



Over ademsnelheid, ademgrootte en ademarbeid

<https://hdl.handle.net/1874/255193>

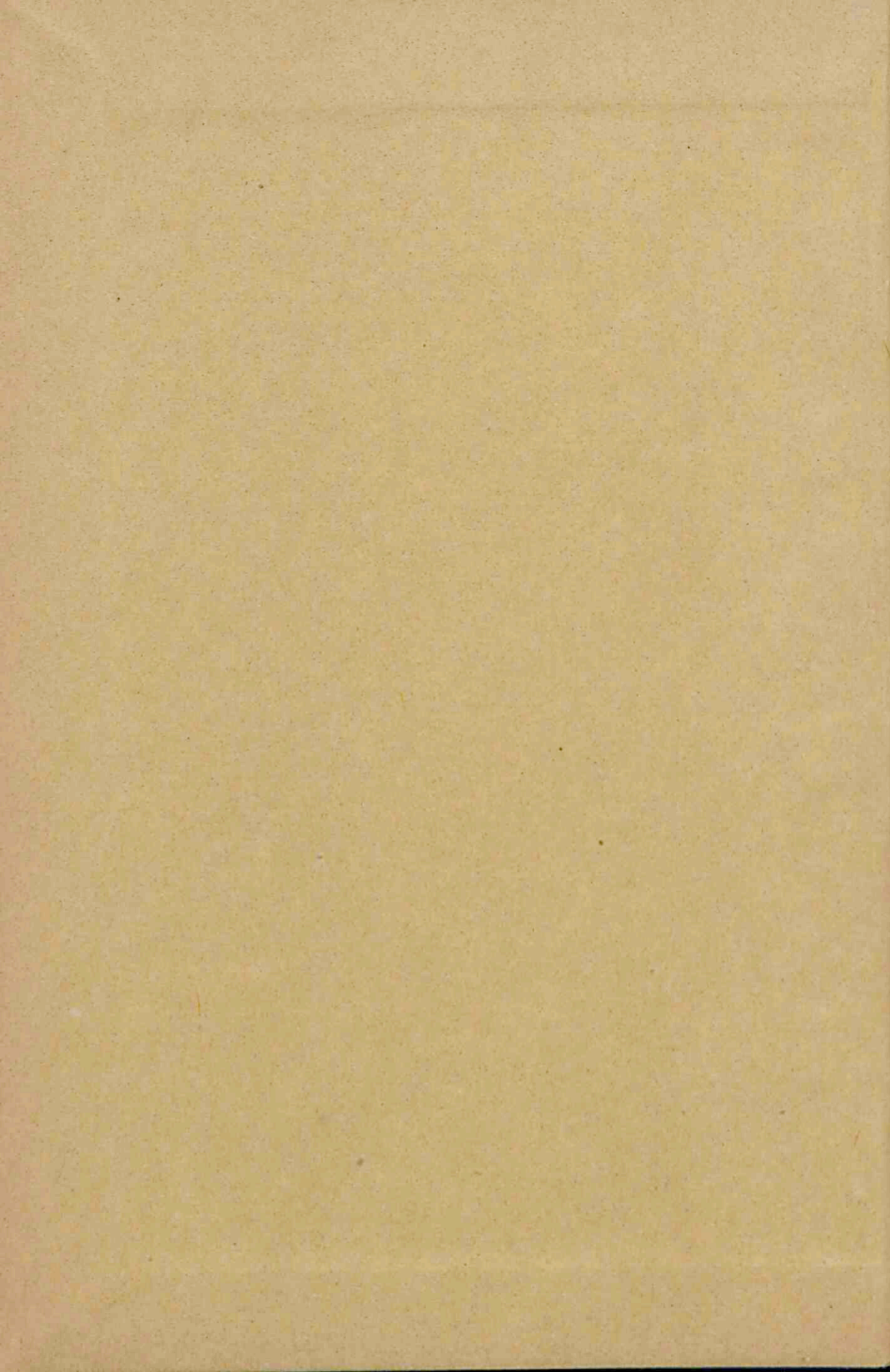
OVER ADEMSNELHEID



ADEMGROOTTE

EN ADEMARBEID.

J. TH. TEN HAVE.



OVER ADEMSNELHEID,
ADEMGROOTTE EN ADEMARBEID.

Diss. Utrecht 1905

Over Ademsnelheid, Ademgrootte en Ademarbeid

PROEFSCHRIFT

TER VERKRIJGING VAN DEN GRAAD

VAN

Doctor in de Geneeskunde

AAN DE RIJKS-UNIVERSITEIT TE UTRECHT

NA MACTHIGING VAN DEN RECTOR MAGNIFICUS

DR. F. A. F. C. WENT

Hoogleeraar in de Faculteit der Wis- en Natuurkunde

VOLGENS BESLUIT VAN DEN SENAAAT DER UNIVERSITEIT

TEGEN DE BEDENKINGEN VAN

DE FACULTEIT DER GENEESKUNDE

TE VERDEDIGEN

op Donderdag 7 December 1905 des namiddags te 3 uur

DOOR

JOHANNES THEODORUS TEN HAVE,

ARTS

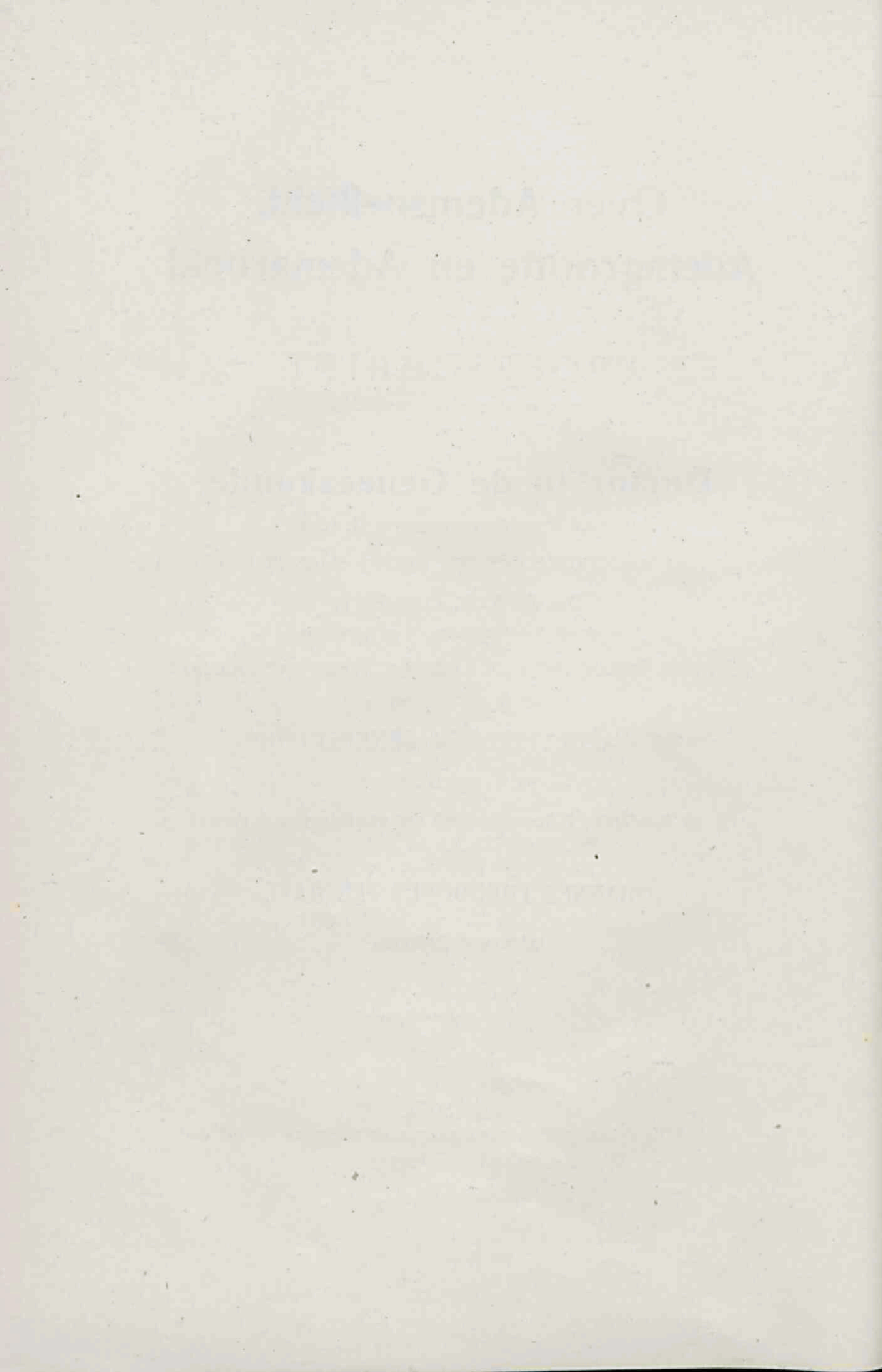
geboren te Deventer



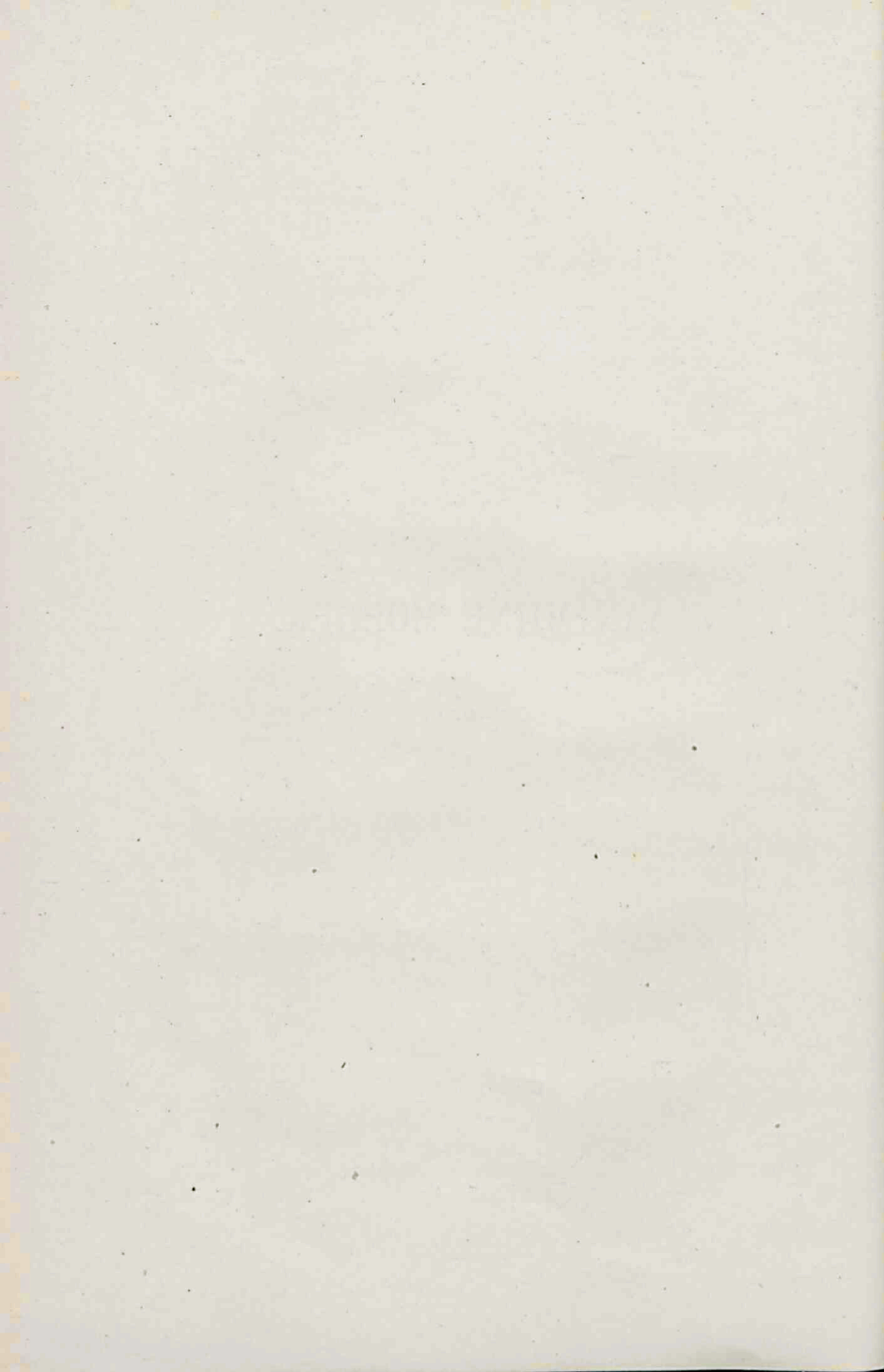
P. DEN BOER

SENATUS VETERANORUM TYPOGRAPHUS ET LIBRORUM EDITOR

UTRECHT — 1905



AAN MIJNE MOEDER.



Bij het verschijnen van mijn proefschrift maak ik gaarne van de gelegenheid gebruik, U Hoogleraren, Lectoren en Assistenten der Medische en Philosophische faculteit mijnen dank te betuigen voor alles wat Gij tot mijne vorming als medicus hebt bijgedragen.

In het bijzonder U, Hooggeleerde ZWAARDEMAKER, Hooggeachte Promotor. De tijd, gedurende welken ik onder Uwe leiding heb mogen werken en waarin mijne waardeering voor U, als welwillend leermeester, is versterkt door persoonlijke toegenegenheid, zal mij steeds in aangename herinnering blijven.

Ook U mijnen dank, Hooggeleerde TALMA, voor de welwillendheid waarmede Gij mij toestondt mijne proeven in Uwe kliniek voort te zetten.

Ten slotte een woord van groote erkentelijkheid aan allen, die mij bij het bewerken van mijn proefschrift zoo gaarne hunnen dienst verleenden.

INHOUD.

HOOFDSTUK I. Ademsnelheid	1
§ 1. Ademsnelheid, met den Aërodromograaf bepaald	1
§ 2. Waarnemingen met den Aërodromograaf	19
§ 3. Ademsnelheid, met den Aërodromometer bepaald	23
§ 4. Registrering van de ademsnelheid met den Aërodromometer	28
§ 5. Waarnemingen met den Aërodromometer	31
HOOFDSTUK II. Ademgrootte	38
HOOFDSTUK III. Ademarbeid	41
HOOFDSTUK IV. De ademsnelheid bij Asthma bronchiale	52
CONCLUSIES	58
STELLINGEN.	

HOOFDSTUK I.

Ademsnelheid.

§ 1. Ademsnelheid, met aërodromograaf en aërodromometer bepaald.

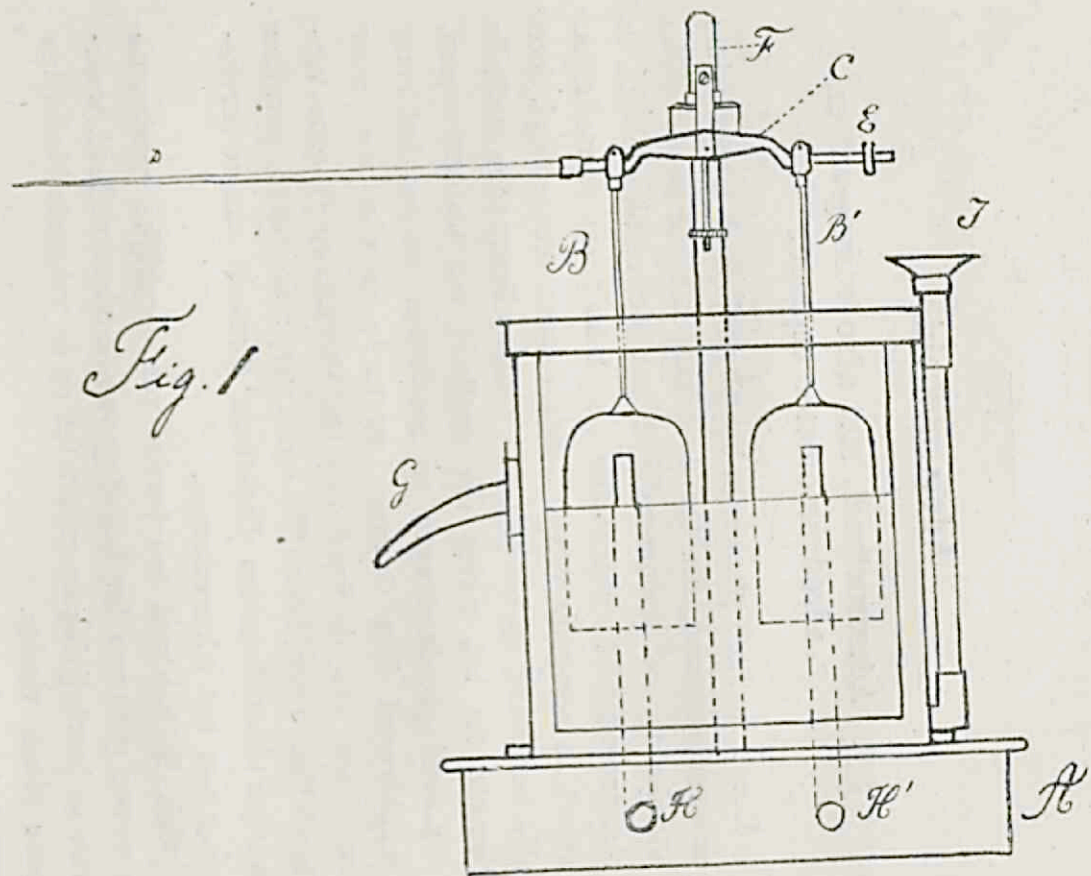
Reeds in 1903 werden in het physiologisch laboratorium proeven genomen, die ten doel hadden bij de menschelijke ademhaling de stroomsnelheid van de respiratielucht te registreeren. Dit geschiedde met behulp van toestelletjes, sedert in eenigzins verschillende vormen vervaardigd, doch alle berustend op het principe, waarop PITOT zijne methode bouwde tot het meten der snelheid van waterstroomen.

Enkele proefnemingen en resultaten werden het eerst gepubliceerd door GEVERS LEUVEN ¹⁾ en niet veel later verscheen van de hand van Dr. OUWEHAND ²⁾ eene verhandeling over hetzelfde onderwerp; in beide gevallen werden de uitkomsten dienstbaar gemaakt aan de berekening van het ademvolumen.

Ook ik heb met een toestel van dergelijke constructie proeven genomen ter bepaling van de ademsnelheid, waarvan de beschrijving en resultaten op de volgende bladzijden eene plaats vinden.

¹⁾ GEVERS LEUVEN, Bijdrage tot de aërodynamica der luchtwegen. Diss. Utrecht 1903.

²⁾ Dr. C. D. OUWEHAND, Ned. Tijdschrift voor Geneesk. 1904. Dl. I, blz. 956.



De aërodromograaf.

Onder „aërodromograaf” is te verstaan een toestelletje, geconstrueerd als in Fig. 1 is weergegeven. Op een koperen voetstuk A zijn 4 glazen plaatjes loodrecht opgericht van welke de voorste en achterste eene afmeting hebben van 70×80 mM. en de beide zijdelingsche van 41×80 mM. Deze plaatjes zijn door koperen ribben waterdicht aan elkaar en evenzoo op het voetstuk bevestigd. We hebben alzoo een glazen reservoir met een rechthoek tot grondvlak; van boven wordt dit reservoir afgesloten door een afneembaar koperen plaatje, waarin twee openingen, bestemd voor het doorlaten van 2 stiftjes (B en B'), die gemakkelijk draaibaar zijn bevestigd aan een juk C, dat op zijn beurt weer draaibaar is opgehangen aan een statieffe F, hetwelk achter den toestel op het koperen voetstuk steunt en daarmee vast verbonden is. Het juk draagt aan de eene zijde een aluminium schrijfnaald D en aan de andere op een schroefdraad een koperen moertje E, hetgeen verstelbaar is, waardoor het juk in evenwicht gebracht kan worden. De stiftjes dragen ieder een gelatine klokje, 40 mM. lang met een inwendigen diameter van 23 mM, gemaakt van capsules, zooals die in de veeartsenijkunde gebruikt worden. Van voren treden in het koperen voetstuk, 30 mM. van elkaar verwijderd, 2 buisjes H van hetzelfde metaal met een inwendigen diameter van 4 mM., die midden in het voetstuk rechthoekig naar boven zijn omgebogen en 46 mM. in het reservoir uitsteken, midden onder de klokjes, waar de diameter der buisjes 2 mM. is. Het reservoir wordt door een trechttertje I met ligroïne gevuld, zoodanig dat de klokjes altijd evenver in de vloeistof hangen, dit wordt

gemakkelijk verkregen door een overloopje G, waardoor telkens als de ligroïne de bepaalde hoogte bereikt heeft eene eventueele overmaat wegloopt.

Het eind van de buisjes H buiten het toestelletje wordt door gummislangetjes verbonden aan de PIROR'sche buisjes, die uitmonden in eene adembuis.

Ik gebruikte eene doorstroomingsbuis met een areaal van 2.35 cm^2 . en eene lengte van 30 cM. Op 9 cM. afstand van ieder eind was een PIROR'sch buisje aangebracht, waarvan de binnenopening zich in het midden van het lumen van de adembuis bevond en naar het dichtstbijzijnde einde er van was gericht. De PIROR'sche buisjes hadden een diameter van 6 mM. en stonden 9 mM. van elkaar. Wordt nu door buis B een luchtstroom gevoerd in eene bepaalde richting, dan zal het klokje, dat hangt aan den kant vanwaar de stroom komt, omhoog gedreven worden, terwijl het andere naar beneden wordt gezogen; het effect is, dat de wijzer een uitslag naar boven of beneden maakt, die des te grooter zal zijn naarmate de stroomsnelheid grooter is. Is het toestelletje empirisch geijkt, zoo kunnen we uit iederen uitslag direct de daarmede overeenstemmende stroomsnelheid vinden.

Dit toestelletje maakte ik mij ten nutte, door aan het eene eind van buis B eene ademkap te bevestigen en daarin verschillende proefpersonen te laten respireeren.

Op enkele bijzonderheden, die bij de aanwending van het toestel aan het licht kwamen en niet door GEVERS LEUVEN of OUWEHAND zijn behandeld, zij hier in het voorbijgaan de aandacht gevestigd.

Bij het beschouwen van de verkregen curven blijkt het niet mogelijk het juiste punt aan te geven, waar zich begin en einde der respiratiephasen bevinden.

Wordt b.v. op het eind eener inspiratie de stroomsnelheid

$= 0$, dan zal de aërodromograaf niet direct op 0 instellen: het toestelletje heeft een retard; doch niet alleen dit, maar voordat de tijd, benoodigd om den wijzer op de nullijn te doen komen, verstreken is, kan de exspiratie beginnen en dat dit werkelijk gebeurt is uit de gemaakte curven duidelijk te zien; de curve toch passeert de nullijn zonder er ook, zij het met glooienden overgang, een oogenblik op te blijven staan, hetgeen bij correcte werking van het instrument en afwezigheid van retard zou moeten gebeuren. Het kan dus niet anders of de exspiratie is begonnen, nog voordat de kromme de nullijn bereikt heeft of wel op het oogenblik, dat ze op de nullijn komt. Mogelijk zou het nu zijn, dat in al mijne gevallen dit laatste het geval is, doch zonder eenig bewijs mag die ideaaltoestand niet worden aangenomen.

Opmerking verdient ook, dat bij zeer geringe uitslagen het toestelletje met betrekking tot zijn nulpunt niet volkomen constant is.

De oorzaak hiervan is, afgezien van den stroomafwaarts afnemenden wanddruk, door de stroomende lucht uitgeoefend, klaarblijkelijk gelegen in de weinige stabiliteit van het juk; door deze te verhoogen (door onder het ophangpunt het juk met een gewichtje te belasten) zouden we echter aan gevoeligheid verliezen. Ook de weerstand, die de schrijfnaald tegen den trommel ondervindt, is een niet weg te cijferen factor. Bij de uitslagen, die ik bij den mensch vond, kwam een inconstante ruststand evenwel niet voor; de uitslagen zijn hier veel grooter en de naald beweegt zich niet hoofdzakelijk in de streek van de nullijn.

In welke mate deze stoornissen invloed uitoefenen op de volkomenheid, waarmee de aërodromograaf de beweging van een doorgevoerden luchtstroom juist weergeeft, kan worden nagegaan door de volgende contrôle.

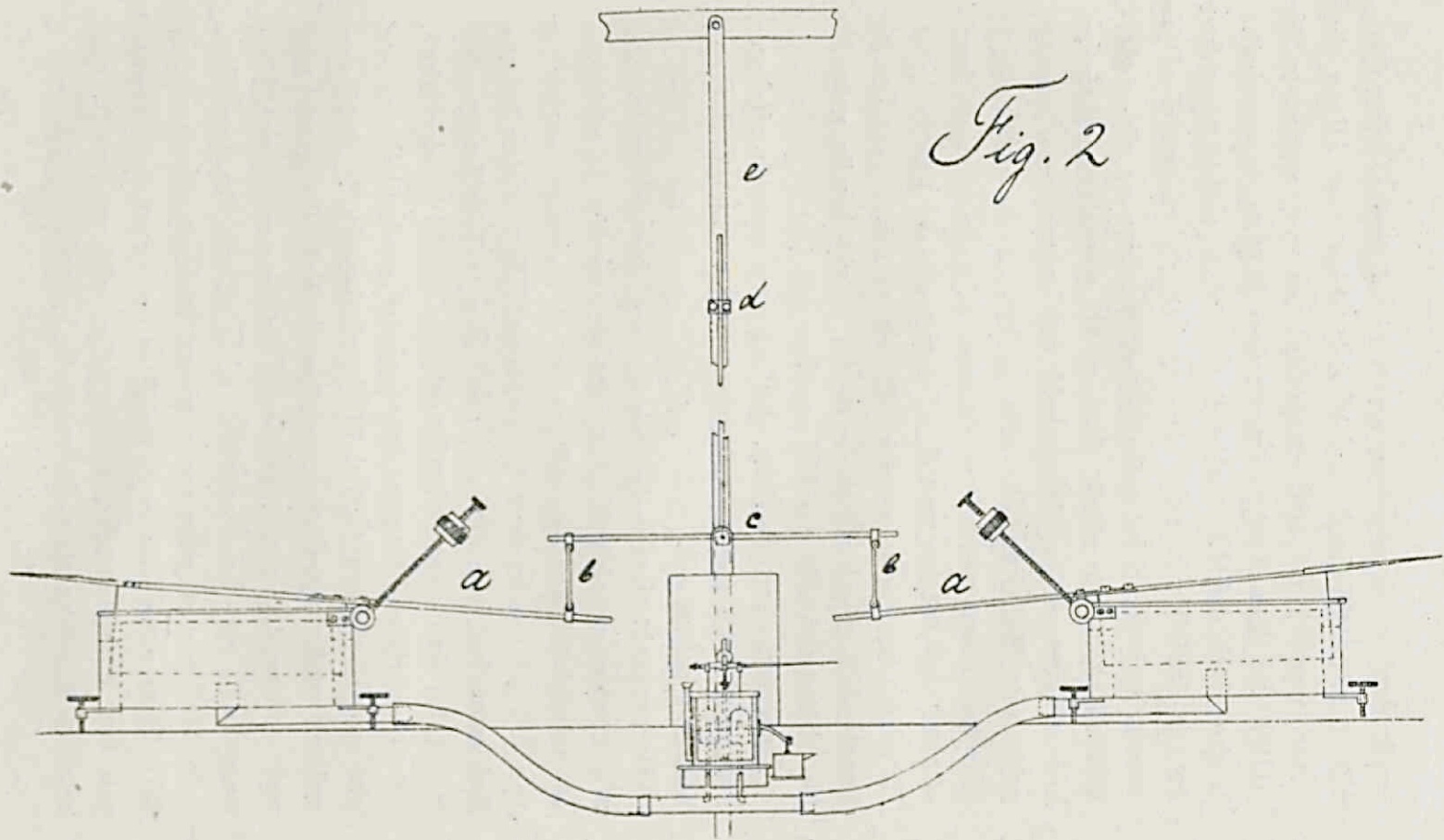


Fig. 2

De adembuis werd aan iederen kant verbonden met een GAD'schen ademvolumschrijver (Fig. 2), waarvan de 2 beweegbare bakken door een eind dunne koperen buis *a* verbonden waren aan een \perp -vormige koperen stang *c* door middel van verbindingsstukken *b*. Deze verbindingsstukken waren over *c* en *a* verschuifbaar en draaibaar er mee verbonden. Stang *c* werd bij *d* gevat tusschen twee rolletjes, die draaibaar op eene platte ijzeren staaf bevestigd waren. Die staaf *e* was als slinger opgehangen, had eene lengte van ruim $2\frac{1}{2}$ M. en droeg aan het ondereind een zwaar gewicht.

Door nu den slinger in beweging te brengen werden de draaibare bakken van de ademvolumschrijvers op en neer bewogen en wel zoo dat de een naar omlaag ging, terwijl de andere steeg.

Zoo de aërodromograaf een toestel is, werd geredeneerd, dat de beweging van de lucht, die er doorstroomt, juist weergeeft, dan moet hij in dit geval eene gemakkelijk berekenbare beweging reproduceeren, aangezien de snelheid der lucht hier varieert als de opeenvolgende cosinussen van een boog van 360° . De kromming evenwel van de beweging van de schrijfstift heeft eene vervorming der curven tengevolge. Men kan deze fout vermijden door het aanbrengen van de bekende correctie ¹⁾, maar ook dan werd nog geen ideale kromme verkregen, zooals bleek uit de eenigermate voorhanden asymmetrie. Deze laatste kan eerst verbeterd worden door crescente en decrescënte te middelen, waardoor dan eerstgenoemde correctie weer grootendeels overbodig wordt.

Tot deze laatste methode nu nam ik mijn toevlucht. De gevonden en aldus gecorrigeerde curve moet zoo zijn, dat:

¹⁾ LANGENDORFF, *Physiol. Graphik.* p. 111.

- 1°. de loodlijn op het midden van de basis door den top gaat;
- 2°. bij verdeling van de basis in 18 gelijke deelen de hoogten van de overeenkomstige ordinaten evenredig zijn aan het kwadraat der cosinus van de er mede overeenkomende bogen.

In het gunstigste geval verkreeg ik dan de volgende uitkomsten:

√ ordinaten.	Cos. overeenk. hoog
(met een constante vermenigvuldigd).	
4.64	4.64
4.58	4.59
4.41	4.41
4.22	4.13
3.92	3.76
3.57	3.29
3.12	2.74
2.67	2.09
2.22	1.44
1.49	0.74

De overeenstemming tusschen de cijfers der beide kolommen is wat de hoogere waarden betreft vrij bevredigend, wat de kleinere aangaat onvoldoende.

Opvallend was het verder, dat in de curve in de buurt van de nullijn steeds een plateautje viel waar te nemen; nu rees de vraag of dit door den toestel zelf of door andere oorzaak werd in het leven geroepen.

Om dit te onderzoeken werd een dergelijke aërodromograaf door eene slang verbonden aan het nauwe zijbuisje, dat midden in een der ademvolumschrijvers uitmondt en nu bleek, dat op het moment, waarop het plateautje in de curve kwam, compressie van lucht in den trommel plaats had. Voordat de lucht den ademvolummeter verlaten

kan wordt ze iets gecomprimeerd en wijkt de curve van den aërodromograaf af.

Hieruit is de conclusie te trekken, dat de lucht zelf in proeven als deze een beletsel blijft voor de juiste overbrenging van hare beweging en ons toestel voor het verkrijgen van een volmaakt correct beeld der luchtstrooming onbruikbaar is.

Al is de aard van de geschreven kromme dus niet volmaakt overeenstemmend met de ware kromme der luchtsnelheid, zoo blijft het apparaatje niettemin bruikbaar voor het meten van de *gemiddelde maximale* stroomsnelheid van de ademplucht en het onderkennen van de verschillende respiratie-types. ¹⁾

Ijking van den Aërodromograaf.

Voor de ijking heb ik mij bediend van verschillende methodes, deels omdat in den beginne één methode niet tegelijk geschikt scheen en voor kleine en voor groote stroomsnelheden, deels om een goede controle te hebben.

In de eerste plaats was het de gasmeter, waartoe ik mijn toevlucht nam. Op het instrument, dat mij ten dienste stond, was aangegeven dat het bij iedere omwenteling 7.14 L. lucht verplaatste. Om deze opgave te controleren verbond ik den gasmeter met den pneumatischen toestel van Waldenburg, waarvan de klok voorzien was van een contactplaatje, dat bij de indompeling 2 andere op bepaalden afstand van elkaar geplaatste contactplaatjes beurtelings raakte. De oogenblikken van contact benevens

¹⁾ H. ZWAARDEMAKER und C. D. OUWEHAND, Die Geschwindigkeit des Athemstromes und das Athemvolum des Menschen. ENGELMANN's Archiv f. Physiol. u. Anat. 1904. Suppl. p. 241.

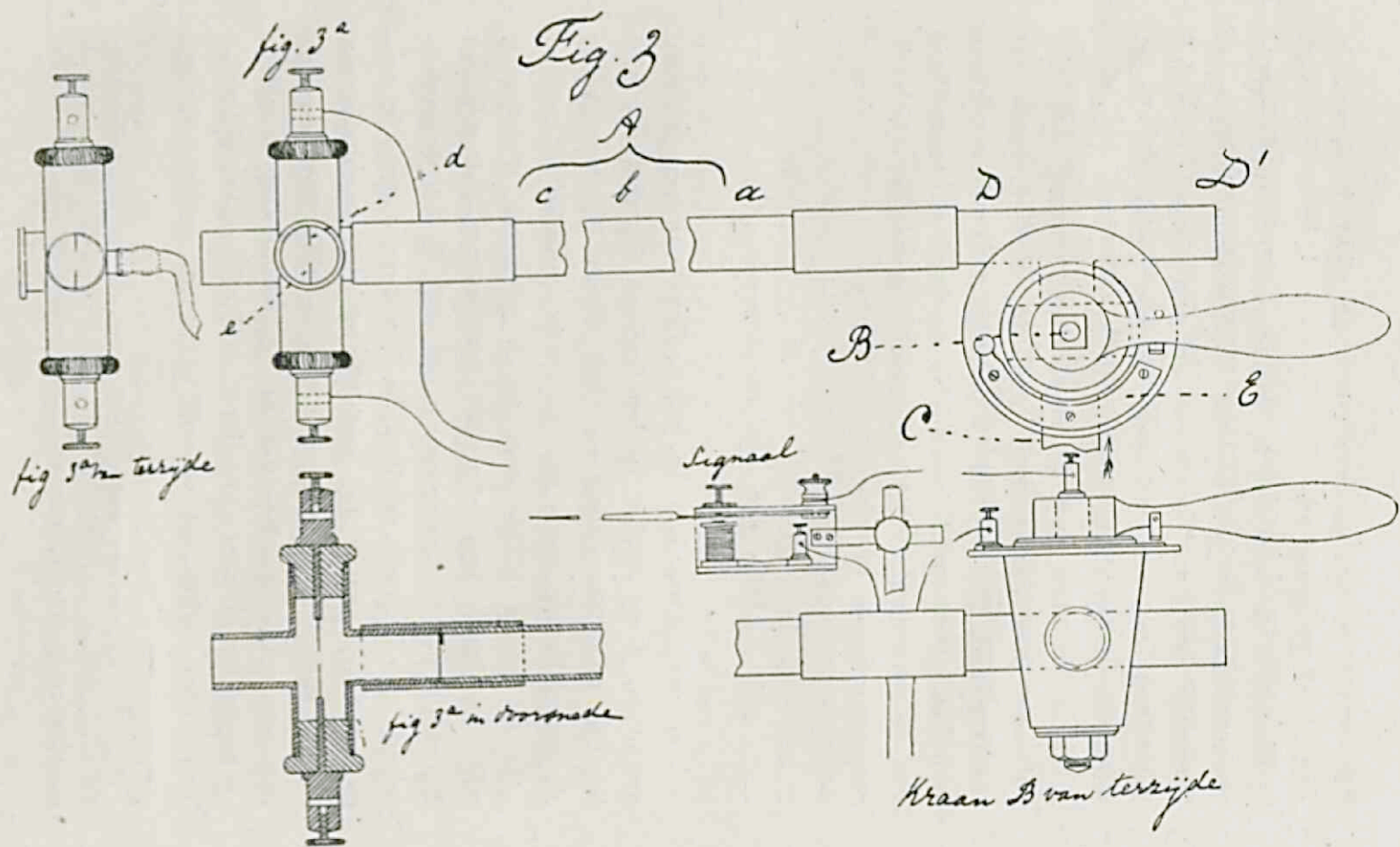


fig 3^a in terzijde

fig 3^b

Fig. 3

Signaal

fig 3^c in doorsnede

Kraan B van terzijde

de tijd werden geregistreerd en in verband met het areaal van de klok het verplaatste luchtvolume berekend en vergeleken met het getal, door den gasmeter aangegeven. De waarden bleken overeen te stemmen, voorzover het aantal omwentelingen van den gasmeter niet grooter genomen werd, dan waarop hij berekend was, d. w. z. niet grooter dan 100 omwentelingen per uur. Hieruit volgde, dat de gasmeter mij alleen van dienst kon zijn waar het gold de ijking voor geringe stroomsnelheid.

Daar voor vrij groote snelheden de toestel van WALDENBURG niet regelmatig werkte, tengevolge van de schommelingen in de watermassa, was het gewenscht naar eene andere methode van ijking om te zien. Al bleek ook later, dat de aërodromograaf met den WALDENBURG'schen toestel en behulp van een Elsterschen gasregulateur te ijken was, toch vond ik bovendien eene welkome contrôle hierop in eene methode, die ik korthedshalve als „ontploffingsmethode” wil aanduiden en welke op het volgende neerkomt:

De opstelling bestaat uit drie koperen buizen *a*, *b* en *c*, Fig. 3, ieder 1 M. lang, met een areaal van 0.95 cM² en over hun geheele lengte evenwijd, welke door middel van verbindingsstukken goed sluitend aaneengevoegd zijn. Aan het eene eind van buis A is een verlengstuk gevoegd, dat 3 openingen bezit, waarvan de eene (D) in voortdurende communicatie staat met buis A, terwijl het lumen van een andere (C) willekeurig door middel van eene kraan (B) met dat van buis A kan in verbinding gebracht worden en er ook van afgesloten. De 3^e opening D' staat in verbinding met de soufflerie, de opening C met de lichtgas-leiding. De afstand van de kraanopening tot het begin van buis A is 4 cM. Bovendien is kraan B met de pool eener electriche batterij verbonden, terwijl de andere pool van deze verbonden is met een contact-

plaat, aangebracht op een ebonieten schijf (E), zoodanig, dat bij opening van de kraan de stroom gesloten wordt; dit moment kan op den beroeten trommel worden geregistreerd.

Met het andere eind van buis A is ook weer door een verbindingsstuk eene inrichting verbonden zooals fig. 3a te zien geeft. Deze bestaat uit een verticaal op buis A geplaatst stukje koperen buis van dezelfde afmeting, zoodanig dat de luchtstroom uit buis A er door een tegenopening weer uitgaat. Van boven en onder is het buisje afgesloten door ebonieten stoppen, welke doorboord zijn tot het doorlaten van de twee spitsen *d* en *e*, door koperdraden aan de polen van een RHÜMKORFF-klos; deze spitsen zijn zoo geplaatst, dat, wanneer eene vonk overspringt, deze zich midden voor het lumen van buis A bevindt. Aan de voorzijde van het verticale buisje is eene opening, door glas afgesloten, ter controleering van de vonk, terwijl aan de achterzijde eene opening zich bevindt, door eene slang in verbinding gesteld met een MAREY'schen tambour. De afstand van de vonk tot buis A is 3 cM. De tegenopening is door een voldoende lange wijdere buis met het te ijken toestel verbonden. De geheele afstand van kraanopening tot vonk bedraagt dus 307 cM.

Het principe van deze methode komt nu neer op het direct bepalen van de snelheid van een luchtstroom, die door buis A en de adembuis van de aërodromograaf gaat.

Uit C wordt door kort openen van kraan B lichtgas toegelaten tot de lucht, die uit de soufflerie door buis D binnenkomt en dit moment wordt geregistreerd.

Bij fig. 3a. aangekomen ontploft het lichtgas door de daar overspringende elektrische vonken en de tambour, met dit gedeelte der buis in verbinding, registreert het moment van de ontploffing. Tevens wordt de tijd geregistreerd.

Zoodoende vinden we dus direct de snelheid van den luchtstroom in buis A. Aangezien nu de snelheden in buis A en in de adembuis omgekeerd evenredig zijn met de buis-arealen, weten we de stroomsnelheid, die met den daarbij gevonden uitslag van den aërodromograaf correspondeert.

Hierbij zouden we evenwel de volgende fouten begaan:

- 1°. zal door de diffusie van het lichtgas in de richting naar fig. 3a de snelheid te groot gevonden worden.
- 2°. zal de snelheid te klein worden gevonden, daar er eenigen tijd verloopt tusschen het oogenblik, waarop het gasmengsel met de vonk in aanraking komt en dat, waarop het ontploft.

Door nu het stuk fig. 3a eerst aan het eind van buis A te plaatsen en bij een volgende proef in te schakelen tusschen *b* en *c*, vinden we door de gevonden tijden van elkaar af te trekken den tijd, waarin het deel *c* van 1 M. doorstroomd is; hierbij is de 2° fout geëlimineerd en de 1° tot een minimum teruggebracht, vooral wanneer men in aanmerking neemt, dat de overdruk van het lichtgas en de hoeveelheid zoo gering mogelijk genomen wordt. Om de druk van het lichtgas in mijn macht te hebben, voerde ik het toe uit den toestel van WALDENBURG.

Ook door de ontbrandingstijd in rekening te brengen kunnen we de gezochte grootheden berekenen uit onderstaande formule.

Stellen we den tijd, dien de luchtstroom noodig heeft om de buis te doorloopen = *t* sec., de buislengte *l* cM., de lineaire snelheid *v* cM. per sec. en de ontbrandingstijd *x* sec., dan is:

$$t = x + \frac{l}{v} \dots \dots \dots (a).$$

Van de grootheden in deze vergelijking worden *t* en *l*

direct gemeten; de waarde der twee andere kan worden gevonden, wanneer we er nog eene dergelijke vergelijking bij hebben, die gemakkelijk te verkrijgen is door de proef te herhalen bij eene andere buislengte, b.v. l_1 .

$$\text{We krijgen dan } t_1 = x + \frac{l_1}{v_1} \dots \dots \dots (b),$$

waarin weer t_1 en l_1 bekend zijn.

Kunnen we nu v_1 uitdrukken in v dan hebben we in (a) en (b) twee vergelijkingen met twee onbekenden. Dit deed ik op de volgende wijze:

Ik bepaalde den doorstromingstijd bij verschillende buislengten, terwijl de belasting van den soufflerie dezelfde bleef. Door de luchtbrug van ZWAARDEMAKER tusschen buis en soufflerie te nemen kon ik de verhouding der weerstanden van de buizen vinden; en daar nu de snelheden zich in deze gevallen moeten verhouden omgekeerd als het kwadraat der weerstanden, was ik in staat de verschillende v 's in elkaar uittedrukken. In zulk een geval bleek $x = 0,06$ sec.

Zoodoende kon ik volgens de ontploffingsmethode de stroomsnelheid vinden, zonder de ontbrandingstijd te verwaarloozen. Geheel bevredigd werd ik echter daardoor niet.

Een andere manier is de ontbrandingstijd direct te bepalen; dit deed ik door eene buis van 107 cM. voortdurend door het gasmengsel te laten doorstromen en af en toe één vonk te laten overspringen. Hiertoe was de elektrische keten aldus: van Rhümkorff naar de eene pool aan 't verticale buisje fig. 3a aan 't eind van de dunne buis; van de andere pool van dit buisje naar een puntige stift, die vlak bij den beroeten trommel stond, zonder dien aan te raken; van het statief van den trommel naar den Rhümkorff terug, die met een accumulator verbonden was. De vonk registreerde nu zich zelf op den trommel en een MAREY'sche tambour gaf

het tijdstip van de ontploffing aan. Hierbij bleek de ontbrandingstijd 0.01 sec. te bedragen.

Daarna bepaalde ik t bij een buis van 207 cM. en willekeurige belasting van den soufflerie en vond $t = 0.29$ terwijl het windvaantje (zie 2e deel van dit hoofdstuk) een zekeren uitslag gaf; toen nam ik een buislengte van 107 cM. en belastte de soufflerie zóó, dat het windvaantje denzelfden uitslag gaf en vond $t = 0.16$. Experimenteel waren nu de v 's gelijk gemaakt. Was alles in orde dan moest ook uit de formules deze gelijkheid blijken. Ik vond

$$0.29 = x + \frac{207}{v} \quad \text{en} \quad 0.16 = x + \frac{107}{v}$$

$x = 0.01$ (experimenteel gevonden) gesubstitueerd:

$$v = 739 \qquad v = 713$$

weliswaar komen deze uitkomsten niet volmaakt overeen, maar de vraag rijst zijn de v 's experimenteel volkomen gelijk geweest. Het windvaantje in den toenmaligen vorm bestond niet uit een aluminium schijfje, doch uit een klein hol glazen bolletje en was minder gevoelig; verder is door niets bewezen dat x in beide gevallen volmaakt gelijk is. Dit in aanmerking genomen, komen mij de verkregen uitkomsten als voldoende voor.

Bovendien controleerde ik bovenbeschreven methode door de uitkomsten te vergelijken met de cijfers, met den toestel van WALDENBURG verkregen.

Hiertoe werd de soufflerie door genoemden toestel vervangen. Aan de gasklok bracht ik een contactplaatje aan in den vorm van een buigzaam koperen roeispaantje en op een statief bevestigde ik twee zelfde spaantjes op bepaalden afstand van elkaar. Bij het dalen van de klok maakte het eerste spaantje met de twee andere beurte- lings contact, hetgeen op den trommel geregistreerd werd,

waarop tevens de tijd werd aangegeven. Daar het areaal van de klok mij bekend was, wist ik het luchtvolume, in een bepaalden tijd verplaatst; hieruit de lineaire snelheid berekenend vond ik 633 cM. p. sec. terwijl de ontploffingsmethode aangaf 627 cM. per sec., een verschil van nog niet 1 %.

Voor grootere snelheden bleken deze beide methodes mij dus van dienst te kunnen zijn.

Is de ontploffingsmethode betrouwbaar wat groote en middelmatige snelheden betreft, thans blijven nog de geringe snelheden.

Bij geringe snelheden bleef de Waldenburgsche toestel telkens staan, daar door de indompeling van de klok in het water de relatieve gewichtsvermindering zich te veel deed gevoelen.

Aan dit bezwaar kon tegemoetgekomen worden door eene inrichting, waardoor bij het dalen van de klok de belasting steeds iets vermeerderd werd. Hiertoe gebruikte ik een ijzeren staaf, die aan het eene einde aan een vast draaipunt bevestigd was en met het andere eind vrij rustte op een katrolletje, op den gashouder aangebracht, terwijl over de staaf een gewicht verschuifbaar was. Bij daling van de klok zal deze steeds meer onder den invloed komen van het aan de staaf bevestigde gewicht.

Daar nu bij hoogen stand van de klok deze door de staaf naar de tegenovergestelde zijde geduwd wordt en zoo de daling weer belemmerd, werd een spiraalveer met zijn eene eind aan den gashouder en met het andere aan de staaf bevestigd; hoe hooger nu de gashouder des te sterker de druk van de staaf, maar ook des te sterker het trekken van de veer, die dezen druk moet opheffen.

Bij juiste plaatsing van het gewicht en het kiezen van

de geschikte veer bleek mij deze inrichting aan de verwachting te beantwoorden.

Samengevat kom ik aan het slot van mijne ijkingsproeven tot het besluit dat:

- 1o. voor langzame en snelle luchtstroomen de ijking met WALDENBURG's apparaat mogelijk en betrouwbaar is.
- 2o. voor snelle stroomen de ontploffingsmethode bruikbaar is, terwijl ze voor langzame stroomen variabele uitkomsten geeft, waarschijnlijk door de dan zeer merkbare diffusie van het toegevoerde lichtgas.
- 3o. dat de gasmeter aan de eischen, die ik eraan moest stellen, niet kan voldoen.

Het zal den lezer wel niet verwonderen, dat ik het toestelletje daarom ijkte met den WALDENBURG met tusschenplaatsing van een gasregulateur, als de eenvoudigste methode.

Hier volge de verkregen ijkingstabel.

IJkingstabel van den Aërodromograaf.

Uitslag in mM.	Luchttransport in cM ³ per sec.		Lineaire snelheid in cM. per sec.		Uitslag in mM.	Luchttransport in cM ³ per sec.		Lineaire snelheid in cM. per sec.	
	exsp.	insp.	exsp.	insp.		exsp.	insp.	exsp.	insp.
1	47	99	20	42	21	468	498	199	212
2	89	148	38	63	22	477	512	203	218
3	127	183	54	78	23	489	524	208	223
4	162	212	69	90	24	501	538	213	229
5	193	237	82	101	25	510	550	217	234
6	221	261	94	111	26	522	564	222	240
7	247	282	105	120	27	533	576	227	245
8	270	303	115	129	28	545	588	232	250
9	294	322	125	137	29	557	599	237	255
10	313	341	133	145	30	569	611	242	260
11	331	360	141	153	31	578	623	246	265
12	348	374	148	159	32	588	635	350	270
13	364	390	155	166	33	597	646	254	275
14	378	404	161	172	34	609	658	259	280
15	392	418	167	178	35	618	670	263	285
16	407	430	173	183	36	630	682	268	290
17	418	444	178	189	37	639	693	272	295
18	432	458	184	195	38	649	703	276	299
19	444	472	189	201	39	660	714	281	304
20	456	484	194	206	40	670	724	285	308

§ 2. Waarnemingen met den Aërodromograaf.

Ten einde met behulp van den aërodromograaf eenige gegevens te verkrijgen met betrekking tot normale personen, zocht ik de gelegenheid er 18 te onderzoeken. Op één na waren alle studenten, in het laboratorium werkzaam.

De proefpersoon plaatste zich zoo gemakkelijk mogelijk voor den toestel, opdat niet door eenige inspanning invloed op de respiratie kon worden uitgeoefend. Als adembuis gebruikte ik, gelijk gezegd, er een met een areaal van 2.35 cM^2 (zie p. 4), waarbij tevens de openingen der Pirrot'sche buisjes in het midden van het lumen waren geplaatst. Direct aan de adembuis was, door middel van een kort stukje wijde gummislang, eene goed sluitende mondneuskap bevestigd.

Wat betreft de verschillende vormen van curven, zooals beschreven in de verhandeling van ZWAARDEMAKER en OUWEHAND ¹⁾ bevond ik, dat deze onder mijne curven ook voorkwamen en wel:

1^e vorm: 6 maal; 2^e vorm: 8 maal; 3^e vorm: 1 maal.
In 2 gevallen nam ik een overgangsvorm waar tusschen het 1^e en 2^e type.

Verder viel mij op, dat de snelheid niet altijd gelijkmatig toeneemt, doch in 't verloop van een respiratie-phase wel eens een oogenblik constant blijft of iets geringer wordt om daarna weer toe te nemen; over het algemeen bevond ik de snelheid bij inspiratie gelijkmatiger toe- en afnemend dan bij expiratie.

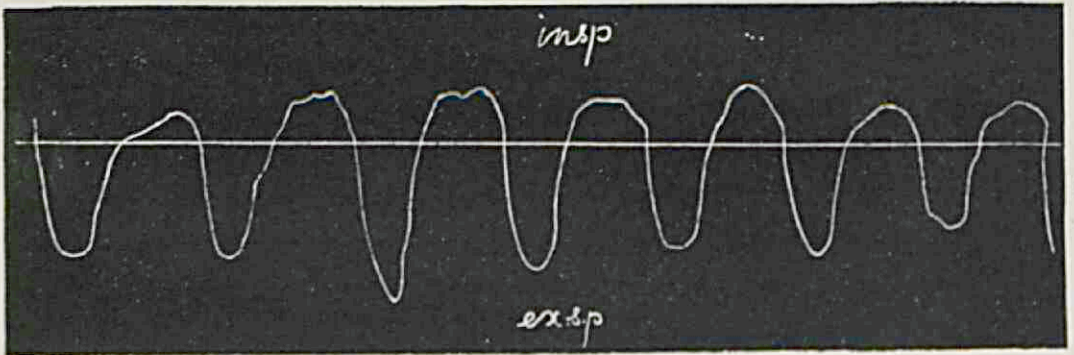
¹⁾ ENGELMANN's Archiv für Physiol. 1904. p. 250.

Een constant verschil in den duur der respiratiephasen was niet met zekerheid te constateeren. Dikwijls waren in- en exspiratie gelijk van duur of de exspiratieduur langer, zelden de exspiratietijd korter dan de inspiratie.

Bij een vijftal personen vond ik eene verhouding van gemidd. inspiratieduur tot gemidd. exspiratieduur als 1 : 1,3.

Bij vier anderen als 1 : 1,5. (Zie pag. 37).

Fig. 4.



Nieuw ademtype (maximale snelheid bij exspiratie groter dan bij inspiratie). Ademfrequentie 8 resp. per minuut.

De aërodromograaf is bijzonder geschikt voor de oplossing van dit vraagstuk, daar ze aan de ademhaling niet zulk een storenden weerstand biedt als de pneumo-, resp. stethograaf. De fout, veroorzaakt door het retard van het toestel, zal bij in- en exspiratie niet veel verschillen en op de onderlinge verhouding van in- en exspiratieduur niet van grooten invloed zijn.

Over 't algemeen was het eind van eene exspiratie glooiender dan bij eene inspiratie het geval was.

In al deze gevallen vond ik de maximale inspiratorische snelheid steeds groter dan

de maximale expiratorische snelheid. Bij één mijner proefpersonen ontmoette ik een nieuwen vorm, waarbij de maximale expiratiesnelheid steeds grooter was dan die bij inspiratie. Fig. 4. Ik heb dezen persoon dikwijls op verschillende dagen onderzocht, steeds met hetzelfde resultaat. De respiratie-frequentie was opvallend gering. Bedoelde persoon bezat een zeer ruimen thorax en was kort, maar bijzonder krachtig gebouwd.

Van ieder persoon nam ik 20 opeenvolgende respiraties uit dat deel van de curve, dat het rustigst scheen. Van iedere respiratie heb ik de hoogte gemeten en van deze uitkomsten het gemiddelde bepaald.

De volgende tabel geeft een overzicht van de gevonden getallen, terwijl achter ieder getal de extremen zijn opgegeven.

Maximale lineaire snelheid in cM. per seconde.

Proefpersonen	Bij inspiratie			Bij exspiratie		
	gem.	extremen.		gem.	extremen.	
1	308	342	en 244.5	221	252	en 155
2	194	228.5	" 159	114.5	150	" 82
3	294	355	" 234	219	237	" 183.5
4	208	252	" 165.5	164.5	206	" 109
5	200	228.5	" 159	141	150	" 109
6	278	322	" 223	202	241.5	" 167
7	236	313	" 174	201.5	277	" 104.5
8	236.5	275	" 220	178.5	193.5	" 167
9	290.5	338	" 228.5	149.5	222	" 93.5
10	260.5	292	" 223	183.5	211	" 155
11	192.5			218.5		
12	184	206	" 149	125	164	" 82
13	217	265	" 174	174	211	" 93.5
14	243	285	" 193.5	155	173	" 114.5
15	252.5	277	" 225	223.5	250	" 201
16	224	234	" 181	89	114.5	" 54
17	167.5	198	" 120	116.5	161	" 69
18	293	329	" 254.5	230.5	279	" 206

Het algemeen gemiddelde der maximale lineaire stroomsnelheid genomen, vindt men bij een areaal van $2,35 \text{ cM}^2$
voor inspiratie 240 cM. per sec.
" exspiratie 178 cM. per sec.

De waarden, door GEVERS LEUVEN gevonden, teruggebracht op een areaal van $2,35 \text{ cM}^2$. zijn:
voor inspiratie 212 cM. per sec.
" exspiratie 199 cM. per sec.

Als gemiddelde ademfrequentie vond ik 17 respiraties per minuut, met een grootste frequentie van 27.6 en een kleinste van 8.

§ 3. Ademsnelheid met den aërodromometer bepaald.

Als tweede toestel gebruikte ik ter bepaling van de ademsnelheid den aërodromometer, in 1902 door ZWAARDEMAKER ¹⁾ beschreven en later ook door GEVERS LEUVEN gebruikt. De inrichting van het apparaat komt in het kort hierop neer: in een glazen buis is een dun, rond aluminium plaatje tusschen twee fijne spiraalveertjes opgehangen; gaat nu een luchtstroom door de buis, dan zal het aluminiumschijfje (windvaantje genaamd) in de richting van den stroom worden meegevoerd en wel des te verder naarmate de snelheid van den luchtstroom grooter is.

Ik gebruikte een glazen buis van 25 cM. lengte en een inwendigen diameter van 19.5 mM., het geheel is verticaal aan een statief bevestigd. Het windvaantje heeft een diameter van 14 mM.

Reeds dadelijk springt in het oog, dat dit toestelletje voordeelen aanbiedt boven den aërodromograaf.

Immers moesten we bij dezen tot de conclusie komen, dat hij niet in staat was de bewegingen van den luchtstroom correct weer te geven, in den aërodromometer hebben we een toestelletje, dat aan dezen eisch beter zal kunnen voldoen; hier toch wordt de aard van den stroom zichtbaar gemaakt door een licht voorwerpje, dat zich in den stroom zelve bevindt.

¹⁾ ZWAARDEMAKER „Die Luftbrücke“ Archiv f. Anat. u. Physiol. 1902.

Een tweede voordeel is nog, dat het retard tot een minimum beperkt is, daar toch het windvaantje voortdurend onder invloed van een kracht staat, die het steeds weer in zijne evenwichtslijn tracht terug te brengen. Het gevolg hiervan is, dat op het einde van een inspiratie het vaantje direct teruggaat op zijn nulpunt, daar blijft zoolang de stroomsnelheid 0 is en bij het begin van de expiratie zijn evenwichtsstand weer verlaat. Dat dit werkelijk plaats heeft, is reeds bij beschouwing van de bewegingen van het windvaantje tijdens een proef duidelijk te zien.

Hiertegenover zou men als een nadeel kunnen aanmerken, dat door het aanbrengen van het vaantje een weerstand in den ademstroom is geplaatst. Van practisch belang zou dit bezwaar werkelijk zijn, wanneer het vaantje bijna het geheele areaal van de buis besloeg, doch juist hiervoor en ter voorkoming van al te groote gevoeligheid is de afmeting ervan zoo gekozen, dat er voldoende ruimte overblijft om de ademhaling ongestoord te doen plaats hebben. Het areaal van de overblijvende spleet is bijna 1.5 cm^2 . Van een merkbaren weerstand, die invloed uitoefent op de respiratie, is dan ook haast geen sprake, en geen wonder, want de overblijvende ruimte heeft een areaal, bijna tweemaal zoo groot als dat van de glottis. Hierover echter later nog een enkel woord.

Opmerking verdient een verschijnsel, dat zich bij het doorvoeren van den adempluchtstroom en andere niet regelmatige stroomen voordeed en wel de vrij sterk trillende beweging van het vaantje. Deze trillingen, die hoofdzakelijk in verticale, doch ook wel in horizontale richting plaats hebben, zijn bij geringe stroomsnelheden niet merkbaar, treden bij uitslagen boven 5 mM. op en worden sterker naarmate de stroom sneller is; bij het doorvoeren van een voldoende geregelde stroom echter was het mogelijk

ook groote uitslagen met voldoende nauwkeurigheid af te lezen; hieruit blijkt dus wel, dat het vaantje uiterst gevoelig is voor kleine onregelmatigheden in het stroomverloop en deze trillingen niet als een fout moeten opgevat worden.

Eene demping dezer bewegingen ware te verkrijgen door het vaantje grooter te maken, doch dan stuiten we behalve op het bovengenoemde bezwaar van stoornis in de ademhaling op de te groote gevoeligheid, althans voor den menschelijken ademstroom, dus te groote uitslagen en overspanning der spiraalveertjes.

Verder moet nog opgemerkt worden, dat de spiraalveertjes gelijk gespannen moeten zijn, hetgeen het geval is wanneer het vaantje ook bij omkeeren evenver van het midden der glazen buis staat.

Ijking van den aërodromometer.

Zooals boven gezegd moest ik mij voor de ijking van een zeer regelmatigen stroom bedienen, daar anders de uitslagen niet nauwkeurig af te lezen waren.

Daar een ELSTER'sche gasregulateur alleen niet in staat bleek den stroom zoo regelmatig te maken, dat het vaantje zich rustig bewoog, nam ik tusschen gasregulateur en aërodromometer een 2 M. lange koperen buis, zooals ik te voren bij de ijking met de ontploffingsmethode gebruikt had. Zoodoende verkreeg ik regelmatigheid van stroom en zoo goed als constante uitslagen.

Ik ijkte nu met WALDENBURG's toestel; de lucht hieruit passeerde dan eerst den regulateur, dan de nauwe koperen buis, verder een stuk gummislang van voldoende lengte en wijdte en stroomde ten slotte door den aërodromometer.

Overigens had alles evenzoo plaats als bij de ijking van den aërodromograaf. Voor iederen uitslag bepaalde

ik driemaal het overeenkomstige doorgestroomde lucht-quantum en steeds kreeg ik dezelfde uitkomsten.

De inspiratie ijkte ik door den WALDENBURG te laten zuigen. Nu echter begon bij uitslagen boven 25 mM. de klok onregelmatig, met rukken te rijzen, welk bezwaar opgeheven kon worden door de nauwe buis van 2 M. uit het systeem te verwijderen; doch daar dan de toestand ten opzichte van de kleinere waarden veranderde, besloot ik den aërodromometer niet verder te ijken dan tot 25 mM. en voor de grootere uitslagen het overeenkomstige getal der lineaire snelheid door graphische extrapolatie te zoeken.

De resultaten van deze ijking zijn vervat in de volgende tabel.

IJkingstabel van den aërodromometer.

Uitslagen in mM.	Lineaire snelh. in cM. p. sec. ¹⁾	
	bij inspiratie	bij exspiratie
1	28	20
2	46	34
3	60	45
4	72	54
5	83	63
6	93	70
7	102	78
8	110	84
9	117 ⁵	90
10	125	96
11	132	102
12	138	107

¹⁾ Om het luchttransport in cM³. per sec. te vinden, moeten deze cijfers met 2,98, of afgerond met 3, vermenigvuldigd worden.

Uitslagen in mM.	Lineaire snelh. in cM. per sec.	
	bij inspiratie	bij exspiratie
13	144	111
14	149	116
15	154	120
16	159	124
17	164	128
18	169	132
19	173	136
20	178	139
21	182	143
22	186	146
23	190	150
24	193	153
25	197	156
26	200	160
27	204	163
28	207	166
29	210	169
30	213	172
31	216	175
32	219	178
33	222	181
34	225	184
35	227	187
36	230	189
37	232	192
38	235	194
39	237	197
40	239	199

niet gemeten, doch geëxtrapoleerd

§ 4. Registrering der ademsnelheid met den Aërodromometer.

Op twee wijzen trachtte ik mijn doel te bereiken en wel in de eerste plaats ¹⁾ door de schaduw van het vaantje te laten vallen op eene lichtgevoelige plaat, die voortbewogen werd en in de tweede plaats door met behulp van een atelier-camera het beeld van het zich bewegende windvaantje op een beweegbare plaat te photographieren. Beide methoden voldeden, doch de eerste beviel mij het best

1°. daar hierbij een photographietoestel overbodig is

2°. daar zij bij iedere verlichting, zelfs des nachts bruikbaar is.

De inrichting komt op het volgende neer:

Een houten raam, 53,5 cM. lang en 15,5 cM. breed, wordt aan de voorzijde afgesloten door eene dofzwart geverfde koperen plaat, waarin zich in het midden een verticale spleet bevindt van 12 cM. lengte, die naar wensch wijder en nauwer gemaakt kan worden. Van achteren wordt het raam afgesloten door een schuif, die evenals de voorwand lichtdicht is. Het binnenwerk van het aldus gevormde chassis bestaat uit twee fijne koperen rails waarvan er een boven en een onder is aangebracht; tusschen deze rails nu is, door middel van twee wieltjes boven en twee onder, een koperen raampje verschuifbaar, dat een binnenmaat heeft van 9×24 cM. en waarin een gevoelige plaat van die afmeting bevestigd kan wor-

¹⁾ POSTMA Ned. Tijdschr. v. geneesk., 1904 dl. II pag. 1442.

den. Aan beide kanten van dit raampje is een dun touwtje vastgemaakt, dat aan iedere kant van het chassis door eene fijne opening naar buiten treedt. Deze openingen zijn met behulp van pluche tegen het indringen van licht voldoende beveiligd. Buitengaats loopen de touwtjes over een fijn katrolletje.

Een eerste eisch is, dat alle onderdeelen zoo correct mogelijk functionneeren en de wrijving tot een minimum wordt teruggebracht.

Aan beide zijden van het chassis bevindt zich een koperen huls; deze hulzen worden over twee koperen staafjes geschoven en door een schroef hieraan bevestigd; de koperen staafjes zijn op hun beurt vertikaal vastgeschroefd op een houten blok, dat door middel van een paar groote schroefklemmen aan de tafel kan worden bevestigd. Door twee veerende klemmetjes wordt nu de aërodromometer aan het chassis bevestigd en wel zoo, dat een excentrisch deel van het windvaantje zich voor de spleet bevindt en niet de spiraalveer. In het midden dwars over de spleet wordt een paardehaartje of dun metaaldraadje gespannen, op welks schaduw als nullijn die van het windvaantje wordt ingesteld.

Plaatst men nu op ruim 1 M. voor de spleet een gasgloeilamp en in het verschuifbare raampje van het chassis een matglas, dan kan men door hooger of lager plaatsen van de lamp scherp instellen op de schaduw van dat deel van het windvaantje, dat zich voor de spleet bevindt en door verschuiven van den aërodromometer deze schaduw doen samenvallen met die van het metaaldraadje.

Vervangt men het matglas door een gevoelige plaat, die men door een uurwerk voorbij de spleet laat trekken en ademt men door den aërodromometer, dan zal de beweging van het windvaantje als een schaduwlijn op de

plaat worden overgebracht. Opmerking verdient hier, dat het ter verkrijging van een helder beeld noodig is de glazen buis van den aërodromometer iets te verwarmen ten einde de condensatie van waterdamp uit de respiratielucht te voorkomen.

Een tweede hinderlijke omstandigheid, die niet zoo gemakkelijk te verhelpen was, vond zijn oorzaak in de moeilijkheid om een eenparige voortbeweging van de plaat te verkrijgen. Bediende ik mij hiertoe van een kymographion, zoo vond ik over het geheele photogram evenwijdige vertikale, donkere lijntjes, een bewijs, dat de plaat niet regelmatig langs de spleet getrokken was. Dat werkelijk deze fout school in het kymographion en niet in het binnenwerk van het chassis, bleek uit het feit, dat diezelfde lijntjes optraden wanneer ik een film plakte op een kymographion, dat, in een donkere kist geplaatst, voorbij een spleet draaide. Proeven met een electromotor, een zwaar uurwerk en andere hulpmiddelen leverden geen beter resultaat, zoodat ik mij maar bleef bedienen van het kymographion, welks beweging toch ook bij het registreeren in het roet als voldoende wordt beschouwd.

De registratie door middel van het photographietoestel had plaats als volgt: De matglazen achterwand van de camera werd vervangen door een van hout, waarin in het midden een spleet was gezaagd van 13 cM. lang en 1 cM. breed. Het boven beschreven chassis werd nu hiertegen bevestigd zóó, dat zijn spleet viel binnen die, welke in de camera was gezaagd; dan werd weer op een matglaasje ingesteld op een excentrisch deel van het windvaantje, de plaat voortbewogen en het zich bewegende beeld van het vaantje gefotografeerd.

Het spreekt van zelf, dat het toestel zoo gesteld was, dat de aërodromometer op ware grootte werd gezien.

Het beeld, dat ik zoo verkreeg was flauwer dan bij de vorige methode. Door het daglicht met een andere lichtbron tehulp te komen, ware het resultaat zeker te verbeteren.

§ 5. Waarnemingen met den aërodromometer.

Bij de proeven, die ik met het windvaantje nam en die onderling in geen enkel opzicht van elkaar verschilden, ging ik als volgt te werk :

Wanneer het chassis op het blok stevig aan den rand van een tafel bevestigd was, plaatste ik een gasgloeilamp zóó, dat ik een scherp beeld van het vaantje op het matglas kreeg en deed ik dit samenvallen met de schaduw van het metaaldraadje. Nuttig bleek het mij, te waken tegen te veel bijkomend licht van boven of terzijde, hetgeen niet wegneemt, dat in diffuus, matig verlichte ruimten goede resultaten verkregen werden. Nu plaatste ik tusschen aërodromometer en spleet nog een tijdsignaal.

Op den aërodromometer bevestigde ik een evenwijd stukje gummislang, hieraan een metalen kniestuk en verbond dit door een stukje slang aan eene goed sluitende mond-neuskap. Was nu de glazen buis iets verwarmd, dan werd de proefpersoon, die zoo gemakkelijk mogelijk achter den toestel plaats nam, aangemaand zoo normaal mogelijk te ademen en zijne gedachten volkomen van zijne respiratie te abstraheeren. Dan eerst werd de gevoelige plaat voorbij de spleet getrokken.

Op deze wijze onderzocht ik 18 personen, studenten en leden van het personeel van het laboratorium.

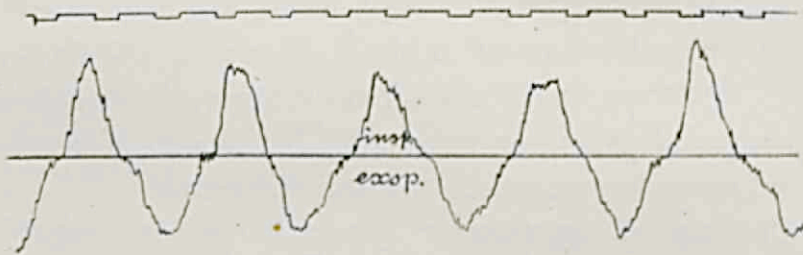
Wat betreft de typen, vond ik hier van het 1° type 6 (fig. 5), 2° type 8 (fig. 6), 4° type 2 (fig. 7), terwijl in

één geval een overgangsvorm tusschen 1^e en 2^e type voor den dag kwam.

Dezelfde persoon bij wien ik bij onderzoek met den aërodromograaf een nieuw type vond, waarbij n.l. de stroomsnelheid bij exspiratie grooter was dan bij inspiratie, leverde mij ook nu met den aërodromometer eene kromme van denzelfden vorm (fig. 8).

Omtrent het verloop van de krommen in het algemeen valt ook hier te vermelden, wat ik te voren schreef bij den aërodromograaf; ook nu vond ik geen constant verschil in duur der respiratiephasen, in het meerendeel der gevallen was de exspiratie langer van duur dan de inspiratie.

Fig. 5.



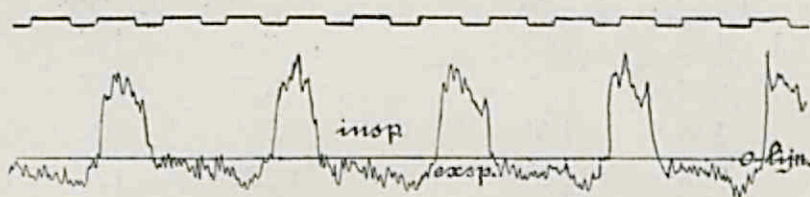
1^e type. Het beloop van de curve is voor de inspiratie ongeveer hetzelfde als voor de exspiratie. Beide phasen zijn in tijdsduur en hoogte nagenoeg gelijk.

Fig. 6.



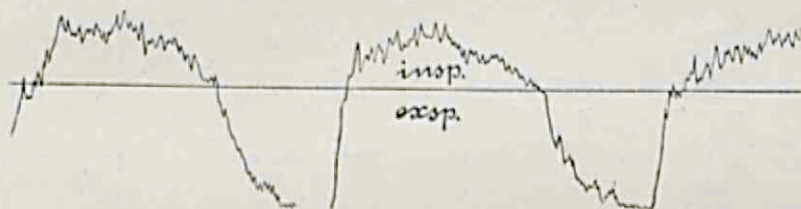
2^e type. De expiratorische uitslag is geringer dan de inspiratorische. De tijdsduur der exspiratie is merkbaar langer dan die der inspiratie.

Fig. 7.



4^e type. Het expiratorische deel der curve is zeer vlak en breed. De expiratische uitslag is zeer gering, de duur van de expiratie aanzienlijk grooter dan die van de inspiratie.

Fig. 8.



Nieuw ademtype. De inspiratorische uitslag is veel geringer dan de expiratorische; de duur der inspiratie is grooter dan die der expiratie.

N.B. Bovenstaande curven zijn weergegeven op $\frac{1}{6}$ der ware grootte. De tijd is aangegeven in seconden.

Ook was weer de toe- en afname der snelheid niet gelijkmatig. Deze ongelijkmatigheid trad minder duidelijk op bij inspiratie dan bij expiratie.

Van mijne 18 proefpersonen onderzocht ik zoovele respiraties als de grootte van de plaat veroorloofde, waaruit reeds volgt, dat dit getal vergeleken bij hetgeen met den aërodromograaf werd verkregen, slechts gering kon zijn.

Uit de gevonden maximale snelheden nam ik het gemiddelde voor ieder persoon en daarna hieruit weer het algemeen gemiddelde.

De verkregen uitkomsten volgen hier:

Lin. snelh. in cM. per sec.		Lin. snelh. in cM. per sec.	
bij insp.	bij exp.	bij insp.	bij exp.
I. 192	146	V. 240	163
202	120	223	136
190	136	244	128
223	118	222	128
207	132	247	169
gem. 203	130	gem. 235	145
II. 207	150	VI. 195	90
200	150	213	96
192	146	204	93
182	156	213	107
222	153	gem. 206	97
gem. 201	151	VII. 259	171
III. 249	165	258	183
234	146	257	161
240	160	258	163
260	143	258	174
241	185	gem. 258	170
gem. 245	160	VIII. 157	109
IV. 125	67	194	118
125	96	186	102
138	81	176	116
128	96	167	114
152	87	190	122
160	102	gem. 178	114
176	102	IX. 144	81
174	109	223	177
176	120	237	181
176	122	231	109
190	120	gem. 209	137
gem. 156	100		

Lin. snelh. in cM. per sec.		Lin. snelh. in cM. per sec.	
bij insp.	bij exsp.	bij insp.	bij exsp.
X. 232	122	XIV. 260	141
231	118	250	152
225	126	239	150
227	148	245	161
237	136	257	187
233	139	gem. 250	158
gem. 231	132	XV. 216	160
XI. 197	126	233	186
200	138	248	179
184	114	238	172
209	93	gem. 187	174
226	104	XVI. 235	150
225	109	239	146
227	107	220	138
gem. 210	113	237	153
XII. 188	120	233	153
253	162	242	139
251	154	236	153
250	139	235	160
246	169	gem. 235	149
gem. 238	159	XVII. 176	184
XIII. 256	134	XVIII. 234	146
254	165	254	124
248	143	251	126
260	153	247	156
gem. 204	149	gem. 247	138

Als gemiddelde maximale snelheid vindt men hieruit:

voor insp. 215 cM. per sec.

„ exsp. 142 „ „ „

Deze lineaire maximale snelheden, ter vergelijking berekenend op het areaal $2,35\text{cM}^2$ van de adembuis van den aërodromograaf, vinden we:

voor insp. 275 cM. per sec.

„ exsp. 180 „ „ „

De cijfers voor inspiratorische maximale snelheid zijn in de waarnemingen met den aërodromometer dus duidelijk grooter dan in die met den aërodromograaf, terwijl de cijfers voor expiratorische maximale snelheid voor beide werktuigen haast volmaakt evengroot zijn uitgevallen.

Behalve deze maximale snelheden was ik in staat hier de gemiddelde snelheid van den adempluchstroom te bepalen, hetgeen om vroeger genoemde redenen met den aërodromograaf niet mogelijk was.

Dit heb ik gedaan bij de vier boven afgedrukte vormen.

Hiertoe richtte ik ordinaten op, op een afstand van 1 mM. van elkaar en zocht ik de daarbij behorende snelheden op de ijkingskromme op. Van de zoo gevonden snelheden bepaalde ik weer het gemiddelde.

Van de eerste drie nam ik drie inspiraties en drie expiraties, van de vierde stond mij van ieder slechts één ten dienste.

Zoodoende verkreeg ik de volgende uitkomsten:

Voor de inspiratie een gemiddeld luchttransport

van 486cM^3 . per sec.

Voor de expiratie „ 277cM^3 . „ „

De inspiratieduur verhoudt zich tot de expiratieduur

als 1 : 1,5 de gemidd. ademfrequentie is 13 resp. p. min.

Uit het gevonden luchttransport per sec., de verhouding in duur van in- tot exspiratie en de ademfrequentie is het luchttransport per ademhaling te berekenen. Dit is geschied in het volgend hoofdstuk.

Als gemiddelde ademfrequentie bij mijne 18 proefpersonen werd gevonden: 16,7 respiraties per minuut.

HOOFDSTUK II.

Ademgrootte.

Het groote aantal onderzoekingen met betrekking tot het onderwerp van dit hoofdstuk is wel voldoende bewijs, dat de verkregen resultaten zich nog niet in de algemeene waardeering der onderzoekers kunnen verheugen.

Een overzicht van de hierover bestaande literatuur te geven is, na alles wat door OUWEHAND in zijn reeds meer genoemd artikel vermeld wordt, overbodig. Alleen zij vermeld, dat ook nog in het vorige jaar door TISSOT¹⁾ een onderzoek werd gepubliceerd. Deze gebruikte een spirometer, die steeds in volkomen evenwicht bleef verkeeren en registreerde de bewegingen hiervan op den beroeten trommel. Het algemeene en groote bezwaar, dat tegen alle tot nu toe gevolgde methoden bestond werd echter ook in dit geval niet opgeheven, immers steeds wordt de respiratie onder abnormale omstandigheden gebracht, daar de proefpersoon in eene besloten ruimte ademt.

Om aan dit bezwaar tegemoet te komen, bepaalde OUWEHAND het ademvolumen uit de lineaire snelheid van den adempluchtstroom met behulp van den aërodromograaf.

Mogen de resultaten van zijn nauwkeurig onderzoek ook

¹⁾ M. S. TISSOT. Nouvelle méthode de mesure et d'inscription du débit et des mouvements respiratoires de l'homme et des animaux. Journal de physiologie et de pathologie générale. Tome sixième No. 4, 15 Juillet 1904.

niet veel van de waarheid afwijken, een feit blijft het, dat, om vroeger genoemde reden, zijn praemisse, als zou de figuur boven de nullijn aan de inspiratie, die onder de nullijn aan de exspiratie beantwoorden, niet volmaakt juist is en hij, dit ten slotte ook erkennende, genoodzaakt was in- en exspiratie ter berekening van de ademgrootte te middelen.

Daar de aërodromometer door de snellere instelling op zijn nulpunt ons voordeelen biedt boven den aërodromograaf, heb ik gemeend in dezen toestel een betrouwbaarder hulpmiddel te hebben tot bepaling van de ademgrootte.

Door middel van de empirische ijking kon ik voor opeenvolgende tijdstippen berekenen hoeveel lucht door den respiratieweg stroomde en dat wel gedurende de afzonderlijke respiratiephases. Door het bijentellen van deze waarden immers is het ademvolumen te vinden.

De uitkomsten aldus bij drie der vermelde types verkregen zijn:

Type.	Inspiratorisch ademvolumen.	Duur der insp. in sec.	Expiratorisch ademvolumen.	Duur der exp. in sec.	Duur eener voll. ademperiode in sec.	Verhouding van inspiratorisch tot expiratorisch volumen.
I	774	1,8	770	2,8	4,6	1 : 1
I	911	2,5	771	2,5	5	1,3 : 1
I	928	2,4	768	2,8	5,2	1,2 : 1
II	760	1,6	627	1,9	3,5	1,2 : 1
II	830	1,5	622	2,2	3,7	1,3 : 1
II	795	1,7	639	2,1	3,8	1,2 ; 1
IV	701	1,5	487	3,4	4,9	1,4 : 1
IV	689	1,5	561	3,2	4,7	1,2 : 1
IV	765	1,6	476	3,3	4,9	1,6 : 1

Merkwaardig is het opvallend groot ademvolumen en de geringe respiratiefrequentie. Hierop kom ik aan het eind van het volgende hoofdstuk terug.

Wat de verhouding tusschen het in- en expiratorisch luchtvolumen betreft, blijkt, dat het inspiratorische bijkans constant grooter, gemiddeld 1.3 maal, is dan het expiratorische. Daar de lucht nagenoeg afgekoeld in den aërodromometer aankomt, zou eene temperatuurcorrectie tot 0° hieraan nagenoeg niets veranderen.

HOOFDSTUK III.

Ademarbeid.

In 1890 publiceerde DRESER een pharmacologisch onderzoek ¹⁾ waarbij hij tevens bepalingen deed omtrent den invloed van deze stof op de arbeidsprestatie van de ademhaling bij het konijn. Hiertoe bepaalde hij den waterdruk, die door de exspiratie werd overwonnen, terwijl tegelijkertijd het uitgeademde luchtvolumen werd gemeten. Uit het product van deze twee factoren vond hij dan den uitwendigen verrichten arbeid, d. w. z. den arbeid, door den adempluchtstroom verricht, van af, dat hij den tractus respiratorius verlaat.

Op eenigzins gewijzigde manier heb ik op dit gebied proeven genomen bij den mensch, zoowel met betrekking tot den inspiratorischen als tot den expiratorischen uitwendigen arbeid.

Hiertoe bediende ik mij van de volgende opstelling: De ademkap werd verbonden aan eene T-vormige glazen buis, waarvan ieder der twee andere openingen in verbinding stond met eene MÜLLER'sche flesch; elk dezer ventieflesschen stond weer in communicatie met een GAD'schen

¹⁾ H. DRESER. Archiv f. experiment. Pathol. u. Pharmakologie 1890 Bd. 26 s. 237.

ademvolumschrijver. Deze beide waren gelijk en gelijkvormig aan elkaar geconstrueerd. Het glazen buizen-systeem had een inwendigen diameter van 11 mM., welke wijde opzettelijk zoo gekozen was, opdat het areaal niet kleiner zou zijn dan dat van de glottis.

Zijn de ventielflesschen voor een deel met water gevuld en wel zoo, dat de lange buis in beide even ver onder het niveau staat en zoo ingeschakeld, dat bij inspiratie lucht uit den eenen ademvolumschrijver gezogen wordt en bij expiratie in den anderen ontwijkt, dan kunnen we door de bewegingen van deze te registreeren op een kymographion, waarop ook de tijd aangegeven wordt, een waarde voor de verrichte arbeid vinden uit de formule

$$A = \frac{v \times h \times 981}{t}$$

waarin A = arbeid, v = verplaatst luchtvolumen, h = waterhoogte in de ventielen en t = tijd is. Om den verrichten arbeid per respiratie te vinden behoeft t slechts vervangen te worden door het aantal respiraties.

Opmerking verdient hier nog, dat men er op dient te letten, dat de lange buisjes in de ventielflesschen zoover van den bodem verwijderd moeten zijn, dat de luchtbelllen ongehinderd kunnen passeeren. Wat betreft de waterhoogte in de ventielen, hierop kom ik later nog terug; alleen zij hier vermeld dat ik mijne proeven nam met een waterhoogte van 1 cM. en een van $\frac{1}{2}$ cM.

De ademvolumschrijvers ijkte ik op de gewone wijze, door bepaalde hoeveelheden water in eene flesch te laten vloeien en de hieruit ontwijkende lucht in den ademvolumschrijver op te vangen. Meten we dan den uitslag, dan weten we met welke hoeveelheid lucht deze overeenkomt.

Hierbij vond ik de volgende getallen:

cM ³ lucht.	Uitslag in mM.	cM ³ lucht.	Uitslag in mM.
30	1	630	35
60	2	660	37
90	3.5	690	38
120	5.5	720	40
150	7.5	750	42
180	9.5	780	43
210	11	810	45
240	13	840	47
270	15	870	48
300	16.5	900	50
330	18	930	51.5
360	20	960	53.5
390	22	990	55
420	23	1020	57
450	25	1050	59
480	27	1080	60
510	28	1120	62
540	30	1140	63.5
570	32	1170	65
600	33	1200	67

De punten, met deze getallen overeenkomend, uitgezet op millimeterpapier vormen eene rechte lijn; we mogen dus het gemiddelde der onderlinge verschillen dezer getallen aannemen als constant verschil. Aldus vindt men, dat iedere $1\frac{3}{4}$ mM. uitslag overeenkomt met eene luchtverplaatsing van 30 cM³.

Voor beide ademvolumschrijvers vond ik bijna hetzelfde.

Was nu alles naar bovenstaande voorschriften in orde, de eene ademvolumschrijver op zijn hoogste, de andere op zijn laagste punt gesteld, dan werd onder dezelfde

voorzorgen als bij de vorige ademhalingsproeven een proef genomen.

Van de verkregen resultaten geven de tabellen op blz. 45 en 46 een overzicht.

Wat de gemiddelde waarden betreft, hieruit durf ik geen conclusies te trekken; immers wil een gemiddelde wiskunstige beteekenis hebben, dan moeten de gegevens, waaruit het is getrokken, aan drie voorwaarden voldoen:

- 1°. er moet evenveel kans zijn voor eene afwijking boven als onder het gemiddelde.
- 2°. een kleinere afwijking van het gemiddelde moet waarschijnlijker zijn dan eene grootere.
- 3°. de aanzienlijkste afwijkingen mogen een bepaalde grens niet overschrijden.

Dat de gevonden gegevens, met hunne buitengewoon ver uiteenliggende extremen, aan de gestelde eischen al heel weinig voldoen, is duidelijk.

Wat de gevolgde methode betreft, zoo loopt onmiddellijk in het oog, dat door het inschakelen van het waterventiel in den ademstroom de getallen voor den verrichten arbeid noodzakelijkerwijze grooter moeten zijn dan normaal; toch werd in werkelijkheid noch door mij, noch door een mijner proefpersonen van eene waterhoogte van $\frac{1}{2}$ c.M. eenigen hinder ondervonden. Bij 1 c.M. water was de aanwezigheid van het ventiel voor het meerendeel merkbaar, zij het dan ook niet hinderlijk. Om de juiste waarde van den *natuurlijken* uitwendigen ademarbeid te leeren kennen, zou het noodzakelijk geweest zijn iedere onnatuurlijke hinderpaal, hoe klein ook, uit den respiratieweg te weren; dan zou slechts de weerstand overblijven, die ontstaat uit de inertie, welke de lucht aan een haar verschuivende kracht biedt.

Eene poging tot opsporing van dit gegeven vindt eene

Personen.	Verplaatst luchtvolumen in cM ³ bij:		Waterhoogte in het ventiel. cM.	Duur der proef in seconden.	Aantal respiraties ge- durende de proef.	Verrichte inspiratorische arbeid in ergs:		Verrichte expiratorische arbeid in ergs:	
	insp.	exp.				per minuut	per inspiratie	per minuut	per expiratie
1.	1294	1327	1	13	3	5844988	423138	6008248	433929
	1164	1269	1	10	2	6851304	570942	7469334	622445
2.	1149	794	1	18 ¹ / ₄	5	3772885	225434	2612035	155783
	987	489	1	11	3	5281347	322749	2616595	159903
3.	1097	643	1	21 ¹ / ₃	5	3026692	215231	1774077	126157
	1266	1660	1	15	4	4967784	310487	6513840	407115
4.	1140	1140	1	9 ¹ / ₂	3	7063200	372780	7063200	372780
	1123	1094	1	14 ¹ / ₄	4	4638581	275461	4518796	268304
5.	1371	857	1	14	2	5764076	672476	3603073	420359
	763	789	1	19 ¹ / ₄	3	2332996	249501	2412496	258003
6.	1188	343	1	8 ¹ / ₄	3	8475840	388476	2447149	112161
	1180	857	1	16 ¹ / ₂	4	4209382	289395	3057153	210179
7.	905	1046	1	13 ¹ / ₂	3	3736520	295935	4560560	342042
	1066	797	1	17	5	4037104	228769	2759495	156371
8.	1154	951	1	20	5	3396222	226415	2798793	186586
	1131	1080	1	22 ¹ / ₄	6	2992164	184919	2857025	176580
9.	1294	1697	1	33	7	2308025	181345	3026831	237822
	794	720	1	9 ³ / ₄	3	4793317	259638	4346585	235440
10.	1234	1094	1	7 ³ / ₄	3	9372031	403518	8308754	357738
	1166	1180	1	7 ¹ / ₃	3	9358740	381282	9471109	385860
11.	1320	1286	1	15 ³ / ₄	3	4933029	431640	4805966	420522
	1123	1251	1	17	3	3888222	367221	4331404	409077
12.	831	1016	1	14 ² / ₃	3	3334954	271737	4077393	332232
	999	1308	1	10 ¹ / ₂	2	5600109	490009	7332274	641574
13.	1131	768	1	11 ¹ / ₃	3	5873882	369837	3988631	251136
	960	840	1	15 ¹ / ₂	4	3645523	235440	3189832	206010
Gemiddeld . . .						4980728	332449	4459640	303312

Personen.	Verplaatst luchtvolumen in cM ³ . bij:		Waterhoogte in het ventiel.	Duur der proef in seconden.	Aantal respiraties ge- durende de proef.	Verrichte inspiratorische arbeid in ergs.		Verrichte expiratorische arbeid in ergs.	
	insp.	exp.				cM.	per minuut	per inspiratie	per minuut
1.	934	1457	1/2	9 ² / ₃	2	2843547	229064	4435814	357329
	1243	1663	1/2	11 ¹ / ₄	2	3251685	304846	4350411	407851
2.	917	1461	1/2	6	2	4497890	224895	7166210	358311
	986	1277	1/2	7 ¹ / ₂	2	3869064	241817	5010952	313185
3.	896	1123	1/2	15 ³ / ₄	4	1674240	109872	2098408	137708
	969	1140	1/2	17 ¹ / ₂	4	1629583	118824	1917154	139795
4.	771	1403	1/2	9 ¹ / ₃	2	2431131	189088	4423963	344086
	900	917	1/2	8 ² / ₃	2	3056191	220725	3113924	224895
5.	840	1269	1/2	8	2	3090150	206010	4668338	311223
	571	1124	1/2	6	2	2800760	140038	5513220	275661
6.	1011	1217	1/2	6 ¹ / ₂	2	4577502	247948	5510206	298469
	900	1089	1/2	10	2	2648700	220725	3204930	267078
	1226	964	1/2	8 ¹ / ₄	2	4373491	300678	3438851	236421
Gemiddeld . . .						3134149	211887	4219414	282462
Dezelfde personen bij 1 cM. water . . .						5209752	365409	4173760	274593

voorbereiding in een onderzoek van J. R. EWALD ¹⁾.

In 1879 publiceerde deze de uitkomsten van zijn onderzoek naar den druk, waaronder de ademstroom de uitwendige neusopeningen verlaat of in deze binnenkomt. Hiertoe ademde hij door den neus en liet de respiratie lucht door een open flesch stroomen, waaraan een manometer was verbonden.

Zoo bevond hij, dat deze druk bedroeg:

$$\begin{array}{l} - 0.1 \text{ mM. Hg. voor inspiratie en} \\ + 0.13 \text{ " " " exspiratie.} \end{array}$$

Hieruit nu kan met behulp van de ademgrootte de normale uitwendige arbeid berekend worden; het gemiddelde menschelijk ademvolumen op 500 cc. gerekend, vindt men:

$$\begin{array}{l} 500 \times 0.136 \times 981 = 0,07 \text{ Mega-ergs per insp. en} \\ 500 \times 0.177 \times 981 = 0,09 \text{ " " " exsp.} \end{array}$$

De door mij gevonden cijfers stellen nu voor de waarde van EWALD's arbeid, vermeerderd met den arbeid, verricht voor het overwinnen van het ventiel.

Voor het afleiden van den totalen arbeid hebben we tot onzen dienst de gegevens van ZWAARDEMAKER en KORTEWEG ²⁾ en van SCHUTTER ³⁾. In het eerste geval vinden we de wrijvingsarbeid in het geheele stelsel boven de bronchioli uit de druk-waarden, berekend op:

$$\begin{array}{l} - 0.83 \text{ mM. Hg. voor insp. en} \\ + 0.86 \text{ " " " exsp.} \end{array}$$

¹⁾ J. R. EWALD, Pflüg. Arch. f. ges. Pysiol. 1879, Bd. 19, S. 461.

²⁾ H. ZWAARDEMAKER. In het verslag van het Genees- en Natuurkundig Congres te Rotterdam 1902.

³⁾ W. SCHUTTER. Le nez et la bouche comme organes de la respiration, Annales des maladies de l'oreille, du larynx, du nez et du pharynx 1892, pag. 349.

Deze bedraagt dan:

$$500 \times 1.129 \times 981 = 0.55 \text{ Mega-ergs per insp. en}$$

$$500 \times 1.170 \times 981 = 0.57 \quad \text{„} \quad \text{„} \quad \text{exsp.}$$

SCHUTTER bepaalde den normalen tracheaaldruk op:

$$- 1.9 \text{ mM. Hg. voor insp. en}$$

$$+ 1.1 \quad \text{„} \quad \text{„} \quad \text{„} \quad \text{exsp.}$$

waaruit als wrijvingsarbeid in de bovenste luchtwegen gevonden wordt:

$$500 \times 2.584 \times 981 = 1.27 \text{ Mega-ergs voor insp. en}$$

$$500 \times 1.496 \times 981 = 0.73 \quad \text{„} \quad \text{„} \quad \text{exsp.}$$

Aan de hand van deze gegevens geraken we nu tot de volgende onderlinge vergelijking der langs verschillende wegen verkregen uitkomsten.

I. Eene vergelijking tusschen de waarden voor volstrekt uitwendigen arbeid:

1°. EWALD's arbeid tot overwinning van den weerstand van de lucht, die moet worden weggeschoven:

$$\text{insp. } 0.07 \text{ Mega-ergs.}$$

$$\text{exsp. } 0.09 \quad \text{„}$$

2°. Uitw. arbeid bij een ventiel van $\frac{1}{2}$ cM. water:

$$\text{insp. } 0.11 \text{ Mega-ergs.}$$

$$\text{exsp. } 0.14 \quad \text{„}$$

3°. Uitw. arbeid bij een ventiel van 1 cM. water.:

$$\text{insp. } 0.18 \text{ Mega-ergs.}$$

$$\text{exsp. } 0.11 \quad \text{„}$$

II. Eene vergelijking tusschen samengesteld in- en uitw. arbeid in 2 gevallen:

$$1°. \text{ Z. en K. insp. } 0.55 \text{ Mega-ergs.}$$

$$\text{exsp. } 0.57 \quad \text{„}$$

- 2°. SCHUTTER insp. 1.27 Mega-ergs.
exsp. 0.73 "

Hiervan afgetrokken de EWALD'sche arbeid geeft den
inw. wrijvingsarbeid:

Gereduceerde waarden.

- 1°. Z. en K. insp. 0.48 Mega-ergs.
exsp. 0.48 "
- 2°. SCHUTTER insp. 1.20 Mega-ergs.
exsp. 0.64 "

III. Eene vergelijking tusschen de hoeveelheden van
den totalen luchtarbeid in 3 gevallen:

- 1°. Z. en K. insp. 0.55 Mega-ergs.
exsp. 0.57 "
- 2°. SCHUTTER insp. 1.27 Mega-ergs.
exsp. 0.73 "

3°. TEN HAVE:

a. Eigen waarden + de gereduceerde waarden
van Z. en K.

bij $\frac{1}{2}$ cM. ventiel insp. 0.59 Mega-ergs.
exsp. 0.62 "

bij 1 cM. ventiel insp. 0.66 Mega-ergs.
exsp. 0.59 "

b. Eigen waarden + de gereduceerde waarden
van SCHUTTER.

bij $\frac{1}{2}$ cM. ventiel insp. 1.31 Mega-ergs.
exsp. 0.78 "

bij 1 cM. ventiel insp. 1.38 Mega-ergs.
exsp. 0.75 "

Stellen we hiernaast de cijfers van DU BOIS—REYMOND ¹⁾ voor den totalen ademspierarbeid.

Deze onderzoeker bepaalde dien arbeid op 15000 KG. M. per 24 uur, waaruit volgt, gerekend op 17 respiraties per minuut, een arbeid van

60 Mega-ergs per ademhaling (insp. + exsp.)
een getal, waarbij de bovengevonden waarden vrijwel in het niet zinken.

Hieruit volgt dus, dat het grootste gedeelte van den ademspierarbeid in rib-, wervelkolom- en spierwrijving te loor gaat.

Ten slotte nog eene opmerking betreffende de onderlinge verhouding der tabellen van blz. 45 en 46.

Vergeleek ik de cijfers, gevonden bij dezelfde 6 personen in het geval van 1 cM. ventiel en van $\frac{1}{2}$ cM. ventiel, dan bleek:

- 1°. bij inspiratie is de verrichtte arbeid in 10 van de 11 gevallen voor 1 cM. waterhoogte in het ventiel grooter dan bij $\frac{1}{2}$ cM.;
- 2°. bij expiratie is slechts in de helft van de gevallen de arbeid bij 1 cM. waterhoogte in het ventiel grooter en in de andere helft kleiner dan bij $\frac{1}{2}$ cM. waterhoogte in het ventiel.

Mag uit het geringe aantal gevallen eene gevolgtrekking gemaakt worden, dan zou ik geneigd zijn aantenemen, dat eene geringe verhooging van weerstand in den ademweg eene vrij groote verhooging van inspiratorischen arbeid tengevolge heeft, terwijl van een constanten invloed in dezen zin bij de expiratie geen sprake is.

Door zulk eene overcompensatie vinden m. i. de

¹⁾ Ergebnisse der Physiologie 1902 2e abteilung p. 402.

grootte inspiratorische waarden, welke in het vorige hoofdstuk voor de ademgrootte gevonden zijn en die o.a. de door OUWEHAND met den aërodromograaf gevonden cijfers overtreffen, eene volledige verklaring. Immers de beide instrumenten bieden niet denzelfden weerstand aan de lucht, al is deze in geen van beide gevallen groot.

Om dit nader te onderzoeken verbond ik aërodromograaf en aërodromometer met eene luchtbrug en toen bleken zich hunne weerstanden te verhouden als $10^2 : 18^2$ of $1 : 3,24$; daar nu zelfs eene geringe weerstandsverhooging aanleiding geeft tot versterkte inspiratie, mag het ons niet verwonderen, dat door middel van den aërodromometer grooter waarden gevonden worden.

Evenzoo is met deze omstandigheid in volkomen overeenstemming, dat zoowel de gemiddelde als de maximale inspiratorische ademsnelheid, met den aërodromometer gemeten, grooter uitviel dan die, gevonden met den aërodromograaf.

HOOFDSTUK IV.

De ademsnelheid bij Asthma bronchiale.

In verband met het voorgaande is het zeker niet zonder belang, aan de hand van de hier beschreven registratiemethode pathologische ademtypen te onderzoeken; onder deze heb ik mij allereerst tot het asthma gewend, daar dit in niet geringe mate reeds vroeger de aandacht van vele onderzoekers getrokken heeft en het onderwerp is geworden van verschillende theoretische beschouwingen en hypothesen.

Wat betreft den juisten vorm van de ademkromme vinden we in de litteratuur helaas weinig vermeld; het uitvoerigst nog is deze zijde van het vraagstuk besproken door EINTHOVEN ¹⁾, die uit de gevolgen van bronchiaalkramp een eigenaardig respiratie-type construeert. MARFAN ²⁾ vermeldt slechts resultaten verkregen bij lijders aan longemphyseem met den pneumograaf van MAREY en den stethograaf van RIEGEL en zegt: „les courbes respiratoires obtenues chez les emphysémateux montrent que la ligne inspiratoire est plus verticale et plus courte, et la ligne

¹⁾ W. EINTHOVEN, Tijdschr. v. Geneesk. 1893, dl. II, p. 486.

²⁾ MARFAN in *Traité de Médecine*, tome IV, 1893, p. 460.

Zie ook: BRISSAUD id. p. 239.

F. A. HOFFMANN, *Krankheiten der Bronchien*. H. NOTHNAGEL *specielle Pathol. u. Ther.* Bd. XIII.

H. ZWAARDEMAKER, *Geneesk. Bladen* 1896, 3e reeks p. 230.

S. TALMA, *Ned. Tijdschr. v. Geneesk.*, dl. II, 1898, p. 390,

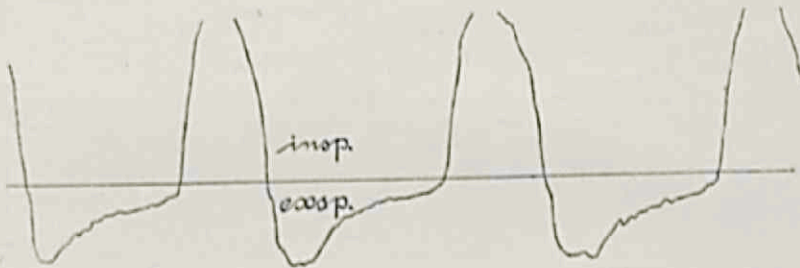
expiratoire plus oblique et plus longue qu' à l'état normal".

Curven als resultaat van experimenteel physiologisch onderzoek van asthma-lijders heb ik nergens gevonden.

Door de welwillendheid van Prof. TALMA was ik in de gelegenheid in zijne kliniek eenige asthmalijders met den aërodromometer te onderzoeken. Van de verkregen curven volgen hier een vijftal, gerangschikt naar de meerdere of mindere hevigheid der aandoening en wel zoo, dat fig. 9 een geval van hevige benauwdheid representeert, terwijl in het geval van fig. 13 patient beweerde van zijn lijden niets meer te bespeuren.

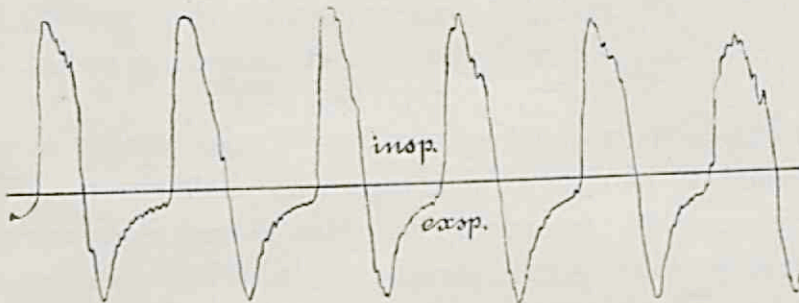
Onderstaande curven geven de wisseling der snelheid van den ademstroom aan in uitslagen boven en onder de rustlijn, die evenredig zijn aan de werkelijke snelheden. De inademing valt boven, de uitademing beneden de rustlijn (as der abscissen). De feitelijk geregistreeerde curven zijn terwille van de reproductie 6 maal verkleind.

Fig. 9.



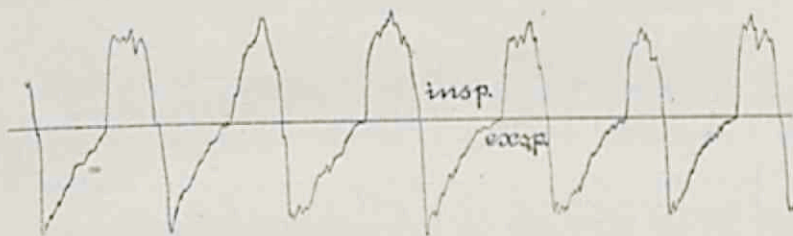
v. L. 39 j. kleermaker. Pat. is sedert het voorjaar van 1905 benauwd; dikwijls hevige aanvallen. Van neus- of keellijden weet hij niets te vermelden; wel heeft hij sedert jaren last van hoesten en opgeven. Longgrenzen staan iets lager dan normaal, zijn weinig verschuifbaar; cordofheid wat verkleind. De ademhaling gaat met sterk piepen gepaard. Ademgymnastiek helpt hem niet veel.

Fig. 10.



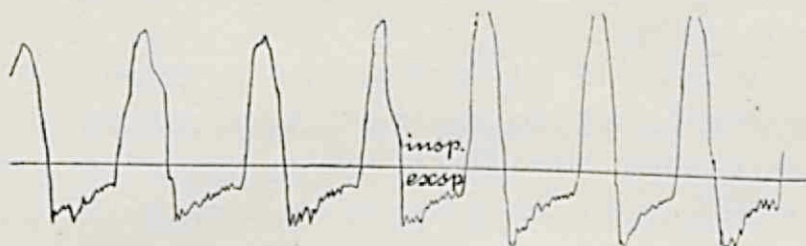
W. K. 47 jr. gasfabriekarbeider. Pat. maakte 20 jr. geleden een pleuritis door. Voor 8 jr. kreeg hij een aanval van benauwdheid. De thorax is vatvormig; de longen zijn emphysemateus. Enkele droge rhonchi zijn over beide longen te hooren. Neus- of keellijden bestaat niet. Bij ademgymnastiek vindt pat. zeer veel baat.

Fig. 11.



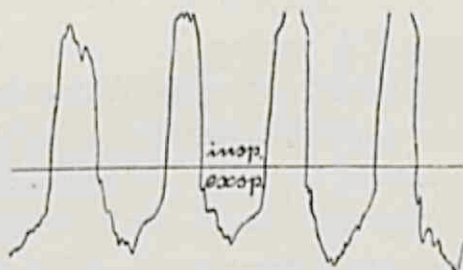
P. S. 40 jr. klerk. Pat. heeft vaak last gehad van keellijden. Voor 7 jaar zijn vele poliepjes uit zijn neus verwijderd; in Juli 1904 nog twee. Voor 12 jr. kreeg hij longontsteking. 8 jr. geleden kreeg hij het eerst een aanval van benauwdheid, optredend na eene gemoedsaandoening. Sedert het voorjaar heeft hij voortdurend asthma. Pat. heeft bronchitis over beide longen. Pulmones zijn emphysemateus. Ademgymnastiek helpt goed.

Fig. 12.



Omtrent dezen pat. heb ik geene inlichtingen kunnen verkrijgen.

Fig. 13.



G. K. 32 jr. kellner. Op zijn 18e jr. kreeg pat. een aanval van benauwdheid, die zich met verschillend lange tusschenpoozen herhaalde. Over de rechter long hier en daar rhonchi, overigens geen afwijkingen. De stembanden wijken niet voldoende uiteen. In October van dit jaar werden twee poliepen uit den neus verwijderd. Van benauwdheid bespeurt pat. niets meer, tenzij een weinig 's avonds. Een aanval is dan echter steeds door buikrespiratie te onderdrukken.

Wat hier opvalt is de, in alle gevallen van de normale afwijkende, vorm van de expiratorische snelheidskromme. Vinden we in normale gevallen altijd meerdere of mindere symmetrie wat betreft het stijgen en afnemen van de ademsnelheid, de curven bij bovengenoemde patiënten ver-

kregen, vertoonen een geheel anderen, werkelijk typischen vorm, zij het bij verschillende gevallen in eenigzins verschillende mate.

Het meest in het oog loopend is dit het geval bij de twee eerste patiënten, van wie de krommen in fig. 9 en 10 zijn afgebeeld. Duidelijk is hier te zien hoe de ademsnelheid der exspiratie zeer snel haar maximum bereikt om daarna ook weer snel, evenwel slechts gedurende een zeer kort tijdsverloop, te dalen en verder langzaam en geleidelijk tot 0 te verminderen.

Beschouwen we minder zware gevallen op fig. 11 en 12, zoo zien we, dat hier in zooverre een klein verschil met de voorgaande bestaat, als de plotselinge vermindering der snelheid na het bereiken van het maximum niet zoo scherp uitkomt. Het verdere glooiende verloop van de kromme en het geheele type zijn echter duidelijk uitkomende punten van overeenstemming.

Bij onzen laatsten, om zoo te zeggen genezen, patiënt zien we een symmetrie als die der normale curve terugkomen; eene lichte neiging van de ademsnelheid om bij hare vermindering een glooiend beloop aan te nemen is echter niet te miskennen.

Bij normale personen heb ik deze afwijking nooit, althans niet gedurende eene reeks van ademhalingen gevonden; slechts een enkele uit eene reeks van ademhalingen deed mij aan dit type denken.

In hoeverre de afwijking kenmerkend is voor asthma alleen, zal eerst door een vergelijkend onderzoek van krommen der andere aandoeningen van het ademhalingsorgaan kunnen uitgemaakt worden.

Van een tiental respiraties der asthmatici bepaalde ik op vroeger beschreven wijze de gemiddelde snelheid van

den luchtstroom en vond voor deze gevallen als lineaire snelheid:

voor insp. 197 cM. per sec. en

„ exp. 106 „ „ „

Deze getallen blijken iets grooter dan die welke bij normale personen gevonden worden.

Voorts vond ik uit bovengenoemde gegevens als verhouding tusschen in- en expiratorisch ademvolumen:

insp.	exp.
1,2 : 1	1 : 1
1,2 : 1	1,1 : 1
1,1 : 1	1,6 : 1
1,2 : 1	1 : 1,1
1,3 : 1	1,1 : 1

Deze verhoudingen wijken niet af van die, welke bij normale personen gevonden werden; in één geval alleen is het expiratorisch volumen grooter dan het inspiratorisch.

Daar ik mij in de kliniek niet van een tijdsignaal kon bedienen, is het mij niet mogelijk absolute cijfers voor het ademvolumen te geven. Wat betreft eindelijk de verhouding in duur tusschen in- en expiratie, bleek mij, dat in mijne asthma-gevallen de expiratie hoogstens tweemaal zoolang duurde als de inspiratie. Uit de krommen blijkt dus in hoofdzaak:

1° het eigenaardige bovenbeschreven beloop der expiratiecurve,

2° het feit, dat de gemiddelde ademsnelheid grooter is dan bij normale personen.

CONCLUSIES.

Aan de hand van de verkregen resultaten kom ik tot de volgende gevolgtrekkingen:

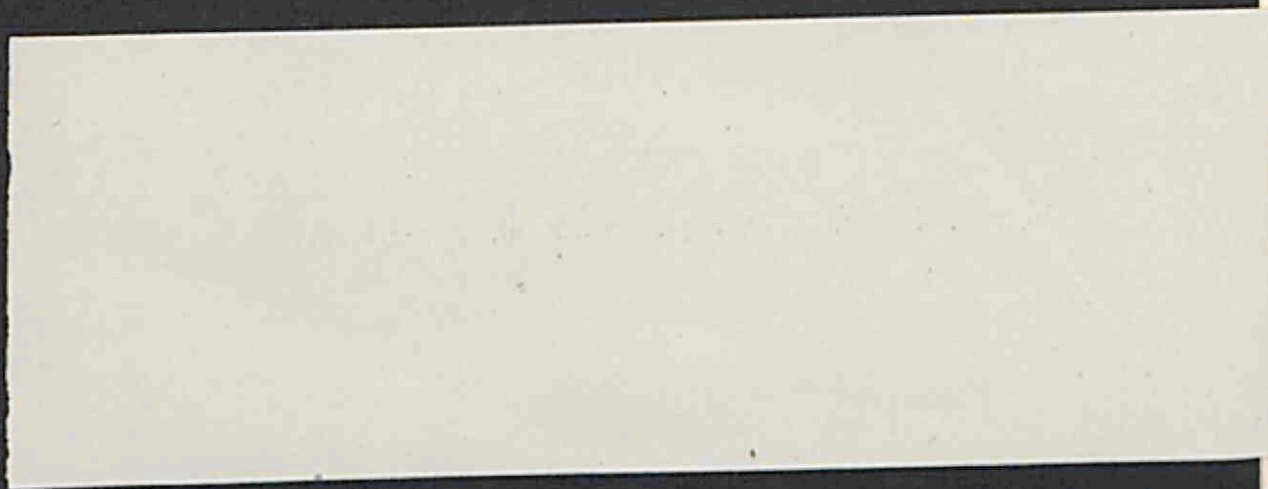
- 1°. De aërodromograaf is bruikbaar tot het bepalen der maximale ademsnelheid. Voor de berekening van de inspiratorische en expiratorische ademgrootte afzonderlijk is hij niet geschikt, daar de instelling op zijn nulpunt niet snel genoeg plaats vindt.
- 2°. De aërodromometer ondervangt het sub 1°. genoemde bezwaar, heeft evenwel het nadeel een lichten weerstand voor den adempluchtstroom te vormen.
- 3°. Eene geringe verhooging van weerstand in den adempluchtstroom geeft aanleiding tot versterking van de inspiratie, terwijl een dergelijke invloed op de expiratie haast niet merkbaar is.
- 4°. Het grootste deel van den totalen adem-spierarbeid

gaat in onderlinge wrijving van ribben, wervelkolom en spieren te loor.

- 5°. De expiratorische snelheidscurve bij asthma-lijders vertoont eene bepaalde afwijking van de normale; de snelheid neemt eerst snel toe, daarna gedurende een zeer kort tijdsverloop snel af, om ten slotte geleidelijk glooiend het nulpunt weer te bereiken.
-

ERRATA.

Op pag. 4 alin. 3, 8^e regel en alin. 4, 2^e regel staat
buis B lees: adembuis.



STELLINGEN.

I.

Normaliter is bij den mensch de exspiratie langer van duur dan de inspiratie.

II.

Bij asthma onderscheidt zich de exspiratie, behalve door den abnormaal langen duur, door eene karakteristieke afwijking in haar beloop.

III.

Bij den ergographischen arbeid worden de heffingen in aantal beheerscht door het centraal zenuwstelsel, in hoogte door het spierstelsel.

IV.

Het optreden van Koplik'sche vlekken mag niet als een pathognomonisch symptoom van mazelen beschouwd worden.

V.

Campher is een cardiotonicum.

VI.

Enkelzijdige doorsnijding van de achterste wortels bij het konijn heeft, behalve de gewone degeneratie in de achterstrengen, eene kort verloopende opstijgende degeneratie in de voorstrengen der andere zijde ten gevolge.

VII.

De ontsteking van het vas deferens bij urethritis gonorrhöica is voortgeleid van uit de cauda epididymidis.

VIII.

Bij urethritis gonorrhöica, gepaard met enkelzijdige epididymitis, is locale behandeling van het achterste deel van de urethra gecontraïndiceerd.

IX.

Bij het mouleeren van den kinderschedel tijdens de baring speelt de volumen-vermindering de hoofdrol.

X.

Het is waarschijnlijk, dat trachoom beschouwd moet worden als eene conjunctivitis blennorrhöica chronica.

XI.

De M. Sternalis bij den mensch moet beschouwd worden als een rest van de huidrompmusculatuur der lagere zoogdieren en niet als een splitsingsproduct van den M. pectoralis major.

XII.

Het z.g. steriliseeren van melk door toevoeging van waterstofperoxyd bij verwarming tot 45° C. verdient aanbeveling.

XIII.

De vezels van Purkinje zijn waarschijnlijk eene voortzetting van de spiervezels, welke septum atriorum en septum ventriculorum verbinden.

XIV.

De bloei, waarin zich de kwakzalverij verheugt, is voor een deel toe te schrijven aan onvoldoende psychotherapeutische kennis van den arts.

