

Elektromiografija kot element ocenjevanja utrujenosti

Zdravje delavcev in problemi varstva pri delu so marsikdaj pogojeni z neustrezno velikostjo obremenitev in utrujenostjo. Poškodbe pri delu, težave v križu, okvare zgornjih udov, splošna in lokalna mišična utrujenost so prevečkrat primeri teh problemov. Delo in delovna mesta morajo biti proučevani in oblikovani za preprečevanje poškodb in bolezni ob maksimiranju produktivnosti.



AVTOR:
mag. Stanislav Pušnik
Zdravstveni dom
Ravne na Koroškem
Ob Suhi 11
2390 Ravne na Koroškem

Aplikacija epidemiologije, antropologije, biomehanike, fiziologije, psihologije in inženirstva kot ergonomski princip ni natančna znanost, zato morajo biti vsi predlagani ergonomski ukrepi tudi kontrolirani, da tako dokažemo njihovo učinkovitost.

Objektivna določitev obremenjenosti mišičnega sistema je zelo pomembna pri analizah delovnih mest, analizi posledic preobremenitev - bolezni v zvezi z delom ter poklicnih bolezni in pri pripravi ter izvedbi ergonomskih ukrepov na delovnih mestih. Površinska elektromiografija predstavlja uporabno metodo v ergonomskih študijah. Uporablja se za merjenje in oceno tako velikosti mišične obremenitve kot tudi za objektivizacijo lokalne mišične utrujenosti.

Utrujenost pri delu je proces, ki se konča v fiziološkem, psihološkem in

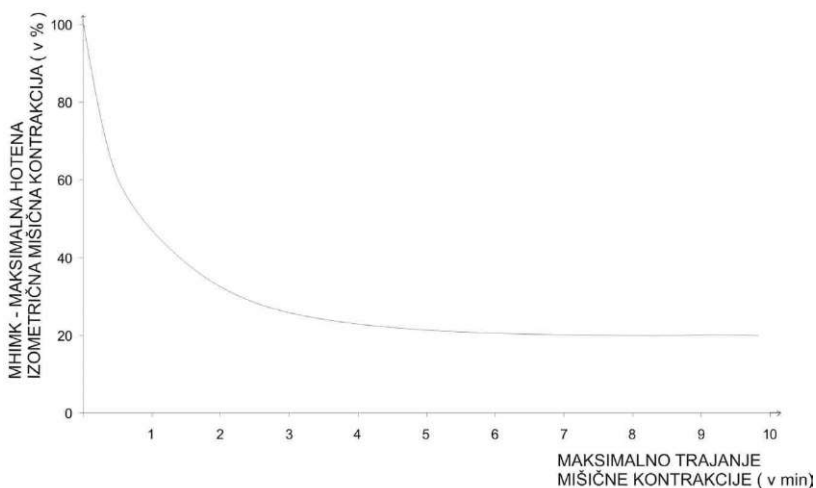
mehaničnem neravnovesju. Če traja predolgo, povzroči prekinitve dela. Človek mišično utrujenost subjektivno dobro zaznava. Zna jo opredeliti lokalno in po velikosti. V najpreprostejši obliki ocenjujemo neudobje ali utrujenost, če delavca vprašamo, kako se počuti. Pomembna je vsebina vprašanj, možna pa uporaba različnih skal (najbolj znana Borgova skala, in to geometrična in vizualno-analoga). V praksi lahko uporabljamo vprašalnike o splošni in lokalni mišični utrujenosti (Corlett, Bishop) ali pa merske metode.

Z rastočo mišično utrujenostjo se manjša produktivnost. Mišična utrujenost je odvisna od ritma dela. Skoraj je ni, če je faza dela dovolj kratka oziroma faza počitka dovolj dolga, da se mišica metabolično regenerira. Zaradi upočasnitve aktivnosti se zmanjša količina, zaradi spreminjanja motoričnega modela pa kakovost dela. Upočasnitev dela in zmanjšanje kvalitete sta indirektna znaka utrujenosti. Nezmožnost opravljanja dela - opravila kot prej (s prvotno silo, hitrostjo in koordinacijo) je pomemben znak utrujenosti, v osnovi fiziološki, in če ni ustreznih obnove, je lahko to začetek številnih okvar. Evidentiranje in proučevanje utrujenosti je z vidika ergonomije zelo koristno.

Lokalna mišična utrujenost

Statično delo nastopa, ko mišice ostanejo skrčene dlje časa. Ko se mišica skrči, se stisnejo tudi žile v

Osrednja tema



Slika 1: Čas trajanja statične obremenitve do izčrpanosti v odvisnosti od MHIMK

njej. Upor v žilah se poveča glede na jakost mišične aktivnosti in krvni pretok se zmanjša. Če se mišica ne more relaksirati, metabolične potrebe presegajo oskrbo, kopičijo pa se razkrojni produkti. Pomemben je odnos med intenziteto in trajanjem statične obremenitve. Maksimalna kontrakcija se lahko vzdržuje le nekaj (šest) sekund, pri petdesetih odstotkih maksimalne kontrakcije je omejitev približno ena minuta, za vzdrževanje dolgotrajnejše kontrakcije pa mora biti jakost kontrakcije pod petnajstimi odstotki maksimalne moči. Pomembna je krivulja, ki kaže čas trajanja statične obremenitve do izčrpanosti v odvisnosti od jakosti le-te (slika 1).

Za obremenitve delavcev velja, da naj ne bi bili obremenjeni čez to krivuljo. Obstajajo številne epidemiološke študije, ki kažejo povezanost številčnejših obolenj lokomotornega



sistema z večjimi statičnimi obremenitvami. Delovne obremenitve morajo biti načrtovane tako, da so statične obremenitve časovno omejene in je v delovnem času dovolj časa za sprotno obnovo kapacitet. Dinamične aktivnosti, ki vsebujejo kontrakcije in relaksacije delovne miškulature, so v splošnem bolj zaželeno kot statično delo. Slednje povzroča tudi začasno povečanje perifernega upora kardiovaskularnega sistema, pride lahko do znatnega povečanja srčne frekvence in srednjega arterijskega krvnega pritiska.

Dinamično delo in splošna utrujenost

Telesno dinamično delo nastopa, če so aktivne večje mišične skupine, ki se ponavljajoče se krčijo in sproščajo: hoja, vožnja s kolesom, čiščenje snega, prenašanje bremena ... Intenzivnost takega dela je omejena s kapaciteto dihalnega in srčno-žilnega sistema, ki mora zagotavljati kisik in hranilne snovi ter odstranjevati ogljikov dioksid in razkrojne produkte. Splošna utrujenost nastopi, ko metabolične potrebe delujočih mišic presegajo zmoglosti oskrbe. Simptomi so:

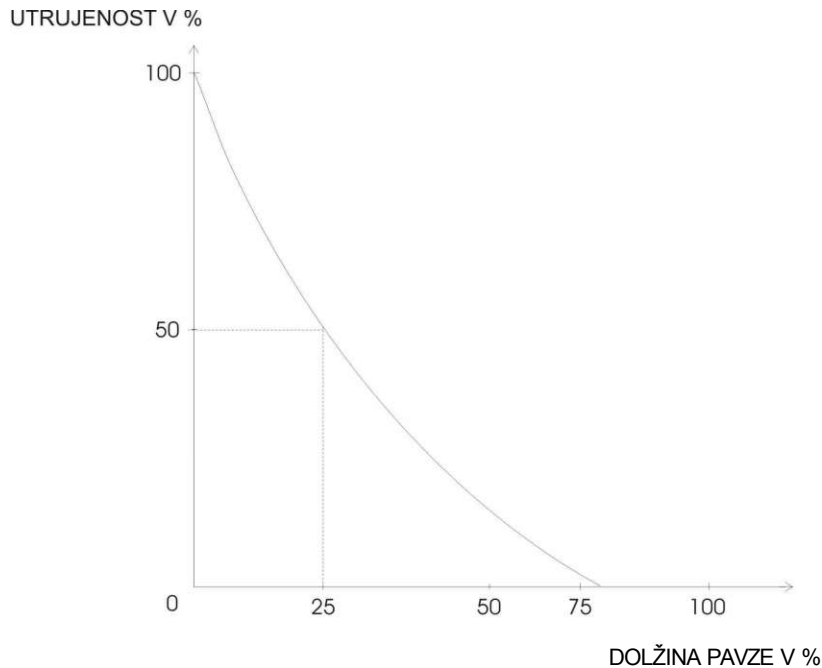
- občutek pomanjkanja zraka,
- slabost v delujočih mišicah,
- občutek utrujenosti.

Ti simptomi se nadaljujejo in lahko

povečujejo do končanja aktivnosti ali pa njenega zmanjšanja jakosti. Ekstremno velike kratkotrajne dinamične obremenitve (tipično štiri minute ali manj) lahko oseba dela pri maksimalni intenziteti, preden se pojavi nuja po počitku. Če se trajanje dela povečuje, se mora intenziteta dela zmanjšati. Če opravilo traja več kot eno uro, mora biti povprečna dinamična obremenitev pod petdesetimi odstotki maksimalne aerobne kapacitete. Za delo čez osemurni delavnik pa ta obremenitev naj ne bi presegala triinšestdeset odstotkov delavčeve maksimalne aerobne kapacitete. Ta doseže vrh v tretji starostni dekadi pri obeh spolih, pri petdesetih letih starosti upade na devetdeset odstotkov, pri petinšestdesetih pa na sedemdeset. Variabilnost kapacitet je zelo pomembna pri oceni obremenjenosti in ergonomskega stresa, saj je lahko delo, ki je lahko za delavca z veliko aerobno kapaciteto, izjemno utrujajoče za tistega z majhno. Posebno pomembno je to upoštevati pri starejših delavcih.

Preventiva splošne utrujenosti je pogojena z dobro organizacijo in načrtovanjem dela. Zmanjšati je treba nepotrebne premike telesa, hojo, plezanje, in uporabiti tehnična pomagala za dviganje in premeščanje predvsem težjih bremen. Če tega ne moremo, je treba delavcu omogočiti dodatne odmore, da ne bi prihajalo do preutrujenosti. To še posebno velja za dela v vročem in vlažnem okolju. Posebno pozornost moramo posvetiti delavcem s slabšo telesno pripravljenostjo na metabolično zahtevnih delovnih mestih. Pomembno je tudi razmerje med dolžino odmora in zmanjšanjem utrujenosti. Zanj je značilna ekspo-

Osrednja tema



Slika 2: Razmerje med potrebno dolžino odmora in zmanjšanjem utrujenosti

Utrujenost se manjša hitreje na začetku odmora, pozneje se ta učinek manjša (slika 2).

Primerni so kratki in pogosti odmori. Ustrezen ukrep pri mišični utrujenosti je počitek. Če je ta posledica aktivnosti velikih mišičnih skupin, torej splošna, je primeren pasiven počitek, po izometričnem delu in enostranskih dinamičnih obremenitvah pa aktiven odmor. Ko ga načrtujemo, moramo poznati mišice, v katerih je utrujenost nastopila, aktivnost, ki je privedla do nje, in čas trajanja. Po vsebini, trajanju in izvedbi ga moramo skrbno pripraviti.

Površinska elektromiografija

Površinska elektromiografija je uporabna metoda v ergonomskih študijah. Razvoj EMG je prešel dolgo pot od odkritij Galvanija in Emila du Bois-Reymonda do sedanjih brezžičnih naprav za merjenje mišičnih potencialov ter uporabe izpopolnjenih softverskih rešitev; od tistih, ki so uporabo metode za ta namen ocenjevali kot izgubo časa, do tistih, ki smo s svojimi študijami dokazali uporabnost in verodostojnost rezultatov.

Natančno moramo določiti, katere mišice in na kakšen način so vključene v aktivnost (trajanje, sila, utrujenost). Vedeti moramo, kako delovno mesto vpliva na obremenjenost mišic. Upoštevati moramo dejavnike, ki vplivajo na EMG (gibanje, področje namestitve elektrod) in izbrati najboljši možni način za snemanje in obdelavo podatkov. Uporabljati moramo pravilne statistične analize, da dobimo kar največ uporabnih informacij iz eksperimenta. Era od prednosti uporabe te metode je tudi, da lahko podatke dobimo neposredno v tovarni med izvajanjem dela. Informacije, ki jih dobimo z uporabo površinske elektromiografije, postajajo zmeraj bolj količinske in uporabne.

Ergonomskih študij dela, delovnega mesta, delovnega ritma in oblike orodja si brez uporabe elektromiografije ne bi mogli več predstavljati. Če želimo proučevati mišično silo, lahko opredelimo električno aktivnost mišice v absolutnih enotah (mikrovolti), vendar nam ta podatek pove le, da je bila mišica uporabljena, aktivna. Količino lahko predstavljajo največja aktivnost, srednja



aktivnost pri določenem položaju ali zgolj hitrost nastopa mišične aktivnosti. Vendar to ni dovolj. Elektromiografski signal moramo dodatno obdelati, na primer: linearni obrat, IEMG - integriran EMG-signal, RMS - root mean square ali, kot je bilo narejeno v našem disperzerju, TEMM - totalna električna mišična moč, ki predstavlja izračun frekvenčne močnostne vsebine signala po metodi hitre Fourierjeve transformacije za časovne enote 0,4 sekunde in MF - medialno frekvenco. Veliko pozornosti moramo pri uporabi metode nameniti pripravi kože in namestitvi elektrod. V našem disperzerju površino kože pri opazovanih osebah mehansko zdrgnemo ter očistimo z mešanico alkohola in acetona (4 : 1) in zagotovimo medelektrodno upornost pod 1,0 kohm. Beckmanove elektrode (Ag-AgCl) s prevodno površino pri $2r = 2$ mm namestimo z medelektrodno razdaljo 30 mm nad najbolj izstopajoč del proučevane mišične skupine ali posamezne mišice npr. m. biceps brachii v srednji sagitalni smeri nadlahti. Upoštevamo individualne anatomske prilike. Ničelno elektrodo namestimo med aktivni. Upornost merimo z ohmmetrom, uporabljamo pa prevodno pasto, prevodni gel, ki izboljša prevodnost in prepreči motnje zaradi premikanja kože pri dinamični mišični obremenitvi. Pravilna uporaba površinske elektromiografije nima znanih fizioloških stranskih učinkov na človeško telo. Pri standardizaciji izometrične obremenitve merimo brez dodatnega zunanega bremena ter z bremenom dva, štiri, šest ... kilogramov, do

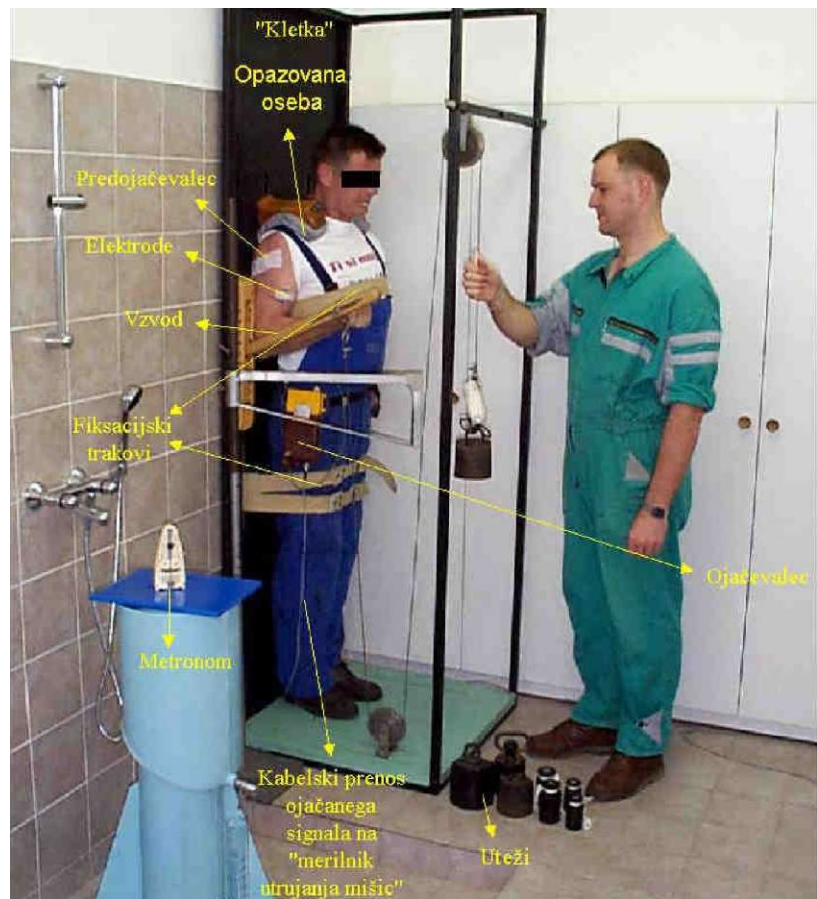
Osrednja tema

maksimalne hotene izometrične mišične moči (MHIMM). Pri standardizaciji dinamične obremenitve merimo brez dodatnega zunanega bremena ter z dva, šest ... kilogrami, pri več ritmih (fleksija in ekstenzija), npr. dvajset, štirideset in šestdesetkrat na minuto. Vsaka meritev pri izometrični obremenitvi traja vsaj deset sekund, pri dinamični pa do trideset sekund. Meritve izvajamo pri enaki ročici in vsako obremenitev v naključnem vrstnem redu po tabeli naključnih števil. Ustrezno fiksiramo sosednje telesne segmente, za kar uporabljamo fiksacijski pribor («kletka» in razni platneni trakovi oziroma pribor za fiksacijo).

Med posameznimi meritvami naredimo nekajminutni odmor (najmanj tri), subjektivni občutek neutrujenosti pa je pogoj za nadaljevanje. Nato izvedemo meritev na delovnem mestu. EMG-signal beležimo pri konkretnih delovnih operacijah in iz izmerjenih ter obdelanih parametrov sklepamo na velikost mišične obremenitve in pojav lokalne mišične utrujenosti, ki jo ugotovimo s padcem medialne frekvence.

Zaključek

Površinska elektromiografija se je izkazala kot primerna metoda za uporabo pri proučevanju obremenitev gibal in hrbtenice. Je dovolj natančna, zanesljiva in veljavna ter predstavlja možnost objektivne opredelitve obremenjenosti delavca pri lažjih do zmernih obremenitvah mišičnega sistema, lokalno pa lahko tudi velikih. Informacije o mišični zmogljivosti za premagovanje mehanskih obremenitev in o mišični utrujenosti pri poklicnem delu predstavljajo pomembno osnovo. Mišična utrujenost je odvisna



Slika 3. Prikaz standardizacije pri EMG-študiji

od stopnje obremenitve. Jemati ju moramo celovito in seveda ugotoviti in nato spremljati ter spreminjati razmere na delovnem mestu oziroma pri športu, ki ju pogojujejo.

Literatura

1. Pušnik, S. Elektromiografija pri opredeljevanju obremenitev mišičnega sistema - uporabnost pri poklicnem delu. Magistrsko delo, Univerza v Ljubljani, Medicinska fakulteta, 2001.
2. Sušnik, J. Ergonomska fiziologija. Didacta, Radovljica. 1992.
3. Wilson, J. R., Corlett, E. N. Evaluation of human work. 2nd edition, Chapter 29, Taylor&Francis, Cornwall, 1995; 864-884.
4. NIOSH: Soderberg G.L., Marras W., Lamb R., Hobart D., Gerleman D.G., Cook T.M., LeVeau B., Andersson G.B.J., Redfern M. Selected Topics in Surface Electromyography for Use in the Occupational Setting. Expert Perspectives. Chapters 1-7; 1992: 1-179.
5. Katsis C.D., Ntouvas N.E., Bafas C.G., and Fotiadis D.I. Assessment of Muscle Fatigue during Driving using Surface EMG. Biomedical Engineering, 2004: 73-82.
6. Allison G.T. and T. Fujiwara T. The relationship

between EMG median frequency and low frequency band amplitude changes at different levels of muscle capacity Clinical Biomechanics. Volume 17, Issue 6, 2002: 464-469.

7. Raymond C. H., Joseph K.F. Gabriel Y. F. Effect of transcutaneous electrical acupoint stimulation on fatigue recovery of the quadriceps. European Journal of Applied Physiology; Volume 100, Number 6, 2007: 693-700.

8. Minning S., Eliot C., Uhl T., Malone T. EMG analysis of shoulder muscle fatigue during resisted isometric shoulder elevation. Journal of Electromyography and Kinesiology. Volume 17, Issue 2, 2005: 153-159.

9. Da Silva, R. A., Larivière, C., Arsenaault, A. B., Nadeau, S., Plamondon, A. The comparison of wavelet- and Fourier-based electromyographic indices of back muscle fatigue during dynamic contractions: validity and reliability results. Electromyogr Clin Neurophysiol. 2008; 48: 147-162.

10. Xie H., Wang, Z. Mean frequency derived via Hilbert-Huang transform with application to fatigue EMG signal analysis. Comput Methods Programs Biomed. 2006; 82: 114-120.

11. Schillings, M. L., Hoefsloot, W., Stegeman, D. F., Zwarts, M. J. Relative contributions of central and peripheral factors to fatigue during a maximal sustained effort. Eur J Appl Physiol. 2003; 90: 562-568.