

# Ergonomska ocena telesne obremenitve v rehabilitaciji

Avtor:  
doc. dr. Mojca Amon

## HOTENO GIBANJE SE ZAČNE IN KONČA V MOŽGANIH

Centralni živčni sistem igra osrednjo vlogo za začetek in konec gibanja. Hoteno gibanje se začne z aktivacijo motoričnih enot hrbtenjače in temporalnega predela možganov in konča z njihovo izključitvijo. Pri koordiniranem mišičnem gibanju, kot je hoja, je učinkoviti izkoristek sile med izvajanjem kompleksnejših naučenih gibanj odvisen od serije številnih koordiniranih živčno-mišičnih vzorcev in ne le od moči določenih mišičnih skupin vključenih v aktivnost. Sposobnost mišičnega metabolizma in kardiorespiratorna kapaciteta sta poglavitna omejitvena dejavnika aerobne zmogljivosti <sup>(1)</sup>.

## DELOVANJE ŽIVČNO – MIŠIČNEGA SISTEMA

Živčni sistem človeka se deli na dva velika dela in sicer: centralni živčni sistem (CŽS), ki zajema možgane in hrbtenjačo in periferni živčni sistem (PŽS), ki vključuje nevrone, katerih naloga je prenos informacij v in iz centralnega živčnega sistema. PŽS vključuje aferentne (dovodne) nevrone, katerih namen je prenašanje senzornih informacij iz periferije v CŽS in eferentne (odvodne) nevrone, ki informacije prenesajo iz CŽS v periferna tkiva. Med eferentne nevrone spadajo avtonomni (visceralni, nehoteni, vegetativni) in somatski (motonevroni) nevroni. Avtonomni nevroni vplivajo na srčno mišico, znojenje, žleze slinavke, nekatere endokrine žleze in gladke mišične celice v prebavilih ter stenah žil. Somatska živčna vlakna oživčujejo skeletne mišice in posledica njihove aktivacije je kontrakcija mišice. Prenos med nevromom in mišico poteka preko skeletnega živčno - mišičnega stika (živčno - mišična enota, motorična ploščica), ki je visoko specializiran sistem živčnega prenosa. Živčni akcijski potencial povzroči mišični akcijski potencial na motorični ploščici, kar povzroči kontrakcijo mišice <sup>(2)</sup>.

## KARDIORESPIRATORNA KAPACITETA

Prilagoditev telesa na telesno obremenitev zajema poleg kompleksne humoralne in cirkulatorne prilagoditve tudi prilagoditev celotnega nevro-mišičnega ter kardiorespiratornega sistema.

## RESPIRATORNI SISTEM IN TRANSPORT KISIKA

Med centralnimi in perifernimi dejavniki so pljuča kot organ in vmesna postaja z nalogo oksigenacije krvi v različnih pogojih <sup>(3)</sup>. V mirovanju je pljučna ventilacija okrog 5 L·min<sup>-1</sup>, s telesno obremenitvijo lahko naraste tudi do 15-krat, kar je posledica sinergijskega učinka do 4-krat povečanega dihalnega volumena in do 6-krat povečane frekvence

dihanja. Za optimalno oskrbo tkiv s O<sub>2</sub> in odplavljanje metabolnih produktov mora biti pljučna ventilacija natančno usklajena z delovanjem kardiovaskularnega sistema. V pljučnih alveolah vstopa v kri O<sub>2</sub> in sočasno se iz krvi odplavlja CO<sub>2</sub> ter H<sub>2</sub>O.

## MINUTNI IZTISNI VOLUMEN SRCA IN PRENOS KISIKA

Poglavitna prilagoditev kardiovaskularnega sistema na povečano porabo O<sub>2</sub> med telesno dejavnostjo je ustrezno povečan krvni pretok skozi delujoče mišice, kar zagotavlja nemoten potek metabolnih procesov <sup>(4)</sup>. Za to je potrebno povečanje minutnega iztisnega volumna srca, ki je posledica

1. povečanega utripnega iztisnega volumna srca in
2. povečane frekvence srčnega utripa ( $f_{SU}$ ).

Povprečni minutni iztisni volumen srca v mirovanju je 5,6 L·min<sup>-1</sup> ali 3,4 L·min<sup>-1</sup> na m<sup>2</sup> telesne površine. Pri povečanju  $f_{SU}$  (do 180 utrip·min<sup>-1</sup>) in povečanju utripnega iztisnega volumna lahko minutni iztisni volumen naraste na 15 do 20 L·min<sup>-1</sup>. Kot posledica vadbe vzdržljivosti v daljšem časovnem obdobju se pojavi hipertrofija miokarda ter poveča se utripni iztisni volumen srca tako v mirovanju kot med submaksimalno in maksimalno telesno obremenitvijo. Maksimalna  $f_{SU}$  dobro treniranih ljudi se ne razlikuje od vrednosti netreniranih posameznikov, pač pa je frekvenca v mirovanju pri treniranih športnikih lahko bistveno nižja, tudi pod 40 utrip·min<sup>-1</sup>.

Srce je pomemben člen kisikovega transportnega sistema, saj v veliki meri vpliva na to, koliko krvi in s tem O<sub>2</sub> se bo preneslo mišičnim celicam. Pri človeku z normalno vsebnostjo hemoglobina je vsebnost O<sub>2</sub> v arterijski krvi v povprečju 200 mL·L<sup>-1</sup>. Količina O<sub>2</sub> v celotnem volumnu krvi v mirovanju je torej 1000 mL·min<sup>-1</sup>, poraba O<sub>2</sub> v mirovanju pa je v povprečju 250 - 300 mL·min<sup>-1</sup>, kar pomeni, da se 750 mL neuporabljenega O<sub>2</sub> vrne nazaj v srce. Med maksimalno telesno obremenitvijo, ko minutni iztisni volumen srca naraste na okoli 16 L·min<sup>-1</sup>, je torej vsako minuto 3200 mL O<sub>2</sub> na razpolago delujočim mišicam.

## RAZKOŠJE KAPILARNE MREŽE

Gostota kapilarne mreže v mišici je pomemben člen pri oskrbi mišičnih celic s O<sub>2</sub>. Difuzna kapaciteta membrane je odvisna od površine in debeline ter prepustnosti za molekule O<sub>2</sub>. Difuzijski prenos O<sub>2</sub> iz kapilarne mreže je v

celici pospešen, saj je pri povečani temperaturi mišice in hkrati povečani koncentraciji CO<sub>2</sub> v tkivu in krvi olajšana disociacija med O<sub>2</sub> in hemoglobinom (Bohrov učinek).

### METABOLIZEM

Neposredni vir kemične energije za mišično kontrakcijo je adenzin trifosfat (ATP). Mišične celice vsebujejo le določeno količino ATP-ja. Zato se le-ta neprestano obnavlja, da ostaja intracelularna koncentracija ATP-ja konstantna tudi takrat, ko se potrebe po energiji povečajo. Med tremi načini obnove ATP-ja so:

1. defosforilacija kreatin fosfata - kreatin fosfatne rezerve v mišici so učinkovite za kratkotrajne telesne aktivnosti, visoko zahtevne telesne aktivnosti izvedene v 10 - 20 sekundah (tek na kratke razdalje, 100 metrov);
2. anaerobna glikoliza, ki se zgodi kasneje kot kreatin fosfatna defosforilacija, po maksimalno 30-ih sekundah;
3. oksidacija maščobnih kislin in glukoze je potrebna pri vztrajnostnih, dlje trajajočih telesnih obremenitvah, kjer pri produkciji energije pomagajo kreatin fosfat (PCr), ogljikovi hidrati (OH) in maščobe (M).

Zaradi odložene maščobne oksidacije med daljšo aktivnostjo je zmanjšanje PCr in proizvodnje laktata med prvimi minutami neizogibno in v veliki meri odvisno od intenzivnosti vadbe. Pri dolgotrajni telesni dejavnosti je oksidacija OH in M bistvenega pomena za ponovno nastajanje ATP-ja. Energijskim potrebam do 50 in 60 % VO<sub>2maks</sub> intenzivne telesne obremenitve zadosti nastajanje ATP-ja z oksidacijo M.

### ZMOGLJIVOST MIŠIČ

Poleg kardiorespiratorne kapacitete, in z njo povezane maksimalne aerobne kapacitete, je eden ključnih dejavnikov delovne sposobnosti posameznika njegova mišična zmogljivost. Le-ta je skupek mišične jakosti, moči in vzdržljivosti.

### JAKOST MIŠICE

Jakost mišice je enaka maksimalni sili oziroma navoru, ki ga mišica lahko razvije pri danih pogojih. Lahko jo tudi normaliziramo, npr. na maso ali površino prečnega prereza mišice. Mišična jakost dvigalca uteži svetovnega razreda, ki ima prečni prerez mišice quadriceps večji od 150 cm<sup>2</sup> lahko torej ocenimo na 525 kg<sup>(5)</sup>.

### MOČ MIŠICE

Moč mišice je količina opravljenega dela, ki ga mišica opravi v določeni časovni enoti. Moč mišice določajo tudi intervali kontrakcije in število kontrakcij na minuto. Običajno moč merimo v vatih ( $W = J \cdot s^{-1} = N \cdot m \cdot s^{-1}$ ). Sposobnost aktivacije maksimalne mišične moči traja le kratek čas.

### VZDRŽLJIVOST MIŠICE

Vzdržljivost je sposobnost človeka, da izvaja dolgotrajno telesno dejavnost v določenih pogojih brez zmanjševanja

njene učinkovitosti. Kot vsaka telesna sposobnost, je tudi vzdržljivost posledica številnih dejavnikov. Med najpomembnejše spadajo psihološke in biološke značilnosti ter dejavniki okolja. Biološko je vzdržljivost odvisna od transporta kisika, ta pa od delovanja pljuč, volumna krvi in vsebnosti hemoglobina, delovanja srca, zmogljivosti ekstrakcije kisika iz krvi in mišičnih oksidativnih potencialov.

### MERJENJE VZDRŽLJIVOSTI MIŠIČ

Vzdržljivost mišic lahko ocenimo na več načinov, in sicer tako, da ocenjujemo (1) izometrično vzdržljivost; kjer ocenjujemo maksimalni čas, v katerem posameznik lahko statično napenja mišico s konstantno obremenitvijo; (2) izotonično vzdržljivost; tu definiramo število uspešnih ponovitev konstantne teže bremena v določenem ritmu in tehniki dviga; (3) izokinetično vzdržljivost mišic, kjer dinamometer določa konstantno kotno hitrost gibajočega telesnega segmenta.

### MERJENJE AEROBNE ZMOGLJIVOSTI TELESA

Kardio-respiratorna kapaciteta in sposobnost živčno-mišičnega sistema skupaj določata mejo vzdržljivosti. Za merjenje aerobne zmogljivosti telesa so navadno v uporabi (1) maksimalni testi, (2) submaksimalni testi in (3) neizvedbeni testi. V športni diagnostiki in diagnostiki zdravih posameznikov uporabljamo maksimalno obremenitveno testiranje. Submaksimalni testi se izvajajo v primeru kardiorespiratornih, mišično-skeletnih, živčno-mišičnih težav, ali pri posameznikih, ki poročajo utrudljivost, težko dihanje, splošno telesno oslabelostjo in bolečine pri vsakodnevni aktivnostih (6). V klinični fizioterapevtski diagnostiki uporabljamo številne submaksimalne teste za določanje telesne pripravljenosti različno starih posameznikov. Pri neizvedbenih testih se predvidena maksimalna aerobna zmogljivost predvidi na podlagi starosti, spola, odstotka telesne maščobe, indeksa telesne mase ali anamnestičnih podatkih o telesni pripravljenosti. Bistvenega pomena je konsistenčnost izvedbe vadbenega protokola, evalvacije napredka in progresivnega stopnjevanja ergonomske obremenitve posameznika, ki je skladna z rehabilitacijskimi kratkoročnimi in dolgoročnimi cilji.

### Reference:

1. Kayser B. Exercise starts and ends in the brain. *Eur J Appl Physiol* 2003; 90(3-4): 411-419.
2. McArdle D. W. Katch I. F., Katch L.V. *Exercise Physiology Energy, Nutrition & Human Performance* 6th ed. Ch. 19 2007: 392
3. Dempsey J, Fregosi R. Adaptability of the pulmonary system to changing metabolic requirements. *Am J Cardiol* 1985; 55(10): 59-67.
4. Caputo F, Denadai BS. Effects of aerobic endurance training status and specificity on oxygen uptake kinetics during maximal exercise. *Eur J Appl Physiol* 2004; 93:1-2.
5. Guyton AC. *Textbook of medical physiology*. Philadelphia: WB Saunders Company 1991: 189.
6. Noonan V., Dean E. Submaximal exercise testing: clinical application and interpretation. *Phys Ther* 2000; 80 (8): 782-802.