

© TNO - All rights reserved

Voor de rechten en verplichtingen van de opdrachtgever met betrekking tot de inhoud van dit rapport wordt verwezen naar de Algemene Voorwaarden van TNO.

Bi 1

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, openbaar gemaakt, en/of verspreid op welke wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van TNO.

METING VAN DE ARBEIDSCAPACITEIT

Dr. B. BINK

NEDERLANDS INSTITUUT VOOR PRAEVENTIEVE GENEESKUNDE TNO

Belastbaarheid

Bij de tewerkstelling van arbeiders wordt men altijd gesteld voor de vraag: komt de belastbaarheid overeen met de arbeidsbelasting, die het beroep oplegt. De geschiktheid van een sollicitant voor een bepaald beroep moet blijken uit zijn lichamelijke conditie, zijn zintuigelijk waarnemingsvermogen en zijn psychische gesteldheid.

Of h t nu de taak van de bedrijfsarts betreft (selectie van gegadigden voor een bepaalde functie in het bedrijf) of de taak van de sociale verzekeringsarts (schatting van het validiteitspercentage bij een geïncapaciteerde tot het verdienen van zijn loon in een bepaalde functie): het ga t steeds om de verhouding arbeidsbelasting en arbeidscapaciteit. Ofwel:
$$\frac{\text{arbeidsbelasting}}{\text{arbeidscapaciteit}} = \frac{\text{wat de man doet}}{\text{wat de man kan}} = \text{belastingsgraad.}$$
 Beoordeling van de arbeidscapaciteit door onderzoek in rust is soms onvoldoende en moet dan worden aangevuld met een onderzoek tijdens inspanning.

Inspanningsfysiologie

Een enkele maal worden door deze belastingsproeven onbekende afwijkingen aan het licht gebracht, die in rust niet te vinden waren. Van nog groter belang is de ergometrie voor het quantificeren van de belastbaarheid van het respiro-cardiovasculaire systeem (zie Tijdschrift voor Sociale Geneeskunde 41 (1963) 687). Dit quantificeren is in vele gevallen van geïncapaciteerdheid bij hart- en longpatiënten nodig voor de plaatsing van deze mensen in een voor hen adequate functie of beroep.

Bij langdurige arbeid is uithoudingsvermogen nodig om zwaar werk over langere perioden te kunnen verrichten. Om dit vast te stellen zijn inspanningsproeven op een ergometer nodig, waarbij het respiro-cardiovasculaire systeem maximaal belast wordt door inzet van grote spiergroepen.

Bij arbeid, die langer dan tien minuten duurt, wordt alle energie geleverd door de verbranding. De zuurstoftoevoer is daarbij bepalend voor de hoogte van de energiewisseling. Bij deze arbeid is de toevoer van zuurstof met het zuurstoftransportsysteem (bij intact bewegingsapparaat en spierstelsel) een maat voor de fysiologische arbeidsbelasting. De arbeidscapaciteit wordt bij deze arbeid bijna geheel bepaald door de capaciteit van het zuurstoftransportsysteem. De capaciteit van het zuurstoftransportsysteem neemt af bij veroudering en bij pathologische veranderingen. Lichamelijke training, bijvoorbeeld het beoefenen van sport, vergroot de capaciteit van het zuurstoftransportsysteem; waarwchijnlijk is de gemiddelde energie-omzetting per dag de belangrijkste factor.

De capaciteit van het zuurstoftransportsysteem kan bepaald worden door meting van de aërobe capaciteit. Op een ergometer wordt aan een proefpersoon een toenemende belasting opgelegd, waarbij zijn zuurstofopname per minuut hoger wordt, totdat een plafond wordt bereikt. Dit is de maximale zuurstofopname ofwel de aërobe capaciteit. De maximale zuurstofopname is eigenlijk alleen te bepalen bij inzet van alle spieren, maar moet evenwel om praktische redenen bij een bepaalde arbeidsvorm gemeten worden. Hierbij blijkt dat de gevonden aërobe capaciteit met de armen lager is dan bij arbeid met de benen.

Ergometrie

De drie belangrijkste groepen van ergometers zijn:

1. fietsergometer,
2. zwengelergometer,
3. tredmolen.

Met behulp van deze ergometers kan een constante belasting of een opklim-mende belasting worden opgelegd. Tijdens ergometrie kunnen bestudeerd worden:

1. zuurstofopname per minuut (CO_2 -afgifte, zuurstofschuld, respiratoir quotiënt),
2. ademminuutvolume (respiratiefrequentie, ademequivalent),
3. polsfrequentie (cardiac output),
4. bloeddruk,
5. electrocardiogram,
6. volhoudtijd.

De door ergometrie verkregen meetgegevens moeten in het geheel van de klinische beoordeling opgenomen worden. Er blijkt een nauwe relatie te bestaan tussen de zuurstofopname per minuut en de uitwendige belasting door middel van de ergometer. Soms kan afhankelijk van de vraagstelling volstaan worden met het vaststellen van de uitwendige belasting op de ergometer, zoals bij meting van het lichamelijk prestatievermogen van patiënten.

Ad 1: De meting van de zuurstofopname bij een toenemende belasting maakt de bepaling van de aërobe capaciteit mogelijk.

Ad 2: Het ademminuutvolume staat in nauwe relatie met de zuurstofopname en de uitwendige belasting. Deze relatie wordt door ons gebruikt voor het vaststellen van de later te bespreken Ventilatie-Prestatie-Index.

Ad 4: Ook de polsfrequentie vertoont dezelfde betrekking, doch bij een lagere arbeidsbelasting dan overeenkomt met gewoon fietsen op een vlak-ke weg zonder tegenwind (± 60 watt) is een sterk nerveuze beïnvloeding merkbaar. Deze relatie wordt door ons gebruikt bij het vaststellen van de later te bespreken Pols-Prestatie-Index.

Ad 4: Vooral de systolische bloeddruk stijgt bij toenemende belasting. De manchetmethode is niet geschikt voor het meten van de diastolische bloeddruk.

Ad 5: Bij het onderzoek van oudere mensen (boven 50 jaar) en van hartpatiënten is het maken van een electrocardiogram strikte voorwaarde bij het verrichten van ergometrie uit oogpunt van veiligheid.

Bij het toepassen van ergometrie met een continu opklimmende belasting kunnen pathologische verschijnselen worden waargenomen, vòòrdat gevaar voor de onderzochte optreedt. De hoogste arbeidsbelasting waarbij gestopt moet worden beschouwen we als de arbeidscapaciteit van de betrokkene.

Ad 6: Bij een bepaalde belasting wordt de maximale tijd vastgesteld, die bij deze belasting kan worden volgehouden. Dit is een zeer goede maat voor het uithoudingsvermogen bij verschillende trainingstoestanden.

Bepaling van de belastbaarheid door middel van maximale belasting

De fysieke belastbaarheid kan als volgt worden beoordeeld:

- A. Nagegaan dient te worden in hoeverre het lichamelijk prestatievermogen past bij de last, die de te vervullen taak met zich brengt.
- B. Onderzocht dient te worden of pathologische veranderingen bij de te keuren persoon het hem onmogelijk maken deze taak goed te vervullen.

Ad A.

De belastbaarheid voor dynamisch-energetische arbeid kan door middel van ergometrie quantitatief worden vastgesteld. Wij doen dit tijdens een opklimmende belasting op de fietsergometer, waarbij de belasting met 10 watt per minuut toeneemt. Het voordeel van deze werkwijze is, dat goed is waar te nemen bij welke belasting of zuurstofopname pathologische veranderingen gaan optreden. Indien geen pathologische veranderingen optreden, wordt getracht de maximale capaciteit van het zuurstoftransportsysteem (aërobe capaciteit, $\dot{V}_{O_2\text{-max}}$) als een plafond van de zuurstofopname waar te nemen. Het zuurstoftransportsysteem kan als een reeks worden opgeschreven. De zwakste schakel in deze reeks bepaalt de maximale capaciteit van het zuurstoftransportsysteem.

$\dot{V}_{O_2}$ $\dot{V} (F_I - F_E)$
 zuurstofopneming uit de lucht $\longrightarrow$ ventilatie $\longrightarrow$ alv. vent. $\longrightarrow$
 diffusie $\longrightarrow$ zuurstofbindend vermogen van het bloed $\longrightarrow$ longcirculatie
 $P_f \times s_l (C_a - C_v)$
 $\longrightarrow$ circulatie $\longrightarrow$ zuurstofverbruik in de weefsels.

Goed te meten grootheden in dit systeem zijn de zuurstofopneming, het ademminuutvolume en de polsfrequentie. Het ademminuutvolume ($\dot{V}$), het volume in een Douglasbag uitgeademde lucht, wordt gemeten met behulp van een gasmeter; het zuurstoffractieverschil in in- en uitademingslucht door middel van analyse in het Haldane-apparaat; de polsfrequentie (Pf) in slagen per minuut door middel van een cardi tachometer.

Onbekend blijven als componenten van de circulatie het slagvolume van het hart (sl) en het verschil in zuurstofconcentratie in het arteriële bloed en het gemengd veneuze bloed ($C_a - C_v$). Uit de literatuur is bekend dat het slagvolume vooral wisselt met de lichaamshouding, toeneemt bij de overgang rust naar arbeid, maar tijdens arbeid betrekkelijk constant is, mits de arbeidsvorm constant blijft.

Beperkende componenten van het plafond van de maximale zuurstofopname kunnen gelegen zijn in de ventilatie (bijv. asthma, emphyseem, chronische bronchitis), de alveolaire ventilatie (bijv. ongelijkmatige ventilatie, pneumoconiosen), de diffusie (bijv. longfibrose) en de circulatie. Dat de circulatie de zwakste schakel is in het zuurstoftransportsysteem kan soms gevonden worden uit de bepaling van de hartarbeid.

Hartarbeid = hartminuutvolume (Pf x sl) x gem. bloeddruk. Indien tijdsverschillen tussen systole en diastole worden verwaarloosd, is een benadering voor de gemiddelde bloeddruk: $\frac{S + 2D}{3}$ (S = systolische bloeddruk, D = diastolische bloeddruk). Bij bepaling met de manchet dient men zich evenwel te realiseren, dat de druk in de manchet wordt gemeten en dat men eigenlijk de druk in het begin van de aorta zou willen kennen. Volgens KATZ is er een correlatie tussen zuurstofopname van het hart en het product van polsfrequentie en systolische bloeddruk.

Ad B.

Pathologische veranderingen geven een begrenzing van de maximale hartarbeid. Wij doen de hartfunctieproeven met opklimende belasting om goed waar te kunnen nemen bij welke belasting (of $\dot{V}_{O_2}$) de pathologische veranderingen gaan optreden. Deze veranderingen zijn meer of minder klemmende redenen de proef te stoppen, zoals:

1. ST-daling in het E.C.G. --> 2 mm bij ijking van 1 cm/mV.
 - a. in rust reeds aanwezig, dan geen inspanningsproef;
 - b. twijfelachtig: ST-daling, die boven een bepaalde belasting optreedt, wordt bij nog 30 watt toename van de belasting duidelijk, dit beschouwen wij dan als de maximale belastbaarheid.
 2. Extrasystolie
 - a. onbelangrijk is de extrasystolie, die verdwijnt door inspanning boven 60 watt, de belasting die overeenkomt met gewoon fietsen op een vlakke weg zonder tegenwind;
 - b. directe indicatie tot stoppen is de multipele extrasystolie;
 - c. zeer frequent optredende extrasystolie.
 3. Extrasystolie die gaat optreden als systolische bloeddruk boven 200 mm Hg is.
 4. Tachycardie (plotselinge frequentiestijging).
 5. Systolische bloeddruk boven 230 mm Hg (bij jonge individuen met coarctatio aortae boven 300 mm Hg).
- Redenen waardoor de proefpersoon zelf gedwongen wordt te stoppen:
6. Cyanose
 7. Dyspnoe (objectief oordeel hierover soms mogelijk).
- Aortastenose is een contra-indicatie voor het fietsen.

Bepaling van de belastbaarheid door middel van submaximale belasting

Om verschillende redenen is het niet gewenst van proefpersonen een maximale inspanning te eisen, die tot uitputting leidt. In de eerste plaats is men afhankelijk van de motivering en verder is vooral bij personen met bepaalde afwijkingen het doen verrichten van een dergelijke inspanningsproef niet geheel verantwoord. Het is om deze reden, dat vele onderzoekers hebben gezocht naar inspanningsproeven, die bij submaximale belasting toch een inzicht kunnen geven in het maximale prestatievermogen.

Enkele methoden, die betrekkelijk eenvoudig te realiseren zijn, worden hier gegeven.

- a. Steptest. Gemodificeerde Harvard steptest (ÅSTRAND, P.O., 1954; ÅSTRAND, I., 1958, 1960; RYHNING, 1954).

Het voor deze steptest benodigde bankje is voor de man 40 cm en voor de vrouw 33 cm. Het is mogelijk een kistje te construeren met een hoge en een lage kant.

Methode: Metronoom op 90 tikken per minuut. Tik 1: R voet op bankje; Tik 2: L voet op bankje; Tik 3: R voet op grond; Tik 4: L voet op grond; Tik 5: id. R voet op bankje enz.

Gedurende de test, die vijf minuten duurt, wordt de polsfrequentie manueel aan de radialis geteld over telkens 15 seconden (op stopwatch van kwart voor tot hele minuut). Dit getal maal 4 geeft de polsfrequentie in slagen per minuut. Wordt een steady state bereikt over de laatste drie minuten, dan wordt de gemiddelde waarde over deze drie minuten genomen. Anders over de twee laatste minuten. Anders alleen de hoogste waarde. Uit dit getal voor de polsfrequentie in slagen per minuut en het lichaamsgewicht van de proefpersoon kan men in het nomogram van Åstrand-Ryhming de maximale zuurstofopname vinden (zie Fysiologische methoden voor het vaststellen van belasting en belastbaarheid, pag. 41, waarin tevens de correctiefactoren voor de verschillende leeftijden op pag. 42).

Voor een normale man bedraagt de maximale zuurstofopname per kg lichaamsgewicht volgens ROBINSON (1939):

leeftijd	ml O ₂ /kg/min
10 - 20	50
20 - 30	48
30 - 40	44
40 - 50	39
50 - 60	37
60 - 70	33
70 - 80	25

Uit de waarde, die men voor de maximale zuurstofopname uit de step-test van Åstrand-Ryhming heeft bepaald, gedeeld door de waarden die de maximale zuurstofopname zou moeten bedragen berekend uit de getallen van ROBINSON, kan men het werkelijk lichamelijk prestatievermogen uitdrukken als een percentage van het voor deze proefpersoon normale lichamelijk prestatievermogen.

Voorbeeld: Man van 28 jaar heeft in de steady state van de steptest een polsfrequentie van 144 slagen per minuut. Zijn lichaamsgewicht bedraagt 70 kg. Uit het nomogram blijkt de maximale zuurstofopname 3,42 l/min. De maximale zuurstofopname behoort te zijn $70 \times 0,048 = 3,36$ l/min. Het lichamelijk prestatievermogen van deze proefpersoon bedraagt: $\frac{3,42}{3,36} \times 100 = 102 \%$.

Om sociale redenen menen wij voor industriële arbeid de gemiddelde belasting voor ongeveer 500 minuten per dag te moeten aanhouden op een derde van het maximum. De proefpersoon uit het bovenstaande voorbeeld zou dus werk kunnen verrichten dat de $\frac{3,42}{3} = 1,14$ l/min ofwel 5,6 kcal/min niet overschrijdt (calorisch equivalent van 1 l O_2 gesteld op 4,9 kcal).

b. Submaximale fietsergometerproef

In het NIPG werd in de loop der jaren een hart-long-functieproef ontwikkeld, waarbij gebruik wordt gemaakt van een lineair toenemende arbeidsbelasting op een ergometerfiets. Hierbij worden de polsfrequentie, de bloeddruk, het electrocardiogram, de ventilatie, de zuurstofopname en de koolzuuruitscheiding voortdurend gecontroleerd en voor het merendeel automatisch geregistreerd.

Voor de vaststelling van het lichamelijk prestatievermogen wordt gelet op:

1. toeneming van de polsfrequentie per 10 watt toename van de belasting (pols-prestatie-index: P.P.I.);
2. bereikte belasting bij polsfrequentie 170 slagen per minuut t.o.v. W 170 bij normale proefpersonen;
3. toeneming van het ademminuutvolume per 10 watt toename van de belasting (ventilatie-prestatie-index: V.P.I.);
4. quotiënt W max en W max van normale proefpersonen.

ad 1. Polsfrequentietoename per 10 watt toename van de belasting

Bij het gebruik van een fietsergometer kan men in principe op dezelfde wijze te werk gaan als bij de steptest. Bij het fietsen speelt het lichaamsgewicht echter geen rol, zodat hier de relatie tussen de uitwendige arbeid en de polsfrequentie dient te worden beschouwd. Deze relatie kan worden uitgedrukt met een index, de pols-prestatie-index ofwel de "Leistungs Pulsindex" vlg. MÜLLER (1950).

Op de fietsergometer met opklimmende belasting, waarbij de belasting met 10 watt per minuut toeneemt, bedraagt de toename van de polsfrequentie bij de normale man tussen 25 en 60 jaar 4,01 slagen per minuut, voor de vrouw 5,74 slagen per minuut (zie voor de verschillende leeftijden BINK (1959), tabel 3).

In ideale gevallen ($\pm 40\%$) kan men een rechte lijn trekken door alle meetpunten, overigens moet men het beste compromis sluiten.

Voorbeeld: Wordt bij een man een toename van de polsfrequentie van 8 slagen per 10 watt toename van de belasting waargenomen, dan bedraagt het lichamelijk prestatievermogen van deze man:

$$\frac{\text{P.P.I. normaal}}{\text{P.P.I. gevonden}} \times 100 = \frac{4,01}{8} \times 100 = 50\% \text{ van normaal.}$$

Hier is de gevonden waarde vergeleken met een norm, die geldt voor een proefpersoon van een bepaald geslacht, een bepaalde lichaamsbouw uit een bepaalde leeftijdsgroep.

ad 2. Quotiënt watt 170 en watt 170 normaal

Ook op andere wijze is het lichamelijk prestatievermogen uit de polsfrequentie bij arbeid op de fietsergometer te bepalen. Men kan vaststellen welke arbeidsbelasting in watts een polsfrequentie van 170 slagen per minuut veroorzaakt. De norm hiervoor is gebaseerd op het lichaamsgewicht.

Het normale vermogen bedraagt bij de man 3,04 watt per kg lichaamsgewicht en bij de vrouw 2,33 watt per kg lichaamsgewicht (zie BINK, 1959, tabel 3).

Voorbeeld: Wordt bij een man van 70 kg een polsfrequentie van 170 slagen per minuut waargenomen bij een arbeidsbelasting van 107 watt, dan is het lichamelijk prestatievermogen van deze man:

$$\frac{107}{70 \times 3,04} \times 100 = \frac{107}{213} \times 100 = 50\%.$$

Behalve bij vetzuchtige of zeer magere of hypernervieuze proefpersonen, zullen de uitkomsten van de laatste twee criteria voor het vaststellen van het lichamelijk prestatievermogen goed overeenstemmen.

De man uit het laatste voorbeeld is evenwel niet in staat de steptest, die volgens het nomogram bij 70 kg lichaamsgewicht een zuurstofopname van 2,13 l/min vergt, uit te voeren.

ad 3. Toename van het ademminuutvolume per 10 watt toename van de belasting

Bij patiënten met emfyseem of chronische bronchitis zal de extreme dyspnoe of cyanose een duidelijke graadmeter kunnen zijn voor de beperking van hun arbeidsvermogen.

Tijdens de functieproef op de fietsergometer met opklimmende belasting, zoals die in het NIPG wordt uitgevoerd, meten wij de toestand van het ventilatieapparaat aan de zgn. ventilatie-prestatie-index.

Dit is de toename van het ademminuutvolume per 10 watt toename van de belasting. Normaal bedraagt dit 2,2 l per 10 watt toename van de belasting. Bedraagt dit bij een patiënt 4,4 l, dan is het lichamelijk prestatievermogen van de patiënt: $\frac{2,2}{4,4} \times 100 = 50 \%$.

Bepaling van de validiteit

Voor een goede uitvoering van de Wet op de Arbeidsongeschiktheidsverzekering is een schatting van de mate van invaliditeit noodzakelijk. Het beroep op de medische kennis is verschillend voor de verschillende afwijkingen:

1. Orthopaedische afwijkingen. Het lijkt mogelijk voor het gemis of functieverlies van ledematen of delen hiervan een invaliditeitspercentage vast te stellen, rekening houdend met het tot dusverre uitgeoefende beroep en de psychologische en sociale mogelijkheden tot revalidatie.
2. Neurologische afwijkingen. Idem.
3. Interne afwijkingen, zoals chronische enteritis (colitis), levercirrhose, schrompelnieren. Hierbij is een objectieve vaststelling van de invaliditeit een vrijwel onmogelijke taak.
4. Psychiatrische afwijkingen. Idem.
5. Afwijkingen van het zuurstoftransportsysteem. Longziekten, hart- en vaatziekten. Hiervoor zijn functieproeven ontwikkeld.

Belastbaarheid en leeftijd

De energetische belastbaarheid kan het best bepaald worden aan de maximale zuurstofopname of aërobe capaciteit. De maximale zuurstofopname is bij de 25-jarige ongeveer 3 l voor de gemiddelde werkende Nederlander.

van 175 cm lang en 75 kg zwaar en 2 l op 60-jarige leeftijd (zie BONJER, 1965, pag. 53, fig. 7). Dezelfde arbeidsbelasting, die voor de 25-jarige 25 % van zijn belastbaarheid betekent, komt bij de 60-jarige overeen met 33 % van zijn belastbaarheid.

Het calorische equivalent van 1 l zuurstof is bij onze gangbare voeding 4,9 kcal/l O_2 . De maximale zuurstofopname kan afhankelijk van de trainingstoestand van de spieren (anaërobe capaciteit) 2 tot 8 minuten worden volgehouden, gemiddeld 4 minuten (ROBINSON).

De aërobe capaciteit wordt daarom weergegeven als $\dot{A}_4$, dat is de arbeidscapaciteit in kcal voor een arbeidstijd van vier minuten (zie pag. 13).

Sociale consequenties

De sociale consequenties van het afwegen van de arbeidsbelasting tegen de arbeidscapaciteit zijn in drie groepen te onderscheiden:

1. Taakstelling van groepen: $\frac{\dot{M}_{\text{groep}}}{\dot{A}_{\text{groep}}}$. Het afwegen van de arbeidsbelasting in kcal/min ($\dot{M}$) van de groep tegen de arbeidscapaciteit van de groep ($\dot{A}$), eveneens in kcal/min (zie Tijdschrift voor Sociale Geneeskunde, 41 (1963) 687).
2. Selectie: $\frac{\dot{M}_{\text{groep}}}{\dot{A}_{\text{ind.}}}$. Het hierboven besproken afwegen van de individuele arbeidscapaciteit tegen de arbeidsbelasting van het beroep.
3. Individuele taakstelling (bijzondere bemiddeling): $\frac{\dot{M}_{\text{ind.}}}{\dot{A}_{\text{ind.}}}$.

De aanpassing van de individuele taakstelling aan de individuele arbeidscapaciteit van de geïncapaciteerde.

Arbeidsfysiologie en arbeidstechniek

Het belangrijkste deel van de samenwerking tussen arbeidskundige en arbeidsfysioloog is de arbeidsrationalisatie. Het gaat daarbij om de vermindering van de arbeidsbelasting door veranderingen in de werkmethode. De arbeidsbelasting is te berekenen uit tijdsbesteding, houding en beweging voor alle handelingen tijdens de dagtaak met de formule:

$$M = t \cdot B \cdot \dot{M} + t \cdot (G + g) \cdot \dot{m} \cdot s$$

B M = basale stofwisseling (grondstofwisseling in kcal/min)
M = totale stofwisseling in kcal voor de periode met tijd t
t = tijd van de periode in minuten
m = netto stofwisseling bij deze houding en dit tempo per kg lichaams-
gewicht en per minuut (kcal/kg.min)
G = lichaamsgewicht in kg
g = meegevoerde gewicht of uitgeoefende kracht in kg
s = tempo (fractie van normale tempo).

houding	beweging	kcal/kg.min	
slapen		0,0011	
liggen	onbelast	0,0019	
	hand	-	
	arm	0,0037	
	lichaam	0,0045	
zitten	onbelast	0,0058	
	hand	0,0076	
	arm	0,0160	
	lichaam	0,0279	
staan	onbelast	0,0069	
	hand	0,0089	
	arm	0,0154	
	lichaam	0,0345	
lopen	onbelast	0,0361	100 pas/min (3,96 km/uur)
	hand	0,0390	
	arm	0,0543	
	lichaam	0,0750	
fietsen		0,0575	15 km/uur
brommen, scooter-, autorijden		0,0170	
bus, tram, train		0,0133	
persoonlijke verzorging (wassen enz)		0,0154	
koffie, thee enz.		0,0076	
trap op en neer (16 treden op en neer is 1/3 min)		0,2716	

Toelaatbare arbeidsbelasting in kcal/min voor een arbeidstijd van 540 min per dag voor een gemiddelde Nederlandse man van 75 kg, 175 cm.

leeftijd	kcal/min	%	$\dot{A}_4$ kcal/min
23	4,75		14,62
25	4,65	100	14,31
30	4,42	95	13,60
35	4,23	91	13,02
40	4,00	86	12,31
45	3,77	81	11,60
50	3,58	77	11,02
55	3,35	72	10,31
60	3,12	67	9,60
65	2,93	63	9,02

De waarde voor $\dot{A}_4$, dat is de aërobe capaciteit in kcal/min is tevens gegeven. Hieruit kan men de toelaatbare arbeidsbelasting voor andere werktijden berekenen met de formule:

$$\dot{A}_t = \frac{\log 5700 - \log t}{\log 5700 - \log 4} \cdot \dot{A}_4.$$

Voor $\dot{A}_{480}$ wordt dit $\dot{A}_{480} = 0,341 \cdot \dot{A}_4$ en voor $\dot{A}_{540} = 0,325 \cdot \dot{A}_4$ (deze laatste waarden zijn in de tabel gegeven).

Met behulp van de boven vermelde methode is het mogelijk een redelijke schatting van de arbeidsbelasting gedurende de totale werktijd (betaalde tijd) te verkrijgen. Dit is ook van groot belang voor de plaatsing van geïncapaciteerden op een bepaalde werkplek door de arbeidskundige belast met de bijzondere bemiddeling (bijv.: arbeidskundige van de Gemeenschappelijke Geneeskundige Dienst). Indien bij deze geïncapaciteerde tevens de $\dot{A}_4$ bepaald is, wordt het mogelijk de arbeidsbelasting zo te rationaliseren dat deze onder de arbeidscapaciteit komt te liggen.

LITERATUUR

- ÅSTRAND, I. Physiological methods for estimating the physical working capacity in workers, especially of the older groups. *Ergonomics* 1(1958)129
- ÅSTRAND, I. Aerobic work capacity in men and women with special reference to age. *Acta physiol.scand.* 49(1960)suppl.169
- ÅSTRAND, P-O. Experimental studies of physical working capacity in relation to sex and age. Copenhagen, Munksgaard, 1952.
- ÅSTRAND, P-O. and I. RYHMING. A nomogram for calculation of aerobic capacity (physical fitness) from pulse rate during submaximal work. *J.appl.Physiol.* 7(1954)218
- BINK, B. Het lichamelijk prestatievermogen van cardiologische patienten. *Verhandeling Ned. Instituut praeventieve Geneeskunde*, nr. 43, 1959.
- BINK, B. The physical working capacity in relation to working time and age. *Ergonomics* 5(1962)25
- BINK, B. Additional studies on physical working capacity in relation to working time and age. *Proc. 2nd Int.Ergonomics Ass. Congress.* Dortmund 1964. *Suppl.Ergonomics* 1965, p 83-6
- BINK, B. Arbeidsfysiologische aspecten van de arbeidsbelasting bij het bouwen van banden. *T.soc.Geneesk.* 40(1962)553; *Mens en Onderneming* 17(1963)97
- BINK, B. Relatie tussen arbeidsbelasting en arbeidscapaciteit. *T.soc.Geneesk.* 41(1963)698
- BINK, B. De arbeidsbelasting bij het gebruik van verschillende technische hulpmiddelen bij het laden van huisvuil. *T.soc.Geneesk.* 43(1965)178
- BINK, B. Fysieke activiteit bij beoefenaars van verschillende beroepen. *Mens en Onderneming* 20(1966)353-9
- BINK, B. Lichamelijk arbeidsvermogen en functionele leeftijd. *Mens en Onderneming* 22(1968)300-7
- BINK, B., F.H. BONJER en H. van der SLUYS. Het fysiek arbeidsvermogen van de mens. *T.Eff.Doc.* 31(1961)526
- BINK, B., F.H. BONJER en H. van der SLUYS. Assessment of the energy expenditure by indirect time and motion study. In: *Physical activity in health and disease*, *Proc.Beitostølen Symposium 1966*, ed. by K. Evang and K. Lange Andersen. Oslo, Universitetsforlaget, 1966, p. 207-14
- BONJER, F.H. Actual energy expenditure in relation to the physical working capacity. *Ergonomics* 5(1962)29
- BONJER, F.H.(rapporteur) Fysiologische methoden voor het vaststellen van belasting en belastbaarheid. Assen, van Gorcum, 1965. Rapport samengesteld door een Cie. van de Werkgroep Meetmethoden Belasting en Belastbaarheid; GO-TNO.
- BONJER, F.H. Zijn moderne inzichten in de bedrijfsgeneeskunde van belang voor de volksgezondheid in het algemeen? *TNO-Nieuws* 21(1966)396
- BONJER, F.H. Measurement of working capacity by assessment of the aerobic capacity in a single session. *Fed.Proc.* 25(1966)1363-5
- CARPENTER, T.M. Tables, factors and formulas for computing respiratory exchange and biological transformations of energy; 4th ed. Washington, Carnegie Institute, 1963.

- CONSOLAZIO, C.F., R.E. JOHNSON and L.J. PECORA. Physiological measurements of metabolic functions in man. New York, McGraw-Hill, 1963
- EDHOLM, O.G., J.G. FLETCHER, E.M. WIDDOWSON and R.A. McCANCE. Energy expenditure and food intake of individual men. Brit. J. Nutr. 9(1955)286
- MCDONALD, I. Statistical studies of recorded energy expenditure of man. Part II. Expenditure of walking related to weight, sex, age, height, speed and gradient. Nutr. Abstr. Rev. 31(1961)739
- LANOY, C., and F.H. BONJER. A hyperbolic ergometer for cycling and cranking. J. appl. Physiol. 9(1956)499
- MONOD, H. Contribution à l'étude du travail statique. Paris, Institut nat. de sécurité, 1956
- MONOD, H., et J. SCHERRER. Capacité de travail statique d'un groupe musculaire synergique chez l'homme. C.R. Soc. Biol. (Paris) 151(1957)1358
- MUELLER, E.A. Ein Leistungs-Pulsindex als Maß der Leistungsfähigkeit. Arbeitsphysiol. 14(1950)271
- PASSMORE, R., and J.V.G.A. DURNIN. Human energy expenditure. Physiol. Rev. 35(1955)801
- ROBINSON, S. Experimental studies of physical fitness in relation to age. Arbeitsphysiol. 10(1939)251
- ROHMERT, W. Ermittlung von Erholungspausen für statische Arbeit des Menschen. Int. Z. angew. Physiol. 18(1960)123
- ROHMERT, W. Statische Haltearbeit des Menschen; mit Tabellen zur Ermittlung der Erholungszuschläge. Sonderheft der Refa-Nachrichten, Darmstadt, Refa, 1960
- ROSE, M.E. Foundation of nutrition; 4th ed. rev. by G. McLEOD and C.M. TAYLOR. New York, McMillan, 1946
- RYHMING, I. A modified Harvard step-test for the evaluation of physical fitness. Arbeitsphysiol. 15(1954)235
- SPITZER-HETTINGER. Tafeln für den Kalorienumsatz bei körperlicher Arbeit; 4e Aufl. Sonderheft der Refa-Nachrichten, Darmstadt, Refa, 1964
- TIMMERS, J. Enkele beschouwingen over lichamelijke arbeid. Mens en Ondern. 17(1963)328
- TIMMERS, J. De bepaling van de arbeidscapaciteit en haar verband met de leeftijd. T. soc. Geneesk. 41(1963)687
- VOORLICHTINGSBUREAU voor de voeding. Nederlandse voedingsmiddelen-tabel. Voeding 19(1958)63
- ZIELHUIS, R.L. Verband tussen gegevens verkregen uit lichamelijk onderzoek en uit functieonderzoek. T. soc. Geneesk. 41(1963)691