

UTJECAJ OPTEREĆENJA NA RADNI UČINAK I NA BRZINU OPORAVLJANJA PRI STATIČNOM RADU

Na dva ispitanika izvršili su autori spomoću dinamometra na živu niz pokusa, kojima su nastojali odrediti: a) točan odnos između statične izdržljivosti i opterećenja i b) brzinu odmaranja nakon statičnog napora pri različitom opterećenju.

U tim eksperimentima autori su ustanovili, da se porastom opterećenja statična izdržljivost u početku naglo, a kasnije sve sporije smanjuje. Krivulja, koja pokazuje odnos između izdržljivosti i opterećenja, nalži hiperboli. Izdržljivost se smanjuje brže, nego što raste opterećenje i zato je radni učinak veći kod rada na niskom nego kod rada na visokom opterećenju. Odnos između radnog učinka i opterećenja je linearan.

Uspoređivanjem izdržljivosti kod dva sukcesivna statična napora, koji su odijeljeni nejednako dugom pauzom, moguće je pratiti kako u zavisnosti od dužine pauze napreduje oporavljanje. Produljenjem odmora oporavak u početku naglo, a zatim sve sporije i sporije raste. Postoji jasna razlika u brzini, kojom se uspostavljaju funkcionalne sposobnosti nakon jednokratnog rada na niskom i nakon rada na visokom opterećenju. Standardno vrijeme oporavka, potrebno da funkcionalna sposobnost dosegne 95% početne vrijednosti, duže je nakon rada na niskom opterećenju 4,0 odnosno 4,3 puta. Zbog znatno brže disipacije umora poslije rada na visokom opterećenju drugi je rad u usporedbi s prvim manje smanjen, nego što je to kod niskog opterećenja. Na taj način kod drugog vremena izdržljivosti smanjuje se razlika u radnom učinku na visokom i niskom opterećenju. Brže oporavljanje nakon rada uz nisko opterećenje djelomično kompenzira smanjivanje učinka s porastom opterećenja.

Autori smatraju, da su dobivene razlike u izdržljivosti i brzini odmaranja između statičnog rada na niskom i visokom opterećenju uvjetovane različitim mehanizmom umora: dok je umor pri statičnom radu uz veliko opterećenje u prvom redu živčane prirode (smanjenje frekvencije eferentnih živčanih impulsa, izmjena subordinacione kronaksije mišića, slabljenje adaptivno-trofičkih utjecaja simpatikusa na mišićno tkivo), dotle je umor, koji nastaje pri statičnom radu uz manja opterećenja u početku uvjetovan gotovo isključivo lokalno-kemijskim pojavama, a tek kasnije i poremećenjem u funkciji živčanih centara.

Kako je poznato, statični se rad, ili točnije »napor«, sastoji iz izometrične kontrakcije mišića ili skupine mišića, kojom se održava u ravnoteži neka sila ili fiksira određeni stav. Pri statičnom radu mišići su u trajnoj tetaničnoj kontrakciji, a njihova napetost i stupanj kontrakcije ne mijenjaju se u toku rada. Za razliku od dinamičnog rada, koji dovodi do premještanja nekog tereta, odnosno pokretanja vlastitog tijela ili udova u prostoru, pri statičnom radu nema pokretanja, pa prema tome ni vanjskog mehaničkog učinka. Vjerojatno baš zato, što statični rad ne dovodi do nekog konačnog vanjskog radnog učinka, njegov se udio u proizvodnoj djelatnosti redovno podcjenjuje, a to se odražuje i u relativno malom broju istraživanja, koja su izvršena, da se prouče osnovne zakonitosti tog oblika rada. Ipak, već

i površno opažanje pokazuje, da je takvo stajalište krivo. Pri svakom radu, a pogotovu pri proizvodnom radu, statična komponenta sudjeluje u znatnoj mjeri. Već prema prirodi rada može prevladati dinamična ili statična komponenta, ali nema normalne tjelesne aktivnosti, koja bi se sastojala iz isključivo izotoničnih ili izometrijskih mišićnih kontrakcija. U proizvodnom radu potreban je statični napor pri čitavom nizu aktivnosti počevši od održavanja položaja tijela pri hodanju, stajanju ili sjedenju, do održavanja konstantnog pritiska na nekom stroju, držanja nekog tereta ili vlastitih udova na određenoj visini i t. d. Osim toga, statični oblik rada, usprkos relativno maloj energetskej potrošnji, vrlo brzo dovodi do umora i do jasnih neugodnih osjeta, koji koč normalno odvijanje dinamične aktivnosti i time znatno smanjuju opći radni učinak.

Kvantitativno istraživanje zakonitosti tjelesnog rada pretpostavlja postojanje određenih varijabla, koje možemo dovoditi među sobom u svezu. Kako je glavni praktični cilj takvih istraživanja proučavanje radnog učinka, i kako je radni učinak osnovni indikator radne sposobnosti organizma, to je razumljivo, da se u prvom redu prema njemu utvrđuje energetska potrošnja, da se u odnosu na nj ispituju fiziologijske i psihologijske promjene radnika, da se prema njemu utvrđuje prikladnost ili neprikladnost radne okoline, načina rada i t. d.

Budući da pri statičnom radu mišići ne mijenjaju svoj stupanj kontrakcije i da zbog toga ne dolazi do pokreta, to se radni učinak ne može izraziti kao kod dinamičnog rada umnoškom puta i tereta. Namjesto puta, kod statičnog rada uzima se kao ekvivalentna veličina vrijeme, koliko je određeni statični napor trajao. Prema tome glavni parametri, kojima se može karakterizirati statični rad, jesu: 1. sila ili teret, koji su statičnim naporom uravnoteženi (opterećenje) i 2. trajanje tako ostvarene ravnoteže (izdržljivost). Umnožak opterećenja i trajanja statičnog napora mjera je statičnog radnog učinka.

Ispitivanjem osnovnog odnosa između opterećenja i trajanja statičnog rada zanimao se omanji broj istraživača. Svi su oni suglasno našli — a to je uostalom poznato i iz svakidašnjeg iskustva — da je izdržljivost to manja, što je opterećenje veće. S porastom opterećenja smanjuje se vrijeme, za koje se može opterećenje uravnotežiti. To smanjenje trajanja rada ide do neke maksimalne vrijednosti opterećenja, koja onemogućuje i najmanje trajanje napora. Ali dok se u toj općenitoj konstataciji različiti autori slažu, ima znatnih razilaženja u tome, kojom se brzinom i na koji način smanjuje izdržljivost, kad opterećenje raste. Kako radni učinak zavisi od jednog i drugog faktora, to je razumljivo, da opće konstatacije nisu dovoljne i da se prilike, pri kojima je radni učinak kod statičnog rada maksimalan, mogu odrediti tek onda, kad nam je poznat točan odnos među tim faktorima.

Hronologijski jedno od prvih istraživanja te vrste potječe od Z. Trevesa (1). On je radio na jednom ispitaniku, koji je imao zadatak,

da flektiranom podlakticom drži do granice izdržljivosti utege, kojih je težina varirala od 14,8 kg do 32 kg. Spomoću kimografiona i uređaja za registraciju vremena bilježilo se vrijeme, koje je proteklo od početka tetanusa do časa, kad je ispitanik zbog umora potpuno ispružio ruku. U takvim eksperimentalnim prilikama našao je *Treves*, da je vrijeme, za koje je ispitanik mogao savladati težinu podignutog utega, obrnuto proporcionalno težini utega. Drugim riječima, koliko se pri porastu opterećenja dobiva na faktoru težine, toliko se gubi na trajanju statičnog napora. Na taj način radni učinak, izražen umnoškom opterećenja i trajanja rada, ima konstantnu vrijednost na čitavoj skali upotrebljenih opterećenja.

Tri godine kasnije pomovio je taj eksperimentat *S. Stupin* (2). Držeći spomoću muskulature obih ruku utege od 15 do 30 kg našao je, da je umnožak opterećenja i vremena držanja to manji, što je opterećenje veće. Trajanje rada smanjuje se brže, nego što opterećenje raste, tako da je radni efekt veći pri manjem opterećenju. Kako je *Stupin* izvršio malen broj mjerenja i to samo za četiri različita opterećenja, to se na temelju njegovih rezultata ne može točno odrediti oblik te zavisnosti.

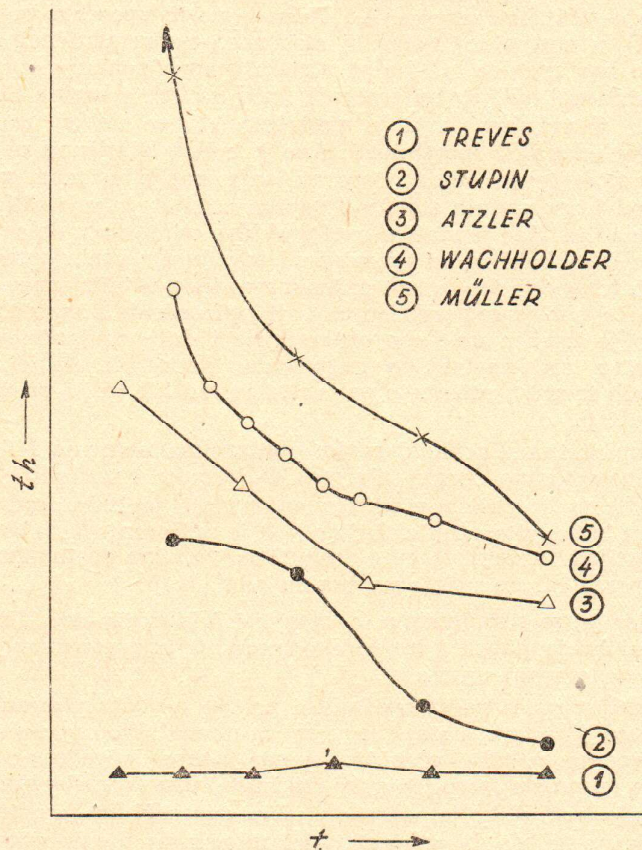
U nizu pomnjivo provedenih ispitivanja energetske potrošnje pri različitim stavovima tijela, izvršio je *E. Atzler* (3) sa svojim suradnicima *R. Herbstom*, *G. Lehmannom* i *E. Müllerom* jednu seriju pokusa, pri kojoj je ispitanik u svakoj ruci držao uteg iste težine. Rad je trajao tako dugo, dok je ispitanik mogao ruke držati potpuno mirno. Ako na temelju njihovih rezultata izračunamo radni učinak u kg/min, naći ćemo, da je za prva tri opterećenja radni učinak to manji, što je opterećenje veće, ali za najveće opterećenje od 8,86 kg radni je učinak gotovo jednak učinku uz težinu od 6 kg. Pribrojimo li navedenim rezultatima opterećenje podbočene ruke bez utega, koju vrijednost autori procjenjuju na 0,35 kg, ne će ni tada odnos između radnog učinka i opterećenja biti pravilniji.

Za razliku od navedenih autora, koji su radili s relativno malim brojem različitih opterećenja, *K. Wachholder* (4) donosi vrijednosti radnog učinka za osam različitih opterećenja, koja variraju od 2 do 12 kg. Pri tim pokusima ispitanik je držao utege ispruženim rukama, a u opterećenje uračunana je i težina neopterećene ruke (2 kg). Dobiveni rezultati jasno pokazuju, da se radni učinak ili, kako ga *Wachholder* nazivlje, »rekord držanja« smanjuje s porastom opterećenja. To smanjivanje u početku je naglo, a kasnije, u zoni relativno velikih opterećenja, pokazuje neko usporenje.

U novije se vrijeme pitanjem odnosa radnog učinka i opterećenja pri statičnom radu bavio osobito *E. A. Müller* (5). On je radio na sebi i to spomoću posebnog dinamometra na pero, koji je više ili manje napinjao flektiranjem podlaktice desne ruke. Ta napinjanja odgovarala su opterećenjima od 6 do 26 kg u skokovima po 5 kg. *Müller* je izvršio dvije serije mjerenja, i to jednu seriju u normalnim prilikama, a drugu s podvezanom rukom, tako da je optjecanje krvi u

mišićima, koji su radili, bilo spriječeno. Pri radu s nepodvezanom rukom radni se učinak u funkciji opterećenja u početku vrlo naglo smanjuje, a kasnije za tri posljednja opterećenja pokazuje nešto usporeni linearni pad. Naprotiv se pri radu s podvezanom rukom vrijednosti radnog učinka smanjuju, kad opterećenje raste, u obliku, koji podsjeća na izvrnutu i rastegnutu sigmoidalnu krivulju.

Te različite odnose između statičnog radnog učinka i opterećenja, koje su našli spomenuti autori, prikazali smo na slici 1. Kako te



Sl. 1. — Odnos između statičnog radnog učinka i opterećenja. Na ordinati radni učinak (umnožak opterećenja i trajanja napora), na apscisi opterećenje. Rezultati, dobiveni od različitih autora.

Fig. 1. — Relation between load and static output of work. Static output (product of load and length of effort) shown on the ordinate and load on the absciss. Results obtained by various authors.

krivulje imaju samo ilustrativnu svrhu, to je mjerilo ordinate i apscise potpuno arbitrarno i ne odgovara apsolutnim vrijednostima stvarno dobivenih rezultata.

Na temelju konstatiranih odnosa između radnog učinka i opterećenja pokušali su neki autori da dadu i praktične naputke, kako treba u praksi organizirati statični rad. Tako na pr. neki preporučuju, da opterećenje u statičnom radu bude što manje, a Müller drži, da optimalno opterećenje odgovara 1/5 maksimalnog opterećenja, jer je uz takvo opterećenje, kod njegovih pokusa, bilo trajanje statičnog napora praktički bez granice. Ali, kako je na to upozorio već Wachholder (4), u normalnoj tjelesnoj aktivnosti nema statičnog napora, koji traje bez prekida, a čim se statični napor ponavlja, treba pri propisivanju optimalnog opterećenja uzeti u obzir i brzinu disipacije umora, t. j. vrijeme, koje je potrebno, da se nakon rada opet obnove funkcionalne sposobnosti. Ako je nakon statičnog napora uz različito opterećenje brzina oporavljanja različita, tada utvrđeni odnosi kod jednokratnih statičnih napora ne moraju vrijediti, kad se napor ponavlja. Kad je statični rad prekidam odmorima, dolazi prema mišljenju Wachholdera do promjene, i to u korist većih opterećenja. Razlog je tome taj, što nakon jednakog radnog učinka umor nestaje znatno brže, ako je rad izveden uz veće opterećenje i kraće trajanje, nego ako je izvršen uz slabo opterećenje i dulje trajanje. Jednako tako, ako se rad nastavi do iscrpljenja, nestat će subjektivnih i objektivnih tragova umora to prije, što je rad bio teži i prema tome kratkotrajniji.

Nasuprot tim Wachholderovim opažanjima našao je Müller (6), da je odnos upravo obrnut. Prema Müllerovim rezultatima, nakon približno jednakog radnog učinka odmaranje je brže, kad je rad izvršen uz lakše opterećenje. Jedino kad je optjecanje krvi blokirano, u tim specijalnim »anaerobnim« uvjetima, veličina prethodnog opterećenja praktički ne utječe na brzinu odmaranja.

Atzler (3) sa suradnicima, a kasnije i Müller (6) sam, istraživali su utjecaj broja pauza i trajanja odmora na energetske potrošnje, odnosno na stupanj umora.

Na žalost nam sva ta opažanja i pokusi ne daju potpun uvid u tok oporavljanja nakon statičnog napora uz različito opterećenje, jer se kod većine pokusa prekidao napor nakon određenog radnog učinka, a ne nakon iscrpljenja, ili opažanja nisu potkrijepljena brojčanim podacima. Kako je pak radni učinak to veći, što je opterećenje manje, jasno je, da je jednaki radni učinak uz manje opterećenje nužno postignut u drukčijim fiziolozijskim prilikama nego uz veliko opterećenje i da ne može zato poslužiti kao ekvivalentna polazna točka za određivanje brzine odmaranja. Osim toga ni drugi kriterij, koji je upotrebio Müller za određivanje brzine odmaranja — ponovni rad uvijek sa 16 kg bez obzira kakvo je bilo prethodno opterećenje — nije bez prigovora.

Zbog navedenih neslaganja različitih autora i zbog nepotpunosti dosad izvršenih istraživanja pokušali smo nizom pokusa, u okviru jedne šire problematike, odrediti:

1. točan odnos između izdržljivosti i opterećenja,
2. tok i brzinu disipacije umora nakon maksimalno dugog statičnog napora, izvršenog uz različito opterećenje.

A) ODNOS IZMEĐU IZDRŽLJIVOSTI I OPTEREĆENJA

Za ispitivanje odnosa između izdržljivosti i opterećenja upotrebili smo modificirani i pojednostavnjeni dinamometar na živu po *Ch. Henryju*. Taj se dinamometar sastoji iz okomite staklene cijevi duge 130 cm, kojoj je na donjem kraju pričvršćena gumena kruška djelomično ispunjena živom. Ispitanik je imao zadatak, da stiskom gumene kruške podigne živu do unaprijed određene visine i da je na toj visini održi što duže može. Centimetarska skala uz cijev omogućuje ispitaniku da kontrolira intenzitet svog napora. Vrijeme, koje je proteklo od časa stiska do časa, kad ispitanik više nije mogao izdržati zadano opterećenje, registriralo se spomoću stoperice. Vrijeme izdržljivosti mjerio je eksperimentator tako, da ispitanik nije bio obaviješten o svojim rezultatima. Pokusi su izvršeni s dva ispitanika, koji su radili sjedeći, desnom rukom, u konstantnim i unaprijed fiksnim vanjskim prilikama. Kako snaga stiska i izdržljivost zavise i od toga, na koji je način ispitanik prihvatio prstima gumenu krušku, to se osobito pazilo na to, da to prihvatanje bude uvijek jednako, a osim toga je šaka bila obavijena povojem, da se položaj prstiju ne bi mijenjao u toku rada. — Upotrebili smo kod tih pokusa dinamometar na živu, jer gumena kruška ne daje tvrd otpor kao metalni dinamometri, i tako ne može doći do jakih bolova zbog pretjerane kompresije tkiva. Osim toga kod dinamometra na živu ista visina stupca žive predstavlja uvijek i isto opterećenje, dok je kod dinamometra na pero uvijek moguće, da pero u toku rada oslabi.

Pri ispitivanju odnosa između opterećenja i izdržljivosti radio je ispitanik A na 9 različitih opterećenja, koja su varirala od 20 do 100 cm stupca žive, a ispitanik B, koji je uglavnom služio kao kontrola, radio je na 5 opterećenja od 23,3 do 90 cm žive. Opterećenja nisu bila za oba ispitanika jednaka, jer je ispitanik A imao nešto veću snagu stiska od ispitanika B. Da bi se izbjeglo djelovanje umora na rezultate, ispitanici su radili samo jedamput na dan.

Dobiveni rezultati nalaze se u tabeli br. 1, a prikazani su i na slikama br. 2 i 3. Svaki je rezultat srednja vrijednost od ovećeg broja mjerenja i to za ispitanika A od 10 mjerenja, a za ispitanika B od prosječno 8 mjerenja. Varijabilitet vremena izdržljivosti nije kod različitih opterećenja jednak. U apsolutnim je vrijednostima raspršenje rezultata to veće, što je opterećenje manje, ali indeks relativnog

TABELA 1

Ispitanik A					
h	t (eksp.) u sek.	t (izr.)	d	th (eksp.)	th (izr.)
20	425	420	-5	8.496	8.400
30	262	255	-7	7.845	7.650
40	168	173	+5	6.704	6.900
50	122	123	+1	6.105	6.150
60	85	90	+5	5.118	5.400
70	68	66	-2	4.732	4.650
80	48	49	+1	3.864	3.900
90	32	35	+3	2.898	3.150
100	25	24	-1	2.520	2.400

Ispitanik B					
h	t (eksp.) u sek.	t (izr.)	d	th (eksp.)	th (izr.)
23,3	252	255	+3	5.879	5.946
47	91	91	0	4.268	4.263
55	68	67	-1	3.740	3.695
70	37	38	+1	2.597	2.630
90	14	13	-1	1.242	1.210

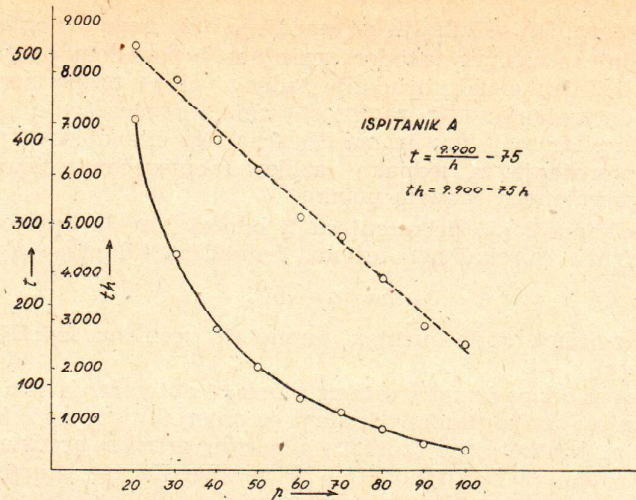
varijabiliteta približno je konstantan. Tako na pr. kod ispitanika A za različita opterećenja, koja idu od 20 cm do 100 cm žive, ti indeksi relativnog varijabiliteta iznose: 15,2%, 14,5%, 7,0%, 10,5%, 9,6%, 9,3%, 12,3%, 11,9% i 13,0%.

Kako se iz tabele i slika vidi, kod oba se ispitanika s porastom opterećenja smanjuje izdržljivost, i to na jednak način (krivulje izvučene punom crtom). Vrijeme, za koje se može izdržati određeno opterećenje, u početku naglo, a kasnije sve sporije opada s porastom opterećenja. Obje krivulje dadu se izraziti jednadžbom istog tipa:

$$t = \frac{a}{h} - b;$$

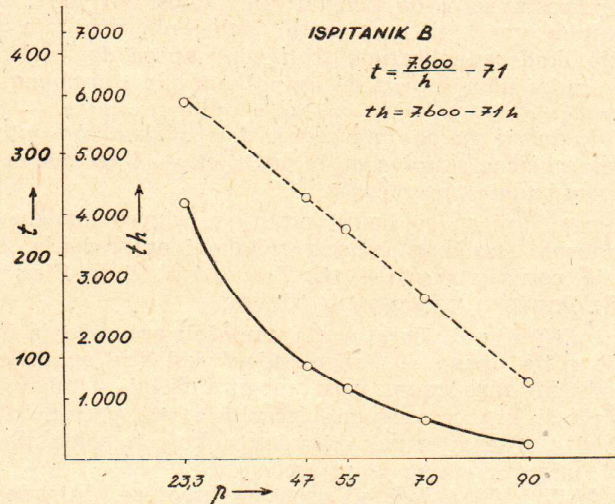
gdje t označuje izdržljivost u sekundama, h opterećenje u cm stupca žive, dok su a i b konstante.

Slaganje između dobivenih i izračunanih vrijednosti dosta je dobro; srednje odstupanje iznosi za ispitanika A 3,6%, a za ispitanika B 2,5%. Potreba, da se jednadžba ekvilateralne hiperbole dopuni negativnom konstantom b pokazuje, da je pad izdržljivosti nagliji od porasta opterećenja.



Sl. 2. — Opadanje vremena držanja s porastom opterećenja (izvučena krivulja) i opadanje radnog učinka s porastom opterećenja (crtkani pravac). Na ordinati trajanje napora t (vanjska skala) i radni učinak th (nutarnja skala); na apscisi opterećenje u cm stupca žive. Rezultati ispitanika A.

Fig. 2. — Time of holding decreases with the increase of the load (drawn-out curve). Output also decreases with the increase of the load (dotted line). Length of effort t (outer scale) and output (th) shown on the ordinate; load in cm of mercury column on the absciss. Results with examinee A.



Sl. 3. — Opadanje vremena držanja s porastom opterećenja (izvučena krivulja) i opadanje radnog učinka s porastom opterećenja (crtkani pravac). Na ordinati trajanje napora t (vanjska skala) i radni učinak th (nutarnja skala); na apscisi opterećenje u cm stupca žive. Rezultati ispitanika B.

Fig. 3. — Analogous to Fig. 2. Results with examinee B.

Zbog toga, što se izdržljivost smanjuje brže nego što opterećenje raste, radni se učinak također smanjuje s porastom opterećenja. Kako se to iz slika vidi, opadanje radnog učinka proporcionalno je porastu opterećenja, t. j. zavisnost između opterećenja i radnog učinka u ispitanim je granicama linearna. Na čitavoj skali primijenjenih opterećenja za jednake razlike u opterećenju također su jednake promjene u radnom učinku.

Na slikama 2 i 3 prikazani su ti odnosi između opterećenja i radnog učinka isprekidanom crtom. Jednadžba tih pravaca glasi:

$$th = a - bh;$$

gdje th označuje radni učinak (umnožak vremena izdržljivosti i opterećenja).

Linearni odnos između radnog učinka i opterećenja ima dakako svoje granice: donja granica određena je opterećenjem, koje ispitanik ne može ni kratkotrajno izdržati, a gornju granicu predstavlja za naše ispitanike opterećenje od 15—20 cm žive. Za manja opterećenja vrijeme se izdržljivosti toliko produžuje, da radni učinak leži iznad dobivenih pravaca. Ako produžimo pravce, koji pokazuju odnos između radnog učinka i opterećenja, do apscise, možemo približno odrediti opterećenje, koje ispitanik ne može više izdržati. Za ispitanika A to opterećenje iznosi oko 130 cm žive, a za ispitanika B oko 110 cm. Te vrijednosti odgovaraju i stvarno prosječnoj maksimalnoj snazi stiska naših ispitanika.

Pod pretpostavkom, da konstatirani odnosi vrijede i za druge mišićne skupine, može se na temelju dobivenih rezultata izvesti i opće pravilo: *kod jednokratnog statičnog napora do kraja izdržljivosti bit će radni učinak, izražen umnoškom sile i vremena, to veći, što je opterećenje manje; te promjene u radnom učinku — od jedne granične vrijednosti malog opterećenja do maksimalnog opterećenja, koje izvjesna mišićna skupina može podnijeti — linearno su proporcionalne promjenama opterećenja.*

Od autora, koji su se bavili pitanjem odnosa između trajanja napora, odnosno statičkog radnog učinka i opterećenja, samo su — koliko je nama poznato — Z. Treves i E. A. Müller pokušali objasniti fiziologijsku podlogu tih odnosa.

Prema mišljenju Z. Trevesa (1) umnožak opterećenja i trajanja napora nije ništa drugo »...nego indeks količine energije, što je centri u jednom određenom času mogu odaslati u mišić, koja se nakon dužeg ili kraćeg vremena iscrpljuje već prema intenzitetu kojim se troši«. Intenzitet pak uzbuđenja, koje iz spinalnih centara ide u mišić, proporcionalan je opterećenju.

E. A. Müller (5) polazi od osnovne hipoteze, da umor mišića zavisi isključivo od stvaranja neke tvari, koja koči kontrakciju. U svezi s tom kemijskom teorijom statičnog umora svodi Müller smanjenje radnog učinka s porastom opterećenja na tri glavna »faktora«,

i to: 1. »s porastom opterećenja dovoljna je — da dođe do prekida rada — sve manja i manja koncentracija tvari, koja koči kontrakciju; 2. stvaranje tvari, koja koči kontrakciju po jedinici opterećenja i vremena veće je za veća opterećenja nego za manja, i 3. neutralizacija tvari, koja koči kontrakciju, nije pri velikim opterećenjima veća od one pri malim opterećenjima, jer je optjecanje krvi zbog kontrakcije svedeno na jednu konstantnu minimalnu vrijednost«.

Uspoređujući dobivene rezultate kod prekida optjecanja krvi s rezultatima u normalnim prilikama rada pokušao je Müller i kvantitativno odrediti utjecaj spomenutih faktora na radni učinak. Bez obzira na to, što takvo uspoređivanje, za te svrhe, nije bez prigovora, osnovni je nedostatak njegova tumačenja, što u cijelosti zanemaruje udio živčane komponente u statičnom naporu i u umoru, koji je posljedica takve aktivnosti. Nema sumnje, da je relativno brzo pojavljivanje umora kod statičnog rada uvjetovano i od stvaranja različitih, po kontrakciju mišića štetnih tvari, i da je njihovo djelovanje osobito izraženo onda, kad je optjecanje krvi blokirano, ali čitav niz istraživanja dokazuje, da je gubitak funkcionalne sposobnosti dobrim dijelom i rezultat promjena, koje se u vrijeme statičnog napora zbivaju u živčanom sustavu. Kod svakog statičnog napora za čitavo vrijeme njegova trajanja u neprekidnoj su aktivnosti određene skupine velikih piramidnih stanica u motornoj zoni kore. Njihova je aktivnost, koja se očituje u eferentnim impulsima, to intenzivnija, što je statični napor veći, a veličina statičnog napora zavisi ne samo od opterećenja, nego i od trajanja rada. Intenzivno i neprekidno izbijanje tih kortikalnih motoneurona nužno mora prije ili kasnije dovesti do promjene u njihovoj aktivnosti, t. j. do smanjenja frekvencije impulsa, koje oni šalju etapnim motoneuronima. To smanjivanje frekvencije nervnih impulsa iz korteksa reducira s jedne strane broj aktiviziranih etapnih motoneurona, a s druge strane smanjuje frekvenciju impulsa, koji se preko još aktivnih etapnih neurona odводе do mišića. Kako intenzitet mišićne kontrakcije zavisi od broja aktivnih motoneurona, koji ga inerviraju, i od frekvencije impulsa, koji neuritima tih motoneurona stižu u mišić, to će se svaka promjena u funkciji stanica motornog korteksa odraziti i na intenzitetu mišićne kontrakcije.

Kod velikih opterećenja, koja se mogu uravnotežiti jedino istodobnom kontrakcijom gotovo svih mišićnih vlakana određene grupe mišića, frekvencija eferentnih impulsa, koji stižu iz centara, nužno treba da je velika, a to dovodi i do relativno brzog smanjivanja funkcionalne sposobnosti motornih centara. Kako su pak kod tako intenzivnih kontrakcija angažirana gotovo sva mišićna vlakna, to je razumljivo, da će i najmanja promjena u frekvenciji impulsa, koji pristižu iz centara, dovesti do toga, da se iskopčaju iz djelatnosti najmanje osjetljiva vlakna, a time mora doći i do nemogućnosti daljeg izdržanja. Osim toga pri statičnom naporu uz veliko opterećenje zbog intenzivne kontrakcije mišićnih vlakana i jake

kompresije tkiva dolazi do intenzivnog podražaja različitih receptora, specijalno u koži i mišićima. Intenzivno bombardiranje senzornih područja kore tim aferentnim impulsima dovodi do inhibicije, koja također smanjuje uzбудljivost psihomotorne zone. Dalje, zbog velike frekvencije eferentnih impulsa pri statičnom radu uz veliko opterećenje nastaju — kako je to među ostalima u novije vrijeme dokazao i E. Z. Pozo (7) — promjene i na neuromuskularnim sinapsama, koje dovode do t. zv. »umora prijenosa«. Kad je frekvencija impulsa velika, smanjuje se — prema istraživanjima A. Rosenbleutha i J. V. Lucoa (8) — količina acetilholina u neuromuskularnoj svezi, a čim ta količina postane subliminalna, uzbuđenje ne može više prijeći s motornih vlakana na mišić. Konačno zbog promjena u centrima dolazi i do izmjene u vremenskim konstantama reaktivnog tkiva (subordinaciona kronaksija mišića), a aferentni impulsi velike frekvencije slabe adaptativno-trofični utjecaj simpatikusa na mišićno tkivo.

Prema tome je vrlo vjerojatno, da nemogućnost daljeg statičnog rada kod velikih opterećenja u prvom redu zavisi od promjena u kortikalnim neuronima (smanjenje njihove funkcionalne sposobnosti zbog intenzivne aktivnosti i smanjenje njihove uzbudljivosti zbog inhibicije), a onda i od promjena, koje nastaju na neuromuskularnim svezama u autonomnom sistemu i u centrima, koji reguliraju kronaksiju.*

Mišljenje E. A. Müllera, da do prekida statičnog rada kod velikih opterećenja dolazi zbog intoksikacije mišića »tvarima umora«, i to osobito brzo, jer se te stvari ne mogu neutralizirati, odnosno odstraniti optokom krvi zbog gotovo potpune kompresije krvnih sudova, ne čini nam se vjerojatno još i zbog ovih razloga:

1. odmah po prekidu rada uz veliko opterećenje imaju prije kontrahirani mišići svoju normalnu elastičnost i ne pokazuju nikakvo zaostajanje kontrakcije;
2. disipacija tragova umora veoma je brza;
3. mišići su potpuno normalno osjetljivi na pritisak;
4. do prekida napora dolazi najedamput i kao samo od sebe, a sam rad uz veliko opterećenje ne izaziva nikakvih bolova ni neugodnih doživljaja.

Za kratkotrajnog statičnog rada uz veliko opterećenje stvara se vjerojatno samo subliminalna količina »tvari umora«, i to ne samo zato, što je vrijeme rada kratko, nego i zbog toga, što usprkos osla-

* Za takvo tumačenje statičnog umora govore i neki pokusi C. Reida (Mechanism of Voluntary Fatigue. — Quart. J. Exper. Physiol., 19, 1928). U okviru opsežnih istraživanja umora, on je istražio, kako djeluje na oporavljanje mišića, koji je statički radio, normalni odmor, a kako kad se nakon voljne statične kontrakcije mišić dovede ponovo u kontrakciju direktnim perifernim podraživanjem spomoću faradične struje. Njegova su mjerenja pokazala, da je oporavljanje u jednom i drugom slučaju gotovo jednako brzo. Kako su za vrijeme faradizacije isti mišići i dalje bili u djelatnosti, a jedino su se centri odmarali, to je jasno, da je prethodni statični umor bio uvjetovan centralnim, a ne perifernim promjenama.

bljenom optjecanju krvi postoji u mišiću dovoljna rezerva kisika za njezinu oksidaciju.

Dok je umor pri statičnom radu uz veliko opterećenje pretežno ili isključivo živčane prirode, dotle je umor, koji nastaje pri statičnom naporu uz manja opterećenja, vjerojatno uvjetovan kemijski i živčano.

U prvom redu je pri slabijoj mišićnoj kontrakciji aktivnost centralnih motoneurona manje intenzivna, a receptori su bar u prvoj fazi takvog statičnog rada slabo podraženi. Korelativno s tom smanjenom aktivnosti centara broj je simultano kontrahiranih mišićnih vlakana manji, tako da je moguće izmjenjivanje aktivnih vlakana u toku »jednoličnog« statičnog napora. Ali, budući da rad uz manja opterećenja traje relativno dugo, produkti pojačane mijene tvari mogu postepeno sumirati svoje djelovanje (dugo vrijeme akcije) i dovesti do lokalnih kemijskih promjena, koje sve više otežavaju kontrakciju mišićnih vlakana. Te u početku na periferiji lokalizirane promjene izazivaju nakon određenog vremena i promjene u centrima. Stoga, što se zbog dugotrajnog djelovanja metabolita smanjila funkcionalna sposobnost mišića, potreban je — da bi se održao intenzitet kontrakcije — sve veći i veći voljni napor, t. j. potrebna je pojačana aktivnost kortikalnih motoneurona. Osim toga, nakon nekog vremena periferne kemijske promjene u mišiću sensibiliziraju ili direktno podražuju osjetne receptore, u prvom redu mišićna vretena i algoreceptore, a to dovodi do pojačanog bombardiranja korteksa aferentnim impulsima te time i do sve jače inhibicije motornih područja. Konačno se metaboliti raznose i preko krvi i mogu direktno djelovati na funkciju centara. Kad sve te među sobom povezane promjene dostignu određeni kritični intenzitet, tada dolazi do prekida statičnog napora. Prema tome, kod statičnog rada uz manja opterećenja, promjene, koje dovode do umora, u početku su gotovo isključivo lokalno-kemijske prirode, a zatim te kemijske promjene izazivaju poremećenja i u funkciji centara, koji upravljaju mišićnom kontrakcijom. Tome razvoju »umora« odgovaraju i karakteristični doživljaji i različite vidljive fiziološke promjene. U početku se taj rad uz malo opterećenje vrši bez ikakvog napora i bilo kakvog zalaganja; ispitanik ima dojam, da do umora uopće ne će doći. Nakon relativno dugog trajanja rada pojavljuju se prvi slabi znakovi teškoća u obliku bolova u predjelu tenara i u potrebi za sporadičkim dubokim udisajima. Poslije te faze, u kojoj se subjektivne teškoće relativno postepeno razvijaju, dolazi naglo do pojačanja naprezanja: disanje postaje ubrzano i grčevito, bol je vrlo intenzivan i proširuje se i na druge mišiće podlaktice, lice dobiva cijanotičnu boju, a mišići lica i vrata se kontrahiraju. U završnoj fazi, do koje dolazi vrlo brzo, pojavljuje se tremor aktivne ruke, ispitanik osjeća trnce u ruci, muskulatura čitavog tijela je kontrahirana, disanje se gotovo potpuno zadržava, a bol postaje gotovo nepodnošljiv. Nakon prekida dolazi do ubrzanog i dubokog disanja, prsti

ostaju zgrčeni, tako da ih ispitanik ne može voljno ispružiti, šaka aktivne ruke je voluminozna, cijanotična i veoma topla, fini tremor ruke još neko vrijeme persistira, a lice je redovno blijedo. Fleksori prstiju su bolni i dugo su još nakon rada osjetljivi na svaki pritisak. Svi ti simptomi pokazuju, da u tom slučaju postoji i značajni kontraktilni umor.

Ukoliko je navedeni mehanizam statičnog umora pri radu uz različito opterećenje točan, nerazmjerno nagli pad vremena izdržljivosti s porastom opterećenja mogao bi se pripisati relativno sve većem i ranijem sudjelovanju centralnog umora kad opterećenje raste. S tim u svezi vrijednost konstante b u formuli, kojom smo izrazili smanjenje izdržljivosti u funkciji opterećenja, mogla bi biti neki indikator relativnog udjela, koji ima živčana komponenta pri statičnom umoru uz različito opterećenje.

Naša zamisao, da se udio kemijske i živčane komponente pri nastanku umora kod statičnog napora mijenja prema intenzitetu opterećenja, i to tako, da pri porastu opterećenja živčani faktor postaje sve više dominantan i u kvantitativnom udjelu i u brzini djelovanja, suprotno je mišljenju nekih fiziologa. Tako na pr. *M. E. Maršak* (9) drži, da upravo »pri teškom statičnom opterećenju na razvoj zamora utječu oba momenta« (t. j. periferni procesi u mišiću i promjene u centralnom nervnom sistemu); naprotiv »pri manje napornom statičnom radu osnovni faktor zamora su funkcionalne promjene u centralnom nervnom sistemu«.

Zbog već spomenutih razloga čini nam se, da se to mišljenje ne može prihvatiti.

B) TOK I BRZINA OPORAVLJANJA NAKON STATIČNOG RADA UZ RAZLIČITO OPTEREĆENJE

Tok i brzinu, kojom nestaju tragovi umora, ispitivali smo nakon statičnog napora pri velikom i malom opterećenju. Ispitanik A radio je s opterećenjima od 33,3 i 100 cm stupca žive, a ispitanik B na razini od 23,3 i 70 cm. Način je rada bio jednostavan. Ispitanik je najprije do krajnjih granica držao određeno opterećenje, a na to je dan odmor, nakon kojeg je ispitanik još jednom ponovio napor s istim opterećenjem. Procentualni odnos između vremena izdržljivosti kod prvog i drugog statičnog napora služio je kao mjera za stupanj oporavljanja, koje je postignuto u toku pauze. Za odmora ispitanik je svaki put deset puta redom kontrahirao i dekontrahirao svoje prste; osim takvog razgibavanja ispitanik je izbjegavao da u toku pauze radi išta napornije svojom desnom rukom.

Mijenjajući trajanje odmora između dva napora i uspoređujući prvo i drugo vrijeme izdržljivosti moglo se pratiti, kolik je stupanj oporavka postignut u toku pauze, odnosno koliko je još ostalo tragova

umora od prvog rada. U nestašici boljih kriterija smatrali smo, da se funkcionalna sposobnost obnovila u cjelini, kad je drugi rad trajao jednako dugo, koliko i prvi.

Dobiveni rezultati nalaze se u tabeli 2, a prikazani su i slikama 4 i 5.

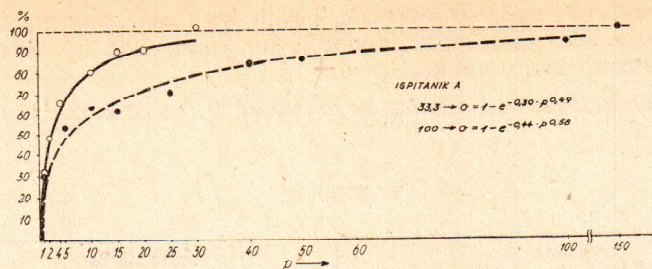
TABELA 2.

Ispitanik A				Ispitanik B			
Opterećenje 100				Opterećenje 70			
p (u min.)	% o (eksp.)	% o (izr.)	d	p	% o (eksp.)	% o (izr.)	d
1	31,4	35,6	+4,2	1	52,0	51	-1,0
2	48,5	48,2	-0,3	2	65,5	65	-0,5
4	65,7	62,5	-3,2	4	75,9	79	+3,1
10	80,3	81,2	+0,9	7	82,3	88	+5,7
15	90,2	88,0	-2,2	10	96,8	93	-3,8
20	90,9	91,8	-0,1	15	101,9	97	-4,9
30	101,4	95,8	-5,6				
Opterećenje 33,3				Opterećenje 23,3			
p (u min.)	% o (eksp.)	% o (izr.)	d	p	% o (eksp.)	% o (izr.)	d
1	29,6	25,9	-3,7	1	27	26	-1,0
5	53,1	48,3	-4,8	2	35,5	36	+0,5
10	63,5	60,4	-3,1	10	71	68	-3,0
15	61,7	67,6	+5,9	25	84,5	86	+1,5
25	70,8	76,6	+5,8	40	90,5	92	+1,5
40	84,0	83,9	-0,1	60	96	96	0,0
50	86,0	87,0	+1,0	92	99,6	98,4	-1,2
60	81,6	89,3	+7,7				
100	93,8	94,3	+0,5				
150	100,6	97,0	-3,6				

Rezultati od jednog i drugog ispitanika, dobiveni nakon rada s velikim i malim opterećenjem, slijede istu zakonitost i mogu se izraziti eksponencijalnom jednadžbom:

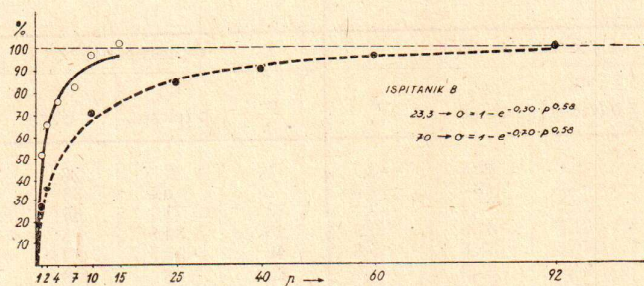
$$o = 1 - e^{-a \cdot p^b},$$

u kojoj o označuje stupanj oporavka, e bazu prirodnih logaritama, p trajanje odmora, dok su a i b konstante. Prosječna razlika između dobivenih vrijednosti i izračunanih vrijednosti iznosi za ispitanika A 4% i 5,9%, a za ispitanika B 3,7% i 2%.



Sl. 4. — Uspostavljanje radne sposobnosti tokom odmora različitog trajanja. Oporavljanje nakon rada uz opterećenje od 100 cm (izvučena krivulja) i 33,3 cm (crtkana krivulja). Na ordinati stupanj oporavka O u postocima normalne izdržljivosti, na apscisi vrijeme odmora p u minutama. Rezultati ispitanika A.

Fig. 4. — Recovery of capacity for work during pause of various length. Recovery after work under 100 cm load (drawn-out line) and 33,3 cm load (dotted line). Rate of recovery O shown on the ordinate in per cent of normal hardiness; length of pause p in minutes shown on the absciss. Results with examinee A.



Sl. 5. — Uspostavljanje radne sposobnosti tokom odmora različitog trajanja. Oporavljanje nakon rada uz opterećenje od 70 cm (izvučena krivulja) i 23,3 cm (crtkana krivulja). Na ordinati stupanj oporavka O u postocima normalne izdržljivosti, na apscisi vrijeme odmora p u minutama. Rezultati ispitanika B.

Fig. 5. — Analogous to Fig. 4. Loads are 70 and 23,3 cm respectively. Results with examinee B.

Kako se iz rezultata i krivulja vidi, u početku je s porastom trajanja odmora oporavljanje relativno naglo, a kasnije sve sporije i sporije, tako da se radna sposobnost gotovo asimptotski vraća na početnu razinu. Tako na pr. nakon rada s velikim opterećenjem postiže ispitanik A 50% svoje početne izdržljivosti u približno 2 minute odmora, a ispitanik B u 1 minuti odmora. U toku isto tolikog daljeg produženja odmora postižu i jedan i drugi ispitanik još samo oko 15% dodatnog oporavka. — Budući da je oporavljanje za isto

produženje odmora progresivno sve manje i manje, to je vrlo teško i približno točno odrediti vrijeme, koje je potrebno, da se radna sposobnost vrati na početnu vrijednost. Zbog toga smo kao indeks brzine oporavljanja uzeli vrijeme odmora, za koje se postiže ne 100%, nego 95% početne vrijednosti. To se »standardno« vrijeme oporavka može točnije nego potpuno vrijeme oporavka očitati s krivulje, a dade se i izračunati po formuli:
$$o_s = \left(\frac{3}{a}\right)^{\frac{1}{b}}$$

Usporedimo li tok oporavljanja nakon rada uz veliko opterećenje s tokom oporavljanja nakon rada pri malom opterećenju, vidjet ćemo, da postoji značajna razlika u brzini oporavljanja. Jednaki stupanj relativnog oporavka postignut je na svim razinama znatno brže poslije rada s velikim opterećenjem nego nakon rada s malim opterećenjem.

Vrijednosti »standardnog« vremena oporavka nakon rada s malim opterećenjem (o_{s1}) i nakon rada s velikim opterećenjem (o_{s2}) iznose:

	o_{s1}	o_{s2}	Odnos
ispitanik A	109'	27,3'	4,0 : 1
ispitanik B	53'	12,4'	4,3 : 1

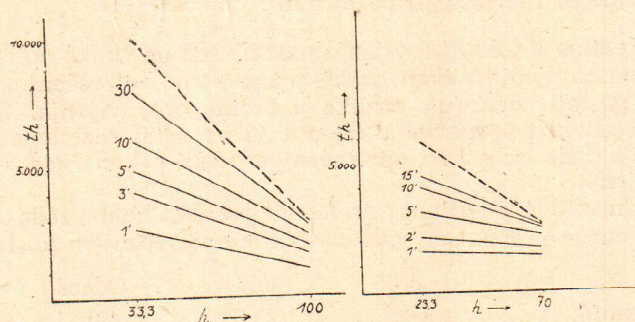
Prema tome, da se postigne isti stupanj relativnog oporavka, potrebno je 4,0 do 4,3 puta više vremena nakon rada s malim opterećenjem nego nakon rada s velikim opterećenjem.

Zbog toga, što nakon rada s velikim opterećenjem znatno brže nestaje tragova umora, jasno je, da kad se statični napor ponovi u intervalu pauze za potpuni odmor, mora i razlika među radnim učincima kod drugog rada uz veliko i malo opterećenje postati manja.

Usporedimo li kod ispitanika A radni učinak prvog napora uz opterećenje od 33,3 cm s prvim radnim učinkom na opterećenju od 100 cm, vidjet ćemo, da je s malim opterećenjem taj radni učinak 3,6 puta veći.* Kod ispitanika B ta je razlika između prvih radnih učinaka nešto manja, t. j. radni je učinak s opterećenjem od 23,3 cm za 2,3 puta veći od učinka s opterećenjem od 70 cm. Ali — kako smo već spomenuli — ako ponovimo statični napor u vremenskom intervalu, koji je manji od vremena potrebnog za potpuni odmor, tada se razlika u radnom učinku uz veliko i malo opterećenje smanjuje i to tim više, što je odmor kraći. Tako na pr. iz krivulja oporavka možemo očitati, da je za ispitanika A nakon odmora od 30 minuta drugi radni učinak na 33,3 cm već samo 3,0 puta veći od radnog učinka drugog rada s opterećenjem od 100 cm; nakon odmora od 10 minuta radni je učinak 2,7 puta veći; nakon odmora od 1 minute radni je učinak s malim opterećenjem 2,6 puta veći i t. d.

* Kod ispitanika A radni učinak na 33,3 i na 100 cm ne odgovara u apsolutnim brojevima rezultatima s pravca na sl. 2, jer su ti podaci dobiveni u drugo vrijeme.

Na slici 6 prikazani su ti odnosi između radnih učinaka kod drugog rada s malim i velikim opterećenjem nakon različito dugog odmora. Na ordinatu je nanesen radni učinak, a na apscisi nalaze se vrijednosti opterećenja. Uza svaku crtu, koja spaja te radne učinke zabilježeno je, nakon kolikog je odmora uslijedio drugi statični napor.



Sl. 6. — Odnos između radnih učinaka kod drugog rada na niskom i na visokom opterećenju nakon različito dugog odmora. Crtkani pravac: radni učinci kod prvog rada. Na ordinati radni učinak th , na apscisi opterećenje h . Lijevo su rezultati ispitanika A, desno ispitanika B.

Fig. 6. — Relation between output of work in second effort under heavy and high load after pause of various length. Dotted line: output of work in first effort. Output of work th shown on ordinate, load h shown on absciss. On left results with examinee A, on right those with B.

Kako se iz slike zorno vidi, brža disipacija umora nakon rada s velikim opterećenjem djelomično kompenzira kod drugog rada one razlike, koje nalazimo kod jednokratnih statičnih napora uz različita opterećenja.

Što uvjetuje tu značajnu razliku u brzini oporavljanja nakon statičnog napora s različitim opterećenjem?

Prema mišljenju Wachholdera (4) ta razlika u brzini odmaranja »upućuje na to, da je kod lakog napora, koji se može dugo izdržati, mehanizam umora drukčiji nego kod teškog, koji se može podnijeti samo malo minuta.« Različitu podlogu umora po Wachholderu dokazuju i različite subjektivne pojave, koje prate teški i laki statični napor i drukčije promjene u akcionim strujama mišića (brzo slabljenje akcionih struja pri lakom naporu, a povećanje kod teškog opterećenja). Kod teških i srednje teških napora dolazi po Wachholderu do prekida rada u prvom redu zbog jakog uzbuđenja receptora i brzog pojavljivanja »bola umora«. Naprotiv — pozivajući se na ispitivanja Andrusa, koji je utvrdio, da se pod utjecajem kiselina smanjuju akcione struje srca — Wachholder interpretira opadanje amplitude akcionih struja kod lakog statičnog rada kao

znak, da se u tim prilikama nakupljaju u mišiću znatne količine kiselina, koje dovode do prekida rada.

Müller (6), koji je ispitivao oporavljanje u već spomenutim eksperimentalnim prilikama, nastoji, u skladu sa svojom osnovnom hipotezom o kemijskoj podlozi umora, protumačiti oporavljanje kao uklanjanje tvari, koje koče kontrakciju. Nakon jednakog radnog učinka uz različito opterećenje oporavak je brži, kad je opterećenje manje, a to zato, jer je u vrijeme rada s velikim opterećenjem slabija opskrba mišića kisikom, pa to usporava i oporavljanje u toku odmora, kad je krvno optjecanje ponovo uspostavljeno. Ako se jednako težak rad ponavlja nekoliko puta redom, onda s produženjem trajanja rada dolazi također do sporijeg oporavljanja zbog toga, što umorni mišić slabije iskorištava kisik od odmorenog. Müller prema tome drži, da je mehanizam umora uvijek isti, a razlika u brzini oporavljanja nakon rada različitog tipa uvjetovana je u prvom redu od različite irigacije mišića krvlju.

Ako pođemo od činjenice, da živčani centri predstavljaju osobito »labilno« tkivo, koje se brzo i lako mijenja zbog vlastite aktivnosti i pod utjecajem promjena u neposrednom miljeu, onda je jasno, da će pri intenzivnoj vlastitoj aktivnosti, kako je to kod napora s velikim opterećenjem, doći u prvom redu do promjena u tim osjetljivim strukturama. Kako je već spomenuto, te se promjene mogu očitovati u smanjenju frekvencije eferentnih živčanih impulsa, u izmjeni subordinacione kronaksije mišića i u slabljenju adaptivno-trofičnih utjecaja simpatikusa na mišićno tkivo. Kako baš zbog tih relativno brzih promjena rad s velikim opterećenjem traje kratko, to je jasno, da lokalne kemijske promjene, koje imaju dugo vrijeme akcije, ne mogu doseći kritičnu koncentraciju, a prema tome ne mogu ni izazvati neke značajnije promjene u samom mišićnom tkivu. Brzom nastajanju promjena u živčanim centrima odgovara i kratka persistencija tih promjena, t. j. brzom umaranju odgovara i brza disipacija tragova prethodne aktivnosti.

Naprotiv, kad je početni statični napor slabog intenziteta, a dugog trajanja, aktivnost živčanog sustava relativno je preslaba, da bi dovela do brzih centralnih promjena, pa različite kemijske tvari, koje se stvaraju u mišiću, imaju vremena da dosegnu kritičnu količinu. Polaganim promjenama, koje su nastale u mišićnom tkivu zbog djelovanja tih kemijskih tvari, odgovara i naknadno dugo ustrajanje tih promjena.

Prema tome različito brzo oporavljanje nakon rada s različitim opterećenjem u potpunom je skladu s prije navedenom hipotezom, da je mehanizam umora različit već prema tome, uz kakvo je opterećenje izvršen statični rad. Ispitivanje brzine odmaranja može tako poslužiti kao način za razlučivanje osnovnih mehanizama umora kod statičnog rada.

LITERATURA

1. Treves Z.: Über die Gesetze der willkürlichen Muskelarbeit — Pflüg. Arch. ges. Physiol. **78**, (1899), 163.
2. Stupin S.: Beiträge zur Kenntnis der Ermüdung beim Menschen — Skand. Arch. Physiol. **12**, (1902), 140.
3. Atzler A., Herbst R., Lehmann G. und Müller E.: Arbeitsphysiologische Studien — Pflüg. Arch. ges. Physiol. **208**, (1925), 184.
4. Wachholder K.: Die Arbeitsfähigkeit des Menschen — Hdb. der norm. u. path. Physiol. XV/1, I/1, (1930), 591.
5. Müller E. A.: Das Arbeitsmaximum bei statischer Haltarbeit — Arb. phys. **5**, (1932), 605.
6. Müller E. A.: Die Abhängigkeit der Erholungsgeschwindigkeit nach statischer Haltarbeit von der Muskeldurchblutung während der Kontraktion — Arb. phys. **8**, (1935), 371.
7. del Pozo E. C.: Transmission fatigue and contraction fatigue — Amer. Jour. Physiol. **135**, (1942).
8. Luco J. V. and Rozenbleuth A.: Neuromuscular »transmission fatigue« produced without contraction during curarisation — Amer. Jour. Physiol. **129**, (1939).
9. Maršak M. E.: Fiziologija čoveka — Beograd, 1949.

Institut za higijenu rada,
Zagreb

SUMMARY

INFLUENCE OF LOAD ON THE OUTPUT AND ON THE SPEED OF RECOVERY IN STATIC EFFORT

A series of experiments was carried out by means of a mercury dynamometer on two subjects in order to find out: a) the exact relation between static endurance and load, and b) the speed of recovery after static effort under various loads. The results obtained were as follows:

1. When load increased, static endurance diminished first quickly and then slowing down gradually. The curve representing the relation between endurance and load resembles a hyperbola and can be expressed by the equation: $t = \frac{a}{h} - b$, where t stands for the time of endurance, h for the load, while a and b are constants.

2. In view of the fact that endurance diminishes quicker than the load increases, the output (th) is greater in work under light than under heavy load. The relation between output and load is a linear one and can be interpolated by the equation: $th = a - bh$.

3. By comparing endurance in two successive static efforts separated by a pause of unequal length it is possible to observe the progress of recovery in relation to the length of the pause. By lengthening the pause recovery rises, first quickly and then more and more slowly. The results obtained can be expressed by an exponential equation: $o = 1 - e^{-a \cdot p^b}$, where o stands for recovery, p for the length of the pause, while a and b are constants, varying according to the circumstances of the experiment.

4. There is a clear difference in the speed of recovery of functional capacities after a single effort under light and under heavy load. The standard time of recovery, necessary for the functional capacity to reach 95% of the initial value, is 4,0 resp. 4,3 times longer after effort under light load. The

formula for working out the standard time of recovery is: $o_s = \left(\frac{3}{a}\right)^{\frac{1}{b}}$.

5. Because of considerably quicker disappearance of fatigue after effort under heavy load, the second effort diminishes less than the first as compared with effort under light load.

6. Thus in endurance during second effort the difference in output under light and heavy load decreases. Quicker recovery after work under heavy load partly compensated the decrease of output arising with the increase of the load.

The authors think, that the obtained differences in endurance and in speed of recovery between the static effort under light and heavy loads are conditioned by various mechanisms of fatigue. Fatigue in static effort of a heavy load is primarily of a nervous nature (lowered frequency of efferent nervous impulses, change of subordinational muscle chronaxia, weakened adaptive-trophic activity of the sympatheticus on the muscles). Fatigue which appears in static effort under smaller loads is, at first, conditioned almost exclusively by local chemical action, while later on, it is also conditioned by a disturbance in the function of nervous centres.

Institute of Industrial Hygiene,
Zagreb