

# Doelgerichte antropometrie voor een hydrodynamisch onderzoek

door

Jan P. CLARYS

Instituut voor Morfologie, Vrije Universiteit Brussel, Campus Jette(\*)

Dat het antropometrisch onderzoek *in vivo* meestal een vormomschrijvend en constitutie onderzoek betreft, hoeft geen betoog. Dit genre onderzoek zal daarom veelvuldig toepasselijk zijn in de context van genetisch-, antropologisch-, groei-ontwikkelings- en vormvergelijkend onderzoek. Antropometrische maten zijn eveneens van belang in mathematische en geometrische lichaamsmodelstudies, dit zowel voor *in vivo* als voor kadaver onderzoeken (DEMPSTER, 1955 ; BARTER, 1957 ; HANAVAN, 1964 ; DAMON *et al.*, 1966 ; CLAUSER *et al.*, 1969). In een dergelijke benadering is de antropometrische maat een direkt alternatief van de mathematische afmeting.

Enigszins analoog hiermede is het antropometrisch en morfologisch onderzoek in de onderhavige studie een alternatief voor de hydrodynamisch gedetermineerde lengte, diepte, breedte en diktematen.

De antropometrische maten zijn dus doelgericht gekozen als functie van een specifiek hydrodynamisch onderzoek van het menselijk lichaam. Voor een goed begrip is een duidelijke en volledige omschrijving van de probleemstelling noodzakelijk. Een fundamenteel hydrodynamisch onderzoek is namelijk onmogelijk zonder een diepgaande morfologische studie van de onderzochte lichamen.

## Omschrijving van de probleemstelling

Het onderzoek van watermammalia species heeft aangetoond dat er een relatie bestaat tussen de morfologische kenmerken van het lichaam en de verplaatsing in water. De efficiënte voortbeweging van de vissen is in harmonie met hun vorm.

Het scheepsbouwkundig onderzoek en de algemene hydrodynamica leren ons dat de weerstand bepaald wordt door deels de visceuze eigenschappen van de vloeistof, deels de vorm van het lichaam (vormweerstand). Hoe kleiner deze weerstand, hoe hoger de snelheid. Mede bepalend hiervoor is o.a. de lengte.

(\*) Mededeling voorgesteld op de 19de december 1978.

Metingen in een windtunnel bij windsnelheden overeenkomstig met de voortbewegingssnelheid voor de zwemmende mens (GADD, 1963) wezen uit dat de weerstandscoefficient  $\pm 13 \times$  groter is dan die van gestroomlijnde lichamen bij eenzelfde snelheid. Men besloot hieruit dat er bij de mens meerdere grenslaag afscheidingen plaats vonden, gekoppeld aan een grote turbulente kielwater vorming en energie verlies. Deze gevolgtrekkingen zijn echter niet gebaseerd op metingen onder reële omstandigheden en hebben derhalve alleen theoretisch en hypothetisch belang. Het is echter één van de uitgangspunten van ons onderzoek.

De vorm van het lichaam is dus duidelijk een onmisbare schakel in het hydrodynamisch onderzoek. Dit geeft aanleiding tot een interdisciplinaire benadering van het probleem, waarbij beroep moet gedaan worden op bekende principes van het scheepsbouwkundig onderzoek, van het watermammalia onderzoek, van de algemene hydrodynamica en dit op basis van een uitgebreid antropometrisch en morfologisch vormonderzoek van de proefpersonen.

Een dergelijke interdisciplinaire benadering van het probleem stelt ons in staat "de mens in water" vanuit een nog niet eerder beschreven wetenschappelijke basis te gaan bestuderen.

Wij moeten ons echter bewust zijn dat de gekende wetten van de hydrodynamica geen exacte verklaring kunnen geven van de weerstand en de voortbeweging van de mens in water omdat de hedendaagse hydrodynamica niet over methodische cijfergegevens beschikt betreffende de weerstand van het water ten opzichte van lichamen van willekeurige vorm.

De complexiteit van de menselijke samenstelling en vorm, en zijn specifieke bewegingsmogelijkheden in een aquatisch milieu bemoeilijken het hydrodynamisch onderzoek in zijn totaliteit.

Dit impliceert 3 verschillende benaderingen van het probleem, namelijk een morfologisch-antropometrische benadering, een fundamenteel hydrodynamische benadering en een toegepast hydrodynamische benadering. Wij beperken ons hier enkel tot het eerste vermelde aspect.

### **De morfologisch-antropometrische benadering**

Uit het scheepsbouwkundig- en watermammalia onderzoek weten wij dat o.a. lengte, breedte, diepte, oppervlakte en grootspantoppervlak factoren zijn, die de grootheid van de weerstand mede helpen bepalen. Grootspantoppervlak is de grootste dwarse lichaamsoppervlakte of grootste dwarse doorsnede van een lichaam : deze term is ontleend aan het scheepsbouwkundig onderzoek. Meerdere auteurs hebben deze principes overgenomen en toegepast op het menselijk lichaam zonder voorafgaand proefondervindelijk onderzoek. Het blijft heel dikwijls bij intuïtieve bevindingen en oordelen die gebaseerd zijn op eenzijdige waarnemingen. Teneinde de invloed van de vorm van het menselijk lichaam op hydrodynamische weerstand te

kunnen bestuderen moeten lichaamsmaten worden gemeten en, indien de directe meting niet mogelijk is, berekend worden volgens bestaande formules.

Het eerste geval impliceert een serie directe antropometrische maten. In het tweede geval kan het gebeuren dat de directe meting te complex of te omslachtig is, zodat formules een substituut vormen. Dergelijke formules zijn echter zinvol wanneer zij toegepast worden op steekproeven die identiek zijn aan die waarop de formule is ontwikkeld. Dit betekent dat enerzijds naar geschikte meettechnieken moet worden gezocht, en anderzijds formules (regressievergelijkingen) moeten worden ontwikkeld voor de betrokken steekproef in dit onderzoek. Bij dergelijke voorspellingen moeten wij echter steeds het relatief karakter van de voorspellingsvariabelen in acht nemen.

### **Keuze van de onderzochte steekproeven**

De bijzondere aard van dit onderzoek bracht mee dat niet iedereen kon worden onderzocht om als proefpersoon te dienen in de verschillende experimenten die binnen dit onderzoek werden uitgevoerd. Het ondergaan van sleepproeven in het scheepsbouwkundig proefstation, en het hydrostatisch wegen vragen reeds een grote mate van vertrouwd zijn met het element water. Daarnaast dienden een goede algemene conditie, gelijkheid van geslacht en een zo groot mogelijke conformiteit in leeftijd als keuzekriteria. Tenslotte moesten alle proefpersonen gedurende twee à drie jaar ter beschikking blijven van het onderzoek.

84 studenten uit het 2de en 3de jaar van de Akademie voor Lichamelijke Opvoeding uit Amsterdam voldeden aan bovenvermelde criteria. Om verschillende, waaronder financiële, redenen kozen wij uit de proefgroep 60 individuen (+ 3 reserve personen) met behulp van de toevalsgetallen techniek zoals die door LINDER (1953) werd gebruikt.

Uit de bovenvermelde proefgroep zonderden wij een aantal personen af, die naast de genoemde criteria nog over een bijkomend kenmerk beschikken en wel, dat zij regelmatig deelnamen aan het zwemmen op wedstrijdniveau. Zij behoorden allen tot de topzwemmers van de Nederlandse zwemcompetitie. Wij noemen deze groep de substeekproef van competitiezwemmers. Daarnaast onderzochten wij een groep, die was samengesteld uit zogenaamde extreme lichaamstypes, d.w.z. een groep extreem zwaarlijvige en magere personen. Daar ook hier dezelfde criteria werden toegepast, was het aantal onderzochte proefpersonen hier beperkt.

De plaats die onze steekproeven innemen, wordt vergeleken met die van een steekproef uit de gemiddelde bevolking van dezelfde leeftijd, namelijk 572 Belgische dienstplichtigen.

Alle antropometrische verrichtingen zijn uitgevoerd door één en dezelfde persoon. Vergelijkingen onderling en met gelijkaardige steekproeven vermeld in de literatuur zijn voorgesteld in de vorm van somatocharts, genormaliseerde afwijkingsdiagrammen en grafische voorstelling van de gemiddelde waarneming.

**Antropometrische omschrijving van de steekproeven**

Alle proefpersonen zijn beschreven volgens leeftijd (in jaren en maanden), lichaamslengte, lichaamsgewicht, huidploidiktematen, breedtematen, lengtematen en perimeters.

De bouw van onze steekproef wordt dus uitgedrukt door een serie directe lichaamsmaten die gekozen zijn op grond van een arbitraire verdeling volgens lengte-, breedte-, vet- en spierfactoren, enerzijds, en als functie van de verder studie van de samenstelling van het menselijk lichaam en het hydrodynamisch onderzoek anderzijds.

De meeste lengte-, breedte-, diepte- en omtrekmaten zijn gemeten volgens de internationaal aanvaarde technieken van TWIESSELMANN (1952), MARTIN-SALLER (1957) en TANNER (1964). De huidplooiën zijn gemeten volgens de meest voorkomende technieken beschreven in de literatuur.

Sommige metingen uit de antropometrische batterij hebben in het verdere onderzoek van de samenstelling van het lichaam een specifieke bestemming: Voor dergelijke gevallen wordt dan ook de meettechniek van de betrokken auteurs gebruikt, voor zover deze afwijken van de internationaal aanvaarde technieken.

De vergelijking met analoge populaties geschiedt hoofdzakelijk op basis van recente literatuur en als functie van de antropometrische resultaten van de Belgische militairen referentie steekproef.

De studenten steekproef van onderhavig onderzoek is uitgezet tegen de resultaten van metingen van Belgische dienstplichtigen. Wij nemen hierbij aan dat deze steekproef representatief is voor de Benelux bevolking van  $\pm 19$  jaar. Volledigheidshalve zullen wij antropometrische resultaten van Nederlandse dienstplichtigen (LAMBERTS, 1969) toevoegen aan de steekproef vergelijkingen voor zover overeenkomstige metingen beschikbaar zijn.

De definiëring van onze proefgroep ten opzichte van de referentie steekproef is grafisch voorgesteld door middel van genormaliseerde waarden. Op die manier houden wij rekening met de variatie binnen de bevolking (fig. 3 en 4).

Hieruit blijkt dat, op uitzondering van de trochanterbreedte, de hoofd-, abdomen- en bekkenperimeter, zowel de lengte-, breedte- als omtrekmaten meer zijn ontwikkeld bij de studenten groep en de substeekproef "competitiezwimmers" dan in een doorsnee bevolkingssteekproef van dezelfde leeftijd (fig. 1). Voor de lichaamslengte, de dactylionhoogte en de meeste breedtematen is het verschil  $\geq 1$ .S.D. Voor de overige maten is het verschil  $\leq 1$ .S.D.

De subcutane huidploidikte is daarentegen gemiddeld kleiner dan bij de militaire steekproeven (fig. 2). Indien wij aannemen dat de huidplooiemetingen een indicatie zijn voor de hoeveelheid onderhuidsvet, kunnen wij stellen dat de steekproeven van onderhavig onderzoek een kleinere onderhuidse vetafzetting hebben dan de doorsnee bevolking (= Belgische en Nederlandse militairen).

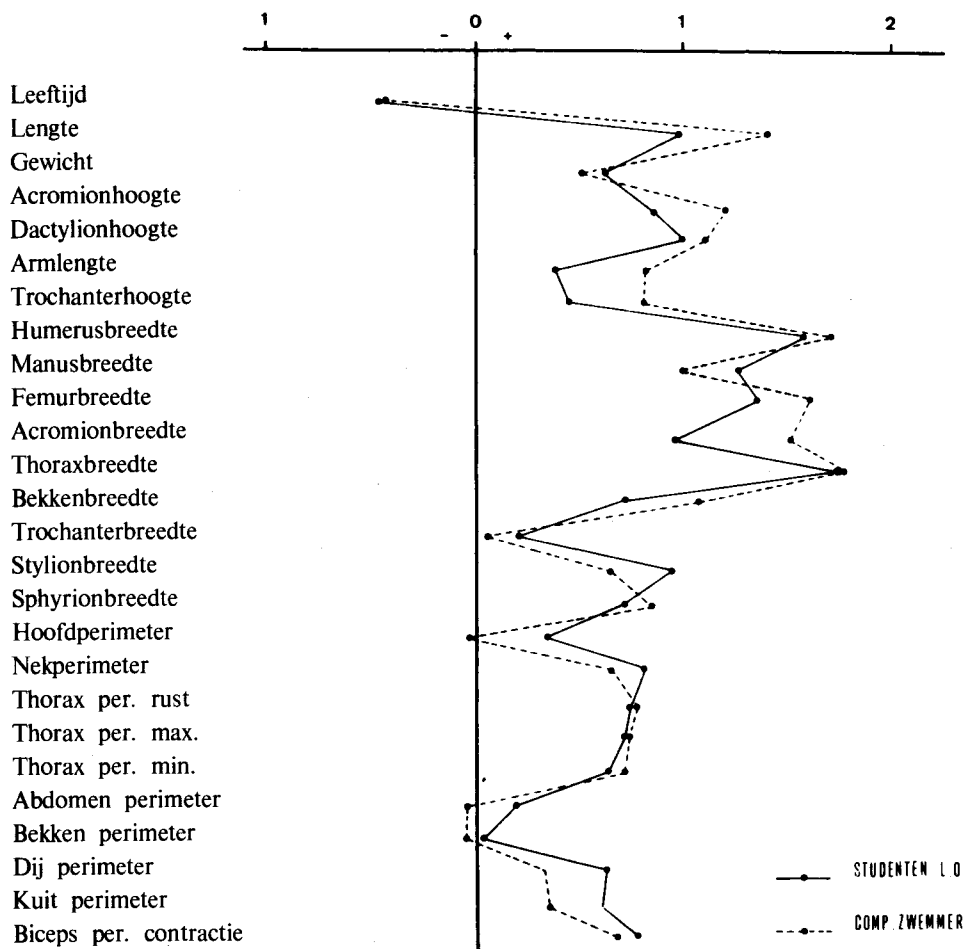


FIG. 1. — Genormaliseerde antropometrische waarden van studenten en zwemmers ten opzichte van een referentie steekproef.

De grafische voorstelling van de genormaliseerde waarden in fig. 1 en 2 geeft eveneens een goed beeld van de overeenkomstige antropometrische ontwikkeling tussen de studenten L.O. en de groep competitiezwemmers.

Fig. 3 geeft een overzicht van de gemiddelde lengte en gewicht resultaten van studenten L.O. uit de literatuur.

Hieruit blijkt dat onze steekproef op grond van de Quetelet index (gewicht/lengte) goed overeenkomt met de L.O. studenten uit Dunedin, Overveen, New York, Praag, Camarillo en Brussel.

Fig. 4 omschrijft de breedteafmetingen van de studenten L.O. en de referentie-steekproef ten opzichte van de studenten populaties van JONES *et al.* (1965),

LAUBACH-McCONVILLE (1966), HAYEZ-DELATTE (1967), WILMORE BEHNKE (1969), TWIESSLMANN (1969) en de L.O. studenten en atleten van FORSYTH-SINNING (1973), KATCH-McARDLE (1973), ZUTI-GOLDING (1973) en MAAS (1974).

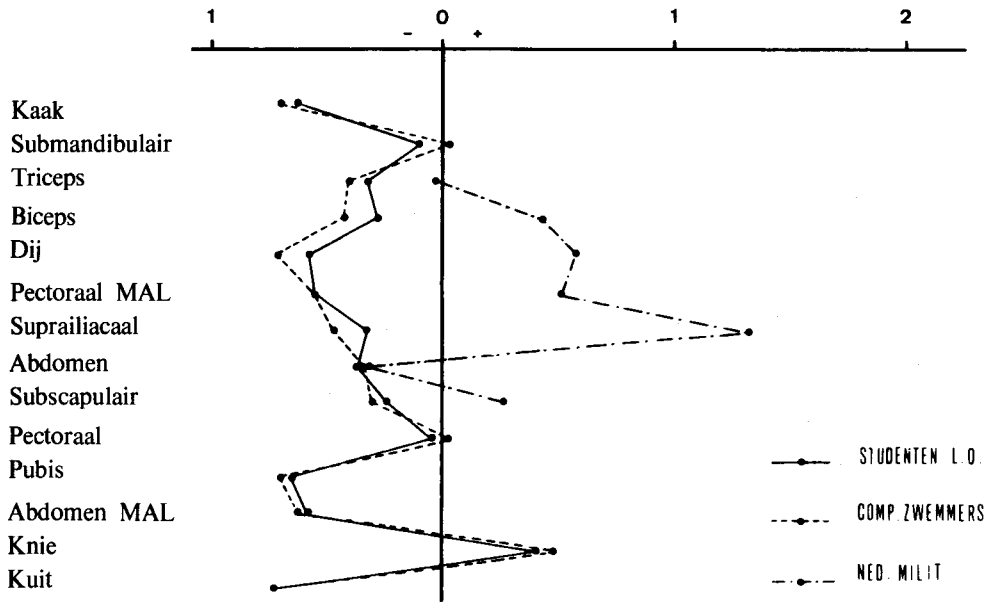


FIG. 2 — Genormaliseerde huidplooidiktematen van studenten, zwemmers en Nederlandse militairen ten opzichte van een referentie steekproef.

Globaal komen de breedtematen van onze L.O. steekproef het best overeen met die van de universiteitsstudenten van WILMORE-BEHNKE (1969) en HAYEZ-DELATTE (1967), alhoewel er voor elke breedtemaat afzonderlijk meerdere overeenkomsten zijn. De humerus-, femur- en sphyryonbreedte van onze steekproef is echter groter dan de resultaten in de literatuur vermeld.

De dichtheidskurve van de kuit-, de kleinste onderbeen- en de polsperimeter zijn significant leptokurtic. De meeste omtrekmaten verdelingen zijn echter normaal met scheefheid naar links (van de mediaanwaarde). De vergelijking met de resultaten uit de literatuur wordt geïllustreerd door fig. 5 en 6.

Voor wat betreft de omtrekmaten komt onze steekproef het best overeen met de L.O. studenten van MAAS (1974) en van MICHAEL-KATCH (1968). De niet L.O. studenten steekproeven van LAUBACH-McCONVILLE (1966), HAYEZ-DELATTE (1967), WILMORE-BEHNKE (1969) en TWIESSLMANN (1969) vertonen over het algemeen kleinere thorax-, nek-, arm- en beenomtrekken en grotere abdomen-, bekken- en pubisperimeters.

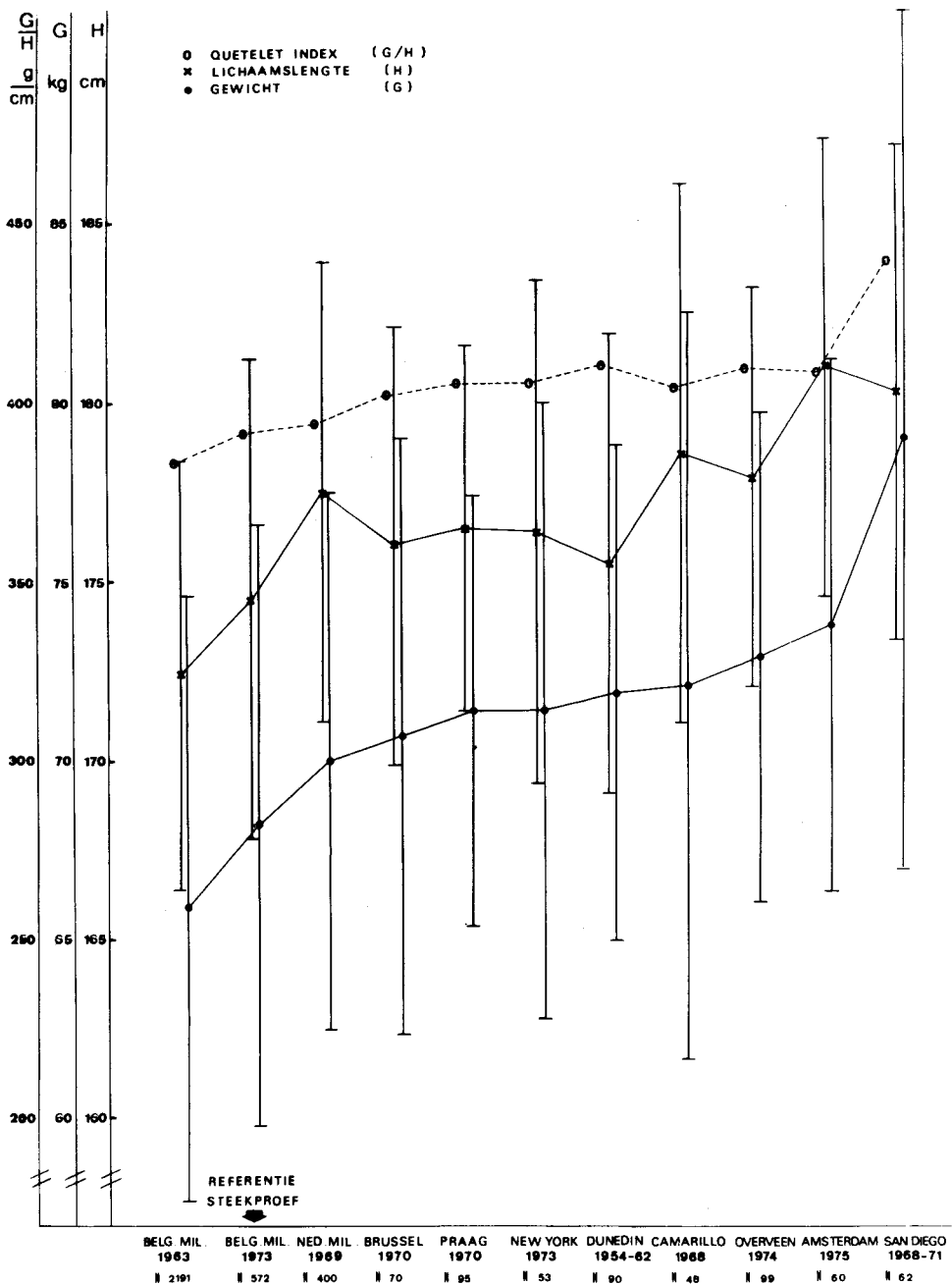


FIG. 3. — Lichaamslengte en gewicht vergelijkingen.

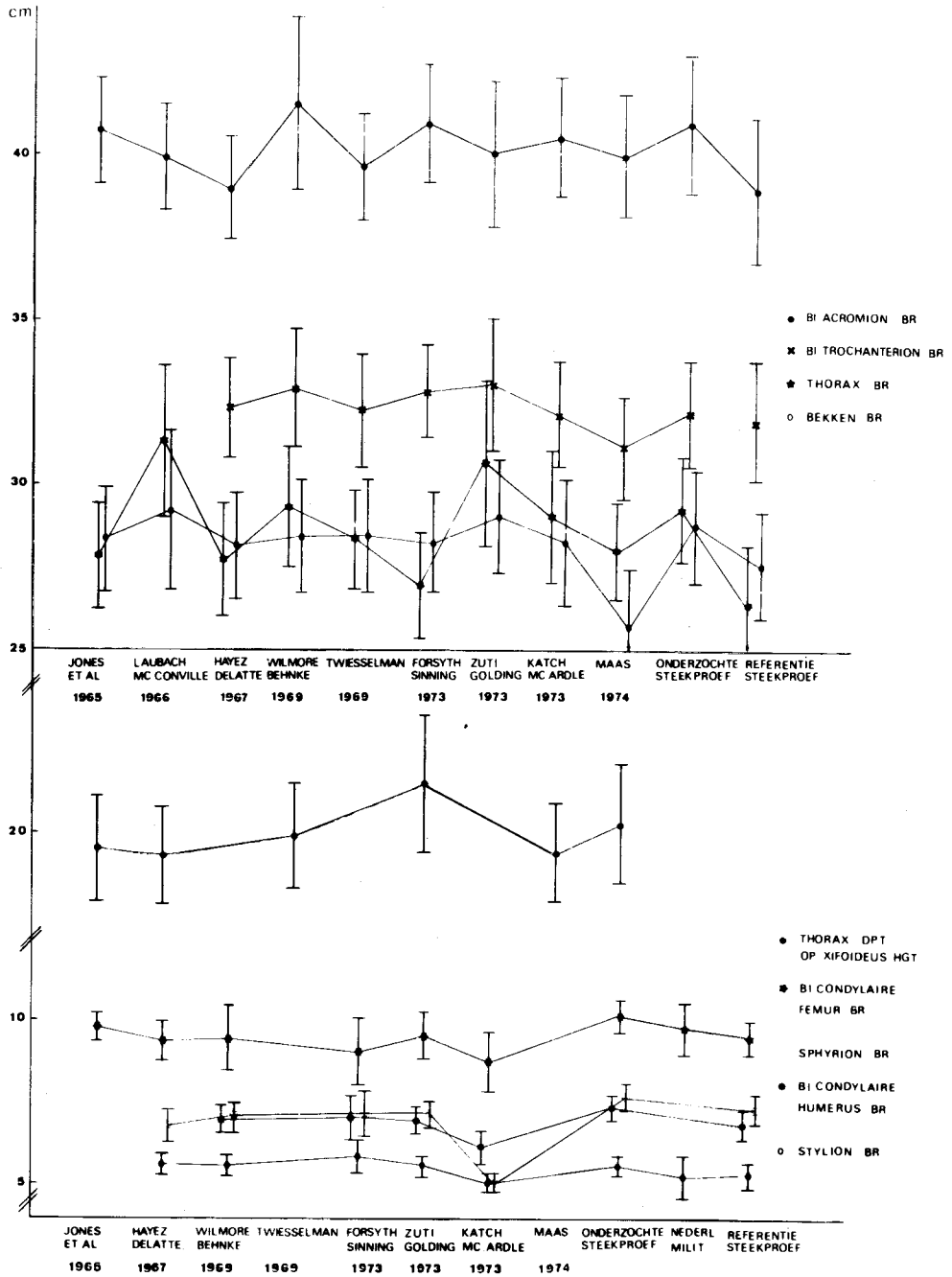


FIG. 4. — Vergelijking van sagittale en transversale diameters.



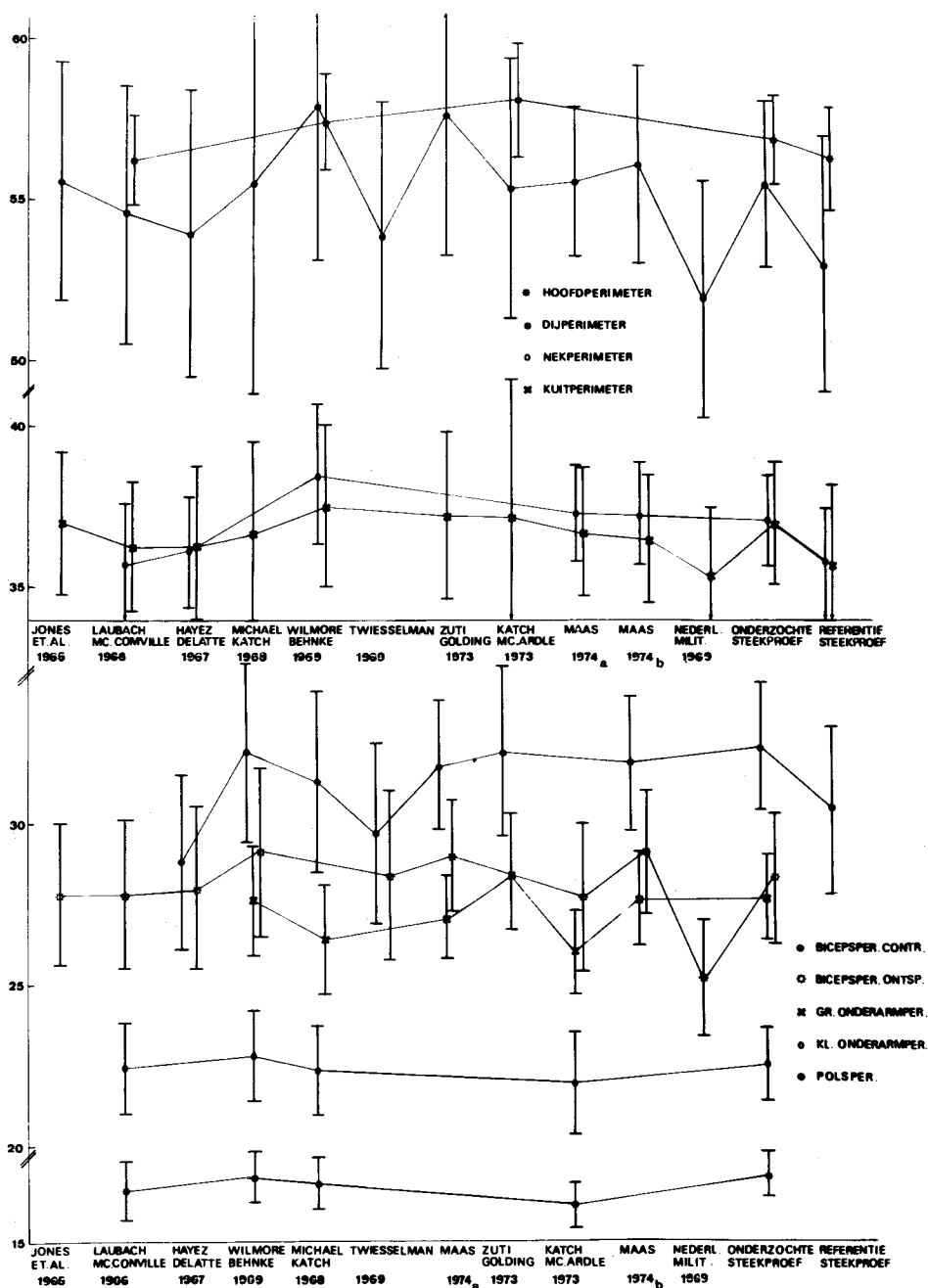


FIG. 5. — Vergelijking van omtreksmaten.

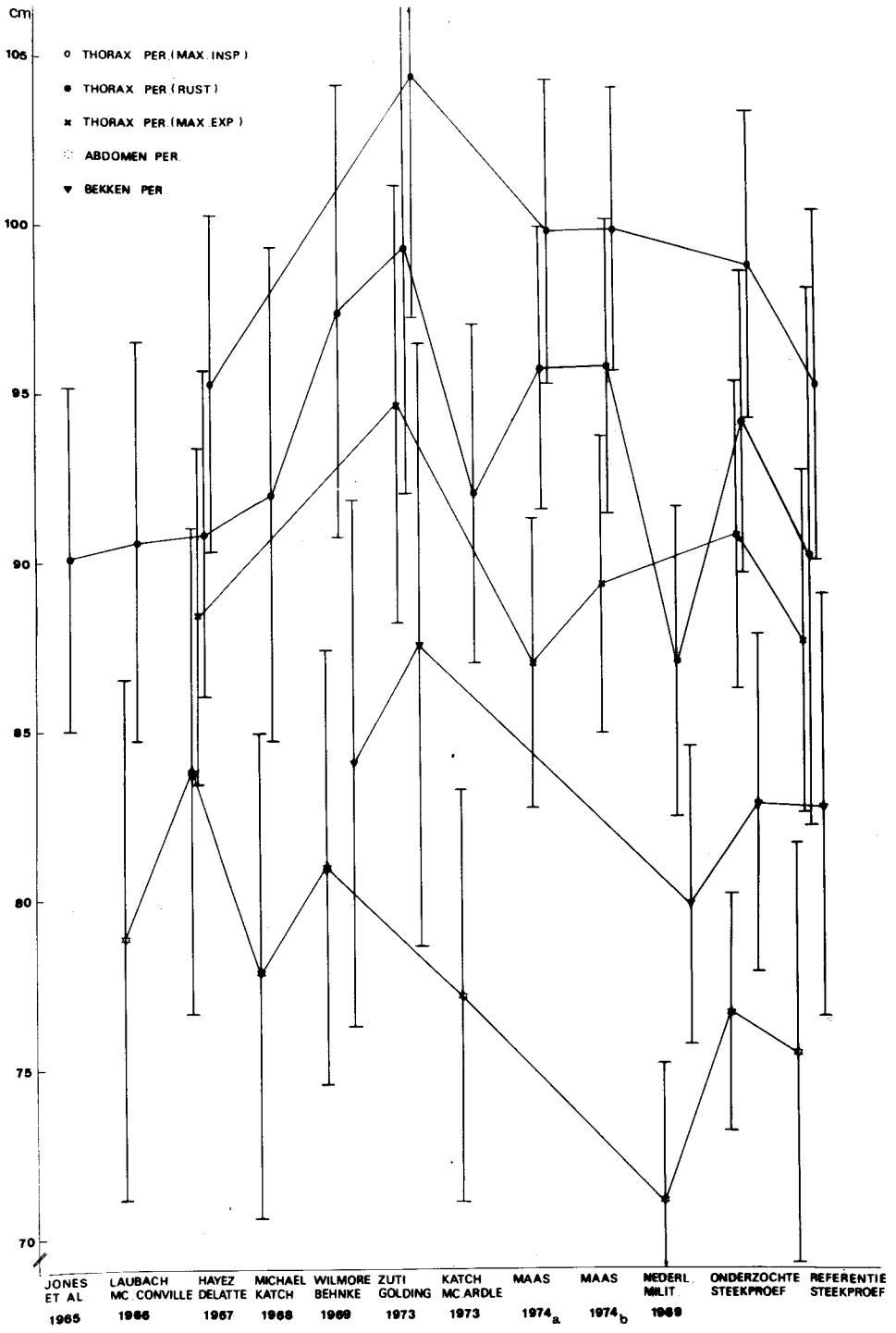


FIG. 6. — Vergelijking van omstrekmaten.

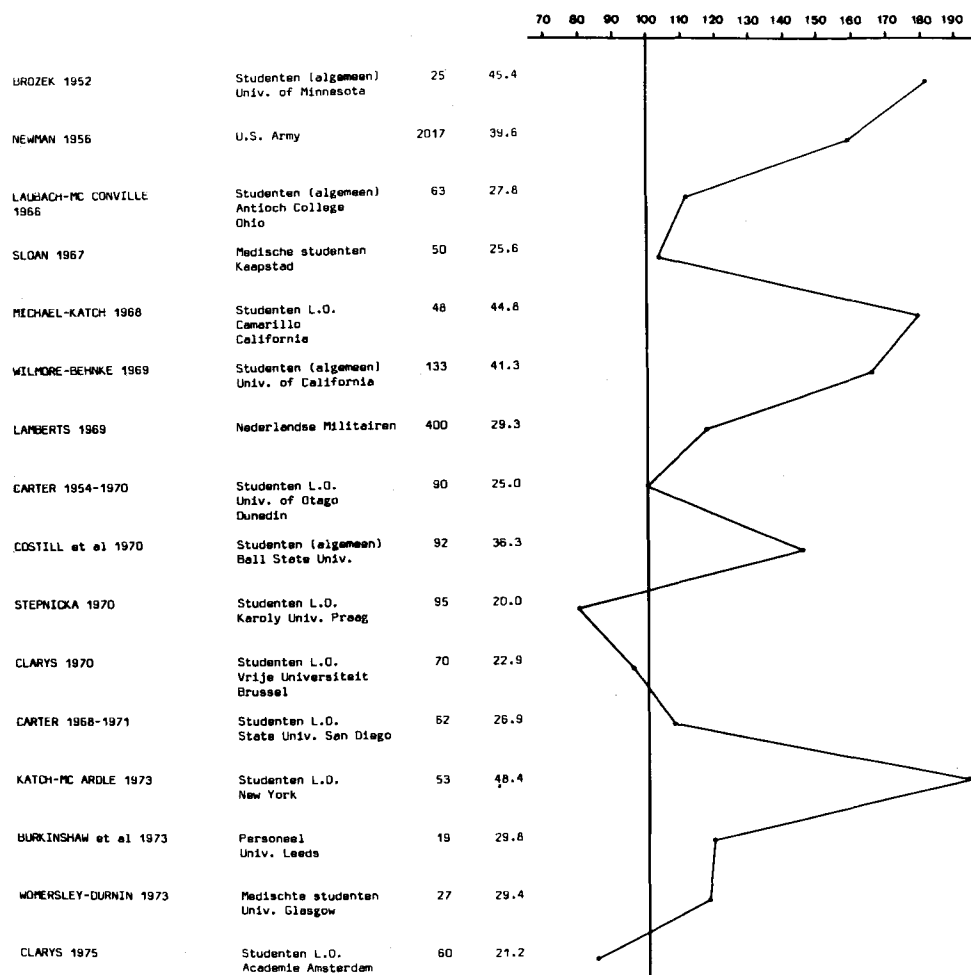


FIG. 7. — Percentuele afwijking van huidplooidiktematen (som 3 huidplooien) ten opzichte van de referentie steekproef.

De meest afwijkende resultaten zijn die van ZUTI-GOLDING (1973). Waarschijnlijk is dit een gevolg van de oudere leeftijd van deze (sportieve) steekproef.

Bij de huidplooidikte merken wij een significant leptokurtic ten opzichte van de normale kurve voor de kaak-, abdomen-, iliacale-, pubis-, dij- en patellaris huidplooï resultaten. Voor alle distributies ligt de modus links van de mediaan.

Het gemiddelde en de spreiding zijn klein. Dit komt zeer goed tot uiting in fig. 7. Hierin is de som van triceps-, subscapulaire- en suprailiacale HPD percentueel uitgezet als functie van de overeenkomstige som van de referentiesteekproef, en vergeleken met de literatuur. Het is duidelijk dat onze steekproef kwantitatief, weinig

onderhuids (vet) weefsel bezit. De problematiek en de waarde van de huidploidikte als antropometrische maat en als alternatief voor de onderhuidse vetbepaling laten wij hier in het midden. Dit is onderwerp van een afzonderlijk onderzoek (CLARYS, 1976).

### **Integratie van de antropometrie in het fundamenteel hydrodynamisch onderzoek**

Bij het menselijk lichaam, zoals bij de scheepsvorm, doet zich de supplementaire moeilijkheid voor van een voortbeweging in het grensvlak van 2 media, namelijk water en lucht. De stromingsveranderingen veroorzaken hierbij o.a. niveauveranderingen van het grensvlak (golfvorming). Met andere woorden, wij krijgen problemen die ingewikkelder zijn dan die van een in één medium voortbewegend lichaam. Voegen wij hierbij de ongelijke en weinig harmonische (weinig gestroomlijnde) vormen van het menselijk lichaam en de mogelijkheid tot "zelf" voortstuwing dan worden deze problemen onoverzichtelijk.

De "vormen van het menselijk lichaam" worden globaal omschreven door de serie lengte- en breedtematen, door de diameters, de perimeters en de huidplooiën, maar ook door een serie welbepaalde lichaamssamenstellende maten zoals lichaamsoppervlakte, de grootste dwarse lichaamsoppervlakte, het hydrostatisch gewicht, het volume en de densiteit.

Specifiek worden echter in de hydrodynamica een reeks dimensieloze geometrische verhoudingen gebruikt waarvoor eveneens antropometrische alternatieven moeten worden gekozen.

Zo wordt de totale hydrodynamische weerstand bepaald door de sommatie van wrijvingsweerstand + golfweerstand + druk- of wervelweerstand. De bijdrage van elk van deze onderdelen wordt ondermeer bepaald door de waarde van de geometrische verhoudingen van het lichaam.

Zo weten we dat de lengte-dikte verhouding een maat is voor de drukweerstand, dat de lengte-oppervlakte verhouding een maat is voor de wrijvingsweerstand, dat de slankheidsgraad een maat is voor de golfweerstand en dat de lengte-breedte en de lengte-diepte verhoudingen indicaties geven over de stroomlijn (cf. turbulente - laminaire stroming) van het lichaam.

De antropometrische alternatieven hiervoor worden geïllustreerd door tabel I.

Complementair aan de hydrodynamische vormverhoudingen en in de context van eerder beschreven probleemstellingen kan de hydrodynamische weerstand van onze verschillende steekproeven bestudeerd worden, indien voldaan wordt aan het fenomeen gelijkvormigheid. Daarom moet naast de dimensieloze vormverhoudingen (tabel I) gewerkt worden met hydrodynamische dimensieloze vergelijkingsindexen. Zo leert het fundamenteel hydrodynamisch onderzoek ons dat alle voortbeweging van ondergedompelde lichamen onderworpen is aan de wet van Reynolds (PRANDTL., 1952 ; McNEILL., 1968). De vergelijkingswet is een dimensieloze uitdrukking en

wordt gebruikt als het Reynoldsgetal. Dit getal kan aanzien worden als een maat van relatieve belangrijkheid van de inertie van visceuze krachten die een lichaam onder water ondervindt (GADD, 1963).

TABEL 1

## Dimensieloze vormfactoren

Lengte-breedte verhouding	$\frac{H}{B}$	$\frac{\text{lichaamslengte}}{\text{bi. acromion breedte}}$
Lengte-diepte verhouding	$\frac{H}{T}$	$\frac{\text{lichaamslengte}}{\text{thorax xifoïdeus diepte}}$
Lengte-dikte verhouding	$\frac{H^2}{\oplus}$	$\frac{\text{lichaamslengte}^2}{\text{grootspantoppervlakte}}$
Lengte-oppervlakte verhouding	$\frac{H^2}{S}$	$\frac{\text{lichaamslengte}^2}{\text{lichaamsoppervlakte}}$
Slankheidsgraad	$\frac{H}{\Delta^{1/3}}$	$\frac{\text{lichaamslengte}}{\text{lichaamsvolume}^{1/3}}$
Breedte-diepte verhouding	$\frac{B}{T}$	$\frac{\text{bi. acromion breedte}}{\text{thorax xifoïdeus diepte}}$

Naargelang de vorm van het lichaam merken wij een grote variabiliteit in weerstand bij lagere Reynolds getallen. In verhouding tot de weerstandscoefficienten bepalen de Reynoldsgetallen de graad van turbulente of laminaire stroom rond het lichaam en derhalve de grootte van de wervel- en wrijvingsweerstand.

Ook de weerstand zelf, van een lichaam met bepaalde vorm, is pas vergelijkbaar indien voldaan wordt aan de wet van Froude, uitgedrukt als Froude getal, en indien het gelijkvormig wordt gemaakt door het lichaamsvolume of het lichaamsgewicht. Het Froude getal zelf is de dimensieloze snelheidsgraad die een bepaald verband van lengte en snelheid van een lichaam vergelijkbaar maakt met dat van een ander lichaam (VAN LAMMEREN *et al.*, 1948). De hier opgesomde hydrodynamische vergelijkingsverhoudingen zijn verklarend opgesomd in tabel 2.

### Hydrodynamisch bepaalde lichaamssamenstellende maten

#### *Lichaamsoppervlak.*

In het scheepsbouwkundig onderzoek is het "natte" oppervlak een essentiële factor gebleken bij de meting van de weerstand die scheepsmodellen vertonen als zij onder bepaalde omstandigheden door het water worden voortgesleept. Vergroting van het "natte" oppervlak van een lichaam gaat gepaard met een toename van de hydrodynamische weerstand.

TABEL 2

Hydrodynamische verhoudingen als basis voor vergelijking

Reynolds getal	$\frac{v \cdot H}{\nu}$	$\frac{\text{snellheid} \times \text{lichaamslengte}}{\text{viscositeit water}}$
Froude getal	$\frac{v}{\sqrt{g \cdot H}}$	$\frac{\text{snellheid}}{\sqrt{9.81 \times \text{lichaamslengte}}}$
Specifieke kracht index	$\frac{D_p}{G}$	$\frac{\text{weerstand}}{\text{lichaamsgewicht}}$
Weerstand kracht index	$\frac{D_p}{\Delta}$	$\frac{\text{weerstand}}{\text{lichaamsvolume}}$
Weerstand coëfficiënt ( $C_d$ )	$\frac{D}{1/2 \cdot \rho \cdot v^2}$	$\frac{\text{weerstand}}{1/2 \text{ densiteit} \times \text{grootspant-oppervlak} \times \text{snellheid}}$

Wanneer deze algemene stelregel (voor geometrische lichamen) wordt toegepast op de mens, beweren verschillende auteurs (KARPOVICH, 1933 ; TEWS, 1941 ; ONOPRIENKO, 1967 ; FAULKNER, 1966) dat het oppervlak wel invloed heeft op de hydrodynamische weerstand.

Wij zijn geneigd te veronderstellen dat de invloed van het oppervlak op de hydrodynamische weerstand van de mens verschillend is van die van het scheepsmodel, omdat de oppervlakte van het menselijk lichaam geometrisch niet gelijkvormig is.

Onze keuze van de lichaamsoppervlakte als vormparameter wordt in de eerste plaats bepaald door de belangrijkheid ervan in het fundamenteel hydrodynamisch onderzoek, daarnaast vooral ook omdat een proefondervindelijke bewijsvoering van bovenvermelde stelregel op het menselijk lichaam ten enen male ontbreekt.

Door middel van een vergelijkende analyse van de bestaande meetmethodes en door eigen onderzoek is gebleken dat de meest preciese bepaling van de lichaamsoppervlakte kan worden bekomen door een maximaal aantal perimeters over het ganse lichaam uit te zetten tegen hun meethoogte. Onder deze voorwaarden is het niet nodig naar een analogie te zoeken met geometrische lichamen maar passen wij zoals VON SCHELLING (1954), enkel geometrische relaties toe op het menselijk lichaam.

Deze oppervlakte bepaling is gebaseerd op een studie van WEINBACH (1938). Op basis van een multipele stapsgewijze regressie analyse en het 95% betrouwbaarheidsinterval blijken lengte en gewicht goede voorspellers van de lichaamsoppervlakte.

$$S = 0.0112 \text{ gewicht} + 0.0051 \text{ lengte} - 0.0718.$$

*Grootspantoppervlak.*

De term "grootspantoppervlak" is ontleend aan het scheepsbouwkundig onderzoek. Dit oppervlak is een maat voor de hoeveelheid water, die in zijwaartse richting door een voortgeslept lichaam moet worden verplaatst en is daarom een maat voor de grootte van de golfmakende weerstand (VAN LAMMEREN *et al.*, 1948).

Het grootspantoppervlak komt overeen met de projectie van de grootste dwarse oppervlakte van craniaal uit gezien van het rechtopstaande lichaam met de armen gestrekt geheven en de handen samen (fig. 8).



FIG. 8. — Projectie van het grootspantoppervlak of grootste dwarse lichaamsoppervlakte.

Het is deze houding, maar dan horizontaal, die identiek is aan die welke bij het slepen voor het meten van de (passieve) weerstand wordt gebruikt.

Ten gevolge de symmetrische en geometrische vorm van de scheepsboeg is het grootspantoppervlak mathematisch berekenbaar. Willen wij dezelfde nauwkeurigheid nastreven voor het dwarse oppervlak van het lichaam dan kan dit enkel binnen de grenzen van de zo goed mogelijke benadering van het "ware" dwarse oppervlak. Om de waarde van deze benadering na te gaan is het noodzakelijk een referentie dwars oppervlak te bepalen.

Wij hebben hiervoor een beroep gedaan op de fotografie en de planimetrie. De

proefpersoon staat rechtop, de armen maximaal vertikaal in het verlengde van de romp geheven en met de handen samen. Een speciaal voor deze meting ontworpen plexiglasplaat hangt horizontaal op ellebooghoogte. De plexiglasplaat is bedekt met een raster van 10 cm bij 10 cm verdelingen en heeft een ellipsvormige opening in het midden om de armen en hoofd houding van de proefpersoon niet te hinderen. De plaat wordt horizontaal opgehangen vanuit de 4 hoeken en moet vertikaal aangepast kunnen worden aan de verschillende cubiti hoogtes van de proefpersonen. Een foto-toestel wordt in het verlengde van de lichaamsas gefixeerd en de scherpstelling van de lens (Macro-Takumar 1 : 4.50 mm) wordt voor elke proefpersoon hernieuwd t.o.v. het raster op de plexiglasplaat (fig. 9). De fotografische profielen zijn ontwikkeld en vergroot tot op 4/10 schaal. Elke foto wordt afzonderlijk gecontroleerd tijdens de ontwikkeling om een zo groot mogelijke precisie van de schaalfoto te verkrijgen.

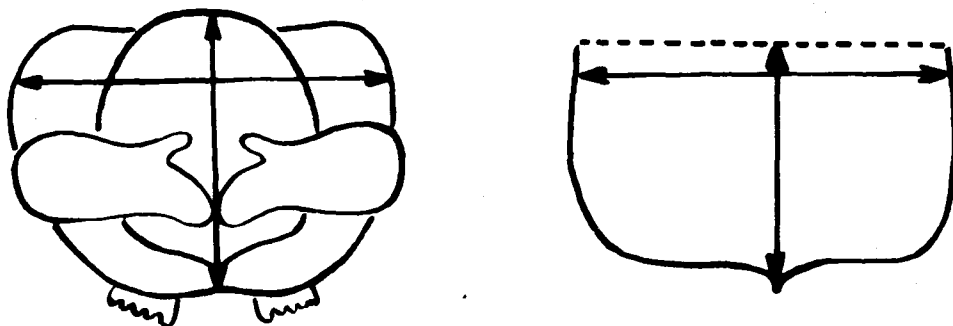


FIG. 9. — Fotografische opname van de grootste dwarse oppervlakte.

De grootste dwarse oppervlakte wordt planimetrisch gemeten en verbeterd ten opzichte van de schaal.

De resultaten van deze meettechniek worden gebruikt ter vervanging van de werkelijke dwarse oppervlakte en wordt verder in dit onderzoek de referentie dwarse oppervlakte genoemd.

De voorspelling met behulp van de lichaamslengte en het gewicht geeft eens te meer goede resultaten voor onze steekproeven.

$$X = 6.9256 \text{ gewicht} + 3.5043 \text{ lengte} - 377.156.$$

#### *Hydrostatisch gewicht, volume en densiteit.*

De voortbeweging van een lichaam in water gaat steeds gepaard met een waterverplaatsing en is vrijwel steeds gekoppeld aan een golf- en wervelweerstand. De maat voor die waterverplaatsing is het volume. Analogie met het scheepsbouwkundig onderzoek doet ons veronderstellen dat de kennis van het volume of de waterverplaatsing van belang is voor de bepaling van de hydrodynamische weerstand van het lichaam.



De meest eenvoudige manier om het lichaamsvolume te bepalen is via de hydrostatische weegmethode. Het belang van het hydrostatisch gewicht als functie van het volume en als maat voor het drijfvermogen rechtvaardigt het gebruik van deze parameters voor de verdere studie van de hydrodynamische weerstand van het (menselijk) lichaam.

Aansluitend hierop veronderstellen wij zoals ALLEY (1952) dat de densiteit van het lichaam de hydrodynamische weerstand beïnvloedt en dus van belang is voor het verdere onderzoek. De densiteit of het soortelijk gewicht is een maat voor het drijfvermogen van het lichaam. Hoe lager het soortelijk gewicht, hoe beter het drijfvermogen (PUGH *et al.*, 1960 ; PEARISH *et al.*, 1960-1961 ; WUTSCHERK, 1966 ; SZABO-SZABO, 1969 ; SZABO-WAHLSTAB *et al.*, 1971, e.a.).

Densiteit is een derde basis dimensie van het lichaam, naast lengte en gewicht (BEHNKE, 1961).

Het hydrostatisch gewicht is gemeten door middel van een ophangstelsel volgens de methode van KATCH *et al.* (1967) waarbij 10 opeenvolgende metingen worden uitgevoerd na een voorafgaande aanpassing van de proefpersonen aan de meetomstandigheden. De reproduceerbaarheid van de 10 metingen is bepaald op basis van interne variatie berekeningen.

Het volume wordt verder bepaald volgens de wet van Archimeds mits correctie voor het residueel volume en het gastro-intestinaal gas.

De densiteit is bepaald op basis van de verhouding :

$$D = \frac{\text{Gewicht}}{\text{Gewicht-Hydrostatisch gew.-residueel vol.}}$$

Regressie vergelijkingen met huidplooidiktematen als voorspellers waren in tegenstelling tot de bevindingen uit de literatuur en ten gevolge de homogeniteit van onze steekproeven zeer onprecies.

De gemiddelde waarnemingen van alle onderzochte lichaamssamenstellende maten zijn samengevat in tabel 3.

### Besluit en synthese

Het is gebleken dat zowel een fundamenteel als toegepast hydrodynamisch onderzoek niet zonder een uitvoerige morfologische studie van de te bestuderen lichamen kunnen uitgevoerd worden. Het is duidelijk dat de specifieke gerichtheid van een hydrodynamisch onderzoek van het menselijk lichaam, impliceert dat (1°) de algemene vorm van het lichaam dient bepaald te worden op basis van een zo volledig mogelijke serie antropometrische lengte-, breedte-, diepte- en diktematen ; en dat (2°) de bestaande hydrodynamische wetten, principes en relaties gebaseerd op geometrische en gestroomlijnde lichamen, specifiek dienen aangepast te worden voor de weinig harmonische vorm en samenstelling van het menselijk lichaam.

TABEL 3

Gemiddelde waarden van lichaamssamenstellende maten

Parameter	Studenten		Substeekproef zwemmers	
	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.
Lichaamsoppervl. (m <sup>2</sup> )	1.665	0.118	1.677	0.1584
Grootspanopper. (cm <sup>2</sup> )	767.43	92.51	766.66	123.87
Hydrostatisch gew. (expiratie) (kg) (*)	3.936	0.633	3.539	0.756
Hydrostatisch gew. (inspiratie) (kg)	-1.098	0.846	-1.677	0.575
Volume (expiratie) (l) (*)	68.409	7.329	67.801	8.476
Volume (inspiratie) (l)	74.883	7.786	74.534	9.108
Densiteit (gr.ml <sup>-1</sup> )	1.0760	0.0090	1.0709	0.0066

(\*) Gecorrigeerd voor het residueel volume.

Zo is o.a. vastgesteld (CLARYS, 1976) dat het menselijk lichaam voor hydrodynamische normen niet gestroomlijnd is, en derhalve geen aanleiding geeft tot laminaire stroming; dat de lichaamsoppervlakte van de mens in tegenstelling tot de gangbare fysische wetten, de grootte van de weerstand niet beïnvloeden dat tengevolge van zijn specifieke vorm de wrijvingsweerstand zeer miniem is.

De vormfactoren behouden een dominante invloed op de weerstand zoals in het fundamenteel fysisch onderzoek, maar niet alle wetten en principes zijn toepasselijk op het menselijk lichaam. Zodra het lichaam zichzelf gaat voortbewegen (zwemmen) vervalt de invloed van de morfologie geheel.

Het is duidelijk dat de antropometrie en de studie van de lichaamsafmetingen in het algemeen hier een specifieke bestemming en een belangrijke plaats krijgen toebedeeld in het fysisch hydrodynamisch en fysisch biomedisch onderzoek.

## BIBLIOGRAFIE

ALLEY, L. E.

1952 An analysis of resistance and propulsion in swimming the crawl stroke.  
*Res. Qaurt.*, **23**: 253-270.

BEHNKE, A. R.

1961 Comment on the determination of whole body density and a resume of body composition data.

In: BROZEK, J. en A. HENSCHER: *Techniques for Measuring Body Composition*, 118-134.

- CLARYS, J. P.  
1976 *Onderzoek naar de hydrodynamische en morfologische aspecten van het menselijk lichaam.*  
Doctoraal proefschrift, Vrije Universiteit Brussel, 395 blz.
- CLAUSER, C. E., J. T. MCCONVILLE, and J. W. YOUNG.  
1969 *Weight, volume and center of mass of segments of the human body.*  
AMRL - TR - 69 - 70 report, Wright, Patterson Airforce Base, Ohio, 101 blz.
- DAMON, A., H. W. STOUTD and R. A. FARLAND.  
1966 *The human body in equipment design.*  
Cambridge, Mass., Harvard University Press, 360 blz.
- FAULKNER, J. A.  
1966 *Physiology of swimming.*  
*Res. Quart.*, **37** : 41-54.
- FORSYTH, H. L. and W. E. SINNING.  
1973 *The antropometric estimation of body density and lean body weight of male athletes.*  
*Med. and Science in Sports*, **5** (3) : 174-180.
- GADD, G. F.  
1963 *The hydrodynamics of swimming.*  
*New Scientist*, **355** : 483-485.
- HANAVAN, E. P.  
1964 *A mathematical model of the human body.*  
AMRL - TR - 64 - 102 report, Wright-Patterson Air Force Base, Ohio, 73 blz.
- HAYEZ-DELATTE, F.  
1967 *Le dimorphisme sexuel.*  
*Biométrie humaine*, **11** (2-3) : 147-178.
- JONES, P. R. M., W. J. C. WORTH, P. G. STONE, M. J. ELLIS and A. JEFFREY.  
1965 *The influence of somatotype and antropometric measures on heart rate during work in students and specialist sporting groups.*  
Loughborough College of Technology, 101 blz.
- KARPOVICH, P. V.  
1933 *Water resistance in swimming.*  
*Res. Quart.*, **4** : 21-28.
- KATCH, F. I. and W. D. MCARDLE.  
1975 *Validity of body composition prediction equations for college men and women.*  
*Am. J. Clin. Nutr.*, **28** : 105-109.
- KATCH, F. I., E. D. MICHAEL and S. M. HARVATH.  
1967 *Estimation of body volume by underwater weighing. Description of a method.*  
*J. appl. Physiol.*, **23** (5) : 811-813.
- LAMBERTS, H.  
1969 *Een psychosociaal, antropometrisch en arbeidsfysiologisch profiel van gewone en van geestelijk niet stabiele dienstplichtigen.*  
Doctoraal proefschrift, Rotterdam, Bronder Offset N.V., 192 blz.

- LAP, A. J. W.  
1954 *Fundamentals of shipresistance and propulsion*.  
Rotterdam, Nat. Shipbuilding Progr. N.S.M.B. 129 a, 123 blz.
- LAUBACH, L. L. and J. T. McCONVILLE.  
1966 Relationship between flexibility, antropometry and the somatotype of college men.  
*Res. Quart.*, **37** (2): 241-251.
- LINDER, A.  
1953 *Planen und Auswerten von Versuchen*.  
Basel, Birkhauser Publ., pag. 177 et seq.
- MAAS, G. D.  
1974 *An anthropometric study of Dutch sportsmen*.  
Leiden, Universitaire Pers, 192 blz.
- MARTIN, R. and K. SALLER.  
1957 *Lehrbuch der Antropologie*.  
Stuttgart, G. Fischer Verlag, Band 1, 661 blz.
- MICHAEL, E. D. and F. I. KATCH.  
1968 Prediction of body density and percentage body fat from skinfold and girth measurements of 17 years old boys.  
*J. appl. Physiol.*, **25**: 747-750.
- ONOPRIENKO, B. I.  
1967 Invloed van hydrodynamische gegevens op de hydrodynamica van de zwemmer.  
*Theorie en praktijk lichamelijke Opvoeding* (U.S.S.R.), **4**: 47-53.
- PEARISH, M., E. RICHTER and S. RIEGTER.  
1960-61 Bestimmung und Bedeutung der metabolischen aktiven und inaktiven Körpermasse bei jungen Sportlern verschiedener Aeltere Klassen.  
*Wissenschaftliche Zeitschrift der Deutschen Hochschule für Körper Kultur*, Leipzig, **1-2**: 105-112.
- PRANDTL, L.  
1952 *Essentials of fluid dynamics*.  
London, Blackie Publ., 252 blz.
- PUGH, L. G. C., O. G. EDHOLM, R. FOX, H. WOLFF, G. HARVAY, W. HAMMOND, J. TANNER and R. WHITEHOUSE.  
1960 A physiological study of channel swimming.  
*Clin. Sci.*, **19**: 257-273.
- SZABO-WAHLSTAB, S., M. MIKLOS, G. LANGLY and P. APOR.  
1971 Specific gravity of the body and the swimming ability.  
*Proceedings 2nd. Med. Conf. F.I.N.A.*, Dublin: 147-149.
- SZABO, S., S. SZABO.  
1969 Antropometrische und spezifische Gewichtsmessungen an ausländischen und heissigen Teilnehmern des internationalen Schwimmwettkampfes in Budapest.  
*Sportarzt u. Sportmed.*, **4/5**: 152-157 en 206-210.
- TANNER, J. M.  
1964 *The physique of olympic athlete*.  
London, Allen and Unwin, 126 blz.

- TEWS, R. W. J.  
 1941 *The relationships of propulsive force and external resistance to speed in swimming.*  
 Master's thesis, State Univ. of Iowa, 25 blz.
- TWIESELNANN, F.  
 1952 Aide-mémoire d'anthropométrie.  
*Inst. royal colonial Belg.*, Mémoire **25**, fasc. 4, 61 blz.
- TWIESELNANN, F.  
 1969 *Développement biométrique de l'enfant à l'adulte.*  
 Bruxelles, Presses Universitaires de Bruxelles, 147 blz.
- VAN LAMMEREN, W. P. A., L. TROOST, J. G. KONING.  
 1948 *Weerstand en voortstuwing van schepen.*  
 Amsterdam, Stam. Techn. Publ. Co, 340 blz.
- VON SCHELLING, H.  
 1954 Mathematical deduction from empirical relations between metabolism, surface area and weight.  
*Ann. N. Y. Acad. Sci.*, **56**: 1143-1163.
- WEINBACH, A. P.  
 1938 Contour map, center of gravity, moment of inertia and surface area of the human body.  
*Human Biology*, **10** (3): 356-371.
- WILMORE, J. H. and A. R. BEHNKE.  
 1969 An antropometric estimation of body density and lean body weight in young men.  
*J. appl. Physiol.*, **27** (1): 25-31.
- WUTSCHERK, H.  
 1966 Körpersbaumerkmale der leistungsbesten Freistilschwimmer der D.D.R.  
*Wissenschaftliche Zeitschrift der Deutschen Hochschule für Körperkultur*, Leipzig, **4**: 127-133.
- ZUTI, W. B. and L. A. GOLDING.  
 1973 Equations for estimating % fat and body density of active adult males.  
*Med. and Sci. Sports*, **51** (4): 262-266.

Adresse de l'auteur: Jan CLARYS  
 V.U.B., Fakulteit Geneeskunde  
 Instituut voor Morfologie  
 Laarbeeklaan, 101  
 1090 Brussel.