HOFFMANS

77-15

METINGEN VAN RUSTSTOFWISSELING BIJ OBESE EN NON-OBESE VROUWEN

Marijke Hoffmans

Wouter Pfeifer

Publicatie nr. 77-15

VAKGROEP HUMANE VOEDING

METINGEN VAN RUSTSTOFWISSELING BIJ OBESE EN NON-OBESE VROUWEN

Methodiek voor het meten van het energieverbruik tijdens rust.

Onderzoek naar het verband tussen ruststofwisselingsniveau en lichaamssamenstelling bij obese en non-obese vrouwen in de leeftijd van 20 - 30 jaar.

Marijke Hoffmans
Wouter Pfeifer

Begeleiders :

Prof. Dr. J.G.A.J. Hautvast
Ing. B.L. Gundlach
Drs. H. Nijkrake
Ir. A.J.M. Oude Ophuis

Publicatie nr. 77-15.

Landbouw Hogeschool
Vakgroep Humane Voeding

Wageningen, juli 1977

E - 338260

VOORWOORD

Dit onderzoek werd uitgevoerd als doktoraal-opdracht voor het hoofdvak Humane Voeding. De opdracht vloeide voort uit het meer uitgebreide onderzoeksproject, dat de energiehuishouding bij obesen bestudeert.
In het kader van dit project is het van belang het energieverbruik van proefpersonen te kunnen meten. De ruststofwisseling kon niet goed bepaald worden met de beschikbare apparatuur, zodat wij ons als eerste doel stelden, hier een oplossing voor te zoeken. Na een verdieping in de literatuur en overleg met onderzoekers, die op dit terrein werkzaam zijn, werd vrij snel een oplossing gevonden. De technische problemen bij het bouwen van een meetopstelling namen echter mede door gebrek aan ervaring, relatief veel tijd in beslag.
Als tweede onderdeel van de studie werd een experiment uitgevoerd met vrouwelijke proefpersonen om het verband tussen ruststofwisseling en lichaamssamenstelling te onderzoeken. Hierbij bleek het noodzakelijk de vraagstelling te beperken, in verband met de beschikbare tijd.

Wij hebben met het opzetten en uitvoeren van dit onderzoek zeer positieve ervaringen opgedaan. We zien terug op een goede samenwerking met de begeleiders en op een leerzame periode voor onze studie.

Marijke Hoffmans
Wouter Pfeifer

INHOUDSOPGAVE

VOORWOORD 1

INHOUDSOPGAVE 2

SAMENVATTING 4

SUMMARY 5

I. INLEIDING 6

II. VERANTWOORDING 9

III. DOEL VAN HET ONDERZOEK 10

IV. METING VAN ENERGIEVERBRUIK 11

1. Algemeen 11
2. Open en gesloten systemen 12
3. Conclusie 18
4. Bepaling van de O_2-consumptie met behulp van spirometrie met O_2-concentratiestabilisatie. 18
   1. De opstelling van de apparatuur 18
   2. Berekening van het energieverbruik 21

V. METHODIEK 22

1. Populatie 22
2. Proefopzet 22
3. Metingen 25
   1. Ruststofwisseling 25
   2. Bepaling van het vetpercentage 26
   3. Anthropometrie 27

VI. RESULTATEN 28

1. Populatie 28
2. Gezondheidsanamnese 28
3. Menstruatiecyclus en orale anticonceptiva 29
4. Omstandigheden tijdens de meting van de ruststofwisseling 30
   1. Rustomstandigheden 30

2. Temperatuur in de meetruimte 31
3. Hartslagfrequentie 31
5. Ruststofwisseling 31
6. Lichaamssamenstelling 33
7. Overige anthropometrische gegevens 34
8. Bewerking en analyse van de resultaten 35
1. Energieverbruik tijdens rust, in relatie met lichaamsgewicht en VVM. 35
2. Lineaire regressie analyse 35
3. Relatie van het energieverbruik tijdens rust met lichaamsoppervlakte 39

VII. DISCUSSIE 41
1. Niveau en spreiding van het energieverbruik tijdens rust 41
2. Relatie tussen het energieverbruik tijdens rust en lichaamssamenstelling 42

VIII. CONCLUSIES 48

LITERATUUR 49

BIJLAGEN
1. Advertenties voor proefpersonen 52
2. Invulformulier m.b.t. gezondheid 53
3. Beschrijving van het onderzoek, meegegeven aan de proefpersonen 54
4. Meetstaat ruststofwisseling 56
5. Meetstaat densiteit 57
6. Verzamelstaat gegevens 58
7. Energieverbruik tijdens rust en lichaamssamenstelling van de proefpersonen
1. Voor de normale groep 59
2. Voor de dikke groep 60
8. Overige anthropometrische gegevens van de proefpersonen
1. Voor de normale groep 61
2. Voor de dikke groep 62
9. Gegevens van zeven uitgesloten proefpersonen 63

SAMENVATTING

Het verband tussen ruststofwisseling en lichaamssamenstelling werd onderzocht bij 28 vrouwelijke vrijwilligers in de leeftijd van 20 - 30 jaar.
De ruststofwisseling werd indirect bepaald door de zuurstofopname door de proefpersoon te meten in een gesloten ademhalingssysteem met toepassing van zuurstofconcentratiestabilisatie.
Het vetpercentage van het lichaam werd densitometrisch bepaald. Op grond van het vetpercentage werd de onderzoekspopulatie ingedeeld in een dikke groep (n = 15; vet% $\geqslant$ 30, gem. : 33.6%) en een normale groep (n = 13; vet% $\leqslant$ 25, gem. : 20.4%).
Het energieverbruik tijdens rust bedroeg voor de dikke groep gemiddeld 1550 kcal/24 uur (6.488 MJ/24 uur) en voor de normale groep 1421 kcal/24 uur (5.948 MJ/24 uur).
Het energieverbruik tijdens rust, uitgedrukt per kg. lichaamsgewicht is voor de dikke groep lager dan voor de normale groep. Uitgedrukt per kg. vetvrije massa (VVM) verbruiken de dikke proefpersonen daarentegen meer energie dan de proefpersonen met een normale lichaamssamenstelling.
De correlatie tussen lichaamsgewicht en ruststofwisseling bleek voor beide groepen lager te zijn dan de correlatie tussen de VVM en ruststofwisseling. Het verschil verdwijnt echter als beide groepen worden samengevoegd.
De beste verklaring voor het energieverbruik onder rustomstandigheden kan worden verkregen, wanneer de VVM én de vetmassa (VM) als verklarende variabelen worden opgevoerd in de lineaire regressie vergelijking.

SUMMARY

The relationship between resting metabolic rate and body-composition was investigated among 28 female volunteers, aged 20 -30 years.
The resting metabolic rate was indirectly determined by measuring the oxygen-consumption of the subjects in a closed circuit, in which the oxygen-concentration was stabilized.
The fatpercentage of the body was determinated by densitometry.
The population was divided into two groups : The obese, with a fat% $\geqslant$ 30 (n = 15; mean : 33.6%) and the non-obese, with a fat% $\leqslant$ 25 (n = 13; mean : 20.4%).
Mean values for the resting metabolic rate :

- obese : 1550 kcal/24 h. (6.488 MJ/24 h.)
- non-obese : 1421 kcal/24 h. (5.948 MJ/24 h.)

The resting metabolic rate per kg. bodyweight is lower in the obese than in the non-obese. However, expressed per kg. fat free weight (FFW), the obese need more energy than the non-obese.
The correlation between bodyweight and resting metabolic rate was lower in both groups than the correlation between FFW and resting metabolic rate. When the groups are considered together, there is no difference anymore.
The best explanation for the resting metabolic rate is given, when both FFW and fatmass are used as the independent variables in the lineair regression equation.

I. INLEIDING

Obesitas is het gevolg van een langdurige verstoring van de energiehuishouding van het menselijk lichaam.
Een positieve energiebalans, die leidt tot de opslag van vet, kan het resultaat zijn van een te grote hoeveelheid opgenomen energie via het voedsel of van een te geringe besteding van deze energie. Waarschijnlijk speelt een combinatie van deze twee mogelijkheden vaak een rol.
Onderzoek naar de aard en oorzaken van een positieve energiebalans is gecompliceerd. De reden hiervan is dat de grootte van de afwijking in de energiebalans, die zal leiden tot obesitas, klein is in vergelijking met de grote spreiding van energieopname en -besteding binnen een groep individuën (Garrow, 1974).

De dagelijkse energiebesteding wordt voonamelijk bepaald door het energieverbruik tijdens rust en tijdens lichamelijke aktiviteit en door de specifiek dynamische werking van het voedsel. Het energieverbruik tijdens rust maakt een groot deel uit van de totale dagelijkse energiebesteding in de vorm van slaap en licht inspannende aktiviteiten (Passmore en Durnin, 1967).
Edholm et al. (1955) vinden bij militaire kadetten dat 70% van de tijd werd besteed aan slapen en zitten. Dit komt overeen met 40% van de totale energiebesteding. Consolazio en Johnson (1971) komen tot de volgende verdeling onder militairen : 88% liggende en zittende aktiviteiten, 10% licht tot matige en 2% zware lichamelijke arbeid. In het onderzoek van Schure en Siebenga (1977) onder 16 obese vrouwen blijkt dat 16,5 uur per dag slapend en zittend wordt doorgebracht.

Basaal Metabolisme wordt gedefinieerd als het minimale niveau van stofwisseling dat nodig is voor het in stand houden van het organisme.

In meer praktische termen luidt deze definitie :
basaal metabolisme is de energiebesteding van een individu onder gestandaardiseerde omstandigheden, dat wil zeggen, in algehele lichamelijke en geestelijke rust, 12 tot 18 uur na de laatste maaltijd en in een thermisch neutrale omgeving. Deze basale condities zijn moeilijk te realiseren, zodat, in navolging van Passmore en Durnin (1967),beter gesproken kan worden van ruststofwisseling.
De omstandigheden tijdens de meting hoeven niet strikt basaal te zijn, maar moeten wel voor alle proefpersonen gelijk gehouden worden.
Garrow (1974) en Bray en Atkinson (1977) geven uitvoerig weer welke faktoren invloed hebben op het niveau van de ruststofwisseling. Genoemd worden : geslacht, leeftijd, lichaamssamenstelling, lichaams- en omgevingstemperatuur, emotie, fysiologische atatus (ziekte, groei, zwangerschap, menstruatie-cyclus) en gebruik van bepaalde medicijnen.

In het algemeen blijkt een obese persoon een hoger energieverbruik te hebben dan een normale persoon van gelijke lengte, leeftijd en geslacht (Bray en Atkinson, 1977; Ljunggren et al. 1961). Onderzoek naar de lichaamssamenstelling van obesen, toont aan dat het overgewicht niet uitsluitend aan vet toegeschreven kan worden. Ook de hoeveelheid aktief celweefsel (of de vetvrije massa) is toegenomen.
Om obese en normale proefpersonen met elkaar te vergelijken wat betreft het energieverbruik in rust, is een maat nodig die rekening houdt met de verschillen in lichaamssamenstelling. Het ligt voor de hand hiervoor een maat te nemen die de hoeveelheid metabool aktief weefsel beschrijft.
Hiervoor zijn in gebruik :

aktieve celmassa : alle celelementen die betrokken zijn bij respiratie, fysische en chemische arbeid en delingsaktiviteit.

Lean Body Mass (LBM) : het gehele lichaam met uitzondering van het niet-essentiële vetweefsel.

Vet Vrije Massa (VVM) : het lichaam met uitzondering van alle daarin aanwezige vet.

Afhankelijk van de beschikbare bepalingstechnieken kan een van de bovenstaande lichaamsgrootheden worden gebruikt.

Bij vergelijking van verschillende diersoorten blijkt een relatie gevonden te worden tussen ruststofwisseling en lichaamsoppervlakte. Het gebruik van lichaamsoppervlakte als referentie eenheid voor individuële waarden van de ruststofwisseling, voldoet echter niet. Bovendien is er geen fysiologische verklaring voor deze relatie, zodat lichaamsoppervlakte als referentie eenheid afgewezen moet worden (Passmore en Durnin, 1967; Garrow, 1974).
Kleiber (1947) veronderstelt op grond van interspeciesvergelijking, een verband tussen ruststofwisseling en het lichaamsgewicht tot de macht 0.75. Dit zou een maat zijn voor het "metabolisch" gewicht van het dier. Sinds echter betere technieken beschikbaar zijn voor het bepalen van het metabolisch gewicht, wordt deze maat niet veel toegepast.

II. VERANTWOORDING

In het kader van het onderzoek naar energie-dysregulatie is het van belang energie-balansstudies uit te kunnen voeren. Noch voor de meting van energieopname, noch voor de meting van energieverbruik zijn technieken beschikbaar, die aan de gewenste nauwkeurigheid en praktische haalbaarheid voldoen. In het onderzoek naar de energiehuishouding bij 16 obese vrouwen, uitgevoerd door Schure en Siebenga (1977), blijkt dit uit de discrepantie tussen opname en verbruik, waarbij met name het verbruik erg hoog geschat wordt.
Deze schatting is gebaseerd op :

I. bepaling van de ruststofwisseling.

II. een "record-methode", waarbij door de deelnemers de lichamelijke aktiviteit wordt geregistreerd.

In dit onderzoek wordt de bepaling van de ruststofwisseling nader bekeken. Hierbij worden de volgende facetten in ogenschouw genomen :

- Beschikbare apparatuur.
- Omstandigheden, waaronder de meting plaats vindt.
- Lichaamssamenstelling van de proefpersonen.

III. DOEL VAN HET ONDERZOEK

Het doel van dit onderzoek is tweeledig :

I. Het vaststellen van de meest geschikte wijze, waarop de ruststofwisseling bepaald kan worden.

II. Het vergelijken van het ruststofwisselingsniveau van een groep dikke en een groep normale proefpersonen.

Ad I. De zuurstofopname, ter bepaling van het energieverbruik, kan volgens verschillende principes gemeten worden. In de eerste fase van dit onderzoek werd nagegaan welke voor- en nadelen de verschillende methodes hebben en wat voor ons doel de meest geschikte en praktisch toepasbare methode is.
Voor een beschouwing hierover zij verwezen naar hoofdstuk IV.

Ad II. De waarden van de ruststofwisseling van een groep dikke en van een groep normale personen worden vergeleken wat betreft niveau en spreiding. Om deze vergelijking mogelijk te maken wordt de ruststofwisseling gerelateerd aan de lichaamssamenstelling.

IV. METING VAN ENERGIEVERBRUIK

In het bijzonder de meting in een gesloten ademhalingssysteem met zuurstof-concentratiestabilisatie.

IV.1. Algemeen

De door het lichaam verbruikte energie komt vrij in de vorm van door het lichaam afgegeven warmte en extern verrichte arbeid. De intern verrichte arbeid komt uiteindelijk ook als warmte vrij.

Direkte calorimetrie maakt van dit gegeven gebruik.

In een kamer of "tank" wordt de warmteafgifte van een zich daarin bevindende persoon bepaald door meting van de temperatuurstijging van het water, dat de tank als een mantel omringt. Lavoisier voerde de eerste experimenten met deze methode van meten uit (1890). De techniek is echter omslachtig en leent zich daarom niet voor routineonderzoek.

Bij het uitvoeren van zijn experimenten stelde hij vast dat de energie, die gedurende een bepaalde periode verbruikt wordt, kwantitatief gerelateerd is aan de zuurstof-opname. Dit legde de basis voor de indirekte calorimetrie.

De energie in het lichaam wordt geleverd door verbranding van voornamelijk eiwitten, vetten en koolhydraten.

De hoeveelheid O_2, die nodig is voor deze verbranding en de hoeveelheid CO_2, die vrijkomt, is afhankelijk van de soort voedingsstoffen. Wanneer bekend is welke combinatie van voedingsstoffen verbrand is, kan hieruit worden afgeleid hoeveel energie bij deze verbranding is vrijgekomen.

In de indirekte calorimetrie wordt de gaswisseling van O_2 en CO_2 in de longen gemeten. De hoeveelheden geproduceerde CO_2 en geconsumeerde O_2, afkomstig van de eiwitverbranding, kunnen bepaald worden door de uitscheiding van ureum in de urine te meten. De rest van de gaswisseling kan toegeschreven worden aan de verbranding van vetten en koolhydraten.

De verhouding CO_2/O_2 (non-protein respiratoir quotiënt) is een maat voor de verhouding van de hoeveelheden verbrand vet en koolhydraten.

Er zijn tabellen opgesteld, die, bij de verschillende waarden van het non-protein R.Q. aangeven hoeveel energie vrijkomt per liter geconsumeerde zuurstof.
Meting van energieverbruik onder rustomstandigheden vindt vaak plaats onder aanname, dat het R.Q. de gemiddelde waarde van 0.82 aanneemt. De energie-equivalent van 1 liter opgenomen O_2 bij een R.Q. van 0.82 bedraagt 4.825 kcal.(20.20 kJ).
Als in de berekeningen van het energieverbruik uitgegaan wordt van een gemiddelde R.Q.= 0.82, bedraagt de fout hoogstens 4% in de gevallen, dat òf volledige koolhydraatverbranding (R.Q.= 1.0) òf volledige vetverbranding (R.Q.= 0.71) plaats vindt. Dit is hoogst zelden het geval. Martineaud en Trémolières (1964) vinden, in overeenstemming met andere onderzoekers, lagere waarden van het R.Q. voor obesen dan voor normale personen (R.Q. waarden resp. 0.75 en 0.79).
Uitgaande van de vaste waarde van het R.Q.= 0.82, zou de fout in de berekening van het energieverbruik voor de obese personen ongeveer 1% bedragen.
Het aandeel van de eiwitstofwisseling in de berekening van het energieverbruik wordt gewoonlijk buiten beschouwing gelaten (fout $<$ 1%).

IV.2. Open en gesloten systemen.

De zuurstof-opname van het lichaam kan volgens twee verschillende principes bepaald worden :
In een open systeem wordt kamerlucht (van bekende samenstelling) ingeademd. Van de uitgeademde lucht wordt het volume, de O_2-concentratie en de CO_2-concentratie bepaald.
In een gesloten systeem is de ingeademde lucht afkomstig uit een reservoir (spirometerklok), waarin de uitgeademde lucht weer terugkeert. De CO_2 in de uitgeademde lucht wordt geabsorbeerd in natriumhydroxide. De O_2, die uit het systeem verdwijnt wordt gemeten en is een maat voor het energieverbruik.

Een overzicht van de verschillende methodes volgens het open systeem wordt gegeven in tabel A.,blz.13.

TABEL A. Methoden voor de bepaling van de zuurstof-opname in een open systeem.

Methode	Werkwijze	Voordelen	Nadelen
Douglas-zak	uitgeademde lucht wordt opgevangen in een grote zak : het volume en de gehaltes O_2 en CO_2 worden bepaald.	eenvoudig en makkelijk hanteerbaar	-volume bepaling omslachtig -rekenwerk
Continue analyse	uitgeademde lucht wordt direct door een diaferometer geleid : volume bepaling; O_2 en CO_2-analyse.	schommelingen in O_2-verbruik worden geregistreerd.	-technisch ingewikkeld
Max Planck respirometer (en soortgelijke apparaten)	uitgeademde lucht wordt door een volumemeter geleid. Slechts een kleine fractie (0.03-0.06%) van de uitgeademde lucht wordt in een zakje verzameld en geanalyseerd op O_2 en CO_2.	compact apparaat geschikt voor veldwerk	-volumemeting is onnauwkeurig -voor meting van ruststofwisseling niet geschikt.
Algemeen		-kamerlucht wordt ingeademd -R.Q.-waarde bekend.	

Het voordeel van het open systeem is, dat de natuurlijke omstandigheden niet verstoord worden, aangezien gewone kamerlucht wordt ingeademd. Bovendien wordt bij de analyse zowel de O_2-concentratie als de CO_2-concentratie bepaald. Dit maakt een controle mogelijk op de aangenomen waarde van het R.Q.. De volumebepaling van de uitgeademde lucht levert echter moeilijkheden op, omdat hiervoor een grote nauwkeurigheid is vereist.

Het gesloten systeem maakt gebruik van een spirometer (volumograaf) : de proefpersoon wordt via een mondstuk en een slang aangesloten op een met lucht gevuld reservoir (klok), dat vrij op en neer kan bewegen in een waterbad. De neus van de proefpersoon wordt met een klemmetje afgesloten. Eventueel kan een masker gebruikt worden ter vervanging van het mondstuk en de neusklem. De lucht in het slangensysteem wordt voortdurend rondgepompt, waarbij alle uitgeademde lucht langs natriumhydroxide wordt geleid om het uitgeademde CO_2 weg te vangen.

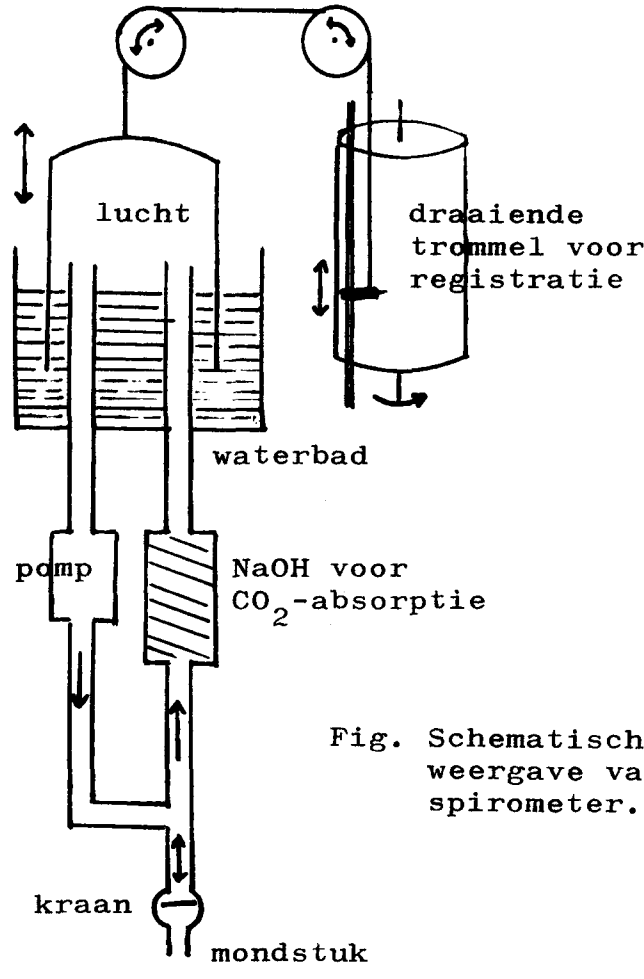


Fig. Schematische weergave van een spirometer.

De verschillende toepassingen van het gesloten systeem, met voor- en nadelen, worden weergegeven in tabel B., blz15.

TABEL B. Methoden voor de bepaling van de zuurstof-opname in een gesloten systeem

Methode	Werkwijze	Voordelen	Nadelen
Spirometer, gevuld met 100% O_2.	Bepaling van volume afname	Eenvoudige en directe aflezing.	-fysiologische invloed op ademhaling -fysische oplossing van O_2 in weefsels -N_2-uitwas -volumeveranderingen, anders dan door O_2-opname
Spirometer, gevuld met kamerlucht	Bepaling van volumeafname	Inademing van kamerlucht.	-veranderende samenstelling van de lucht : afname O_2-conc. -grote spirometer-klok nodig -volumeveranderingen, anders dan door O_2-opname
Spirometer, gevuld met kamerlucht; O_2-stabilisatie.	De uit het systeem opgenomen O_2 wordt aangevuld op grond van :	Samenstelling van de lucht is constant	
- naar volume	-volume verandering		-volumestab. hoeft geen conc.stab. te betekenen -volumeveranderingen, anders dan door O_2-opname
- naar concentratie	: -O_2-conc. verandering Hoeveelheid aangevoerde O_2 = verbruikte O_2	-directe O_2-stab. -geen of weinig invloed van factoren, die vol. veranderingen veroorzaken, anders dan door O_2-opname	-indirecte aflezing -snel reagerende O_2-analysator nodig

Het grootste probleem bij het gesloten systeem wordt geleverd door de samenstelling van de lucht, die wordt ingeademd. Wanneer de spirometerklok gevuld wordt met gewone kamerlucht, waaruit de O_2 wordt opgenomen, is een klok nodig, die voldoende lucht bevat om een bepaling gedurende enige minuten uit te kunnen voeren. De klok moet dan echter dusdanig groot zijn, dat de volumeverandering ten gevolge van de O_2-opname erg onnauwkeurig te bepalen is. Een oplossing kan verkregen worden door de klok te vullen met zuivere O_2, waarvan een gedeelte in de longen wordt opgenomen. Hieraan zijn echter nadelen verbonden. De natuurlijke omstandigheden worden verstoord, wat de volgende gevolgen kan hebben :

1. De proefpersoon gaat anders ademhalen, waardoor de O_2-opname kan worden beinvloed.
2. Er vindt een fysische oplossing van O_2 in de weefsels plaats, waardoor het O_2-verbruik te hoog wordt geschat.
3. Stikstof uit de weefsels opgelost, komt in de spirometerklok terecht. (N_2-uitwas) *)

Een andere oplossing om het reservoir niet te groot te hoeven maken, is toevoer van O_2 tijdens de bepaling om de verbruikte hoeveelheid O_2 aan te vullen.
Deze zuurstof-stabilisatie kan op twee manieren tot stand worden gebracht

I. Volume-stabilisatie
II. Concentratie-stabilisatie

Ad I. De O_2, die uit het systeem wordt opgenomen, wordt aangevuld op grond van het veranderende volume. De hoeveelheid O_2, die nodig is voor het constant houden van het volume, is een maat voor het O_2-verbruik.

*) Niet te verwarren met de produktie van gasvormig N_2, afkomstig van metabole bronnen. Cissik et al. (1972) beschrijven dit verschijnsel en de invloed die dit zou kunnen hebben op metingen van zuurstof-opname. Een bevestiging kan niet worden gevonden bij andere onderzoekers (Wagner et al., 1973).

Volumeveranderingen hoeven echter niet uitsluitend het gevolg te zijn van O_2-opname in de longen.
Andere mogelijke oorzaken zijn :

1. inslikken van lucht door de proefpersoon
2. wisselingen van het ademhalingsniveau
3. lekken in het systeem
4. temperatuurschommelingen
5. onvolledige CO_2-absorptie

Wanneer het volume zich wijzigt, ten gevolge van een van deze factoren, wordt er een foutieve interpretatie gegeven aan de hoeveelheid O_2, die nodig is om het volume constant te houden. Bovendien kan het betekenen, dat O_2-toevoer plaatsvindt om verdwenen lucht aan te vullen, waardoor de samenstelling van de lucht in het reservoir rijker wordt aan O_2, met de reeds genoemde gevolgen.

Ad II. De O_2-stabilisatie kan direkt tot stand worden gebracht door de verandering in O_2-concentratie in het systeem te volgen. Hiertoe moet de lucht continu door een analysator worden gevoerd. De aanvulling van O_2 kan dan continu geschieden, waardoor de samenstelling van de lucht constant blijft gedurende de meting. Bij deze methode van O_2-stabilisatie worden de nadelen van de volumestabilisatie ondervangen.
De invloed van lekken, wisselingen in het ademhalingsniveau, slikken enz. is klein, omdat de concentratie van de lucht in het systeem niet verandert. Temperatuurschommelingen hebben in het geheel geen invloed.

Consolazio et al. (1963) geven voor de meting van energieverbruik met behulp van het open systeem een reproduceerbaarheid binnen 1%. Voor het gesloten systeem geven zij een reproduceerbaarheid van 6-7%. Zij houden echter geen rekening met de mogelijkheid van concentratie-stabilisatie van zuurstof in een gesloten systeem.
Beneken Kolmer (1967) vindt geen verschil in reproduceerbaarheid tussen het open en het gesloten systeem met concentratie-stabilisatie ($<$6%)

In dit experiment bedroeg de reproduceerbaarheid gemiddeld 1.5%. (Met uitzondering van enkele sterk afwijkende metingen, zie hoofdstuk VI, blz. 30).

IV.3. Conclusie

Van de methodes volgens het gesloten systeem verdient de spirometer, gevuld met kamerlucht en stabilisatie van de zuurstof-concentratie, de voorkeur.
De keuze tussen een gesloten of een open systeem hangt af van de omstandigheden, als beschikbaarheid van apparatuur, meetsituatie en eventueel benodigde R.Q.-waarde. Voor het open systeem moet een goede gasvolume-meting uitgevoerd kunnen worden.
Als ervoor gezorgd kan worden, dat alle deelbepalingen juist uitgevoerd worden, zijn beide systemen van gelijke nauwkeurigheid.

IV.4. De bepaling van de O_2-consumptie met behulp van spirometrie met O_2-concentratiestabilisatie.

IV.4.1. De opstelling van de apparatuur.

De meetopstelling, zoals weergegeven in figuur A., omvat vier eenheden :

1. het spirometersysteem 1, waaraan de proefpersoon via slangen en een mondstuk gekoppeld is.
2. het spirometersysteem 2, gevuld met 100% O_2, waaruit spirometersysteem 1 aangevuld wordt.
3. een circuit buiten spirometersysteem 1 om, waarin opgenomen een zuurstof-analysator.
4. temperatuurmeting op diverse punten.

Ad 1. De proefpersoon is via een mondstuk en een toevoer- en afvoerslang verbonden met de spirometerklok. (Jaeger Spirotest Junior. Max. inhoud : 9 liter). De lucht in dit systeem wordt voortdurend rondgepompt. De door de proefpersoon uitgeademde lucht wordt langs vast natriumhydroxide geblazen om de uitgeademde CO_2 weg te vangen.

De spirometerklok hangt in een waterbad en kan met de ademhaling vrij meebewegen. De beweging wordt geregistreerd door een inktschrijver op een draaiende trommel.
De spirometerklok is gevuld met kamerlucht.

Ad 2. Een tweede spirometersysteem (Mijnhardt Volumograph, inhoud 9 liter) dient als reservoir voor 100% O_2 (medicinale zuurstof). Een slang verbindt beide spirometers. In de verbinding zijn een eenvoudige flow-meter, een fijnregelkraan en een grofregelkraan opgenomen.

Ad 3. Een pompje zorgt ervoor, dat uit de spirometerklok 1 voortdurend een monster wordt gezogen, dat gevoerd wordt door een O_2-analysator (Taylor Servomex OA-272), en weer terug in het systeem. De O_2-analyse berust op de paramagnetische eigenschappen van O_2. Verandering van de O_2-concentratie in de spirometerklok is na 7-8 sec. waar te nemen. Deze snelle reaktietijd biedt de mogelijkheid om de concentratie constant te houden binnen 1% rond de uitgangswaarde (20.9%). Voordat de lucht door de analysator gevoerd wordt, is deze gedroogd in een condensatie-vaatje, gevuld met $CaCl_2$.

Ad 4. Voor het omrekenen van de volumina opgenomen O_2 naar Standard Temperature and Pressure, Dry (STPD)-condities is het nodig de temperatuur in het tweede spirometersysteem (O_2 reservoir) te meten. Dit gebeurt met een in de klok gemonteerd thermokoppel (koper-constantaan). Tevens worden de temperatuur in spirometersysteem 1 en de kamertemperatuur gemeten. Het meten van de temperatuur in spirometersysteem 1 dient als controle op eventueel waargenomen volumeveranderingen in dit systeem.

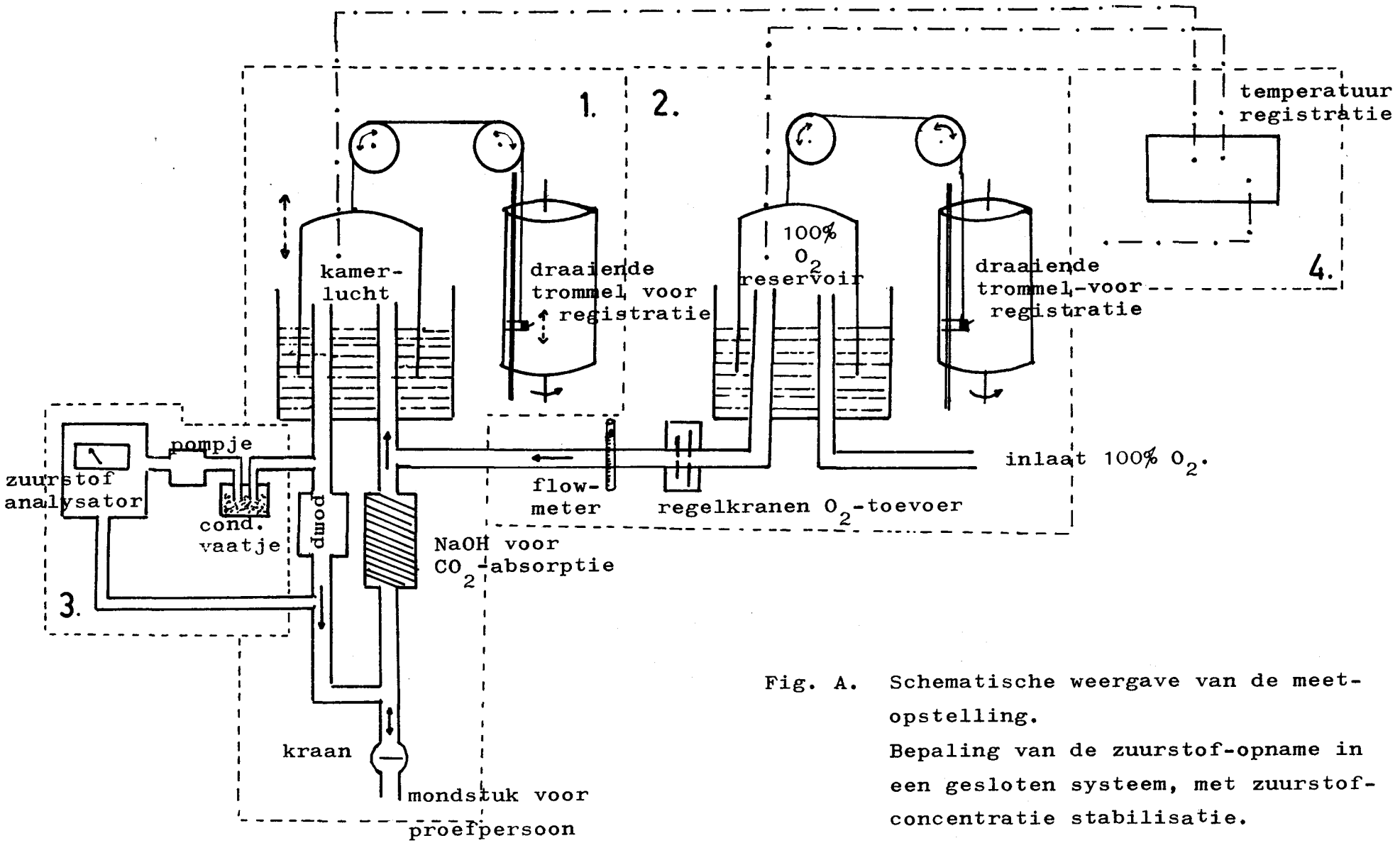


Fig. A. Schematische weergave van de meet-opstelling.
Bepaling van de zuurstof-opname in een gesloten systeem, met zuurstof-concentratie stabilisatie.

IV.4.2. Berekening van het energieverbruik.

Voor de wijze van berekening, zie de meetstaat in bijlage 4.
Een opmerking over de zuurstofconcentratie-correctie :

Wanneer de zuurstofconcentratie in systeem 1 na de meting veranderd is t.o.v. voor de meting, kan op de volgende manier een correctie worden aangebracht voor de hoeveelheid, door de proefpersoon opgenomen zuurstof :

Het verschil tussen de hoeveelheid O_2 aan het begin en aan het eind van de meting is (in spirometerklok 1) :

$$\Delta V_{O_2} \text{ (ml)} = \frac{C_{O_2,t=0} \times V_{1,t=0} - C_{O_2,t=t} \times V_{1,t=t}}{100}$$

met C_{O_2} in %, V_{O_2} in ml. en V_1 : volume klok 1 in ml.

In verband met de zeer kleine concentratie-verschillen werd de concentratie-correctie niet steeds nauwkeurig berekend, maar is van de volgende benadering uitgegaan :

Het uitgangsvolume in klok 1 was bij elke meting gelijk (ca. 8 liter) en veranderde tijdens de meting zeer weinig. Een concentratie-verandering van 0.1% komt bij dit volume overeen met een verandering in volume O_2 van 8 ml.
Bij een toename in de O_2-concentratie van 0.1% werd van de hoeveelheid uit klok 2 opgenomen O_2, 8 ml.afgetrokken; bij een afname, 8 ml. erbij opgeteld.

V. METHODIEK

V.1. Populatie

Het onderzoek werd uitgevoerd onder gezonde vrouwelijke vrijwilligers in de leeftijd van 20 tot 30 jaar.
Voor de werving werden advertenties geplaatst in twee plaatselijke kranten en in het Hogeschoolblad (zie bijlage 1).
Daarnaast werden een aantal mensen persoonlijk benaderd.
De selectie van de proefpersonen gebeurde op grond van lengte en gewicht. Gestreefd werd naar een groep van 10 à 15 personen met een vetpercentage $\geqslant$ 30%, en een groep van 10 à 15 personen met een vetpercentage $\leqslant$ 25%. Hiertoe werd globaal een Quetelet-index (gewicht/lengte^2) aangehouden van $\geqslant$ 25 voor de dikke groep en van $\leqslant$ 21.5 voor de normale groep.
Teneinde een indruk te krijgen van de gezondheidstoestand van de proefpersonen, werd door hen een schriftelijke gezondheidsanamnese ingevuld, welke door de afdelingsarts werd beoordeeld. Hierbij werd tevens gevraagd naar gebruik van orale anticonceptiva en naar het begin van de laatste menstruatie en de duur van de cyclus. (bijlage 2)

V.2. Proefopzet

De proefpersonen kregen ieder een uitnodiging voor een gesprek op de afdeling Voeding. In dit gesprek werd de bedoeling van het onderzoek duidelijk gemaakt en verteld wat van de proefpersonen verwacht werd. De apparatuur werd aan hen getoond en een uiteenzetting gegeven over de manier waarop de meting plaats zou vinden. Een korte samenvatting op stencil kregen ze mee naar huis (bijlage 3).

De bepaling van de ruststofwisseling en densiteit werden op verschillende dagen uitgevoerd, omdat de onderwaterweging mogelijkerwijs de proefpersonen enigszins verontrust, wat een verhogende invloed kan hebben op het ruststofwisselingsniveau.

Om de rustomstandigheden tijdens de bepaling van de ruststofwisseling zo optimaal mogelijk te maken, werden de volgende maatregelen genomen :

- de proefpersonen werden 's ochtends nuchter gemeten.
- ze kregen de instructie zich van te voren zo min mogelijk in te spannen.
- ze werden met een taxi thuis opgehaald en naar de afdeling Voeding gebracht.
- bij aankomst ademden ze gedurende enige minuten aan de respirometer, om vertrouwd te raken met mondstuk en neusklem.
- voor de eigenlijke meting rustten de proefpersonen ongeveer 30 minuten.
- er werd zorg voor gedragen, voorzover mogelijk, dat de rust in de meetruimte en in de directe omgeving daarvan, gehandhaafd bleef. Interrupties door binnenkomende personen en telefoon werden voorkomen.
- voor en tijdens de meting lagen de proefpersonen in een comfortabele ligstoel.
- de temperatuur in de meetruimte was tijdens deze periode ongeveer 23° C.

Als controle op de rusttoestand van de personen werd gedurende de periode voor de meting en tijdens de meting enige keren de hartslag-frequentie opgenomen.

De bepaling van het energieverbruik werd in duplo uitgevoerd. De eerste bepaling gedurende een periode van ongeveer 10 minuten en de tweede bepaling gedurende ongeveer 5 minuten. Indien de duplowaarden meer dan 5% verschilden, werd de meting als onbetrouwbaar bestempeld en zo mogelijk op een later tijdstip herhaald.

Op de dag dat de ruststofwisselingsbepaling plaats vond, werden tevens lichaamstemperatuur en bloeddruk als gezondheidsparameters opgenomen. Lichaamstemperatuur werd oraal gemeten met een BMS-unitemp-koortsthermometer voor eenmalig gebruik (Mecomfa BV, Den Haag). De bloeddruk werd bepaald met een automatische bloeddrukmeter (Elag-Köln, BR-110).

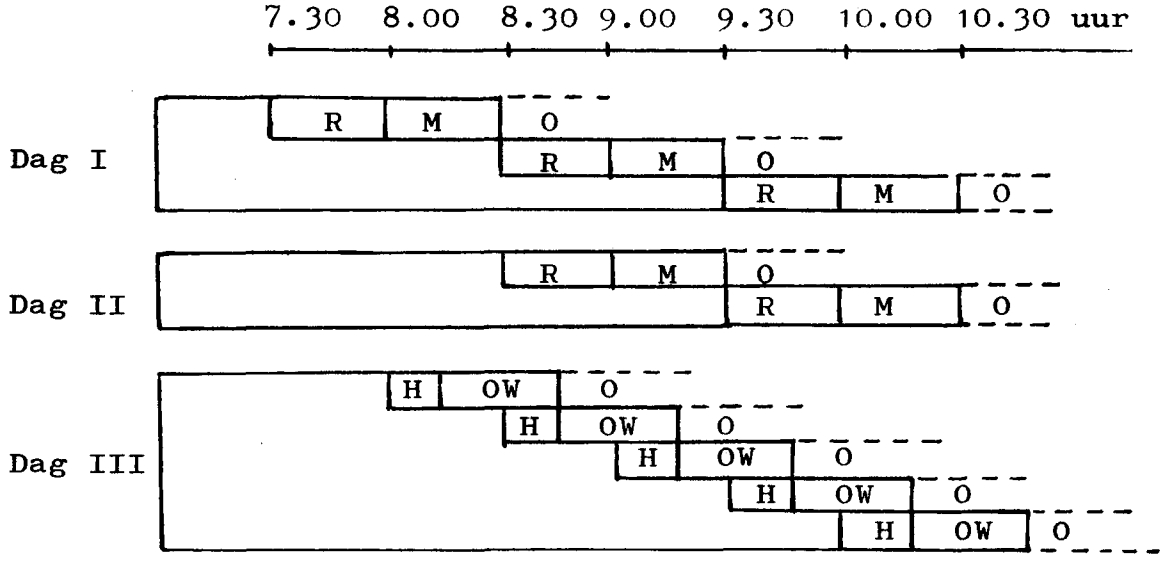
De periode tussen de bepaling van de ruststofwisseling en de densiteit werd zo kort mogelijk gehouden (1 tot 4 dagen).

De <u>onderwaterweging</u> werd 's ochtends voor het ontbijt uitgevoerd. De onderwaterweging werd in duplo uitgevoerd, terwijl de proefpersonen tussen de twee bepalingen ondergedompeld bleven.

Op deze ochtend werden bovendien een aantal lichaamsmaten bepaald, zoals lengte en gewicht, skelet- en omtreksmaten en huidplooien.
Urine van de proefpersonen werd onderzocht op aanwezigheid van eiwit en suiker. Bovendien werd een bloedmonster genomen uit de vingertop, teneinde het haemoglobinegehalte van het bloed te bepalen. Ook deze beide parameters dienden als gezondheidsindicatoren.

Op beide onderzoeksdagen kregen de proefpersonen na de meting een ontbijt aangeboden op de afdeling Voeding.

Bij de metingen werd het volgende tijdsschema gehanteerd :
(Om de drie dagen vijf proefpersonen)



R = rustperiode voor de meting
M = meting van de ruststofwisseling
O = ontbijt
H = huidplooien en overige lichaamsmaten
OW = onderwaterweging

V.3. Metingen

V.3.1. Ruststofwisseling

Het energieverbruik gedurende een bepaalde periode kan indirect worden bepaald aan de hand van de gaswisseling in de longen. Deze methode staat bekend als de indirecte calorimetrie
De verhouding van de afgestane hoeveelheid CO_2 en de opgenomen hoeveelheid O_2 door de longen, ook bekend als respiratoir quotiënt (R.Q.), is een indicatie voor de hoeveelheid energie die vrijkomt per liter opgenomen O_2.
Onder rustomstandigheden varieert dit R.Q. niet veel tussen personen (CO_2/O_2 = 0.82) en wordt als energie-equivalent voor een liter zuurstof 4.825 kcal. (20.20kJ.) aangenomen. Hieruit volgt, dat bij bepaling van de hoeveelheid O_2, die gedurende een bepaalde periode wordt opgenomen, een goede benadering wordt verkregen van de hoeveelheid verbruikte energie gedurende die periode.
In dit onderzoek werd de O_2-consumptie bepaald in een gesloten ademsysteem. Hiertoe ademen de proefpersonen aan een slang, die verbonden is met een respirometer, gevuld met kamerlucht. De proefpersonen dragen een neusklem, zodat alle uitgeademde lucht in het systeem blijft. De geproduceerde CO_2 wordt weggevangen met behulp van natriumhydroxide. Een monster van de lucht in de respirometer wordt continu door een O_2-analysator geleid, waardoor de veranderende O_2-concentratie kan worden gemeten.
Uit de tweede respirometerklok, die gevuld is met zuivere (medicinale) O_2, wordt de uit de eerste spirometer opgenomen hoeveelheid O_2 aangevuld, zodat de O_2-concentratie constant blijft gedurende de meting. De hoeveelheid O_2, die hiervoor nodig is, is een maat voor de hoeveelheid, die door de proefpersoon is geconsumeerd. Voor de berekening van de hoeveelheid verbruikte energie wordt het volume opgenomen O_2 omgerekend naar standaardcondities van druk, temperatuur en vochtigheid en vervolgens vermenigvuldigd met de factor 4.825 (20.20) om de hoeveelheid energie, uitgedrukt in kilocaloriën (kilojoules), te vinden.

V.3.2. Bepaling van het vetpercentage

Voor de bepaling van het vetpercentage van het lichaam wordt de densiteit van het lichaam bepaald. Hiertoe wordt het gewicht van de persoon in lucht, als ook onder water, bepaald. De weging onder water vindt plaats in een bad, gevuld met water van ongeveer 37°C. In dit bad bevindt zich een brancard, die opgehangen is aan een weegschaal. De proefpersoon wordt, liggend op deze brancard, geheel ondergedompeld. Tijdens de weging wordt tevens de longinhoud gemeten, aangezien dit longvolume het gewicht van de persoon onder water mede bepaalt.

De longinhoud wordt gemeten door middel van een snelle heliumverdunning. De proefpersoon is via een slang verbonden met een volumograaf. De neus wordt met een klemmetje afgesloten. In de volumograaf bevindt zich een bekend volume kamerlucht (V_0) met een bekende hoeveelheid helium erin (C_0). Nadat de kraan tussen volumograaf en proefpersoon geopend is, verspreidt het helium zich snel en regelmatig over de longen. De lucht in de volumograaf wordt via een heliumanalysator geleid, zodat de veranderende heliumconcentratie kan worden afgelezen. Wanneer de heliumconcentratie zich gestabiliseerd heeft, wordt de proefpersoon verzocht de adem enige tellen vast te houden. Op dit moment wordt het gewicht afgelezen, als ook de heliumconcentratie (C_1).
De longinhoud wordt als volgt berekend:

$$V_0 \times C_0 = (V_0 + V_{longen}) \times C_1$$

De hoeveelheid lucht, die zich in het maag-darmkanaal bevindt kan niet zo eenvoudig worden gemeten. Daarom wordt de weging verricht als de proefpersonen nuchter zijn. De hoeveelheid lucht in het maag-darmkanaal is dan gering.

De densiteit wordt berekend met de volgende formule :

$$D = \frac{Gewicht_{boven\ water}}{\dfrac{Gewicht_{boven\ water} - Gewicht_{onder\ water}}{Soortelijk\ Gewicht_{water}} - Longvolume}$$

(met D = densiteit in g/cm^3, gewichten boven en onder water in kg., S.G. van water in g/cm^3 en longvolume in liters.)

Het vetpercentage wordt afgeleid volgens de formule van Siri :

$$\% \text{ vet} = \frac{495}{D} - 450$$

D = densiteit van het lichaam in g/cm^3.

Voor een meetstaat betreffende de densiteitsbepaling, zie bijlage 5.

V.3.3. Anthropometrie

Het lichaamsgewicht werd bepaald op een bascule met een nauwkeurigheid van 0.1 kg.
De gemeten skeletmaten waren :

1. lengte met behulp van een microtoise.
2. bekken- en schouderbreedte met behulp van een bekkenpasser.
3. pols- en kniebreedten, zowel links als rechts; pols met behulp van een breedbladige schuifmaat en knie met behulp van een kleine passer.

De skeletmaten werden steeds op 0.1 cm. nauwkeurig afgelezen. Omtrekken werden bepaald van bovenarm, buik, bekken, bovenbeen en kuit. Hiervoor werd gebruik gemaakt van een flexibel stalen meetlint, welke op 0.1 cm. nauwkeurig werd afgelezen. Met behulp van een Harpenden huidplooimeter (constante druk 10 g/cm^2) werden de volgende huidplooien gemeten met een nauwkeurigheid van 0.1 mm. : bicipitalis, tricipitalis, subscapularis, supra-iliacalis, subcostalis, para-umbilicalis en quadricipitalis. Voor een meetstaat, zie bijlage 6.

Deze uitgebreide anthropometrische bepalingen werden verricht om eventuele vergelijking met andere onderzoekingen mogelijk te maken. Van direct belang voor dit onderzoek waren alleen de bepalingen van lengte, gewicht en de volgende 4 huidplooien : bicipitalis, tricipitalis, subscapularis en supra-iliacalis. Met behulp van de som van deze vier huidplooien kan een schatting worden gegeven van het vetpercentage, gebruik makend van tabellen, opgesteld door Durnin en Womersley (1974).

VI. RESULTATEN

VI.1. Populatie

De reacties op de geplaatste advertenties waren gering. Een persoonlijke benadering bleek effectiever te zijn.
Op grond van de gezondheidsanamnese werd één proefpersoon afgewezen. Bij 35 vrouwelijke proefpersonen zijn metingen verricht. Van 7 personen kwamen de gegevens niet in aanmerking voor verdere bewerking omdat :

- 3 personen een vetpercentage hadden tussen de 25% en 30%.
- 4 personen in de ruststofwisselingsbepaling duplowaarden hadden die meer dan 5% uit elkaar lagen (waarvan 2 duidelijke tekenen van onrust tijdens de meting vertoonden). Bij de bespreking van de rustomstandigheden wordt hier verder op in gegaan.

De uiteindelijke populatie bestond uit 28 personen, te weten :

15 personen met een vetpercentage groter dan 30%
13 personen met een vetpercentage kleiner dan 25%

in het vervolg aangeduid met respectievelijk dik en normaal.

De gemiddelde leeftijd was 23,5 jaar.
De groep telde 18 studenten en 10 huisvrouwen.

VI.2. Gezondheidsanamnese

In tabel 1 zijn de gemiddelden en uiterste waarden weergegeven van een aantal gezondheidsparameters, die gemeten zijn.
Op grond van de gegevens in de tabel en de door de afdelingsarts beoordeelde invulformulieren t.a.v. gezondheid, lijkt het gerechtvaardigd de proefpersonen gezond te noemen. Geen van de proefpersonen volgde een energiebeperkt dieet. Voorzover er medicijnen werden gebruikt, hadden deze geen invloed op de ruststofwisseling.

Bij vergelijking van de automatische Elag-Köln bloeddrukmeter met de methode volgens Riva-Rocci, bleek de eerste soms lagere waarden aan te geven. De indruk bestaat, dat de gevoeligheid van de sensor in de manchet van het Elag-Köln

apparaat, varieert met de omtrek en de molligheid van de te meten arm. Ondanks de soms lage uitkomsten, zagen wij geen reden proefpersonen op grond van de bloeddrukwaarden niet in aanmerking te laten komen.

TABEL 1. Gezondheidsparameters : gemiddelden en uiterste waarden

		DIK	NORMAAL
Bloeddruk (mm Hg)	systolisch	115 105-130	105 90-130
	diastolisch	70 40-75	63 50-70
Lichaamstemperatuur oraal (°C)		36.9 36.4-37.4	36.7 35.9-37.0
Haemoglobine gehalte van het bloed (g/100ml.)		13.8 11.9-15.5	13.9 13.2-14.5
Urine		Bij geen van de proefpersonen werd eiwit en/of suiker in de urine gevonden. pH : 5 - 7	

VI.3. Menstruatiecyclus en orale anticonceptiva

In tabel 2 zijn de aantallen vrouwen per categorie gegeven, die op de datum van de ruststofwisselingsmeting, in de pre- of postmenstruele fase van hun cyclus verkeerden. Eveneens is het al of niet gebruiken van orale anticonceptiva in beide groepen weergegeven.

TABEL 2. Menstruatiecyclus en orale anticonceptiva : aantallen per categorie

		DIK	NORMAAL
Fase in menstruatiecyclus :			
	postmenstrueel	5	6
	premenstrueel	10	7
Gebruik van orale anticonceptiva	wel	11	6
	niet	4	7

De opzet was om beide groepen te matchen op deze kenmerken. Dit bleek niet helemaal haalbaar te zijn. De groepen zijn echter te klein om de invloed van de enigszins andere verdeling op het ruststofwisselingsniveau na te gaan.
Uit de literatuur is bekend, dat de ruststofwisseling in de premenstruale fase hoger is dan in de postmenstruele fase. Over de invloed van de diverse orale anticonceptiva op het ruststofwisselingsniveau is slechts weinig bekend.

VI.4. Omstandigheden tijdens de meting van de ruststofwisseling

VI.4.1. Rustomstandigheden

De rust tijdens de meting kon redelijk goed in de hand worden gehouden. Helaas kon niet worden voorkomen dat er in enkele gevallen lawaai elders in het gebouw doordrong tot de meetruimte. Of dit invloed had op de rust van de proefpersonen kon niet worden opgemaakt uit een verschil in hoogte van het ruststofwisselingsniveau bij de duplowaarden.
Bij 5 metingen lagen de duplowaarden meer dan 5% uit elkaar. Bij 2 personen werd de meting daarom op een later tijdstip herhaald, wat in één geval een verbetering opleverde. De overige drie personen werden niet voor een 2e maal gemeten : 1 was niet te bereiken en 2 proefpersonen werden niet nogmaals opgeroepen omdat ze blijk hadden gegeven van angst voor de meting, waardoor de vereiste rustomstandigheden niet haalbaar waren.
Van 4 personen werden uiteindelijk de resultaten niet verder verwerkt.
Voor de 28 in de verwerking opgenomen metingen van de ruststofwisseling bedroeg de gemiddelde variatiecoëfficient van de duplowaarden :

	ALLE	DIK	NORMAAL
Gemiddelde variatiecoëfficient	1.45% (0.01-3.66)	1.25% (0.01-3.66)	1.69% (0.33-3.05)

VI.4.2. Temperatuur in de meetruimte

De temperatuur in de meetruimte bedroeg gemiddeld :

22.5°C (21.1 - 24.5)

De proefpersonen droegen hun normale kleding.

VI.4.3. Hartslagfrequentie

De grootste individuele variatie in de polsslag van de proefpersonen, tijdens hun verblijf in de meetruimte, bedroeg 10 slagen per minuut (hoogste waarde bij aankomst). De polsslag varieerde niet veel gedurende de meting zelf. De waarden verschilden wel interindividueel, maar de verdeling over de normale en dikke groep verschilde niet.

	DIK	NORMAAL
Gemiddelde hartslagfrequentie :	65	62
	(55-80)	(40-72)

VI.5. Ruststofwisseling

In tabel 3 zijn de resultaten van de ruststofwisselingsmeting voor respectievelijk de dikke en de normale groep in verschillende eenheden weergegeven. Onder de gemiddelden zijn de overeenkomstige standaarddeviaties geplaatst.

TABEL 3. Gemiddeld energieverbruik in rust, uitgedrukt in verschillende eenheden

	zuurstof verbruik	energieverbruik		
	ml/min.	kJ/min.	kcal/min.	kcal/24 uur
DIK gem.	223.1	4.51	1.08	1550
s.d.	18.8	0.38	0.09	131
NORMAAL gem.	204.4	4.13	0.99	1421
s.d.	27.3	0.55	0.13	189

Voor individuele waarden, zie bijlage 7.

In tabel 3 zijn omrekeningen in verschillende eenheden gegeven om de vergelijkbaarheid met andere onderzoeken te vergroten. Omdat wij vooral geïnteresseerd zijn in de ruststofwisseling als onderdeel van de totale dagelijkse energiebesteding, zullen wij bij de verdere verwerking van de gegevens slechts de eenheid kcal/24 uur gebruiken.

TABEL 4. Vergelijking van de waarden van het energieverbruik in rust met standaardwaarden, berekend volgens Harris/Benedict en volgens Passmore/Durnin

		Gemiddeld energieverbruik in rust per 24 uur				
		eigen onderzoek	berekend volgens Harris/Benedict		berekend volgens Passmore/Durnin	
DIK	gem.	1550	1535	r = .63	1445	r = .88
	s.d.	131	84		112	
NORMAAL	gem.	1421	1424	r = .73	1385	r = .81
	s.d.	189	89		123	

r = correlatie tussen geschatte en gemeten waarden.

De in tabel 4 geschatte gemiddelde waarden volgens Harris en Benedict, berusten op individueel berekende waarden volgens de formule : $655 + 9.563 \times G + 1.850 \times L - 4.676 \times Lt = RS$.

G = lichaamsgewicht (kg.)
L = lichaamslengte (cm.)
Lt = leeftijd (jaren)
RS = ruststofwisseling per 24 uur (kcal/24 uur)

Passmore en Durnin (1967) geven een tabel met standaardwaarden voor het energieverbruik in rust, rekening houdende met het vetpercentage van het lichaam. De waarden volgens Passmore en Durnin in tabel 4 zijn aan de hand hiervan berekend.

Correlaties van de geschatte waarden (per individu) met de gemeten waarden zijn achter de groepsgemiddelden gegeven.

De gemeten gemiddelde waarden komen goed overeen met de schatting volgens Harris en Benedict. Uit de relatief lage correlatiecoëfficient blijkt echter slechts een geringe overeenstemming in de individuele waarden.
De schatting volgens Passmore en Durnin geeft een betere individuele overeenstemming, maar geeft met name bij de dikke groep systematisch lagere waarden.

VI.6. Lichaamssamenstelling

TABEL 5. Resultaten van de lengte-, gewichts- en densiteitsbepaling.

		lengte (cm.)	gewicht (kg.)	densiteit (g/cm^3)	vet% *) %	vet massa (kg.)	vetvrije massa (kg.)
DIK	gem.	167.1	71.1	1.024	33.6	24.0	47.1
	s.d.	6.8	7.1	0.007	3.4	4.7	3.4
NORMAAL	gem.	170.3	58.6	1.053	20.4	12.2	46.4
	s.d.	5.7	8.2	0.010	4.4	3.9	5.0

*) berekend uit densiteit met formule van Siri.
Voor individuele waarden, zie bijlage 7.

De vetmassa (VM) is in de dikke groep tweemaal zo groot als in de normale, terwijl de vetvrije massa (VVM) in beide groepen vrijwel gelijk is.

Het vetpercentage is eveneens geschat met behulp van de som van vier huidplooien (Som 4 hpl.) : bicipitalis, tricipitalis, subscapularis en suprailiacalis. Omrekening van de Som 4 hpl. naar vetpercentages gebeurde aan de hand van tabellen van Durnin en Womersley (1974).
Tabel 6 geeft een vergelijking van de schattingen, met behulp van beide methodes, van het vetpercentage en de daaruit volgende VVM.
Correlatie van het vetpercentage, bepaald volgens densitometrie, en het vetpercentage, bepaald aan de hand van de Som 4 hpl., wordt eveneens gegeven.

TABEL 6. Vergelijking van geschatte vetpercentages en VVM's, volgens densitometrie (Siri) en huidplooi-meting (Durnin en Womersley).

		vet% densitometrie. %	vet% Som 4 hpl. %	VVM densitometrie. (kg.)	VVM Som 4 hpl. (kg.)	correlatie geschatte vetpercentages
DIK	gem.	33.6	33.7	47.1	47.0	r = .71
	s.d.	3.4	4.2	3.4	3.6	
NORMAAL	gem.	20.4	23.3	46.4	44.7	r = .88
	s.d.	4.4	5.0	5.0	4.6	

In de normale groep is het vetpercentage, geschat volgens de Som 4 hpl. hoger dan het vetpercentage, geschat volgens densiteit. De hoge correlatie duidt op een systematisch hogere schatting. In de dikke groep geven beide schattingen gemiddeld eenzelfde resultaat. Hier is echter de correlatie lager.

VI.7. Overige anthropometrische gegevens

In bijlage 8 zijn de individuele anthropometrische gegevens en de groepsgemiddelden gegeven. Deze gegevens moeten een vergelijking met andere onderzoeken mogelijk maken.

VI.8. Bewerking en analyse van de resultaten

VI.8.1. Energieverbruik tijdens rust, in relatie met lichaamsgewicht en VVM.

Wanneer het energieverbruik tijdens rust gerelateerd wordt aan het lichaamsgewicht of aan de VVM, zijn de uitkomsten voor de dikke en de normale groep als gegeven in tabel 7.

TABEL 7. Energieverbruik per dag, tijdens rust, uitgedrukt in kcal/kg. lichaamsgewicht en kcal/kg. VVM.

		DIK	NORMAAL	VERSCHIL	
Kcal/ kg. lich.gew./ dag.	gem.	21.8	24.4	- 2.5	t = 3.577*
	s.d.	1.2	2.3		$p < 0.01$
Kcal/ kg.VVM/ dag	gem.	32.9	30.6	2.3	t = -3.194*
	s.d.	1.4	2.4		$p < 0.01$

*) Student's t-waarde voor toets op verschil met bijbehorende p-waarde.

Het energieverbruik tijdens rust, per dag, is per kg. lichaamsgewicht in de dikke groep, significant ($p < 0.01$) lager dan in de normale groep.
Uitgedrukt per kg. VVM doet zich het omgekeerde voor.

VI.8.2. Lineaire regressie analyse

Het verband tussen energieverbruik tijdens rust en lichaamseenheden wordt verder geanalyseerd in tabel 8 met toepassing van lineaire regressie. Het energieverbruik tijdens rust is de te verklaren variabele. Als verklarende variabele worden resp. lichaamsgewicht, VVM, vetmassa(VM),en VVM + VM gebruikt. De regressie-lijnen zijn in beeld gebracht in de figuren 1 t/m 3 op blz 37.

TABEL 8. Lineaire regressie analyse, met als te verklaren variabele het energieverbruik tijdens rust en lichaamseenheden als verklarende variabelen (Voor een toelichting zie blz. 38.)

VERKL. VAR. (X)		Regressie overzicht, voor de normale, dikke en gecombineerde groepen: NORMAAL n = 13	DIK n = 15	GECOMBINEERD n = 28	Verschillen tussen dik en normaalin: helling	intercept
LICH. GEWICHT (fig. 1)	a	397.5 (269.3)	476.2 (208.1)	585.2 (136.0)	NS.*	NS.
	b	17.5 (4.6)	15.1 (2.9)	13.9 (2.1)		
	R^2	.58	.67	.64		
VETVRIJE MASSA (VVM) (fig. 2)	a	-19.6 (309.3)	-12.9 (248.5)	-48.3 (227.6)	NS.	Sign. $p<0.05$
	b	31.0 (6.6)	33.2 (5.3)	32.9 (4.8)		
	R^2	.67	.75	.64		
VET-MASSA (VM) (fig. 3)	a	1100.3 (155.1)	1138.6 (149.5)	1227.6 (71.3)	NS.	NS.
	b	26.3 (12.2)	17.1 (6.1)	14.2 (3.6)		
	R^2	.30	.37	.37		
X_1 = VVM X_2 = VM	a	-38.7 (360.9)	48.1 (246.0)	74.2 (202.1)		
	b_1	31.8 (9.6)	28.9 (6.1)	27.1 (4.6)	NS.	NS.
	b_2	-1.5 (12.1)	5.8 (4.4)	7.9 (2.6)	NS.	
	R^2	.67	.78	.74		

*) NS. : niet significant ($p>0.05$)

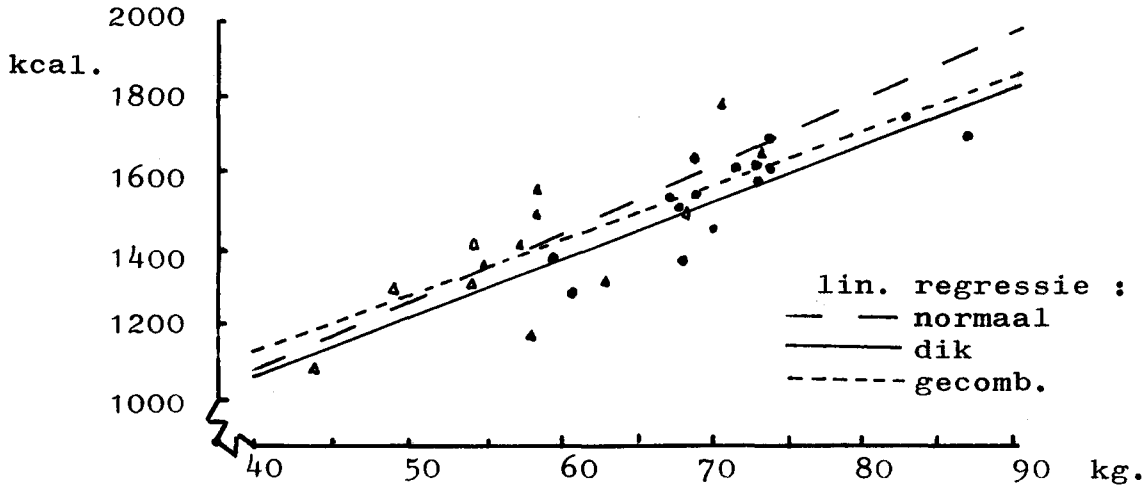


FIG. 1. Verband tussen energieverbruik tijdens rust per 24 uur en lichaamsgewicht voor de dikke (•) en de normale (▲) groep proefpersonen.

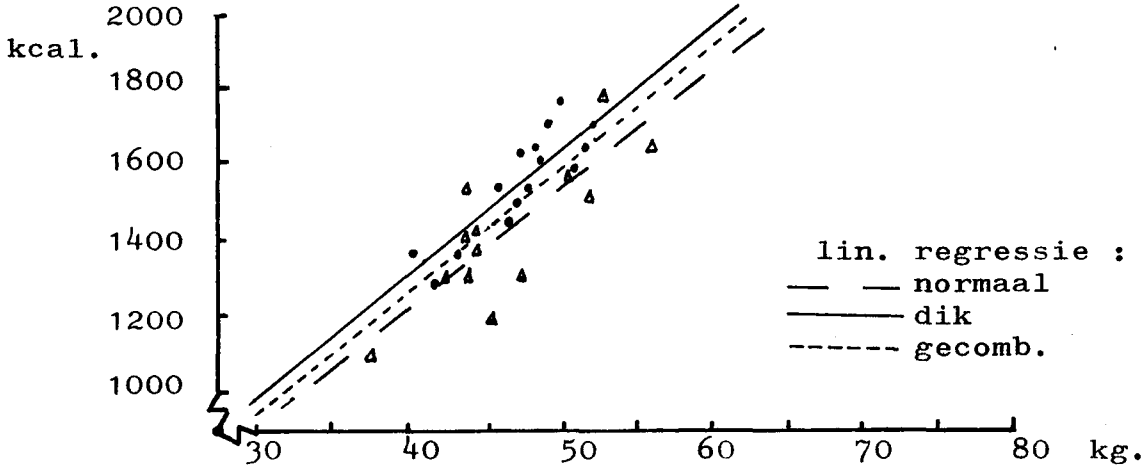


FIG. 2. Verband tussen energieverbruik tijdens rust per 24 uur en Vet Vrije Massa voor de dikke (•) en de normale (▲) groep proefpersonen.

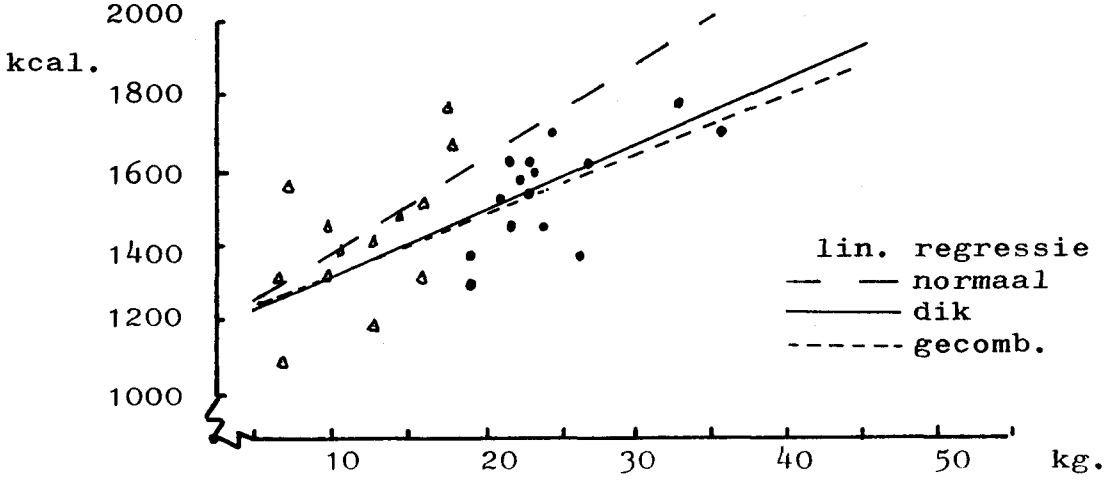


FIG. 3. Verband tussen energieverbruik tijdens rust per 24 uur en Vet Massa voor de dikke (•) en de normale (▲) groep proefpersonen.

Toelichting op tabel 8.

Het algemene lineaire model :

$Y = a + bX$ met Y : energieverbruik tijdens rust (kcal/24 uur).
en X : lichaamsgewicht, VVM of VM (kg.)

$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2$
met Y : energieverbruik tijdens rust (kcal/24 uur).
X_1: VVM (kg.)
en X_2: VM (kg.)

In tabel 8 zijn voor elke lijn gegeven :
- het intercept a (met standaardafwijking).
- de helling b (resp. b_1 en b_2) (met standaardafwijking).
- R^2 : de gekwadrateerde correlatie-coëfficient.
- het al of niet significant zijn van de verschillen in niveau of helling van de regressielijnen voor de normale en de dikke groep.

De gekwadrateerde correlatiecoëfficient R^2 is een maat voor de verklaring van de ruststofwisseling door de in de vergelijking opgenomen variabele(n). ($0 \leqslant R^2 \leqslant 1$).
Behalve in het geval van de enkelvoudige regressie met VM als verklarende variabele voor de dikke en de normale groep, zijn alle R^2 significant ($p < 0.01$).
Als VVM in plaats van het lichaamsgewicht wordt opgenomen als verklarende variabele, neemt per groep de R^2 toe; voor de gecombineerde groep niet. Wordt naast de VVM de VM als tweede verklarende variabele opgenomen, dan neemt de R^2 tevens toe in de gecombineerde groep. De toename van R^2 van 0.64 naar 0.74 is significant ($p < 0.01$).

Bij vergelijking van de hellingen en niveau's van de regressielijnen van dikke en normale groep, blijkt er een significant

verschil te zijn in het niveau van de lijnen met VVM als verklarende variabele. Verschillen in niveau zijn beoordeeld bij een lichaamsgewicht van 65 kg., een VVM van 45 kg. en een VM van 20 kg..

VI.8.3. Relatie van het energieverbruik tijdens rust met lichaamsoppervlakte.

Voor de volledigheid is in tabel 9a het energieverbruik per dag, uitgedrukt per m^2 lichaamsoppervlakte, gegeven. De lichaamsoppervlakte is berekend met de formule van Du Bois en Du Bois :

$$\text{Lichaamsoppervlakte} = \text{gewicht}^{0.425} \times \text{lengte}^{0.725} \times 71.84.$$

met gewicht in kg. en lengte in meters.

TABEL 9a. Energieverbruik per dag, tijdens rust, per m^2 lichaamsoppervlakte.

		DIK	NORMAAL	VERSCHIL	
Kcal/ m^2 lich.opp./ dag.	gem.	860.4	845.4	15.0	t = -0.568*
	s.d.	60.2	79.1		$p > 0.05$

*) Student's t-waarde voor toets op verschil met bijbehorende p-waarde.

Uitgedrukt per m^2 lichaamsoppervlakte, is er geen verschil in energieverbruik tijdens rust.

De gemiddelden van het energieverbruik tijdens rust, geven, uitgedrukt per m^2 lichaamsoppervlakte, gelijke waarden. Uit de lage correlaties van lichaamsoppervlakte met het energieverbruik tijdens rust (tabel 9b), blijkt dat individuele waarden, uitgedrukt per m^2 lichaamsoppervlakte, zeer uiteenlopend kunnen zijn.

TABEL 9b. Lineaire regressie analyse, idem. als in tabel 8 maar met lichaamsoppervlakte als verklarende variabele.

VERKL. VAR. (X)		Regressie overzicht, voor de normale, dikke en gecombineerde groepen			Verschillen tussen dik en normaal in:	
		NORMAAL n = 13	DIK n = 15	GECOMBINEERD n = 28	helling	intercept
LICH. OPP.	a	-223.0 (512.7)	198.4 (518.5)	- 138.1 (315.6)	NS.*	NS.
	b	975.3 (303.3)	750.3 (287.4)	931.7 (180.1)		
	R^2	.48	.34	.51		

*) NS. : niet significant ($p > 0.05$)

VII. DISCUSSIE

VII.1. Niveau en spreiding van het energieverbruik tijdens rust.

Het niveau van de gevonden waarden van het energieverbruik tijdens rust is normaal in vergelijking met de standaardwaarden van Harris en Benedict. De waarden komen echter hoger uit dan de waarden, zoals die berekend zijn naar standaardwaarden van Passmore en Durnin.
Onderandere Apfelbaum et al. (1971) en Miller (1975) vinden voor obese vrouwen waarden die 10 - 15% onder de standaarden van Harris en Benedict liggen. De vrouwen in deze onderzoeken volgden een vermageringsdieet. De auteurs vermoeden een adaptatie aan een laagcalorische voedsel-inname. De mogelijkheid dat dit verschijnsel zich in de proefpersonen in dit onderzoek zou voordoen werd uitgesloten, door personen, die een energie-beperkt dieet volgden, niet in de proef op te nemen.
In overeenstemming met andere onderzoekers heeft de dikke groep een hoger energieverbruik in rust dan de normale groep, bij gelijke lengte en leeftijd (Bray en Atkinson, 1977; Ljunggren et al., 1961).
Het gevonden niveau-verschil in het energieverbruik tijdens rust van de dikke en normale groep kan veroorzaakt zijn door andere factoren dan de lichaamssamenstelling. De gecreeerde rustomstandigheden bijvoorbeeld, kunnen een verschillend effect hebben op de proefpersonen. De invloed van de kleine verschillen in gezondheidsparameters, menstruele cyclus, leeftijd e.d. is in dit onderzoek niet te meten. De verschillen in deze factoren tussen beide groepen zijn echter klein, zodat, indien ze een invloed uitoefenen, hiermee slechts een klein gedeelte van het niveauverschil verklaard zal kunnen worden.
De intra-individuele spreiding van het energieverbruik tijdens rust was niet verschillend in beide groepen. De reproduceerbaarheid van de ruststofwisselingsmeting lijkt niet beïnvloed te worden door de lichaamssamenstelling van de proefpersonen.

VII.2. Relatie tussen het energieverbruik tijdens rust en lichaamssamenstelling.

Al sinds vele jaren wordt getracht een of meer componenten in het lichaam te definiëren, waaraan de metabole aktiviteit in rust kan worden toegeschreven. Vergelijking van de onderzoekingen, die op dit terrein gedaan zijn, is vaak moeilijk omdat er geen uniformiteit bestaat in populatie, bepaling van de ruststofwisseling en bepaling van de lichaamssamenstelling.

Bij de schatting van de vet vrije massa (VVM) op grond van densiteit wordt uitgegaan van de zeer eenvoudige veronderstelling dat het lichaam bestaat uit twee componenten , een vetcomponent en een vetvrije component. Deze componenten hebben een bekende, constante densiteit van resp. 0.900 en 1.100. De vetcomponent bestaat uit chemisch vet en is dus niet identiek aan vetweefsel, dat bestaat uit vet, extracellulair vocht en actieve weefselcellen.
Dit uitgangspunt impliceert, dat de VVM gezien kan worden als een metabole eenheid. De correlatie tussen basaal O_2-verbruik en VVM zou hoog moeten zijn, wanneer, zoals wordt aangenomen, de O_2-consumptie door het vet verwaarloosbaar is in vergelijking tot de O_2-consumptie door de VVM (Keys, Taylor en Grande, 1973).

Miller en Blyth (1952) vonden bij mannelijke studenten een hoge correlatie tussen het basale O_2-verbruik en de Lean Body Mass *, die densitometrisch werd bepaald (r = .924). Zij stelden een regressie-vergelijking op, waarmee de LBM in 90% van de gevallen op 10.5% nauwkeurig kon worden geschat aan de hand van het O_2-verbruik. Young et al. (1963) pasten deze en andere formules toe om de LBM van jonge vrouwen te voorspellen, maar konden hiermee slechts in 66% van de gevallen een dergelijk nauwkeurige schatting geven. De gevonden correlatie tussen O_2-verbruik en LBM voor hun eigen onderzochte groep bedroeg .679 .

*) In oudere literatuur wordt geen onderscheid gemaakt tussen Lean Body Mass en Vet Vrije Massa. Wij gebruiken in de aanhalingen de door de auteurs gebruikte termen en geven daarbij zo mogelijk aan wat bedoeld wordt.

In dit onderzoek werd de vet vrije massa geschat met behulp van de densiteit. Wanneer we de resultaten in het licht van het onderhavige twee componenten model bekijken, komen we tot de volgende bevindingen :

Het energieverbruik, uitgedrukt per kg. lichaamsgewicht, is voor de dikke groep lager dan voor de normale groep. Dit verschil is zeer aannemelijk, wanneer we bedenken dat de dikke mensen per kg. lichaamsgewicht een grotere hoeveelheid vet bezitten dan normale mensen. De geconsumeerde hoeveelheid O_2 per kg. zal daardoor verminderd zijn t.o.v. mensen, die per kg. lichaamsgewicht minder vet en meer VVM bezitten. Wanneer het vetgedeelte van het lichaam niet in aanmerking wordt genomen en het energieverbruik uitgedrukt wordt per kg. VVM, blijken de dikke mensen hoger uit te komen dan de normale mensen. Zie tabel 7, blz. 35.

Hieruit moet geconcludeerd worden dat het gebruik van kg. VVM als metabole eenheid niet voldoet om het energieverbruik tijdens rust te voorspellen, aangezien het energieverbruik per kg. VVM verschilt.

Bij verdere analyse van de gevonden verschillen (tabel 8, blz. 36)zien we het volgende :
In de normale groep en in de dikke groep voldoet het gebruik van VVM als verklarende variabele voor het energieverbruik tijdens rust, beter dan lichaamsgewicht. Wanneer echter de groepen samen genomen worden, waardoor de spreiding in het vetpercentage in de groep groter wordt, blijkt het gebruik van VVM als verklaring geen verbetering op te leveren in vergelijking met het gebruik van lichaamsgewicht.
Het deel van de variantie, dat verklaard wordt, is in beide gevallen even groot (0.64). Er treedt dus slechts een verbetering op wanneer de groepen op grond van de relatieve hoeveelheid vet worden gescheiden.
De helling van de lijnen verschilt niet voor de normale en de dikke groep; wel echter vinden we een niveau-verschil bij de lijnen, die het verband tussen energieverbruik tijdens rust en de VVM aangeven.

Dit niveau-verschil kan zeer waarschijnlijk worden toegeschreven aan het verschil in relatieve hoeveelheid lichaamsvet. De volgende stap, waarbij zowel VVM als VM als verklarende variabelen worden opgevoerd, bevestigt het vermoeden, dat het verschil in hoeveelheid vet wel degelijk een rol speelt. We vinden voor de afzonderlijke groepen slechts een geringe verbetering. In de gecombineerde groep echter wordt de variantie significant beter verklaard (0.64 vs. 0.74).

Met andere woorden : Het toevoegen van de VM naast VVM als verklarende variabele voor het energieverbruik tijdens rust maakt niet veel verschil uit als de groepen reeds gescheiden zijn op grond van het vetpercentage. Voor de gehele groep, waarin een grotere spreiding voorkomt van het vetpercentage, levert de VM 10% verbetering in de verklaring van het energieverbruik tijdens rust.

Conclusie : De aanname dat het lichaam bestaat uit twee componenten, waarvan één component als metabolische eenheid wordt beschouwd, leidt niet tot een goede voorspelling van het energieverbruik in rust. Wanneer beide componenten in aanmerking worden genomen, kan een betere voorspelling worden verkregen.

Deze conclusie is in overeenstemming met de resultaten in tabel 4, blz.32. De schatting van Passmore en Durnin houdt geen rekening met de vetmassa als metabolisch actieve component en geeft dan ook een systematisch lagere waarde voor het energieverbruik tijdens rust in de dikke groep. De tabel blijkt opgesteld te zijn aan de hand van een constant zuurstofverbruik door de VVM (4.2 - 4.3 ml. O_2/min/kg. VVM).

Een kritische opmerking over de schatting van het vetpercentage aan de hand van de densiteit is op zijn plaats. De densiteit, die aangemomen wordt voor de VVM, is een schatting van de gemiddelde waarde, die berust op de analyse van een beperkt aantal cadavers. Het is bekend dat de samenstelling

van de VVM kan variëren, afhankelijk van ziekte bijvoorbeeld. Het lijkt ook niet onwaarschijnlijk, dat de densiteit van de VVM verandert in obesitas. De schatting van het vetpercentage zou nauwkeuriger worden, wanneer meer bekend zou zijn omtrent de samenstelling van de VVM in mensen met verschillende lichaamssamenstelling en onder verschillende fysiologische omstandigheden (Womersley et al., 1976).

Indien de densiteit van de VVM in obese personen lager is dan in normale personen, kan dat in dit onderzoek geleid hebben tot een overschatting van de hoeveelheid vet voor de dikke groep. Daarmee rekening houdende zou het verschil in energieverbruik tijdens rust per kg. VVM tussen beide groepen minder worden.

De beperkingen van het twee componenten model, ter bepaling van de VVM worden uitvoerig beschreven door Bakker en Struikenkamp (1977).

Het verband tussen energieverbruik en lichaamssamenstelling bij obese personen werd ook op andere wijzen onderzocht, waarbij andere bepalingen voor de lichaamssamenstelling gehanteerd zijn. Ook hier echter blijkt dat er weinig bekend is omtrent de wijzigingen, die optreden in de lichaamssamenstelling onder invloed van obesitas, waardoor geen zekerheid bestaat over de toepasbaarheid van de methoden.
Bray et al. (1970) vinden een hoge correlatie tussen vetmassa en O_2-verbruik in zeer obese patiënten. Zij voorspellen het energieverbruik op grond van de hoeveelheid LBM. Het verschil in gemeten en voorspelde waarden schrijven zij toe aan het verbruik door vet.. Ze berekenen echter de LBM aan de hand van de hoeveelheid lichaamswater. Hierbij wordt uitgegaan van de veronderstelling dat de LBM 73% water bevat, wat echter te betwijfelen valt in obese mensen, zoals zij die onderzocht hebben.
Ljunggren, Ikkos en Luft (1961) vergelijken het basaal metabolisme van normale proefpersonen met dat van anorexie- en obesitas patiënten. De lichaamssamenstelling wordt beschreven in termen van lichaamswater, intracellulair water en lichaamskalium.

Zij komen tot de conclusie, dat de metabole aktiviteit van de celmassa (intracellulair water/0.70) normaal is in obese personen en dat het verhoogde energieverbruik in rust van obesitas-patiënten verklaard kan worden uit een toename van de hoeveelheid celmassa. De bepaling van de celmassa met behulp van lichaamskalium wordt geprefereerd boven die met intracellulair water. De auteurs komen tot een verdere differentiatie van het lichaam van obesen, door onderscheid te maken tussen het "referentie-gewicht" en het "obesitasweefsel". Het obesitasweefsel is dat weefsel, dat het extra gewicht verklaart. De normale metabole aktiviteit van de celmassa wordt geschat op 8.5 ml. O_2/min/kg.. Obesitasweefsel, dat 20 -25% celmassa bevat, verbruikt volgens deze auteurs 1.3 ml. O_2/min/kg. In dit onderzoek wordt voor het zuurstoverbruik van het "obesitasweefsel" een waarde gevonden van 1.5 ml. O_2/min/kg.

Het lichaam is samengesteld uit verschillende weefsels en organen, ieder met een verschillend energieverbruik tijdens rust per eenheid gewicht. De grootte en het specifieke energieverbruik van het orgaan of weefsel bepalen het aandeel van het orgaan of weefsel in de totale ruststofwisseling. Passmore en Durnin (1967) geven een beeld van de verdeling van het energieverbruik tijdens rust over de belangrijkste organen van een gezonde man, met een gewicht van 65 kg.(uit : Passmore en Draper (1964), The chemical anatomy of the human body.)

Orgaan	zuurstof-verbruik (ml/min)	bijdrage in ruststofwisseling (%)
lever*)	67	27
hart	17	7
nieren	26	10
hersenen	47	19
skeletspieren	45	18
rest (als verschil)	48	19
totaal	250	100

x) inclusief het meerendeel van de ingewanden, het splanchnisch gebied.

Volgens Passmore en Durnin kan de "rest" zeer waarschijnlijk voonamelijk worden toegeschreven aan het vetweefsel. Dit betekent, dat de bijdrage van het vetweefsel aan de ruststofwisseling in dezelfde orde van grootte ligt als de bijdrage van de hersenen en de spieren.
Brozek en Grande (1955) komen op grond van eenzelfde staatje op een "rest" van 13 - 14%, die zij toeschrijven aan o.a. huid, been(merg), longen en vetweefsel. Vetweefsel levert volgens hen slechts een kleine bijdrage aan de totale ruststofwisseling.
In obesitas is de hoeveelheid vetweefsel aanzienlijk groter en verandert daarmee de bijdrage van het vetweefsel in het totale energieverbruik tijdens rust (ook al is het energieverbruik per gewichtseenheid relatief gering). Ook verandering van bijvoorbeeld de hoeveelheid spierweefsel kan de relatieve bijdrage van weefsels en organen, aan de ruststofwisseling beïnvloeden.
Dit moge nogmaals illustreren dat, wanneer getracht wordt een verklaring te vinden voor de hoogte van de ruststofwisseling van een individu, er behoefte bestaat aan geschikte technieken ter bepaling van de lichaamssamenstelling.
Hierbij moet in het bijzonder worden getracht om te komen tot een verdere differentiatie van de vetvrije massa.

VIII. CONCLUSIES

Een reproduceerbare meting van het energieverbruik tijdens rust is goed mogelijk met de methode van bepaling van de zuurstof-opname door de proefpersoon, in een gesloten systeem met zuurstofconcentratie-stabilisatie.
De gemiddelde variatiecoëfficient bedroeg 1.5%.
Er is geen verschil in reproduceerbaarheid geconstateerd, tussen de normale en de dikke groep proefpersonen.

Het niveau van de gevonden waarden komt overeen met standaard waarden van Harris en Benedict.

Het verschil in niveau van het energieverbruik tijdens rust tussen de normale en de dikke groep kan niet bevredigend verklaard worden met de aanname, dat het lichaam uit twee componenten bestaat, waarvan de vetvrije component als metabolisch aktieve eenheid wordt beschouwd. Dit komt tot uiting in de verschillen tussen dikke en normale personen in het energieverbruik tijdens rust, uitgedrukt per kg. lichaamsgewicht of per kg. vetvrije massa (VVM).
Een betere verklaring van het verschil in niveau, wordt verkregen wanneer naast de vetvrije component ook de vetcomponent in beschouwing wordt genomen.
Een verdere differentiëring van het lichaam, met name van de vetvrije component, lijkt gewenst.

LITERATUUR

Apfelbaum, M., J.Bostsarron en D.Lacatis (1971), Effect of caloric restriction and excessive caloric intake on energy-expenditure. Am. J. Clin. Nutr. 24 : 1405 - 1409.

Bakker, H.K. en R.S.Struikenkamp (1977), Biological variability and lean body mass estimates. Human Biology 49 : 187 - 202.

Beneken Kolmer, H.H. (1967), De continue polarografische meting van de zuurstofspanning in gassen. Proefschrift K.U. Nijmegen, Centrale Drukkerij N.V., Nijmegen.

Bray, G.A., M.Schwartz, R.Rozin en J.Lister (1970), Relationships between oxygen consumption and body composition of obese patients. Metabolism 19 : 418 - 429.

Bray, G.A. en R.L.Atkinson (1977), Factors affecting basal metabolic rate. Progr. Fd. Nutr. Sci. 2 : 395 - 403.

Brozek, J. en F.Grande (1955), Body composition and basal metabolism in man : correlation analysis versus physiological approach. Human Biology 27 : 22 - 31.

Cissik, J.H., R.E.Johnson en D.K.Rokosch (1972), Production of gaseous nitrogen in human steady-state conditions. J. of Appl. Physiol. 32 : 155 - 159.

Consolazio, C.F., R.E.Johnson en L.J.Pecora (1963), Physiological measurements of metabolic functions in man, Mc Graw - Hill Book Comp. Inc., New York.

Consolazio, C.F. en H.L.Johnson (1971), Measurement of energy cost in humans. Fed. Proc. 30 : 1444 - 1453.

Durnin, J.V.G.A. (1959), The use of surface area and of body weight as standards of reference in studies on human energy expenditure. Brit. J. Nutr. 13 : 68 - 71.

Durnin, J.V.G.A. (1965), Somatic standards of reference. In Human Body Composition, Symposia of the Soc. for the study of human biology, vol. VII, Ed. Jozef Brozek, Pergamon Press, Oxford.

Durnin, J.V.G.A. en J.Womersley (1974), Body fat assessed from total body density and its estimation from skinfold thickness : measurements of 481 men and women, aged 16 - 72 years. Brit. J. Nutr. 32 : 77 - 97.

Edholm, O.G., J.G.Fletcher, E.M.Widdowson en R.A.Mc Cance (1955), The energy expenditure and food intake of individual men. Brit. J. Nutr. 9 : 286 - 300.

Garrow, J.S. (1974), Energy balance and obesity in man. North Holland Publishing Comp., Amsterdam.

Keys, A., H.L.Taylor en F.Grande (1973), Basal metabolism and age of adult man. Metabolism 22 : 579 - 587.

Kleiber, M. (1947), Body size and metabolic rate. Physiol. Reviews 27 : 511 - 541.

Ljunggren, H., D.Ikkos en R.Luft (1961), Basal metabolism in women with obesity and anorexia nervosa. Brit. J. Nutr. 15 : 21 - 34.

Mac Millan, M.G., C.M.Reid, D.Shirling en R.Passmore (1965), Body composition, resting oxygen consumption and urinary creatinine in Edinburgh students. Lancet 1965 : 728 - 729.

Martineaud, M. en J.Trémolières (1964), Mésures de la dépense calorique basale dans l' obésité. Nutritio et Dieta 6 : 77 - 85.

Miller, A.T. en C.S.Blyth (1952), Estimation of lean body mass and body fat from basal oxygen consumption and creatinine excretion. J. Appl. Physiol. 5 : 73 - 78.

Miller, A.T. en C.S.Blyth (1953), Lean body mass as a metabolic reference standard. J. Appl. Physiol. 5 : 311 - 316.

Miller, D.S.,en S.Parsonage (1975), Resistance to slimming, adaptation or illusion ?. Lancet 1975 : 773 - 775.

Passmore, R. en J.V.G.A.Durnin (1967), Energy, Work and Leisure. Heinemann Educational Books Ltd., London.

Rath, R. (1964), The problems of a reference standard for metabolic processes under our climatic conditions. Rev. of Czechoslovak Medicine 10 : 105 - 112.

Schure, P.J.M. en A. Siebenga (1977), Energie huishouding bij vetzuchtigen. Publicatie nr. 77-3, Vakgroep Humane Voeding, Landbouw Hogeschool Wageningen.

Wagner, J.A., S.M.Horvath, T.E.Dahms en S.Reed (1973), Validation of open-circuit method for the determination of oxygen consumption. J. Appl. Physiol. 34 : 859 - 863.

Womersley, J., J.V.G.A.Durnin, K.Boddy en M.Mahaffy (1976), Influence of muscular development, obesity and age on the fat-free mass of adults. J. Appl. Physiol. 41 : 223 - 229.

Young, C.M., M.McCarthy, J.H.Fryer en R.S.Tensuan (1963), Basal oxygen consumption as a predictor of lean body mass in young women. J. Am. Diet. Ass. 43 : 125 - 128.

Bijlage 1. Advertenties voor proefpersonen

BEN IK DIK?

HOEVEEL CALORIEËN HEB IK NODIG?

De afdeling Voeding van de Landbouwhogeschool is bezig met een onderzoek naar calorieën-verbruik tijdens rust.

Voor dit onderzoek vragen wij

VROUWELIJKE VRIJWILLIGERS

tussen 20 en 30 jaar.

die dik zijn en die twee ochtenden een uur (tussen 7 en 11 uur) beschikbaar zijn.

Informatie en aanmelding (voor 4 maart) 's morgens van 9-12 uur en 's middags van 2-5 uur. Secretariaat Vakgroep Voeding, De Dreijen 11, Wageningen, tel. 08370-8 25 90.

BEN IK DIK?

HOEVEEL CALORIEËN HEB IK NODIG?

De afdeling Voeding van de Landbouwhogeschool is bezig met een onderzoek naar calorieënverbruik tijdens rust.

Voor dit onderzoek vragen wij

VROUWELIJKE VRIJWILLIGERS tussen 20 en 30 jaar

die dik zijn en die twee ochtenden een uur (tussen 7 en 11 uur) beschikbaar zijn.

Informatie en aanmelding (voor 4 maart) 's morgens van 9-12 uur en 's middags van 2-5 uur.

Secretariaat Vakgroep Voeding.

De Dreijen 11, Wageningen, tel. 08370-82590.

vrouwelijke proefpersonen nodig voor onderzoek energiehuishouding

De afdeling Voeding is bezig met een onderzoek naar de energiehuishouding bij de mens. In het kader hiervan is het nodig het energieverbruik tijdens rust te bepalen.
Hiervoor zijn vrouwelijke proefpersonen nodig tussen 20 en 30 jaar, die aan de volgende lengte- en gewichtscriteria min of meer voldoen:

lengte	gewicht
1.55 m	meer dan 60 kg
1.60 m	64 kg
1.65 m	68 kg
1.70 m	72 kg
1.75 m	77 kg
1.80 m	81 kg
1.85 m	86 kg

De meting zal hoogstens twee maal een halve ochtend in beslag nemen.
Informatie en aanmelding (liefst voor 25 februari) 's morgens van 9-12 uur en 's middags van 2-5 uur bij Marijke Hoffmans of Wouter Pfeifer, vakgroep Voeding, Transitorium, De Dreijen 11, tel. 83390, b.g.g. 83373.

Gezondheidsanamnese

Door afdelingsarts te beoordelen.

Naam :..... man/vrouw
Adres :.....
Tel. :.....
Geb. datum:.....
Gewicht :.....
Lengte :.....

Bent U onlangs(laatste 2 mnd.) ziek geweest? ja/nee
Zo ja, Wat mankeerde U?.....
Bent U het afgelopen jaar opgenomen geweest
in het ziekenhuis? ja/nee
Zo ja, waarvoor?.....
Bent U onder behandeling van een arts of
specialist? ja/nee
Zo ja, waarvoor?.....
Gebruikt U medicijnen? ja/nee
Zo ja, welke?.....
Gebruikt U anticonceptiva? ja/nee
Zo ja, welke?.....
Volgt U een bepaald dieet? ja/nee
Zo ja, welk dieet?.....
Bent U onder behandeling van een dietist? ja/nee
Zo ja, waarvoor?.....
Bent U zwanger? ja/nee
Heeft U kinderen? ja/nee
Zo ja, wat zijn hun geboortedata? 1.....19....
2.....19....
3.....19....

Wanneer was de eerste dag van de laatste menstruatie?.....
Wanneer verwacht U de volgende menstruatie?.....

Bijlage 3. Beschrijving van het onderzoek, meegegeven aan de proefpersonen.

Ruststofwisselingsmeting

Wanneer het lichaam geen arbeid verricht, heeft het toch energie nodig voor processen zoals ademhaling, het kloppen van het hart enz. Deze toestand, waarbij alleen inwendige arbeid wordt verricht en geen uitwendige arbeid, noemen we de ruststofwisseling.
Het energieverbruik tijdens de ruststofwisseling kan gemeten worden door de zuurstofopname in de longen te bepalen bij mensen, die in rust verkeren.

Wat moet U doen?

- Probeer Uzelf 's morgens zo weinig mogelijk in te spannen bij het opstaan en aankleden. Ga bv. nog niet de bedden opmaken.
- De ruststofwisseling kan het beste bepaald worden, wanneer de nieren en de darmen leeg zijn. Ga daarom 's morgens voor de meting naar de toilet.
- Gebruik geen ontbijt, zodat de spijsvertering nog niet op gang gekomen is.
- U wordt op de afgesproken tijd met de auto opgehaald.
- Op de afdeling rust U eerst nog ca. $\frac{1}{2}$ uur in een ligstoel.
- Voor de meting wordt de lichaamstemperatuur en de bloeddruk gemeten.
- U gaat dan ademen aan het apparaat gedurende ca. 10 min.
- Tijdens de meting wordt de hartslag genoteerd.
- Als U daarna weer even gerust hebt en als het apparaat opnieuw gevuld is met verse lucht, ademt U nog een keer 10 min.
- Wanneer de meting afgelopen is, wordt U een ontbijt aangeboden op de afdeling voeding.

Bijlage 3. Beschrijving van het onderzoek, meegegeven aan de proefpersonen.

Bepaling van het percentage vet van het lichaam

Het percentage vet van het lichaam wordt bepaald door middel van de onderwaterweging, waarbij ook de inhoud van de longen wordt gemeten.

Wat moet U doen?

- U komt weer 's morgens vóór het onbijt op de afdeling. Zo mogelijk wordt U weer opgehaald.
- Het is nu niet zo belangrijk, dat U volkomen rustig bent. Wel is het beter, wanneer U nog niet gegeten hebt, omdat er anders al lucht in de maag en darmen gekomen is. Dit heeft nl. invloed op uw gewicht onder water.
- U brengt een badpak of bikini mee; eventueel zijn er ook verschillende badpakken op de afdeling. Voor handdoeken wordt door ons gezorgd.
- Behalve het vetpercentage worden deze ochtend ook enkele andere maten bepaald, zoals uw lengte, de omtrek van arm, buik en bekken, breedte van schouder en knie en huidplooien.
- Wilt U ochtendurine meebrengen in het flesje, wat we U meegegeven hebben. Vermeldt U even uw naam op het flesje.
- Bovendien zullen we een bloedmonster nemen uit de vinger.
- Na de meting krijgt U weer een ontbijt op de afdeling.

Wij sturen U bericht, op welke ochtenden U verwacht wordt. Mocht de aangegeven tijd U niet uitkomen, wilt U het dan zo vlug mogelijk laten weten.
Ook als U vragen hebt, zijn wij altijd tussen 9 en 12 uur en tussen 2 en 5 uur bereikbaar op de afdeling voeding, tel. (08370)-82590.

Marijke Hoffmans
Wouter Pfeifer

Naam :.....man/vrouw

Geb. datum :.....19..

MEETSTAAT RUSTSTOFWISSELING

Datum onderzoek:.....19..

Ruimte: temp:....°C druk:....mmHg

Bel I t=0 :temp:....°C

(LUCHT) druk:....mmHg

STPD-factor:....

$V_{t=0}$:....mlx....=....mlSTPD

t=..:temp:....°C

druk:....mmHg

STPD-factor:....

$V_{t=..}$:....mlx....=....mlSTPD

conc. verloop: t=0 :.....%

t=..:.....%

t=..:.....%

concentratie-correctie:bel I:

$$\frac{C_{t=0} x V_{t=0} - C_{t=t} x V_{t=t}}{100} =$$

$$\frac{....x.... - ....x....}{100} = ...mlSTPD$$

Bel II t=..:temp:....°C

(O_2) druk:....mmHg

STPD-factor:....

$V_{t=0}$:....mlx....=....mlSTPD

$V_{t=..}$:....mlx....=....mlSTPD −

O_2-opname ....mlSTPD

conc.correctie ....mlSTPD +

Totale O_2-opname ....mlSTPD −

.....mlSTPD x 4,825 =.....Kcal

duur van de meting:.....min.

$$\frac{.....Kcal \times 24 \times 60}{.....min} = ...Kcal/24h$$

Datum onderzoek:.....19..

Ruimte: temp:....°C druk:....mmHg

Bel I t=0 :temp:....°C

(LUCHT) druk:....mmHg

STPD-factor:....

$V_{t=0}$:....mlx....=....mlSTPD

t=..:temp:....°C

druk:....mmHg

STPD-factor:....

$V_{t=..}$:....mlx....=....mlSTPD

conc. verloop: t=0 :.....%

t=..:.....%

t=..:.....%

concentratie-correctie:bel I:

$$\frac{C_{t=0} x V_{t=0} - C_{t=t} x V_{t=t}}{100} =$$

$$\frac{....x.... - ....x....}{100} = ...mlSTPD$$

Bel II t=..:temp:....°C

(O_2) druk:....mmHg

STPD-factor:....

$V_{t=0}$:....mlx....=....mlSTPD

$V_{t=..}$:....mlx....=....mlSTPD −

O_2-opname ....mlSTPD

conc.correctie ....mlSTPD +

Totale O_2-opname ....mlSTPD −

.....mlSTPD x 4,825 =.....Kcal

duur van de meting:.....min.

$$\frac{.....Kcal \times 24 \times 60}{.....min} = ...Kcal/24h$$

Naam :..... man/vrouw

Geb. datum :..... 19..

MEETSTAAT DENSITEIT

Temp. water (°C)	33	34	35	36	37	38
S.g water(g/cm³)	0,995	0,994	0,994	0,994	0,993	0,993

$$D = \frac{\text{Gewicht b.w.}}{\frac{\text{Opwaartse kracht}}{\text{s.g. water}} - \text{Longvolume}}$$

Datum onderzoek : ..... 19..

Temp. water:....°C s.g. water:.....

(I)

Gewicht onder water :.....kg
Gewicht installatie :.....kg –

Gewicht persoon o.w.:.....kg

(II)

Gewicht persoon b.w.:.....kg
Gewicht persoon o.w.:.....kg –

Opwaartse kracht :.....kg

F.R.C. :..... liter
E.R.V. :..... liter +
Vol. mondstuk:..... liter –

Longvolume :..... liter

$$D = \frac{.....}{\frac{.....}{.....} - .....}$$

D = ...

Vetpercentage volgens Siri

..... %

Datum onderzoek : ..... 19..

Temp. water:....°C s.g. water:.....

(I)

Gewicht onder water :.....kg
Gewicht installatie :.....kg –

Gewicht persoon o.w.:.....kg

(II)

Gewicht persoon b.w.:.....kg
Gewicht persoon o.w.:.....kg –

Opwaartse kracht :.....kg

F.R.C. :..... liter
E.R.V. :..... liter +
Vol. mondstuk:..... liter –

Longvolume :..... liter

$$D = \frac{.....}{\frac{.....}{.....} - .....}$$

D = ...

Vetpercentage volgens Siri

..... %

Bijlage 6. Verzamelstaat

Naam :.....man/vrouw
Adres :.....
Woonplaats:.....tel:.....
Geb. datum:.....19...

Datum ruststofwisseling:.....19...
onderwaterweging :.....19...
anthropometrie :.....19...

Gewicht :.....
Lengte :.....
Leeftijd :.....

Skeletmaten (cm) : schouderbreedte:.....
bekkenbreedte :.....
polsbreedte :re:.....li:.....
kniebreedte :re:.....li:.....

Omtrekmaten (cm) : bovenarm :.....
buik :.....
bekken :.....
bovenbeen :.....
kuit :.....

Huidplooien (mm) : biceps :.....
triceps :.....
scapula :.....
crista :.....
subcostalis :.....
paraumbilicalis:.....
quadracipitalis:.....

Bloedparameters : Hbg :.....

Urineparameters : eiwit :.....
suiker :.....
pH :.....

Bloeddruk :...../.....
Lichaamstemp. :.....°C
Hartfrekwentie :.....//min

Ruststofwisseling:.....Kcal/24h .....Kcal/min

Densiteit :.....
Vetpercentage :.....% .....kg VVM

ENERGIEVERBRUIK TIJDENS RUST EN LICHAAMSSAMENSTELLING VAN DE PROEFPERSONEN

Gemeten en berekende gegevens ven de proefpersonen in de Normale Groep

persoon	leeftijd	lengte	gewicht	densiteit	berekend uit densiteit			berekend uit S. 4 hpl.		zuurstofverbruik			energieverbruik tijdens rust per 24 uur.		
					vet%	Vet Massa	Vet Vrije Massa	vet%	Vet Vrije Massa	I	II	gem.	gemeten	schattingen*) H/B	P/D
	jr.	cm.	kg.	g/cm³	%	kg.	kg.	%	kg.	ml/min	ml/min	ml/min	kcal. (kJ)	kcal.	kcal.
04**)	22	177.7	73.0	1.045	23.7	17.3	55.7	26.3	53.8	232.9	239.8	236.4	1642 (6873)	1579	1619
08	24	165.5	54.2	1.057	18.3	9.9	44.3	25.2	40.5	185.2	193.3	189.2	1315 (5505)	1364	1328
10	24	159.0	49.0	1.069	13.4	6.5	42.4	15.0	41.7	185.7	188.9	187.3	1301 (5446)	1305	1295
12	20	163.4	44.2	1.064	15.4	6.8	37.4	18.0	36.2	154.9	158.8	156.9	1095 (4584)	1285	1174
13	20	174.9	57.6	1.069	13.1	7.5	50.1	17.4	47.6	224.5	231.7	228.1	1585 (6635)	1441	1467
16	22	173.3	62.9	1.041	25.5	16.0	46.8	30.2	43.9	186.9	189.7	188.3	1308 (5475)	1474	1397
18	21	168.5	70.3	1.053	24.8	17.4	52.9	29.8	49.4	253.8	258.0	255.9	1778 (7443)	1539	1551
19	21	180.2	68.0	1.046	23.5	15.9	52.0	25.8	50.5	212.7	221.8	217.3	1510 (6321)	1540	1524
20	23	170.7	58.4	1.047	22.8	13.3	45.1	27.9	42.1	172.8	167.9	170.3	1184 (4956)	1419	1347
31	24	171.5	57.1	1.047	23.0	13.1	44.0	21.3	44.9	200.2	204.7	202.4	1407 (5890)	1406	1319
32	24	167.5	54.4	1.057	18.3	10.0	44.4	21.3	42.8	207.4	202.1	204.8	1423 (5957)	1370	1332
33	22	171.4	54.8	1.056	19.0	10.4	44.4	19.0	44.4	199.5	197.4	198.5	1379 (5772)	1394	1330
35	28	170.5	58.4	1.043	24.6	14.4	44.0	26.0	43.2	221.6	222.6	222.1	1543 (6459)	1394	1322
GEM.	23	170.3	58.6	1.053	20.4	12.2	46.4	23.3	44.7	202.9	205.9	204.4	1421 (5947)	1424	1385
S.D.		5.7	8.2	0.010	4.4	3.9	5.0	5.0	4.6	26.6	28.2	27.3	189 (791)	89	122

*) Schattingen van het energieverbruik tijdens rust, volgens Harris en Benedict (H/B) en Passmore en Durnin (P/D).

**) Wat betreft het zuurstofverbruik en het energieverbruik, zijn voor proefpersoon 04 de waarden van een 2de meting genomen.

ENERGIEVERBRUIK TIJDENS RUST EN LICHAAMSSAMENSTELLING VAN DE PROEFPERSONEN

Gemeten en berekende gegevens van de proefpersonen in de Dikke Groep

persoon	leeftijd	lengte	gewicht	densiteit	berekend uit densiteit			berekend uit S 4 hpl.		zuurstofverbruik			energieverbruik tijdens rust per 24 uur.		
					vet%	Vet Massa	Vet Vrije Massa	vet%	Vet Vrije Massa	I	II	gem.	gemeten	schattingen x) H/B	schattingen x) P/D
	jr.	cm.	kg.	g/cm^3	%	kg.	kg.	%	kg.	ml/min	ml/min	ml/min	kcal. (kJ)	kcal	kcal
01	22	169.2	68.0	1.030	30.6	20.8	47.2	28.0	49.0	220.3	214.7	218.0	1511 (6325)	1515	1426
02	26	171.7	71.3	1.027	32.2	23.0	48.3	28.7	50.8	230.1	230.4	230.3	1601 (6702)	1531	1468
09	30	155.8	73.8	1.024	33.4	24.7	49.1	35.0	48.0	246.1	241.1	243.6	1694 (7091)	1512	1500
14	25	158.1	83.1	1.010	40.1	33.3	49.8	40.3	49.6	252.4	252.8	252.6	1755 (7346)	1624	1587
15	22	166.4	68.4	1.031	30.1	20.6	47.8	29.1	48.5	230.7	237.1	233.9	1625 (6802)	1509	1440
17	20	157.7	59.5	1.026	32.5	19.3	40.2	30.0	41.7	201.0	198.2	199.6	1387 (5806)	1428	1234
21	29	161.2	67.0	1.026	32.7	21.9	45.1	37.2	42.1	219.8	216.2	218.0	1515 (6342)	1438	1377
22	23	178.1	87.1	1.009	40.6	35.4	51.8	40.2	52.1	244.0	242.6	243.3	1690 (7074)	1773	1658
23	23	173.0	74.0	1.030	30.8	22.8	51.2	30.3	51.6	233.0	233.0	233.0	1619 (6777)	1586	1540
24	21	170.6	68.8	1.017	37.0	25.5	43.3	31.2	47.3	198.8	193.7	196.3	1364 (5710)	1533	1352
25	21	168.4	60.6	1.028	31.7	19.2	41.4	32.4	41.0	186.1	185.3	185.7	1290 (5400)	1451	1266
26	25	161.5	72.9	1.018	36.2	26.4	46.5	38.2	45.1	236.1	227.2	231.6	1610 (6739)	1536	1443
27	28	173.0	69.3	1.030	30.6	21.2	48.1	35.1	45.0	226.4	215.0	220.7	1534 (6421)	1504	1451
28	23	173.9	73.0	1.030	30.8	22.5	50.5	33.6	48.5	226.0	232.7	229.4	1594 (6672)	1568	1520
29	25	168.5	69.9	1.023	34.1	23.8	46.1	36.4	44.5	210.6	209.9	210.3	1461 (6116)	1520	1414
GEM.	24	167.1	71.1	1.024	33.6	24.0	47.1	33.7	47.0	224.1	222.0	223.1	1550 (6488)	1535	1445
S.D.		6.8	7.1	0.007	3.4	4.7	3.4	4.2	3.6	18.6	19.5	18.8	131 (549)	84	112

x) Schattingen van het energieverbruik tijdens rust, volgens Harris en Benedict (H/B) en Passmore en Durnin (P/D).

ANTHROPOMETRISCHE GEGEVENS VAN DE PROEFPERSONEN IN DE NORMALE GROEP

per-soon	SKELET-BREEDTEN (in cm.)				LICHAAMSOMTREKKEN (in cm.)					HUIDPLOOIEN (in mm.)						
	schou-der	bekken	S.pols	S.knie	boven arm	buik	bekken	boven been	kuit	bic.	tric.	sub-scap.	supra-iliac.	sub-costa	para-umbil.	qua-dricip.
04	38.7	28.7	11.0	18.9	26.1	69.3	99.8	59.3	38.1	6.4	15.6	13.3	13.5	10.6	19.2	–
08	35.4	27.1	9.6	16.5	24.3	66.1	83.4	46.7	33.8	3.9	9.9	12.2	16.8	13.3	13.5	33.5
10	33.7	28.1	9.1	15.9	22.2	62.1	82.0	49.5	33.0	3.2	7.6	6.1	5.0	6.2	5.5	29.3
12	34.9	26.3	9.5	15.4	19.8	75.8	88.6	44.5	30.5	4.2	8.3	8.1	7.8	8.2	9.0	–
13	37.5	29.9	10.3	18.1	21.0	64.3	90.6	47.4	33.2	4.8	9.1	7.8	4.5	7.8	7.2	40.3
16	29.6 x)	29.5	10.0	17.4	25.1	67.8	96.0	54.8	34.0	12.4	17.4	18.9	16.9	17.2	18.1	–
18	31.5 x)	27.5	10.3	18.1	31.4	73.4	95.0	58.6	37.5	8.1	20.7	18.0	17.1	11.8	12.6	43.5
19	39.7	28.8	11.2	18.3	26.0	72.1	97.0	54.0	33.6	6.8	20.0	9.7	11.7	10.4	9.8	42.0
20	36.0	26.7	10.3	17.1	26.9	65.6	89.4	51.6	33.4	13.2	15.4	12.7	14.5	14.7	16.1	–
31	39.5	28.6	10.5	17.9	24.5	66.6	92.5	51.3	33.6	4.1	11.5	8.1	10.7	10.0	9.2	32.0
32	36.5	27.8	10.0	15.9	22.6	68.8	88.0	46.8	31.3	7.5	7.3	11.4	8.1	9.5	9.0	42.5
33	37.6	29.1	10.4	17.4	23.7	66.7	89.0	51.2	34.0	4.3	9.4	7.6	7.0	6.9	6.7	–
35	37.6	25.6	10.1	17.3	24.5	67.3	90.6	51.0	33.0	6.9	14.6	13.6	13.4	9.8	10.5	42.0
GEM.	36.0	28.0	10.2	17.3	24.5	68.2	90.9	51.3	33.8	6.6	12.8	11.4	11.3	10.5	11.3	–
S.D.	3.0	1.3	0.6	1.1	2.9	3.8	5.1	4.5	2.1	3.2	4.7	4.0	4.5	3.1	4.4	

x) Deze metingen van de schouderbreedte zijn onbetrouwbaar, omdat het meetinstrument defect bleek te zijn.

ANTHROPOMETRISCHE GEGEVENS VAN DE PROEFPERSONEN IN DE DIKKE GROEP

persoon	SKELET-BREEDTEN (in cm.)				LICHAAMSOMTREKKEN (in cm.)					HUIDPLOOIEN (in mm.)						
	schouder	bekken	S.pols	S.knie	boven arm	buik	bekken	boven been	kuit	bic.	tric.	subscap.	supra-iliac.	sub-costa	para-umbil.	qua-dricip.
01	37.2	28.1	10.2	17.4	27.0	83.7	97.6	60.3	35.8	5.2	16.2	14.0	20.7	11.0	15.9	32.2
02	35.4	30.8	10.9	18.0	27.5	81.2	99.0	61.0	37.6	7.2	15.8	13.8	21.4	13.4	13.0	35.0
09	40.0	29.8	10.8	19.4	31.2	79.9	104.0	60.4	37.4	7.5	16.0	27.8	20.5	10.6	23.7	41.2
14	37.2	33.6	10.8	16.9	30.9	103.1	114.9	57.4	36.8	23.0	32.0	36.5	40.0	- - -	>40.0	- - -
15	38.2	29.0	10.9	18.2	28.2	80.9	96.5	54.0	37.9	9.2	24.1	15.1	11.8	13.6	13.4	33.7
17	36.0	28.5	9.7	17.2	27.5	69.8	91.1	52.3	35.4	6.4	18.2	22.4	31.0	24.2	24.3	>40.0
21	39.6	29.7	11.0	17.0	28.7	71.8	102.2	54.2	31.4	11.8	37.4	28.1	29.4	23.3	34.8	>40.0
22	40.1	33.2	10.5	20.6	35.2	82.3	104.5	61.0	41.5	19.8	43.9	29.8	36.5	37.9	33.8	>40.0
23	38.6	28.4	9.8	17.4	24.6	81.1	100.0	59.8	38.3	8.9	13.0	19.3	24.5	14.8	13.0	42.0
24	34.8	26.5	9.4	16.9	26.7	75.9	93.5	56.4	44.6	10.0	20.2	17.3	22.8	23.6	22.8	34.0
25	35.8	27.6	9.4	17.1	24.8	68.3	97.5	53.2	35.7	14.2	25.3	14.0	23.0	12.0	19.5	>40.0
26	37.6	27.5	10.2	16.1	30.1	89.5	101.8	56.0	35.1	20.5	20.0	39.1	33.5	22.5	23.5	38.0
27	39.5	26.1	10.6	17.1	27.5	76.1	99.0	53.5	34.9	10.6	26.1	25.6	29.7	14.8	13.1	31.6
28	37.7	27.7	11.5	18.7	31.0	71.5	101.8	59.0	33.8	20.0	28.3	12.7	21.9	19.5	28.9	>40.0
29	36.3	28.8	10.7	18.2	29.4	72.5	102.4	57.1	35.1	12.4	37.3	30.8	20.2	23.2	23.2	41.9
GEM.	37.6	29.0	10.4	17.8	28.7	79.2	100.4	57.0	36.8	12.5	24.9	23.1	25.8	–	–	–
S.D.	1.7	2.2	0.6	1.1	2.7	8.9	5.5	3.1	3.2	5.8	9.3	8.7	7.4			

ENERGIEVERBRUIK TIJDENS RUST EN LICHAAMSSAMENSTELLING VAN 7 UITGESLOTEN PROEFPERSONEN *)

Gemeten en berekende gegevens van de proefpersonen, die niet in een verdere bewerking van de gegevens zijn opgenomen.

persoon	leeftijd	lengte	gewicht	densiteit	berekend uit densiteit			berekend uit S 4 hpl.		zuurstofverbruik			energieverbruik tijdens rust/24uur gemeten
					vet%	Vet Massa	Vet Vrije Massa	vet%	Vet Vrije Massa	I	II	gem.	
	jr.	cm.	kg.	g/cm^3	%	kg.	kg.	%	kg.	ml/min	ml/min	ml/min	kcal (kJ)
03	25	166.9	53.3	1.050	21.6	11.5	41.8	22.5	41.3	186.5	202.1	194.3	1349 (5647)
05	22	177.0	59.2	1.061	16.5	9.8	49.4	17.5	48.8	1) 218.3 2) 200.2	202.1 216.9	210.2 208.5	1460 (6114) 1449 (6066)
06	27	168.4	59.9	1.040	26.2	15.7	44.2	21.0	47.3	185.1	175.6	180.3	1253 (5245)
07	23	168.5	58.6	1.042	24.8	14.5	44.1	21.5	46.0	238.3	259.5	248.9	1792 (7239)
11	20	164.3	67.0	1.032	29.4	19.7	47.3	31.8	45.7	202.4	208.7	205.5	1428 (5978)
30	24	174.1	62.2	1.038	27.1	16.9	45.3	26.7	45.6	200.2	204.9	202.6	1408 (5892)
34	29	169.1	57.9	1.050	21.5	12.5	45.4	20.9	45.8	220.8	243.1	231.9	1612 (6745)

*) De proefpersonen 03, 05, 07 en 34 werden uitgesloten op grond van te zeer afwijkende duplowaarden. Persoon 03 kon niet voor een tweede maal bereikt worden; bij 05 werd geen verbetering bereikt en personen 07 en 34 hadden blijk gegeven van angst voor de meting, zodat deze niet nogmaals opgeroepen werden.

De proefpersonen 06, 11 en 30 werden uitgesloten op grond van vetpercentage.

ANTHROPOMETRISCHE GEGEVENS VAN DE 7 UITGESLOTEN PROEFPERSONEN

persoon	SKELET-BREEDTEN (in cm.)				LICHAAMSOMTREKKEN (in cm.)					HUIDPLOOIEN (in mm.)						
	schouder	bekken	S.pols	S.knie	boven arm	buik	bekken	boven been	kuit	bic.	tric.	subscap.	supra-iliac.	sub-costa	para-umbil.	qua-dricip.
03	35.6	26.9	9.7	16.8	23.5	66.5	89.8	48.8	34.0	4.0	11.7	9.0	12.6	9.1	8.0	29.3
05	35.9	29.2	11.3	18.4	22.3	63.1	89.0	50.0	35.0	4.0	8.1	7.8	7.1	6.1	6.6	17.5
06	37.2	30.0	10.8	18.5	24.6	66.7	91.8	53.0	35.6	5.0	8.4	10.2	10.1	10.2	12.0	23.1
07	37.1	27.8	10.4	18.0	24.1	70.5	91.2	49.6	33.1	5.1	12.5	9.9	7.9	9.6	12.1	25.5
11	35.4	28.3	11.1	18.7	27.5	74.2	97.3	58.0	38.1	15.1	21.6	15.9	20.0	13.6	24.6	—
30	38.9	27.8	10.3	17.2	25.4	66.9	91.6	50.5	34.3	7.9	16.5	12.2	15.4	11.6	12.8	26.0
34	36.0	28.4	10.3	17.6	24.8	66.7	91.8	54.8	34.4	7.3	11.9	7.8	6.2	6.8	6.3	27.0