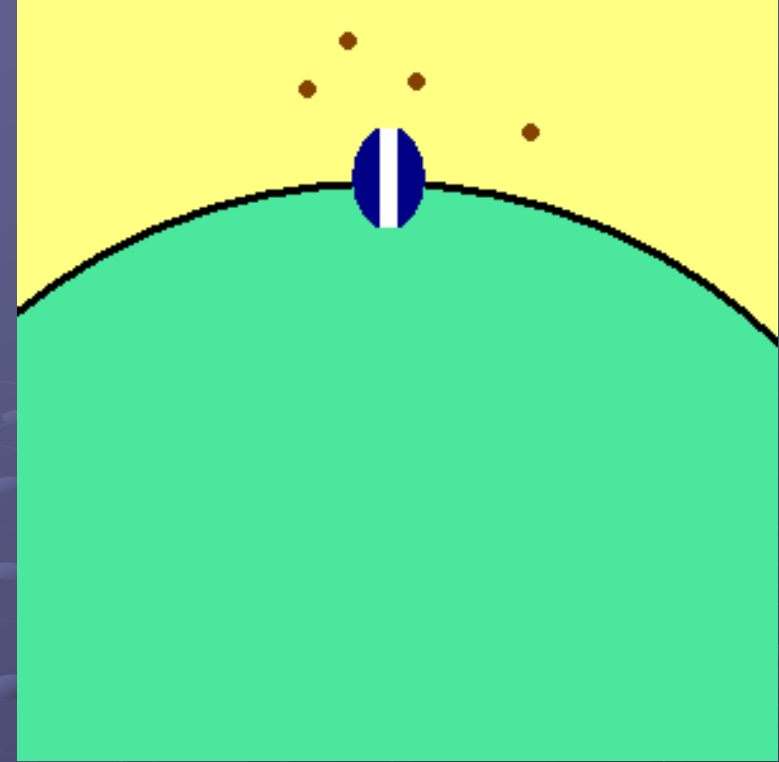
Tokom **anaerobne kratkotrajne** fizičke aktivnosti visokog intenziteta kao što je udarac, skok u dalj i sprinterska takmičenja, količina intramuskularnog visoko energetskeg fosfagena je od velike važnosti.



Npr. tokom trke na 100 metara visokoenergetski fosfati obezbeđuju energiju za inicijalno ubrzanje do maksimalne brzine.

Tokom druge faze trke, kada je cilj održavanje brzine, **drugi izvori energije** (npr. glikoliza) preuzimaju značajniju ulogu u obezbjeđivanju energije.

Glikolitički sistem

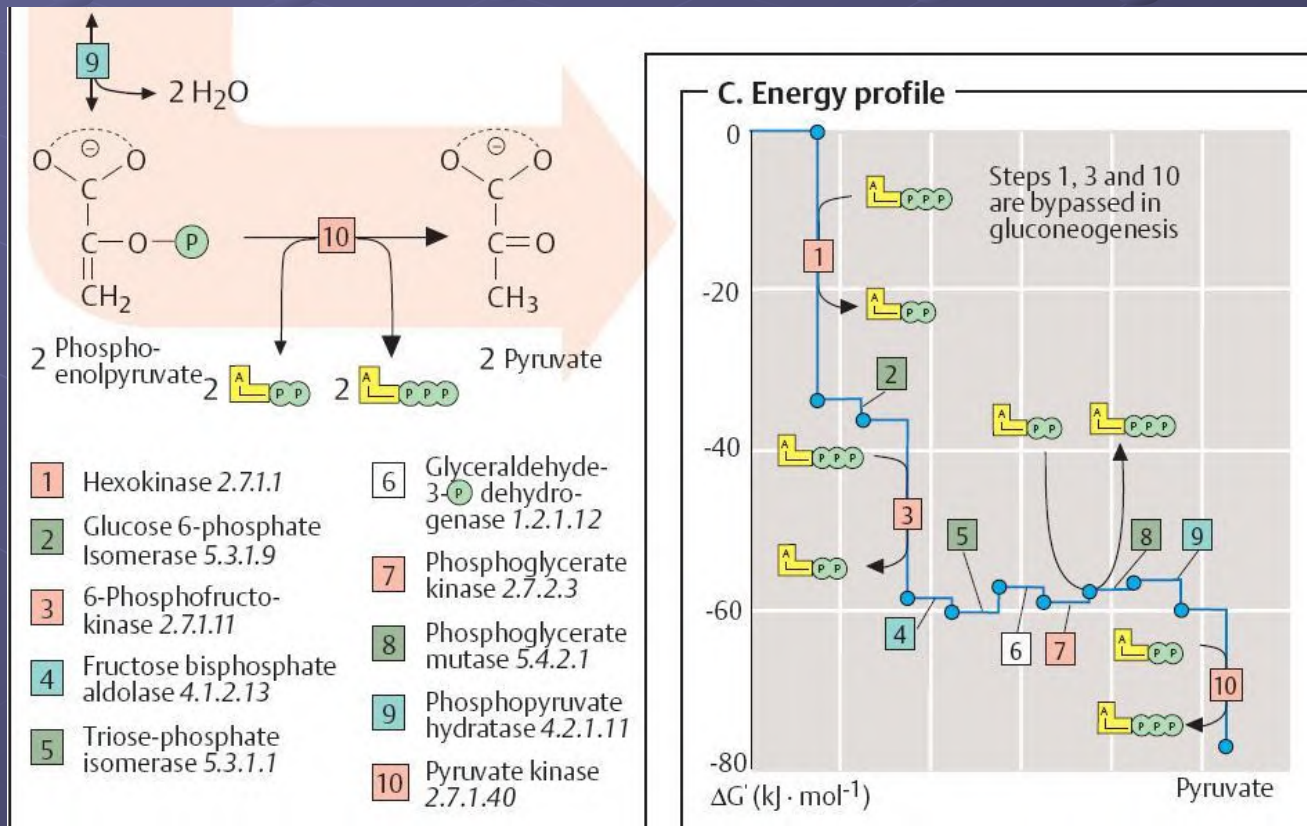


Glikolitički sistem (nazvan i glikoliza) obezbeđuje **anaerobno** oslobađanje energije razlaganjem glukoze ili glikogena tokom **multiplih enzimskih reakcija razgradnje**.

Da bi se rezerve glikogena u jetri ili mišićima koristile za oslobađanje energije, on mora prvo u procesu nazvanom **glikogenoliza** da se razloži na **glukoza-1-fosfat**.

Da bi se koristio za stvaranje energije, glukoza-1-fosfat se prvo mora pretvoriti u glukoza-6-fosfat, čime **počinje proces glikolize**.

Glikoliza je u osnovi serija enzimski kontrolisanih hemijskih reakcija koja se koristi za transfer vezane energije iz glukoze u ponovo vezani ADP i P.



Glikolitički enzimi se nalaze u citoplazmi ćelija ili sarkoplazmi mišićne ćelije.

Zbog velikog sadržaja glikolitičkih enzima i brzine hemijske reakcije, **glikoliza** može brzo obezbjediti značajnu količinu energije za mišićnu kontrakciju.



Ipak, glikoliza **ne može** obezbjediti tako mnogo energije u sekundi kao ATP-PC sistem.

Najveće oslobađanje energije tokom **glikolize** odigrava se tokom prvih 10 do 15 sekundi mišićne kontrakcije, pošto acidifikacija mišićnih vlakana usporava stepen razgradnje glukoze i glikogena.

Dodatno, **acidifikacija mišićnih ćelija** smanjuje potencijal vezivanja Ca za mišićna vlakna što može dodatno ***ometati mišićnu kontrakciju.***

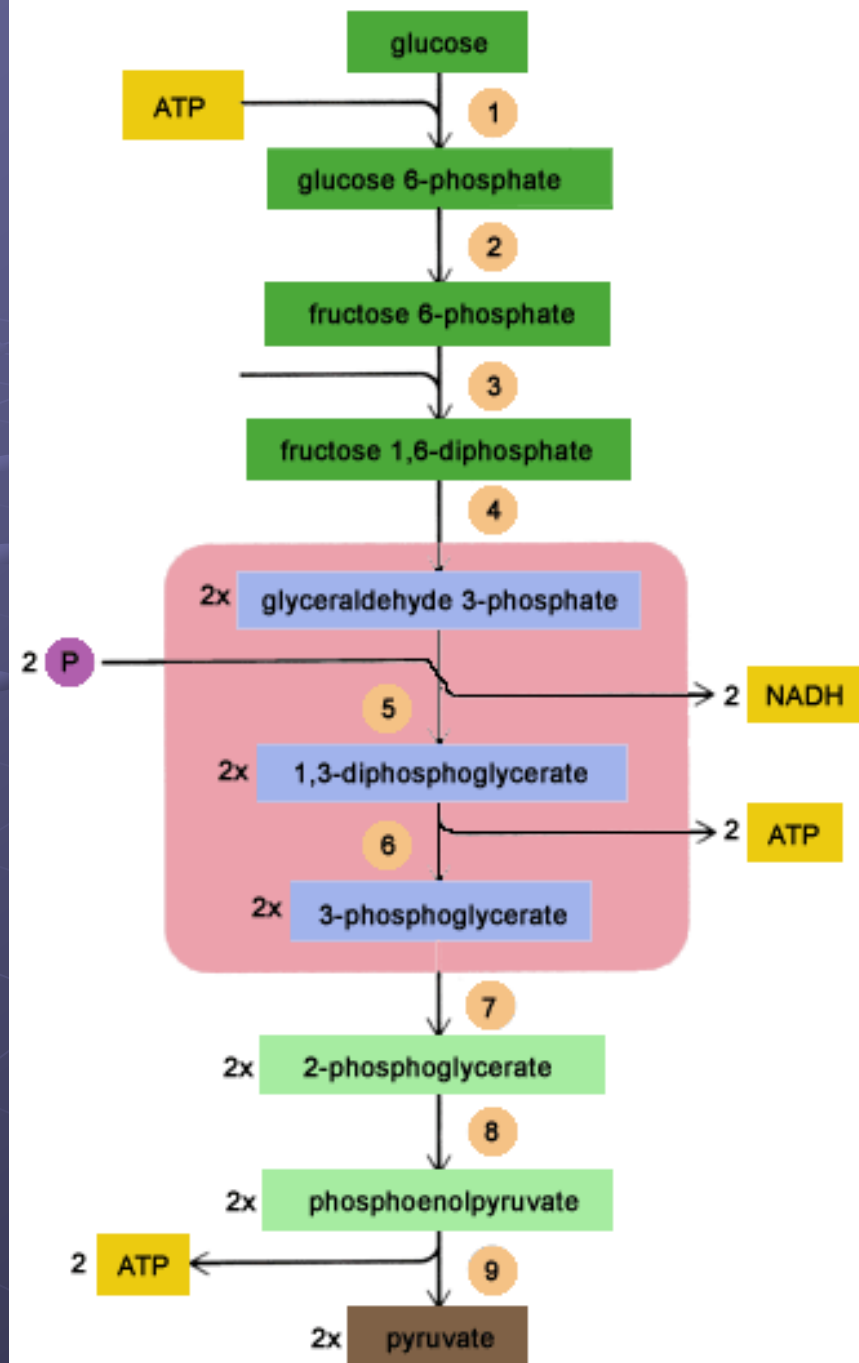
Kapacitet ćelija za anaerobnu glikolizu obezbjeđuje energiju za oko **1 do 3** minuta fizičke aktivnosti.

Aktivnosti kao što je **plivanje** slobodnim stilom na 200 metara, **sprint** na 400 metara i treninzi snage sa kratkim periodima odmora (npr. 30 sekundi) oslanjaju se prvenstveno na **glikolizu kao izvor energije.**

Anaerobni energetske sistemi doprinosu produkciji energije na početku manje intenzivne fizičke aktivnosti kada metabolizam O_2 "kasni" za ukupnim energetskim potrebama.

Glikolizom se stvara ukupno 2 molekula ATP-a (3 molekula ako se stvara iz glikogena) i 2 molekula piruvata ili mliječne kiseline po molekulu glukoze.

Glikolitički sistem



Glikolitički sistem

Ako nema O^2 piruvat se pretvara u mliječnu kiselinu.

Ova reakcija je katalizovana enzimom **laktat dehidrogenazom**.

Glikolitički sistem

Mliječna kiselina brzo disocira i formira se so koja se zove **laktat**.

Glavno **ograničenje anaerobne glikolize** je akumulacija mliječne kiseline u mišićima i tjelesnim tečnostima.

Glikolitički sistem

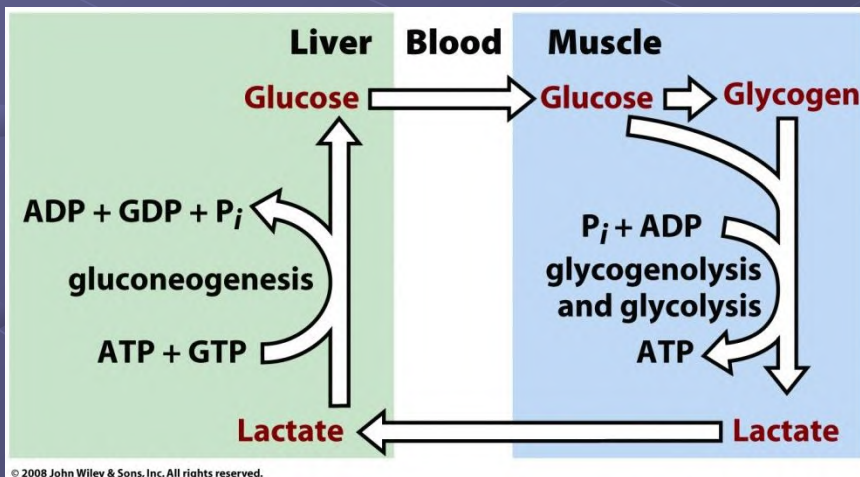
Ako je O² prisutan u mitohondrijama **piravat** se može uključiti u aerobno stvaranje ATP-a.

Na ovaj način **glikoliza** se može smatrati prvim korakom u oksidaciji ugljenih hidrata.

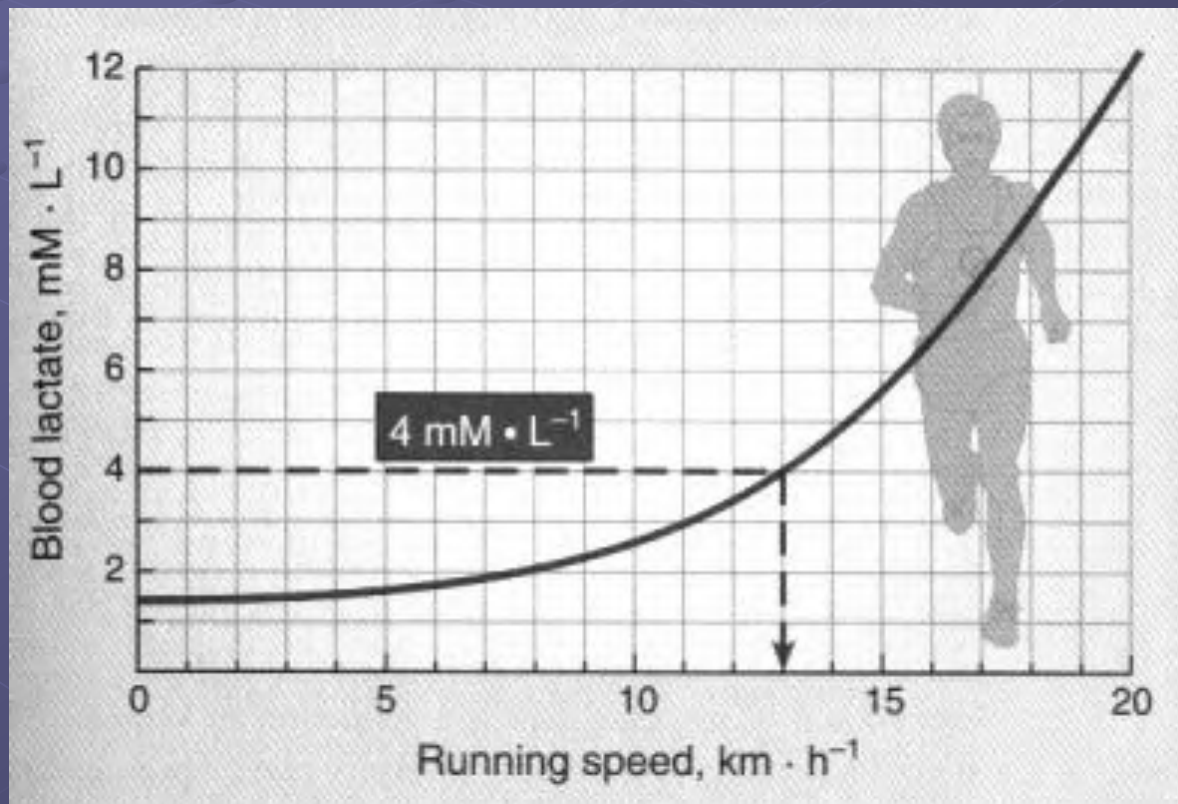
Početak akumulacije laktata

Koncentracija mliječne kiseline može tokom maksimalne fizičke aktivnosti porasti od vrijednosti u stanju mirovanja koje su od oko **1 mmol/kg, do preko 25 mmol/kg.**

Tokom testa sa rastućim spoljašnjim opterećenjem **koncentracija laktata u krvi** (kao indirektna mjera produkcije laktata u kontrahujućim mišićima) ostaje približno ista tokom prvih nekoliko minuta testa pošto su energetske potrebe adekvatno zadovoljene reakcijama koje koriste kiseonik.



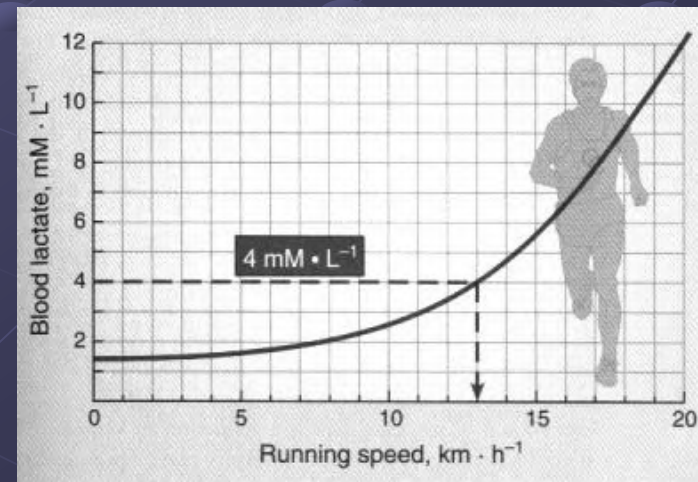
Zatim će u određenom momentu **koncentracija** laktata porasti eksponencijalno.



Glikolitički sistem

Iako postoje neslaganja u terminologiji, ova tačka porasta se često naziva **početkom akumulacije laktata u krvi (OBLA)** koja se uobičajeno odigrava kad koncentracija laktata dostigne vrijednost od oko 4 mmol/L (**anaerobni prag, prag respiratorne kompenzacije, tačka respiratorne kompenzacije**).

Glikolitički sistem



Netrenirane osobe dostižu ovu koncentraciju laktata na oko 50 do 60% $V\dot{O}_2$ max, dok sportisti u sportovima izdržljivosti ovu vrijednost dostižu na oko 80 do 90% $V\dot{O}_2$ max.

Faktori koji doprinose akumulaciji laktata uključuju:

- malu koncentraciju O_2 u tkivima,
- oslanjanje na glikolizu,
- aktivaciju brzo kontrahujućih mišićnih vlakana i
- smanjeno odvođenje laktata.

Ako se **trening izdržljivosti** odvija blizu ili preko nivoa **OBLA**, **akumulacija laktata** događa se kasnije i na većim intenzitetima fizičke aktivnosti.

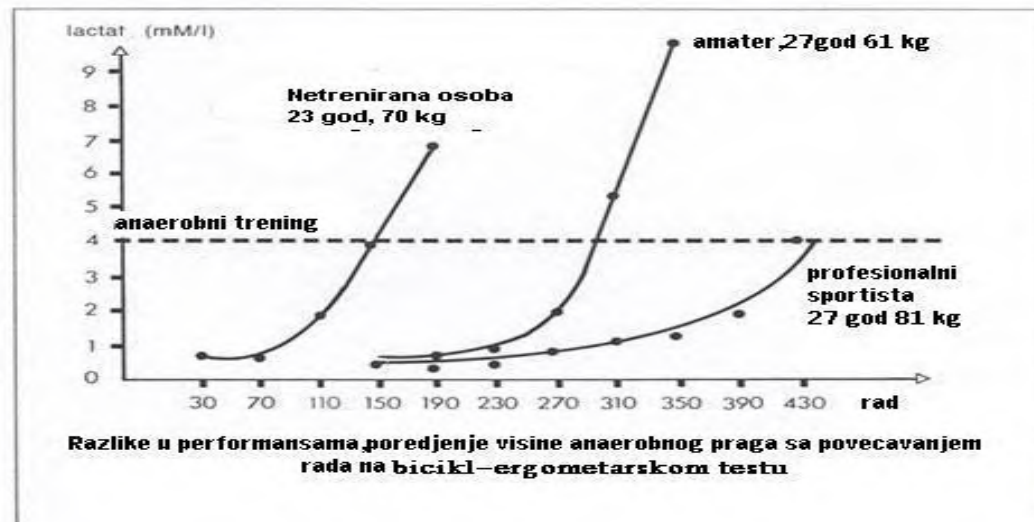
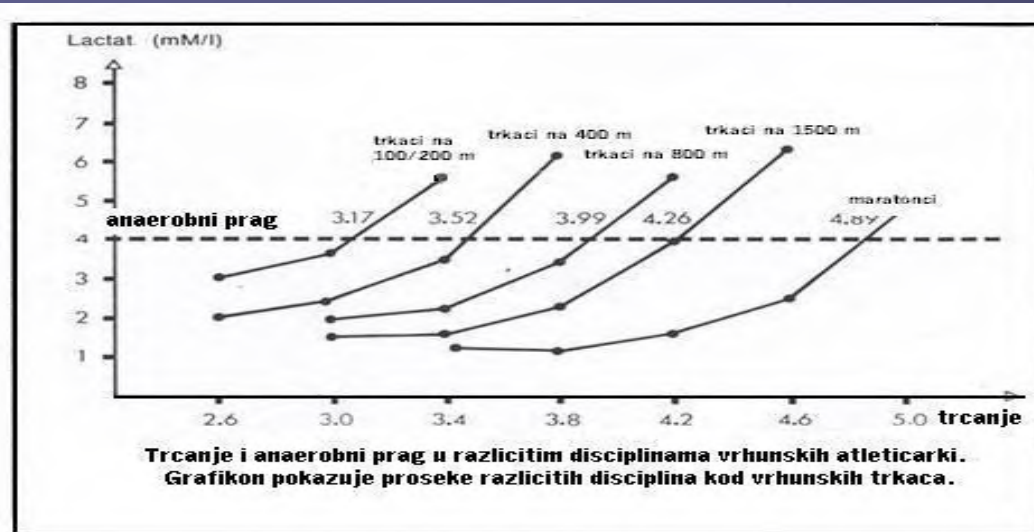
Ova adaptacija omogućit će sportistima da treniraju na većim procentima $\dot{V}O_2$ max sa stvaranjem manje laktata.

Iako VO_2 max ili srčana frekvencija mogu biti korišćene za praćenje intenziteta fizičke aktivnosti na kojoj gore pomenuta adaptacija može da se odigra, moramo napomenuti da mogućnost da se održi željeni intenzitet fizičke aktivnosti **ne može** biti procenjena precizno na ovaj način.

Akumulirani laktat se brže otklanja ako se poslije fizičkog napora upražnjava aktivnost malog intenziteta (npr. lagani džoging) umjesto odmora.

Glikolitički sistem

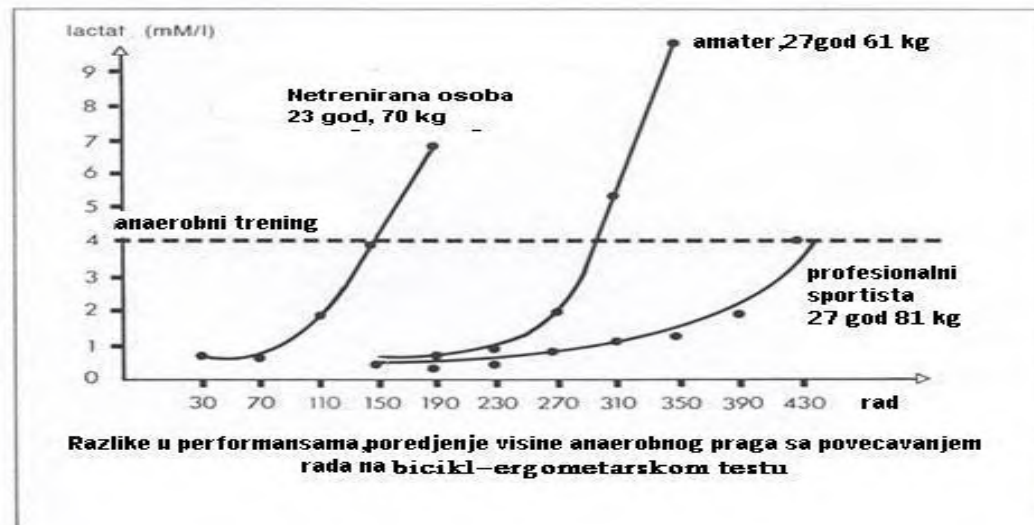
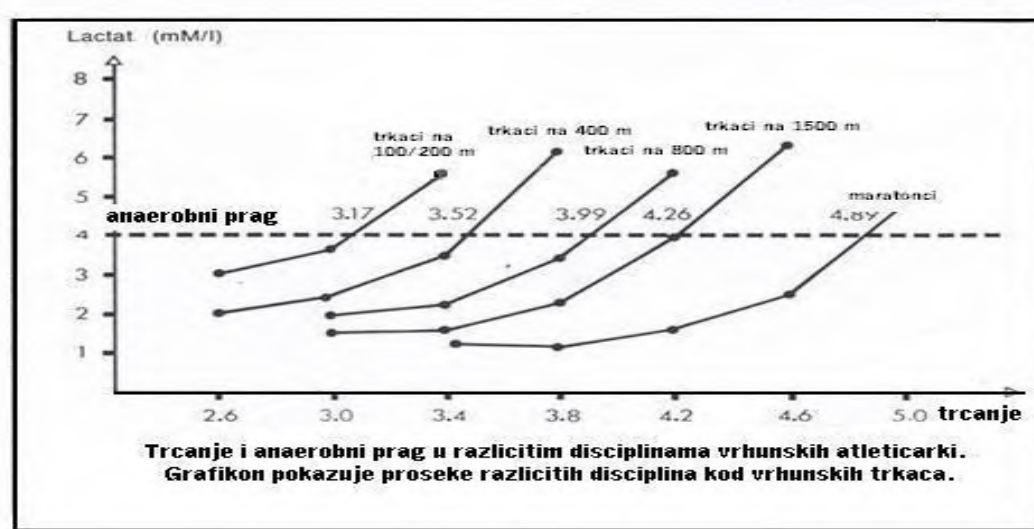
Kod netrenirane osobe uočava se brzi porast koncentracije laktata u krvi, a rast opterećenja povezan je sa akumulacijom laktata.



Laktatne krivulje i anaerobni prag kod razlicitih sportista

Karakteristika laktatne krivulje kod maratonaca je **plato** koji se javlja sa porastom opterećenja i koji je rezultat aerobne adaptacije koja je postignuta treningom izdržljivosti.

Glikolitički sistem



Ovaj povoljni aerobni odgovor može biti prouzrokovan smanjenjem proizvodnje mliječne kiseline i/ili njenim bržim pretvaranjem na svakom nivou intenziteta fizičke aktivnosti.

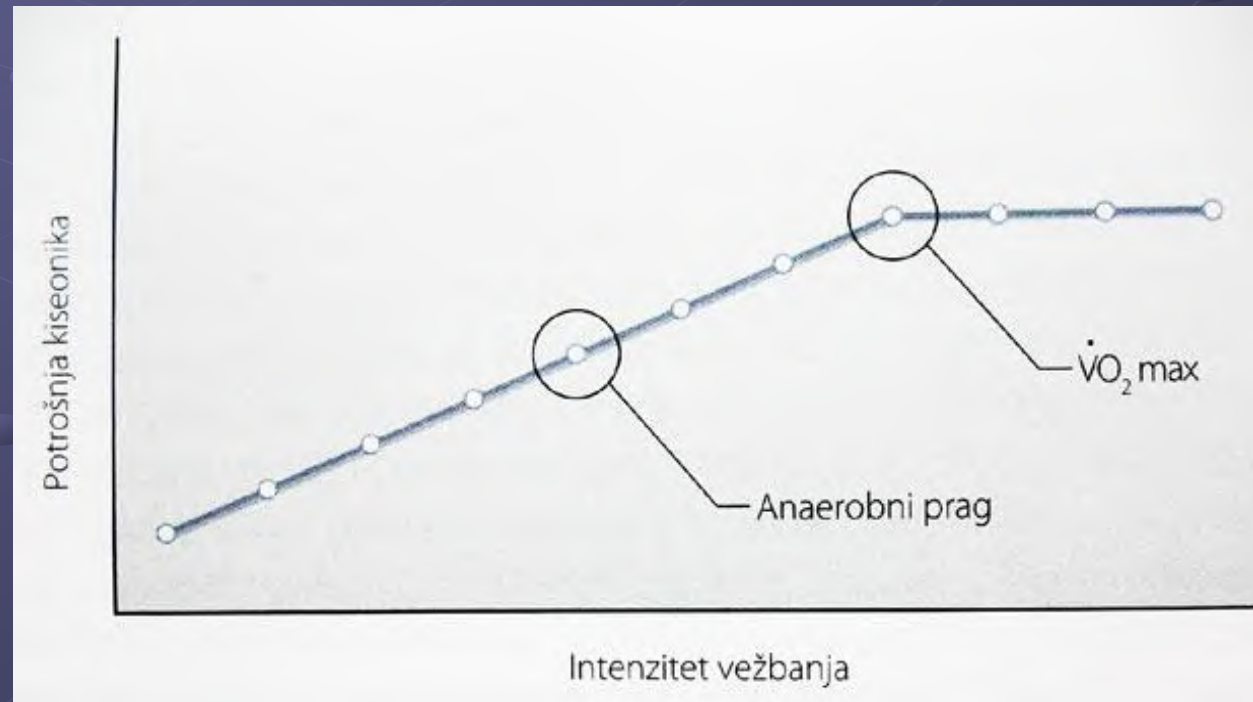
Glikolitički sistem

Sportisti koji upražnjavaju **trening izdržljivosti** mogu da stvaraju veće količine ATP-a tokom razgradnje masnih kiselina i na taj način očuvaju skladišta glikogena.

Trkač na 400 metara pokazuje raniji **porast** akumulacije laktata nego maratonac, zbog njegove specifične metaboličke adaptacije koja je posledica anaerobnog treninga.

Anaerobni trening dovodi i do posebnog tipa adaptacije koje se ogleda u dugom i postepenom porastu laktata preko vrijednosti anaerobnog praga (4 mmol/L) omogućavajući mišićnoj ćeliji bolju toleranciju acidifikacije koje je posljedica povećanog nivoa laktata u krvi.

Glikolitički sistem



Oksidativni (aerobni) sistem

Za razliku od anaerobnog stvaranja ATP-a, kada se energija brzo oslobađa ali ima mali kapacitet, energija u oksidativnom sistemu se sporije oslobađa ali ima ogroman kapacitet.

Anaerobni energetska sistem oslobađa brzo velike količine energije, ali je ograničen.

Mišićima je potrebno konstantno obezbjeđivanje energije tokom mirovanja i tokom fizičke aktivnosti manjih intenziteta i dužeg trajanja.

Zato je **aerobni metabolizam** osnovni način stvaranja energije tokom fizičke aktivnosti tipa izdržljivosti kao što je trčanje na **5 000 metara**.

Iako oksidativni sistem ne može da proizvede dovoljno ATP-a u sekundi, kojim bi se omogućilo izvođenje maksimalnih anaerobnih aktivnosti, ipak se na kraju aktivnosti **aerobni izvori energije koriste za dopunjavanje anaerobnih izvora**.

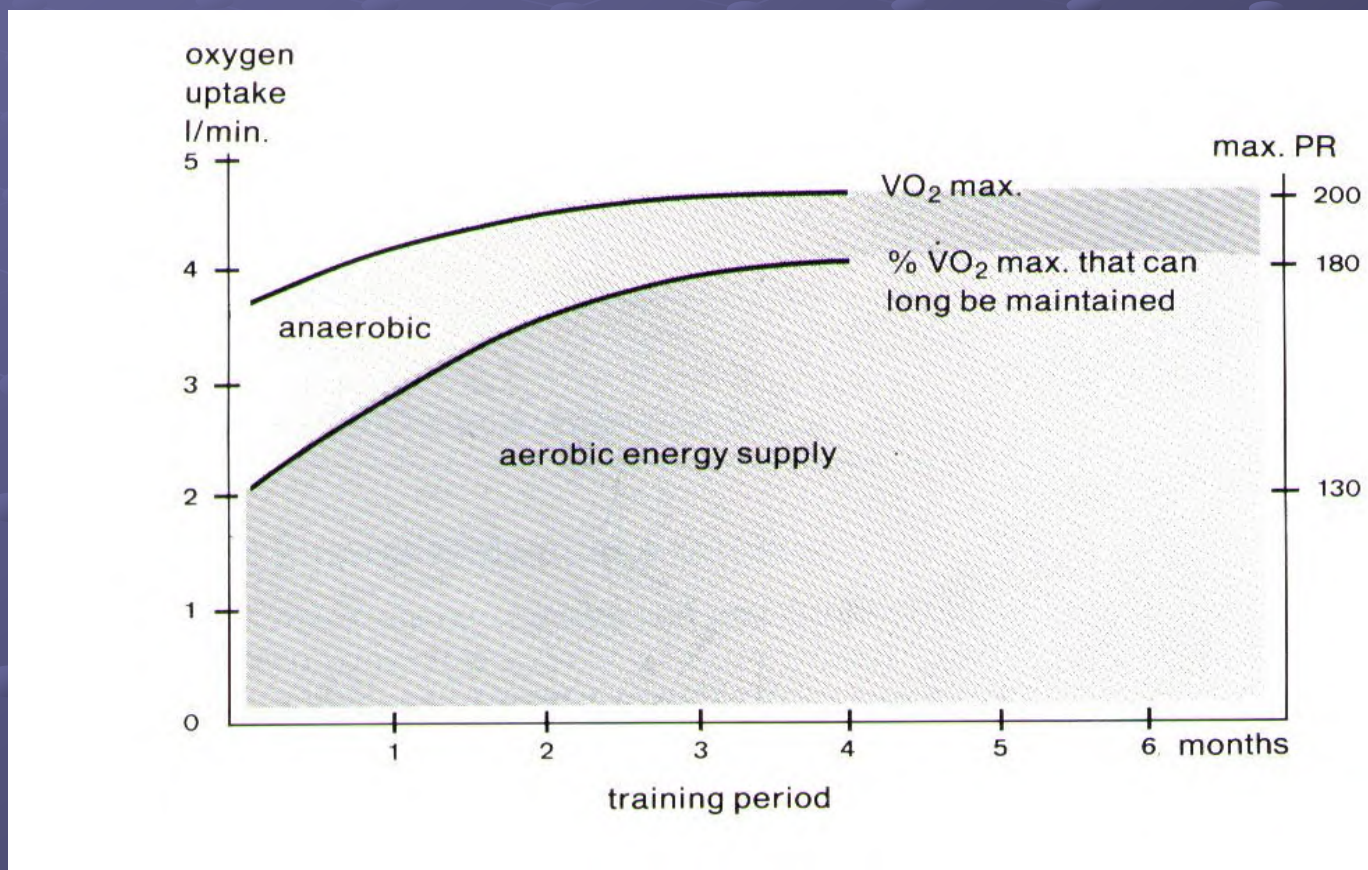
Npr. ubrzano disanje na kraju trčanja na 800 m koristi se da nadoknadi anaerobne izvore energije.

Aerobna produkcija ATP-a odvija se u mitohondrijama i **uključuje interreakciju** Krebsovog ciklusa (ciklus limunske kiseline) i transportnog lanca elektrona.

O^2 ne učestvuje u reakcijama Krebsovog ciklusa, ali **vezuje H** na kraju transportnog lanca elektrona.

Maksimalna količina O^2 koju organizam može da produkuje u aerobnim procesima **zavisi** od toga koliko O^2 može da preuzme i iskoristi.

Maksimalna potrošnja kiseonika ili $\dot{V}O_2$ max predstavlja brzinu kojom O_2 može biti transportovan kardiorespiratornim sistemom do aktivnih mišića.



TRENING I AEROBNA EFIKASNOST

Oksidativni (aerobni) sistem

Oksidativni sistem koristi prevashodno ugljene hidrate i masti kao energetski supstrat.

Oporavljanje aerobnog sistema posle vježbanja

Tokom ranih faza teškog vježbanja, dio sposobnosti za aerobni put se smanjuje zbog dva efekta:

1. Kiseoničkog duga
2. Smanjenja rezervi glikogena u mišićima

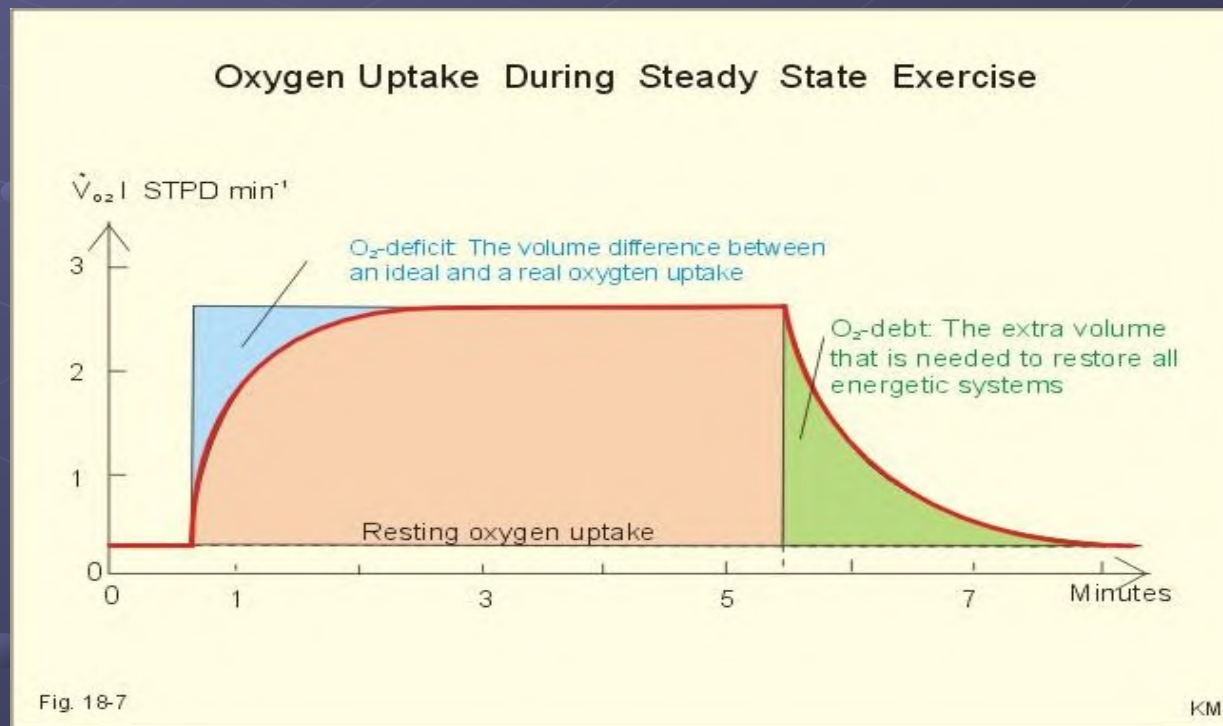
Tijelo normalno sadrži oko 2L deponovanog O_2 (koji može da se koristi za aerobni metabolizam iako se ne udiše nova količina O_2).

Kiseonik se nalazi u sledećim depoima:

1. **0,5L** u vazduhu u plućima
2. **0,25L** rastvoreno u telesnim tečnostima
3. **1L** vezan za hemoglobin
4. **0,3L** deponovano u samim mišićnim vlaknima u mioglobinu

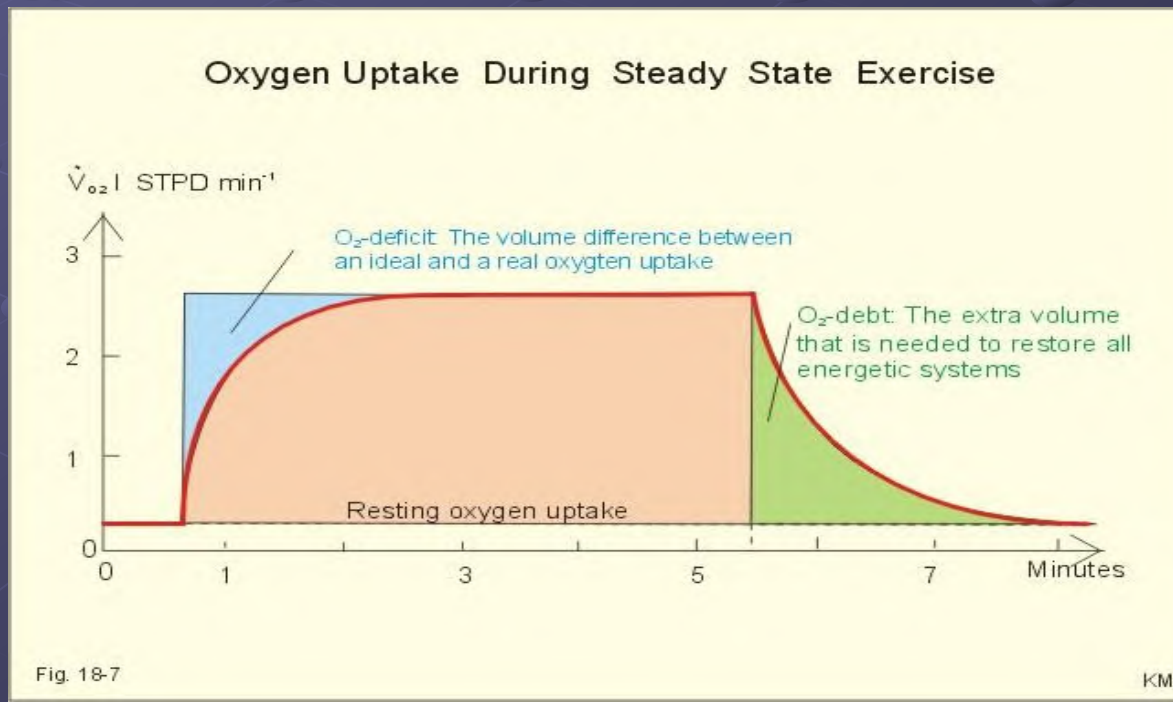
- Pri teškem fizičkom vježbanju, **sav deponovani** O_2 se koristi u periodu od 1 minuta za aerobni metabolizam.
- Kada se **fizičko vežbanje završi**, deponovani O_2 mora da se **dopuni** udisanjem novih količina O_2 koje prelaze normalne potrebe.

Oksidativni (aerobni) sistem



- Da bi se **obnovili fosfageni sistem i sistem mliječne kiseline** treba unijeti u organizam oko **9 L O²** više nego što je normalno.
- Sav ovaj ekstra O² koji mora da se “nadoknadi”, ukupno 11,5 L, zove se **kiseonički dug**.

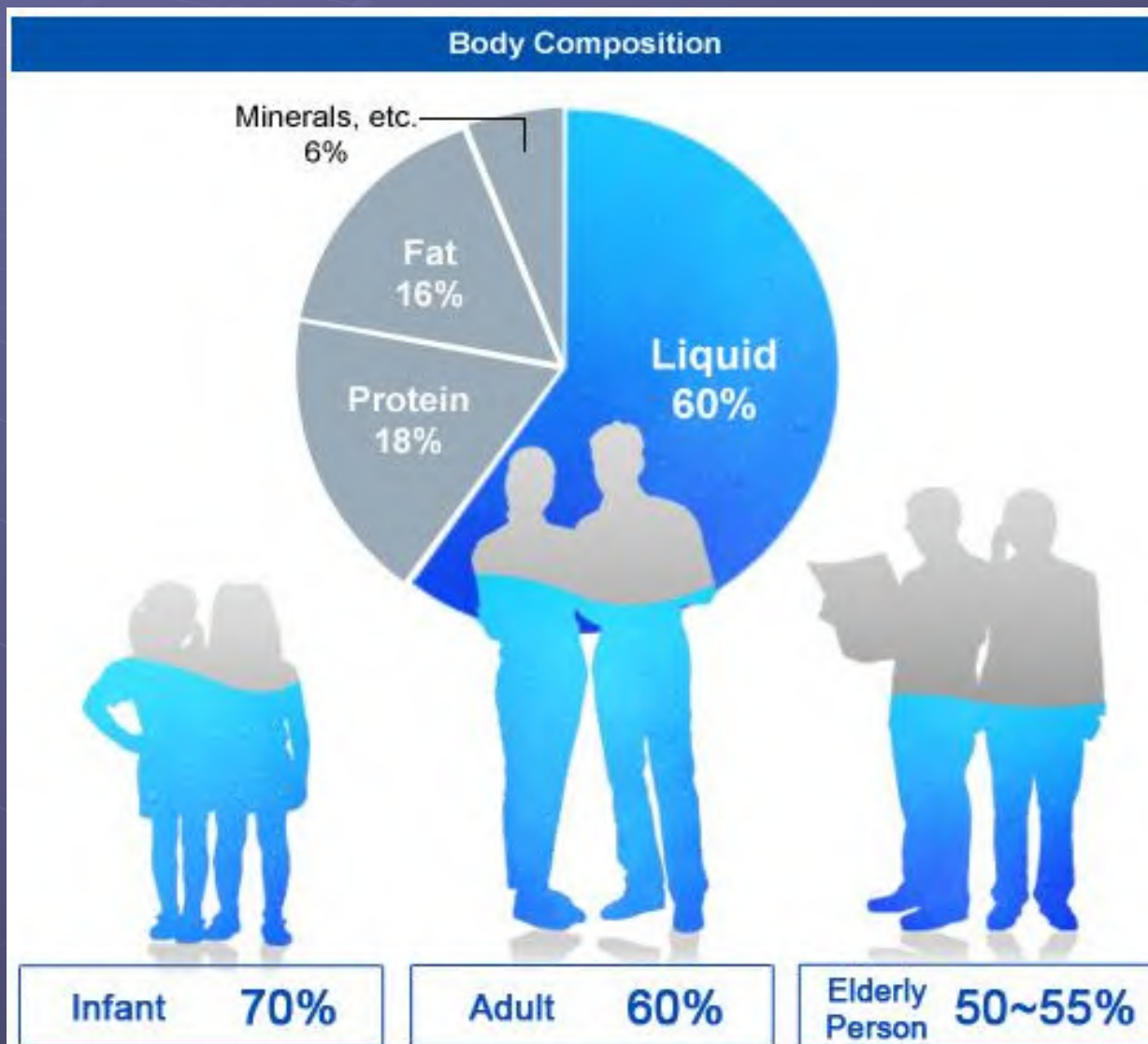
Oksidativni (aerobni) sistem





TJELESNE TEČNOSTI

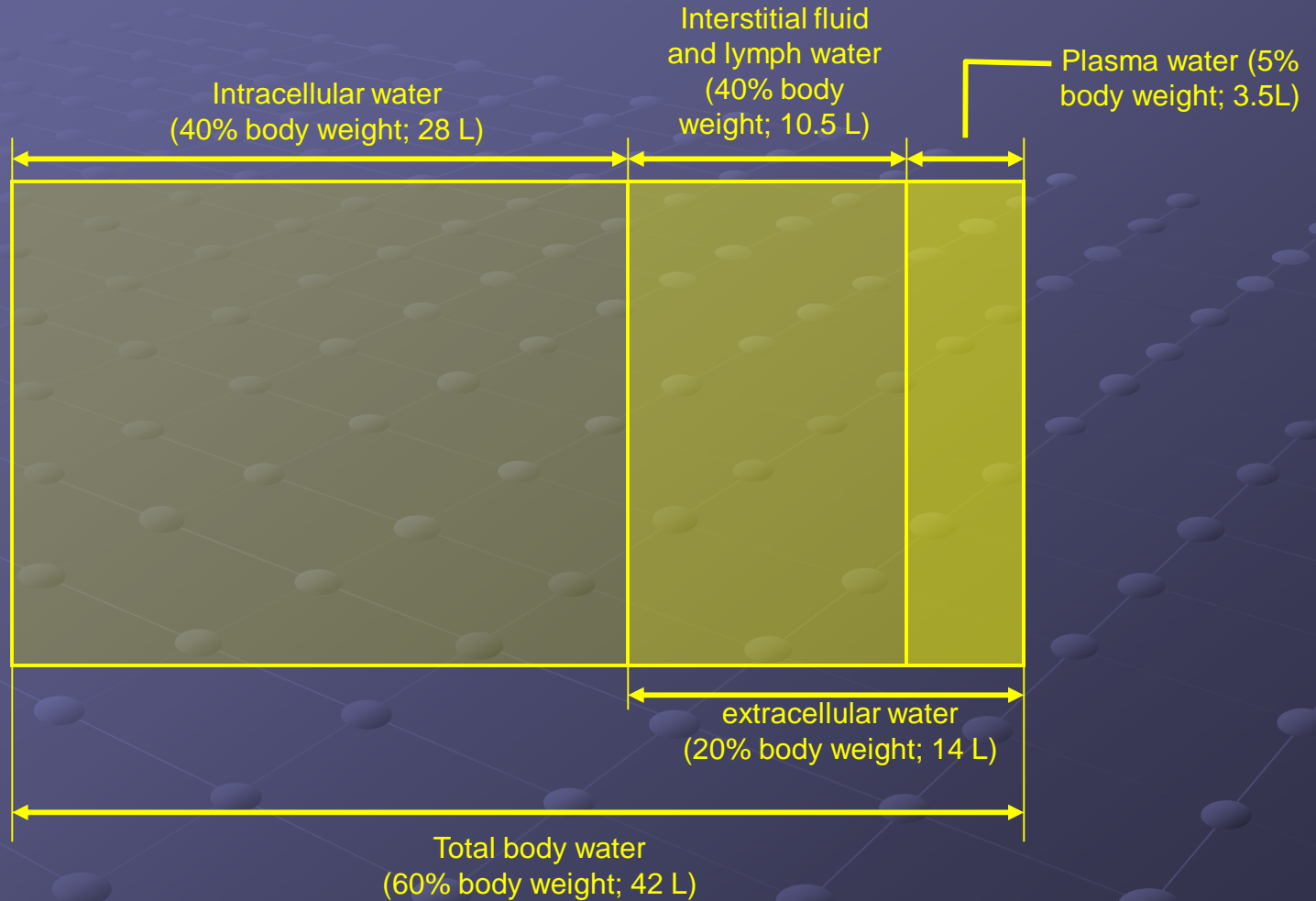
Procenat tjelesne vode u odnosu na ukupnu tjelesnu masu u zavisnosti od starosti



Procentualna distribucija tjelesne vode u odnosu na pol i starost

Starost	Muški pol	Oba pola	Ženski pol
0-1 mjesec		76	
1-12 mjeseci		65	
1-10 godina		62	
10-16 godina	59		57
17-39 godina	61		50
40-59 godina	55		52
60 godina i više	52		46

DISTRIBUCIJA VODE U TIJELU



DNEVNI UNOS I GUBITAK VODE: PROMJENE U TOKU FIZIČKE AKTIVNOSTI

(u ml/dan)

	Normalno	Dugotrajno fizičko opterećenje
Unos		
Unijeta tečnost	2300	?
Metabolička	<u>300</u>	<u>300</u>
Ukupno	2600	?
Izdavanje		
Koža	400	400
Pluća	600	900
Znoj	100	5000
Feces	100	100
Urin	<u>1400</u>	<u>500</u>
Ukupno	2600	6900

DEHIDRACIJA



DEHIDRACIJA I UTICAJ NA FIZIČKU SPOSOBNOST

GUBITAK VODE TOKOM FIZIČKE AKTIVNOSTI USLJED:

- 1) obilnog znojenja i
- 2) isparavanja (perspiratio)



DOVODI DO:

- 1) smanjenje volumena krvi i TA,
- 2) povećanja osmolarnosti,
- 3) prelaska vode iz intersticijuma u kapilare
- 4) prelaska vode iz ćelija u intersticijum (osmoza)

GLAVNI ZNACI DEHIDRACIJE

Znaci koji ukazuju na dehidraciju su:

1. Ošamućenost i vrtoglavica
2. Suvoća i osećaj ljepljivosti u ustima
3. Umanjeno stvaranje urina i tamnija obojenost urina
4. Žeđ je znak dehidracije, ali ona nije početni upozoravajući znak.

5 Signs of Dehydration



REHIDRACIJA



VAŽNOST REHIDRACIJE

Voda & elektroliti su važni za obavljanje fizičke aktivnosti jer:

1. Održavaju volumen krvi & osmolarnost za efikasan transport O_2 i regulaciju TA
2. Uklanjaju toksine i produkte razgradnje
3. Omogućavaju nervnu kondukciju za funkciju mišića

VAŽNOST REHIDRACIJE

4. Regulišu tjelesnu temperaturu mehanizmom znojenja
5. Obnavljaju energetske depoe (npr. mišićni glikogen) tokom oporavka
6. Održavaju homeostazu metaboličkih & enzimskih funkcija
7. Omogućavaju brojna absorbciona & lubrikantna svojstva

Fiziološki rastvori

su rastvori koji prema svojim fizičko-hemijskim osobinama **imitiraju unutrašnju sredinu organizma** u kojoj ćelije zadržavaju svoj normalni oblik i funkciju

● Podijela fizioloških rastvora:

1) Prosti * (**0,9% NaCl, 5% glukoza**)

* samo izotonija

2) Složeni * (**Ringer, Krebsov**)

* Izotonija, izojonija, izohidrija, izotermija



Vrste rastvora koje se najčešće primenjuju u kliničkoj praksi

1) Slani rastvori (NaCl)

-Različitih koncentracija: hipotoničan (0,2%), izotoničan (0,9%), hipertoničan (5%)

2) Dekstroza u slanom rastvoru

- Glukoza se brzo metaboliše do $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
- Unijeti volumen se zbog toga distribuira i intracelularno kao i ekstracelularno
- Unosi se u različitim koncentracijama (5%, 10%, 20%, 25%, 50%)
- Koriste se istovremeno za nadoknadu vode kao i u energetske svrhe

3) Dekstran

- Dugolančani polisaharid
- Predstavlja zamjenu za plazmu

Biohemijske promijene u vanćelijskoj tečnosti u toku fizičke aktivnosti različitog intenziteta

1) Akumulacija mliječne kiseline, laktata:

- Disocijacijom mliječne kiseline se povećava koncentraciju H^+ jona



- Povećanje koncentracije H^+ jona-smanjenje pH



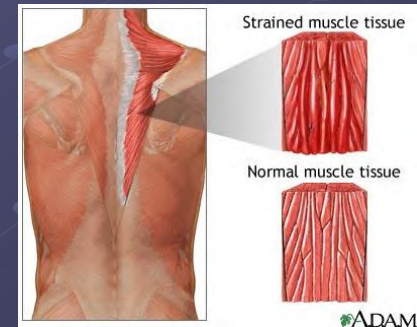
- Smanjenje intraćelijskog pH inhibira enzimske sisteme u ćeliji



- Smanjenje kontraktilne sposobnosti mišićne ćelije



Upala mišića



Biohemijske promijene u vanćelijskoj tečnosti u toku fizičke aktivnosti različitog intenziteta



2) Tranzitorna lokalna hiperkalijemija:

- Prolazno povećanje koncentracije K^+ jona ekstracelularne tečnosti ↓
- K^+ joni podstiču vazodilataciju-bolju prokrvljenost mišića ↓
- Bolja perfuzija mišića-efikasnije snabdevanje O_2 i eliminisanje CO_2 ↓
- Nakon fizičke aktivnosti K^+ se vraća u mišićne ćelije

HVALA NA PAŽNJI !