



FIZIOLOGIJA ŠPORTA

Homeostaza volumna in elektrolitske sestave telesnih tekočin

Vsi kemični procesi v celicah potekajo le v vodni raztopini, zato je pogoj za delovanje organizma vzdrževanje volumna in elektrolitske sestave telesnih tekočin. Telesna tekočina je razdeljena na dva dela, na **celično tekočino** in **medceličnino** (razmerje 2:1). Stalnost volumna in elektrolitske sestave telesnih tekočin se uravnava na dveh nivojih: lokalno uravnavanje (ledvice – skorja nadledvičnih žlez – ledvice) in centralno uravnavanje (preko hipotalama).

Lokalni uravnalni krog

Znižan KT
↓ volumen krvi
LEDVICE
angiotenzin I
pljuča
skorja nadledvične žleze
aldosteron
angiotenzin II
LEDVICE
Normalni KT

Centralni uravnalni krog

nevrohipofiza
volumen in elektrolitska sestava krvi
LEDVICE
adiuretski hormon
povečana resorbcija vode
hipotalamus

Uravnavanje volumna in elektrolitske sestave tekočin med telesni naporom

Prilagojeni športniki izgubijo med krajšimi intenzivnejšimi napori dva litra znoja v eni uri.

Homeostaza telesne toplote

Oddajanje toplote omogočajo štiri fizikalni procesi:

- * konvekcija (prenos toplote z enega mesta na drugo – kri, zrak)
- * kondukcija (prenos toplote med dvema predmetoma, ki sta v stiku)
- * radiacija (prenos toplote med telesi, ki niso v neposredne stiku)
- * evaporacija (oddajanje telesne temperature z izparevanjem telesne tekočine)

Toplota nastaja pri vsaki aktivnosti celic. Uravnavanje temperature se vrši preko spremembe znojenja, spremembe dejavnosti skeletnih mišic, premera arteriol v koži. Toplotni receptorji so v hipotalamu in so občutljivi na majhna nihanja temperature arterijske krvi. Organizem se hitreje privaja na vročino kot na mraz. Periferni receptorji za mraz so v koži (in tudi vročino).

Središče za uravnavanje temperature je v hipotalamu, ki deluje kot termostat nastavljen na 37°C.

Uravnavanje telesne temperature med telesnim naporom

Pri naporu se zaradi povečanega metabolizma v mišičnih celicah močno poveča proizvodnja toplote. Pri naporu prihaja do hitrejšje cirkulacije krvi skozi kožo in povečanja znojenja. Vendar se temperatura pri naporih dvigne na nov višji nivo (ki je za kakšno stopinjo višja od 37°C).

vazokonstrikcija
vazodilatacija
žleze znojnice
skeletno mišji
je
š
itnica
adrenalin
HIPOTALAMUS
referen
na temperatura

periferni toplotni receptorji
centralni receptroji v hipotalamusu

UC

R

IO

Uravnavanje telesne temperature:

Napor v neugodnih klimatskih razmerah – visoka temperatura in visoka relativna vlažnost

Visoka temperatura okolja pomeni zmanjšan temperaturni gradient med okoljem in površino kože in s tem tudi med jedrom in lupino. To omejuje oddajanje toplote s fizikalnimi procesi. Visoka vlaga ovira oddajanje toplote z izparevanjem. Posledica nezadostnega oddajanja toplote je naraščanje notranje telesne temperature – to pa zmanjšuje zmogljivost.

Napor v vročem in vlažnem okolju je dodatna obremenitev za srčno–žilni sistem. V vročem okolju lahko organizem vzdržuje toplotno ravnovesje med naporom le nekaj časa, tako da se povečuje frekvenca srca, pretok krvi skozi kožo in količina znoja. To je edini način oddajanja toplote, če temperatura zraka preseže temperaturo kože (32–34°C). Visoka vlažnost pa omejuje še ta edini način oddajanja toplote, ker preprečuje izparevanje znoja.

Homeostaza kisika – vzdržljivost

VO₂max je največja količina O₂, ki smo jo sposobni porabiti v eni minuti in predstavlja naš energijski potencial. Na velikost VO₂max vplivajo morfološke značilnosti, starost, spol, raven treniranosti in športna zvrst.

Dejavniki, ki vplivajo na VO₂max so:

- notranji:
 - * ventilacija
 - * difuzija
 - * MVS
 - * volumen krožeče krvi
 - * koncentracija Hb
 - * disociacija oksihemoglobina
 - * energijska kapaciteta in intenzivnost mišičnih celic

- zunanji:
 - * vrsta obremenitve
 - * parcialni tlak O₂ v atmosferi
 - * klimatski dejavniki

Ventilacija

Velikost ventilacije uravnava dihalni center. Ekonomičnost dihanja je večja pri počasnem in globokem dihanju. Ventilacija je najbolj ekonomična pri telesnem naporu, ki zahteva 50% VO₂max. Ventilacijski ekvivalent pove, koliko l zraka je potrebno vdihniti za vsak porabljen l O₂.

$$V_{eq} = MMV / VO_2$$

Vzdržljivost

Vzdržljivost je sposobnost, ki omogoča, da se določen telesni napor izvaja daljši čas brez zmanjšanja njegove intenzivnosti (brez pojava utrujenosti).

Splošna aerobna vzdržljivost

Med telesnim naporom je preskrba mišičnih celic s O₂ nemotena. Energija za mišično krčenje se sprošča pri oksidaciji ogljikovih hidratov in maščob. Telesna aktivnost je torej odvisna od oksidacijske (aerobne) energijske kapacitete posameznika.

Splošno aerobno vzdržljivost delimo na:

- kratkotrajno: 3–10min, viri energije: 100% izrabljena maksimalna količina oksidacijske energije, delež anaerobne energije je prisoten (20 - 40%). Omejevalni dejavniki: velikost max porabe O₂, toleranca na mlečno kislino.
- srednjo: 10–30min, viri energije: 90–95% izrabljena maksimalna količina oksidacijske energije, delež anaerobne energije je manjši. Omejevalni dejavniki: velikost max porabe O₂, sposobnost posameznika, da čim dlje zadrži porabo O₂ na 90–95% max, toleranca na mlečno kislino.
- dolgotrajno: nad 30min, viri energije: 80–85% izrabljena maksimalna količina oksidacijske energije, omejitveni dejavniki: količina glikogenskih rezerv, učinkovitost izrabe max količine O₂, velikost relativne max porabe O₂, kapilarizacija.

Oksigenacija tkiv (mišic) je neposredna posledica treh dejavnikov:

1. prekrvavljenost tkiv
2. oksiforne kapacitete krvi
3. sposobnosti celic, da porabijo prenesen kisik

Izlo

anje hormonov med telesnim naporom: poviša se raven ravnega hormona, ki povzroča lipolizo v maščobnih celicah, kadar je koncentracija inzulina nizka.

Po telesnem naporu se zvišata inzulini in testosteron. Aktivira se anabolni učinek testosterona na beljakovine.

Znaki utrujenosti transportnega sistema za O₂ pri dolgotrajni splošni aerobni vzdržljivosti:

4. zmanjša se utripni volumen srca,
5. zniža se sistolični krvni tlak,
6. zmanjša se ekonomičnost dihanja,

7. pojavi se hemokoncentracija.

Splošna anaerobna vzdržljivost

Je sposobnost izvajanja intenzivnih telesnih naporov v anaerobnih pogojih.

Splošno dinamično anaerobno vzdržljivost delimo na:

- kratkotrajno: do 20s, viri energije: 85 - 95% energije se sprošča s fosfogenskimi procesi
- srednjo: 20–60s, glikoliza
- dolgotrajno: 60–120s, še vedno prevladuje glikoliza, poveča pa se delež oksidacijske energije

Splošna anaerobna dinamična vzdržljivost je odvisna od:

1. količine energijskih substanc v mišičnih celicah (ATP, CP, glikogen)
2. aktivnosti encimov, ki so potrebni za razgradnjo teh substanc (ATPaza, kreatinkinaza, glikolitični encimi)
3. kapacitete pufrskih sistemov, ki nevtralizirajo nastajajočo mlečno kislino

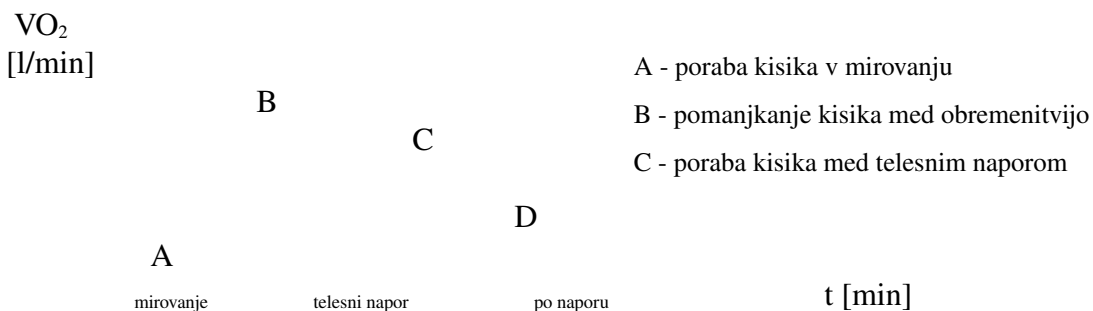
Kemični pufri so v celičnih in izvenceličnih tekočinah. Funkcija kemičnih pufrov je vzdrževanje kislo-alkalnega ravnovesja, kljub naraščanju ali padanju koncentracije H^+ ionov. Kot pufer delujeta tudi ledvice in pljuča; pljuča odstranjujejo presežek CO_2 , ledvice pa uravnavajo količino HCO_3^- ionov.

Anaerobno splošno dinamično vzdržljivost posameznika in čas, potreben za ponovno vzpostavitev homeostaze, ugotavljamo z merjenjem:

1. kisikovega dolga,
2. koncentracije mlečne kisline v krvi in mišicah,
3. pH in določanjem alkalnih rezerv v krvi in mišicah,
4. količine dela.

Čas, potreben za vzpostavitev ravnovesja, merimo s kisikovim dolgom:

$$DO_2 = (VO_2 \text{ po obremenitvi} - VO_2 \text{ pred obremenitvijo}) * \text{čas}_{\text{po obremenitvi}}$$



Kisikov dolg je količina O_2 porabljena v času po telesnem naporu in je višja od porabe O_2 v mirovanju.

MIŠICA

MIŠIČNA CELICA – zgradba

Mišice so zgrajene iz nekaj 100 do 100.000 mišičnih celic.

Mišična celica (miofibr) je sestavljena iz mišičnih vlakenc.

Mišična vlakna (miofibrile) so sestavljena iz mišičnih nitk (miofilamentov).

V **miofibrili** so tri vrste proteinov:

- * krčljivi proteini (miozinski in aktinski miofilamenti)
- * uravnalni proteini (tropomiozin, troponin)
- * strukturni proteini (protein M, alfa aktin, tinin)

Sarkomera

Sarkomera predstavlja najmanjšo funkcionalno enoto mišične celice. V vsaki miofibrili si zaporedno sledijo številne sarkomere.

miozinska nitka - debela nitka

I pas

aktinska nitka

A pas

I pas

H pas

tropomiozin

Sarkomera

tinin

M protein

Miozinska nitka

Sestavljena je iz miozinskih molekul, ki imajo dolg rep in glavico. Glavice miozinskih nitk imenujemo tudi prečni mostički. Na glavicah sta dve aktivni mesti: eno mesto je za vezavo z aktinom, drugo mesto pa ima funkcijo katalizatorja hidrolize ATP-ja.

Molekula miozina

Aktinska nitka

Sestavljena je iz številnih globularnih molekul aktina, ki tvorijo dve verigi, oviti med seboj. Na aktinski nitki so razporejena mesta za vezavo z miozinom. V stanju mirovanja so prekrita z nitasto molekulo tropomiozina. V sklopu aktinske niti so v določenih razdaljah postavljeni še skupki po tri globularne molekule troponina: troponin I, C in troponin T.

troponin (I, C, T)

tropomiozin

Aktinska nitka

Mišično vreteno

Mišično vreteno je receptor, ki daje čutno informacijo o absolutni dolžini in hitrosti spremembe dolžine mišične celice.

jedra v vrečki

jedra v verigi

krčljivi del

kapsula

del, ki se pripenja na mišično celico

gama motonevron

miofibre

aferentna vlakna

Kita

Mišica je s kito pripeta na kost. Kite, vezi in ovojnice so tri bistvene strukture, ki povezujejo, ovijajo in stabilizirajo sklepe. Kite so iz gostega vezivnega tkiva, ki ga sestavljajo bolj ali manj vzporedno postavljena kolagenska vlakna.

Vloga kalcija in uravnalnih proteinov pri mišičnem krčenju

Prehajanje mišične celice iz faze mirovanja v fazo krčenja je odvisno od položaja uravnalnih proteinov. Njihov položaj pa uravnavajo kalcijevi ioni. Če je koncentracija Ca^+ nizka - mirovanje, ko pa se koncentracija Ca^+ v sarkoplazmi poveča – znak za začetek sodelovanja med aktinom in miozinom.

Pogoj za začetek mišičnega krčenja je odpiranje Ca^+ kanalov, kar je posledica draženja mišične celice. Mišično celico vedno vzdraži dražljaj, ki pripotuje po nevrilu alfa motonevrona. Vsak alfa motonevron oživčuje 10–1700 mišičnih celic. Mišične celice tvorijo skupaj z alfa motonevrom **motorično enoto**. Male motorične enote so odgovorne za fina, delikatna gibanja. Velike motorične enote so v mišicah, s katerimi opravljamo aktivnosti, ki zahtevajo veliko moč.

EKSCITACIJSKI POSTSINAPTICNI POTENCIAL – povzročajo ga kemični procesi, ki Na^+ kanale odpirajo in povzročajo depolarizacijo.

INHIBICIJSKI POSTSINAPTICNI POTENCIAL - povzročajo ga kemični procesi, ki odpirajo K^+ in Cl^- kanale in povzročajo hiperpolarizacijo.

Glede na tip mišičnih celic v motorični enoti imamo tri tipe motoričnih enot:

- * počasne oksidacijske (tip I)
- * hitre oksidacijske (tip IIA)
- * hitre glikolitične (tip IIB)

Motorična enota:

M
I
Š
I
Č
N
E

C
E
L
I
C
E

belina
prečni presek hrbtenjače
sivina
alfa motonevron

Zaporedje dogodkov v živčno-mišičnem stiku pri mišičnem krčenju:

- * elektrokemični dražljaj na končnih vejicah nevrilu alfa motonevrona
- * acetilholin prenese dražljaj na motorično ploščico in povzroči akcijski potencial
- * dražljaj se širi v notranjost mišice
- * ta dražljaj povzroča odpiranje Ca^+ kanalov
- * Ca^+ vpliva na regulacijske proteine, ti pa povzročijo krčenje

Aktivnost vsake mišične celice se deli na tri faze:

- * **Latentna faza:** je obdobje od delovanja živčnega impulza na mišično celico do začetka naraščanja napetosti v njej.
- * **Faza krčenja:** je obdobje od začetka naraščanja napetosti do maksimuma napetosti.
- * **Faza sprostitve:** je obdobje, ki je potrebno, da se napetost spusti na začetno vrednost v mirovanju.

MIŠIČNA CELICA – sila krčenja

Na vsak živčni impulz mišica odgovori z maksimalnim krčenjem. Sila, ki se razvije v mišični celici je posledica:

- * frekvence živčnih dražljajev
- * začetne dolžine mišične celice
- * odnosa med silo in hitrostjo krajšanja mišične celice
- * tipa mišične celice
- * utrujenosti mišične celice

Mišična celica razvije maksimalno silo, kadar je njena dolžina pred začetkom krčenja enaka 1,2x vrednosti njene dolžine v mirovanju.

Sarkomera pri 170% - ni nobenega kontakta med aktinom in miozinom – krčenje ni možno.
Sarkomera pri 65% - Z liniji pritisneta na miozinske nitke in preprečita naraščanje napetosti

Alfa motonevron – motori

na enota

α motonevron neposredno aktivira mišične celice in povzroči njihovo krčenje. En α motonevron oživčuje od 10–1700 mišičnih celic in skupaj z njimi tvori motorično enoto.

V vsakdanjem življenju so najpogosteje aktivirane majhne, počasne motorične enote, ki so počasi utrudljive in zagotavljajo fino uravnavanje vsakodnevnih aktivnosti, skrbijo za uravnavanje telesne drža, ... Večje, hitre in hitro utrudljive motorične enote pa se aktivirajo občasno – pri aktivnostih, kjer se razvijejo velike sile (meti, skoki, šprinti).

Sila, ki jo mišica razvije je odvisna od števila, velikosti in tipa aktiviranih motoričnih enot.

Mišična moč

Mišična sila – sposobnost mišice, da opravi delo.

Mišična jakost – največja sposobnost mišice, da razvije silo.

Mišična moč – hitrost opravljenega dela.

Mišična moč je produkt sile in hitrosti. Maksimalna moč se običajno razvije pri $1/3$ max hitrosti krajšanja mišice.

ŽIVČEVJE

Osrednje živčevje se deli na:

- * možganski polobli (telenkefalon) z bazalnimi gangliji
- * dienkefalon s talamom in hipotalamom
- * male možgane
- * možgansko deblo (srednji možgani, most, podaljšana hrbtenjača)
- * hrbtenjača

Telesa živčnih celic so zbrana v sivini osrednjega živčevja, kjer so vse povezave med živčnimi celicami; to so mesta kjer poteka obdelava informacij in oblikovanje odločitev. Izrastki živčnih celic (nevriti ali aksoni) tvorijo v osrednjem živčevju belino in povezujejo sive predele različnih nivojev med seboj.

Osrednje živčevje je obojesmerno povezano z vsemi deli telesa, povezava teče po perifernem živčevju (12 parov možganskih in 31 parov spinalnih živcev).

Centralno uravnavanje gibanja

Uravnavanje poteka s spreminjanjem števila aktiviranih motonevronov in/ali frekvence pošiljanja impulzov po posameznih motonevronih.

ŽIVČNO MIŠIČNI SISTEM tvorijo trije elementi:

- * **uravalni center:** je v osrednjem živčevju in ima dve ravni: spinalno in supraspinalno raven.
- * **efektorji:** so prečno progaste mišične celice in krčljivi del intrafuzalnih vlaken mišičnega vretena
- * **receptorji:** so mišično vreteno, Golgijev kitni organ, taktilni in bolečinski receptorji v koži nad sklepi

in povezave med njimi:

- * aferentne periferne poti,
- * eferentne periferne poti,
- * centralne proge.

U R A V N A L N I C E N T E R

Senzorične proge
Periferna aferentna pot
Periferna eferentna pot

EFEKTOR

Motorične proge
alfa motonevron

RECEPTOR

TALAMUS

MOTORIČNE PROGE ↓

Piramidna (kortikospinalna) proga povezuje motorični del skorje z alfa motonevroni.

Ekstrapiramidna (retikulospinalna) proga povezuje možgansko deblo (retikularna formacija) z alfa motonevroni.

SENZORIČNE PROGE ↑

Spinotalamična proga povezuje spinalno raven s talamom.

Spinocelebralna proga povezuje spinalno raven z malimi možgani.

Multinevronska pot povezuje možgansko skorjo s talamom, malimi možgani in bazalnimi gangliji. Pomembna je za pokončno držo in koordinacijo večjih mišičnih skupin.

Sistem, ki zaznava dolžino mišičnih celic

Spremembo dolžine mišičnih celic kontrolira alfa–gama koaktivacija. Dolžino mišičnih celic zaznajo mišična vretena, ki so občutljiva na statične in dinamične spremembe dolžine mišice.

Sistem, ki uravnava napetost mišičnih celic

Spremembe napetosti zaznajo receptorji v kitah (Golgijev kitni organ). Občutljivi so na povečanje napetosti v kiti. Prag vzdraženja Golgijevega kitnega organa je pri raztezanju sproščene mišice višji od pragu vzdraženosti mišičnega vretena.

Receptorji pošiljajo po periferni aferentni poti informacije o napetosti mišice, ki se krči, in preko polisinaptičnega refleksa inhibirajo alfa motonevron. Informacije potujejo po ascendentnih progah do motoričnega kontrolnega sistema, ki je stalno informiran o napetosti mišice.

Refleks mišičnega vretena in Golgijevega kitnega organa:

	alfa motonevron (periferna eferentna pot)
	mišične celice (efektor)
mišično vreteno (receptor)	
	bela substanca hrbtenjače
siva substanca	
	senzorni nevron (periferna aferentna pot)

M
I
Š
I
C
A

možganska skorja
talamus
mali možgani
motonevroni v hrbtenjači
proprioreceptorji
EFEKTORJI
mišice
oči
Uravnavanje pokončne drže in ravnotežja

Na supraspinalni ravni sodeluje pri uravnavanju mišične napetosti predvsem **možgansko deblo z retikularno formacijo**, ki je integracijska postaja za upravljanje pokončne drže in ravnotežja.

Retikularna formacija je povezana s strukturami v osrednjem živčevju in usklajuje senzorične in motorične informacije. Retikularna formacija vzdržuje stalni tonus mišic, uravnava stanje budnosti in spanja po svojem notranjem ritmu. Koordinira motorične, senzorične in vegetativne impulze v skupno pripravljenost na akcijo.

Mali možgani koordinirajo hitre gibe, sodelujejo pri popravljanju gibov, zaustavijo gib na predvideni točki, uravnavaajo časovno zaporedje gibov in sodelujejo pri vzdrževanju pokončne drže in ravnotežja.

Povezave malih možganov:

Motorična skorja
Nucleus ruber
Mišična vretena
Golgijev kitni organ
Receptorji za dotik
talamus
Retikularna formacija
Vestibularna jedra
MALI MOŽGANI

Koordinacija

Je sposobnost učinkovitega oblikovanja in izvajanja kompleksnih gibalnih nalog in je posledica optimalne usklajenosti delovanja vseh ravni osrednjega živčevja in skeletnih mišic.

Za koordinacijo je najpomembnejši spomin nevronske strukture v obliki engramov, ki so permanentna sled v molekulah RNK živčnih celic.

Dejavniki, ki vplivajo na koordinacijo:

1. medsebojno usklajeno delovanje agonistov in antagonistov
2. stanje sistema za vzdrževanje pokončne stoje in ravnotežja
3. osnovne fizikalne zakonitosti, vezane na biomehaniko gibanja
4. stopnja usklajenosti aktivnosti posameznih motoričnih enot v eni mišici

Kvaliteta koordinacije je odvisna od usklajenosti multinevronske poti in piramidnega motoričnega sistema in je posledica preklopa uravnavanja izvajanja gibalnih struktur iz kortikalne ravni na subkortikalno.

Zaradi stalnega spreminjanja dejavnikov okolja, sta za koordinacijo pomembni:

5. sposobnost prepoznavanja nove situacije in
6. sposobnost hitrega preklapljanja iz enega motoričnega programa na drugega.

Trening koordinacije mora zagotoviti:

7. razvoj motoričnih stereotipov,
8. razvoj čim večjega števila variantnih motoričnih programov,
9. razvoj sposobnosti prepoznavanja novo nastale situacije in
10. razvoj sposobnosti hitrega preprogramiranja.

Najboljši učinek ima 50–100x ponovitev določenega giba v enem mikrociklusu.

Shema nadzora pri učenju gibov:

Želeni gib
nadzornik
Shranjeni motorični programi
okolje
primerjalnik
Izvedba giba
Povelje za izvedbo giba
1
2
11=1
3
8
4
9
6
7
10
5
1

Metode raztezanja

Pasivno (statično) raztezanje – s počasnim gibom gremo v položaj, pri katerem se raztegne skrajšana mišica, pri raztegovanju nam pomaga sila teže ali druga zunanja sila. V položaju vztrajamo 15–30 sekund. Vztrajanje aktivira Golgijeve kitne organe, ki povzročijo inhibicijo alfa motonevronov, posledica je zmanjšanje napetosti v mišici, ki jo raztezamo.

Antagonist napni – sprosti – skrajšano (antagonistično) mišico izometrično napnemo tako, da se upira zunanji sili ali sili teže. Po krčenju, ko se mišica sprosti, nadaljujemo z gibom, ki povzroči raztegnitev prej napete mišice.

Agonist napni – sprosti – naredimo gib (krči se agonist), ki povzroči nateg skrajšane (antagonistične) mišice. Sledi izometrično krčenje agonista prosti zunanjemu upor ali sili teže – 8 sekund. Ko se mišica sprosti, nadaljujemo z gibom v smislu povečevanja obsega giba. V končnem položaju vztrajamo 15–30 sekund.