

Ergonomska ocena napora: centralno in periferno mišično utrufanje

Avtorica:
doc. dr. Mojca Amon

UTRUFANJE

Utrufanje je navadno definirano kot upadanje proizvodnje mišične sile ali nesposobnost generiranja začetne mišične sile, ki se odraža v povišanju občutka napora. Pri intenzivni neprekinjeni telesni dejavnosti je značilno progresivno utrufanje, kar zasledimo pri mnogih športih in nekaterih fizično zahtevnejših poklicih. Takrat je tipično prisoten upad mišičnega glikogena, zmanjšanje cirkulirajočega krvnega sladkorja, hipertermija in progresivno izgubljanje telesnih tekočin ⁽¹⁾. Raziskovalci so opredelili dva različna pojavi, in sicer centralno in periferno utrufanje ⁽²⁾.

CENTRALNO UTRUFANJE

Model centralnega utrufanja oziroma utrufanja centralnega živčnega sistema predstavlja zmanjšano proizvodnjo moči med dolgotrajno obremenitvijo, ki lahko vodi v prenehanje telesne dejavnosti. Vzrok temu niso omejitve v fizioloških procesih delujočih skeletnih mišic ali katerihkoli perifernih organov. Gre za zmanjšano produktivnost mišic, ki je

posledica zmanjšane vzdraženosti motoričnih nevronov zaradi utrufanja motoričnih centrov v možganih. Utrufanje centralnega živčnega sistema se kaže kot zmanjšanje aktivacije nevronov, posledično upadanje produkcije sile in pojav mišičnega hipertonusa ⁽³⁾.

PERIFERNO UTRUFANJE

Periferno utrufanje je definirano kot zmanjšana sposobnost generiranja sile skeletne mišice zaradi upada akcijskega potenciala pri prenosu prek motorične ploščice ali oslabiljeno prepletanje prečnih mostičkov ob nespremenjenem ali povečanem nevrlnem prenosu. Živčno-mišično utrufanje otežuje doseg submaksimalnega ali maksimalnega vadbenega rezultata. Številni različni dejavniki povzročajo utrufenost motorične ploščice in ti so odvisni od zahtev specifične aktivnosti ⁽⁴⁾. Dejavniki, ki prizadenejo oskrbo energije vključujejo homeostatske spremembe znotraj mišice zaradi povečane akumulacije laktata.



Pri obremenitvi preko 60-% maksimalne porabe kisika (VO_{2maks}) se koncentracija laktata v plazmi izrazito poveča in po tej točki ne govorimo več o aerobni vzdržljivosti. Sistemski upad v pH stanju se pokaže v povečanem zaviranju kemičnih reakcij, potrebnih za mišično kontrakcijo. To vodi v pomanjkanje ATP-ja, ponavljajočo se mišično utrujenost in prekinitev mišičnega dela. Odplavljanje metabolnih produktov iz mišice s krvjo tako igra ključno vlogo v preprečevanju mišične utrujenosti⁽⁵⁾. Pomemben dejavnik utrujanja med dolgotrajno mišično aktivnostjo je tudi izčrpanje mišičnega glikogena⁽⁶⁾.

PRIMER: ERGONOMSKA OCENA TELESNO ZAHTEVNEGA VOJAŠKEGA POKLICA

V vojaškem poklicu so lahko določene naloge fizično različno zahtevne in lahko trajajo nekaj ur, dni in tudi nekaj tednov. Kljub pomembni dobri telesni pripravljenosti lahko dolgotrajen napor vodi v akutno ali kronično utrujenost⁽⁷⁾. Zato naj bi poklicno delo potekalo v stanju dinamične homeostaze, kar se nanaša na dinamično ravnotežje fizioloških (ohranjanje acidobaznega stanja, ozmotskega tlaka, telesne temperature, kardiovaskularne kapacitete, razmerja med anabolizmom in katabolizmom in podobno) ter psiholoških funkcij. Zaradi zahtev poklica je zdravstveno stanje posameznika pomembno že ob sprejemu v vojaški poklic. Med standardi zdravstvenega

stanja posameznika ob sprejemu v vojsko so pred desetletji veljali osnovni minimalni standardi (Washington, junij 2006), kot je tudi: ⁽¹⁾ *dobra razvitost mišic s sposobnostjo izvajanja maksimalnega napora za nedoločeno časovno periodo;* ⁽²⁾ *sposobnost izvajanja maksimalnega napora dlje časa. Med omenjenimi pogoji zasledimo naslednje odgovornosti, ki jih posameznik sprejme ob zaposlitvi v vojski: »Po standardu (78 AR 40-501; 27.06. 2006) velja za telesno pripravljenost: Vzdrževanje fizične in zdravstvene pripravljenosti je vojaška odgovornost posameznika, zlasti primerna fizična telesna pripravljenost. Vojak se obvezuje, da vzdržuje sebe v dobri fizični pripravljenosti, da lahko opravlja vojaške dolžnosti učinkovito. Če ima vojak zdravstvene težave, mora sam nemudoma poiskati zdravstveno pomoč.«* Pred sprejemom v vojaški poklic in tekom opravljanja poklica je za merjenje pripravljenosti posameznikov veljal osnovni borilni trening (Basic combat training), ki obsega standardni NATO test teka na dve miljii (3.218 m), kjer mora posameznik doseči najmanj 60 točk za uspešno opravljen test. Ta omejitev pomeni v starosti 22–26 let za moške najmanj v času 16:36 minut; in za ženske najmanj v času 19:36 minut. Pri sodobni evalvaciji specifičnega poklica nas zanimajo poglobljene značilnosti dela in posameznika. Slednje vključuje poznavanje absolutne in relativne ergonomske obremenitve posameznika.



ABSOLUTNA OBREMENITEV

Absolutna obremenitev je celotna dana obremenitev in mora biti za vse enaka, če želimo primerjati relativno obremenitev posameznika za določeno absolutno delo. Med aktivnostjo določeni porabi kisika ustrezajo določene vrednosti energijske porabe ($\text{kcal} \cdot \text{min}^{-1}$) in ravno tako določena frekvenca srčnega utripa (f_{SU}). Pri spremljanju mehanične učinkovitosti posameznika je v uporabi poraba kisika, katero pretvorimo v energijsko porabo. To pomeni, da predstavlja $1 \text{ L O}_2 = 5.0 \text{ kCal}$. Glede na fiziološke zahteve dela se dela lahko klasificirajo, kot je prikazano v Tabeli 1, ki velja za povprečno trenirane moške v dvajsetem letu starosti ⁽⁸⁾.

Energijsko porabo lahko izrazimo tudi z mnogokratnikom stopnje energijske potrebe v mirovanju, kjer je ⁽⁴⁾:

1 MET (metabolični ekvivalent) = $3,5 \text{ ml O}_2 \cdot \text{kg telesne teže} \cdot \text{min}^{-1}$

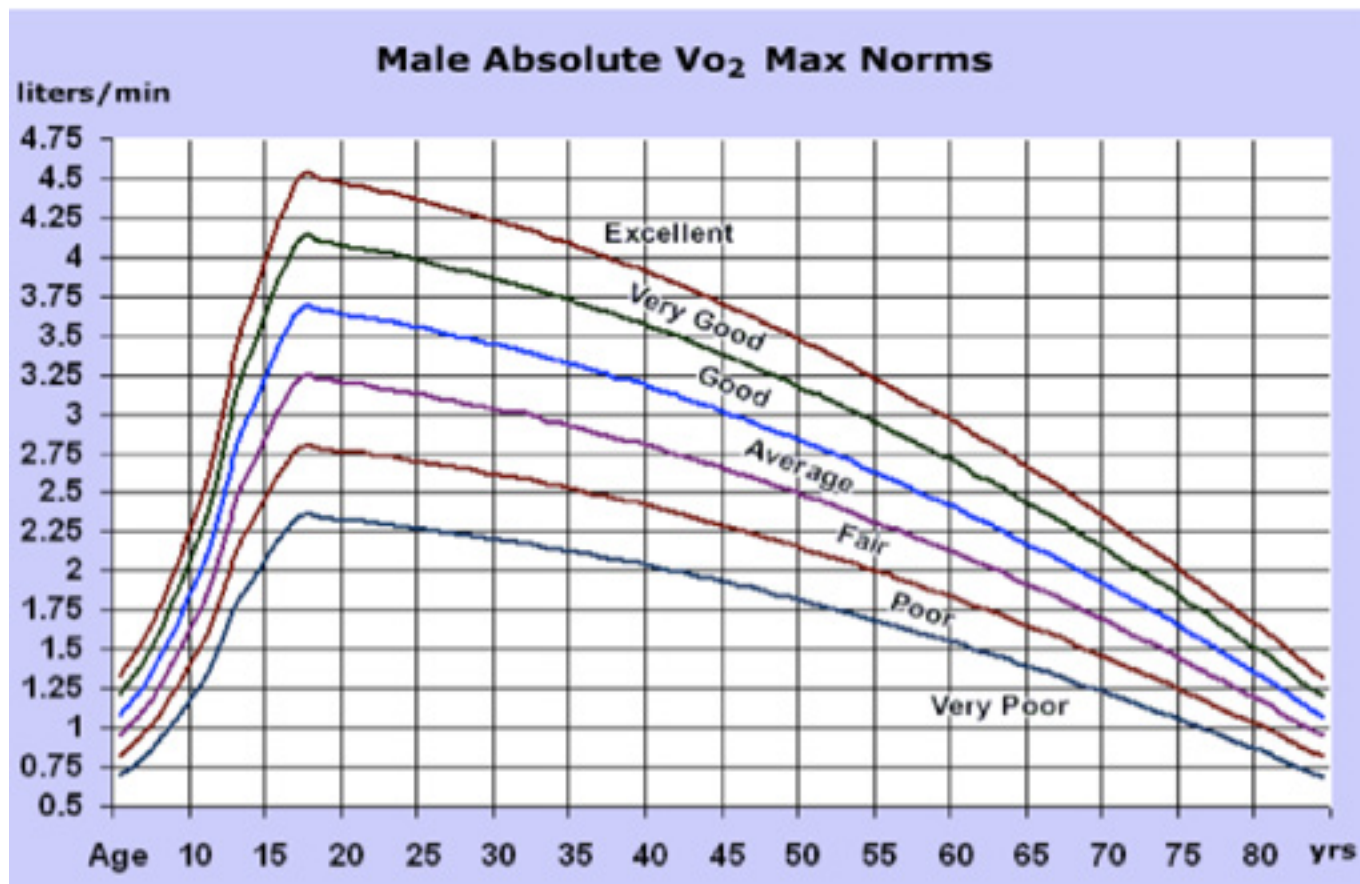
Upoštevač metabolizem, je en MET enako porabi kisika v mirovanju, to je pri 70-kg moškemu okrog $250 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$. Vadba, ki se izvaja pri 2 MET-ih, zahteva dvakratno energijsko potrebo v mirovanju (okrog $500 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$), pri 3 MET-ih zahteva trikratno energijsko potrebo v mirovanju, in tako dalje. Maksimalna delovna zmogljivost je odvisna od dejavnikov, kot so treniranost, telesna masa, zdravstveno stanje in starost. Absolutna poraba kisika označuje stopnjo aerobne zmogljivosti posameznika in se s starostjo zmanjšuje (Graf 1). Zaradi vpliva mišične mase na absolutno porabo kisika je aerobno zmogljivost posameznikov z različno telesno maso bolj primerno primerjati glede na VO_2 na kilogram telesne mase (Graf 2).

Tabela 1. Klasifikacija fizioloških zahtev dela ⁽⁸⁾.

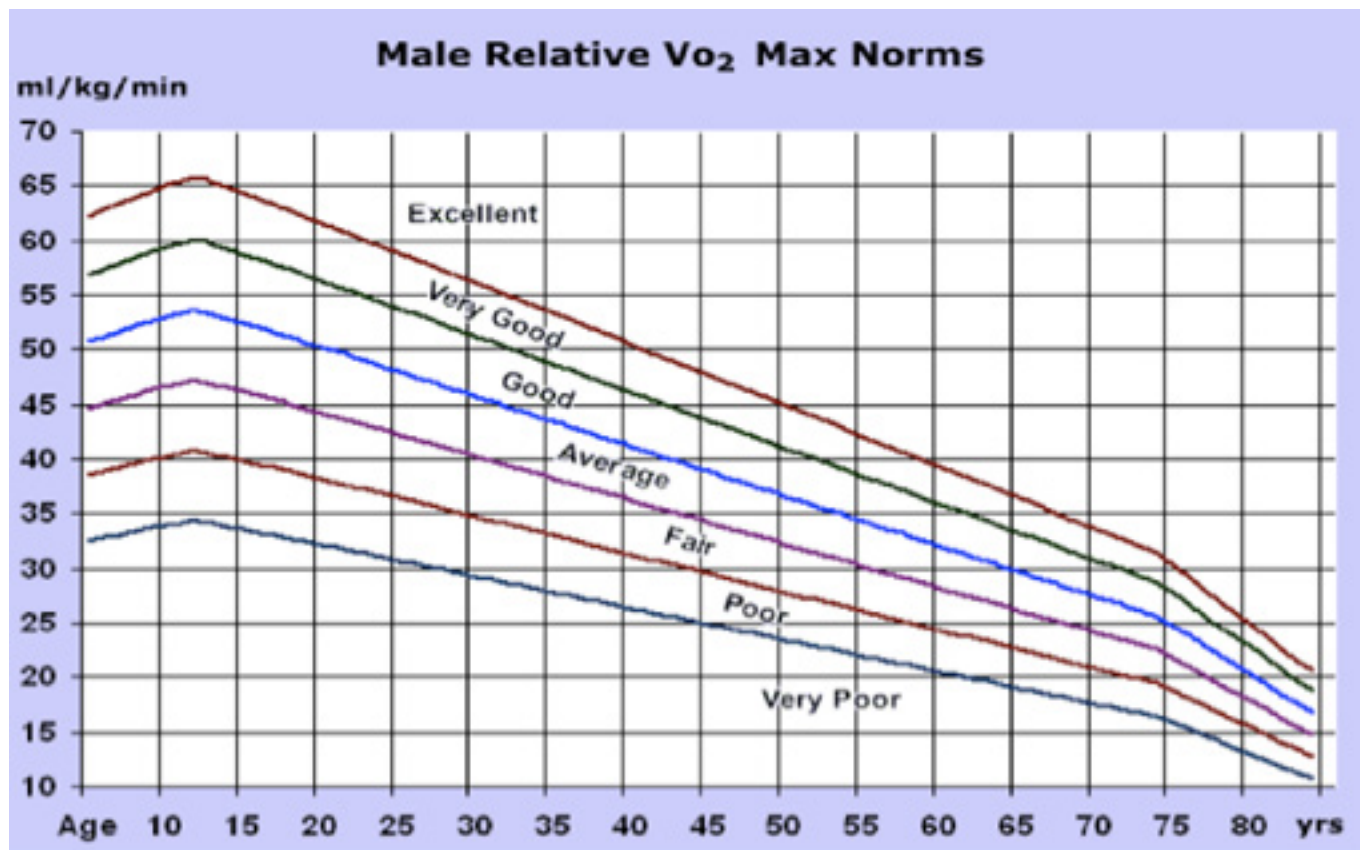
	PORABA KISIKA ($\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$)	ENERGIJSKA PORABA ($\text{kcal} \cdot \text{min}^{-1}$)	SRČNA FREKVENCA (utrip $\cdot \text{min}^{-1}$)
LAHKO DELO	< 0,5	< 2,5	< 90
ZMerno DELO	0,5–1,0	2,5–5,0	90–110
TEŽKO DELO	1,0–1,5	5,0–7,5	110–130
ZELO TEŽKO	1,5–2,0	7,5–10	130–150
EKSTREMNO TEŽKO DELO	> 2,0	> 10,0	150–170



Slika 1. Absolutna VO_2 pri moških v starosti 6 do 75 let ⁽⁹⁾.



Slika 2. Normalizirana absolutna VO_2 pri moških v starosti 6 do 75 let ⁽⁹⁾.



RELATIVNA OBREMENITEV

Posameznikova sposobnost izvajanja fizično napornega dela je zaradi precejšnih razlik v telesnih merah in treniranosti posameznikov bolj primerno izraziti kot odstotek maksimalne porabe kisika (% VO_{2maks})⁽⁸⁾. Relativna obremenitev je lahko opisana tudi kot % f_{SU} ali v MET-ih. Razlike v f_{SU} med posamezniki pri opravljanju enakega dela razkrijejo razlike v relativni obremenitvi oziroma naporu. Energetska poraba in proizvodnja metabolne toplote sta pri konstantni mehanski učinkovitosti sorazmerni z opravljenim absolutnim (mehanskim) delom. Izračunana relativna obremenitev pa predstavlja dejanski napor posameznika med opravljanjem dela.

Vadbena intenzivnost je lahko ocenjena kot razdelitev telesne pripravljenosti glede na odstotek maksimalne porabe kisika in odstotek srčne frekvence, kar je predstavljeno v Tabeli 2, ki velja za določene aktivnosti.

Tabela 2.

Stopnja telesne obremenitve	Nizka		Srednja			Visoka		Zelo visoka				
% $f_{SU maks}$	50	60	66	70	74	77	81	85	88	90	92	100
% $VO_{2 maks}$	28	42	50	56	60	65	70	75	80	83	85	100



Tabela 2. Stopnja telesne obremenitve ocenjena kot razdelitev telesne pripravljenosti glede na odstotek maksimalne porabe kisika % $VO_{2 maks}$ in odstotek srčne frekvence % $f_{SU maks}$, ki velja za tek na tekoči preprogi, cikloergometer in step test.

SUBJEKTIVNA OCENA NAPORA

Subjektivna ocena občutka napora med fizično obremenitvijo po Borgovi 6–20 stopenjski lestvici (Rating of Perceived Exertion – RPE scale; Borg 1998) je oblikovana za opis občutka napora v povezavi s fiziološkimi odzivi, ki sorazmerno naraščajo z intenzivnostjo obremenitve⁽¹²⁾. Razmerje med f_{SU} in subjektivno oceno napora po Borgovi lestvici predstavlja naslednji primer: oceni občutka napora 12 ustreza povprečna vrednost f_{SU} 101 udarcev · min⁻¹, minimalna f_{SU} 96 udarcev · min⁻¹ in maksimalna f_{SU} 122 udarcev · min⁻¹.

REFERENCE:

- Mohr in sod., 2005 cit. po Meeusen in sod., 2006. Meeusen R., Watson P., Dvorak J. The brain and fatigue: New opportunities for nutritional interventions? *Journal of sports sciences* 2006; July; 24 (7): 773–782.
- Bigland-Ritchie, B., Jones D. A., Hosking G. P., Edwards R. H. T. Central and Peripheral Fatigue in Sustained Maximum Voluntary Contractions of Human Quadriceps Muscle. *Clin Sci Mol Med*; 1978; 54 (6): 609–614.
- Enoka R. M., Atuar D. G. Neurobiology of muscle fatigue. *J. Appl. Physiol.* 1992; 72(5): 1631–1648.
- McArdle D. W. Katch I. F., Katch L. V. Exercise Physiology Energy, Nutrition & Human Performance 6th ed. Ch. 2007; 19: 392.
- Sjøgaard G. Muscle fatigue. Karger, Basel, *Medicine Sport Sci.*, 1987; 26: 98–109.
- Gollnick, 1988 cit. po Myers in Ashley, 1997. Myers J., Ashley E. Exercise and the heart. A perspective on exercise, lactate, and the anaerobic threshold. *Chest* 1997; 111: 787–95.
- Jouanin J. C., Dessault C., Peres M., Satabin P. in sodel. Analysis of heart rate variability after a ranger training course. *Military Medicine* 2004; Aug.
- Astrand in sod., 1977 cit. po Hansen E. J., Sue Y. D., Oren A., Wasserman K. Relation of oxygen uptake to work rate in normal men and men with circulatory disorders. *Am J Cardiol* 1987; 59: 669–674.
- Shvartz E, R. C. Reibold. Aerobic fitness norms for males and females aged 6 to 75 years *Aviat Space Environ Med* 1990; 61/1: 3–11.
- Andersen in sod., 1987, cit. po Sušnik J. Ergonomska fiziologija. 4. del: Efektorni sistem. Radovljica: Didakta, 1992: 261–292.
- NOISH. Technical report. Work practice Guide for manual lifting. 1981; March.
- Eston R. G., Faulkner J. A., Mason A. E., Parfitt G. The validity of predicting maximal oxygen uptake from perceptually regulated graded exercise tests of different durations. *Eur J Appl Physiol* 2006; 97: 535–541.