

ERICH A. MÜLLER

## DIE PHYSIOLOGISCHEN GRUNDLAGEN DER ERHOLUNGSPAUSEN BEI SCHWERER KÖRPERLICHER ARBEIT.\*

Die Arbeitsmethoden, die Maschinen und Einrichtungen in der Industrie und Landwirtschaft sind nicht immer der physiologischen Struktur des menschlichen Körpers angepasst. Das Gleichgewicht zwischen der Ermüdung während der Muskelkontraktion und der Erholung während der Erschlaffung ist oft gestört. Daraus entspringt die Aufgabe, dass durch genügende Pausen dieses Gleichgewicht zwischen Ermüdung und Erholung gesichert wird. Der Verfasser zeigt zwei Methoden vor, durch welche die richtige Dauer und die richtige Zahl der Pausen bei schwerer Arbeit festgestellt werden können. Der erste Weg ist nicht immer zuverlässig und bietet nur eine grobe Orientierung; es werden 4 kcal/min. als Grenzwert des Energieverbrauches für Dauerarbeit genommen und soviel Pausen eingelegt, dass der durchschnittliche Umsatz in der ganzen Arbeitszeit 4 kcal/min. nicht überschreitet. — Der zweite Weg nimmt die Pulszahl als Index für eine genügende Blutversorgung, und die genügende Blutversorgung als den wichtigsten Punkt, um der Ermüdung auszuweichen. Es wird laut dieser Methode versucht, die Pulsfrequenz während der Arbeit auf einem unveränderten mittleren Stande zu halten und jede Störung des Pulses zu verhindern, die während der Erholung nach der Arbeit eine erhöhte Pulszahl hervorruft. Es scheint, dass mit Hilfe dieser zweiten Methode in jedem Falle die Pausen so angelegt werden können, dass sie die Arbeit in den Grenzen einer Dauerleistung ermöglichen.

Wenn man einen Mann auf einem Fahrrad mit erheblicher Geschwindigkeit vorbeifahren sieht, würde man ohne viel Ueberlegung sagen, der Mann auf dem Rade leistet schwere Arbeit ohne Pausen. Aber auch beim Radfahren hat das eine Bein eine Ruhepause, solange das andere aktiv ist und umgekehrt. Tatsächlich gibt es keine Arbeits-

\* Vortrag, gehalten an der II. Tagung der Fachleute für Arbeitshygiene, Zagreb, 6.-9. September 1953.

leistung durch Muskelkraft, bei der nicht Kontraktion und Erschlaffung einander folgen müssen. Der physiologische Wert dieses Wechsels von Spannung und Erschlaffung ist zweifach:

- 1.) Bei der Kontraktion wird das Blut aus den Muskeln in Richtung der Venen ausgepresst. Bei der Erschlaffung wird das arterielle Blut vom Blutdruck in die entleerten Muskelgefäße getrieben. Der Muskel wirkt also bei seiner rythmischen Tätigkeit als hydraulische Pumpe, die die eigene Durchblutung verbessert.
- 2.) Während der Erschlaffung strömt Blut unter dem Blutdruckgefälle durch die Muskeln, spült Stoffwechselschlacken fort, führt neue Muskel-Brennstoffe zu und oxydiert Substanzen im Muskel selbst.

Je mehr Blut während Kontraktion und Erschlaffung durch den Muskel fließt, desto besser hält die Erholung mit der Erdmüdung während der Arbeit Schritt.

Die lebenslängliche Ausdauer des Herzens und der Atemmuskulatur zeigt, dass die Erholung in der Erschlaffungs-Phase die Ermüdung der Kontraktionszeit vollständig wieder auszugleichen vermag.

Das gilt aber nicht für die Haltungen und Bewegungen, die bei vielen Tätigkeiten in Industrie und Landwirtschaft ausgeführt werden müssen. Diese sind oft recht weit von dem entfernt, was dem physiologischen Bauplan des Körpers angemessen ist. Die Geräte, Arbeitsmethoden und Arbeitsmaschinen in den Betrieben sind dem Menschen oft sehr schlecht angepasst. So entsteht die Aufgabe, durch genügende Pausen dafür zu sorgen, dass Ermüdung und Erholung einander entsprechen.

Um diese Aufgabe zu lösen, kann man versuchen, den Energiebedarf einer Tätigkeit in den Grenzen der für einen Menschen verfügbaren Energiemengen zu halten. Diese Energiemengen stammen aus 2 Quellen, aus Reserven und aus einem ständigen Zufluss. Der normale Mann vermag pro Minute bis zu etwa 4 kcal durch Oxydation frei zu machen, ohne seine Energiereserven anzugreifen. Wird mehr Energie gebraucht, so müssen die Reserven hinzugezogen werden, die etwa 24 kcal betragen. Sie können in wenigen Sekunden oder vielen Minuten aufgebraucht werden. So stehen 1 min lang  $4 + 24$  kcal, also 28 kcal zur Verfügung. Werden die Reserven in 12 sec ausgegeben, wie beim Sprinten über 100 m, so erhöht sich die verfügbare Energierate auf beinahe 120 kcal/min. Auf 8 Arbeitsstunden verteilt, erhöhen die Reserven den ständigen Energiezufluss nur um 1%. Nach Erschöpfung der Reserven muss jedes Mal ein Teil der Dauerrate abgezweigt werden, um die Reserven wieder aufzufüllen. 4 kcal/min bedeuten einen Umsatz von 2000 kcal für eine 8-Stunden-Schicht. Das ist etwa die schwerste Arbeit, die wir in Industrie und Landwirtschaft heute noch finden. Man kann damit stundenlang mit 6 km/h laufen oder mit 13 km/h Radfahren, oder auch 20 kg Lasten mit 4 km/h

tragen, ohne besondere Pausen neben der natürlichen Erschlaffungszeit einzulegen. Will man 50 kg Lasten tragen, so braucht man 8 kcal/min, muss also eine Pause von 100% der Tätigkeitszeit einlegen, um im Tagesdurchschnitt 4 kcal/min nicht zu überschreiten. Mit 270% Pause liesse sich, so berechnet, eine Treppe mit 17 m/min dauernd steigen. Zur Messung des Kalorienumsatzes dient die in unserem Institut entwickelte Respirations-Gasuhr, die während der Arbeit auf dem Rücken getragen werden kann.

4 kcal/min geben nur eine sehr grobe Vorstellung von der Dauer-Leistungsfähigkeit bei einer bestimmten Arbeit, weil die Dauer-Leistungs-Grenze nicht für alle Personen und Tätigkeiten bei 4 kcal/min liegt, da unter Umständen zusätzliche Belastungen, wie Hitze, statische Haltearbeit, Mitbewegung von Körperlast u. a. die Arbeit erschweren. Kleinere Muskelgruppen, etwa die Unterarm-Muskeln beim Melken, können andererseits ermüden, obwohl der Kalorienumsatz weit unter der 4 kcal/min-Grenze liegt. Es wäre offenbar wünschenswert, über einen Test zu verfügen, der anzeigt, wann bei einer Tätigkeit in irgend einem der beteiligten Muskeln Ermüdung und Erholung nicht im Gleichgewicht sind, um die Pausen in der richtigen Weise festzulegen. Diesen Test fanden *Karrasch* und ich im Verhalten der Pulsfrequenz während und nach körperlicher Arbeit. Wenn die Arbeit/minute unterhalb der Dauer-Leistungs-Grenze liegt, so stellt sich ein Puls-gleichstand ein, der viele Stunden unverändert bleibt. Wenn dann die Arbeit unterbrochen wird, kehrt die Pulsrate in wenigen Minuten auf den Ruhewert zurück. Die Summe der über dem Ruhewert liegenden Pulse nach Arbeitsende, die »Erholungspulssumme« ist dabei gleich gross unabhängig davon, ob man 1 oder 3 Stunden gearbeitet hat. Liegt die Arbeit/Minute oberhalb der Dauer-Leistungs-Grenze, so findet sich ein anderes Verhalten des Pulsverlaufes. Die Pulszahl steigt während der Tätigkeit stetig an. Wir werten diesen Ermüdungs-Pulsanstieg als Zeichen ungenügender Erholung. Wird die Arbeit oberhalb der Dauer-Leistungs-Grenze länger fortgeführt, kommt es zur Erschöpfung, die weiteres Arbeiten unmöglich macht. Nach Unterbrechung der Arbeit fällt unter diesen Bedingungen die Pulsrate nur langsam wieder auf den Ruhewert. Die »Erholungspulssumme« erreicht daher hohe Werte.

Für die fortlaufende Pulszählung wurde ein automatisch zählendes Gerät entwickelt, das während der Tätigkeit im Beruf getragen werden kann, ein Gerät mit einer foto-elektrischen Zelle, die mit einer kleinen Lampe zu einer Klammer vereint am Ohrläppchen hängt. Zusätzlich wurde in letzter Zeit ein Schreibgerät entwickelt, das von 5 zu 5 Minuten die Pulszahlen als Striche verschiedener Länge über die ganze Arbeitsschicht aufzeichnet. Mit diesen Geräten lassen sich nicht nur stundenlange Versuche mühelos durchführen, Sie haben den Vorzug, ohne subjektive Beeinflussung der zu untersuchenden Person und ohne Unterbrechung der täglichen Arbeit den physiologischen Gang der Pulsrate aufzuzeichnen.

Nachdem wir so die Methoden kennen gelernt haben, mit der systematischen Versuche über die Dauer-Leistungs-Grenze bei verschiedener Anordnung der Pausen möglich sind, will ich Ihnen über unsere letzten Ergebnisse der Analyse des Pausen-Problems bei Schwerarbeit berichten.

Denken Sie sich einen durchschnittlichen Mann, der auf einem Fahrrad ohne Pausen fährt, eine Leistung von 480 mkg/min, die er viele Stunden durchzuhalten vermag. Wenn dieser Radfahrer nun bergauf fahren will, so reichen 480 mkg/min nicht aus. Er benötigt vielleicht 720 mkg/min. Er wird dann nur  $\frac{2}{3}$  der Zeit fahren und  $\frac{1}{3}$  der Zeit, das sind 20 Minuten einer Stunde, sich erholen müssen. Es gibt nun beliebige Möglichkeiten, diese 20 Minuten-Erholungszeit in Pausenzahlen verschiedener Pausenlängen zu zerlegen. Wenn man viele kurze, statt wenige lange Pausen wählt, bekommt man die beste Leistungsfähigkeit. Ist der Berg steiler und erfordert er 960 mkg/min, so nimmt die Leistungsfähigkeit stark ab, wenn nur wenige lange Pausen gemacht werden. Erst bei 60 Pausen/h ist eine Dauer-Leistung möglich. Dieses Bild wird noch stärker betont bei 1200 mkg/min, dh. etwa 20%iger Steigung. Aber auch hier ist bei 60 Pausen/h eine Dauer-Leistung noch möglich.

In der Praxis liegen die Fragen nach der besten Pausenanordnung oft viel verwickelter. Bei einer Transport-Arbeit mit belastetem Hinweg und unbelastetem Rückweg kann man dauernd 12.5 kg Säcke transportieren, mit einer Gehgeschwindigkeit von 5.1 km/h. Welche Pausen sind nötig, um dauernd 50 kg Säcke zu transportieren? Transportiert man 12.5 kg Säcke so liegt die Dauer-Leistungs-Grenze unabhängig von der Transportentfernung bei 0.03 t/km. Trägt man 50 kg Säcke, so sind offensichtlich für die gleiche Transportleistung nur  $\frac{1}{4}$  der Wege notwendig, wie mit 12.5 kg Säcken. Bei gleicher Leistung je Stunde ständen dabei 75% Pausen zur Verfügung. Die Untersuchung der Pulsfrequenz lehrt, dass man mit 50% Pausen auskommt, also 0.06 t/km oder die doppelte Dauer-Leistung erreicht wie mit 12.5 kg Säcken. In ähnlicher Weise wurde das Problem des Schaufelns untersucht. Hier wurde die Last je Wurf und die Zahl der Würfe je Minute variiert. Auch hier wird mit vielen Pausen, dh. nach vielen Würfen mit einer leichten Schaufel, die nur 5 kg fasst, eine viel höhere Leistung ermöglicht als bei 11 kg Last per Wurf mit wenigen Würfen.

Das Prinzip ist natürlich auf jede praktische Tätigkeit anwendbar, die nach Tempo, Belastung, Pausenverteilung verschieden gestaltet werden kann.

Es gibt also 2 Wege, die richtige Länge und Zahl der Pausen bei schwerer Arbeit zu finden. Der eine ist nicht immer zuverlässig und gibt nur eine grobe Orientierung. Er nimmt 4 kcal/min als Grenzwert für Dauerarbeit und legt soviel Pausen ein, dass der durchschnittliche Umsatz in der ganzen Arbeitsschicht 4 kcal/min nicht übersteigt. Der andere Weg nimmt die Pulszahl als Index für eine genügende Blutversorgung, genügende Blutversorgung als den wichtigsten Punkt, Er-

müdigung zu vermeiden. Er sucht die Pulszahl während der Schicht auf einem konstanten mittleren Niveau zu halten und jede Pulsschuld zu verhindern, die eine erhöhte Pulszahl während der Erholung nach der Arbeit hervorruft. Der zweite Weg scheint geeignet, in jedem Fall Pausen so anzulegen, dass sie einem Mann erlauben, in den Grenzen einer Dauer-Leistung zu arbeiten.

*Max-Planck-Institut für Arbeitsphysiologie,  
Dortmund*

#### LITERATUR

- Karrasch, K. u. Müller, E. A.*, Das Verhalten der Pulsfrequenz in der Erholungsperiode nach körperlicher Arbeit. *Arbeitsphysiologie 14*, (1951) 369-382.
- Müller, E. A.*, Ein Leistungs-Puls-Index als Mass der Leistungsfähigkeit. *Arbeitsphysiologie 14*, (1950) 271-284.
- Müller, E. A. u. Franz H.*, Energieverbrauchsmessungen bei beruflicher Arbeit mit einer verbesserten Respirations-Gasuhr. *Arbeitsphysiologie 14*, (1952) 499-504.
- Müller, E. A. u. Reeh, J. J.*, Die fortlaufende Registrierung der Pulsfrequenz bei beruflicher Arbeit. *Arbeitsphysiologie 14*, (1950) 137-146.

#### SADRŽAJ

#### FIZIOLOGIJSKI OSNOVI PAUZA OPORAVLJANJA PRI TEŠKOM TJELESNOM RADU

Radne metode, strojevi i uređaji u industriji i poljoprivredi nisu uvijek prilagođeni fiziologijskoj strukturi čovječjeg tijela. Ravnoteža između umora za vrijeme kontrakcije mišića i oporavljanja za vrijeme dekontrakcije često je pormećena. Otuda zadatak, da se dovoljnim pauzama osigura ravnoteža između umora i oporavka. Autor iznosi dva načina, na koji se mogu pronaći ispravna duljina i ispravni broj pauza pri teškom radu. Prvi nije uvijek pouzdan i daje samo grubu orijentaciju: 4 kcal/min uzima se kao granična vrijednost potroška energije za trajni rad, a umeće se toliko pauza, da prosječni utrošak energije za cijelog radnog vremena ne prekorači 4 kcal/min. Drugi način uzima frekvenciju pulsa kao indeks za dovoljnu opskrbu krvi, a dovoljnu opskrbu krvi kao najvažniji faktor da se izbjegne umor. Prema toj metodi nastoji se frekvencija pulsa za vrijeme rada održati na jednom konstantnom srednjem nivou i zapriječiti svako poremećenje pulsa, koje bi za vrijeme oporavljanja nakon rada uzrokovalo povećani broj udaraca. Čini se, da se ovom drugom metodom mogu u svakom slučaju pauze raspodijeliti tako, da omogućé rad u granicama trajne izdržljivosti.