

## Določanje porabe kisika pri delu

**POVZETEK.** V prvem delu sestavka nas avtorica seznanja z disimilacijskimi procesi v človekovem organizmu, v drugem delu pa z ugotavljanjem porabe energije. Podatke o porabi dobimo z neposredno in posredno kalorimetrijo; prednost ima posredna (Müllerjeva plinska ura), ker z njo lahko spremljamo oksidacijske procese pri delavcu, ki dela — merimo količino izdihanega zraka v določenem času in analiziramo vzorce izdihanega zraka. Iz obeh podatkov izračunamo količino porabljenega kisika in proizvedenega ogljikovega dioksida.

Omenjeni so še drugi načini za merjenje porabe kisika pri delu: merjenje pulza, merjenje rektalne temperature in merjenje s kaloričnimi tablicami. Delo je zahtevno in natančno; za celovito oceno obremenjenosti delavca pa je poleg fizičnih treba upoštevati še psihične in socialne dejavnike.

**DETERMINATION OF OXYGEN UPTAKE AT WORK.** *The first part of the paper presents the dissimilation processes going on in the organism, whereas the second part describes the evaluation of the energy consumption. The latter is determined by either direct or indirect calorimetric measurements. The advantage of the latter (Müller's gas meter) resides in its enabling the alteration of the oxidation process in workers at work. The amount of the air exhaled in the given period is measured and the samples of this air are analysed. Using both data, the amounts of oxygen consumed and carbon dioxide eliminated are determined. Some other methods of oxygen uptake measurements are presented: determinations of pulse rate, rectal temperature and measurements using calorie tablets.*

*This is a demanding and precise work. For a total estimate of the worker's load, in addition to physical factor, mental and social factors should be taken in consideration as well.*

V zadnjih letih se delovne organizacije vse bolj odločajo za meritve porabe kisika pri delu iz več razlogov:

- ker delajo analitsko oceno delovnih mest,
- ker želijo nekatera delovna mesta beneficirati,
- ker hočejo delavca zavarovati proti telesnim preobremenitvam.

Načelo je, da naj bo delavec pravično nagrajen za svoje delo. Da se to nagrajevanje izvede čimbolj objektivno, delovne organizacije sestavljajo analitske ocene delovnih mest. V taki oceni morajo biti zajeti vsi delovni pogoji. Delovno mesto mora biti osvetljeno z vseh aspektov: glede telesne obremenitve (dviganje bremen, pripogibanje, nefiziološki položaji, hoja po strmem terenu . . .), glede na

psihične obremenitve (delo s stroji, odgovornost do delovne organizacije, nočno delo ipd.), dalje glede na ekološke obremenitve (ropot, prah, plini, kisline, lugi, visoka in nizka temperatura, vibracije, infekcije, nevarnost nesreč pri delu). Za pravilno analiziranje delovnega mesta so se najbolj obnesle razne meritve. Z njimi dobimo objektivnejše rezultate kakor z opisovanjem delovnih pogojev, kjer lahko delovne pogoje popačimo. Eden takih pristopov so meritve fizičnih obremenitev na osnovi porabljenega kisika.

V novejši zakonodaji so jasneje opredeljena delovna mesta, na katerih se zavarovalna doba šteje s povečanjem (benificirana). Zavarovanci namreč zaradi narave in teže dela po določenih letih življenja ne morejo opravljati določene poklicne dejavnosti. Delovne organizacije in razne poslovne skupnosti želijo zato vse več delovnih mest benificirati. Seveda ne na podlagi raznih opisov, ampak morajo svoje zahteve podkrepiti z objektivnimi podatki.

Želje in zahteve delovnih organizacij so torej, da se služba medicine dela v Sloveniji usposobi za izvajanje teh meritev. V Sloveniji je že več dispanzerjev medicine dela, usposobljenih in opremljenih za to delo. V teamu strokovnjakov za analitsko ocenjevanje delovnih mest je tudi mesto medicinske sestre, kjer s svojo strokovnostjo prispeva svoj delež k dobrim rezultatom.

Že veliki fiziki v preteklih dneh so dokazali, da se energija ne more uničiti, pač pa se ta spreminja iz ene oblike v drugo. Pri disimilacijskih procesih v človekovem organizmu se potencialna kemijska energija transformira v kinetično, največ v toplotno energijo in mehanično delo. Kakor se pri parnih strojih osvobojena energija spremeni v toplotno energijo in mehansko delo, ostanek — pepel — se odstrani in porabljeni premog se mora nadomestiti z novim, tako se tudi v živem organizmu z oksidacijo organskih materij — OH, B, M — osvobojena energija spremeni v kinetično, končni proizvodi presnove pa se prek ekskrecijskih organov in pljuč odstranijo iz organizma. Novo organsko materijo vnašamo v telo v obliki hrane, ki se takoj porabi ali pa se v tkivih asimilira kot rezervna zaloga potencialne energije.

Potencialna energija, ki je vnesena v naše telo, se porabi lahko na naslednje načine:

- kot toplotna energija,
- kot mehansko delo,
- del te energije se izloči z urinom in blatom v obliki končnih metaboličnih proizvodov,
- vse se deponira kot zaloga, rezerva energije.

Če želimo določiti porabo energije v človekovem telesu, moramo imeti nad tem prometom energije v človekovem telesu popoln nadzor.

Obračun porabe kisika v človekovem organizmu je lahko pozitiven, negativen ali enak ničli. Pozitiven obračun imamo tedaj, če v telo vnašamo več energije (če več pojémo), kakor je naše telo porabi. Presežek energije se deponira. Negativen obračun nastane, če količina vnesene energije ne zadostuje za porabljeno energijo. Tedaj se del kinetične energije pridobi z oksidacijo, razgrajevanjem deponirane potencialne energije, da bi nadomestila energijo, ki ni bila vnesena s hrano.

Fizično-kemične kalorije, ki jih določajo pri izgorevanju hrane v posebni Bethelotovi kalorimetrični bombi v čistem kisiku, ne ustrezajo popolnoma kalo-

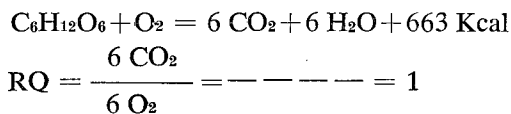
rijam, ki zgorevajo v našem organizmu in je njihova vrednost nekoliko manjša: 1 g beljakovin da 4,1 Kcal namesto 5,7 Kcal, 1 g masti 9,3 Kcal in 1 g ogljikovih hidratov 4,1 Kcal. Te tri hranljive snovi so glavni izvor energije v organizmu.

Za obračun energije človekovega organizma je potrebno vedeti, koliko energije je bilo vnesene v 24 urah, pa tudi, koliko se je porabilo v tem času. Za ugotavljanje porabe energije v človekovem organizmu se lahko uporablja neposredna ali posredna kalorimetrija.

Če želimo dobiti podatek o porabi kalorij po neposredni kalorimetriji, zapremo človeka v posebno komoro, skozi katero je napeljana cev z vodo. Ker človek oddaja toploto ali se potencialna energija spreminja v toplotno, ta segreva vodo v cevi. Iz razlike temperature in njene količine lahko izračunamo količino kalorij, ki jih je človek porabil v določenem času. Vse energije (bioelektrično, biokemično), ki se v končni fazi spremenijo v toplotno, lahko določimo tudi z različnimi drugimi komorami.

Vse te metode so zelo natančne, toda nepraktične za medicino dela, ker ne moremo zasledovati človeka pri njegovem delu, ker je v komori zaprt in leži ali sedi. Ta način za določevanje porabe kalorij je primeren za človeka, ki miruje ali izvaja v komori določene gibe in spreminja položaj svojega telesa.

Ker v medicini dela želimo spremljati delavca na njegovem delovnem mestu, pri njegovem delu, uporabljamo posredno kalorimetrijo. Spreminjanje energije v našem organizmu je vezano na oksidacijske procese, torej na porabo kisika (ki ga človek dobi pri dihanju) in na produkt oksidacije CO<sub>2</sub>. Razmerje med izdihanim CO<sub>2</sub> in porabljenim O<sub>2</sub> nam pove, katero materijo (OH, M ali B) je organizem trošil. To razmerje imenujemo respiratorni količnik RQ. Pri oksidaciji OH je RQ enak 1, ker OH vsebujejo v svoji molekuli veliko kisika;



zato ga je pri zgorevanju potrebno vzeti iz zraka manj. Maščobe pa so zelo revne s kisikom, zato je RQ 0,7. Pri B je RQ 0,8. Običajno je RQ rezultat zgorevanja mešane hrane in znaša približno 0,85.

Pri stradanju je RQ za kratek čas (nekaj ur) precej visok, ker se trošijo rezerve glikogena, zatem postane nizek — 0,7 —, ker organizem živi na račun rezerve masti. Nato pa RQ malo poraste, ker začne organizem trošiti lastne beljakovine. RQ pa je lahko tudi večji od 1,0, in to tedaj, ko se OH spreminjajo v M, ker je poraba kisika manjša od proizvodnje CO<sub>2</sub>.

Pri delu človek najprej izkoristi OH, zato je pri začetni obremenitvi RQ = 1, pri daljši obremenitvi, pri daljšem delu pa začne padati, ker zgorevajo maščobe.

Če za oksidacijo v organizmu porabimo 1 liter kisika, pomeni, da je zgorelo 1,34 g OH (glukoze), pri čemer smo dobili 1 liter CO<sub>2</sub> in 4,93 Kcal. Če pa se presnavljajo maščobe, pomeni poraba 1 litra O<sub>2</sub> malo manj kalorij, kar pa v praksi ni bistvenega pomena, zato rečemo poraba 1 litra kisika da 5 Kcal.

Za določevanje porabe kisika oziroma porabe energije pri delu se v medicini dela najčesče uporablja merjenje količine izdihanega zraka v določenem času in

analiza tega izdihanega zraka. Iz razlike v sestavu vdihnjenelega zraka (katerega sestav je znan) in izdihanega zraka se izračuna količina potrošenega kisika in proizvedenega ogljikovega dioksida.

S posebno napravo, tako imenovano Müllerjevo plinsko uro, ki jo poskusna oseba nosi na hrbtu, zmerimo količino predihanega zraka v litrih in temperaturo tega zraka. Plinska ura ima še poseben gumijast balon, v katerem se zbira 3 ali 5% vzorec vsega izdihanega zraka. Iz balona vzamemo del tega vzorca, ki se nato analizira v laboratoriju. Analiza plinskega vzorca nam da podatek, koliko je bilo v izdihanem zraku kisika in koliko ogljikovega dioksida. Glede na količino predihanega zraka, na čas merjenja, odstotka obeh plinov, zračnega tlaka na mestu merjenja lahko izračunamo porabo kisika delavca pri določenem delu v 1 minuti. Poskusni osebi moramo prej zatisniti nos, da diha v aparat samo skozi cev.

Posebno natančno je jemanje plinskega vzorca iz gumijastega balona. V tem primeru je izdihani zrak, ki vsebuje manj  $O_2$  in več  $CO_2$  kot zunanji zrak. Zato je nevarno, da kisik iz zunanjega zraka vdre v vzorec izdihanega zraka ter  $CO_2$  iz izdihanega zraka uide v ozračje. Že najmanjša količina te »infekcije« spremeni rezultat analize, zato je za jemanje plinskih vzorcev potreben poseben postopek s posebnimi pripravami.

Merjenje potrošnje energije se ne more meriti ves čas delovnega dne, ker je dihanje skozi masko v ustih in s ščipalko na nosu naporno, delavcu postane neugodno in se s tem poveča potrošnja kisika in poveča količina  $CO_2$ . Taki podatki bi meritev popačili, zato delavec nosi plinsko uro 20—30 minut.

Da bi se kljub temu mogla izmeriti skupna poraba kisika v poteku celega delovnika, je pred začetkom meritev treba analizirati delovno mesto. Poprej je treba časovno proučiti potek delovnega procesa in delo razdeliti v faze delovnega postopka po teži. Pri tem moramo upoštevati tudi organiziran in neorganiziran odmor. Meritve je treba nato izvesti pri težjih fazah dela. Če je pa delovni postopek cel dan enakomeren, zadostuje eno samo energetske merjenje. Iz tega podatka lahko izračunamo porabo za ves delovni dan.

Važen je tudi izbor poskusnih oseb. Delavci, ki so predvideni za meritve, morajo biti zdravi, stari 25—40 let in naj na tem delovnem mestu imajo večleten delovni staž. Še iz lastnih izkušenj vem, da so neprimerni delavci, ki se veliko potijo, ter zelo velike in po teži močne osebe.

Porabo kisika pri delu lahko merimo tudi na druge načine:

1. **Z merjenjem pulza pri delu:** znano je, da se pulz pri dinamičnih obremenitvah poviša. 10 udarcev pulza več, kot je pulz v mirovanju, pomeni približno porabo 1 Kcal. Pulz merimo pri delavcu vsakih 5 minut. Tako merimo pulz pri delavcu cel delavnik. Iz dobljenega diagrama zračunamo porabo kalorij. Ta način meritve nam da dobre rezultate, če na porast pulza ne vpliva nič drugega kakor telesna obremenitev (toplota, ropot . . .).

2. **Z merjenjem rektalne temperature.** Pri dinamičnem delu se rektalna temperatura poveča. Temperatura se meri praviloma le v začetku in takoj po končanem delu.

Če moramo oceniti kalorično porabo nekega delovnega mesta, pa nimamo na razpolago potrebnih strokovnjakov in opreme, si lahko pomagamo s kalo-

ričnimi tablicami. Teh tablic je več vrst. V medicini dela uporabljamo tako imenovane Lehmannove tablice, ki jih je izdal Inštitut za medicino dela, prometa in športa v sestavu fascikla Kriteriji in stopnje desetih obremenitev na delovnem mestu. Te tablice so razdeljene na dva dela: tako ocenjujemo telesni položaj in gibanje telesa ter vrsto dela.

Ko smo z meritvami ali po oceni delovnega mesta določili porabo kisika na minuto, ugotovimo, v katero kategorijo ali stopnjo opredelimo določeno delovno mesto glede na stopnjo dinamične obremenitve:

0 Zelo lahko delo. Poraba O<sub>2</sub> manjša od 0,5 l/min, kalorična poraba manjša od 2,5 Kcal/min.

1 Lahko delo. Poraba O<sub>2</sub> 0,5 do 1,0, kalorična poraba 2,5—4,9 Kcal/min.

2 Zmerno težko delo. Poraba O<sub>2</sub> 1,0—1,5 l/min, kalorična poraba 5,0 do 7,4 Kcal/min.

3 Težko delo. Poraba O<sub>2</sub> 1,5—2,0 l/min. Kalorična poraba 7,5—9,9 Kcal/min.

4 Zelo težko delo. Poraba O<sub>2</sub> 2,0—2,5 l/min, kalorična poraba 10,0 do 12,4 Kcal/min.

Poudariti je treba, da je merjenje porabe kisika zahtevno in natančno delo, ki naj mnogo pove o obremenjenosti delavca na delovnem mestu. Ni pa nujno, da je fizična obremenitev edina obremenitev delavca, pač pa je lahko še psihična in ekološka. Da lahko podamo dokončno oceno delovnega mesta, je treba ugotoviti in zmeriti vse te obremenitve.

#### Literatura

Verhovnik S., Sušnik J.: Kriteriji in stopnje desetih obremenitev na delovnih mestih, Klinične bolnice, Inštitut za medicino dela, prometa in športa, Ljubljana 1973.

Beneficirana delovna doba v gozdarstvu, Inštitut za gozdno in lesno industrijo pri Biotehnični fakulteti v Ljubljani, 1970.

Medicina rada, Medicinska knjiga Beograd — Zagreb, 1966.