Utrecht University Library
Partner in Science
Universiteit Utrecht

Bijdrage tot de physiologie der vliegers op groote hoogten

https://hdl.handle.net/1874/293064

4 gn. 192. 1929

BIJDRAGE TOT DE PHYSIOLOGIE DER VLIEGERS OP GROOTE HOOGTEN

J. JONGBLOED

A. qu.
192

BIJDRAGE TOT DE PHYSIOLOGIE DER VLIEGERS OP GROOTE HOOGTEN.

BIBLIOTHEEK UNIVERSITEIT UTRECHT
2818 697 5

BIJDRAGE TOT DE PHYSIOLOGIE DER VLIEGERS OP GROOTE HOOGTEN

ACADEMISCH PROEFSCHRIFT

TER VERKRIJGING VAN DEN GRAAD VAN DOCTOR IN DE GENEESKUNDE AAN DE RIJKS-UNIVERSITEIT TE UTRECHT, OP GEZAG VAN DEN RECTOR-MAGNIFICUS DR. H. TH. OBBINK, HOOGLEERAAR IN DE FACULTEIT DER GOD-GELEERDHEID, VOLGENS BESLUIT VAN DEN SENAAT DER UNIVERSITEIT TEGEN DE BE-DENKINGEN VAN DE FACULTEIT DER GE-NEESKUNDE TE VERDEDIGEN OP DINSDAG 7 MEI 1929, DES NAMIDDAGS TE VIER UUR

DOOR

JACOB JONGBLOED,

ARTS

GEBOREN TE JOURE

BIBLIOTHEEK DER
RIJKSUNIVERSITEIT
UTRECHT.

A. W. BRUNA EN ZOON's UITGEVERS-MAATSCHAPPIJ
UTRECHT

AAN DE NAGEDACHTENIS MIJNER MOEDER
AAN MIJN VROUW

Gaarne maak ik van de gelegenheid gebruik om bij het voltooien van dit proefschrift U, Hoogleeraren, Oud-Hoogleeraren en Docenten der Medische en Philosophische Faculteiten van de Utrechtsche Universiteit, mijn dank te betuigen voor het onderwijs, dat ik van U ontving.

U, Hooggeleerde Noyons, Hooggeachte Promotor, moge ik in het bijzonder mijn dank brengen. Hoezeer ook door werk van velerlei aard bezet, steeds hebt Gij tijd en gelegenheid gevonden om mij met raad en daad te helpen. Uw liefde voor de Wetenschap, Uw enthousiasme bij het vinden van nieuwe gezichtspunten zullen mij steeds levendig voor den geest staan.

Dankbaar ben ik ook U, Hooggeleerde Zwaardemaker, voor de belangstelling, die Gij steeds voor mijn werk hebt getoond.

U, kapitein Versteegh, ben ik dank verschuldigd voor mijn vorming tot vlieger in 1916 en U, Hooggeleerde Van Wulfften Palthe voor het feit, dat Gij mijn belangstelling voor de medische zijde van het vliegen hebt weten te wekken.

Den Commandant der Luchtvaartafdeeling, kolonel J. H. Hardenberg en den Chef van den Vlieg-medischen Dienst dier Afdeeling, officier van gezondheid J. E. Brouwer, ben ik er zeer erkentelijk voor, dat de bewerking van dit proefschrift mij in Soesterberg mogelijk is geweest.

Tenslotte mijn dank aan hen, die zich als proefpersoon vrijwillig te mijner beschikking stelden en aan U, waarde Van der Maas, voor Uwe gewaardeerde assistentie.

INHOUD

bldz.

INLEIDING 1

HOOFDSTUK I. Beschouwingen over den aard en de oorzaak der „hoogte"-ziekte 11

HOOFDSTUK II. De invloed van het verblijf op groote hoogte op de physieke gesteldheid van den vlieger; zonder en met zuurstoftoevoer (Eigen onderzoek) 36

HOOFDSTUK III. Kritische beschouwingen over gebruikte apparaten en toegepaste werkwijzen 55

HOOFDSTUK IV. De samenstelling der alveolair-lucht op hoogten tot 12.000 M. zonder of met extra zuurstoftoevoer. (Eigen onderzoek) 81

HOOFDSTUK V. De samenstelling der alveolairlucht boven 12.000 M. De zuiver mechanische invloed van den geringen atmosferischen druk. (Eigen onderzoek). 112

HOOFDSTUK VI. Samenvatting. Conclusies 153

INLEIDING.

De medico-aviatiek is een jonge tak van de aloude medische wetenschap. In vroeger eeuwen moge incidenteel, naar aanleiding van ballonvaarten, al eens gedacht zijn aan de medische zijde van de luchtvaart, een werkelijke doelbewuste bestudeering van medisch-aviatische vraagstukken begon eerst in de jaren van den grooten oorlog.

Tot 1914 kwam het vliegtuig het experimenteele stadium ternauwernood te boven, alle belangstelling concentreerde zich op de verbetering van het vliegtoestel zelve, aan den vlieger besteedde men weinig of geen aandacht.

In de jaren van 1914 tot 1918 groeide het zwakke vliegtuig in snelle ontwikkeling uit tot een geducht oorlogswapen. In deze jaren kwam men in de oorlogvoerende landen al spoedig tot het inzicht, dat het een groote verspilling aan menschen en materiaal beteekende, wanneer men zonder meer ieder, die zich daartoe geroepen voelde, als vlieger in dienst nam. Een selectie van de gegadigden werd ingesteld en slechts zij, die aan zekere eischen voldeden, werden aangenomen. Met het begin van deze selectie valt het begin van de opzettelijke bestudeering der medisch-aviatische vraagstukken samen. Immers om keurings-eischen voor adspirant-vliegers te kunnen vaststellen, moet men vooraf zoo nauwkeurig mogelijk weten, welke invloeden het vliegen op het menschelijk organisme uitoefent. Uitgebreide onderzoekingen en proefnemingen hebben tenslotte geleid tot het vaststellen van medische eischen voor vliegers, die over de geheele wereld vrijwel eensluidend zijn en die ons waarborgen, dat ieder, die tegenwoordig toegelaten wordt tot het besturen van een vliegtuig, althans geen lichamelijke of geestelijke gebreken vertoont, die hem voor het vliegerberoep ongeschikt zouden maken.

Was een nauwkeurige selectie en niet te vergeten de logisch daarbij behoorende geregelde controle der vliegers reeds in de oorlogsjaren een gebiedende eisch, te meer klemt dit, nu na den oorlog het vliegtuig

bezig is, zich gaandeweg te ontwikkelen tot een publiek middel van vervoer, waarbij passagiers, mail en goederen van vaak groote waarde aan den vlieger worden toevertrouwd.

De taak van de medico-aviatiek omvat echter meer, dan bovenbedoelde selectie en controle der vliegers; in den meest uitgebreiden zin dient zij te waken voor de veiligheid van het vliegen uit medisch oogpunt. Zij moet daartoe voortdurend op de hoogte blijven van de snelle vorderingen, die de vliegtechniek maakt, ja, zij zal zoo mogelijk die techniek vooruit moeten zijn en deze eventueel moeten voorlichten.

Zij zal zich o.a. de vraag hebben voor te leggen: kan, als een rechtstreeksch gevolg van technische verbeteringen in den vliegtuigbouw, het vliegtuig zoodanige eigenschappen krijgen, dat een overigens normale vlucht ermee gevaarlijk kan worden voor de inzittenden? Zoo ja, bij welke grens treden de gevaarlijke invloeden op en kunnen middelen worden aangewend, om boven die grens het gevaar te ondervangen?

Ik stel deze vraag in het algemeen, omdat op het oogenblik nog niet geheel is te overzien, wat nieuws de vliegtechniek ons in de komende jaren zal brengen en van welken aard de eischen zullen zijn, die dit nieuwe aan het menschelijk organisme zal stellen. Maar twee zaken zijn er, die nu al onder oogen dienen te worden gezien, omdat hier de gevaarlijke grens reeds benaderd wordt, n.l. de *hoogte* en de *snelheid*, die met moderne vliegtuigen zijn te bereiken. De grootste hoogte met een vliegtuig bereikt bedraagt ongeveer 12000 M., de grootste snelheid ongeveer 500 K.M. per uur; twee getallen, die te denken geven. Beide zijn weliswaar recordprestaties, maar wat heden nog alleen mogelijk is met een opzettelijk daartoe gebouwd vliegtuig, kan over een paar jaar een algemeene mogelijkheid zijn.

Over de snelheid te dezer plaatse slechts een enkel woord. Groote snelheid op zich zelf brengt voor den vlieger geen in het oog springende gevaren met zich mee, mits hij goed beschut zit tegen den sterken luchtstroom. Bezwaren of gevaren voor het organisme treden eerst op, wanneer dit aan groote versnellingen (in de algemeene beteekenis) wordt blootgesteld. Afgezien van kunstvluchten, zijn het bij de nor-

male vlucht vooral de versnellingen, die ontstaan bij het maken van bochten, die ons interesseeren. In een bocht zal de resultante van de middelpuntvliedende kracht en de zwaartekracht haar invloed op de bloed-circulatie doen gelden en waarschijnlijk wel op twee wijzen, n.l.:

1. zal onder inwerking dezer kracht het bloed, voor zoover het kan, zich zoo ver mogelijk willen verplaatsen in de richting der kracht, met het gevolg, dat de hersenen relatief bloedarm, de beenen en vooral de buik (met zijn ruim vaatstelsel) bloedrijk zullen worden;

2. zou onder inwerking van dezelfde kracht de druk, dien de bloedkolom in de aorta ascendens op de aortakleppen uitoefent zoo groot kunnen worden, dat de druk in den linker ventrikel niet in staat is, deze kleppen voldoende te openen, zoodat de circulatie dus, zoolang de kracht werkt, sterk belemmerd zal worden.

Daarenboven moet men rekening houden met de mogelijkheid, die *Bauer* [1]) aanvoert, dat bij groote versnellingen op de betrekkelijk groote massa der hersenen een zoodanigen druk wordt uitgeoefend, dat de hersenstam (met zijn belangrijke centra) beschadigd zou kunnen worden door druk tegen den rand van het foramen magnum. Vooral met het oog op de in den laatsten tijd weer op den voorgrond tredende idee van voortstuwing door middel van raketten, verdient dit punt onze aandacht.

Bij welke versnelling één of meerdere dezer factoren zoodanig worden, dat gevaren voor den vlieger optreden (tijdelijk bewustzijnsverlies of plotselinge dood), is voorshands moeilijk theoretisch te benaderen en experimenteel vast te stellen.

Maar zeker is, dat bij de reeds bereikte snelheden bij het maken van korte wendingen gevallen van „licht gevoel in het hoofd" en „duisternis voor de oogen" zijn voorgekomen, waartegen de Engelsche deelnemers aan de laatste *Schneider-cup races* reeds veiligheidsmaatregelen namen. (welke maatregelen bestonden in het stevig inwikkelen der onderste ledematen en overigens vrij problematisch lijken.) En zeker

---

[1]) L. H. Bauer, Aviation Medicine; Baltimore, The Williams and Wilkins Cy., 1926.

is ook, dat bij verdere ontwikkeling der vliegtuigen in deze richting de gevaren niet zeer ver meer liggen; de qualiteit van het vliegtuig draagt de kiem van het gevaar in zich. Vliegers, die als bestuurders van zeer snelle machines optreden, moeten weten, dat het maken van korte bochten hun noodlottig kan worden. Voor het oogenblik geldt deze waarschuwing alleen voor bestuurders van speciale race-machines en voor „jachtvliegers". Maar het is niet onmogelijk, (ik kom daar straks op terug) dat eenmaal ook verkeersmachines deze groote snelheden, van laten we zeggen, om de gedachten te bepalen, boven de 500 K.M. per uur, zullen bereiken. Al ligt het voor de hand, dat met verkeerstoestellen hoofdzakelijk rechtuit zal worden gevlogen en zeker nooit tijdens een normale vlucht een werkelijk scherpe wending zal worden gemaakt, er kunnen zich toch altijd abnormale omstandigheden voordoen, waarbij het zijn nut kan hebben, dat de bestuurder op de hoogte is van de gevaren, die er dreigen.

Hierbij moge ik het wat dit punt betreft laten; het was alleen mijn bedoeling er nog eens de aandacht op te vestigen en op de wenschelijkheid van een spoedige en grondige bewerking van dit vrijwel braakliggende terrein te wijzen.

Heeft de vlieger het grootendeels in de hand, om de gevaren aan groote snelheid verbonden te ondervangen, anders staat het met die, welke een groote hoogte met zich mee brengt; zij kunnen alleen met mechanische hulpmiddelen bestreden worden.

Het is bekend, dat bij het stijgen in de atmosfeer de lichamelijke en geestelijke functies van den vlieger gaandeweg slechter worden. Practisch de eenige oorzaak hiervan is de verminderde zuurstofspanning in de ijler wordende lucht. Uit velerlei proefnemingen is gebleken, dat het verblijf op een hoogte boven 5500 M., vooral, wanneer dit van wat langeren duur is, voor den vlieger gevaarlijk wordt. Derhalve is het bij de militaire vliegdiensten (bij andere categorieën van vliegers worden tot heden dergelijke hoogten zelden bereikt) voorschrift, dat niet boven 5000 à 5500 M. mag worden gevlogen, tenzij bijzondere voor-

zorgen worden genomen. Deze voorzorgen bestaan in het medevoeren en gebruiken van een toestel, dat den vlieger een extra zuurstoftoevoeging aan de inademingslucht waarborgt. Uitgerust met een dergelijk zuurstof-apparaat kan de vlieger zonder bezwaar van die zijde rustig hooger stijgen; echter niet ongelimiteerd. *Het is een absoluut foutieve meening, die vrij algemeen onder vliegers heerscht, dat men uitgerust met een modern zuurstof-apparaat zonder eenig gevaar zoo hoog kan stijgen, als men (of liever het vliegtuig) maar wil. Er is een kritieke hoogte, waarboven zelfs met zuurstofvoorziening (althans volgens de nu algemeen toegepaste methode) het organisme aan zuurstofgebrek ten onder gaat.*

De reden, dat men zich om deze quaestie tot nu toe weinig heeft bekommerd, is hierin gelegen, dat het „plafond" van de beste klimmers onder de vliegtuigen, die normaal in gebruik zijn, nog wel eenige duizenden Meters onder deze hoogte blijft. Een enkele vlieger heeft misschien bovenbedoelde hoogte bereikt en de schadelijke gevolgen er van ondervonden. Ik bedoel o.a. de Amerikaansche Maj. Schroeder, die bij een poging om het wereldhoogterecord voor vliegtuigen te verbeteren op ongeveer 12.000 M. bewusteloos werd en Capt. Gray, die volgens zijn registratie-instrumenten met zijn vrije ballon een hoogte van ruim 42.000 ft. bereikte, doch dood in den mand werd gevonden. Beide waren voorzien van deugdelijke zuurstofapparaten, waaraan juist extra zorg was besteed, omdat het hier om hoogte-records ging. *Bauer*[1]); zegt naar aanleiding van het geval Gray: „In elk geval, of hij de kritieke hoogte passeerde of niet, hij kwam er zeer dicht bij en het geval illustreert de gevaren van pogingen om het hoogte-record te breken."

Het moge nu nog een „rara avis" zijn, die dergelijke groote hoogten bereikt, velen zullen bij de snelle vorderingen der vliegtechniek zijn spoor volgen. Het is zelfs niet onmogelijk, dat het toekomstige verkeer met vliegtuigen over groote afstanden op hoogten van 12.000 à 15.000 M. of nog hooger zal plaats vinden. Zal het luchtverkeer over zeer groote afstanden een concurreerende plaats kunnen innemen tegen-

[1]) L. H. Bauer; The military Surgeon, Vol. 62, n°. 6, June 1928; p. 747.

over de bestaande middelen van vervoer, dan zal allereerst de kostprijs per ton/K.M. nog belangrijk moeten dalen. Eerst als men economischer kan vliegen, zal uit het reeds komende *gelegenheids*-verkeer een *geregeld* verkeer kunnen groeien. Op welke wijze de vliegtechnici dit probleem tenslotte zullen oplossen, is nog niet te zeggen; zeer waarschijnlijk is het echter, dat een groote omwenteling op vlieggebied daarvoor noodig zal zijn. Een van de wijzen nu, waarop deze grootere economie te bereiken zou zijn en die voor de toekomst wel beloften inhoudt, is het bovenbedoelde vliegen op zeer groote hoogte mogelijk te maken.

De maximum-snelheid, die een bepaald vliegtuig met een bepaald motorvermogen kan bereiken, is o.a. afhankelijk van den schadelijken weerstand (frontweerstand) dien het geheele toestel ondervindt van de lucht, waarin het zich beweegt. Deze schadelijke weerstand nu is een functie o.a. van de luchtdichtheid. Noemen we den schadelijken weerstand: W, de snelheid van het vliegtuig: V, het herleide schadelijke oppervlak: S, de luchtdichtheid: d en zij k een constante, dan kan de schadelijke weerstand worden voorgesteld als: $W = k\,d\,S\,V^2$.

Zal het vliegtuig met een schadelijken weerstand W zich eenparig bewegen met een snelheid V, dan is de hiervoor benoodigde arbeid: $V \times W$. Deze arbeid, die we A noemen, wordt geleverd door het motor-schroef-systeem (eventueel door een ander voortstuwingsmechanisme). Met behulp van de eerste formule kunnen we dus schrijven: $A = k\,d\,S\,V^3$.

Uit deze (slechts orienteerende) formule blijkt, dat, mits A constant blijft, de snelheid *V* grooter wordt, naarmate de luchtdichtheid *d* kleiner wordt.

Op groote hoogte is de luchtdichtheid een fractie van die bij den grond, dus kan theoretisch een vliegtuig op groote hoogte een grootere snelheid behalen, dan bij den grond bij eenzelfde motorvermogen, dus bij eenzelfde brandstof verbruik.[1]) Een z.g. „hoogte-vliegtuig" kan

[1]) Ir. B. Stephan meent, dat een vliegtuig met een maximum-snelheid van 180 K.M. per uur bij den grond, theoretisch op ± 15.000 M. een snleheid van 300 K.M. per uur kan bereiken. (mondelinge mededeeling).

dus bij gelijke kosten voor brandstof, bemanning, afschrijving, enz., een grooter afstand afleggen, dan een gewoon vliegtuig of het kan denzelfden afstand afleggen met minder brandstof aan boord, waardoor meer betalende last kan worden ingenomen. De kostprijs per ton/K.M. wordt dus geringer; de voor een bepaalden afstand benoodigde tijd eveneens.

Tegenover deze voordeelen heeft het hoogvliegen ook zijn bezwaren. Zoo zal b.v. de navigatie niet eenvoudig zijn en grootendeels draadloos moeten geschieden: van rechtstreeksche orientatie zal boven 10.000 M. weinig te verwachten zijn. De voordeelen zijn echter groot en mogelijk krijgen zij, die in het hoogte-vliegtuig *de* oplossing zien van het vraagstuk van het *snelle* luchtverkeer over *groote* afstanden, in de toekomst gelijk.

Technisch is de constructie van een hoogte-vliegtuig reeds nu mogelijk, zij het ook nog niet voor commercieel gebruik geschikt. (*Voskuil*) [1]). Over de vele technische moeilijkheden, die nog overwonnen zullen moeten worden, behoef ik hier niets te zeggen, behalve over één: de zuurstofvoorziening van den motor. Voorwaarde voor het hoogte-vliegtuig is immers het constant blijven van het effectief vermogen van den motor. Zoo goed als de mensch, lijdt ook deze (zoolang we althans nog zullen vliegen met de gebruikelijke verbrandingsmotoren) op groote hoogte zuurstofgebrek en daarin moet worden voorzien, zal het vermogen op peil blijven. Het zuurstofverbruik van een motor van eenig vermogen is zoo groot, dat men met in flesschen meegevoerde samengeperste zuurstof niet uitkomt; de meest voor de hand liggende methode is, om de omringende atmosferische lucht te comprimeeren tot op ongeveer 1 atm. en hiermee den motor te voeden. (*Voskuil*).

Ook de inzittenden zal men natuurlijk op de een of andere manier aan voldoende zuurstof moeten helpen. De gewone gebruikelijke zuurstof-apparaten met maskers zijn hiervoor niet te gebruiken, nog afgezien

---

[1]) B. L. Voskuil: Onderzoek naar de bruikbaarheid van het hoogtevliegtuig voor verkeersdoeleinden. (Acad. proefschrift). J. Waltman Jr., Delft, 1925.

van het feit, dat zij boven een zekere hoogte waardeloos worden. Men kan van passagiers niet eischen, dat zij gedurende een langen reis met een zuurstofmasker voor het gezicht blijven zitten, dat is hinderlijk en vervelend en zou het gebruik van het vliegtuig zeker niet populair maken. Bovendien zouden de zuurstofflesschen, vooral bij langere vluchten, een groot dood gewicht beteekenen. En tenslotte zullen zich onder passagiers, anders dan onder streng medisch gecontroleerde vliegers, wel eens lieden met hart- en longgebreken bevinden, die al op betrekkelijk geringe hoogte ook met hun zuurstof-apparaat belangrijke bezwaren zouden ondervinden. Beter is het, ten behoeve van de menschen aan boord de buitenlucht ook te comprimeeren tot ongeveer 1 atm., zij kunnen daarin dan vrijelijk ademen.

Daar de zuurstof-consumptie van de passagiers zeer klein is vergeleken bij die van den motor, kan men volstaan met de compressie-installatie te berekenen naar de behoefte van den motor en de passagiers hiervan mee te laten profiteeren. De eenvoudigste oplossing is dan een groote luchtdichte cabine, waarin de lucht op een zekeren druk wordt gehouden en waarin menschen en motoren zijn ondergebracht om beide daaruit hun zuurstof te betrekken.

Zou dus het gewone zuurstof-apparaat bij het commercieele hoogtevliegtuig onder normale omstandigheden geen rol spelen, als een soort „reddingsgordel" zou het misschien nog belangrijke diensten kunnen bewijzen. Wanneer b.v. de compressie-installatie defect raakt, of wanneer de cabine lek wordt, dan kan het „persoonlijke" zuurstof-apparaat de passagiers misschien zoo lang van de noodige zuurstof voorzien, tot het vliegtuig in lager sferen is aangekomen. Hierom is het nuttig en noodig te weten, wat we van het zuurstof-apparaat op zeer groote hoogte mogen verwachten.

Anders, dan bij het commercieele hoogtevliegtuig, zal de zuurstofvoorziening van den mensch zijn bij het militaire en het hoogte-record vliegtuig. Bij deze toestellen zal men de vliegers waarschijnlijk niet in een luchtdichte ruimte kunnen onderbrengen, omdat, vooral voor

militaire vliegtuigen, het uitzicht naar alle kanten zoo vrij mogelijk moet zijn en o.a. mitrailleurbediening mogelijk moet blijven. Aan den anderen kant kan men hier beter uitkomen met zuurstofapparaten; immers deze toestellen worden bemand met physiek krachtige jonge menschen, die vrij zijn van hart- en longgebreken, een goed uithoudingsvermogen en de noodige wilskracht hebben en die het lastige van een masker niet zeer bezwaarlijk zullen vinden. Daarenboven duren de vluchten met deze toestellen altijd betrekkelijk kort, de benoodigde zuurstof kan dus in flesschen onder hoogen druk worden meegenomen; bij korten vliegduur en een bemanning van 1 tot 3 personen zal deze zuurstof-installatie zeker minder dood gewicht beteekenen, dan een luchtdichte cabine.

Maar zal men dergelijke zuurstof-apparaten op zeer groote hoogte gebruiken, hetzij als regel, hetzij in geval van nood, dan moeten deze ook absoluut betrouwbaar zijn: het eindigen van den zuurstoftoevoer zou oogenblikkelijk noodlottige gevolgen hebben. Verder moet bekend zijn tot welke maximale hoogte men met een gegeven zuurstofapparaat onder de gunstigste omstandigheden (vrijwel absolute lichamelijke en geestelijke rust) zonder levensgevaar kan stijgen en op welke hoogte het apparaat den vlieger, die b.v. in een luchtgevecht is gewikkeld en dus physieken en psychischen arbeid verricht, nog voldoende van zuurstof voorziet. Het eerste is vooral van belang voor inzittenden van verkeersvliegtuigen en voor hoogte-record-vliegers; het laatste bepaalt de eigenlijke maximale werkhoogte voor militaire vliegers.

De opzet van dit proefschrift is om over deze zaken eenige gegevens te verkrijgen, die wellicht niet tot een definitieve beantwoording der gestelde vragen zullen leiden, maar toch van orienteerend belang kunnen zijn.

Daartoe werden proeven genomen met twee typen van in gebruik zijnde vliegtuig-zuurstof-apparaten, n.l. een half-automatisch en een automatisch, waarbij het onderzoek speciaal op de volgende punten was gericht:

1. *Welke is de maximaal toelaatbare hoogte, waarop het apparaat den vlieger in rust nog voldoende zuurstof levert?*
2. *Welke is de maximaal toelaatbare hoogte, waarop het apparaat den vlieger, die matigen arbeid verricht, nog voldoende zuurstof levert?*
3. *Vergelijking tusschen beide typen van zuurstof-apparaten.*
4. *Zijn de bestaande zuurstof-apparaten op eenvoudige wijze te veranderen, zoodanig, dat de beschikbare hoeveelheid zuurstof economischer wordt gebruikt en de onder* 1 *en* 2 *bedoelde maxima stijgen?*

Terwijl last not least bij alle proefnemingen de algemeene bedoeling voorzat, om een bijdrage te leveren tot de physiologie van den mensch op groote hoogte, in het bijzonder met het oog op de ademhaling.

HOOFDSTUK I.

BESCHOUWINGEN OVER DEN AARD EN DE OORZAAK DER „HOOGTE"-ZIEKTE.

Bij het stijgen tot eenige hoogte veranderen er verschillende physische factoren van de atmosfeer, die in meer of mindere mate hun invloed op het menschelijke organisme doen gelden. De voornaamste hiervan zijn wel:

1. de verminderde atmosferische druk.
2. de daarmee samengaande verminderde partiëele zuurstofspanning in de lucht.
3. de lager wordende temperatuur.
4. de verminderde vochtigheidsgraad.

Achterstaande tabel bevat de gegevens betreffende twee dezer factoren voor hoogten tot 20.000 M. voor ons land [1]).

Wat de temperatuur betreft, deze daalt naarmate men hooger stijgt in de atmosfeer, totdat ze tenslotte vrijwel constant wordt. Het is begrijpelijk, dat deze lage temperaturen niet lang te verdragen zijn, zeker niet voor een vlieger, die fijne bewegingen moet kunnen blijven uitvoeren. Een afdoende beschutting is dus noodzakelijk. Met dikke kleeren komt men er niet; ook al zijn ze nog zoo dik met bont en wol gevoerd, op den duur krijgt men het er toch koud in; electrisch verwarmde kleeren voldoen niet, als er al geen kortsluiting in ontstaat geven ze een warmte, die eerder hinderlijk, dan aangenaam wordt gevonden. Wil men lang op zeer groote hoogte vliegen, dan zal men om van de lage temperaturen geen hinder te krijgen, alle inzittenden (ook den vlieger) moeten

[1]) Deze gegevens werden mij welwillend verstrekt door dr. Cannegieter, onderdirecteur van het Kon. Ned. Meteorologisch Instituut.

TABEL I.

Hoogte in K.M.	Gem. Max. (temperatuur)	Lucht-druk.	Gem. Min. (temp.)	Lucht-druk.
0	32°	760	—10	760
1	20	680	— 7	668
2	13	604	—12.5	587
3	8	535.5	—18	514.5
4	2	474	—24.5	449.5
5	— 3	418	—29	392
6	— 9	368	—35	340.5
7	—16	322	—42	295
8	—24	282	—49	255
9	—32	246	—54	220
10	—41	213	—57	189
11	—50	184.5	—59	162.5
12	—59	159	—57	140
13	—57	136.5	—56	120
14	—55	117	—56	103
15	—56	100.7	—56	89
16	—56	86.5	—56	75.5
18	—56	64	—56	58
20	—56	47	—56	43

onderbrengen in een gesloten cabine, die op één of andere wijze wordt verwarmd.

De geringe vochtigheidsgraad op groote hoogte zal aanleiding kunnen geven tot meer dan normaal vochtverlies[1]), waardoor een dorstgevoel kan

[1]) Hierop vestigde ir. B. Stephan in een dagblad-artikel in 1922 reeds de aandacht.

ontstaan. Dit bezwaar zou ondervangen kunnen worden door in de cabine als boven bedoeld water te laten verdampen.

Wat den zuiver *mechanischen invloed* van den onder 1. genoemden *verminderden atmosferischen druk* betreft het volgende. Op den grond hebben de lucht of andere gassen, die zich in de verschillende holten van het lichaam (b.v. neusbijholten, trommelholte, maag en darm) bevinden een druk van ongeveer 1 atmosfeer. Naarmate nu bij het stijgen de druk van de omringende atmosfeer afneemt, zullen deze gassen zich uitzetten en druk op hun omgeving uitoefenen. Zij zullen dus langs de natuurlijke openingen naar buiten trachten te ontwijken, tot de druk in de holten weer gelijk is aan dien van de omringende lucht. Bij een normaal, niet ontstoken neusslijmvlies en behoorlijk doorgankelijke tubae Eustachii gaat dit wat de neusbijholten en het middenoor betreft geheel onbemerkt; bij veel gassen in het maagdarmkanaal veroorzaakt het ructus en flatus.

Dat op groote hoogte tengevolge van den verminderden druk als zoodanig slijmvliesbloedingen (neus, mond) *bij vliegers* zouden ontstaan, althans bij lieden met een normaal hart en vaatstelsel, lijkt me meer fabel, dan werkelijkheid. Ik herinner me nog goed de verhalen van vliegers uit de beginjaren der aviatiek, die vertelden van hevige neusbloedingen, die optraden, als ze de toen zeer groote hoogte van 2000 M. overschreden. Van deze overdreven voorstelling is echter weinig overgebleven. Ik bemerkte althans gedurende mijn meer dan 12-jarige vliegerloopbaan ook op hoogten tot boven 6000 M. nooit iets van bloedingen en hoorde er ook nooit van in dien tijd. *Birley* [1]) noemt deze bloedingen: „practically unknown".

Ook bij mijn vele proefnemingen in een atmosfeer overeenkomende met die op 12.000 M. (druk 170 m.m.Hg. of ongeveer 2/9 atm.) had ik weinig hinder van den *mechanischen* invloed van den lagen druk,

[1]) J. L. Birley in: The medical problems of flying (Special Report series n°. 53), London, H. M. Stationery office, 1920; p. 8.

met uitzondering van de genoemde ructus en flatus en een tenslotte min of meer hinderlijk wordende spanning in de buik, vooral dicht onder het diaphragma, waar zich blijkbaar in darmlissen gassen verzamelen, die naar boven noch naar beneden kunnen ontwijken.

Bij mijn experimenten op nog grooter hoogte nam ik verschijnselen waar, die ik mede toeschrijf aan den lagen druk als zoodanig en die ik ter plaatse zal bespreken.

Zijn dus de *mechanische* consequenties van den verminderden luchtdruk van gering belang voor een gezonden vlieger althans wanneer de wisseling van druk niet te snel plaats heeft en voor hoogten onder 12.000 M., anders is het met de *chemische*, die voor de aviatiek van het grootste gewicht zijn en het rechtstreeksch gevolg zijn van de onder 2. genoemde verminderde partiëele zuurstofspanning van de ademlucht.

Alvorens over de ademhaling op groote hoogte te spreken, mogen enkele punten uit de physiologie der ademhaling bij verblijf op den grond worden besproken.

De gemiddelde druk der lucht bij den grond bedraagt 760 m.m. kwik. Daar de longen in open communicatie staan met de buitenlucht bedraagt de druk der lucht in de longen in rust ook 760 m.m. (alleen tijdens in-respectievelijk exspiratie is de druk iets lager resp. hooger). In de longen bevindt zich steeds verzadigde waterdamp van ongeveer 37° C., die een spanning heeft van ongeveer 47 m.m. Hg. Deze waterdamp wordt geabsorbeerd door de van buiten komende lucht, zoodat de werkelijke spanning dezer lucht, wanneer zij in het diepst der longen is binnengedrongen, bedraagt: 760—47 is 713 m.m. Wanneer we ons verder de longen vóór een inspiratie geheel luchtledig denken, dan zou na de inspiratie de longenlucht dezelfde procentische samenstelling hebben, als de atmosferische lucht; zij zou dan ongeveer 21 % zuurstof bevatten. Afgezien van den toestand bij pasgeborenen, bevatten de longen echter altijd lucht van een zekere samenstelling en wordt bij elke inademing slechts een betrekkelijk kleine hoeveelheid buitenlucht ter verversching aangezogen. Deze versche lucht blijft nog voor een

deel achter in de „schadelijke ruimte" (neuskeelholte, trachea, enz.), zoodat slechts een deel ervan in de longalveoli doordringt. Hier vermengt zij zich met de aanwezige lucht, die een deel van haar zuurstof aan het bloed heeft afgestaan. Het resultaat is, dat de lucht in de alveoli niet 21 % zuurstof bevat, maar minder; er bestaat een zeker verval van zuurstof-percentage van de buitenlucht naar die in de alveoli. Dit verval bedraagt $^1/_3$ à $^1/_4$ van het percentage der buitenlucht; de alveolairlucht bevat gemiddeld 14 à 15% zuurstof. Bij een spanning der longlucht van 713 m.m., bedraagt dus de partieele zuurstofspanning in de alveoli 100 à 107 m.m. (gemiddeld 103 m.m.).

Uit de lucht in de alveoli neemt het bloed de zuurstof op. Het is van primair belang te weten, langs welken weg dit geschiedt; of bij dezen overgang van zuurstof uit de alveolairlucht naar het bloed het longepitheel een passieve rol speelt (*diffusie-theorie*), dan wel of het longepitheel aan dezen overgang actief deelneemt. (*secretie-theorie*).

Is de *diffusie-theorie* de juiste, dan kan de spanning van de zuurstof in het bloed hoogstens gelijk worden aan die in de alveoli, in elk geval kan ze nooit hooger, practisch zal ze steeds iets lager zijn. De zuurstofspanning in het bloed is dus rechtstreeksch afhankelijk van die in de alveoli; daalt deze laatste, dan gaat de eerste ook naar beneden. Normaal bedraagt de zuurstofspanning in de alveoli 100 mm., bij deze spanning (en ongeveer 40 mm. koolzuur) is het bloed bijna volkomen verzadigd met zuurstof. (n.l. voor 96 %). Verhooging van den zuurstofdruk boven 100 mm. heeft weinig invloed op de zuurstofvoorziening van het bloed; vermindering van de zuurstofspanning in de alveolairlucht heeft echter tengevolge, dat het arterieele bloed niet ten volle met zuurstof verzadigd de longen verlaat, waardoor in de verschillende lichaamsweefsels zuurstofgebrek kan ontstaan.

Ware de *secretie-theorie* de juiste, dan zouden we binnen zekere grenzen de zuurstofverzadiging van het arterieele bloed, vrijwel onafhankelijk van de O_2-spanning in de alveoli, steeds als volkomen mogen be-

schouwen. Immers in dat geval zou het longepitheel eenerzijds de O_2 opnemen en ze onder hoogeren druk naar de zijde van het bloed actief uitscheiden. Verlaging van den druk der O_2 in de alveoli zou dan geen verlaging van O_2-druk in het arterieele bloed tengevolge hebben; de lichaamsweefsels zouden geen O_2-gebrek lijden, alleen zou te meer arbeid van het secretorisch epitheel noodig zijn, naarmate de O_2-druk in de alveoli geringer is.

Zoo algemeen stellen de verdedigers van de secretie-theorie zich hare werking echter niet voor. Naar de opvatting van een harer groo'ste voorstanders, *Haldane*, moet men zich de secretie denken, als een ondersteuning van de diffusie in abnormale omstandigheden, d.w.z. in omstandigheden van zuurstofgebrek in de lichaamsweefsels. Wat normale omstandigheden betreft, d.w.z. rusttoestand en gewone ademlucht, zegt Haldane [1]):

> „It is clear that as the arterial haemoglobin is nearly saturated with oxygen, during rest, at any rate, *without any active secretion*, hardly anything could be gained by secretion, since any additional oxygen which could be added to the blood would be trifling in amount unless with an enormous secretory pressure such as has never been found experimentally. We can thus readily understand why there is no secretion during rest under normal conditions, as our experiments clearly showed to be the case."

Anders wordt de zaak volgens Haldane, wanneer bij normalen atmosferischen druk lichaamsarbeid wordt verricht. Haldane vond bij zijn experimenten tijdens arbeid een grootere verzadiging van het bloed met zuurstof, dan volgens de diffusie-theorie te verwachten was en schrijft dit toe aan de nu optredende actieve secretie. Deze secretie zou niet bij ieder gelijk zijn, maar het duidelijkst waarneembaar bij physiek goed getrainde personen.

Haldane en zijn medewerkers experimenteerden ook onder omstandigheden, die voor ons van groot belang zijn, n.l. terwijl de proefpersoon lucht ademde met een geringere partiëele zuurstofspanning, dan

[1]) J. S. Haldane: Respiration, New Haven, Yale University Press, 1922; p. 237.

normaal. Bij een deel dezer proeven was de totale druk der ademlucht wel 1 atm., maar het zuurstof-percentage was kleiner dan normaal. Hierbij bleek de O_2-spanning in het arteriëele bloed een weinig hooger te zijn dan die in de alveolairlucht. Haldane zegt op p. 235 over deze proeven:

> „On looking at the results of the four experiments it will be seen that in every case the arterial was above the alveolar oxygen pressure. The mean difference seems to be outside the limits of experimental error, but only amounts to 8 mm."

Een ander deel van de proeven werd uitgevoerd tijdens de Pike's Peak expeditie op een hoogte van 4200 M. Haldane zegt op p. 237:

> „The results were quite unmistakable. We found that *as soon as acclimatization to the air was established* the arterial oxygen pressure became considerably higher than that of the alveolar air."

Bij goed geacclimatiseerde personen bleek de zuurstofdruk in het arterieele bloed ongeveer 70 % hooger te zijn, dan die in de alveolairlucht. Bij één p.p. die per trein op Pike's Peak arriveerde (d.w.z. in eenige uren) bedroeg het verschil direct na aankomst (dus ongeacclimatiseerd) 15 %, drie dagen later 100 %. „It was evident", gaat Haldane voort, „that not only is oxygen want a stimulus to active oxygen secretion by the lungs, but the response to the stimulus improves greatly with practice or „acclimatization." "

De uitkomsten der experimenten van Haldane c.s. zouden er op wijzen, dat de secretie op groote hoogte bij geacclimatiseerde personen aanwezig is; terwijl bij niet geacclimatiseerden (zooals in het eerste deel der proeven en bij één p.p. op P.P.) zoo er al secretie is, deze toch gering moet zijn.

Met het oog op het voordeel, dat vliegers van secretie zouden kunnen hebben, dienen wij allereerst na te gaan of bij vliegers op overeenkomstige wijze als bij bergbeklimmers van acclimatisatie sprake is.

Ook Haldane stelde zich deze vraag en voerde ter beantwoording het volgende experiment uit [1]). Haldane, Kellas en Kennaway stelden

[1]) Haldane, l.c., p. 242.

zich op drie achtereenvolgende dagen bloot aan een atmosferischen druk van resp. 500, 430 en 360 mm. telkens gedurende 6 à 8 uur. Op den derden dag van de acclimatisatie bleven zij „for a considerable time" op 315 mm. en „though we were distinctly blue", zegt Haldane, kon ik gemakkelijk doorgaan met gasanalyses en andere werkzaamheden. Een niet geacclimatiseerde proefpersoon kon het op 366 mm. slechts twee uur uithouden.

Haldane vergelijkt zijn toestand op dezen dag met die tijdens een vroegere proef bij 320 mm. (p. 126). Bij die gelegenheid kon hij geen aanteekeningen maken, wilde zijn blauwe lippen in den achterkant van een spiegel bekijken, enz., terwijl later retrograde amnesie voor dit deel der proef bestond. Kellas, die hem toen vergezelde, kon nog goed schrijven, hij las de barometerstanden en regelde het caisson-ventiel, ofschoon hij veel blauwer was, dan Haldane. Maar het is twijfelachtig, zegt Haldane, of hij (Kellas) geestelijk wel heelemaal normaal was, want hij gaf toe aan mijn voortdurend aandringen om op 320 mm. te blijven, terwijl hij toch, mijn ellendigen toestand ziende, uit eigen beweging den druk had moeten verhoogen. „We were both at the time unacclimatized to low pressures" besluit hij.

Na zijn genoemde acclimatisatie-proef concludeert H., dat er op den derden dag was een „marked acclimatization, but limited in amount". Deze conclusie zal wel niet op dit eene experiment alleen gebaseerd zijn, want in dat geval zou zij wat zonderling aandoen. Immers Kellas voelde zich, toen hij nog ongeacclimatiseerd was bij 320 mm. blijkbaar ook nog heel goed; na de acclimatisatie lezen we alleen, dat hij blauw zag. Daarbij vergete men niet, dat de reactie op lagen atmosferischen druk niet alleen zeer individueel is, maar bovendien sterk wisselt met den physieken en psychischen toestand van de proefpersoon op den dag der proefneming, terwijl tenslotte de subjectieve beoordeeling van den lichamelijken en geestelijken toestand op groote hoogte onbetrouwbaar en meestal geflatteerd is. Eén experiment is derhalve zeker niet voldoende voor de uitspraak, die H. laat volgen:

„It is clear form this experiment, that airmen, so long as they retain their

health, and remain at high altitudes pretty frequently, must be capable of aquiring a considerable degree of acclimatization."

Ik moge er op wijzen, dat voor het oogenblik een vlieger nooit, zooals in het experiment, 6 à 8 uur op groote hoogte blijft, maar veel korter, en dat dergelijke hoogte-vluchten zelden dag aan dag voorkomen, zoodat dus (voor den tegenwoordigen toestand althans) de acclimatisatie bij vliegers in de practijk in elk geval nog veel geringer zal zijn, dan wat H. in zijn experiment meende te vinden. En in dat experiment was zij al gering, gelijk H. zelf zegt en zooals ook wel blijkt uit de ook op den derden dag nog aanwezige cyanose der proefpersonen.

Ik voor mij geloof dan ook, dat men bij vliegers op *deze* acclimatisatie niet mag rekenen, althans niet op de wijze, zooals Haldane zich die voorstelt. Persoonlijk heb ik van acclimatisatie nooit iets gemerkt. Ik ging in eenige maanden tientallen malen, soms dag aan dag, dan weer met langere tusschenpoozen, in de onderdruk-caisson tot een hoogte van 6000 M. zonder, of tot 12.000 M. met zuurstof. Een dergelijke proef duurt 1 à 2 uur en komt dus meer overeen met een vliegtocht naar dergelijke hoogte. Van acclimatisatie heb ik daarbij subjectief noch objectief ooit iets bemerkt; op 6000 M. zonder O_2 voelde ik me den n-den keer even onpleizierig, als den eersten keer; op 12.000 M. met zuurstof hetzelfde in veel mindere mate; mijn pols was den laatsten keer evenzeer in frequentie toegenomen en kleiner geworden, als den eersten keer.

Zwaardemaker [1]) zegt:

„Voor den vliegenier bestaat zulk een acclimatisatie niet. Integendeel juist op den duur, ondanks oefening, beginnen zich vaak stoornissen te vertoonen."

Over de denkbeelden van vele anderen betreffende de acclimatisatie en het wezen ervan (verhoogd haemoglobinegehalte van het bloed, enz.) kan ik hier niet uitweiden. Ik moest echter over de experimenten van Haldane spreken, omdat hij de acclimatisatie voor een goed deel

[1]) H. Zwaardemaker Czn: Leerboek der Physiologie, 3de druk, Haarlem, Erven F. Bolm, 1920; 1ste deel, p. 452.

beschouwt, als een soort „training" van het longepitheel, waardoor dit als het ware geschikt zou worden voor actieve secretie.

In het kort is dus het standpunt van Haldane als volgt: onder normale omstandigheden *diffusie*, die ondersteund wordt door *actieve secretie* bij arbeid en bij gebrek aan zuurstof in de inademingslucht *mits men geacclimatiseerd is*.

Waar men bij vliegers noch van eenigszins zwaren lichamelijken arbeid (de vlieger, zoowel als de passgier leiden een zittend bestaan; de verrichte spierarbeid is minimaal), noch van acclimatisatie (zooals die volgens Haldane bij bergbewoners voorkomt) sprake is, meen ik, dat men, zelfs al staat men geheel aan de zijde van Haldane c.s., bij luchtvaarders niet op een actieve secretie mag rekenen.

Houdt men bovendien in het oog, dat Haldane's uitkomsten niet onweersproken zijn gebleven, dat b.v. *Barcroft* [1]) bij menschen, die jarenlang in Cerro op 4330 M. hadden geleefd, de zuurstofspanning in het arterieele bloed steeds iets lager vond, dan die in de alveolair-lucht; dat Barcroft de bovenaangehaalde acclimatisatie-proef van Haldane in de onderdrukcaisson herhaalde en na een verblijf van 5 dagen aan een stuk op een hoogte van 4500 à 5500 M. geen spoor van secretie kon constateeren en dat alweer volgens Barcroft tijdens spierarbeid in Cerro (4330 M.) de procentueele verzadiging van het arterieele bloed met zuurstof daalde van 91 % (bij rust) tot 76 %; alle drie feiten, die tegen secretie ook bij abnormale omstandigheden pleiten en door de diffusietheorie verklaarbaar zijn, dan is het m.i. allerminst gewaagd om aan te nemen, dat *de overgang van zuurstof van de alveolair-lucht naar het bloed bij vliegers, die af en toe gedurende betrekkelijk korten tijd in een ijle atmosfeer vertoeven, plaats vindt uitsluitend langs den weg der diffusie.*

De aanneming der diffusie-theorie brengt echter consequenties met

---

[1]) J. Barcroft: Die Atmungsfunktion des Blutes (Vert.), Berlin, Julius Springer, 1927; Erster Teil, p. 72 en p. 55.

zich mee, die we goed onder oogen moeten zien, omdat ze van groot belang zijn bij de ademhaling onder verminderden atmosferischen druk.

Laten we de H-ionen concentratie van het bloed en de temperatuur voorloopig buiten beschouwing (zij zijn vrijwel constant onder normale omstandigheden), dan is de hoeveelheid zuurstof, die door een bepaalde hoeveelheid bloed in de longen wordt opgenomen, alleen afhankelijk van den druk van dit gas in de alveolairlucht; deze druk bepaalt de mate van verzadiging van het arterieele bloed met O_2.

Waar de zuurstofdruk in de alveoli een functie is van dien in de ingeademde lucht, volgt dus, dat alleen de *partiëele spanning* der zuurstof in de ademlucht beslissend is voor de mate van oxygenatie van het bloed; noch de *hoeveelheid* beschikbare zuurstof, noch het *percentage* zuurstof hebben als zoodanig beteekenis.

Ter verduidelijking van dit laatste een enkel voorbeeld. Denken we ons een atmosfeer, oneindig uitgebreid, waarin de zuurstof een spanning heeft van 20 mm. De *hoeveelheid* zuurstof is dan oneindig groot, toch is het leven voor ons in deze atmosfeer onmogelijk.

Denken we ons een andere atmosfeer, die voor 50 % uit zuurstof bestaat, doch een totale druk heeft van 40 mm. Niettegenstaande het hooge *percentage* O_2 is ook in deze atmosfeer menschelijk leven niet mogelijk, daar de partieele zuurstofspanning slechts 20 mm. bedraagt.

In beide gevallen zou het arterieele bloed voor slechts ongeveer 30 % met O_2 verzadigd zijn, wat onvereenigbaar is met het leven van den mensch.

Dit alles voorop gesteld is het eenvoudig in theorie na te gaan, hoe de zuurstofvoorziening op zekere hoogte zal verloopen.

Op 3000 M. hoogte bedraagt de atm. druk gemiddeld 535 mm.; het O_2-gehalte is ongeveer 21 %. De waterdampspanning in de longen blijft 47 mm. Zij het zuurstofverval naar de alveoli toe gelijk aan dat op den grond, dan bedraagt de zuurstofspanning in de alveoli:
$15/100 \times (535—47)$ mm. of ongeveer 73 mm.

Op 6000 M. vinden we op analoge wijze:
15/100 × (360—47) mm. of ongeveer 47 mm.

Deze berekende waarden komen niet geheel overeen met de experimenteel bepaalde. Rekening houdende met de in het voorgaande beredeneerde conclusie, dat bij vliegers tijdens hun verblijf op groote hoogte de oxygenatie van het bloed plaats heeft door diffusie, kunnen we vaststellen, dat de O_2-spanning in het arterieele bloed in bovenstaande gevallen niet hooger kan zijn dan 73 resp. 47 mm. Het bloed, dat de longen verlaat om de verschillende lichaamsweefsels van zuurstof te voorzien is daarmee dus slechts ten deele verzadigd; op 3000 M. zal het organisme zuurstof-armoede, op 6000 M. zuurstof-gebrek lijden.

De gevolgen hiervan blijven niet uit; zoowel de lichamelijke, als de geestelijke prestaties zijn op groote hoogte slechter, dan op den grond; dit is subjectief voelbaar en objectief duidelijk aantoonbaar. In het kort wil ik nagaan welke bezwaren de vlieger bij het verblijf in ijle lucht ondervindt en welke verschijnselen bij hem waarneembaar zijn en of deze bezwaren en verschijnselen inderdaad het gevolg zijn van zuurstofgebrek.

Subjectieve symptomen tijdens het verblijf op 5 à 6000 *M.*

Dyspnoe. Bijna alle vliegers vertellen uit eigen beweging, dat zij op groote hoogte (5 à 6000 M.) gedwongen zijn diep, soms ook snel adem te halen. Sommigen zeggen een gevoel te hebben, alsof zij hun longen niet behoorlijk vol kunnen zuigen. Bijna allen ademen met open mond. De dyspnoe wordt in het algemeen niet als hinderlijk bevonden, zoolang de vlieger rustig blijft zitten, maar wordt dadelijk bezwaarlijk, als een oogenschijnlijk geringe arbeid moet worden verricht.

Birley [1]) vertelt van vliegers, die een nauwkeurige beschrijving gaven van periodisch ademen (Cheyne-Stokes) op groote hoogte, zooals: „I suddenly begin to gasp for breath, and then do not seem to want any more for a minute or two."

[1]) Birley, l.c., p. 6.

Gevoel van spierzwakte. De geringste arbeid valt zwaar.

Verder: licht gevoel in het hoofd; zwaar soms ook prikkelend gevoel in de beenen. Soms leeg gevoel in de maagstreek, met braakneiging; zelden komt het tot overgeven. Deze symptomen zijn, (evenals alle andere) onafhankelijk van lage temperaturen, schommelen van het vliegtuig, e.d., zij vertoonen zich in de onderdruk-caisson evengoed als in de lucht).

Syncope. Treedt soms plotseling op, op groote hoogte.

Toestand van onverschilligheid en verminderde geestelijke activiteit. Deze doet zich soms zeer geleidelijk aan gelden. De vlieger blijft in staat het vliegtuig te besturen, maar hij doet er niet de minste moeite voor om het goed te doen. Hij krijgt een soort gevoel van: „Alles gaat goed; waarvoor zal ik me inspannen." Een euphorisch moment is hierbij bijna steeds aanwezig. Het hachelijke van een toestand wordt niet bewust. De vlieger ontwaakt soms plotseling uit een soort droomtoestand, vaak herinnert hij zich niets van wat er in deze periode gebeurde.

Verminderde geestelijke prestaties. Zelfs boven goed bekende gebieden kan de vlieger zich soms niet orienteeren, ofschoon hij den grond goed kan zien. Bij betrekkelijk eenvoudige handelingen, b.v. fotografeeren, worden fouten gemaakt.

Subjectieve verschijnselen na het verblijf op groote hoogte.

1. Behoefte aan slaap, algemeene vermoeidheid; lusteloosheid.
2. Dikwijls hoofdpijn.

Objectief waarneembare physiologische verschijnselen.

Diepere en vaak ook snellere ademhaling. Toename van het ademvolume per minuut. Soms periodisch ademen. Verminderde koolzuurspanning in de alveolairlucht tengevolge van „uitwassching". Verminderde zuurstofspanning in de alveolairlucht.

Toename der polsfrequentie. Dikwijls stijging van den systolischen bloeddruk. Dit is echter geen regel.

Daling van den diastolischen bloeddruk. Het verschil tusschen deze twee, de z.g. „polsdruk", wordt dus grooter. Uit de grootere

polsfrequentie en den grooteren polsdruk meende men te mogen besluiten, dat het minutenvolume van het hart grooter zou zijn geworden; dit zou een mooie compensatie zijn, daar dan per minuut meer zuurstof in de longen zou kunnen worden opgenomen. Gebleken is echter, dat in werkelijkheid het minutenvolume eer kleiner, dan grooter wordt; het product: polsfrequentie × polsdruk is geen maat voor het min. volume. Sterke toename der polsfrequentie is eerder een teeken van vermoeienis (een noodsignaal), dan een compensatie.

Het aantal erythrocyten neemt toe per m.m^3.; ook na een betrekkelijk kort verblijf op groote hoogte. Waarschijnlijk is deze toename slechts relatief (meerdere concentratie van het bloed), in tegenstelling met de toeneming bij langdurig verblijf op groote hoogte, welke absoluut is.

Tenslotte zij nog gewezen op de dikwijls optredende cyanose, soms ook uitgesproken bleekheid.

Neurologisch-psychologische verschijnselen.

Vooral de aandachtsfunctie en het coördinatie-vermogen zijn gestoord. De psychische remmingen vallen weg; luidruchtigheid, mededeelzaamheid, zelf-overschatting, prikkelbaarheid, overdreven angst, etc. treden op. Dikwijls ontstaat het beeld van alcohol-intoxicatie. Inzicht in eigen toestand ontbreekt; de stemming is meestal „gehoben"; soms sullige lachbuien.

Het handschrift wordt atactisch tot het onleesbare toe; vaak perseveratie: herhalingen van woorden, deelen van woorden of letters in het geschrevene.

Slaperigheid.

Tenslotte collaps en excitus.

Deze genoemde (en nog enkele andere) verschijnselen treden bij jonge, gezonde personen duidelijk op tusschen 5 en 6000 M., soms nog lager, zelden eerst hooger. Echter zijn reeds op 3000 M. beginsymptomen te constateeren. Oudere, minder weerstandskrachtige lieden ondervinden de bezwaren in het algemeen veel eerder.

Bijna alle verschijnselen, die zich bij luchtvaarders op groote hoogte vertoonen, vinden we terug bij een reeds sedert eeuwen bij verschillende volken onder verschillende namen bekende ziekte, n.l. de z.g. „bergziekte." Al zijn de „hoogte"-ziekte der vliegers en de ziekte der bergbeklimmers niet identiek, al zijn de bijkomstige omstandigheden in beide gevallen zeer verschillend, waardoor de hoogte, waarop de verschijnselen optreden, hun intensiteit en de mate van aanpassing groote verschillen vertoonen, zeker is, gelet op de grondleggende onderzoekingen van *Paul Bert*, dat de hoofdoorzaak van beide dezelfde is, n.l. de verminderde zuurstofspanning in de ingeademde lucht. Hoe voor de hand liggend deze verklaring voor het optreden der hoogteziekte achteraf gezien moge lijken, tientallen, zoo niet honderdtallen van jaren heeft men zich met het probleem der bergziekte beziggehouden en talrijk en van den meest uiteenloopenden aard zijn de theoriëen, die (vóór Bert) er over werden opgesteld.

Paul Bert [1]) geeft een uitgebreid overzicht van de destijds over de bergziekte bestaande litteratuur. Enkele der door hem vermelde theoriën mogen hier volgen.

De theoriëen over de oorzaken van de bergziekte kan men verdeelen in twee groepen, n.l. een groep, die de oorzaak zoekt in den physischen (mechanischen) of chemischen invloed van den verminderden atmosferischen druk en een groep, die den verminderden luchtdruk geheel buiten beschouwing laat en oorzaken daarbuiten zoekt.

Tot de laatste groep behooren de volgende theoriën.

Giftige uitwasemingen.

Al naar de plaats zouden deze van zeer verschillenden oorsprong zijn. In de Andes b.v. zouden ze afkomstig zijn van het daar veel voorkomende antimonium (*soroche* beteekent zoowel antimonium, als bergziekte); elders is het koolzuur, dat uit den bodem opstijgt; op vulkanische gebergten krijgen begrijpelijk de uit spleten opstijgende dampen de schuld; in de Himalaya zijn het de emanaties van giftige bloemen of planten; enz. enz.

[1]) Paul Bert: La pression barométrique; Paris, G. Masson, 1878; p. 349 e.v.

„L'identité des symptomes morbides", zegt Bert, „attribués ici à l'antimoine, là aux vapeurs telluriques, ailleurs aux émanations de plantes indéterminées, suffit pour montrer qu'ils ont une cause unique, laquelle est en rapport intime avec l'élévation au dessus du niveau de la mer." Wij kunnen bovendien nog wijzen op de overeenkomstige verschijnselen bij ballonvaarders en vliegers, die toch moeilijk aan aardsche „uitwasemingen" kunnen worden toegeschreven.

Electriciteit.

„Quand les gens ne savent plus que dire, il y a grande chance pour les voir mettre en cause et invoquer l'electricité," zegt Bert en wij bedenken daarbij, dat hij schreef in een tijd, waarin de electriciteit ieders belangstelling levendig maakte. De theoriën, zijn over het algemeen vaag gesteld, met uitzondering van die van *Cunningham*, die verklaarde, dat op het noordelijk halfrond de electriciteit het bloed naar het hoofd trekt, en op het zuidelijk halfrond naar de voeten . . . vandaar de bergziekte; dit verklaart meteen waarom de zieke genezen is, als hij de horizontale positie aanneemt. „Het zonderlingste is", aldus weer Bert „dat deze bizarre leerstelling aanhangers heeft gevonden."

Veranderde samenstelling van de lucht.

Op groote hoogte zou de lucht procentsgewijze minder zuurstof bevatten, dan bij den grond en dit zou de oorzaak der bergziekte zijn. Zoo vond *von Humboldt* op de Chimborazo (6420 M.) slechts 20 % zuurstof, inplaats van bijna 21 %, aan welk verschil hij grooten invloed toekende. Bert onthoudt zich hier van commentaar. Ik merk hierbij op, dat inderdaad op zeer groote hoogte het zuurstofpercentage der lucht iets afneemt, de verandering in samenstelling is echter te gering, om er de bergziekte-verschijnselen mee te verklaren.

Boussingault, die er door getroffen was, dat de bergziekte bijna altijd optrad boven de sneeuwgrens, vermoedde, dat de lucht boven de sneeuw minder zuurstof zou bevatten (ontleding door bestraling); hij vondt in deze lucht bij analyse slechts 16 % zuurstof; later heeft hij echter de onjuistheid van zijn hypothese ingezien en erkend. Als deze theorie

juist was, aldus ongeveer Bert, dan zou men ook in de vlakte, als er sneeuw ligt, op een mooien zonnigen Januaridag bergziek moeten worden.

Koude en vermoeidheid.

Beide zijn dikwijls aangevoerd als voornaamste of eenige oorzaak van de bergziekte. Dit is niet juist; ook bij stijgen zonder inspanning (ballon) en bij bergklimmers tijdens rust en slaap treden de verschijnselen op.

Iets anders is, dat beide, koude en vermoeidheid, als bijkomstige oorzaken van groot belang zijn.

Gaan we nu over tot de andere groep theoriën, die de oorzaak der bergziekte zoeken in den verminderden druk der atmosfeer. Bij laboratoriumproeven op dieren onder de klok van de luchtpomp zag men, dat de proefdieren ziek werden en zelfs stierven, wanneer de druk laag genoeg werd; waaruit men concludeerde, dat het eveneens de lage atmosferische druk op hooge bergen was, die de verschijnselen veroorzaakte. Maar hoe? Groot was het aantal hypotheses, waarvan hier enkele volgen.

Vermindering van den druk door het lichaam ondervonden.

„Op een hoogte van 0 M. oefent de lucht op de oppervlakte van het lichaam een druk uit van rond 1 K.G. per c.M².; voor een mensch van normale grootte beteekent dit een totale druk van ± 18.000 K.G. Deze enorme druk voelen wij niet, omdat de spanning van de lichaamsvloeistoffen een evengrooten tegendruk levert.

Op 5500 M., waar de atmosferische druk de helft is van dien op 0 M., zal de uitwendige druk verminderen met 9000 K.G., er zal dus een groote inwendige over-druk ontstaan, die de lichaamsvloeistoffen naar de peripherie stuwt, de huidvaten zullen overvuld worden met bloed, zij zullen barsten en haemorrhagien zullen het einde zijn: het is alsof het geheele lichaam in een grooten „kop" zit. Wat een wonder, dat een verblijf op groote hoogte zulke onaangename gevolgen heeft!" Aldus ongeveer de voorstanders van deze theorie.

De fout van deze theorie is, dat haar grondslag in volslagen strijd is met de elementaire wetten van de physica. De onsamendrukbaarheid der vloeistoffen en de onmiddellijke voortplanting van een op het lichaam uitgeoefenden druk door het geheel van vaste deelen en vloeistoffen, zijn oorzaak, dat elke verandering van druk dadelijk wordt uitgebalanceerd. Vermindert de druk op de huid en daardoor op den buitenwand van een bloedvat, dan vermindert evenzeer de druk op den binnenwand van het vat, zoodat er in het stelsel van evenwicht niets is veranderd. „C'est la comparaison avec la ventouse," gaat Bert verder, „qui a amené l'erreur: on a oublié que, dans la ventouse, c'est l'effet de la pression sur le reste du corps qui amène le gonflement, la congestion, les hémorrhagies locales."

Uittreden van gassen uit het bloed.

Evenals de vorige een physische theorie. Zij luidt: bij vermindering van druk komt een deel der gassen, die zich in alle lichaamsvloeistoffen bevinden, vrij; vormt gasbellen, die zich vooral in de capillairen ophoopen, deze doen uitzetten en zelfs doen barsten.

De physische grondslag van deze theorie is juist; bij een snelle en groote drukverlaging treedt bij proefdieren inderdaad soms (stikstof-) embolie op, wat den dood tengevolge kan hebben. Dit komt overeen met de caissonziekte. De oorzaak der bergziekte kan het echter niet zijn, daar deze ook voorkomt bij zeer langzaam stijgen tot betrekkelijk geringe hoogte, waarbij de bloedgassen ruimschoots gelegenheid hebben om geleidelijk in evenwicht te komen met die van de omringende atmosfeer. Bovendien, merkt Bert op, was deze gasuittreding de oorzaak van de ziekte, dan zou deze op geringer hoogte moeten optreden bij de snel stijgende aeronauten, dan bij de langzaam stijgende bergklimmers en het is dikwijls omgekeerd.

Uitzetting van de gassen in het darmstelsel.

In het begin van dit hoofdstuk heb ik over deze uitzetting reeds gesproken. Men heeft ze ook al voor de oorzaak van de bergziekte gehouden; zij bemoeilijkt de ademhaling en de circulatie. Bert citeert van *Massiat*: „Les gaz intestinaux, prenant du volume, distendent

tout jusqu'à rupture." Dat kan nooit, zegt Bert, er zijn twee openingen, waardoor de gassen kunnen ontwijken, zoodat practisch geen uitzetting kan ontstaan.

De uitspraak van Massiat is onjuist; de weerlegging van Bert niet geheel juist. Niet alle gassen kunnen gemakkelijk door de beide openingen ontsnappen; een deel blijft in het darmkanaal hangen. Het onaangename opgezette gevoel is, zeker boven de 6000 M., steeds aanwezig; men heeft het gevoel of het diaphragma omhoog wordt gedrukt en men moeilijker inademt; ructus en flatus brengen af en toe wat opluchting, maar in het algemeen blijft het oppressie-gevoel.

Deze gasophooping is zeker niet de hoofdoorzaak van de bergziekte, maar m.i. werken het onprettige gevoel, (dat dikwijls tot psychische ontstemming leidt) en het althans subjectief moeilijker worden van de ademhaling, het optreden van de ziekte in de hand.

Overmaat van koolzuur in het bloed.

De vele aanhangers dezer theorie willen het optreden der bergziekte verklaren door de ophooping van koolzuur in het bloed, welke ontstaat, omdat door de grootere lichaamsinspanning bij het klimmen de verbranding sterker is en het meerder gevormde koolzuur niettegenstaande verhoogde adem- en hartfrequentie niet snel genoeg kan worden afgegeven.

Tegen deze theorie zijn gelijksoortige bedenkingen te opperen, als tegen die van de vermoeidheid; indien zij juist was zouden de verschijnselen nagenoeg dezelfde moeten zijn bij het klimmen van 0 tot 1000 M., als bij een klim van 4000 tot 5000 M.; men zou ze ook moeten waarnemen bij groote inspanning in de laagvlakte; bij aeronauten daarentegen, die tijdens hunne opstijgingen slechts geringen arbeid verrichten, zou men ze niet zien.

Ik moge hier wijzen op het eigenaardige verschijnsel, dat veel later, n.l. ongeveer 20 jaar na het verschijnen van Bert's boek, *Mosso* [1]) een theorie opstelde, die juist het tegengestelde bevat, n.l. dat de voornaam-

[1]) A. Mosso: Life of man on the High Alps (vert.), London, 1898.

ste oorzaak van de bergziekte is het *overmatig verlies van koolzuur uit het lichaam, de „acapnie"*. Ook deze theorie heeft echter niet stand kunnen houden. De acapnie bestaat zeker op groote hoogte en is een belangrijk verschijnsel, maar zij is slechts een gevolg van de verminderde zuurstofspanning, die de respiratie aanzet, waardoor meer koolzuur dan normaal uit het lichaam wordt verwijderd.

„Mosso held to his acapnia theory till the time of his death, and it was quite in vain that I myself endeavored to persuade him that Paul Bert was right." Aldus *Haldane* [1]).

Ook *Barcroft* [2]) komt in zijn zeer overzichtelijke beschouwingen omtrent de oorzaak der bergziekte tot de conclusie, dat de acapnie niet deze oorzaak kan zijn, noch door gebrek aan koolzuur als zoodanig, noch als vermeerderde alkaliniteit van het bloed in het algemeen.

Keeren wij na deze uitweiding terug naar het historisch overzicht van Bert, om de aandacht te vestigen op de *theorie van Jourdanet*, welke de directe aanleiding tot de experimenten van Bert is geweest.

Ofschoon reeds vroegere onderzoekers zich min of meer duidelijk hadden uitgelaten over een slechtere oxygenatie van het bloed op groote hoogte, is het volgens Bert *Pravaz* geweest, die voor het eerst duidelijk formuleerde, dat door gebrek aan spanning der zuurstof dit gas in geringere mate in het bloed werd opgelost.

Toen echter daarna *Gavarret* verklaarde, dat de absorptie van zuurstof door het bloed geen zuiver physisch verschijnsel was, maar dat chemische krachten daarbij een belangrijke rol speelden, en toen proeven van *Fernet* schenen te bewijzen, dat de door het bloed opgenomen hoeveelheid zuurstof vrijwel onafhankelijk was van den barometrischen druk, kwam de opvatting van Pravaz weldra in discrediet.

Alleen Jourdanet hield haar in eere. Het lijdt geen twijfel, merkt hij op, dat, op welke wijze de zuurstof zich bij de respiratie ook bindt aan

---

[1]) Haldane, l.c., p. 364.
[2]) Barcroft, l.c., p. 88 e.v.

de roode bloedlichaampjes, in een atmosfeer arm aan zuurstof de oplosbaarheid van dit gas in het bloed geringer zal zijn, dan in een normale atmosfeer. „Une ascension au-delà de 3000 M. équivaut à une désoxygénation barométrique du sang, comme une saignée est une désoxygénation globulaire."

Paul Bert zelf is tenslotte de man geweest, die met steun van Jourdanet diens duidelijk uitgesproken theorie heeft getoetst aan de uitkomsten van een groote serie proeven. Hij heeft experimenteel ten duidelijkste aangetoond, dat de partieele zuurstofdruk de alles overheerschende factor is bij het verblijf in een ijle atmosfeer. Zijn boek: *„La pression barométrique"*, waarin hij deze proeven beschrijft, is een standaardwerk op dit gebied geworden en is nog de grondslag van onze moderne opvattingen in deze materie. Van zijn „Conclusions générales" moge ik er twee citeeren, die de basis vormen van elk onderzoek naar den invloed van het verblijf in een ijle atmosfeer op het menschelijk organisme, n.l.:

1. *La diminution de la pression barométrique n'agit sur les êtres vivants qu'en diminuant la tension de l'oxygène dans l'air qu'ils respirent, dans le sang qui anime leurs tissus, et en les exposant ainsi à des menaces d'asphyxie.*
2. *Les effets facheux de la diminution de pression peuvent être efficacement combattus par la respiration d'un air suffissamment riche en oxygène pour maintenir à la valeur normale la tension de ce gaz.*

In haar algemeenheid zijn deze conclusies juist gebleken; ik merk er echter het volgende bij op.

ad 1. De doorslaggevende factor is tenslotte de zuurstofspanning in de *alveolairvlucht*, niet die in de ingeademde lucht. Daar de verhouding: spanning O_2 alv. lucht/sp. O_2 buitenlucht bij verandering van atmosferischen druk niet constant is, is het nauwkeuriger de alveolairlucht in de uitspraak te betrekken.

ad. 2. Daar de normale partieele spanning der zuurstof ongeveer 160 mm. bedraagt, geldt deze conclusie hoogstens alleen voor atmosferische drukken boven 160 mm. Op den werkelijken toestand bij dergelijke zeer lage spanningen kom ik later uitvoerig terug.

Bert nam zijn proeven hoofdzakelijk op kleine zoogdieren en vogels, een enkele maal fungeerde hij zelf als proefobject. Vooral in de laatste jaren zijn deze experimenten met technisch beter instrumentarium dikwijls herhaald, waarbij practisch alleen met menschen werd ge-experimenteerd. Met welk doel deze proefnemingen meer in het bijzonder ook werden genomen: om den invloed van het verblijf op groote hoogte na te gaan op bloeddruk, pols- en adem frequentie, ademgrootte, psychische functies, enz., steeds werden de uitkomsten van Bert bevestigd en waren de functies weer normaal, zoodra de partieele zuurstofdruk ongeveer normaal werd gemaakt, onafhankelijk van den totalen atmosferischen druk.

Op enkele dezer experimenten wil ik nog even de aandacht vestigen.

Lutz en Schneider [1]) namen vergelijkende proeven omtrent de samenstelling der alveolair lucht bij een partieelen zuurstofdruk in de inademingslucht overeenkomende met dien op een hoogte van 6000 M., waarbij deze verminderde zuurstofspanning op 3 verschillende wijzen was verkregen, n.l.:

1. in de onderdrukcaisson, waarin de procentische samenstelling der lucht normaal blijft en de verminderde partieele O_2-spanning wordt verkregen door vermindering van de totale spanning.

2. met de Henderson-rebreather, waarbij steeds dezelfde lucht door den proefpersoon opnieuw wordt ingeademd, waardoor dus langzamerhand de zuurstofspanning daalt, terwijl de totale druk der ingeademde lucht op 1 atm. wordt gehouden. (het geproduceerde CO_2 wordt geabsorbeerd).

3. met de Dreyer-stikstof-dilutie-methode, waarbij ook steeds lucht van 1 atm. wordt ingeademd, waarin echter door toevoeging van stikstof de partieele zuurstofspanning is verminderd. (Voor uitvoeriger bespreking dezer werkmethoden zie Hoofdst. III).

---

[1]) B. R. Lutz and E. C. Schneider: American Journal of Physiologie, 1920, L; p. 280.

De samenstelling der alveolairlucht bleek nu bij alle drie methoden vrijwel gelijk te zijn, waaruit volgt, dat de verminderde totale druk (in de caisson) op zich zelf hierbij geen rol speelt, maar alleen omdat daardoor de partieele O_2-spanning lager wordt.

Schneider (bij *Bauer*) [1]) geeft een duidelijk voorbeeld van den invloed van extra O_2-toevoer tijdens het verblijf op groote hoogte op de polsfrequentie. In ongeveer 16 min. werd gestegen tot 6000 M. (in de onderdrukcaisson). Bij het bereiken van deze hoogte is de polsfrequentie 94. De p.p. krijgt dan zuurstof toegevoerd, terwijl de totale atmosferische druk onveranderd, dus ongeveer 360 mm., blijft, met het gevolg, dat de polsfrequentie snel daalt tot 73. Wordt de extra zuurstoftoevoer beeindigd, dan stijgt de frequentie weer direct en wel tot 102; bij nieuwen toevoer daalt ze tot 70, enz. Duidelijk blijkt uit deze proef, dat de partieele zuurstofspanning in de ademlucht grooten invloed heeft op de hartfrequentie.

Kwan-Ichi Tanaka [2]) bestudeerde in de onderdruk-caisson den invloed van de groote hoogte op het verrichten van lichamelijke en geestelijke handelingen; zonder en met extra zuurstoftoevoer. In zijn conclusies zegt hij o.a.:

> „As for kinds of work, effect is more marked in the mental work, than in the physical one, and so it is, in the more complex mental work." „In any kind of work, a certain degree of low pressure when efficiency shows a sudden drop — a turning point for deficiency — can be observed. A fainting attack which comes instantly can be taken as an instance of this fact."
>
> „The turning point for deficiency is understood to be below about 428 mm. of pressure, or at the height over 15.000 ft. above sea-level. (4500 M.) The

---

[1]) Bauer, l.c., p. 82.

[2]) Kwan-Ichi Tanaka: *Experimental study on the effects of low barometric pressures and oxygen deprivation upon the efficiency of mental and physical work, Report of the Aeronautical research institute, Tokyo Imperial University n° 37 March* 1928 *Vol. III*, 7.

partial oxygen-pressure there correspondents to 50 % of that on sea-level." „If oxygen be supplied by some means a great effect may no tbe felt on efficiency even in a high altitude with a fairly low pressure."

Twee punten zijn hierin van groot belang, n.l.: het acuut worden der verschijnselen op ongeveer 4500 M. en het feit, dat de geestelijke prestaties eerder lijden, dan de lichamelijke.

Van Wulfften Palthe[1]) verrichtte een aantal experimenten om den invloed van het vliegen op groote hoogte na te gaan op psychische functies, voornamelijk op de aandachtsfunctie. Hij maakte daartoe gebruik van de aanstreepbladen van Wiersma-Godefroy. De proeven werden uitgevoerd in het vliegtuig, dus onder normale vliegomstandigheden, resp. op zeer geringe hoogte (druk 760 mm.) en op gemiddeld 6000 M. (360 mm.) zonder extra zuurstoftoevoer.

Ofschoon het aantal proeven niet groot is, blijkt toch duidelijk, dat het aantal weglatingen in en de benoodigde tijd voor het aanstreepblad op ± 6000 M. (zonder zuurstof) belangrijk grooter zijn, dan op 200 M.; m.a.w. dat de aandachtsfunctie op groote hoogte is gestoord.

„Om na te gaan," zegt v. W. P., „of werkelijk de waargenomen verschijnselen direct of indirect te wijten waren aan zuurstofgebrek en in hoeverre zij door zuurstof-toevoer worden beïnvloed, werd nog een proef verricht op zeer groote hoogte (6800 M.), waarbij nu echter van 5000 M. af zuurstof werd toegevoerd. Subjectief was de invloed der zuurstof zeer duidelijk merkbaar, geen hoofdpijn, geen braakneiging, geen vermoeidheidsverschijnselen. Ook objectief bleek een zeer duidelijke invloed van de zuurstof-toediening op de resultaten der aanstreepproef. Na afloop totale afwezigheid van de anders zoo karakteristieke vermoeidheidsverschijnselen, hoofdpijn en slaapneiging".

Jammer genoeg staat deze controle-proef geheel alleen, maar in elk geval bleek bij deze p.p. het toedienen van extra-zuurstof (terwijl alle andere hinderende omstandigheden als koude, emotie van het (hoog-) vliegen, ongemakkelijke schrijfhouding, motorlawaai, etc. gelijk bleven)

---

[1]) P. M. van Wulfften Palthe: Zintuiglijke en psychische functies tijdens het vliegen (Acad. proefschrift), van Doesburgh, Leiden, 1921; Hoofdst. III.

voldoende, om de resultaten van de aanstreepproef weer ongeveer op te voeren tot die op zeer geringe hoogte; alleen de benoodigde tijd was iets langer. In hoeverre de bijkomende omstandigheden, als boven genoemd, die op 6800 M. anders zijn, dan op 200 M., hierbij van belang zijn is moeilijk te zeggen. In elk geval blijkt uit deze proefneming wel, dat ook de psychische functies (Palthe wijst b.v. ook op de verminderde apperceptie) slechter worden op groote hoogte en dat ze hersteld worden alleen door de zuurstof-spanning der ademlucht te verhoogen.

Uit het voorgaande blijkt, dat het de verminderde partieele zuurstof-spanning in de ademlucht is, die op groote hoogte, de verschijnselen der hoogte- (berg-) ziekte doet optreden.

Ter duidelijke illustratie hiervan en van de prompte en afdoende werking van zuurstoftoevoer op groote hoogte geef ik in het volgende hoofdstuk de resultaten weer van een serie proefnemingen betreffende de physieke gesteldheid van vliegers op hoogten tot 6000 M.

HOOFDSTUK II.

DE INVLOED VAN HET VERBLIJF OP GROOTE HOOGTE OP DE PHYSIEKE GESTELDHEID VAN DEN VLIEGER; ZONDER EN MET ZUURSTOF-TOEVOER.

(Eigen onderzoek).

In aansluiting met het voorgaande wil ik de resultaten mededeelen van een serie proefnemingen, waarin de invloed van de verminderde partieele zuurstof-spanning op de physieke gesteldheid van den mensch duidelijk tot uiting komt.

Ik maakte hierbij gebruik van de z.g. „Schneider-test" [1]), waarbij de invloed van lichaamshouding en -beweging op het circulatie-apparaat wordt nagegaan. Deze test wordt in Amerika vrijwel algemeen gebruikt bij vliegerkeuringen om een indruk te krijgen van de physieke gesteldheid van den candidaat. De test is niet bedoeld en ook niet geschikt voor functioneel hartonderzoek; in het resultaat der proeven komt echter de „physical efficiency" duidelijk naar voren.

De Schneider-test is gebaseerd op de zes volgende factoren:

1. polsfrequentie in de liggende houding;
2. polsfrequentie in staande houding;
3. het verschil tusschen deze twee frequenties;
4. het verschil in polsfrequentie direct na een standaard-oefening en die bij staande houding;

---

[1]) E. C. Schneider: A cardiovascular rating as a measure of physical fatique and efficiency. J. Am. Med. Ass., 1920, LXXIV, p. 1507.

5. de tijd, die verloopt, eer de polsfrequentie na de oefening weer gelijk is geworden aan die in staande houding;
6. het verschil in systolischen bloeddruk bij staande en liggende houding.

Het practische van deze test is, dat Schneider er een puntenstelsel, de z.g. „Schneider index", bij geeft; voor elk der genoemde 6 factoren wordt volgens dezen index een aantal punten toegekend. (maximaal 3). De samenstelling van dezen index is deels op redeneering, deels op ervaring gegrondvest. De p.p. kan dus maximaal 18 punten krijgen; het minimum is —11. De toepassing van dit puntenstelsel heeft het groote voordeel, dat de uitkomsten gemakkelijk onderling te vergelijken zijn. Na vele proefnemingen kwam Schneider tot een classificatie naar gelang van het aantal behaalde punten en wel als volgt: 18 tot 14: uitstekend; 13 tot 11: zeer goed; 10 tot 9: goed; 8 tot 7: twijfelachtig en beneden 7: onvoldoende.

Gewoonlijk wordt deze test op den grond gebruikt en zij bleek een gevoelige maatstaf te zijn voor de physieke gesteldheid; bij allerlei invloeden, die deze benadeelen, wordt het eindcijfer dadelijk lager dan normaal. Met behulp van deze test wilde ik nagaan of een kort verblijf op groote hoogte reeds merkbaren invloed heeft op de physieke gesteldheid van de proefpersoon en zoo ja, of verhooging van de partieele zuurstofspanning in de ingeademde lucht, bij gelijk blijven van alle andere factoren, den oorspronkelijken toestand kon herstellen.

Ik ging hiertoe als volgt te werk.

Vooreerst rust de p.p. 5 minuten, gemakkelijk *zittend* in een stoel; (Schneider geeft *liggende houding*; waar echter het opstellen van een rustbank in de caisson met het oog op de beschikbare ruimte moeilijkheden gaf, moest ik met een gemakkelijk zittende houding tevreden zijn).

1. Polsfrequentie opnemen gedurende 20 seconden. Wanneer twee opeenvolgende tellingen gelijk zijn, de uitkomst met 3 vermenigvuldigen.

2. Meten van den systolischen bloeddruk. (ausculteeren). Voor de zekerheid 2 of 3 metingen.

3. De p. p. gaat nu staan. Na 2 min. de pols tellen gedurende 15 sec. Wanneer 2 opeenvolgende tellingen gelijk zijn, de uitkomst met 4 vermenigvuldigen.

4. Meten van den syst. bloeddruk (staande) als boven.

5. De p.p. maakt nu 5 diepe kniebuigingen op commando in 15 sec. (Schneider laat 5 keer op een stoel stappen. De betrekkelijk geringe hoogte van de caisson laat dit niet toe, maar afgezien daarvan hield ik mijn proefpersonen voorzichtigheidshalve liever met beide voeten op den grond, om eventueele ongelukken bij zuurstofgebrek te voorkomen).

6. Onmiddellijk na de oefening wordt de pols gedurende 15 sec. geteld; de uitkomst met 4 vermenigvuldigd.

7. Doorgaan met elke 15 sec. den pols te tellen tot de normale frequentie (staand) weer is bereikt. Het aantal seconden, dat verloopt tusschen het eind van de oefening en het begin van de 15 sec.-periode, waarin de freq. weer normaal is, wordt genoteerd. Is de freq. na 2 min. nog niet normaal, dan wordt het aantal slagen boven het normale genoteerd en de telling be-eindigd.

8. Tenslotte worden in het kort opgenomen gegevens van de p.p. betreffende: slaap, eetlust, rooken, drinken, sportbeoefening, enz.

Aan de hand van den Schneider-index worden dan de 6 cijfers toegekend en het totaal hiervan als eindcijfer genoteerd.

Dit geheele onderzoek werd nu met elke p.p. verricht onder 4 omstandigheden, n.l.:

1. Bij een atmosferischen druk van 760 mm.
2. Bij een druk van 535 mm. (overeenkomende met een hoogte van 3000 M.).
3. Bij een druk van 360 mm. (6000 M.).
4. Als bij 3, maar nu met extra zuurstof in de inademingslucht.

Alle proeven hadden bij nauwkeurig gelijke proefopstelling plaats; de drukverlaging bij 2, 3 en 4 werd verkregen in de onderdruk-caisson; de zuurstof-toevoer geschiedde door middel van een gewoon vliegerzuurstof-apparaat met masker. (voor caisson en zuurstof-apparaat zie

Hoofdstuk III). Voor de gelijkheid werd ook proef 1 in de caisson met werkende pompen genomen.

Op deze wijze werden 7 personen onder handen genomen, allen vliegers, dus gezonde jonge mannen, die elk half jaar aan een strenge geneeskundige keuring worden onderworpen.

De proeven op 3000 en 6000 M. werden steeds gedurende dezelfde zitting genomen; die op den grond in enkele gevallen op een anderen dag. In deze laatste gevallen werd er echter zorgvuldig op gelet, dat de proeven op denzelfden tijd van den dag werden genomen; invloeden van maaltijden, rooken, verrichten arbeid, etc. waren dan op beide dagen zooveel mogelijk gelijk.

Bij alle proeven draaiden de motoren en ventilatoren van de onderdrukcaisson, zoodat de storende geluids-indrukken dezelfde waren; alleen werden zij tijdens de auscultatie bij de bloeddrukmeting om begrijpelijke redenen even stopgezet.

Na eventueel de proef op 0 M. genomen te hebben, steeg ik met een snelheid van 300 M. per minuut tot 3000 M., welke hoogte dus na 10 min. was bereikt. Op dit niveau bleef de p.p. 12 min. rustig zitten, zoodat pols en respiratie behoorlijk op deze hoogte waren ingesteld, waarna de proef begon, die ongeveer 8 min. duurde. Aan het eind van de proef had de p.p. dus 20 min. op 3000 M. vertoefd. Daarna werd weer met 300 M. per min. gestegen tot 6000 M., waar op dezelfde wijze werd gehandeld. Na afloop van deze proef kreeg de p.p. een zuurzuurstofmasker op en werd gedurende 12 min. zuurstof toegevoerd met behulp van een Dräger half-automatisch apparaat. (Dit apparaat werd afgesteld op „6", de O_2-toevoer bedraagt dan op 6000 M. ongeveer 3½ L. van 1 atm. per min. of 7½ L. gemeten op 6000 M.). Daarna werd de proef nog eens gedaan, ook tijdens de proef bleef de zuurstoftoevoer bestaan.

Ter motiveering van de 12 min. rust op elk niveau alvorens met de proef te beginnen, diene het volgende. *Lutz en Schneider* [1]) brachten

[1]) B. R. Lutz and E. C. Schneider: Circulatory responses to low oxygen tensions, Am. Journ. of Phys., 1919, L. p. 228.

een aantal p.p. in ongeveer 20 min. op een hoogte van 6000 M. en hielden ze een uur of langer op dat niveau. Daarbij bleek, dat gedurende het stijgen der polsfrequentie begon toe te nemen en dat de maximum frequentie werd bereikt gemiddeld 14 min. na aankomst op 6000 M.) (kortste tijd 3, langste 38 min.). Wat het gedrag van den pols gedurende het verdere verblijf op 6000 M. betreft, konden zij 3 groepen onderscheiden: een kleine groep, bij wie de polsfreq. bleef stijgen; een grootere groep, bij wie zij verder nagenoeg constant bleef en een nog grootere groep, bij wie zij weer daalde. In hun samenvatting zeggen zij: „This maximum (heart rate) was maintained for some time in the majority of men, after which the rate returned in greater or less degree toward the normal rate." Dit „min of meer terugkeeren tot de normale frequentie" is eigenlijk nog wat te optimistisch uitgedrukt. Bekijkt men de tabellen van Lutz en Schneider, dan is er inderdaad een enkele p.p., die weer tot zijn normale frequentie terugkeert, de anderen vertoonen wel een daling, maar ook na meer dan een uur is hun polsfrequentie nog belangrijk boven de norm. In verband met deze gegevens liet ik mijn proefpersonen eerst telkens 12 min. verblijven op de hoogte, waarop ik wenschte te experimenteeren, alvorens met de proeven te beginnen; het zou te veel gevergd zijn, om telkens ongeveer een uur te wachten, om te zien of er misschien nog wijziging in de polsfrequentie zou optreden.

Beschouwen we nu de verkregen uitkomsten aan de hand van tabel II.

Kolom II geeft de polsfrequentie per minut in zittende houding. Bij alle p.p. zien we deze bij grooter wordende hoogte sterk toenemen. (Alleen bij n°. 5 is de polsfrequentie op 3000 M. lager, dan op 0 M.; ik teekende hier echter bij aan, dat p.p. bij het begin van het experiment wat nerveus was, welke nervositeit spoedig verdween). Verder blijkt, dat na toevoer van zuurstof op 6000 M. de polsfrequentie weer terugkeert tot de normale, zelfs *lager* wordt. Een uitzondering maakt alleen n°. 7, die wel van 105 op 78 komt, maar de grondfrequentie van 63 lang niet bereikt.

Kolom III geeft de polsfrequentie in staande houding. Het verloop is analoog met dat in kolom II: stijgen van de polsfreqentie bij stijgen in de atmosfeer; onmiddellijke terugkeer tot beneden de normale waarde bij zuurstof-toevoer op 6000 M. Alleen n°. 7 maakt ook hier weer een uitzondering; zijn polsfreqentie op 6000 M. met zuurstof is hooger dan die op den grond. Ik moet hierbij echter opmerken, dat de grond-proef en de andere proeven bij dezen p.p. op verschillende dagen zijn genomen; waarschijnlijk is de pols op den eersten dag toevallig zeer laag geweest. Ik had geen gelegenheid dit nog eens te controleeren, daar p.p. helaas intusschen als slachtoffer van zijn beroep is gevallen.

Kolom IV geeft de toename van de polsfrequentie bij het overgaan van zitten tot staan. (Dus het verschil tusschen III en II). Allereerst valt hier op de merkwaardige „standvastigheid" op alle hoogten van de polsfreqentie van n°. 2 en ook van n°. 3. De arbeid noodig voor het staan en de veranderde lichaamshouding hebben hier practisch geen invloed op de hartfrequentie. Bij de nos. 1, 5 en 6 zien we het verschil toenemen met de hoogte en na zuurstoftoevoer op 6000 M. weer dalen. Duidelijk blijkt hier de invloed van het zuurstof-gebrek op 6000 M., immers de spierarbeid noodig voor het staan voert de toch reeds verhoogde polsfreqentie nog eens extra op. Men bedenke namelijk wel, dat een toename van b.v. 20 bij een polsfreq. (zittend) van 90 een heel wat bedenkelijker symptoom is, dan eenzelfde toename bij een pols van 60. Schneider laat dit in zijn index ook zeer goed uitkomen; het laatste geval b.v. waardeert hij met een 2, het eerste met —1! (Zie ook onderstaande opmerking).

De nos. 4 en 7 vertoonen relatief hetzelfde beeld als de nos. 1, 5 en 6 al zijn de absolute getallen bij die twee niet zoo sprekend. Bij n°. 4, is het verschil in freq. op 6000 M. zonder zuurstof 12, met zuurstof 13; absoluut is er dus een geringe stijging van het verschil, maar weer dient men in het oog te houden, dat de sprong van 108 op 120 in het eerste geval veel ongunstiger is, dan die van 75 op 88 in het laatste. Voor n°. 7 geldt hetzelfde.

Opmerking. Het grooter worden der polsfrequentie op matige hoogte

TABEL II.

P.p. No.	Letter der proef	Hoogte	Pols										Syst. bloeddruk				Totaal cijfer
			zittend		staand		III—II		direct na oef.	V—III		terug tot III		zittend	staand	verschil		
		I	II	A	III	C	IV	B	V	VI	D	VII	E	VIII	IX	X	F	XI
1	a	0	57	*3*	64	*3*	7	*3*	96	32	*1*	30″	*3*	143	145	2	*2*	15
	b	3000	72	*2*	80	*3*	8	*3*	108	28	*1*	30″	*3*	122	126	4	*2*	14
	c	6000	84	*1*	104	*1*	20	*-1*	132	28	*-1*	60″	*2*	125	120	- 5	*0*	2
	d	6000 + O_2	56	*3*	68	*3*	12	*3*	96	28	*2*	30″	*3*	105	115	10	*3*	17
2	a	0	80	*2*	80	*3*	0	*3*	108	28	*1*	45″	*2*	145	165	20	*3*	14
	b	3000	84	*1*	84	*2*	0	*2*	108	24	*1*	45″	*2*	148	152	4	*2*	10
	c	6000	104	*-1*	104	*1*	0	*0*	128	24	*-1*	45″	*2*	152	155	3	*2*	3
	d	6000 + O_2	72	*2*	72	*3*	0	*3*	100	28	*1*	45″	*2*	132	142	10	*3*	14
3	a	0	85	*1*	88	*2*	3	*2*	108	20	*2*	30″	*3*	140	155	15	*3*	13
	b	3000	87	*1*	88	*2*	1	*2*	120	32	*0*	60″	*2*	150	166	16	*3*	10
	b[1]	3000 + O_2	72	*2*	80	*3*	8	*3*	96	16	*2*	60″	*2*	135	140	5	*2*	14
	c	6000	104	*-1*	104	*1*	0	*0*	116	12	*0*	15″!!	*3!*	165	142	-23	*-1*	2!
	d	6000 + O_2	66	*3*	68	*3*	2	*3*	96	28	*2*	45″	*2*	135	142	7	*2*	15
4	a	0	81	*1*	86	*2*	5	*2*	120	34	*0*	60″	*2*	120	130	10	*3*	10
	b	3000	84	*1*	96	*1*	12	*1*	128	32	*-1*	75″	*1*	124	140	16	*3*	6
	c	6000	108	*-1*	120	*0*	12	*-1*	144	24	*-2*	60″	*2*	132	129	- 3	*0*	- 2
	d	6000 + O_2	75	*2*	88	*2*	13	*2*	112	24	*1*	45″	*2*	124	136	12	*3*	12
	e	0	84	*1*	92	*1*	8	*2*	108	16	*1*	60″	*2*	122	128	6	*2*	9
	f	0 + O_2	81	*1*	88	*2*	7	*2*	108	20	*2*	45″	*2*	118	128	10	*3*	12
5	a	0	75*	*2*	76	*3*	1	*3*	88	12	*2*	30″	*3*	125	133	8	*3*	16
	b	3000	69	*3*	76	*3*	7	*3*	96	20	*2*	45″	*2*	118	120	2	*2*	15
	c	6000	84	*1*	92	*1*	8	*2*	108	16	*1*	75″	*1*	115	118	3	*2*	8
	d	6000 + O_2	60	*3*	64	*3*	4	*3*	76	12	*3*	30″	*3*	112	122	10	*3*	18
6	a	0	83	*1*	90	*2*	7	*2*	112	22	*1*	45″	*2*	137	155	18	*3*	11
	b	3000	93	*0*	96	*1*	3	*1*	116	20	*1*	75″	*1*	140	155	15	*3*	7
	c	6000	102	*-1*	112	*0*	10	*0*	—	col	laps	—	—	137	120	-17	*-1*	- 2!!
	d	6000 + O_2	81	*1*	88	*2*	7	*2*	108	20	*2*	45″	*2*	135	150	15	*3*	12
7	a	0	63	*3*	80	*3*	17	*2*	92	12	*2*	15″	*3*	128	128	0	*1*	14
	b	3000	90	*1*	92	*1*	2	*2*	120	28	*0*	75″	*1*	140	146	6	*2*	7
	c	6000	105	*-1*	112	*0*	7	*0*	128	16	*-1*	60″	*2*	138	170	32	*3*	3
	d	6000 + O_2	78	*2*	88	*2*	10	*3*	100	12	*2*	15″	*3*	156	175	19	*3*	15

OPMERKINGEN.

20 jaar — slapen en eetlust normaal — rookt matig — alcohol matig — weinig sport.
Bij c: cyanotisch; voelt zich goed.

22 jaar — slapen en eetlust normaal — rookt en drinkt matig — matig sport.
Bij c: gezicht bleek; voelt zich wat „vreemd" in hoofd en maag.

22 jaar — slapen en eetlust normaal — rookt en drinkt matig — weinig sport.
Bij c: cyanose van het gelaat; voelt zich „licht" in hoofd en maag, alsof hij „de hoogte" heeft; bij !! is de pols nauwelijks voelbaar.

20 jaar — slapen en eetlust normaal — rookt en drinkt matig — weinig sport.
Bij c: sterke cyanose.

25 jaar — slapen en eetlust normaal — rookt en drinkt matig — vrij veel sport.
Bij * polsfreq. waarschijnlijk wat hoog door nervositeit bij het begin der proef.
Bij c: lacherig; doet de oefening 6 keer; houdt er niet mee op, als ik na den 5en keer waarschuw, dat het genoeg is; voelt zich wat vreemd; lichte hoofdpijn, die na zuurstof-ademing dadelijk verdwijnt.

24 jaar — slapen en eetlust normaal — rookt matig — af en toe excessen in alcoholica — veel sport.
Bij c: voor het begin v. d. oefening, onder het opnemen v.d. syst. bloeddruk bij staan: plotseling *collaps*, pols niet voelbaar, sterke cyanose; komt na enkele teugen zuurstof weer bij en voelt zich dan weer goed; heeft het niet voelen aankomen. — Het totaal-cijfer —2 is dus zeker nog te hoog.

25 jaar — slapen en eetlust normaal — rookt veel, drinkt matig — matig sport.
Bij c: voelt zich: „kiplekker"; matige cyanose.

kan beschouwd worden als een poging van het hart tot aanpassing aan den toestand van zuurstofarmoede.

De *sterke* stijging van de polsfrequentie op de groote hoogte moet echter worden opgevat als een teeken van uitputting (noodsein). Vroeger beschouwde men deze stijging als een compensatie: door de verhoogde polsfrequentie zou de doorstrooming van de longen vergroot worden en in de eenheid van tijd dus meer zuurstof kunnen worden opgenomen. *Schneider en Truesdell*[1]), alsook *Barcroft c.s.* [2]) toonden experimenteel aan, dat de doorstrooming per tijdseenheid bij deze verhoogde polsfreqentie niet vergroot is. Het slagvolume van het hart is dus kleiner geworden; wij hebben niet te doen met een compensatie, maar met een vermoeidheidsverschijnsel. In overeenstemming hiermee is ook het feit, dat bij menschen, die slecht reageeren op geringen zuurstofdruk, op een gegeven oogenblik de hooge polsfrequentie plotseling daalt en collaps optreedt; het hart geeft het op.

Kolom V vermeldt de polsfrequentie per minuut dadelijk na de diepe knie-buigingen, geteld over 15 sec. Laten we p.p. n°. 6, die ik afzonderlijk wil bespreken, voorloopig buiten beschouwing, dan zien we, dat bij alle p.p. de pols frequenter is naarmate de hoogte grooter is, om bij O_2-toevoer weer ongeveer tot de grond-freqentie (na de oefening) terug te keeren. Van belang is het op te merken, hoe een betrekkelijk geringe spierarbeid bij deze jonge, gezonde, meest sportief ontwikkelde mannen, de polsfreqentie op 6000 M. doet stijgen tot gemiddeld 126. (laagste 108, hoogste 144).

In kolom VI vindt men de toename der polsfrequentie per min. tengevolge der oefening. De getallen in deze kolom zeggen wat hun absolute waarde betreft niet veel; merkwaardig is wel de constante toename op alle hoogten bij de nos. 1 en 2. Van groot belang is de

[1]) E. C. Schneider and D. Truesdell: Circulatory responses of man to anoxemia, Am. J. Physiol., 1924, LXXI, p. 90.

[2]) J. Barcroft and Others: Phil. Tr. Roy. Soc. London, Series B, CCXI, p. 351. (gecit. vlgs Bauer).

relatieve waarde dezer getallen, n.l. met betrekking tot de uitgangsfrequentie. Zoo beschouwd blijkt weer duidelijk de nadeelige invloed van de hoogte en de gunstige werking van den zuurstof-toevoer. De waardeeringscijfers in kolom D zijn hiermee in overeenstemming.

Kolom VII geeft het aantal seconden, dat na den arbeid verloopt, voor de polsfreqentie tot de norm (staande) is teruggekeerd.

Deze kolom is een der belangrijkste van de geheele tabel. Dat de polsfrequentie stijgt na lichaamsoefening is een zoo logisch verschijnsel, dat zelfs een vrij sterke stijging niets onrustbarends hoeft te zijn. Van veel grooter belang is echter of na be-eindiging van den arbeid het evenwicht in het organisme snel terugkeert, of het hart zich snel herstelt.

Op den grond noteerde ik voor mijn p.p. van 15 tot 60 sec. wat gunstige tijden zijn. (waardeeringscijfers volgens Schneider: 3 en 2).

P.p. n°. 5 vertoont „demonstratie"-tijden; op 0, 3000 en 6000 M. zijn ze resp.: 30, 45 en 75 sec., om op 6000 M. met zuurstof tot 30 terug te keeren.

Merkwaardig volhardend in zijn constantheid is n°. 2, die op alle hoogten 45 sec. liet noteeren.

N°. 1 demonstreert den invloed der 6000 M. door zijn regelmatige serie van 30 sec. te verbreken met 60 sec.

N°. 4 is wat onregelmatig, maar krijgt toch zijn besten tijd, als hij op 6000 M. zuurstof geademd heeft en n°. 7 geeft ook duidelijk den invloed van de geringe zuurstofspanning aan.

Blijft nog over te bespreken n°. 3, die op 0 M. 30 en op 3000 M. 60 sec. noodig heeft, welke stijging te verwachten is; op 6000 M. met zuurstof is zijn tijd 45 sec., maar op 6000 M. zonder zuurstof waar een langere tijd te verwachten zou zijn, verrast hij plotseling met 15 sec.! Op het eerste gezicht lijkt het of dit een zeer gunstig resultaat is, geheel in strijd met de andere uitkomsten. In werkelijkheid staat de zaak echter anders. Ik noteerde tijdens het experiment bij dezen p.p.: „op 6000 M. zonder extra zuurstof na de kniebuigingen sterke cyanose, de pols (art. radialis) is nauwlijks voelbaar, p.p. voelt zich „licht in het hoofd en in de maagstreek". Verwijzend naar het gezegde bij de be-

spreking van kolom IV, is het duidelijk, dat bij het terugkeeren van de polsfreq. tot de normale in 15 sec. hier geen sprake is van „zich herstellen" van het hart, maar van een „opgeven" na te groote inspanning onder de gegeven omstandigheden van zuurstofgebrek. P.p. was op dit oogenblik een collaps nabij; ik gaf hem dan ook snel een zuurstofmasker op met oogenblikkelijk gunstig resultaat. Dat collaps hier dreigde, daarop wijst ook het in de volgende kolommen vermelde groote verschil in negatieven zin van den systolischen bloeddruk zittend en staand gemeten.

Men zal mij misschien tegenwerpen, dat de Schneider-test voor dit onderzoek ongeschikt wordt, wanneer men een schijnbaar gunstige uitkomst naderhand als ongunstig moet aanmerken. Deze opmerking zou volkomen juist zijn, wanneer de experimentator niet anders doet, dan getallen noteeren; let hij echter ook op de klinische verschijnselen, dan zal het hem niet moeilijk vallen, als in bovenstaand geval, schijn en werkelijkheid van elkaar te onderscheiden. Ik gaf p.p. voor deze prestatie het cijfer, dat hem volgens de Schneider-index toekomt, n.l.: 3; ik plaatste er echter een uitroepteeken achter om aan te duiden, dat het minstens 3 te veel is.!

Kolom VIII en IX geven den systolischen bloeddruk resp. gemeten in zittende en in staande houding; kolom X het verschil dezer twee. (alles in mm. Hg.).

„*Blood pressure may or may not show a change*" (*Bauer.*) [1]). Daarmee is eigenlijk alles gezegd wat omtrent den bloeddruk op groote hoogte bekend is. Bij sommigen verandert ze niet, bij anderen stijgt ze, bij weer anderen daalt ze wat. Meestal wordt aangenomen, dat bij normaal op zuurstof-gebrek reageerende personen tegen de 6000 M. een stijging van 10 à 20 mm. optreedt; regel is dit echter niet. Wel is regel, dat de systolische bloeddruk plotseling daalt vlak voor een collaps.

Bekijken we de bloeddrukwaarden in zittende houding resp. op 0, 3000 en 6000 M. (zonder extra zuurstof), dan constateeren we bij de nos.:

[1]) Bauer, l.c., p. 89.

2, 3, 4 en 7 een stijging, bij 1 en 5 een daling. Toevoer van zuurstof op 6000 M. heeft bij allen een daling tengevolge, behalve bij n°. 7.

De systolische bloeddruk gemeten bij staande houding is op den grond bij alle p.p. hooger, dan die in zittende houding, behalve bij n°. 7, waar ze gelijk blijft. Ook op 3000 M. bestaat nog algemeen stijging van den bloeddruk bij overgaan van zitten tot staan. Op 6000 M. wordt het echter duidelijk anders. De nos. 2 en 5 vertoonen nog een geringe stijging, de nos. 1 en 4 daarentegen een geringe daling, de nos. 3 en 6 zelfs een sterke daling. Dit dalen van den bloeddruk bij spierarbeid is een veeg teeken; het waren dan ook juist de p.p. 3 en 6, die er klinisch het slechtst aan toe waren. (zie de opmerkingen bij de tabel).

P.p. n°. 7 vormt weer een uitzondering; ook op 6000 M. steeg zijn bloeddruk bij overgaan tot staan belangrijk. (32 mm.).

Na zuurstoftoevoer op 6000 M. is bij alle p.p. de systolische bloeddruk staand hooger, dan zittend; evenals op 0 M.

Over p.p. n°. 6 nog een enkel woord afzonderlijk. Zijn gegevens vertoonen op den grond en op 3000 M. geen bijzonderheden. Op 6000 M. was hij cyanotisch (wat ook nog normaal is); hij voelde zich naar zijn zeggen uitstekend. Dadelijk na het opnemen van den syst. bloeddruk in staande houding (die 17 mm. *lager* is, dan die in zittende houding) en dus nog vóór de lichaamsoefening werd zijn pols zeer klein, bijna niet meer voelbaar. Ik ging niet door met de proef, kreeg daartoe ook geen gelegenheid, want toen ik hem vroeg hoe hij zich voelde, bleef hij midden in zijn antwoord steken en collabeerde. Ik was bij al mijn proeven hierop voorbereid; een zuurstofmasker lag klaar voor het gebruik binnen mijn bereik, zoodat ik het den p.p. dadelijk voor het gezicht kon houden; na een paar inspiraties met zuurstof kwam hij dadelijk bij en voelde zich weer goed. P.p. verklaarde mij naderhand, dat hij het absoluut niet had voelen aankomen; hij had mij in antwoord op mijn vraag zelfs willen antwoorden: „Ik voel me heel goed," maar bleef, zooals gezegd, midden in dit antwoord steken. Dit is wel een geval van per-acute collaps, zooals die op de groote hoogte meer is waargenomen

en die juist omdat de menschen er door overrompeld worden zoo gevaarlijk kan zijn. De zorgelooze, euphorische stemming, die dikwijls aan de collaps voorafgaat, doet hen alle gevaar wegcijferen, zij voelen zich tot alles in staat en vergen juist daardoor ook dikwijls nog te veel van hun krachten, wat zich op de vermelde wijze kan wreken. Leerzaam was dit geval voor dezen p.p. in hooge mate; hij behoorde n.l. tot de groep vliegers, die het beter weten; die zeggen: mij zal niets gebeuren op groote hoogte; ik heb nog nooit wat bijzonders tijdens het hoogvliegen gevoeld; enz. Onnoodig te zeggen, dat deze p.p. geheel van zijn dwalingen bekeerd de caisson verliet.

Keeren we tot de tabel terug. In de kolommen A, B, C, D, E en F staan de waardeeringscijfers volgens den index van Schneider; elk cijfer heeft betrekking op het er onmiddellijk voor staand gegeven. Kolom XI bevat tenslotte de som dezer cijfers, het eindcijfer, waarnaar de p.p. wordt beoordeeld en geclassificeerd.

Op den grond behooren de nos. 1, 2, 5 en 7 tot de groep *uitstekend*, de nos. 3 en 6 tot de *zeer goeden* en n°. 4 tot de *goeden*. Al mijn p.p. behooren dus tot de physiek goeden en wel zijn toevallig alle drie groepen dezer „goeden" vertegenwoordigd, zij het ook, dat de besten het talrijkst zijn. Dit laatste is geen toeval, immers ik zocht mijn p.p. onder jeugdige vliegers, menschen, die uitgezocht zijn na een strenge geneeskundige keuring te hebben ondergaan.

Ook op 3000 en 6000 M. volgde ik ook het puntenstelsel van Schneider, niet om naar de verkregen eindcijfers de proefpersonen opnieuw in klassen in te deelen, maar alleen om de eindcijfers te kunnen vergelijken met het „grond"-eindcijfer. Het zou immers onjuist zijn om iemand, die tot de groep „uitstekend" behoort, op 3000 M. in een lagere groep onder te brengen, omdat zijn eindcijfers nu lager is. Hij blijft in zijn klasse geandhaafd; zijn physieke gesteldheid als zoodanig is gedurende den korten tijd van het experiment niet veranderd, alleen de omstandigheden zijn gewijzigd en onder deze nieuwe omstandigheden reageert hij anders. De eindcijfers verkregen bij experimenten *niet op*

den grond hebben dus alleen waarde voor vergelijking met het grondcijfer, absolute waarde (voor een classificatie) mag men er niet aan hechten. Dit in het oog houdend merk ik over de eindcijfers het volgende op.

Op 3000 M. hebben alle p.p. een lager cijfer, dan op den grond. Bij de nos. 1 en 5 (beide van de groep „uitstekend") is de daling gering (resp. van 15 op 14 en van 16 op 15); bij de overigen bedraagt ze van 3 tot 7 punten, willekeurig verdeeld over de drie groepen. De minst goede van de proefpersonen, n°. 4, heeft ook op 3000 M. het laagste cijfer.

Op 6000 M. (zonder zuurstof) dalen alle eindcijfers tot 3 of minder met uitzondering van n°. 5, die met het cijfer 8 ver boven de anderen uitsteekt.

P.p. n°. 3 heeft het eindcijfer 2; ik heb er reeds op gewezen, dat dit minstens 3 punten te veel is, omdat de gunstige tijd in kolom VII (15 sec.) slechts schijnbaar gunstig is. Deze p.p. was een collaps nabij, zijn werkelijk eindcijfer zou zeker negatief moeten zijn.

P.p. n°. 6 heeft ook het eindcijfer gekregen, dat hem met de beschikbare gegevens toekwam volgens den Schneider-index; zijn collabeeren is met -2 nog rijkelijk hoog gewaardeerd.

Ook n°. 4 kreeg het eindcijfer -2, zoodat dus blijkt, dat alleen de nos. 1, 2, 5 en 7, die tot de groep „uitstekend" behooren, op 6000 M. nog een positief eindcijfer hebben, al is het laag; de overigen van de minder goede groepen dalen allen onder nul. (Men herinnere zich, dat het minimum —11 is).

Zeer demonstratief blijkt uit deze eindcijfers de nadeelige invloed van het verblijf in ijle lucht op de physieke gesteldheid; het gemiddelde eindcijfer daalde van ruim 13 op den grond tot kleiner dan 2 op 6000 M.

Is nu de eigenlijke oorzaak hiervan de verminderde zuurstofspanning in de atmosfeer, dan moeten ook op 6000 M. alle eindcijfers hun oorspronkelijke hoogte weer bereiken, indien door extra zuurstof-toevoer de partieele zuurstofspanning in de inademingslucht weer tot normaal

is opgevoerd, terwijl alle andere omstandigheden blijven, zooals ze zijn.

Naar Amerikaansche gegevens is een zuurstofstroom van 5½ à 11 L. per minuut (gemeten bij de spanning ter plaatse) noodig om op 6000 M. de partieele O_2-spanning der inspiratie-lucht op normaal peil (ongeveer 160 mm. Hg.) te brengen. De juist benoodigde hoeveelheid ligt tusschen deze grenzen en is afhankelijk van de grootte der longventilatie. (*Bauer*) [1]). Ik gaf mijn proefpersonen als medegedeeld 7½ L. per minuut.

Het effect van den zuurstof-toevoer is niet twijfelachtig, als we de eindcijfers bekijken. *P.p. n°. 2 bereikt juist zijn oorspronkelijk eindcijfer weer, alle andere p.p. komen zelfs BOVEN hun grond-eindcijfer.* De „zwakste" broeders, de nos. 4 en 6 hebben ook nu het laagste eindcijfer (12); n°. 5, die op den grond het beste was, is dat ook nu en behaalt zelfs het maximum aantal punten (18).

Rest mij nog een enkel woord te wijden aan het feit, dat 6 van de 7 proefpersonen op 6000 M. met O_2 een hooger eindcijfer hebben dan op den grond. A priori was dit niet te verwachten. Eerder zou ik het omgekeerde verwacht hebben, immers de proef op 6000 M. met O_2 is telkens de laatste geweest van de serie, zoodat het geen verwondering zou hebben gebaard, indien onder invloed van de voorafgaande vermoeienissen en zuurstofgebrek de eindcijfers lager waren geweest. Mijn latere onderzoekingen brachten echter eenig licht op dit punt. Zooals gezegd was het zuurstof-apparaat bij deze proeven zoo gesteld, dat het ongeveer 7½ L. per minuut leverde. Bij analyse van de alveolairlucht (in rust) onder volmaakt dezelfde omstandigheden, als bij deze proeven, bleek de gemiddelde zuurstofspanning in de alveolairlucht bij een aantal p.p. te zijn: 127 mm., tegen normaal op den grond: 101 mm. De zuurstofvoorziening was dus op 6000 M. ruim.

Gelijk bekend, wordt aangenomen, dat bij een alveolaire zuurstofspanning van ongeveer 100 mm. het bloed, dat de longen verlaat,

[1]) Bauer, l.c., p. 154.

nagenoeg verzadigd is met zuurstof, zoodat de druk boven 100 mm. weinig effect zou sorteeren. (Bij 101 mm. bedraagt de verzadiging 96 %; bij 127 mm. 97½ %). Het geringe verschil lijkt mij niet voldoende, om het hoogere eindcijfer te verklaren.

Haldane veronderstelt, dat het bloed in de longen niet op alle plaatsen in dezelfde mate verzadigd wordt met zuurstof, althans niet bij oppervlakkige respiratie, omdat de ventilatie niet in alle deelen der longen even goed is. Een deel van het bloed wordt geheel verzadigd, een deel minder, met het resultaat, dat het gemengde bloed in de vena pulmonalis niet geheel verzadigd is met zuurstof. Indien deze opvatting juist is, zou het mogelijk zijn, dat bij een gevonden zuurstofspanning van 127 mm. in de alveolairlucht ook op de minder goed geventileerde plaatsen der longen de zuurstofdruk toch nog 100 mm. bedroeg, zoodat over de geheele linie de verzadiging beter wordt met als gevolg een betere verzadiging van het bloed in de vena pulmonalis. Op deze wijze zou het hoogere eindcijfer te begrijpen zijn.

Voor een snellere (en daardoor ook vollediger) oxygenatie van het bloed in de longen zou nog zijn aan te voeren, dat bij eenzelfde (te meer bij een hoogere) zuurstofspanning in de alveolairlucht de O_2-moleculen op 6000 M. (druk totaal 370 mm.) minder „hinder" hebben van de andere begeleidende lucht-moleculen, dan op den grond (druk 760 mm.), waardoor een snellere diffusie door het longepitheel kan plaats vinden.

Aan den anderen kant mag weer niet vergeten worden, dat op 6000 M. bij genoemden zuurstof-toevoer de CO_2-spanning in de alveolairlucht en derhalve ook in de weefsels kleiner was, dan op den grond (n.l. ongeveer 35 mm.), waardoor de zuurstof in de lichaamsweefsels minder goed door het bloed wordt afgegeven.

Welke de resultante is van deze mogelijke factoren is moeilijk thans aan te geven; waarschijnlijk is m.i., dat de hoogere eindcijfers te danken zijn aan een betere oxygenatie van het bloed tengevolge van rijkelijken zuurstoftoevoer. Hierop wijzen ook de uitslagen van de twee volgende proeven.

Proefpersoon n°. 3 gaf ik ook op 3000 M. rijkelijk zuurstof (proef b^1.). Zijn eindcijfer was toen 14, tegen op den grond 13. De lagere polsfrequentie over de geheele lijn op 3000 M. vergeleken bij die op 0 M. duidt op betere oxygenatie van het bloed.

Met p.p. n°. 4 herhaalde ik de proef op den grond, eerst zonder, daarna met extra zuurstof. (proeven e. en f.). Proef e. is goed in overeenstemming met proef a. Het effect van de (hier overbodige) zuurstoftoevoer is natuurlijk veel geringer, dan op 3000 of 6000 M., maar toch onmiskenbaar aanwezig; het eindcijfer stijgt van 9 tot 11.

Moge bij mijn proeven de zuurstoftoevoer dus iets aan den hoogen kant zijn geweest, waardoor mijn p.p. op 6000 M. wat de zuurstofvoorziening betreft in iets gunstiger conditie waren, dan op den grond, aan het resultaat der proeven doet dit niets af, n.l. dat *verhooging van den zuurstofdruk alleen* de „physical fitness" verbetert. Eigenlijk versterkt het zelfs dit resultaat, want het blijkt, dat bij voldoende verhooging van den zuurstofdruk men op 6000 M. zelfs boven de norm kan komen. Ik wil er overigens nog op wijzen, dat men de gevolgen van de bedoelde overmaat zuurstof niet moet overschatten; zooals boven vermeld kan de betere verzadiging van het bloed hoogstens enkele procenten bedragen.

In het kort samengevat blijkt uit dit experiment:

1. *dat de physieke gesteldheid der proefpersonen (gemeten volgens de Schneider test) zeer nadeelig wordt be-invloed door een verblijf op groote hoogte;*
2. *dat door verhooging van den partieelen zuurstofdruk tot ongeveer normaal in de inademingslucht, met gelijk laten van alle andere omstandigheden, de physieke gesteldheid op 6000 M. weer minstens even goed wordt, als op den grond;*

waaruit volgt de conclusie:

De eenige oorzaak van het slechter worden der physieke gesteldheid op groote hoogte (althans tot 6000 M.) is de verminderde partieele zuurstofspanning in de atmosfeer.

Verder wijzen de uitkomsten er op (het aantal gevallen is te klein om een zekere conclusie te trekken), dat men beter bestand is tegen de gevolgen van een verblijf op groote hoogte, naarmate men bij de Schneider test (op den grond) een hooger eindcijfer behaalt. Met behulp van deze proef zal reeds op den grond kunnen worden uitgemaakt, welke vliegers meer in het bijzonder geschikt zijn voor het uitvoeren van vluchten op grootere hoogte.

Waar ik in deze twee hoofdstukken aan de hand van anderer en eigen gegevens nogmaals heb mogen vaststellen, dat de oorzaak van het optreden der „hoogte-ziekte" is het *zuurstofgebrek* en waar ik in het licht stelde, dat de overgang van zuurstof uit de longlucht naar het bloed, althans onder omstandigheden, zooals die bij het vliegen voorkomen, alleen plaats heeft langs den weg der *diffusie*, zoodat de zuurstofspanning in het arterieele bloed hoogstens gelijk kan zijn aan die in de alveolairlucht, meen ik te kunnen concludeeren, dat in laatste instantie *de zuurstofspanning in de alveolairlucht* de overheerschende factor is bij een verblijf op groote hoogte. Alleen als deze spanning de normale op den grond benadert mogen we normale lichamelijke en geestelijke prestaties verwachten.

Volkomen terecht zegt *van Wulfften Palthe* [1]): „. . . . in laatste instantie vliegen wij, om het maar eens ruw uit te drukken, niet met ons hart of met onze ademhalingsfrequentie, doch met onze hersenen", maar ik zou er aan toe willen voegen, *dat ons hersenwerk afhankelijk is van de zuurstofspanning in onze longen.*

Het is derhalve van primair belang deze zuurstofspanning te kennen voor verschillende hoogten, onder verschillende omstandigheden, zonder of met extra zuurstoftoevoer. De grootte van deze spanning is

---

[1]) Van Wulfften Palthe, l.c., p. 81.

een aanwijzing voor de lichamelijke en geestelijke prestaties, die wij mogen verwachten; zij geeft bij extra zuurstoftoevoer onmiddellijk aan of deze toevoer al dan niet voldoende of onnoodig te groot is; het bepalen dezer spanning is een bruikbaar middel om uit te maken welke de absolute hoogtelimiet is voor den mensch, die ook bij zuurstoftoevoer (door een open masker) niet ongestraft kan worden overschreden.

Daarover in de volgende hoofdstukken.

HOOFDSTUK III.

KRITISCHE BESCHOUWINGEN OVER GEBRUIKTE APPARATEN EN TOEGEPASTE WERKWIJZEN.

Om den invloed van het verblijf op groote hoogte op den vlieger te bestudeeren, staan ons verschillende methoden ten dienste, waarvan de vier volgende de meest gebruikte zijn.

Allereerst kan men onder volkomen werkelijke omstandigheden experimenteeren, d.w.z. men neemt de proefpersoon in een vliegtuig mee omhoog en verricht daar de proeven. Het voordeel van deze methode is, dat alle factoren, die tijdens het vliegen optreden, hun invloed vrijelijk kunnen doen gelden. Er zijn echter ook vele nadeelen aan verbonden. De ruimte in een vliegtuig is altijd betrekkelijk gering; ook al maakt men gebruik van een groot verkeersvliegtuig, met de opstelling van een eenigszins groote apparatuur krijgt men toch moeilijkheden. Het vliegtuig is nooit geheel trillingsvrij, het is dikwijls aan schommelingen onderhevig; een en ander maakt b.v. nauwkeurige registratie vrijwel illusoir. Deze groote verkeersvliegtuigen, waarin men althans eenige bewegingsvrijheid heeft in de gesloten cabine, kunnen echter gemiddeld niet hooger dan ongeveer 5000 M. stijgen, zoodat men in de hoogte sterk beperkt is. Gebruikt men kleinere vliegtuigen, om hooger te kunnen komen, dan mist men de cabine en moet men de p.p. op een passagierszitplaats zetten. Hij zit hier open en bloot; de experimentator kan op zijn gunstigst zelf als vlieger meegaan en dan hoogstens af en toe een blik op de p.p. werpen. Van controle van de p.p. is geen sprake, deze is vrijwel aan zichzelf overgelaten en men moet

maar vertrouwen, dat hij het experiment naar behooren tracht te verrichten. *Van Wulfften Palthe* paste deze methode toe bij zijn aandachtsproeven. Hij ondervond er ook de nadeelen van. Ook voor zoover hij zelf als proefpersoon optrad kon hij de aanstreepproef van *Wiersma-Godefroy* niet tot haar volle recht laten komen. Zoo werd alleen de totale tijd voor de aanstreepproef benoodigd opgenomen; het noteeren van de tijden voor elken regel afzonderlijk moest achterwege blijven, terwijl het kennen van deze tijden bij deze proef juist van groot belang is voor het maken van de dispersie-kromme. Ook met deze kleinere vliegtuigen is men nog beperkt in de hoogte, als men 9000 M. haalt mag men al zeer tevreden zijn.

Behalve dat het experimenteeren in het vliegtuig bovendien zeer kostbaar is, is deze methode practisch dus alleen bruikbaar voor eenvoudige proeven, waarbij geen apparaten behoeven te worden opgesteld en waarbij de controle op de p.p. tot een minimum beperkt kan blijven, tenzij men (in een verkeersvliegtuig) alleen op betrekkelijk geringe hoogte wil experimenteeren.

Waar echter, zooals betoogd, practisch alleen de verminderde zuurstofspanning in de ademlucht de oorzaak is van de hoogte-verschijnselen en andere factoren, als lawaai, emoties, enz. een ondergeschikte rol spelen, kan men volstaan met proeven te nemen in een kunstmatige atmosfeer, waarin de O_2-spanning overeen komt met die op de hoogte, waarop men wenscht te experimenteeren.

Deze kunstmatige atmosfeer kan men op verschillende wijzen verkrijgen.

De stikstof-verdunningsmethode volgens Dreyer [1]).

De p.p. ademt door een mondstuk, de neus is dichtgeklemd. Hij ademt uit een reservoir, de uitademingslucht gaat door een ventiel naar buiten. In het reservoir wordt in constanten stroom buitenlucht

[1]) Reports of the Air Medical Investigation Commitee, n°. 2, England.

gebracht, welke in meer of mindere mate wordt vermengd met stikstof, die uit een hooge-drukflesch wordt toegevoerd. De totale druk van de ingeademde lucht is 1 atm.; door de verdunning met stikstof kan het zuurstofgehalte elke willekeurige waarde beneden 21 % krijgen.

De Henderson-Pierce rebreather [1]).

Hierbij ademt de p.p. door een mondstuk uit een reservoir, waarin zich bij het begin van het experiment een zekere hoeveelheid buitenlucht bevindt. Gedurende het experiment wordt deze lucht niet ververscht. De uitademing geschiedt weer in het reservoir, het geproduceerde koolzuur wordt geabsorbeerd. De zuurstof in het reservoir wordt dus langzamerhand verbruikt, het zuurstofgehalte der ademlucht wordt bij elke inspiratie geringer. De proef moet be-eindigd worden uiterlijk op het oogenblik, dat de p.p. dreigt te collabeeren; door gasanalyse bepaalt men het O_2-gehalte der lucht op dat oogenblik en berekent daaruit de bereikte hoogte. Ook hier blijft de totale spanning van de ademlucht steeds 1 atm. Het nadeel van dit apparaat is, dat men geen voortgezette proeven op een zekere hoogte kan nemen; de hoogte neemt immers bij elke ademhaling toe; bij het Dreyer-apparaat kan men daarentegen elke hoogte willekeurig lang nabootsen.

Beide apparaten zijn alleen geschikt om na te gaan welke hoogte een p.p. kan bereiken en welke verschijnselen hij op een zekere hoogte vertoont [2]). De zuurstoftoediening door zuurstof-apparaten kan met

[1]) Air Service Medical Manuel, War Dept., Washington, Government Printing Office, 1918.

[2]) Volgens *Kaiser* zou zelfs dit niet geheel juist zijn. De verschijnselen van O_2-gebrek bij een totalen druk van 1 atm. zijn volgens hem niet identiek met die op groote hoogte of in de onderdruk-caisson. Hier treden circulatie-veranderingen op, die bij een totalen druk van 1 atm. ontbreken. De bewusteloosheid zou bij luchtverdunning *eerder* optreden, dan men op grond van experimenten bij 1 atm. zou verwachten.

Ik heb nog geen nadere bevestiging van deze uitkomsten gevonden; het komt me voor, dat Kaiser weinig rekening met den factor *tijd* heeft gehouden.

W. Kaiser: Die Sauerstoffdrosselung in der Atemluft bei Atmosphärendruck; Zeitschr. für Flugtechnik und Motorluftschifffahrt, 1928, p. 489 en p. 225.

deze toestellen niet bestudeerd worden. Zij hebben beide het nadeel, dat de p.p., daar hij door een slang met mondstuk moet ademen, aan zijn plaats is gebonden, in zijn bewegingen is belemmerd en niet kan spreken.

Voor experimenten, waarbij men de werkelijkheid zooveel mogelijk wil benaderen of waarbij men de werking van zuurstofapparaten wil bestudeeren, zijn beide methoden niet te gebruiken. Beter voldoet dan de:

ONDERDRUK-CAISSON.

In principe is dit een luchtdicht gesloten kamer, waarin de lucht op elke willekeurige spanning kleiner dan 1 atm. kan worden gebracht en daarop kan worden gehouden, zoolang men wenscht, terwijl de lucht voortdurend wordt ververscht.

In deze kamer kunnen proefpersonen en experimentator zich vrij bewegen; allerlei apparaten kunnen er in worden opgesteld. Het groote voordeel van de caisson is, dat men zeer hoog kan stijgen onder gebruik maken van de gewone zuurstof-apparaten, zoodat de werking dezer apparaten en de invloed van zeer lage atmosferische spanningen rustig kunnen worden bestudeerd.

Ik maakte bij mijn experimenten gebruik van de onderdruk-caisson-installatie opgesteld in het Vlieg-medisch laboratorium der Militaire Luchtvaartafdeeling te Soesterberg, welke installatie ik tegelijk met de wijze van uitvoering mijner proeven hier uitvoeriger wil beschrijven.

De eigenlijke caisson bestaat uit den mantel van een ouden cylindrischen stoomketel, ongeveer 5 M. lang en 2½ M. in diameter. Deze ketel is liggende geplaatst en geheel omgeven door een houten betimmering (Afb. 1). In de voorzijde bevindt zich een deur van behoorlijke afmetingen, die met behulp van grendels, welke zoowel van binnen als van buiten kunnen worden bediend, luchtdicht tegen den ketelwand kan worden aangesloten. Buiten den ketel zijn twee electrisch gedreven pompen opgesteld, die de lucht uit den ketel kunnen zuigen. In den achterwand van den ketel is een klep aangebracht, die geheel gesloten of meer of

minder ver kan worden geopend en dan de buitenlucht toegang tot den ketel geeft.

Gedurende het normale bedrijf werken beide pompen steeds op volle kracht. Door nu de inlaatklep zoo te stellen, dat er minder lucht naar binnen stroomt, dan de pompen er uit halen, wordt de lucht in de caisson verdund, terwijl er toch steeds versche lucht binnenkomt.

De caisson-lucht wordt dus door de CO_2 van de uitademingslucht niet onbruikbaar gemaakt. De samenstelling der caisson-lucht was op drie verschillende dagen op 6000 M., nadat resp. 1, 2 en 2 personen gedurende ongeveer 1 uur in de caisson waren geweest:

CO_2 resp.: 0,35; 0,18 en 0,30 %;

O_2 resp.: 20,63; 20,64 en 21,07 %.

Op alle drie de dagen is het koolzuur-gehalte iets grooter dan normaal; op de eerste twee dagen het zuurstofgehalte iets onder normaal; de verschillen zijn echter te gering om de lucht niet als behoorlijk versch te mogen qualificeeren; den laatsten dag is het zuurstof percentage iets te hoog, deze proef werd echter genomen, omdat een der zuurstofapparaten lekte en ik den invloed daarvan wilde kennen.

Door de inlaatklep meer of minder te openen kan de „stijgsnelheid" worden geregeld; bij de meeste proeven bedroeg deze ongeveer 300 M. per minuut, dit komt vrijwel overeen met de stijgsnelheid van een goed klimmend vliegtuig. De stijgsnelheid wordt gecontroleerd op een vliegtuig-hoogte-meter (aneroid-barometer). Daar de schaalverdeeling dezer hoogtemeters meestal niet verder gaat dan 8000 M. en zij op zeer groote hoogte niet altijd zuiver zijn, gebruikte ik bij proeven boven 6000 M. een kwikbarometer, waarop ik dus de luchtdruk in de caisson direct in mm. Hg. kon aflezen, om daaruit de hoogte te berekenen.

Wil men in de caisson op een zeker niveau blijven, dan regelt men de inlaatklep zoo, dat er evenveel lucht binnenstroomt, als er uitgepompt wordt.

De pompen en de inlaatklep kunnen zoowel van binnen als van buiten bediend worden. Het laatste is regel; het neemt den experimentator veel werk uit handen en is bovendien een veiligheidsfactor van beteeke-

nis. De amanuensis, die den bedieningspost betrekt kan n.l. door een patrijspoort zien, wat er in de caisson gebeurt, zoodat hij in noodgevallen maatregelen kan nemen. Het bedieningshandwiel van de inlaatklep is binnen zijn bereik, bovendien kan hij nog door een kraan van ongeveer 3 c.m. doorsnede lucht inlaten, door welke kraan hij ook zuivere zuurstof uit een groote flesch met 150 atm. kan laten binnenstroomen. Op een hoogtemeter voor de patrijspoort in de caisson geplaatst kan ook hij de luchtverdunning controleeren. De communicatie tusschen experimentator en bedieningspost geschiedt door afgesproken teekens of briefjes; er is ook een telefonische verbinding, die echter bij het lawaai van de diverse motoren en de resonantie van den ketel vrijwel illusoir is.

Aan een zijkant van de caisson is een sluisje gebouwd, waardoor het mogelijk is voorwerpen van binnen naar buiten te brengen of omgekeerd, ook al is men binnen op groote hoogte. Deze sluis wordt naar de binnen en naar de buitenzijde afgesloten door een patrijspoort. Wil men een voorwerp van buiten naar binnen brengen, dan zorgt men eerst door een kraan te openen, dat de druk in de sluis gelijk wordt aan dien van de buitenlucht. De buitenpatrijspoort kan dan geopend worden, het voorwerp wordt in de sluis gelegd en de poort luchtdicht gesloten. In de caisson wordt nu een tweede kraan geopend, die tot nu toe gesloten was, en waardoor de lucht uit de sluis in de caisson stroomt tot de druk in beide gelijk is. Daar de inhoud van de sluis gering is, stijgt de druk in de caisson niet merkbaar. Nu kan de binnen-patrijspoort geopend en het voorwerp uit de sluis genomen worden.

De verlichting van het binnenste der caisson geschiedt om veiligheidsredenen van buiten af. Boven in den ketel zijn twee rijen van 5 gaten (ongeveer 25 cm. diameter) aangebracht, afgesloten door dik dubbel glas. Boven elk dezer openingen hangt een „zonlicht"-lamp, zoodat de caisson goed en vrijwel diffuus wordt verlicht. Om het warm worden en daardoor springen der glasplaten te voorkomen, wordt door een ventilator voortdurend een luchtstroom over deze platen gevoerd.

Tot meerdere benadering van de werkelijkheid kan de geheele caisson

door middel van een koelinstallatie tot maximaal ongeveer 20 gr. C. onder nul worden afgekoeld. Daar het echter zeer lang duurt eer een behoorlijke koude-graad is bereikt en de invloed van de lage temperatuur buiten mijn werkprogramma viel, werd deze koel-installatie door mij niet gebruikt. (Overigens zou ik in overeenstemming met mijn werkhoogte tot minus 55 gr. C. moeten kunnen koelen en dit was met de installatie toch niet te bereiken).

Van binnen is de caisson als volgt ingericht. (Zie afb. 2, die door de deuropening is genomen). Langs den rechterwand is een werktafel geplaatst van ongeveer 3 M. bij 60 cm. Hierop is dus voldoende ruimte voor het opstellen van apparaten. Voor de tafel staan 5 tabouretjes voor de inzittenden, als regel gaan niet meer dan 5 personen tegelijk in de caisson. Links over de geheele lengte loopt een stang met eenige handwieltjes; hiermee wordt de inlaatklep geregeld, de experimentator kan dus, waar hij zich ook in de caisson bevindt, met een enkele handgreep het ventiel verstellen. Vooraan links op de afbeelding ziet men nog juist een deel van den schakelaar der luchtpompmotoren. Boven de werktafel zijn 5 zuurstof-apparaten opgesteld; de 5 inzittenden hebben dus ieder een eigen toestel. De zuurstof wordt voor elk apparaat door een aparte leiding aangevoerd uit de groote flesch, die achter in de caisson staat.

Op afb. 1 ziet men een zijkant en een deel van den voorkant der caisson. In het naar voren aangebouwde gedeelte bevindt zich de toegangsdeur naar de caisson (deze is op de afb. niet zichtbaar). Door het openstaande deurtje in de buitenbetimmering ziet men den ketelwand. De 2 (witte) geïsoleerde buizen behooren tot de koelinstallatie. De (zwarte) buis, tusschen de beide vorige zichtbaar, is de gemeenschappelijke zuigbuis der twee luchtpompen. In deze buis is (tusschen de twee flenzen) een veiligheidsventiel aangebracht, dat het plotseling binnenstroomen van lucht bij een defect aan de pompinstallatie verhindert. Boven de caisson ziet men eenige der zonlichtlampen. De twee kabels, die uit den voorwand van den ketel treden, bevatten de elec-

trische geleidingen voor de pompenschakelaars binnen de caisson.

Aan den zijkant bevinden zich de bedieningspost en de sluis. Bij den bedieningspost ziet men van voor naar achter, resp.:

het handwiel voor bediening van de inlaatklep (dit correspondeert met de stang binnen de caisson).

de telefoongeleidingen.

de kraan voor extra-luchttoevoer, waarop de iets verder staande zuurstofflesch door middel van een dunne (in een bocht hangende) buisleiding is aangesloten.

de patrijspoort (waarvan op de afb. de afsluiting openstaat).

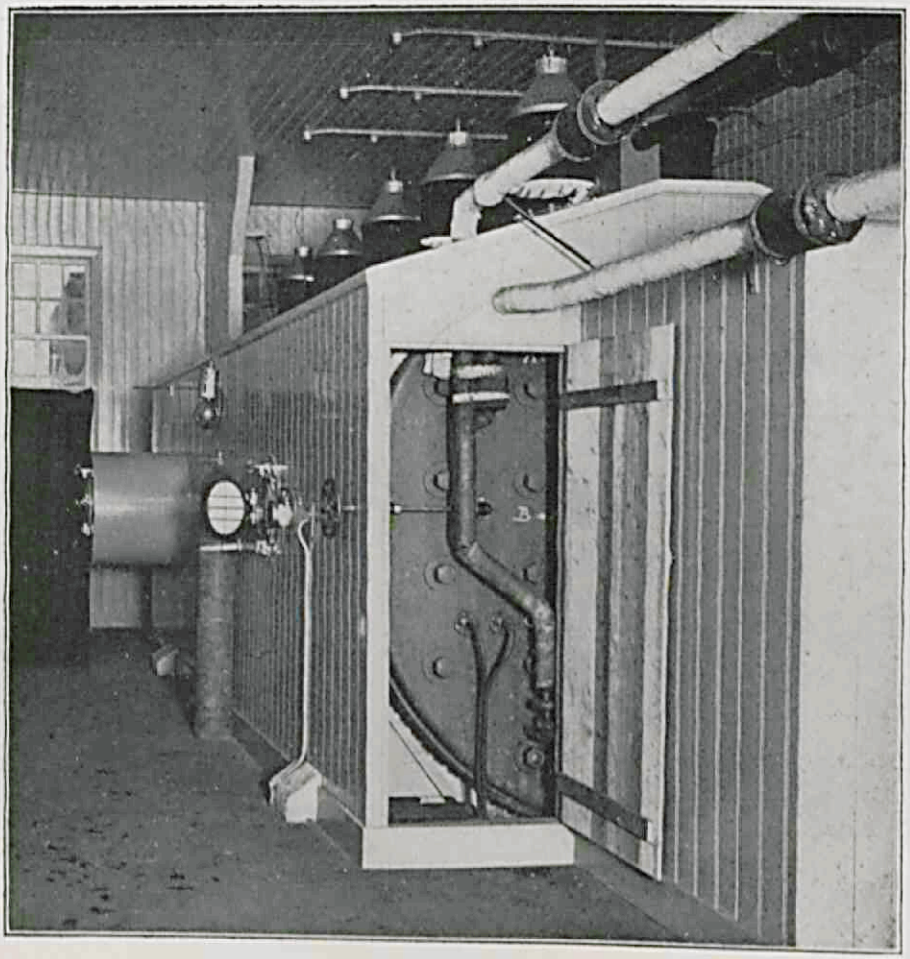
Op afb. 2 ziet men behalve het reeds vermelde: 6 der lampen, een klok, een hoogte-meter en den luidspreker der telefooninstallatie. De ketel is ook van binnen betimmerd en licht geverfd.

Na het bovenstaande zal het duidelijk zijn, dat de onderdruk-caisson een prachtige gelegenheid biedt, om gegevens te verkrijgen over het verblijf op groote hoogte. Men kan er hoogten in bereiken, die door luchtvaartuigen eerst in de toekomst misschien zullen worden gehaald; men kan op elke hoogte zoolang vertoeven, als men dat nuttig oordeelt en (niet het minst) men heeft er voldoende ruimte en rust om goed te experimenteeren. Aan de andere zijde wordt de werkelijkheid zeer goed benaderd; voor het voornaamste, de lage atmosferische druk, maakt het geen verschil of men zich werkelijk op b.v. 12.000 M. bevindt of op gelijke hoogte in de caisson.

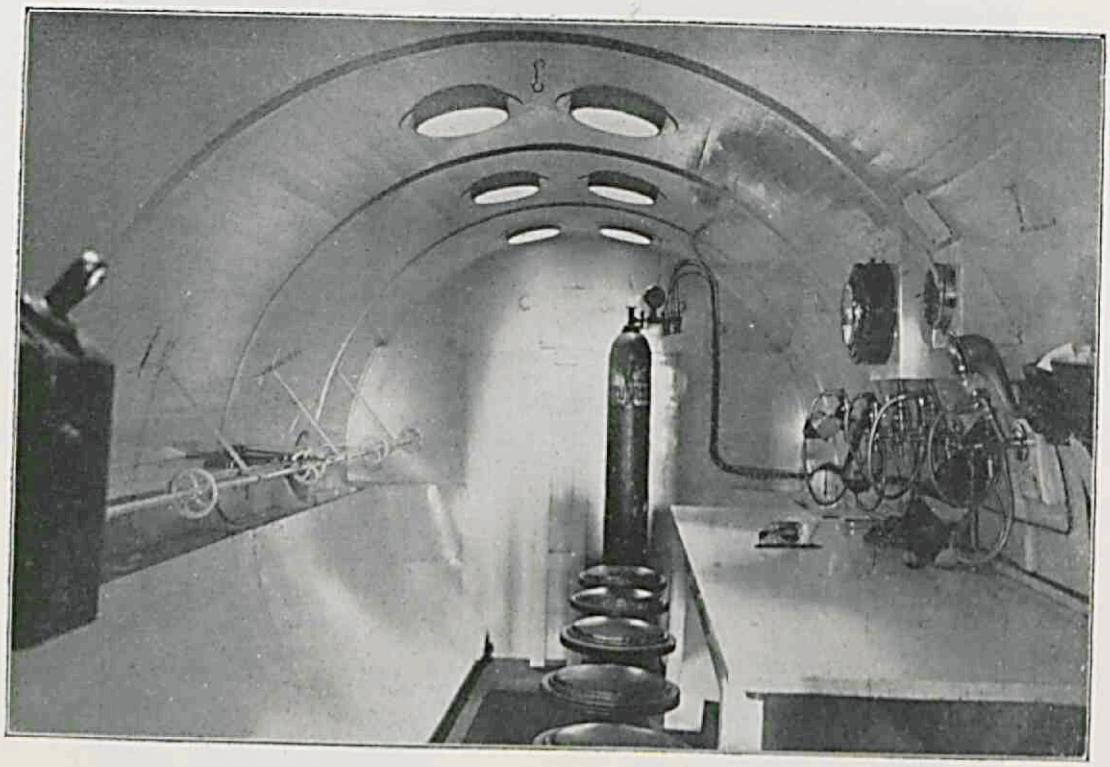
De zeer lage tamperatuur van —56° C., die boven 12.000 M. heerscht, kan in deze caisson niet worden nagebootst.

Wil men dus op grond van caisson-experimenten conclusies voor de werkelijkheid trekken, dan zal het temperatuursverschil zooveel mogelijk in rekening moeten worden gebracht, tenzij ook in de werkelijke omstandigheden op één of andere wijze voor een normale temperatuur wordt zorg gedragen.

Men mist in de caisson ook het lawaai van motoren en propellers en de emotie van het (hoog-)vliegen. Een groot bezwaar is dit niet; aan



Afb. 1. Onderdruk-caisson. (uitwendig). Beschrijving in den tekst.



Afb. 2. Onderdruk-caisson. (inwendig). Beschrijving in den tekst.

het lawaai in een vliegtuig raakt men snel gewend en de emotie van het vliegen zal weldra niet grooter zijn, dan die van een bootreis. Bovendien heerscht in de caisson ook allerminst stilte en is ook de caissontocht voor de meeste proefpersonen niet zonder emotie.

Alles bijelkaar genomen mag men de gegevens in de caisson verkregen in het algemeen als direct voor de practijk bruikbaar beschouwen.

HET ZUURSTOF-APPARAAT.

Obear [1]) stelt de volgende eischen aan een zuurstof-apparaat voor vliegers.

1. Het apparaat moet den vlieger op elke hoogte *automatisch* voldoende zuurstof leveren om het ontbrekende op die hoogte aan te vullen. Physiologisch wordt de vlieger daardoor op 0 M. gebracht.
2. De vlieger moet ten allen tijde kunnen zien over hoeveel zuurstof hij nog beschikt.
3. De vlieger moet kunnen zien of er zuurstof naar het masker stroomt.
4. Het apparaat moet zoo klein en licht mogelijk zijn.

Bij deze eischen is het volgende op te merken.

ad 1. De bedoeling is, dat de partieele zuurstofdruk in de ademingslucht ongeveer 160 mm. wordt. Deze eisch kan dus alleen gelden voor hoogten, waar de totale atm. druk 160 mm. of meer bedraagt; op grootere hoogten kan (tenzij zeer bijzondere voorzieningen worden getroffen) aan dezen eisch niet worden voldaan.

De toevoer moet automatisch geregeld worden, bij hooger stijgen moet de O_2-toevoer toenemen. Dit wordt bij de meeste apparaten verkregen met behulp van aneroïden, luchtdichte trommels, die uitzetten naarmate de atm. druk afneemt en daardoor middels hefboomen de toevoer-opening der zuurstof vergrooten. Bij niet automatische

[1]) G. B. Obear: A note on oxygen supply for aviators; Air Serv. Inf. Circ. 1920, I, N°. 3, p. 45.

apparaten moet de vlieger zelf den zuurstof-toevoer naar gelang van de hoogte regelen. Dit heeft het bezwaar, dat het dikwijls vergeten of opzettelijk achterwege gelaten wordt, omdat de vlieger „niets bijzonders" voelt. Bij het automatisch apparaat wordt hem alle werk uit handen genomen, wat de veiligheid verhoogt, mits het toestel dan ook betrouwbaar is en steeds voldoende zuurstof levert. Op groote hoogte schijnt dit laatste nog al dubieus te zijn, althans bezitten alle moderne apparaten een inrichting, waardoor met een enkele handgreep het regelende deel van het apparaat kan worden uitgeschakeld, om in noodgevallen de zuurstof vrij naar het ademmasker te laten stroomen. Het „automatische" van die toestellen is dus ook maar beperkt.

ad 2. Hiervoor dient een hooge-druk-manometer, die den druk van de resteerende zuurstof in het reservoir aangeeft.

ad 3. Dit kan qualitatief geschieden door een molentje in den zuurstofstroom te plaatsen, dat dus draait zoolang er zuurstof naar het masker stroomt of quantitatief volgens het principe van den aërodromometer of rotameter.

ad 4. Deze eisch is in de laatste jaren, nu men bij een vliegtuig op een K.G. meer niet meer zoo kijkt als vroeger, niet zoo dringend; het blijft natuurlijk juist om zoo licht en klein mogelijk te construeeren, maar eerste eisch is, dat daardoor de veiligheid niet in het gedrang komt.

In principe bestaat elk zuurstof-apparaat uit: een zuurstofreservoir, een reduceer- en regelapparaat en een ademmasker.

Het reservoir is als regel een stalen flesch, waarin de O_2 onder een druk van 150 atm. wordt meegevoerd. (Vloeibare O_2 wordt in vliegtuigen practisch niet meer gebruikt).

Het reduceerventiel reduceert den hoogen druk der zuurstof (150 atm. of minder, naarmate er zuurstof is verbruikt) tot een vrij constanten druk, bij verschillende apparaten wisselend tusschen 1½ à 3 atm.

Soms ontbreekt het, zoms zijn er twee in serie.

Het regelings-mechanisme regelt den zuurstoftoevoer; dit geschiedt automatisch of door bijstellen door den vlieger.

Het ademmasker is een belangrijk onderdeel. Het moet mond en neus bedekken, maar tegelijk klein en licht zijn; het moet behoorlijk tegen het gezicht aansluiten, zonder hinderlijk te drukken; boven alles mag het de ademhaling niet in het minst belemmeren. Ik gebruikte bij mijn proeven een aluminium maskertje met rubber rand, in den handel gebracht door de Société Aëra te Parijs. Het laat zich gemakkelijk naar het gezicht vervormen en is daardoor bijna steeds passend te maken. De zuurstof stroomt vrij binnen (iets beneden den mond) uit een dwarsverloopend buisje, waarin naar boven gerichte gaatjes. Tegenover mond en neus zit een ruime vrije expiratie-opening. De zuurstof stroomt in zoo'n masker continu naar binnen; het deel, dat niet ingeademd wordt gaat door de uitlaatopening naar buiten en is verloren. Bij de inspiratie wordt door de uitlaatopening ook buitenlucht aangezogen, die vermengd met de toestroomende zuurstof de inademingslucht vormt. Van de hoeveelheid toegevoerde zuurstof en het ademvolume hangt de mate van vermenging der zuurstof met buitenlucht af.

Het gebruik van ventielen in het masker in welken vorm ook lijkt mij af te raden. Niet alleen belemmeren zij de respiratie altijd min of meer, maar bovenal condenseert de waterdamp uit de expiratie-lucht er op, wat hun effect vermindert, terwijl bij gebruik in open vliegtuigen dit water al spoedig bevriest, waardoor de ventielen vast gaan zitten en zoodoende een direct gevaar vormen. In hoeverre dit bevriezen zou kunnen worden voorkomen, door electrische verwarming van het masker, die soms wordt toegepast, vermag ik niet te beoordeelen; het lijkt mij nogal problematisch. Een inspiratie-ventiel kan m.i. geen enkel voordeel opleveren. Theoretisch zou de zuurstof-toevoer tijdens de expiratie er door verhinderd moeten worden, zoodat er geen zuurstof wordt verspild. Practisch is dit niet uitvoerbaar (tenzij men een apparaat construeert, dat geheel afwijkt van het gebruikelijke type, zooals het later te beschrijven Dräger-apparaat.), daar de zuurstof onder overdruk toestroomt en het ventiel eerst gesloten zou zijn, als de expiratie-druk in het masker dezen druk overwint. Dan zou de expiratie

echter zeer belemmerd worden. Een inlaatventiel met een tegendruk, die evenwicht maakt met den overdruk der toestroomende zuurstof, is natuurlijk geheel uit den booze, omdat daarbij de hoeveelheid toegevoerde zuurstof afhankelijk wordt van het vacuum, dat bij de (zeer bemoeilijkte) inspiratie in het masker zou ontstaan.

Een expiratie-ventiel geeft het voordeel, dat tijdens de inspiratie geen (of tenminste minder) buitenlucht wordt aangezogen, zoodat de zuurstof onvermengd wordt ingeademd. Vooral op zeer groote hoogte is dit ongetwijfeld een voordeel. Daar ik over deze quaestie geen gegevens vond, verrichtte ik hierover eenige proeven, waarop ik later terugkom. (Zie pag. 106 e.v.).

Hier moge ik echter nu al opmerken, dat m.i. de voordeelen, die ventielen bieden niet opwegen tegen de gevaren er aan verbonden, althans bij gebruik in open (dus niet verwarmde) vliegtuigen.

Het gebruik van een mondstuk voor de zuurstof-ademing komt voor vliegers niet in het geding.

Na deze algemeene opmerkingen moge voor goed begrip de korte beschrijving van een tweetal moderne vlieger-zuurstof-apparaten hier volgen.

Inhalateur d' oxygène système Munerelle. (*Société Aëra.*)

De zuurstof wordt uit de hooge druk-flesch gevoerd naar een reduceerinrichting, waar haar spanning onafhankelijk van den druk in de flesch wordt teruggebracht tot een van lagere en constante grootte. (deze spanning geeft de firma niet aan, ze bedraagt waarschijnlijk 2 à 3 atm.). Vóór het reduceerventiel zit op de hooge-drukleiding een manometer, die den resteerenden druk in de flesch aangeeft, zoodat men steeds kan aflezen hoeveel zuurstof nog ongeveer voorradig is. Van de lage-drukkamer gaat de zuurstof naar een cylinder, waarin een zuiger kan bewegen, welke beweging wordt geregeld door eenige aneroïden. Daalt de atmosferische druk, dan zetten de aneroïden uit, waardoor de zuiger wordt verplaatst en een grootere opening voor den zuurstofstroom

vrij komt. De zuurstof stroomt dan verder naar het masker. Tusschen reduceerventiel en regelingsmechanisme bevindt zich een glazen cylinder, waarin een schijfje naar gelang van de sterkte van den zuurstofstroom meer of minder hoog wordt opgelicht; dit schijfje loopt langs een schaalverdeeling, waarop de toevoer in liters (van 760 mm.) per uur kan worden afgelezen.

In geval van nood kan door één handbeweging het aneroïden-systeem worden uitgeschakeld, zoodat de zuurstof rechtstreeks van de lagedrukkamer naar het masker kan stroomen.

Volgens de fabrieksafstelling levert dit apparaat op 10.000 M. bijna 7 L./min.

Overeenkomstig met bovenstaande zijn de meeste zuurstof-apparaten geconstrueerd. Geheel afwijkend van dit systeem is:

Dräger's Lungen-automatisches Sauerstoff-Höhenfahrt-Gerät.

De zuurstof uit de hooge-drukflesch wordt eerst door een reduceerventiel op een spanning van ongeveer 3 atm. gebracht. (een manometer wijst weer den overblijvenden druk in de flesch aan). Zij stroomt dan door een afsluit-kraan naar een „zuig-sproeier", d.w.z. het zuurstofkanaal eindigt in een fijne opening, de hier uittredende zuurstofstraal zuigt uit een zijopening buitenlucht aan. Deze zijopening is verstelbaar. Het lucht-zuurstofmengsel komt nu in een ademzak. Wanneer deze zak gevuld is, wordt bovengenoemde kraan automatisch gesloten en kan dus geen zuurstof meer toestroomen. Van den ademzak voert een wijde slang naar het ademmasker, dat voorzien is van ex- en inspiratieventielen. Bij een inademing sluit zich het expiratie-ventiel en kan dus alleen het mengsel uit den zak (door het inspiratie-ventiel) worden aangezogen. Daardoor wordt de zak leeggezogen, de wanden vallen samen. In één der wanden is een metaalplaat aangebracht, die bij het samenvallen der wanden opnieuw tegen een hefboom drukt, waardoor bovengenoemde afsluitkraan wordt geopend en zuurstof met lucht in den zak kan stroomen. Is de zak gevuld, dan houdt de druk op den hefboom op en sluit de kraan zich weer. De ademhaling zelf regelt dus

den toevoer van zuurstof uit de flesch. Bij een uitademing sluit het inspiratie-ventiel den ademzak af; de uitgeademde lucht ontwijkt door het expiratie-ventiel naar buiten.

De zij-opening, waardoor de bijgemengde buitenlucht toestroomt, is als gezegd verstelbaar; hoe hooger de vlieger komt, hoe kleiner deze opening moet worden gemaakt, tot ze op zekere hoogte geheel gesloten is en dus zuivere zuurstof wordt geademd. Dit verstellen moet door den vlieger zelf geschieden.

In noodgevallen en op zeer groote hoogte kan de ademzak geheel buiten werking worden gesteld; de zuurstof stroomt dan onafgebroken van de lage-drukkamer naar het masker.

Evenals het vorige, ken ik dit apparaat niet uit de practijk; andere gegevens er over, dan de beschrijving der fabrikante, staan mij niet ten dienste. Ik moet dus op deze gegevens afgaan en dan lijkt dit systeem van Dräger mij voor vliegers geen vooruitgang. (ik spreek hier niet over de op overeenkomstige wijze werkende z.g. „Pullmotor", die voor gebruik op den grond bedoeld is).

Mijn bezwaren tegen ventielen (die bij dit systeem onmisbaar zijn) heb ik reeds geopperd. Ik kan daar nog aan toevoegen, dat deze ventielen alleen dan goed zullen functioneeren, als het masker luchtdicht tegen het gezicht afsluit; dit is lang niet gemakkelijk voor langeren tijd te verkrijgen. Bovendien wordt, waar het inspiratie-ventiel geheel aan het ademzak-einde van de wijde adembuis zit, de schadelijke ruimte der ademhaling vergroot met den inhoud van masker plus buis. Gevolg hiervan is, dat de koolzuurspanning in de alveolairlucht niet onbelangrijk kan stijgen, naar de fabriek opgeeft wel tot 60 mm. Dit is vooral op zeer groote hoogte beslist een nadeel, want elke mm. koolzuur meer gaat ten koste van den zuurstofdruk.

Laten we het bezwaar van den vrij grooten (ik meen 8 L.) ademzak met beschermingsinrichting, dien de vlieger met een riem aan het lichaam moet bevestigen en die hem zeker in zijn bewegingen zal belemmeren, buiten beschouwing, dan blijft nog, dat de vlieger zelf voortdurend den

luchttoevoer tijdens het stijgen moet bijregelen. Vergeet hij dit, dan krijgt hij een te arm mengsel toegevoerd. „Automatisch" kan dit apparaat dan ook moeilijk genoemd worden.

Een voordeel van het apparaat zou moeten zijn, dat in tegenstelling met andere toestellen geen zuurstof nutteloos wegstroomt tijdens de expiratie. Hierop kom ik terug.

Het apparaat levert tusschen 10.000 en 12.000 M. ruim 8 L. zuurstof van 760 mm. per minuut.

De apparaten, die ik bij mijn onderzoek gebruikte, waren van eenvoudiger constructie; ze zijn als de vorige resp. van de huizen Aëra en Dräger.

Het Aëra-apparaat is weer één met automatische regeling van den zuurstoftoevoer, n.l. de: *inhalateur d'oxygène système Gourdon-Leseurre, à réglage automatique du débit en fonction de l'altitude.*

Het reduceerventiel ontbreekt hier. Het eigenlijke apparaat bestaat uit een aluminium doos, in welker bodem 2 openingen met slangaansluitingen zijn, één voor den zuurstoftoevoer uit de hooge-drukflesch, één voor den zuurstof-afvoer naar het masker. In deze doos bevinden zich 2 aneroid-trommels, die door middel van een stel hefboomen in verbinding staan met een conus, die op den grond de toevoeropening afsluit. Het inwendige van de doos, welke overigens luchtdicht is, staat via de afvoerslang naar het masker in communicatie met de buitenlucht. Stijgt men met dit apparaat, dan daalt de luchtdruk in de doos, de aneroïd-trommels zetten uit. Deze uitzetting wordt via de hefboomen overgebracht op den afsluitenden conus, totdat op zekere hoogte (dit is vooraf met een schroef te regelen; de fabriek geeft als goede hoogte op 3000 M.) de afsluiting wordt geopend en zuurstof uit de flesch in de doos stroomt. Daardoor wordt de spanning in de doos weer grooter, de aneroïden worden samengedrukt, de conus sluit den toevoer weer af. Intusschen stroomt de zuurstof uit de doos naar het masker, de druk in de doos wordt weer geringer en het spel herhaalt zich. Zoo ontstaat theoretisch een stootsgewijze toevoer van

zuurstof, wat practisch resulteert in een vrij constanten O_2-stroom. Tusschen doos en masker is in de zuurstofleiding een klein molentje opgenomen, dat draait, zoolang er zuurstof door de leiding stroomt.

Het is gemakkelijk in te zien, dat de spanning in de doos op alle hoogten dezelfde moet zijn, zoolang er O_2 wordt geleverd. Zij het apparaat zoodanig afgesteld, dat het op 4000 M. begint zuurstof te leveren, dan wil dat zeggen, dat de aneroïd-trommels den zuurstoftoevoer openen zoodra de druk in de doos lager wordt dan 460 mm. (de luchtdruk op 4000 M.) en dezen weer afsluiten, als de druk boven 460 mm. zou komen door het binnenstroomen van zuurstof. De druk in de doos schommelt dus om de 460 mm. De druk in het masker wordt echter geringer naarmate men hooger stijgt, het drukverschil tusschen doos en masker wordt dus met toenemende hoogte grooter, waardoor de hoeveelheid naar het masker gevoerde zuurstof met de hoogte toeneemt.

Om de spanning in de doos te controleeren verbond ik een been van een open kwikmanometer met de aansluiting voor een tweede masker aan de doos, die normaliter gesloten is. Ik kon zoo op elke hoogte den overdruk in de doos meten; de som van dezen overdruk en den barometerstand gaf de totale spanning in de doos. Het apparaat, dat ik gebruikte, was afgesteld op 4000 M. Het resultaat was als volgt:

Hoogte (M.)	Barom. stand (mm.)	Overdruk (mm.)	Druk i/d doos (mm.)
4200 (begin O_2-stroom)	450	7	457
5000	406	34	440
6000	359	72	431
7000	317	106	423
8000	279	143	422
9000	247	175	422

Na een geringe daling blijft de druk vrijwel constant op 422 mm.; maar is lager dan te verwachten was. (n.l. 460 mm.). Zeer waarschijnlijk komt dit, doordat de druk in de flesch bij deze metingen slechts 50 atm. bedroeg. (Zie hieronder).

Volgens fabrieksopgave levert dit apparaat, indien het is afgesteld op 3000 M., op 3500 M. ½ à 1 L. en op 8000 M. 2½ à 3 L. zuurstof van 760 mm. per minuut.

Daar het voor mij van belang was te weten hoeveel zuurstof de apparaten, zooals ik ze gebruikte, leverden op verschillende hoogten, verrichtte ik een serie metingen, waarvan het resultaat als volgt was:
Apparaat A, afgesteld op 4000 M. (bij 100 to 90 atm. i/d flesch).
Apparaat B, „ „ 2000 M. („ 80 tot 70 „ „ „).

Hoogte in M.	app. A. geleverde O_2 p. min. in L.		app. B. geleverde O_2 p. min. in L.	
	ter plaatse.	van 760 mm.	ter plaatse.	van 760 mm.
3000	—	—	3	2,1
5000	3,5	2,0	—	—
6000	5	2,4	7,2	3,4
9000	9,5	3,1	11,5	3,8
12000	13,5	3,0	16,5	3,7

Op deze gegevens kom ik in het volgende hoofdstuk terug. Hier moge ik alleen opmerken, dat boven 9000 M. de hoeveelheid geleverde zuurstof (gemeten bij 760 mm). niet meer toeneemt met de hoogte, maar vrijwel constant blijft, waarschijnlijk zelfs iets afneemt. Verder bleek bij de metingen, dat de spanning van de zuurstof in de flesch bij dit apparaat van invloed is op de zuurstoflevering; zoo vond ik met app. A. op 6000 M. bij 90, 50 en 30 atm. resp.: 5, 3¾ en 2 L. Blijkbaar

is bij geringer wordenden druk de toevoer naar de doos niet snel genoeg, waarmee de te lage gevonden druk in de doos (zie boven) in overeenstemming is.

Het Dräger-apparaat, dat ik gebruikte, de *Dräger-Automat-Modell XJR n°.* 15, is niet een automatisch apparaat in den zin als vroeger bedoeld. Het bestaat practisch alleen uit een reduceerventiel; de zuurstof komt onder hoogen druk binnen, wordt tot een lageren druk gereduceerd en gaat naar het masker. Door middel van een schroef kan de vlieger zelf de hoeveelheid uitstroomende zuurstof regelen. Deze hoeveelheid wordt door een manometer aangegeven, de schaalverdeeling vermeldt: 6—9—12 en 15 L. per minuut. Dit apparaat heeft het groote voordeel zeer eenvoudig van constructie te zijn. Wel moet de vlieger zelf den zuurstoftoevoer regelen, maar dat moet hij bij de moderne Dräger eigenlijk ook. (Zie p. 68).

Ook met dit apparaat deed ik metingen. Op de gewenschte hoogte en bij den gewenschten stand van den toevoeraanwijzer mat ik gedurende eenige minuten de uitstroomende zuurstof. Dit gaf het aantal liters per min. gemeten bij de spanning ter plaatse, waaruit het aantal L. van 760 mm. werd berekend. Met de temperatuur werd geen rekening gehouden, daar deze in de caisson weinig wisselt.

Het resultaat dezer metingen vindt men in onderstaande tabel.

Hoogte in Meters.	Kolom A. Werkelijk geleverde hoeveelheid O_2 in L. v. d. druk ter plaatse bij afstelling op:			Kolom B. idem in L. van 1 atm.		
	6 L/min.	9 L/min.	12 L/min.	6.	9.	12.
0	4,8	7,8	10,5	4,8	7,8	10,5
3000	5,6	9,1	13	3,9	6,4	9,2
6000	7,2	11,2	16,2	3,4	5,3	7,7
9000	8,8	14	21	2,9	4,6	6,9
12.000	10,5	18,5	27,5	2,3	4,1	6,2

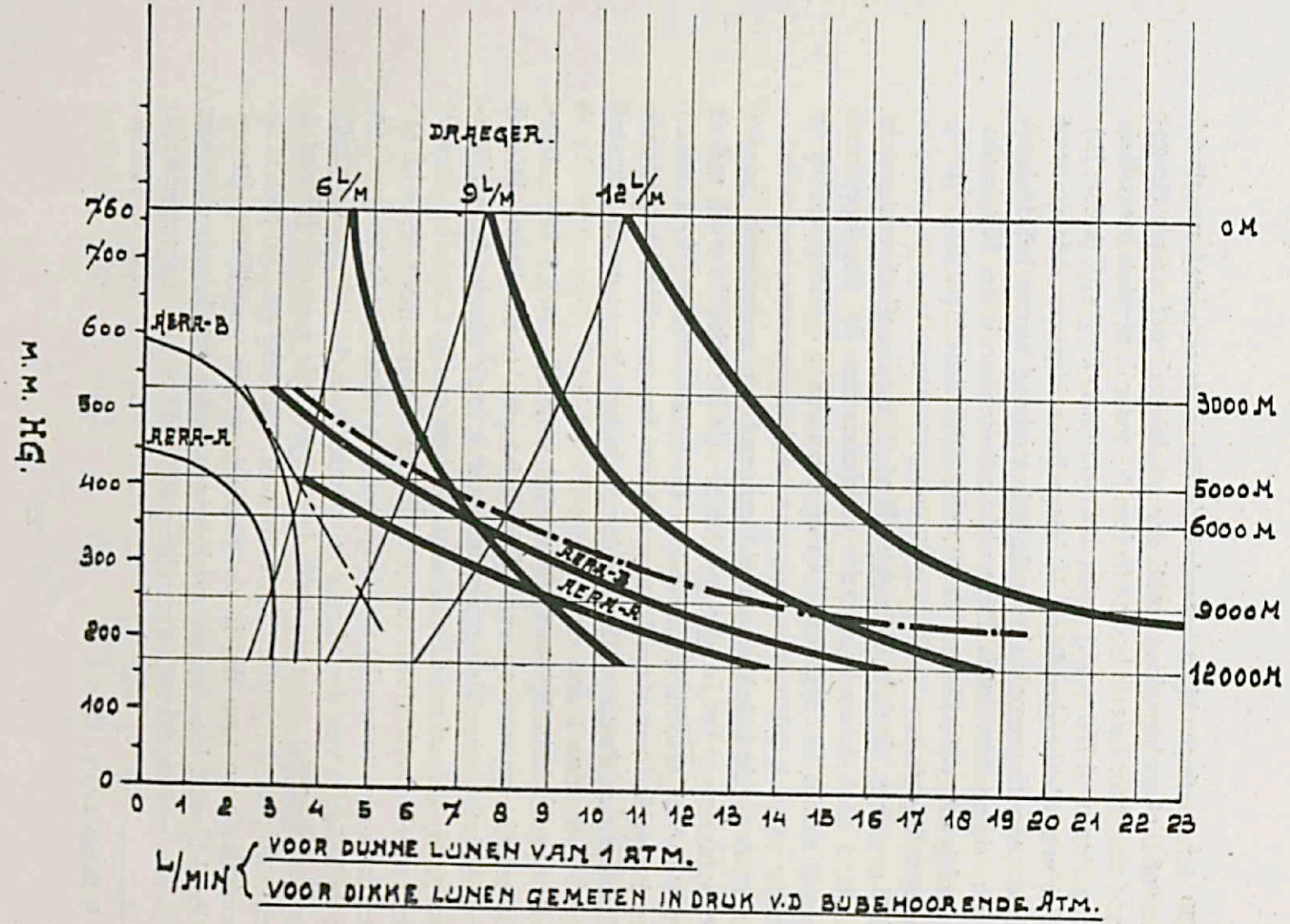
Uit deze metingen blijkt het volgende. De uitstroomende hoeveelheid zuurstof bij een bepaalden stand der regelingsschroef ter plaatse gemeten neemt toe met de hoogte (kolom A), maar *de absolute hoeveelheid* (d.i. gemeten bij 760 m/m.) *neemt met toenemende hoogte af.* (kolom B.).

Ter contrôle berekende ik de hoeveelheid uitgestroomde zuurstof tijdens de metingen ook uit den kubieken inhoud van en het drukverschil in de zuurstofflesch. Deze uitkomsten waren in goede overeenstemming met die in kolom B; zij vertoonden dezelfde daling bij toenemende hoogte.

De gegevens uit de vakken A en B vindt men grafisch voorgesteld in afb. 3. Ook de reeds vermelde resultaten met de Aëra-apparaten A en B zijn er in opgenomen. Ofschoon niet zoo duidelijk als bij de Dräger vond ik ook hier na een aanvankelijke toename, een vermindering der geleverde hoeveelheid zuurstof bij toenemende hoogte. De krommen van het Dräger-app. hebben slechts schijnbaar een andere gedaante, dan die van het Aëra-app. De laatsten vallen geheel binnen het drukgebied van 0 tot 1 atm., van de eersten alleen de onderste tak, aangezien de constante aanvangsdruk der uitstroomende zuurstof hier grooter dan 1 atm. is.

Er bestaan formules om de theoretisch voor den mensch benoodigde hoeveelheid zuurstof op verschillende hoogten te berekenen. Hierbij wordt echter geen rekening gehouden met de sterk wisselende ventilatiegrootte bij meer of mindere lichamelijke inspanning. *Clarke* bij *Bauer* [1]) berekende de hoeveelheid zuurstof, die een apparaat moet geven bij een ventilatie-grootte van 10 tot 20 L./min. op verschillende hoogten, om in de behoefte van den vlieger te voorzien, waarbij hij rekening hield met het feit, dat ruim de helft der toegevoerde zuurstof (tijdens de expiratie-periode) ongebruikt wegstroomt. Van deze getallen nam ik het gemiddelde en nam die in de graphiek op ter vergelijking (streep-stippel-lijnen). Houden we voorloopig aan deze getallen als eisch vast, dan zien we, dat Aëra A (afgesteld op 4000 M.) op alle hoogten te weinig

[1]) Bauer, l.c., p. 154.



Afb. 3. Grafische voorstelling van de werkelijk geleverde hoeveelheid zuurstof op verschillende hoogten, door het Draeger-apparaat bij afstelling op 6, 9 en 12 L. per min. en van de Aëra-apparaten A. en B. resp. afgesteld op 4000 en 2000 M. De streep-stippellijnen geven de theoretisch benoodigde hoeveelheid zuurstof op de verschillende hoogten aan.

levert; Aera B. (afgesteld op 2000 M.) raakt boven 6000 M. achter; het best benadert men den eisch, als men het Dräger-app. zoodanig regelt, dat men (beginnend met den zuurstoftoevoer op b.v. 4000 M.) zorgt, dat de aanwijzer op 6000 M. staat op 6, bij verder stijgen regelmatig meer zuurstof geeft tot de aanwijzer staat op 9 op 9000 M. en op 12 op 12000 M. Volgens dezen regel ging ik bij de meeste mijner proeven te werk, de daarbij uitgevoerde analyses der alveolairlucht moesten uitmaken of de zuurstoftoevoer al dan niet voldoende is.

Ik gebruikte bij mijn experimenten medicinale zuurstof der Mij. „Oxygenium"; deze bevat volgens opgave 99,4 % zuivere O_2.

DE ANALYSE DER ALVEOLAIRLUCHT.

Voor de bepaling van de samenstelling der alveolairlucht kan men zich bedienen van de directe of van de indirecte methode. Bij de indirecte methode bepaalt men de samenstelling der uitademingslucht, de diepte der ademhaling en de grootte der schadelijke ruimte en berekent uit deze drie grootheden de samenstelling der alveolairlucht. Daar mijn p.p. bij de meeste proeven een zuurstofmasker droegen, waardoor de schadelijke ruimte wordt vergroot, zonder dat is uit te maken welk deel van het masker (dat niet luchtdicht tegen het gezicht afsluit) tot deze schadelijke ruimte moet worden gerekend, kon ik de indirecte methode niet toepassen.

Bij de directe methode tracht men een monster longlucht te verkrijgen, waarvan men op goede gronden aanneemt, dat haar samenstelling practisch gelijk is aan die der alveolairlucht.

Bij de directe methode volgens *Haldane en Priestley* [1]) gaat men als volgt te werk:

Na een normale inademing ademt de p.p. snel en diep uit door een glazen buis van ± 2 M. lengte en ± 2 c.M. diameter. Aan het eind

---

[1]) C. G. Douglas and J. G. Priestley: Human Physiology, Oxford, At the Clarendon Press, 1924.

van deze diepe expiratie sluit hij het mondstuk van de buis met zijn tong af en door een nauw zijbuisje, dat zich op 7 c.M. van het mondeinde van de groote buis bevindt, tapt men onder de noodige voorzorgen een monster lucht af voor analyse. Door de diepe expiratie wordt de lucht uit de schadelijke ruimte en uit de buis verdreven, men mag aannemen, dat in elk geval het mondgedeelte van de buis (en dus ook het afgetapte monster, mits dit niet te groot is) lucht bevat, die de samenstelling van de alveolairlucht heeft. Om nauwkeurig te zijn moet men de proef herhalen met een diepe uitademing na een normale expiratie; het gemiddelde van de twee uitkomsten, geeft dan de gemiddelde samenstelling der alveolairlucht aan.

Ik moest in bovengenoemde methode eenige kleine wijzigingen aanbrengen. Wegens de beperkte ruimte in de caisson verving ik de onhandelbare 2 M. lange glasbuis door een rubberbuis. Ik nam een stuk glasbuis van ongeveer 12 c.m. lengte, waaraan het zijbuisje voor het aftappen zat en bevestigde hieraan de rubberbuis. Aan het andere eind van de glasbuis schoof ik ook een stuk gummibuis van $\pm$ 7 cm. en wel om de volgende reden. Bij de oorspr. methode moet de p.p. na de diepe expiratie het mondstuk van de buis met de tong afsluiten en goed afgesloten houden tot het monster is afgetapt. Dit kost de p.p. reeds onder normale omstandigheden een zekere inspanning, omdat deze na de diepe uitademing neiging heeft om flink te inspireeren. Ik moest deels experimenteeren met p.p., die onder den invloed van zuurstofgebrek verkeerden en voor wie het dus nog moeilijker was, dan onder normale omstandigheden, om na de diepe expiratie eenigen tijd te moeten wachten, voor ze weer mochten inspireeren. Bovendien moest ik rekening houden met het feit, dat bij zuurstofgebrek dikwijls een zekere mate van onverschilligheid bij de p.p. optreedt, zoodat ik er niet op mocht rekenen, dat de afsluiting met de tong betrouwbaar zou zijn.

Om dus mijn p.p. bovengenoemde moeilijkheid en mijzelf de kans op het aftappen van een ondeugdelijk monster te besparen, heb ik de taak van het afsluiten van het mondeinde zelf ter hand genomen, door op het moment, dat de p.p. door een teeken met de hand aangeeft, dat

hij „uitgeblazen" is, met een klem het bovenbedoelde stukje slang dicht bij den mond dicht te knijpen. De p.p. kan dan dadelijk aan zijn behoefte om eens flink te inspireeren voldoen en de afsluiting is verzekerd. Uit hygienische overwegingen stak ik in het korte stuk rubberbuis nog een kort glazen mondstuk, dat gemakkelijk te reinigen was.

Een moeilijkheid voor de p.p. bij de methode van H.-Pr. is, dat zij vlak voor de diepe expiratie geheel normaal moeten blijven ademen; men heeft n.l. de neiging, als men weet, dat men diep moet uitademen, om vooraf diep te inspireeren. De uitkomsten zouden hierdoor onjuist worden. Douglas en Priestley waarschuwen hiertegen zeer nadrukkelijk; ook *Henderson en Morris* [1]), die overigens deze methode de meest accurate noemen, wijzen op deze moeilijkheid en geven een handige methode aan om dit bezwaar te ontgaan. Ik kon deze verbetering in de caisson en bij zuurstofademing echter niet toepassen, zoodat het eenige wat in deze te doen overbleef was: de p.p. bij voortduring op het hart te drukken rustig te ademen; terwijl ik geen monster nam, als ik vermoedde, dat tegen dezen regel was gezondigd. Waar ik uitsluitend te doen had met p.p., die zich vrijwillig en gaarne aan de proeven onderwierpen, vielen de moeilijkheden zeer mee.

De te analyseeren monsters werden opgevangen in z.g. „*sampling tubes*" vlgs. Haldane. Dit zijn buizen van ± 50 c.c. inhoud, boven en onder voorzien van een kraan met dubbele schuine doorboring.

De sampling-tubes werden vooraf luchtledig gemaakt. Het werk in de caisson was dan tot een minimum beperkt (wat de kans op fouten en vergissingen sterk vermindert). De luchtledige proefbuis werd met een slangetje aan het aftapbuisje van de Haldane'sche buis bevestigd; na de diepe expiratie en afklemmen van de buis, werd de bovenste kraan van de proefbuis even geopend en weer gesloten; het opgevangen monster werd weggezet voor latere analyse buiten de caisson. Natuurlijk is een eerste vereischte vooral bij het werken onder lagen druk, dat

[1]) Henderson en Morris, Journal of biol. chem., 1917, XXXI, p. 217.

de proefbuizen volkomen luchtdicht zijn. Vóór elke proefneming werd elke buis nauwkeurig op luchtdichtheid onderzocht, zoonoodig schoongemaakt en de kranen opnieuw ingevet. Bovendien liet ik de proefbuizen af en toe eenige dagen luchtledig liggen (eens door omstandigheden zelfs 30 dagen) en kon steeds constateeren, dat er geen spoor lucht naar binnen was gekomen.

De gasanalyses werden verricht met het toestal van *Haldane* [1]). Uit de proefbuis werd ± 10 c.c. van het te onderzoeken gas met behulp van kwik overgeheveld in de meetpipet van het analyse-toestel nadat de buitenlucht uit alle verbindingsbuizen door kwik (door middel van de dubbele kraandoorboringen) was verdreven. Daar bij de meeste experimenten de druk van het gas in de proefbuis kleiner dan 1 atm. was, moest deze druk eerst op 1 atm. worden gebracht door kwik in de buis te laten. Bij dit op 1 atm. brengen van de samples deed zich telkens een ongezochte gelegenheid voor om na te gaan of de kranen niet hadden gelekt. Van een sample b.v. genomen op 12000 M. bedraagt de spanning 170 mm. of rond 2/9 atm. Op 1 atm. gebracht mag het monster dus slechts 2/9 van de buis vullen. Stel dat zoo'n buis lekt, zij het nog zoo weinig, dan zou toch in de paar uur, die meest wel verliep tusschen het nemen van het monster en de analyse, zooveel buitenlucht naar binnen zijn gedrongen, dat dit bij het op 1 atm. brengen onmiddellijk gemerkt moest worden. Deze eenvoudige contrôle op de dichtheid der sampling-tubes mist men bij de gewone proeven onder atmosferischen druk, omdat de spanning van het monster dan bij lekken niet verandert, maar alleen de samenstelling.

Bij die experimenten, waarbij de p.p. zuurstof had geademd was te verwachten, dat het percentage zuurstof in de alveolairlucht hoog zou zijn. Het gasanalyse-apparaat van Haldane is zoodanig geconstrueerd, dat nauwkeurige aflezingen alleen mogelijk zijn, wanneer de som der procenten van koolzuur en zuurstof niet grooter dan 30 is. In bovenbedoelde gevallen kan men niet 10 c.c. van het monster in de pipet

---

[1]) J. S. Haldane: Methods of Air Analysis, 1920.

zuigen, maar gaat men als volgt te werk. Men laat ongeveer 7 cc. stikstof in de pipet, die men nauwkeurig meet en daarna opbergt in de loogbuis. Daarna zuigt men ongeveer 3 c.c. van het monster in de pipet, voegt de stikstof hierbij en meet opnieuw. Het verschil tusschen deze twee metingen geeft de juiste hoeveelheid van het monster, waarop men later, na gewone uitvoering der analyse, de procenten-berekening moet baseeren.

De gevonden procenten zuurstof en koolzuur gelden voor droge lucht; wil men den druk der gassen in mm. Hg. uit deze procenten berekenen, dan moet men dus uitgaan van de spanning der buitenlucht tijdens de proef (zijnde gelijk aan de totale spanning in de longen) verminderd met 47 mm. voor de spanning der verzadigde waterdamp bij 37 gr. C., die in de longen steeds aanwezig is.

Voor contrôle is het wenschelijk van elk monster tenminste 2 analyses te doen. Als regel heb ik dit ook gedaan, in sommige gevallen moest ik met 1 analyse tevreden zijn, omdat geen lucht voor een tweede overbleef.

Volgens *Siegenbeek van Heukelom* [1]) mag men tevreden zijn, indien de de dubbelbepalingen niet meer dan 0,05 % uit elkaar liggen. In enkele gevallen bereikte ik dezen graad van nauwkeurigheid niet; echter waren de verschillen ook in die gevallen niet van dien aard, dat ik de uitkomsten als onbetrouwbaar en de dikwijls met moeite verkregen monsters als onbruikbaar meende te moeten brandmerken. Voor de gevallen, waarbij werd uitgegaan van 3 cc. (practisch werd dit meest ongeveer 2½ cc.), moet ik nog het volgende opmerken. De fouten (van het toestel en de aflezing), die men hierbij maakt zijn van dezelfde orde, als bij gebruik van 10 cc. van het monster. Bij het omrekenen in procenten worden deze fouten echter in het algemeen met een 4 maal zoo groot getal vermenigvuldigd, zoodat hier verschillen in de dubbelbepalingen tot $4 \times 0{,}05$ % is 0,2 % getolereerd kunnen worden.

---

[1]) A. Siegenbeek van Heukelom: De grondstofwisseling in de kliniek, (Acad. Proefschrift), J. van Druten, Utrecht, 1924.

HOOGTE EN BAROMETERSTAND.

Een vaste barometerstand is voor elke hoogte niet aan te geven, deze wisselt vrij sterk met de heerschende temperatuur. (zie tabel n°. I). Ik gaf er de voorkeur aan de hoogte op te geven in Meters en moest derhalve voor elke hoogte een gemiddelden druk aannemen, welke hieronder volgt. Ik nam de gemiddelde waarden, zooals die gewoonlijk worden gebruikt, al loopen deze bij verschillende autoren nog al uiteen, vooral voor de grootere hoogten. De waarden, die ik aangeef zijn tevens die, welke ik bij controle van mijn hoogte-meter vond, zoodat ik in elk geval steeds den vermelden druk bij den overeenkomstigen stand van den hoogtemeter had. *Het essentieele blijft echter de luchtdruk*, de hoogte in M. is secundair en dient slechts om het geheel overzichtelijker te maken. Boven 12.000 M. nam ik alleen den luchtdruk op, om daaruit later de hoogte ongeveer te berekenen.

Hoogte in Meters.	Bijbehoorende druk in mm. Hg.
0	barometerstand. (gemidd. 760)
3000	535
6000	360
9000	250
12000	170
13000	136
14000	124

HOOFDSTUK IV.

DE SAMENSTELLING DER ALVEOLAIR-LUCHT OP HOOGTEN TOT 12.000 M. ZONDER OF MET EXTRA ZUURSTOFTOEVOER.

(Eigen onderzoek).

De samenstelling der alveolairlucht werd als regel bepaald op 0, voorts 3000 en 6000 M. *zonder* en op 6000, 9000 en 12.000 M. *met* extra zuurstoftoevoer. Dit geschiedde meest in twee zittingen. Het monster alveolairlucht werd telkens genomen, nadat de p.p. ongeveer 5 minuten op de gewenschte hoogte had vertoefd. Van 6000 M. af werd doorloopend zuurstof gegeven; de hoeveelheid werd geregeld naar gelang van de hoogte. Bij de standaard-proeven gebruikte ik het eenvoudige *Dräger*-apparaat, op 6000, 9000 en 12,000 M. afgesteld op resp. 6, 9 en 12, zoodat de zuurstoftoevoer ter plaatse gemeten resp. bedroeg: $7^1/_4$, 14 en 27 ½ L. per minuut of in L. van 760 mm. (bij gelijke temperatuur) resp.: 3.4, 4.6 en 6.2. (Zie diagram afb. 3).

De p.p. *zitten* gedurende den geheelen duur van de proef; lichamelijke of geestelijke arbeid wordt practisch niet verricht.

Bij het blazen in de buis van Haldane tijdens de zuurstofademing liet ik als volgt te werk gaan. De band, waarmee het masker om het hoofd is bevestigd, werd even te voren losgemaakt en het masker tijdelijk met de hand tegen het gezicht gehouden. De p.p. zit vlak bij het mondstuk van de buis. Op een door hemzelf te bepalen oogenblik, na een gewone inspiratie uit het masker, neemt hij dit weg en expireert door de buis; onmiddellijk daarna zet hij het masker weer op, zoodat de volgende inspiratie al weer uit het masker wordt genomen.

In de minuut onmiddellijk voorafgaande aan het nemen van het alveolair-monster werd de polsfrequentie opgenomen.

Van elk monster alveolairlucht werden koolzuur- en zuurstofgehalte bepaald en de druk in mm. daaruit berekend; in de volgende tabellen zijn de procenten afgerond op 2 decimalen, de mm. op 1 decimaal.

Met 10 proefpersonen werden de standaard-proeven volledig uitgevoerd; in de tabellen van III tot VIII vindt men in dezelfde volgorde telkens dezelfde p.p. terug.

TABEL III.

Alveolair-lucht op 0 *M.*

P.p.		N°. v.h. Protocol.	baro-meter-stand.	CO_2		O_2		Pols.
N°.	Naam.			%	m/m	%	m/m.	
1.	Jd.	8	755	5,86	41,5	13,30	94,0	76
2.	Sg.	5	762	5,81	41,5	14,77	105,0	72
3.	Bl.	47	756	5,34	37,8	14,49	102,8	60
4.	Bg.	52	750	5,08	35,7	15,23	107,0	68
5.	Ms.	53 A.	762	5,83	41,7	15,15	108,3	64
6.	Be.	59 A.	759	5,48	39,0	14,56	103,7	72
7.	Rt.	63	757	6,35	45,1	12,69	90,1	72
8.	Bs.	56 A.	752	5,74	40,5	14,01	98,7	71
9.	Bn.	68 A.	763	5,39	38,6	15,29	109,5	68
10.	Br.	9	755	5,87	41,6	13,80	97,6	68
Gemiddeld			756	5,68	40,3	14,33	101,7	69

Tabel III geeft de samenstelling der alveolair-lucht op 0 M. Bijzonderheden vertoont deze tabel niet. De gevonden waarden komen overeen met die door anderen onder gelijke omstandigheden gevonden. Zoo vinden b.v. *Lutz en Schneider* [1]) bij 24 personen voor koolzuur gemiddeld 39,7 mm. (maximum 45,1; minimum 34,9) en voor zuurstof gemidd. 103,2 mm. (max. 109,9; min. 87,8). Bij mijn p.p. zijn deze getallen: 40,3 mm. (max. 45,1; min. 35,7) en 101,7 mm. (max. 109,5; min. 90,1). Vergelijking dezer uitkomsten wijst er op, dat mijn p.p. op goede wijze de proef van Haldane en Priestley uitvoeren, wat een niet te onderschatten factor is.

TABEL IV.

Alveolair-lucht op 3000 *M.*; luchtdruk 535 m.m.

P.p.		N°. v.h. proto-col.	CO_2		O_2		Pols.
N°.	Naam.		%	m/m	%	m/m.	
1.	Jd.	16 B.	8,03	39,1	11,25	55,0	84
2.	Sg.	23 A.	7,79	38,0	12,63	61,7	86
3.	Bl.	49 A.	6,72	32,8	14,17	69,1	62
4.	Bg.	51 A.	6,99	34,1	14,93	72,9	77
5.	Ms.	53 B.	7,36	35,9	12,89	62,9	68
6.	Be.	59 B.	7,29	35,6	11,69	57,1	86
7.	Rt.	57 B.	9,23	45,1	10,51	51,3	88
8.	Bs.	66 A.	7,05	34,4	13,43	65,5	88
9.	Bn.	67 B.	7,79	38,0	11,88	58,0	84
10.	Br.	17 B.	7,30	35,7	12,29	60,0	76
Gemiddeld:			7,56	36,9	12,57	61,4	80

[1]) Lutz and Schneider, Am. Journ. of Physiol., L. 1919/20, p. 283.

Tabel IV geeft de samenstelling der alveolair-lucht op 3000 M. Ook deze uitkomsten stemmen goed met andere overeen. Lutz en Schneider (l.c.) vinden bij een iets hoogeren druk, n.l. 560 mm., voor koolzuur 36,2 mm. (max. 41,2; min. 32,3) en voor zuurstof 66 mm. (max. 73,8; min. 58,5). Bij mij zijn deze getallen resp.: 36,9 mm. (max 45,1; min. 32,8) en 61,4 mm. (max. 72,9; min. 51,3). Dat mijn koolzuurgemiddelde iets *hooger* is, dan dat van L. en Schn., terwijl het bij mijn lageren atmosferischen druk juist lager zou moeten zijn, komt hoofdzakelijk door p.p. n°. 7, die ook bij herhaalde proefnemingen volhardde bij een koolzuurdruk van ruim 45 mm. en daardoor het gemiddelde met ongeveer 0.8 mm. extra belastte.

Overigens blijkt uit deze tabel, dat de zuurstofdruk hooger is, naarmate de koolzuurdruk lager is. (Zie b.v. p.p. no. 7.)

TABEL V.

Alveolairlucht op 6000 *M.*, luchtdruk 360 *m.m.*

P.p.		N°. v.h. proto-col.	CO_2		O_2		Pols.
N°.	Naam.		%	m/m	%	m/m.	
1.	Jd.	16 C.	10,10	31,6	10,86	34,0	96
2.	Sg.	23 B.	10,73	33,6	9,82	30,7	108
3.	Bl.	49 B.	9,63	30,1	11,96	37,4	82
4.	Bg.	50 B.	10,23	32,0	12,26	38,4	90
5.	Ms.	53 C.	10,47	32,8	10,76	33,7	73
6.	Be.	59 C.	9,27	29,0	12,76	39,9	116
7.	Rt.	57 C.	11,57	36,2	9,13	28,6	104
8.	Bs.	56 C.	9,73	30,5	11,14	34,9	112
9.	Bn.	67 B.	10,02	31,4	11,21	35,1	104
10.	Br.	17 C.	8,96	28,0	11,19	35,0	96
Gemiddeld:			10,07	31,5	11,11	34,8	98

Tabel V geeft de samenstelling der alveolair-lucht op 6000 M.

Lutz en Schneider vinden bij een druk van 352 mm. voor koolzuur 30 mm. (max. 39,8; min. 24,7) en voor zuurstof 34,8 mm. (max. 39,9; min. 27,8). In bovenstaande tabel zijn deze getallen: 31,5 mm. (max. 36,2; min. 28) en 34,8 mm. (max.39,9; min. 28,6). Vooral voor den zuurstofdruk is de overeenstemming frappant.

P.p. n°. 7 steekt ook hier met een koolzuurdruk van ruim 36 mm. boven de anderen uit; ook in deze tabel vindt men in het algemeen een hoogen zuurstofdruk samengaan met een lagen koolzuurdruk.

Bij onderlinge vergelijking der tabellen III, IV en V treft allereerst de daling van den alveolairen koolzuurdruk bij toenemende hoogte; zij bedraagt op 0,3000 en 6000 M. resp. gemiddeld 40.3, 36.9 en 31.5 mm. Dit feit is bij herhaling geconstateerd, zoowel in de onderdruk-caisson, als bij rebreather-proeven en in het gebergte. Het is een gevolg van het „uitwasschen" van CO_2 uit het bloed door de verhoogde longventilatie Deze verhoogde longventilatie begint al op betrekkelijk geringe hoogte; volgens *Lutz* [1]) reeds bij 656 mm. (1200 M.) in de onderdrukcaisson. *Haldane en Priestley* [2]) vonden op den Ben-Nevis (1322 M.) ruim 2 mm. CO_2 minder in de alveolairlucht, dan in Oxford. *Ward* [3]) vond bij zich zelf in Londen, Zermatt (1600 M.) en Monte Rosa (4500 M.) resp.: 37.7, 34.2 en 28.5 mm. *Lutz en Schneider* [4]) tenslotte bepaalden op ongeveer 6000 M. den CO_2-druk der alveolairlucht en maten tegelijkertijd de ventilatie-grootte. Van 0 tot 6000 M. verminderde de alv-CO_2-druk met gemiddeld 24 %; het adem-minutenvolume nam gemiddeld met 54,7 % toe (max. 103 %; min. 34 %). In de meeste gevallen begon de definitieve toename tusschen 1200 en 1800 M.

Uit een en ander blijkt, dat de val van alv. CO_2-druk en toename der long-ventilatie bij het stijgen al spoedig optreden; een andere quaestie is echter hoe het samengaan dezer twee moet worden opgevat. Immers

[1]) Lutz, Am. J. Physiol., 1919, XLIX, p. 119.
[2]) Haldane and Priestley, J. Physiol., 1905, XXXII, p. 225.
[3]) Ward, J. Physiol., 1908, XXXVII, p. 378.
[4]) Lutz and Schneider, Am. J. Physiol., 1920, L, p. 280.

geldt voor de respiratie *op den grond*, dat de koolzuurdruk in het bloed de respiratie regelt door prikkeling van het ademcentrum in de medulla oblongata en wel in dezen zin, dat *bij vermindering van den koolzuurdruk de respiratie wordt vertraagd*. Waar nu bij verminderde partieele zuurstofspanning in de ademlucht het tegengestelde zich voordoet, n.l. verminderde koolzuurdruk en vermeerderde respiratie, ligt het vermoeden voor de hand, dat de hier tevens optredende verminderde zuurstofspanning in de alveolairlucht (en dus ook in het bloed) een rol speelt. Over de wijze, waarop de verminderde O_2-spanning in deze werkt, heerscht bij de verschillende onderzoekers echter geen overeenstemming.

Haldane, Meakins en Priestley[1]) stellen zich op het standpunt, dat bij matig zuurstofgebrek de drempelwaarde voor den koolzuurprikkel lager wordt, zoodat een lage CO_2-druk toch nog hoog genoeg kan zijn om de respiratie aan te zetten. Bij groote vermindering van de alv. O_2-spanning zagen zij echter een zeer snelle, oppervlakkige ademhaling optreden, die de anoxaemie nog versterkte. Zij meenen, dat na de bedoelde verlaging van de drempelwaarde een toestand optreedt, waarbij het zuurstofgebrek verlammend werkt op het ademcentrum.

Lutz en Schneider[2]) wijzen er op, dat bovengenoemde onderzoekers hun p.p. slechts gedurende zeer korten tijd aan den lagen O_2-druk bloot stelden. Zij zelf hielden hun p.p. van 30 tot 120 min. op een hoogte van ongeveer 6000 M. en vonden dan weer een toename van den alv. CO_2-druk en een vermindering van de longventilatie. Oppervlakkige respiratie, zooals Haldane c.s. zagen, vonden zij niet; slechts 2 keer sterk versnelde ademhaling. De na de aanvankelijke toename optredende afname der ventilatie beschouwen zij niet als een teeken van verlamming van het ademcentrum, maar als een aanwijzing van een optredende compensatie.

Ook *Von Schroetter*[3]) stelt zich op het standpunt der verlaagde drempelwaarde.

---

[1]) Haldane, Meakins and Priestley, J. Physiol., 1919, L,II p. 420.
[2]) Lutz and Schneider, Am. J. Physiol., 1919/1920, L, p. 299.
[3]) Von Schroetter, Ergebnisse der Physiologie, 1925, Bnd. 24, p. 548.

Loewy [1]) acht dit echter niet bewezen en meent, dat ook *het zuurstofgebrek als zoodanig* een prikkel voor het ademcentrum kan zijn. In hetzelfde artikel constateert Loewy, dat zijn alv. koolzuurspanning in de laagvlakte 40 mm. en in Davos (1550 M.) ook nog na een ononderbroken verblijf van 1½ jaar 27 mm. bedraagt, wat dus niet in overeenstemming is met het gedeeltelijk terugkeeren van den koolzuurdruk door Lutzen Schneider gevonden. Wel meent Loewy, dat bij sommige menschen zelfs op 4000 M. de respiratie niet is aangewakkerd en de alv. koolzuurdruk dan ook niet is veranderd.

Gellhorn [2]) neemt aan, dat bij zuurstofgebrek een zure reactie in het ademcentrum optreedt, terwijl het bloed nog niet van reactie veranderd is, waardoor een sterkere ademprikkel zou ontstaan.

Nog een andere opvatting is die, welke *E. Gley* [3]) weergeeft. Vermeerdering der alv. koolzuurspanning op den grond heeft een grootere longventilatie; de CO_2 prikkelt het ademcentrum niet als zoodanig, maar door vergrooting der PH van het bloed. Zoo is b.v. melkzuur, in de bloedbaan gebracht, ook een prikkel voor dit centrum. Bij zuurstof-armoede wordt het ademcentrum gevoeliger voor CO_2-prikkels, maar bovendien wordt het steeds geproduceerde melkzuur onvoldoende ge-oxydeerd, waardoor de H-ionen-concentratie in het bloed stijgt en het ademcentrum extra wordt geprikkeld.

Macleod [4]) stelt de zaak als volgt:

De PH van het bloed is de respiratie-hormone. Bij zuurstofgebrek van korten duur komen niet geoxydeerde organische zuren (melkzuur) in het bloed; bij langdurig zuurstofgebrek treedt een meer definitieve „acclimatisatie" op, doordat alkali langs de nieren wordt uitgescheiden, waardoor anorganische zuren (zure phosphaten) in het

---

[1]) Loewy, Ergebnisse der Physiologie, 1925, Bnd. 24, p. 220.
[2]) Gellhorn: Neuere Ergebnisse der Physiologie, 1926, p. 133.
[3]) E. Gley: Physiologie, Ballière, Paris 1924, Tome I, p. 497.
[4]) J. J. R. Macleod: Physiology and biochemistry in modern medicine, St. Louis, C. V. Mosby Cy, 1918, p. 350 e.v.

bloed de PH doen stijgen (*Ryffel*). In beide gevallen wordt de prikkel voor het ademhalingscentrum dus sterker.

Zuurstofgebrek als zoodanig kan een respiratieprikkel worden, als het zeer extreem is. Matig zuurstofgebrek verhoogt de prikkelbaarheid van het respiratie-centrum.

In overeenstemming hiermee zijn de bevindingen o.a. van *Adlersberg en Porges* [1]), die bij toediening van zuur-ammoniumphosphaat, $(NH_4)H_2PO_4$, toename der respiratie constateerden.

Haldane [2]) leidt uit zijn proeven af, dat de drempelwaarde voor koolzuur bij anoxaemie lager is dan normaal; het niveau wordt bepaald door de zuurstofspanning in het arterieele bloed. Eenmaal op het nieuwe niveau ingesteld regelt echter het koolzuur weer als normaal de respiratie, d.w.z. dat bij verhooging van den koolzuurdruk de longventilatie grooter wordt.

Slechts deels in overeenstemming hiermee zijn de resultaten van een caisson-onderzoek van *Schneider, Truesdell en Clarke* [3]). Bij 4 en 8 % CO_2 in de inademingslucht was de koolzuurdruk op hoogten boven 5000 M. in de alveolairlucht wel iets hooger, dan bij ademing van gewone lucht, maar zelfs bij 8 % koolzuur bleef deze druk beneden het normale peil. Ademlucht met 8 % koolzuur deed het minuten-adem-volume „slightly" toenemen op grootere hoogten; 4 % had in dit opzicht alleen op den grond effect. De snelheid der respiratie werd door koolzuur boven 5 à 6000. M niet meer beinvloed. Verder had de toevoeging van koolzuur geen invloed op de circulatie en, zeggen de schrijvers: „CO_2 doe snot delay the onset of the fainting or mental inefficiency of anoxaemia", terwijl *Haldane* [4]) van een geringe verhooging van den koolzuurdruk in de inspiratielucht een belangrijke verhooging van het zuurstofpercentage in de alveolairlucht verwacht.

---

[1]) Adlersberg und Porges, Zeitschr. f. d. ges. Med., 1923, p. 214.
[2]) Haldane, l.c., p. 110.
[3]) Schneider, Truesdell and Clarke, Am. J. Physiol., 1926, LXXVIII,p. 393.
[4]) Haldane, l.c., p. 363.

Bogen [1]) meent, dat de zuurtheorie van de respiratie de veranderingen der *diepte* wel, die der *frequentie* niet verklaart. Zuurstofgebrek zou specifiek versnellend op de respiratie werken.

Ten slotte vermeld ik nog de opvatting, dat men bij de respiratieverschijnselen op groote hoogte te doen heeft met een zuivere verlaagde drempelwaarde, die zou ontstaan door de sterke bestraling (o.a. *Kestner, c.s.* [2])), waarvan het effect op de huid via zenuwbanen naar de medulla oblongata zou worden overgebracht. Deze theorie houdt klaarblijkelijk alleen rekening met bergklimmers; de overeenkomstige verschijnselen bij luchtvaarders kunnen bezwaarlijk, die in de caisson in het geheel niet op deze wijze worden verklaard.

Moge dus het mechanisme van de regeling der respiratie op groote hoogte nog niet geheel duidelijk zijn, wel blijkt uit de verschillende opvattingen, dat de geringe zuurstofdruk hierbij een belangrijke factor is; in het midden gelaten of deze factor *direct*, dan wel *indirect* haar werking op het ademcentrum uitoefent.

De daling van den alveolairen zuurstofdruk bij toenemende hoogte is sterk uitgesproken; hij valt van gemiddeld 101,7 mm. op 0 M. tot 61,4 mm. op 3000 M. en 34,8 mm. op 6000 M.

Behalve de zuurstof*druk* daalt echter ook het zuurstof*percentage* (op droge lucht berekend), n.l. van gemiddeld 14,33 % tot resp. 12,57 % en 11,11 %, in tegenstelling met het koolzuurpercentage, dat stijgt van 5,68 % tot 7,56 % en 10,07 %.

Ik releveerde reeds, dat op den grond een verval van zuurstofpercentage van buitenlucht naar alveolairlucht plaats vindt van 21 % tot ongeveer 14 %. Daar op 3000 en 6000 M. ook lucht werd geademd met 21 % O_2, zou te verwachten zijn, wanneer geen andere factoren optraden, dat ook op die hoogten het alveolaire zuurstofpercentage

[1]) E. Bogen, Am. J. Physiol., LXXXV, 1928, n°. 2, p. 352.

[2]) Kestner, Peemöller und Schadow, Pflügers Arch. f. d. ges. Physiol., Bnd, 217, p. 473 e.v., 1927.

ongeveer 14 zou bedragen. Zelfs mocht men oppervlakkig veronderstellen, dat dit percentage zou stijgen, omdat als regel de ademhaling dieper wordt, waardoor een betere verversching der longlucht tot stand komt. Er moet derhalve een factor aanwezig zijn, die het toenemende zuurstofverval van buitenlucht naar alveolairlucht bewerkstelligt.

Haldane [1]) merkt naar aanleiding van Berts' proeven op, dat bij daling van den barometrischen druk de zuurstofdruk in de alveolair-lucht relatief sneller daalt, dan die in de inspiratielucht. Dit komt, zegt hij, doordat de constant aanwezige waterdampspanning van 47 mm. bij kleineren barometrischen druk een grooter percentage van den totalen druk vertegenwoordigt.

Dit is volkomen juist, vooral op zeer groote hoogte is de invloed dezer waterdampspanning groot, maar het is een volmaakt andere quaestie, dandie, welke verband houdt met het zuurstofpercentage der alveolairlucht. Immers deze waterdampspanning kan geen invloed oefenen op het zuurstofgehalte der *droge* lucht.

Gebruik makend van de in tabel III gevonden waarden voor zuurstof op den grond, n.l. 14,33 % en 101,7 mm., zou de alveolaire zuurstofdruk bij een atmosferischen druk van 360 mm. bedragen:

a. wanneer hij evenredig was met den barometrischen druk: 360/760 van 101,7 mm. of 48,2 mm.

b. wanneer we alleen rekening houden met de door Haldane bedoelde waterdamspanning: 14,33 % van (360—47) mm. of 44,9 mm.

c. terwijl bij werkelijk bedraagt: 34,8 mm.

Haldane heeft dus wel een der oorzaken aangegeven voor den relatief lagen zuurstofdruk, maar, zooals uit de getallen blijkt, moet er nog een oorzaak zijn, die meer gewicht in de schaal legt. Deze is de sterke afneming van het zuurstofverval, die men zich m.i. als volgt kan verklaren.

In de ingeademde lucht bevindt zich zoowel op den grond, als op

---

[1]) Haldane, l.c., p. 361.

3000 en 6000 M. steeds rond 80 % stikstof. Van deze stikstof wordt in de longen niets opgenomen. Op den grond wordt in de longen practisch ook geen stikstof uitgescheiden (hoogstens misschien een spoor bij eiwitrijke voeding, als eindproduct van de eiwitstofwisseling), zoodat het stikstofpercentage der alveolairlucht op den grond ook rond 80 zal bedragen. Bij het stijgen zal een deel der in de lichaamsvochten opgeloste stikstof via de longen worden uitgescheiden, omdat de stikstofspanning in de alveolairlucht daalt. Het gevolg hiervan is, dat het stikstofpercentage in de alv. lucht tijdelijk kan stijgen. Wanneer men echter eenigen tijd op een zeker niveau blijft, zal er spoedig stikstofevenwicht komen, zeker, als de stijging niet te snel heeft plaats gehad. Op het oogenblik, waarop ik bij mijn proeven op de verschillende niveau's de monsters alveolairlucht nam, was blijkens de uitkomsten het stikstofevenwicht reeds bereikt; de alveolairlucht mijner p.p. bevatte n.l. op 3000 M. 79,87 % en op 6000 M. 78,82 % stikstof, tegen 79,99 % op den grond. Zien we van de betrekkelijk geringe verschillen af, dan mogen we zeggen, dat het stikstofpercentage der alv. lucht op alle hoogten (bij ademing van gewone lucht) rond 80 % bedraagt. Daaruit volgt, dat er voor koolzuur en zuurstof tezamen steeds ongeveer 20 % overblijft. Plastisch uitgedrukt zal het nu tusschen CO_2- en O_2-moleculen een voortdurende strijd zijn om in deze beperkte ruimte zooveel mogelijk plaatsen te bezetten. In dezen strijd is het koolzuur ongetwijfeld in het voordeel; zoodra het uit het veneuze bloed gediffundeerd is, is het reeds ter plaatse, terwijl de zuurstof uit de buitenlucht den langen weg door bronchi en bronchioli (ook grootendeels door diffusie) moet afleggen eer het de alveoli heeft bereikt. Het koolzuur-evenwicht (veneus bloed-alv. lucht) zal spoediger bereikt zijn, dan het zuurstofevenwicht (buitenlucht-alv. lucht). Practisch zal het koolzuurevenwicht steeds aanwezig zijn en al stelt zich bij toenemende hoogte dit evenwicht telkens op een lager niveau in, uitgedrukt in mm. Hg., uitgedrukt in procenten van de totale spanning der droge lucht in de alveoli neemt het CO_2-gehalte steeds toe, zooals de uitkomsten ook aanwijzen. Het gevolg hiervan is, dat er steeds minder „plaats" voor de zuurstof over-

blijft; het O_2-percentage moet dus bij toenemende hoogte dalen. De zuurstof wordt a.h.w. verdrongen door het koolzuur; op eenzelfde hoogte is de zuurstofdruk hooger, naarmate de CO_2-druk lager is. (zie tabellen III, IV en V).

Op 3000 M. bedraagt de alv. zuurstofdruk gemiddeld 61,4 mm. Gezonde menschen bevinden zich in het algemeen op deze hoogte zoowel objectief als subjectief vrij goed, althans wanneer niet meer dan geringe lichamelijke arbeid wordt verricht. Toch is de invloed van het zuurstofgebrek reeds merkbaar; getuige o.a. de uitkomsten mijner proeven beschreven in Hoofdstuk II, de resultaten van *Tanaka* [1]) en de toeneming der polsfrequentie van gemiddeld 69 tot 80. (zie tabel III en IV).

Op 6000 M. is het zuurstofgebrek evident; de gemiddelde alv. zuurstofspanning bedraagt 34,8 mm., de polsfrequentie is gestegen tot gemiddeld 98. Zoowel de lichamelijke, als de geestelijke functies zijn bij alle vliegers op deze hoogte sterk verminderd. *Bert* noemt de lucht op 6000 M. „asphyxiant". Deze lage alveolaire zuurstofspanning mag als regel tijdens het vliegen niet bereikt worden, vandaar het voorschrift, dat boven 5500 M. niet zonder extra-zuurstoftoevoer mag worden gevlogen. Het is moeilijk eens en voor altijd de toelaatbare hoogte-grens aan te geven, te meer omdat persoonlijke factoren daarbij van groot gewicht zijn. Naar mijn gevoelen is de grens van 5500 M. in het algemeen te hoog. *Tanaka* vindt bij toenemende hoogte een *geleidelijk* verminderen der geestelijke en lichamelijke prestaties tot een druk van ongeveer 428 mm. (4500 M.); op deze hoogte treedt bij alle p. p. een *plotselinge* scherpe daling op; Tanaka noemt dit terecht een keerpunt. Mede op grond hiervan lijkt het mij gewenscht om vooral bij lange vluchten reeds van 4500 M. af extra-zuurstof te laten gebruiken. Als alleruiterste, in bijzondere gevallen en bij vluchten van zeer korten duur, mag een alv. O_2-spanning van 35 mm., zooals die gemiddeld op 6000 M. werd gevonden, getolereerd worden.

---

[1]) Tanaka, l.c. (zie Hoofdst. I).

Bij onze volgende beschouwingen over de bruikbaarheid der zuurstof-apparaten zullen we, mutatis mutandis, met de verkregen gegevens rekening moeten houden.

TABEL VI.

Alveolair-lucht op 6000 M., luchtdruk 360 m/m., bij extra-zuurstoftoevoer.

P.P.		N°. v.h. Proto-col.	O_2-toevoer in L. per min.		CO_2		O_2		Pols.
N°.	Naam.		gemeten op 6000 M.	van 760 m/m.	%	m/m.	%	m/m	
1.	Jd.	16 F.	7¼	3,4	12,81	40,1	39,93	125,0	72
2.	Sg.	70 A.	id.	id.	11,29	35,3	35,14	110,0	68
3.	Bl.	49 C.	id.	id.	10,50	32,9	43,00	134,6	58
4.	Bg.	50 D.	id.	id.	9,25	29,0	41,59	130,2	66
5.	Ms.	53 D.	id.	id.	11,62	36,4	43,34	135,7	62
6.	Be.	59 D.	id.	id.	10,58	33,1	41,60	130,2	74
7.	Rt.	65 B.	id.	id.	12,98	40,6	46,12	144,3	72
8.	Bs.	56 D.	id.	id.	10,37	32,5	35,76	111,9	74
9.	Bn.	67 D.	id.	id.	12,07	37,8	33,65	105,3	70
10.	Br.	69 A.	id.	id.	11,90	37,2	41,34	129,4	68
Gemiddeld: . .			7¼	3,4	11,34	35,5	40,15	125,7	68
11.	Br.	18 B.	± 6.	± 2,8	12,50	39,1	30,14	94,3	—
12.	St.	22 C.	id.	id.	10,70	33,5	31,99	101,3	—
13.	Lt.	26 C.	5.	2,4	12,41	38,8	22,89	71,6	—

Zooals uit tabel VI blijkt bedraagt de gemiddelde zuurstofspanning der alveolairlucht bij een zuurstoftoevoer van 7¼ L. per minuut op 6000 M. 125,7 mm. Zij is dus belangrijk grooter dan normaal.(101,7mm.)

De polsfrequentie daalt tot 68 en komt dus nog juist onder de normale waarde. (69). Het geringe verschil wijst er op, dat het deel der zuurstofspanning in de alveolairlucht *boven* 100 mm. slechts weinig invloed heeft op de oxygenatie van het bloed. Deze 24 mm. zijn dus overbodig; een zuurstoftoevoer van 7¼ L. per minuut is op 6000 M. noodeloos te groot. Bij een lang verblijf op deze hoogte kan men volstaan met 6 L/min., zooals blijkt bij de nos. 11 en 12 van tabel VI. Een toevoer van 5 L/min. is te weinig. (n°. 13). Blijft de vlieger echter naar grootere hoogte doorstijgen, dan kan de tijdelijk te ruime zuurstofvoorziening alleen een voordeel zijn. Schadelijk is deze hooge zuurstofdruk ook bij lang voortduren in geen geval. In het algemeen wordt aangenomen, dat de zuurstof de weefsels snel schade doet als haar partieele spanning 2 atm. bedraagt. (*Bert.*) In den laatsten tijd zijn hieromtrent nauwkeuriger gegevens verkregen. Volgens dierproeven (konijnen) van *Achard, Binet en Leblanc* [1]) ontstaan bij 80 % zuurstof (in een atmosfeer van 769 mm.) longoedeem, ontstekingshaarden in de long, enz., die na 5 à 6 dagen den dood ten gevolge hebben. Bij 50% zuurstof, d.i. een spanning van 380 mm., traden ook na dagen geen schadelijke gevolgen op. De hoogste zuurstofspanning in de inademings-lucht, die in een der bovenstaande gevallen werd bereikt, bedroeg niet meer dan ongeveer 220 mm. en blijft dus ver beneden de schadelijke spanning. Het zij hier terloops opgemerkt, dat bij geen mijner verdere proeven deze 220 mm. nog eens werd bereikt.

Gebruik makend van het vroeger besproken feit, dat globaal gesproken het stikstofpercentage der ademlucht weinig aan verandering onderhevig is in de longen, kan met behulp der gegevens uit tabel VI ten naasten bij de samenstelling der uit het masker ingeademde lucht worden berekend. Het zuurstofpercentage dier lucht is n.l. gelijk aan de som der percentages van zuurstof en koolzuur der alveolairlucht en bedraagt dus gemiddeld 51,5 %, wat een druk vertegenwoordigt van 185 mm. Dit bedrag moet eigenlijk nog verminderd worden met het koolzuur-

[1]) Achard, Binet et Leblanc, J. de Physiol. et de Pathol., 1927, XXV, n°. 3 p. 489.

gehalte der inademings-lucht, maar dit is bij een open masker gering. Dit zuurstofgehalte loopt, niettegenstaande den voor allen *gelijken* zuurstoftoevoer, voor de verschillende p.p. uiteen van 59 tot 46 %. Deze groote individueele verschillen zijn gemakkelijk te verklaren. Ten eerste is de hoeveelheid toegevoerde zuurstof per minuut niet groot genoeg, om het adem-minuten-volume geheel te dekken en wordt dus bij de inspiratie met de zuurstof ook buitenlucht aangezogen. Daar de zuurstoftoevoer constant is, hangt het van de grootte der longventilatie af, met hoeveel buitenlucht de zuurstof zal worden vermengd. De persoonlijke verschillen in de longventilatie zijn derhalve oorzaak van de bovengenoemde verschillen in zuurstofgehalte der ingeademde lucht. De buitenlucht wordt hoofdzakelijk aangezogen door de vrije uitademingsopening in het masker, maar, en daarin schuilt een tweede oorzaak der verschilen, bij niet alle personen en ook niet bij dezelfde persoon op verschillende tijdstippen, sluit het masker even goed tegen het gezicht aan; hoe meer lek er is, hoe meer buitenlucht den zuurstofstroom zal verdunnen.

De gemiddelde alveolaire koolzuurspanning op 6000 M. bij extra zuurstoftoevoer bedraagt volgens tabel VI: 35,5 mm. (max. 40,6; min. 29). Vergeleken met tabel V zien we een snelle stijging der CO_2-druk (behalve bij p.p. n°. 4) bij zuurstoftoevoer. Zuurstofgebrek is niet meer aanwezig; de longventilatie neemt af, waardoor de alv. CO_2-druk stijgt; het stijgen van den koolzuurdruk kan hier niet anders dan secundair zijn, het primaire bij de regeling van het ademmechanisme is hier blijkbaar het al of niet aanwezig zijn van zuurstofgebrek.

Opmerkelijk is, dat niettegenstaande den meer dan normalen alv. zuurstofdruk, de alv. koolzuurdruk niet tot de normale hoogte (40,3 mm.) terugkeert. Ook bij voortgezette zuurstofademing op 6000 M. vond ik na 60 min. nog CO_2-spanningen, die lager waren dan normaal. *Haldane* [1]) wijst, zij het in een ander verband, ook hierop: " . . . on raising the alveolar oxygen pressure there is an immediate, though comparatively slight, rise in the alveolar CO_2-pressure, as we found on

[1]) Haldane, l.c. p. 370.

Pike's Peak when a mixture rich in oxygen was breathed in place of ordinary air." Hetzelfde verschijnsel vindt men terug in de diagrammen, die Haldane op p. 368 geeft. Bij 3 personen, na een langdurig verblijf op een hoogte van 4200 M., op 0 M. teruggekeerd (wat dus overeenkomt met verhooging van de O_2-spanning in de ademlucht) duurt het resp. 10, 14 *en meer dan* 14 *dagen* eer de alv. CO_2-spanning de normale hoogte weer heeft bereikt.

Deze verschijnselen laten zich verklaren door het optreden van organische, resp. anorganische zuren in het bloed bij zuurstofgebrek [1]). Bij terugkeer tot normale omstandigheden kan het, vooral wat de anorganische zuren betreft, geruimen tijd duren, eer de oorspronkelijke verhoudingen in het bloed zijn hersteld en de CO_2-druk weer normaal wordt.

TABEL VII.

Alveolair-lucht op 9000 M., luchtdruk 250 m/m., bij extra-zuurstoftoevoer.

P.P.		N°. v.h. Proto-col.	O_2-toevoer in L. per min.		CO_2		O_2		Pols.
N°.	Naam.		gemeten op 6000 M.	van 760 m/m	%	m/m.	%	m/m	
1.	Jd.	21 C.	14	4,6	19,97	40,6	47,68	96,8	76
2.	Sg.	70 B.	id.	id.	17,19	34,9	45,02	91,4	76
3.	Bl.	49 D.	id.	id.	17,72	36,0	57,70	117,2	60
4.	Bg.	51 B.	id.	id.	14,44	29,3	47,56	96,6	71
5.	Ms.	54 B.	id.	id.	17,63	35,8	48,33	98,1	58
6.	Be.	60 A.	id.	id.	16,70	33,9	47,37	96,2	86
7.	Rt.	65 C.	id.	id.	17,88	36,3	47,33	96,1	75
8.	Bs.	66 B.	id.	id.	15,84	32,1	48,36	98,0	82
9.	Bn.	68 C.	id.	id.	18,90	38,3	51,69	104,9	72
10.	Br.	69 B.	id.	id.	16,13	32,7	46,58	94,6	70
Gemiddeld: . .			14	4,6	17,24	35,0	48,76	99,0	73

[1]) Zie pag. 87.

De alveolaire koolzuurdruk heeft op 9000 M. vrijwel dezelfde waarde, als op 6000 M. Ze bedraagt gemiddeld 35,0 mm. (max. 40,6; min. 29,3). De gemiddelde zuurstofspanning is 99,0 mm. (max. 117,2; min. 91,4). Deze spanning is ongeveer gelijk aan de normale op den grond; een zuurstoftoevoer op 9000 M. van 4,6 L/min. is blijkbaar ideaal. Alle p.p. voelen zich onder deze omstandigheden dan ook uitstekend, afgezien van een soms hinderlijk wordende druk in het abdomen. De polsfrequentie is gemiddeld 73, (max. 86, min. 58), dus iets boven normaal.

Haldane [1]) vermoedt, dat men op 9000 M. voldoende zuurstof krijgt uit een mijnwerkers-apparaat, dat 2 L. (van 760 mm.) per minuut levert. Bij dit apparaat, dat overigens voor vliegers niet zou voldoen, wordt uit en in een zak geademd, waarbij het koolzuur wordt geabsorbeerd. Er gaat dus geen zuurstof verloren. Bij het vlieger-apparaat moet steeds rekening worden gehouden met het wegstroomen van zuurstof tijdens de expiratie. Volgens *Zwaardemaker* [2]) verhouden zich in- en uitademing in tijdsduur als 1 : 1,3, terwijl ze zonder pauze in elkaar overgaan. Van de continu doorstroomende zuurstof wordt dus ten hoogste het $\frac{1}{2,3}$ de deel voor de ademhaling gebruikt, zijnde in bovenstaand geval $\frac{1}{2,3} \times 4,6$ of 2 L/min. De schatting van Haldane is dus in volkomen overeenstemming met de door mij experimenteel vastgelegde hoeveelheid.

---

[1]) Haldane, l.c., p. 380.
[2]) Zwaardemaker, l.c., dl. I, p. 424.

TABEL VIII.

Alveolair-lucht op 12.000 M., luchtdruk 170 m/m., bij extra-zuurstof-toevoer.

P.P. N°.	P.P. Naam.	N°. v.h. Proto-col.	O_2-toevoer in L. per min. gemeten op 12000 M.	O_2-toevoer in L. per min. van 760 m/m.	CO_2 %	CO_2 m/m.	O^2 %	O^2 m/m	Pols.
1.	Jd.	55 B.	27½	6,2	27,73	34,1	63,78	78,4	75
2.	Sg.	70 C.	id.	id.	27,83	34,2	49,52	60,9	88
3.	Bl.	49 E.	id.	id.	22,01	27,1	57,43	70,6	62
4.	Bg.	51 D.	id.	id.	23,99	29,5	62,03	76,3	84
5.	Ms.	54 D.	id.	id.	28,06	34,5	62,45	76,8	60
6.	Be.	60 B.	id.	id.	24,89	30,6	60,24	74,1	88
7.	Rt.	65 D.	id.	id.	26,22	32,3	58,07	71,4	76
8.	Bs.	66 C.	id.	id.	22,79	28,0	58,52	72,0	84
9.	Bn.	68 D.	id.	id.	25,51	31,4	50,62	62,3	74
10.	Br.	69 C.	id.	id.	25,65	31,5	56,73	69,8	70
Gemiddeld: . .			27½	6,2	25,47	31,3	57,94	71,3	76

Op 12000 M. blijkt de alveolaire koolzuurspanning belangrijk lager te zijn, dan op 9000 M., n.l. gemiddeld 31,3 mm. (max. 34,5; min. 27,1). De longventilatie is dus weer toegenomen. Deze koolzuurwaarden komen vrijwel overeen met die op 6000 M. zonder extra zuurstof (gem. 31,5 mm.)

De zuurstofspanning is ook lager dan op 9000 M., n.l. gemiddeld 71,3 mm. (max. 78,4; min. 60,9). De gemiddelde polsfrequentie is 76.

Bij een zuurstoftoevoer van 27½ L. per minuut is dus de alv. zuurstofdruk wel veel lager, dan normaal, maar ze is toch voldoende om

iemand, die in betrekkelijke rust verkeert en niet aan andere schadelijke invloeden, zooals b.v. extreme koude, is blootgesteld, zonder bezwaar ook gedurende langeren tijd op deze groote hoogte te laten vertoeven. Wat de alv. zuurstofspanning betreft is b.v. een verblijf op 3000 M. ongunstiger (61,4 mm.) en het vliegen op 3000 M. heeft zoover ik weet bij gezonde vliegers nog nooit eenige schadelijke gevolgen gehad.

Opmerking.

Bij het gebruik van het woord „ongunstiger" is alleen gedacht aan de alveolaire O_2-spanning als zoodanig, gelijk ook bij alle andere beschouwingen betreffende de oxygenatie van het bloed in deze verhandeling. Geheel juist is dit niet, immers de H-ionen-concentratie van het bloed is een belangrijke factor bij de dissociatie van het haemoglobine en deze H-ionen-concentratie houdt o.m. verband met de alv. CO_2-spanning, welke bij mijn experimenten wisselt tusschen ongeveer 20 en 40 m.m.

Bij een lagere CO_2-spanning heeft de oxydatie van het haemoglobine in de longen volledíger en sneller plaats, terwijl de reductie in de weefsels daarentegen minder volledig en langzamer verloopt. (*Macleod*)[1]).

Daar deze twee factoren in tegengestelden zin werken, is de invloed der alv. CO_2-spanning op de hoeveelheid O_2, die in de weefsels wordt afgegeven, waarschijnlijk gering; daar mij bovendien hieromtrent geen gegevens ten dienste stonden, liet ik de CO_2-spanning buiten beschouwing.

De tweeledige vraag doet zich voor of met een grooteren zuurstoftoevoer op 12.000 M. nog betere resultaten zijn te bereiken en anderzijds of de toevoer van 27½ L./min. niet noodeloos te groot is.

Wat het eerste deel dezer vraag betreft moet ik beginnen met mede te deelen, dat mijn apparaten geen grootere hoeveelheid op 12000 M. konden leveren. Bij mijn p.p. bevatte de ingeademde lucht gemiddeld ongeveer 83 % zuurstof, er werd dus nog vrij veel buitenlucht aange-

[1]) Macleod, l.c., p. 387 e.v.

zogen. Gesteld nu, dat de zuurstoftoevoer zoo hoog wordt opgevoerd, dat het minuten-ademvolume er ruim door wordt gedekt. Theoretisch zal dan geen buitenlucht worden aangezogen, zoodat 100 % zuurstof wordt geademd. Bij een dergelijken ruimen zuurstoftoevoer zal de longventilatie weinig of niet zijn toegenomen; de alv. koolzuurspanning zal dus ongeveer 40 mm. bedragen. In dit geval zal de alv. zuurstofdruk maximaal kunnen bedragen: 170 — 47 — 40 of 83 mm.

In de practijk zal een geringe vermenging met buitenlucht bij gebruik van een open masker niet geheel te voorkomen zijn, terwijl ook stikstof uit de lichaamsweefsels zal worden uitgescheiden naar de alveoli, zoodat de werkelijke zuurstofdruk lager dan 83 mm. zal zijn. Alleen verlaging van den CO_2-druk zal nog weer eenige mm. zuurstofwinst kunnen geven. Zelfs bij deze veronderstelde groote zuurstoftoevoer kan dus op 12000 M. de normale alv. zuurstofspanning van $\pm$ 100 m.m. niet worden bereikt; zij kan in gunstige gevallen ongeveer 10 mm. hooger worden, dan bij mijn proeven het geval was. Deze betrekkelijk geringe winst, die echter toch van groot belang is, kan bij gebruik van hetzelfde masker slechts worden verkregen ten koste van ettelijke liters zuurstof; naar schatting zal de zuurstoftoevoer daartoe moeten bedragen 35 à 40 L. per minuut.

De beantwoording van het tweede deel der vraag, n.l. of een zuurstoftoevoer van 27½ L. per minuut niet noodeloos te groot is, is van belang, omdat het a priori niet geheel onmogelijk was, dat bij vermindering van den toevoer de alv. zuurstofspanning slechts weinig zou worden beïnvloed, zoodat in daartoe geschikte gevallen de zuurstof economischer zou kunnen worden gebruikt. Bovendien is het nuttig te weten tot hoever in een geval van zuurstofrantsoeneering kan worden gegaan. Ik bepaalde daarom bij een 5-tal p.p. op 12000 M. de samenstelling der alveolairlucht bij een zuurstoftoevoer van 18½ L./min. (zijnde 4 L. van 760 mm.) met het volgende resultaat. (Zie tabel IX).

Vergelijking der tabellen VIII en IX leert, dat vermindering van den zuurstoftoevoer van 27½ tot 18½ L./min. de gemiddelde alv. zuurstofspanning doet dalen van 71,3 tot 54,7 mm. Voor een langdurig verblijf

op 12000 M. is dit laatste te weinig; beneden $27^1/_2$ L. zal men slechts onder overigens zeer gunstige omstandigheden mogen gaan, en dan nog slechts voor korten tijd. Wegens de op hoogten van 9 tot 12.000 M. heerschende lage temperaturen, moet de als minimum toelaatbare alveolaire zuurstofspanning namelijk veel hooger gesteld worden, dan de vroeger als alleruiterste gevonden 35 m.m.

TABEL IX.

Alveolair-lucht op 12.000 M. bij een zuurstoftoevoer van $18^1/_2$ L./min.

P.p.		Koolzuur.		Zuurstof.	
No.	Naam.	%	mm.	%	mm.
1.	Jd.	27,23	33,5	48,95	60,2
2.	Sg.	20,48	25,2	34,72	42,7
4.	Bg.	24,54	30,2	45,61	56,1
5.	Ms.	27,98	34,4	51,95	63,9
11.	St.	26,00	32,0	41,23	50,7
Gemiddeld:		25,25	31,1	44,49	54,7

Vergelijken we de gevonden benoodigde hoeveelheid zuurstof van 6 à 7 L (van 760 mm.) per min. met de hoeveelheid, die de vroeger besproken moderne zuurstof-apparaten leveren, dan vinden we het volgende.

Het Aëra-apparaat systeem Munerelle geeft op 10.000 M.: 7 L./min. Voor 12.000 M. is de hoeveelheid niet opgegeven, maar zij zal ook de 7 L. niet veel ontloopen. Van dit apparaat kan worden aangenomen, dat het tot 12.000 M. voldoende zuurstof levert.

Het „Lungen-automatisches" Dräger-apparaat geeft tusschen 10 en 12.000 M. 8 L. per min. Ook deze hoeveelheid is in overeenstemming met het door mij als noodig gevondene. Merkwaardig is, dat met dit apparaat op deze groote hoogte blijkbaar geen zuurstof-bezuiniging wordt bereikt, niettegenstaande het kleppenmechanisme, dat zuurstof-verlies tijdens de expiratie zou moeten voorkomen.

In het licht mijner uitkomsten bezien is het niet geheel duidelijk wat de doodsoorzaak is geweest van een 3-tal vliegers, die dit jaar bij pogingen om het hoogte-record te verbeteren, het leven lieten op een hoogte van ongeveer 12.000 M. (Deze hoogte werd in geen der gevallen overschreden, zooals bleek uit de aanwijzingen der meegevoerde zelf-registreerende instrumenten). Dat het hier een quaestie van onaf-wendbaar zuurstofgebrek zonder meer, een overschrijden van de hoogte-limiet met zuurstof-apparaat zou zijn, gelijk meestal wordt aangenomen, is onwaarschijnlijk.

Nauwkeurige gegevens omtrent deze gevallen zijn schaars, maar als zeker mag worden aangenomen, dat bij deze recordvluchten van goede zuurstof-apparaten is gebruik gemaakt en dat een voldoende hoeveel-heid zuurstof is meegevoerd. Wanneer aan deze twee voorwaarden is voldaan, kan men van een voldoend hoogen alv. zuurstofdruk verzekerd zijn. Is men daarentegen b.v. om gewicht te sparen met de zuurstof te zuinig geweest, dan is een catastrophe niet te vermijden, zooals uit tabel IX al blijkt.

Het wil mij echter voorkomen, dat men in deze gevallen allereerst moet denken aan de extreem lage temperatuur waaraan de vliegers waren blootgesteld. Tegen een temperatuur van ongeveer 58 gr. onder nul kan men zich door kleeren in een vliegtuig niet afdoende beschutten. Zelfs onder geheel normale omstandigheden kan bij een dergelijke

temperatuur bewusteloosheid en erger optreden. En nu moge een alveolaire zuurstofspanning van b.v. 70 mm. bij normale temperatuur voldoende zijn, bij een lage temperatuur is de stofwisseling en daarmee het zuurstofverbruik verhoogd, waardoor de zuurstof-armoede relatief grooter wordt. Niet de geringere zuurstofspanning op zich zelf, maar hoogstens deze in verband met de zeer lage temperatuur, zoo niet deze laatste alleen, is het gevaar van vliegen op hoogten van 9 tot 12.000 M. in open toestellen.

TABEL X.

Gemiddelde waarden van 10 p.p.

Hoogte		O_2-toevoer in L. per min.		CO_2		O_2		Pols.
druk in m.M.	in M.	ter plaatse.	van 760 m/m.	%	m/m.	%	m/m.	
756	0	—	—	5,68	40,3	14,33	101,7	69
535	3.000	—	—	7,56	36,9	12,57	61,4	80
360	6.000	—	—	10,07	31,5	11,11	34,8	98
360	6.000	$7^1/_4$	3,4	11,34	35,5	40,15	125,7	68
250	9.000	14	4,6	17,24	35,0	48,76	99,0	73
170	12.000	$27^1/_2$	6,2	25,47	31,3	57,94	71,3	76

Tabel X bevat de gemiddelde waarden uit de tabellen III tot VIII. Bij ademing van lucht van normale samenstelling ziet men van 0 tot 6000 M. de alv. zuurstofspanning sterk dalen; de koolzuurspanning daalt in mindere mate regelmatig mee. De polsfrequentie stijgt. Bij zuurstof-toevoer op 6000 M. stijgt de zuurstofspanning tot boven normaal; de koolzuurspanning gaat mee omhoog, zonder echter de normale waarde weer te bereiken; de polsfrequentie wordt nagenoeg normaal. Bij hooger stijgen daalt de zuurstofspanning weer; de koolzuurspanning

blijft op hetzelfde pijl zoolang de zuurstofspanning niet beneden de normale waarde van ± 100 m.m. is gedaald, daarna gaat ze mee naar beneden; de polsfrequentie neemt weer toe, maar is ook op 12.000 M. nog niet hoog te noemen.

Reeds vroeger sprak ik het vermoeden uit, dat het automatisch zuurstof-apparaat van Aëra, systeem Gourdon-Leseurre, als het zoodanig is afgesteld, dat het op 4000 M. begint zuurstof te leveren, op grootere hoogten onvoldoende in de zuurstofbehoefte voorziet. Teneinde dit na te gaan verrichtte ik een serie proeven, waarbij ik zelf als p.p. fungeerde en waarvan de uitkomsten in onderstaande tabel n°. XI zijn vermeld. Bij elke hoogte is de hoeveelheid geleverde zuurstof in L. van 760 mm. per min. vermeld, zooals ik die bij vroegere metingen vond.

TABEL XI.

Hoogte in M.	Koolzuur.		Zuurstof.		Zuurstof-toevoer L./min. van 1 atm.
	%	mm.	%	mm.	
6.000	11,09	35,8	29,36	94,8	2,4
9.000	17,85	36,2	30,66	62,2	3,1
9.000	15,84	31,4	36,93	75,0	3,1
12.000	26,87	33,1	41,80	51,4	3,0

De tweede proef op 9000 M. is op een anderen dag genomen, dan de drie andere. Ik nam deze in de tabel op om de verschillen, die men bij eenzelfden zuurstof-toevoer kan krijgen, te demonstreeren. Opzettelijk heb ik bij deze proef dieper geademd, dan bij de eerste op 9000 M., vandaar de lagere koolzuurspanning. Als gevolg hiervan en mede door de betere verversching der longlucht is de alveolaire zuurstofpanning bijna 13 m.m. hooger.

Overigens blijkt uit de tabel, dat de zuurstofvoorziening op 6000 M. voldoende is, maar daarboven niet toereikend. Stelt men het apparaat zoodanig af, dat het op 2000 M. begint zuurstof te leveren en neemt men dus het nadeel in den koop, dat er op geringe hoogte zuurstof onnoodig wordt verspild, dan bereikt men op grootere hoogte wel iets meer, maar toch ook nog niet genoeg.

Zooals vroeger vermeld bedraagt de zuurstoftoevoer dan op 9000 à 12.000 M. 3,8 L. per minuut; de alv. zuurstofspanning zal dus nog lager zijn, dan in tabel IX (waar de toevoer 4 L. was), welke reeds te lage waarden gaf.

Voor gebruik boven 6000 M. zijn deze apparaten derhalve minder geschikt; dit zal een der redenen zijn, waarom dezelfde fabriek later een verbeterd type (het beschreven apparaat systeem Munerelle) heeft uitgebracht, dat veel meer zuurstof levert.

Ik nam met een andere p.p. met hetzelfde apparaat nog een proef. Op 6000 M. bedroeg zijn alv. zuurstofspanning 73,9 mm., polsfrequentie 112. (polsfrequentie op den grond 100). De verdere beschrijving dezer proef in het protocol luidt:

„3.41 : 9000 M., pols 132. (*met* zuurstof-app.) P.p. krijgt het „benauwd" en ziet er inderdaad zoo cyanotisch uit, dat ik hem „snel mijn eigen zuurstofmasker (aangesloten op het Dräger-app.) „opzet en den zuurstoftoevoer ruim open. P.p. voelt zich dan „spoedig weer goed, na 2 minuten is de polsfrequentie sterk wisse- „lend, nl. in opvolgende 15 sec.: 29 — 23 — 20 — 26.

„3.45 : P.p. normaal; pols 104."

In dit geval leverde het apparaat dus reeds op 6000 M. weinig zuurstof; op 9000 M. blijkbaar veel te weinig voor dezen eenigszins emotioneelen proefpersoon.

De verkregen uitkomsten leken mij overtuigend genoeg, om van verdere experimenten met dit apparaat af te zien.

In een vorig hoofdstuk heb ik mijn bezwaren tegen het gebruik van maskers met ventielen in vliegtuigen uiteengezet. Het afdoende bezwaar

is de vrijwel absolute zekerheid, dat de ventielen bij gebruik in open toestellen op groote hoogte zullen vastvriezen. Kan dit bevriezen echter worden voorkomen, b.v. bij gebruik in een verwarmde gesloten cabine, dan kan een ventielinrichting mogelijk voordeelen bieden, in dien zin, dat met eenzelfden zuurstof-toevoer een hoogere alv. zuurstofspanning wordt verkregen of dat met een geringeren toevoer eenzelfde spanning wordt verkregen; een economischer gebruik der zuurstof in beide gevallen.

Teneinde dit na te gaan ging ik als volgt te werk. Ik voorzag mijn masker van een uitademingsventiel, bestaande uit twee vierkante lapjes rubber, die alleen met de hoekpunten op elkaar zijn geplakt en waarvan één een opening heeft iets kleiner, dan de doorsnede der uitademingsbuis van het masker, zoodat het ventiel op deze buis kan worden geschoven. Bij een inspiratie zuigen de rubberplaatjes tegen elkaar aan en sluiten de expiratie-opening af; bij een uitademing worden de plaatjes van elkaar verwijderd en kan de lucht vrij wegstroomen.

Door de aanwezigheid van het uitademingsventiel wordt bij de inademing de toegevoerde zuurstof minder met aangezogen buitenlucht vermengd; de zuurstofspanning der ingeademde lucht en daardoor ook die der alv. lucht zal dus vermoedelijk bij eenzelfden zuurstoftoevoer hooger zijn, dan zonder ventiel. Eenige buitenlucht wordt toch nog aangezogen, omdat het practisch ondoenlijk is om het masker luchtdicht tegen het gezicht af te sluiten, zonder dat dit op den duur hinderlijk wordt.

Het gebruikte ventiel had een weerstand bij uitademing van 3 à 5 mm. H_2O; de expiratie was hierdoor subjectief niet bemoeilijkt.

De onderdruk, die bij inspiratie in het masker kan ontstaan, is afhankelijk van de hoeveelheid toegevoerde zuurstof. Is deze hoeveelheid even groot of grooter dan het ademvolume, dan treedt geen onderdruk op; overdruk bij te grooten toevoer treedt niet op, daar de overtollige zuurstof wegstroomt door lekken tusschen masker en gezicht. Is de toevoer echter veel te klein dan ontstaat tijdens de inspiratie een onder-

druk, die zich subjectief als een onaangename belemmering van de respiratie doet gevoelen.

Op 9000 M. noteerde ik de volgende onderdrukken in mm. Hg.

a. bij toevoer van 9 L./min. (gelijk 3 L. van 760 mm.):

bij normale inspiratie	—1 mm.		subjectief
bij diepe „	—2 „		belemmerde
bij maximale „	—3½ „		ademing.

b. bij toevoer van 14 L./min. (normale hoeveelheid; 4,6 L. van 760 mm.) waren deze getallen resp.: —½, —1 en —2 en was subjectief geen belemmering merkbaar.

c. bij toevoer van 20 L./min. (7 L. van 760 mm.) was ook bij diepste inspiratie geen onderdruk te maken.

Teneinde de werking van het ventiel te kunnen beoordeelen, trachtte ik het percentage zuurstof der inademingslucht met en zonder ventiel onder overigens gelijke omstandigheden te bepalen. Na eenige methoden beproefd te hebben vond ik de volgende de bruikbaarste. In het aluminium masker boorde ik een gaatje en stak daardoor sluitend een buisje, dat in het masker tusschen neus en mond vrij eindigde. Aan het buiteneind van dit buisje verbond ik door middel van een gummislang een proefbuis van Haldane, die gevuld was met aangezuurd water. De onderste kraan der proefbuis zette ik open. De bovenste kraan opende ik telkens bij het begin eener inspiratie en sloot haar weer aan het eind der inspiratie. Tijdens den geheelen duur der inademing kon dus een deel der inademingslucht uit het masker in de proefbuis stroomen, terwijl een evengroote hoeveelheid water er uit vloeide. Na dit 15 à 20 keer herhaald te hebben was de proefbuis ongeveer gevuld met gas, waarvan ik mocht aannemen, dat het de gemiddelde samenstelling had van het tijdens deze respiratie-periode geademde mengsel.

De analyses der zoo verkregen monsters gaven de volgende resultaten.

TABEL XII.

N°.	Hoogte in M.	Zuurstoftoevoer in L. per min.		Zuurstof in ademlucht.				Verschil.	
				zonder vent.		met ventiel.			
		ter pl.	v. 760 m.m.	%	mm.	%	mm.	%	mm.
I.	6.000	5	2,4	25,96	93,5	32,03	115,3	6,07	21,8
II.	6.000	7½	3,4	40,76	146,7	42,41	152,7	1,65	6,0
III.	9.000	9	2,9	36,32	90,8	45,97	114,9	9,65	24,1
IV.	9.000	14	4,6	52,36	130,9	56,06	140,2	3,70	9,3
V.	12.000	18½	4,1	60,55	102,9	66,34	112,8	5,79	9,9
VI.	12.000	18½	4,1	62,46	106,2	67,82	115,3	5,36	9,1

Deze uitkomsten zijn geheel in overeenstemming met de verwachtingen. Ten eerste geeft het ventiel in alle gevallen een winst aan zuurstof-percentage in de inademingslucht. Ten tweede blijkt, dat in geen der gevallen de zuurstoftoevoer groot genoeg is om het geheele respiratie-volume te dekken, maar dat ook met ventiel nog belangrijke hoeveelheden buitenlucht worden aangezogen door de „lekken" tusschen gezicht en maskerrand.

Verder treedt duidelijk naar voren, dat het voordeel van het ventiel kleiner is, naarmate de zuurstoftoevoer op dezelfde hoogte grooter is. Zoo is de winst bij II slechts 1,65 % tegen 6,07 % bij I en bij IV slechts 3,70 % tegen 9,65 % bij III.

Buiten verband met het vorenstaande is uit tabel XII wat de zuurstofspanning in de ademlucht zonder ventiel betreft nog het volgende op te merken. De physiologische voorwaarde van ongeveer 160 mm. zuurstofdruk in de ademlucht wordt slechts benaderd in de gevallen II en IV met resp. 146,7 en 130,9 mm. Dit is in overeenstemming met de goede waarden der alv. zuurstofspanning bij gelijken zuurstoftoevoer gevonden en vermeld in de tabellen VI en VII. Bij V en VI is de

zuurstofdruk in de ademlucht te laag, resp. 102,9 en 106,2 mm., wat overeenstemt met de lage waarden van tabel IX. Een en ander is een aanwijzing, dat de gevolgde methode van verzamelen der inspiratielucht, zij het geen absolute, dan toch zeker zeer bruikbare relatieve waarden oplevert.

Onder gelijke omstandigheden als vermeld in tabel XII bepaalde ik de samenstelling der *alveolair*-lucht met en zonder ventiel, met de volgende uitkomsten. TABEL XIII.

N°.	Hoogte in M.	O_2-in L./min.		met of zonder ventiel.	Koolzuur.		Zuurstof.		Winst O_2 in mm.
		ter pl.	v. 760 mm.		%	mm.	%	mm.	
I.	6.000	5	2,4	z.	10.09	31,6	20,10	62,9	
	6.000	5	2,4	m.	12,13	38,0	24,34	76,2	13,3
II.	6.000	7½	3,4	z.	10,34	32,4	29,85	93,4	
	6.000	7½	3,4	m.	11,56	36,2	34,57	108,2	14,8
III.	9.000	9	2,9	z.	15,05	30,6	28,69	58,3	
	9.000	9	2,9	m.	17,08	34,7	37,18	75,5	17,2
IV.	9.000	14	4,6	z.	16,03	32,5	43,24	87,8	
	9.000	14	4,6	m.	16,25	33,0	49,82	101,1	13,3
VI.	12.000	18½	4,1	z.	27,01	33,2	36,47	44,9	
	12.000	18½	4,1	m.	28,74	35,3	41,18	50,7	5,8

De uitkomsten in deze tabel zijn voor zoover ze met vroegere te vergelijken zijn, aan den lagen kant. Een oorzaak heb ik hiervoor niet kunnen vinden. Aan de onderlinge vergelijking der uitkomsten met en zonder ventiel doet dit echter geen schade, daar de proeven na elkaar in dezelfde zitting werden genomen.

Uit tabel XIII blijkt dan, dat evenals in de inademingslucht ook in de alveolair-lucht de winst aan zuurstofspanning bij gebruik van een expiratie-ventiel duidelijk is, zelfs bij de onvolkomen afsluiting van het masker (die overigens in zooverre een voordeel is, dat nu geen sterke onderdruk kan ontstaan, welke de respiratie zou belemmeren). Bij eenzelfde zuurstofverbruik is de alveolaire zuurstofspanning met ventiel grooter dan zonder ventiel; de zuurstof wordt dus met ventiel economischer gebruikt niet alleen, maar zij kan door haar hoogere spanning in de longen haar physiologische functie vollediger verrichten.

Onder omstandigheden, waarbij het ventiel in zijn werking niet wordt belemmerd, b.v. in een verwarmde cabine, is het gebruik van een eenvoudig expiratie-ventiel derhalve sterk aan te bevelen, vooral op hoogten boven 9000 M. Het kan ook gebruikt worden in open toestellen b.v. bij hoogte-record-vluchten, waar de kans op vastvriezen bestaat, mits in de door mij gebruikte vorm (of in de vorm van de z.g. „rubber flutter valves"), omdat dan in geval van onklaar worden het ventiel met een enkele beweging van de uitademings-opening kan worden afgenomen. Het heeft dan zoolang het functioneerde den vlieger toch voordeel gebracht. Een ingebouwd, niet gemakkelijk uitschakelbaar ventiel is in deze gevallen uit den booze.

De voornaamste uitkomsten en conclusies uit dit hoofdstuk zijn in het kort de volgende.

Bij een atmosferischen druk van 360 mm. kwik (overeenkomende met een hoogte van 6000 M.) voorziet men ruimschoots in de zuurstofbehoefte van den vlieger door een zuurstoftoevoer van ongeveer

7 L. per minuut ter plaatse gemeten of ongeveer 3,4 L. van 760 mm., bij gebruik van een normaal open masker.

Bij een atm. druk van 250 mm. (9000 M.) is een zuurstoftoevoer van 14 L. (4,6 L.) voldoende.

Bij een atmosferischen druk van 170 mm. (12.000 M.) bedroeg bij 10 personen bij een zuurstoftoevoer van ongeveer 27½ L./min. (6,2 L. van 760 mm.) de alveolaire zuurstofspanning gemiddeld 71,3 mm. (max. 78,4; min. 60,9). Door grooteren zuurstoftoevoer en/of door gebruik van een uitademingsventiel is deze spanning nog op te voeren.

Uit een oogpunt van zuurstofvoorziening is een vlucht op 12.000 M., ook bij langer verblijf aldaar, goed mogelijk. De zeer lage temperatuur, waaraan een vlieger in een open vliegtuig blootgesteld is, stelt hier echter grenzen. Om veilig te gaan moet de hoogte-grens voor vliegers (in open toestellen) uitgerust met een goed zuurstof-apparaat en zoo goed mogelijk beschermd tegen de koude, niet hooger worden gesteld dan 11.000 M.

De veelal aangenomen hoogte-grens zonder extra-zuurstof van 5500 M. is over het algemeen te hoog en kan alleen gehandhaafd worden voor betrekkelijk korte vluchten, die geen bijzondere lichamelijke of geestelijke inspanning van een der inzittenden vereischen. Bij een duur der vlucht van eenige uren, bij wolkenvluchten, moeilijke orientatie, het verrichten van waarnemingen, fotografeeren, luchtgevechten e.d. verdient het aanbeveling reeds op 4500 M. zuurstof te nemen.

Het zuurstof-apparaat van Aëra, systeem Gourdon-Leseurre, is niet berekend voor gebruik boven ongeveer 7000 M.

Door het masker van een uitademingsventiel te voorzien kan de meegevoerde zuurstof economischer worden gebruikt.

Wordt een masker met uitademingsventiel gebruikt, dan moet de constructie zoodanig zijn, dat het ventiel zonder tijdsverlies buiten werking kan worden gesteld, zoodat de uitademingsopening geheel vrij komt.

HOOFDSTUK V.

DE SAMENSTELLING DER ALVEOLAIR-LUCHT BOVEN 12000 M. — DE ZUIVER MECHANISCHE INVLOED VAN DEN GERINGEN ATMOSFERISCHEN DRUK.

(Eigen onderzoek).

Biedt het vraagstuk der zuurstof-voorziening tot hoogten van 12.000 M. dus geen onoverkomelijke moeilijkheden, dan doet zich de vraag voor tot welke hoogte men met een gewoon zuurstof-apparaat zonder gevaar kan gaan, m.a.w. welke is physiologisch de hoogte-limiet bij zuurstoftoevoer en gebruik van een gewoon open masker.

Dat een dergelijke hoogte-limiet moet bestaan is gemakkelijk aan te toonen. Op een hoogte, waar de atmosferische druk b.v. 100 mm. bedraagt, is in de alveolair-lucht voor zuurstof, koolzuur en stikstof gezamenlijk slechts 100 — 47 of 53 mm. beschikbaar (deze 47 m/m is de spanning der in de alveolair-lucht aanwezige waterdamp). Neemt men het theoretische geval, dat de ingeademde lucht geen stikstof bevat en dat geen stikstof naar de alveoli wordt uitgescheiden, dan is de 53 mm. beschikbaar voor zuurstof en koolzuur alleen. De alveolaire koolzuurspanning zal zeer waarschijnlijk tusschen 20 en 40 mm. liggen; de, alv. zuurstofspanning derhalve tusschen 33 en 13 mm. Bedenkt men dat de alveolair-lucht practisch nooit geheel stikstofvrij zal zijn, dat dus het maximum van 33 mm. practisch niet zal worden bereikt, dan is het duidelijk, dat op de gestelde hoogte de zuurstofvoorziening van de lichaamsweefsels onvoldoende zal zijn ook onder de gunstigste omstandigheden. De hoogte, waar de atmosferische druk 100 mm. bedraagt, ligt dus reeds boven de bedoelde limiet.

Is het dus mogelijk om langs theoretischen weg het bestaan eener

hoogte-limiet te bewijzen, de werkelijke waarde dezer hoogte kan op deze wijze niet worden bepaald, omdat men omtrent de koolzuur- en de stikstofspanning der alveolair-lucht in het duister tast. En deze twee spanningen zijn het juist, die den doorslag geven; elke mm. koolzuur of stikstof meer of minder beteekent een mm. zuurstof minder of meer.

Bauer [1]) schat dat de bedoelde hoogte-limiet ligt tusschen 40.000 en 45.000 ft. (12.000 en 13.500 M.).

Haldane [2]) zegt: „it is probable that marked symptoms of oxygen shortage would only begin to appear at pressures below 140 mm." (d.i. boven 13.000 M.).

Béhague, Garsaux en Ch. Richet fils [3]) stelden een onderzoek in naar den critischen zuurstofdruk op verschillende hoogten en bij wisselend zuurstofgehalte van de ademlucht. Dit onderzoek geschiedde om de onjuistheid van de uitspraak van *Bert* en anderen aan te toonen, dat de critische zuurstofdruk der ademlucht op alle hoogten practisch dezelfde is. Ik heb er reeds op gewezen, dat deze uitspraak inderdaad onnauwkeurig is en dat deze critische zuurstofdruk niet bepaald moet worden in de ademlucht, maar in de alveolair lucht. Met deze wijziging blijft de uitspraak echter van kracht.

De wijze, waarop nu Béhague c.s., de onjuistheid der oorspronkelijke uitspraak trachten aan te toonen lijkt mij geheel onjuist. Zij houden blijkbaar in het geheel geen rekening met de in de longen aanwezige waterdampspanning, koolzuur en stikstof. Zij komen tot de conclusie, dat de critische zuurstofdruk hooger is, naarmate het zuurstof-percentage der ademlucht hooger is, maar houden er geen rekening mee, dat in bijna al hun gevallen de totale atmosferische druk zoo laag is, dat er voor zuurstof in de alveolairlucht bijna geen „plaats" meer is. Nemen we willekeurig een van hun gevallen: bij 70% O_2 in de ademlucht is de kritische O_2-spanning 53,4 m/m. Uit deze gegevens volgt, dat bij deze

[1]) Bauer, Aviation Medicine.

[2]) Haldane, Respiration, p. 380.

[3]) Béhague, Garsaux, Charles Richet fils: „L'oxypression critique physiologique" Arch. Internat. de Physiologie, vol. XXX, fasc. 1, 1928, p. 152.

proef de totale atmosferische spanning bedroeg: $\frac{100}{70} \times 53{,}4$ m/m = 76 m/m. Voor zuurstof, koolzuur en stikstof tezamen blijft dus in dit geval in de alveolairlucht slechts een spanning van 76—47 = 19 m/m. beschikbaar. Of nu de ademlucht 70 of 100 of 20 % zuurstof bevat, doet weinig ter zake, er is niet voldoende plaats in de alveolair-lucht. Het bepalen van een critischen zuurstofdruk in de ingeademde lucht heeft bij dergelijke lage atmosferische spanningen geen zin meer.

Op grond van hun uitkomsten meenen de auteurs, dat de mensch niet hooger kan gaan dan 17.000 M. (atm. druk 66 m/m.), terwijl men volgens de oude uitspraak volgens hen zou mogen verwachten 21.000 à 22.000 M. (atm. druk 35 à 30 m/m.)!! Uit deze berekeningen blijkt duidelijk, dat schrijvers zich om waterdamp etc. niet bekommeren; dat deze berekeningen absoluut onjuist zijn behoeft na het bovenstaande voorbeeld van een atm. druk van 100 m/m geen betoog.

Teneinde naast deze veronderstellingen eenige positieve gegevens te verkrijgen ondernam ik in de onderdruk-caisson eenige tochten tot een druk van 124 mm. Deze druk bleek achteraf vrij willekeurig gekozen. Ik had mij nl. voorgesteld te gaan tot een hoogte van 15.000 M. en vond in „Hütte" [1]) dat daar de atm. druk 124 mm. bedraagt. Uit de gegevens, mij welwillend verstrekt door dr. Cannegieter, onderdirecteur van het Kon. Nederl. Meteorologisch Instituut, bleek mij later, dat althans in onze streken een atm. druk van 124 mm. reeds op geringere hoogte, nl. op ongeveer 14.000 M., wordt bereikt, daar de gemiddelde temperatuur lager is, dan die, welke in Hütte is aangenomen.

Ik mag niet ontkennen, dat deze tochten niet geheel zonder gevaar waren. Immers wist ik niet of en wanneer ik de voor mij critische hoogte zou overschrijden. Een eventueel onverwacht optredende collaps, waarbij bovendien allicht het zuurstof-apparaat in het ongereede zou raken, zou fataal kunnen worden. Het vervelende bij het

[1]) „Hütte", Des Ingenieurs Taschenbuch, 22. Aufl., Berlin, 1924, p. 331 e.v.

bereiken van de hoogtelimiet met zuurstof-ademing is nl. dat men zelf niets in reserve heeft om er aan te ontkomen. Gaat men zonder zuurstof tot 6000 M. of hooger, dan kan er ook bij een dreigende collaps niets gebeuren, omdat men dan altijd nog wel tijdig zuurstof kan gaan ademen; in bovenbedoelde geval heeft men van deze zijde echter niets te verwachten, omdat men reeds alles heeft ingezet. Het eenige wat bij gevaar te doen overblijft is de druk in de caisson zoo snel mogelijk te verhoogen, door de inlaatklep vol open te zetten en tegelijk voor de zekerheid van buiten af zuurstof in de caisson te laten blazen. Het eerste is het voornaamste; het tweede *alleen* heeft geen zin, immers zuurstof is er genoeg (zoolang men tenminste het masker nog voor heeft), maar de druk is te laag, die moet in de eerste plaats verhoogd worden. Alles komt hier aan op de voortdurende oplettendheid van dengene, die de caisson van buiten bedient; nog meer dan anders moet hij de inzittenden voortdurend in het oog houden en zoo noodig zelfs op eigen initiatief ingrijpen. Het zeer snel verhoogen van den druk kan natuurlijk gevaarlijk worden voor de trommelvliezen, maar er is geen andere keus; men moet van twee kwaden het minste kiezen. Misschien is in een dergelijk noodgeval tijdelijk nog iets te bereiken door een buis tot achter in den mond te brengen en hierdoor zuurstof onder eenigen overdruk toe te voeren, dus overeenkomstig de narcose-methode van *Meltzer*. Bij gesloten mond stroomt een deel der zuurstof dan door den neus weg, maar de zuurstofspanning in de longen zal op deze wijze toch verhoogd worden. Het is echter de vraag hoe de ademhaling zich hierbij zal gedragen; deze maatregel zal zeker slechts als van tijdelijken aard beschouwd moeten worden en de drukverhooging in de caisson mag niet achterwege blijven.

Het laten binnenstroomen van zuurstof in de caisson heeft natuurlijk wel zin, wanneer het zuurstof-apparaat onklaar raakt. Bij een vroegere gelegenheid was mij dit gebeurd op 12.000 M. Ik zag plotseling den wijzer van het apparaat terugloopen tot nul. Het is in zoo'n geval absoluut fout om te trachten het mankement te ontdekken en te herstellen, daarmee gaat zeer kostbare tijd verloren en voor men iets heeft uitge-

voerd is men bewusteloos. Ik liet dan ook zonder mij een seconde te bedenken mijn proeven en mijn zuurstof-apparaat in den steek en ging met mijn mond vlak voor de uitstroomings-opening van de buitenstaande zuurstofflesch zitten, onderwijl den bediende een wenk gevend, dat er iets niet in den haak was. Deze was op zijn qui vive en had de zuurstofkraan al opengedraaid. Ik ademde nu in den krachtigen zuurstofstroom en kon zoo rustig afwachten tot de druk in de caisson weer hoog genoeg was om er zonder extra zuurstof in te verblijven.

Eerst nadat ik herhaalde tochten tot een druk van 124 mm. had gemaakt, zonder daarbij ook maar één keer groote bezwaren te ondervinden, ben ik er toe overgegaan ook eenige mijner proefpersonen, die zich hiervoor vrijwillig aanmeldden, tot dit niveau op te voeren. Te meer deed ik dit, omdat ik telkens bij mijzelf eenige verschijnselen had waargenomen, die belangrijk genoeg waren, om ze aan andere proefpersonen te contrôleeren.

Ik wil beginnen met de protocollen dezer zittingen te vermelden.

Protocol n°. 55.

Proefpersoon: *Jd.* Datum : 4-6-'28. Barometerstand: 761.

Begin: 10.18. Pols op 0 M.: 68.

10.28: 5500 M., begin zuurstof-ademing; Dräger-app., stand: 6. Op 8000 M. begin ructus en flatus, welke laatste vooral zeer overvloedig is.

10.34: 12.000 M.; zuurstoftoevoer geleidelijk opgevoerd tot 9. Pols: 83.

10.42: 12.000 M.; zuurstoftoevoer op 12, waarop hij verder gedurende de geheele proef blijft.

Hoesten, fluiten, neusophalen, enz. zijn vrijwel onmogelijk. (op 10.000 M. reeds moeilijk). De proef van Valsalva is slechts met veel moeite uitvoerbaar.

10.47: 12.000 M. Pols: 75.

Alveolair-lucht na normale inademing.

Samenstelling: CO_2: 27,73 % / 34,11 mm.; O_2: 63,78 % / 78,44 mm.

10.55: Atmosferische druk 144 mm. Volgens de hoogte-formule [1]) komt deze druk overeen met een hoogte van 13.292 M. Voor onze streken is het rond 13.000 M.
Pols: 86.

Alveolair-lucht na inspiratie.

Samenstelling: CO_2: 34,69 % / 33,66 mm.; O_2: 60,13 % / 58,33 mm.

Fijn gepiep in de ooren, dat niet verdwijnt door Valsalva. Knagende pijn in den linker pols; ook iets in het linker kniegewricht.

11.10: Atm. druk 124 mm.; overeenkomend met een hoogte van 14.000 M.

Alveolair-lucht na inspiratie.

Samenstelling: CO_2: 38,05 % / 29,28 mm.; O_2: 55,85 % / 43,00 mm.

Ik gevoel me onaangenaam; de pijn in de gewrichten neemt toe, ook in de handgewrichten. (Dit wilde ik schrijven; later bleek, dat ik tijdens de proef geschreven had: *pijn in gewrichten neemt toe, ook in toe.* Dit is een typisch geval van perseveratie, zooals die bij schrijfproeven onder zuurstofgebrek veel voorkomt.)

[1]) „Hütte", p. 331.
Deze hoogte-formule luidt voor onze breedte:

$$H_2 - H_1 = (18.400 \times 70\, t_m) \log. \frac{P_1}{P_2},$$

waarin: H_1 en H_2: hoogten in M. boven zeeniveau,
P_1 en P_2: bijbehoorende atm. spanningen in m/m. Hg.
en t_m: gemiddelde temperatuur tusschen H_1 en H_2.
Is $H_1 = 0$ M. en neemt men $t_m = 0°$, dan krijgt de formule de eenvoudiger gedaante: $H = 18.400 \log. \frac{P_1}{P_2}$. Deze formule werd gebruikt; in werkelijkheid wisselt de waarde van t_m o.a. met het jaargetijde.

11.12: Begin der daling.

11.14: 8000 M.; dus 7000 M. gevallen in 2 minuten. (De bediende had op mijn wenk om te gaan dalen het inlaatventiel flink opengezet, omdat hij vond, dat ik „vreemd" deed).

Verder langzaam gedaald tot op den grond. (11.24).

Op 8000 M. zijn alle gewrichtspijnen weg.

Later wordt de pijn ter hoogte van het carpo-metacarpaal gewricht van den linkerduim nog even gevoeld; het is een vervelende knagende pijn.

Bij het verlaten van de caisson had ik een hoogroode kleur; ik voelde mij overigens normaal. Later op den dag hoofdpijn.

Protocol n°. 58.

Proefpersoon: Jd. Datum: 26-6-'28. Barom.: 753.

Bij deze proef behooren 5 schrijfproeven.

10.54: Begin. Pols: 80.

Schrijfproef n°. I. „Deze stijgproef tot 6000 M. zonder zuurstof en tot 14.000 M. met zuurstof dient om een inzicht te krijgen in de zuurstofvoorziening van vliegers op zeer groote hoogten."

11.01: 3600 M. Begin van een leeg gevoel in de maagstreek.

11.04: 4500 M. Ik moet duidelijk dieper ademen.

5500 M. Warm, moe gevoel in de oogleden; ik moet me inspannen om de oogen open te houden.

11.07: 6000 M. Zwaar gevoel in het hoofd; hoofdpijn; het wordt donkerder. Geen ructus of flatus.

11.07 tot 11.19: Niveau op 6000 M.

11.08: Pols 100.

11.10: *Schrijfproef n°. II.* „Deze stijgproef tot 6000 M. zonder zuurstof en tot 14.000 M. *zonder* zuurstof dient om een inzicht te krijgen in de *zuuu*rstofvoorziening van den vlieger op ..... groote hoogten."

(Fouten: *zonder* in plaats van *met*, onder den invloed van het

voorafgaande zonder; een *u* te veel in zuurstof, een zeer typische fout; weglaten van *zeer*).

11.12: Begin zuurstoftoevoer.

11.16: Alle bezwaren weg; pols 80.
Schrijfproef n°. III. Zonder fouten.

11.19: Verder stijgen. Zuurstoftoevoer geleidelijk opgevoerd volgens het gewone schema.

11.24: 9000 M. Gevoel alsof ik mijn longen niet behoorlijk vol kan krijgen; bij een poging om te fluiten breng ik haast geen geluid voort.

11.33: 12.000 M.; pols 78 (niet regelmatig).
Ik probeer mijn keel te schrapen, maar het lukt niet. Het geluid der motoren is veel zachter geworden, als op een afstand. (tubae Eustachii zijn goed open).
Schrijfproef n°. IV. Geen fouten, behalve één haal te veel in „zuurstof."

Mijn oogen tranen wat, waarschijnlijk door prikkeling van aan den bovenkant uit het masker ontsnappende zuurstof.

Op ongeveer 13.000 M. leeg gevoel in maag; sterke flatulentie.

11.48: Atm. druk 124 mm.; pols 84 (zeer gevuld; hard).

11.49: *Alveolairlucht na inspiratie.*
Samenstelling: CO_2 : 41,70 % / 32,1 mm. ; O_2 : 54,81 % / 42,2 mm.

11.51: *Schrijfproef n°. V.* „Deze stijgproef tot 6000 M. zonder zuurstof en tot 14.000 M. met zuurstof *dien w w* dient om een inzicht te krijgen in de zuurstofvoorziening van den vlieger op ..... groote hoogte." (*dien w w* was in de schrijfproef doorgehaald).

(Fouten: bij *dient* speelt mij blijkbaar door het hoofd *wordt genomen*, een term, die vroeger bij een dergelijke schrijfproef werd gebruikt; op zich zelf is dit niet als een fout aan te rekenen, maar wel is typisch, dat ik de eerste *w* als verkeerd beschouw en doorhaal, maar direct toch weer een *w* schrijf; weglaten van *zeer*.)

11.53: Pols 87, minder gevuld.

Pijn in linker duim ter hoogte van het carpo-metacarpaal gewricht; de pijn is aanhoudend en trekt aan de radiale zijde van den pols over een afstand van ongeveer 6 cm. omhoog.

Ik voel me onpleizierig; hol gevoel in maag, meer flatus en ructus. De pijn breidt zich uit over den geheelen linker pols; op andere plaatsen voel ik geen pijn.

12.00: De geheele linker pols doet pijn; de hand staat strak en iets gebogen in den pols.

12.01: Pols 84.

Alveolair-lucht na inspiratie.

Samenstelling: CO_2 : 38,82 % / 29,9 mm.; O_2 : 54,04 % / 41,6 mm.

Na het uitblazen van dit luchtstaal voel ik me wat duizelig, het wordt donkerder; de pijn in de hand is hinderlijk, de beweging ervan bemoeilijkt.

12.02: Begin der daling.

12.05: 8000 M. Pijn weg; alles weer veel lichter; ik voel me weer goed.

12.15: Einde.

N.B. Tusschen 11.48 en 11.54 had ik vergeten de inlaatklep der caisson wat te openen om op het niveau van 124 mm. te blijven; te 11.54 bemerkte ik ineens, dat ik door was gestegen tot 118 mm., wat geenszins de bedoeling was. (Nonchalance bij zuurstofgebrek).

Het Dräger-app. gaf bij 124 mm. per minuut rond 38 L. zuurstof.

Protocol n°. 62.

Proefpersoon: Jd. Datum: 14-8-'28.

Opnemen respiratie-curve. (Zie later).

Bijzonderheden:

6.000 M.: (zonder zuurstof). Ik voel me beroerd. (N.B. Het gebruik van deze minder parlementaire term wijst op het wegvallen der psychische remmingen bij zuurstofgebrek).

7.000 M.: Begin flatus.

12.000 M.: Sterke spanning in den buik, vooral links van onder tot boven; buikpijn; af en toe rommelingen.

14.000 M.: Buikkrampen, die telkens na flatus even verminderen; strak, pijnlijk, drukkend gevoel in den bovenbuik. Pijn in linker pols en in het linker heupgewricht, welke laatste bij staan (extensie) erger is, dan bij zitten. (flexie).

Protocol n°. 61.

Verschijnselen bij Jd. (tijdens de proef met Be).

13.000 M.: Begin pijn in muis linker duim. Bij het hooger stijgen (tot 130 mm.) breidt de pijn zich snel uit over de geheele middenhand en handwortel; stijf, pijnlijk gevoel. Vooral de duim is strak en moeilijk te bewegen. Later wordt de pijn in de middenhand iets minder.

13.500 M.: In het inter-phalangeaal-gewricht van den linker duim is de pijn onhoudbaar, stekend, uitstralend proximaal. De duim staat strak en krom.

De pijn in den handwortel neemt tijdens het verblijf op deze hoogte toe. Rechts ook pijn, maar veel minder dan links. Ik kan de linkerhand bijna niet gebruiken.

Later: de pijn trekt langs de radiale zijde van den onderarm omhoog tot aan den elleboog (strekzijde); nog later is zij voelbaar tot in den schouder.

Daling.

8.000 M.: Alle pijn weg.

Daar dit de eerste keer was, dat ik op deze hoogte gezelschap had, merkte ik nu eerst hoeveel moeite het kost om bij dezen lagen druk te spreken. Ik had reeds vroeger op 12.000 M. en ook lager bemerkt, dat het praten moeilijker werd, maar het was toch niet zoo lastig als fluiten, enz. Bij een atm. druk van 130 tot 124 mm. is het spreken zoo vermoeiend, dat men het al spoedig tot een minimum beperkt. De stem wordt laag en heesch; de klanken worden achter in de keel gevormd; men heeft spoedig een rauw, vermoeid gevoel in de keel. Het stemgeluid is geheel

van karakter veranderd: het wordt eentoning en klankloos. Men moet zich inspannen om eenigszins behoorlijk te articuleeren. Alle proefpersonen, die ik tot deze hoogte meenam, hadden dezelfde ervaring.

Het masker hindert natuurlijk bij het spreken ook, maar is niet de oorzaak van bovengenoemde verschijnselen, zooals op geringere hoogten is vast te stellen.

Protocol n°. 66. (laatste deel).
Proefpersoon Jd. Datum: 12-11-'28.
Stijgen.

150 mm.: Begin lichte pijn in l. duim (meta-carpus).
140 mm.: Pijn l. duim neemt toe; pijn r. voetzool bij den hiel, iets later langs den binnenkant optrekkend naar de wreef.
130 mm.: Hevige stekende pijnen in den r. voet (vooral zool) en in l. pols optrekkend tot aan den elleboog. Het ergst is de pijn ter hoogte van den metacarpus van den linker duim. De pijn in het polsgewricht neemt bij beweging niet in hevigheid toe, wel is de beweeglijkheid beperkt.

Dalen.

190 mm.: Pijn in voet bijna weg; in duim niet.
220 mm.: Pijn in voet geheel weg (maakt plaats voor een gevoel van warmte); pijn in duim bijna weg.
230 mm.: (ruim 9000 M.) Alle pijn weg.
8000 M.: nog even pijn aan den linker elleboog.
De daling van ongeveer 14.000 M. tot 8000 M. geschiedde in ruim 2 minuten.

Protocol n°. 70. (laatste deel).
Proefpersoon: Jd. Datum: 6-12-'28.

Tijdens deze proef had ik geen pijn, alleen een zwaar, vermoeid gevoel in den linker pols bij 124 mm.

Op 12.000 M.: buikkrampen; weinig flatus.

De buikkrampen nemen met de hoogte in hevigheid toe, ze worden hinderlijk en tenslotte *onhoudbaar*.

Protocol n°. 60.
Proefpersoon: Be. Datum: 24-8-'28. Barom. 759.
(Deel van het protocol boven 12.000 M.).

12.000 M.: P.p. voelt groote spanning in den buik, die zijn ademhaling belemmert. Hij zit onrustig op zijn stoel heen en weer te schuiven. (flatus?)

13.000 M.: Op deze hoogte ongeveer zit p.p. aan zijn linkerknie te voelen; hij buigt en strekt het been beurtelings. Op mijn vraag wat er is, antwoordt hij, dat hij denkt met zijn knie tegen den tafelrand te hebben gezeten, want de knie doet hem pijn.

Onder het verder stijgen blijft de pijn in de knie aanhouden, het is een stekende pijn, die het geringst is, als p.p. de knie wat gebogen houdt, maar ook dan niet geheel verdwijnt.

13.500 M.: (130 mm.). De pijn in de l. knie wordt zoo hinderlijk, dat p.p. er onrustig van wordt. P.p. klaagt nu ook over de rechter knie, hier is de pijn echter minder dan links. Later neemt de pijn wat af; verdwijnt echter niet geheel.

De samenstelling der alveolair-lucht op deze hoogte is: CO_2 : 24,83 %; 20,2 mm.; O_2 : 69,54 %; 57,7 mm.

Bij de daling is op 8000 M. alle pijn verdwenen.

N.B. Ten overvloede merk ik op, dat p.p. onkundig was van mijn eigen bevindingen op deze hoogte en bovenstaande symptomen geheel spontaan mededeelde.

Protocol n°. 66. (deel boven 12.000 M.).
Proefpersoon: Bs. Datum: 12-11-'28.

Op 12.000 M. vindt p.p. het blazen in de Haldane'sche buis erg moeilijk, het is of hij geen lucht heeft om uit te blazen.

Bij 130 mm. heeft p.p. hetzelfde gevoel in sterkere mate.

13.500 M.: Pols 96.

Alveolair-lucht na inspiratie.

Samenstelling : CO_2 : 32,26 % / 26,8 mm.; O_2 : 51,72 % / 42,9 mm.

Boven 142 mm. ziet p.p. licht cyanotisch. Hij klaagt over buikkrampen en een opgezet gevoel in den bovenbuik; flatus geeft tijdelijk verlichting.

Behalve dit geeft p.p. spontaan, noch op navraag eenige pijn of hinderlijk gevoel aan. Hij is vol verrukking over de zuurstof, die hij een „prachtige uitvinding" vindt. Afgezien van de buikpijn voelde hij zich op het hoogste punt „absoluut" normaal, veel beter, dan b.v. op 6000 M. zonder zuurstof. Deze hoogte heeft p.p. verschillende malen zoowel per vliegtuig, als in de caisson bereikt. Op 6000 M. zonder zuurstof moet hij zich altijd inspannen om niet dubbel te zien, op deze groote hoogte met zuurstof heeft hij niets van dubbel zien gemerkt.

Protocol n°. 70. (deel boven 12.000 M.).

Proefpersoon: Sg. Datum. 6-12-'28.

12.000 M.: P.p. voelt een sterken druk in den buik, heeft echter geen buikpijn; rijkelijke flatulentie.

Fluiten kan p.p. niet meer; het spreken vindt hij wel iets bemoeilijkt, maar toch niet veel. Om dat te bewijzen wil hij een tijdje achtereen spreken, maar hij geeft het spoedig op, het vermoeit hem te zeer.

14.000 M.: Pols 108; lichte cyanose van het gelaat.

P.p. krabt en wrijft op de rechterhand aan de rugzijde tusschen meta-carpale I en II. Hij heeft daar een vreemd gevoel; geen jeuk, geen pijn, maar iets daartusschen in. Ik neem me voor er over eenige minuten zoo noodig nog eens nader naar te informeeren, maar krijg daartoe geen gelegenheid meer, zooals uit het verdere verloop zal blijken. Na afloop van de proef herinnert p.p. zich niet ergens pijn te hebben gehad.

Alveolair-lucht na inspiratie.

Samenstelling: CO_2 : 35,99 % / 27,7 mm. ; O_2 : 35,71 % / 27,5 mm.

Daar p.p. gevraagd had om op het hoogste punt een schrijfproef te mogen doen, geef ik hem na het blazen door de Haldane'sche buis een potlood in de hand en papier voor zich, met de vraag iets te willen schrijven. Hij kijkt me vrij wezenloos aan, mompelt iets, staart op het papier, maar schrijft niet. Zijn pols is snel, klein en onregelmatig; ik geef den caissonbediende een wenk; deze opent onmiddellijk het inlaatventiel en laat zuurstof binnenstroomen. Ik druk p.p. zijn masker goed op het gezicht. We vallen zeer snel. De pols wordt weldra weer regelmatig en langzamer. Op ongeveer 9000 M. begint p.p. ineens te schrijven, nl.: *„langzaam dalen voor mijn ooren."* De pols is nu weer goed; ik laat verder langzaam dalen. P.p. kijkt dan op den hoogte-meter (die nu 8000 M. aanwijst) en daarna verwonderd en vragend naar mij. Ik vertel hem, dat hij bijna „weg" is geweest. P.p. gelooft mij niet. Ik verzoek hem eens te vertellen, wat er de laatste minuten gebeurd is.

P.p.: „We waren op 15.000 M. Toen heb ik door die buis geblazen. Na het blazen voelde ik me wat moe. En toen waren we op 8000 M."

Hij kijkt me vragend aan en dan: „Hoe komen we ineens op 8000 M.? Daar heb ik niets van gemerkt . . . Dan heb je toch gelijk!"

„Heb ik je niet gevraagd om iets te schrijven?"

„Schrijven? O, ja", en dan triomphantelijk: „maar ik heb toch ook geschreven!"

„Ja, maar toen waren we al weer op 9000 M."

„Ik had pijn in mijn ooren. Verder weet ik niks meer."

Het verzoek om te schrijven is blijkbaar nog juist tot p.p. doorgedrongen, daarna begint hij het bewustzijn te verliezen. Het is de vraag of hij heelemaal bewusteloos is geweest, zoo ja, dan toch zeer kort; hij bleef goed op zijn stoel zitten, zonder te hangen; ik hoefde hem slechts licht te steunen. Het eerste, wat hij voelde, toen hij weer geheel bij kwam, is blijkbaar de oorpijn geweest (ik voelde mijn ooren ook geducht); het verzoek om te schrijven was zijn laatste bewuste

contact met de buitenwereld geweest, hij *schrijft* dus, wat hij mij anders zeker *mondeling* of *door teekens* zou hebben duidelijk gemaakt. Merkwaardig is nog, dat p.p. dadelijk weer normaal denkt (voorzoover men althans een ervaringsconclusie als het resultaat van een denkproces mag beschouwen); hij schrijft niet: „ik heb oorpijn", of iets dergelijks, maar trekt direct de juiste conclusie, dat we te snel dalen en schrijft: „langzaam dalen", met als argument: „voor mijn ooren", ofschoon hem eerst later (op 8000 M.) met eenige moeite duidelijk wordt, dat we blijkbaar zeer snel gedaald zijn.

Typisch is de amnesie.

P.p. voelt zich bij verdere daling uitstekend, heeft ook later op den dag en volgende dagen geen klachten.

Tot zoover de protocollen betreffende de tochten boven 12.000 M. dezer 4 proefpersonen, die wij in het volgende nader zullen bespreken.

Beschouwen we eerst de samenstelling der alveolair-lucht. De gegevens hieromtrent vindt men vereenigd voor elken p.p. afzonderlijk in de tabellen XIV tot XVII, waarin ik ook de vroeger verkregen gegevens beneden 12.000 M. opnam.

De hoeveelheid toegevoerde zuurstof heb ik niet op alle hoogten boven 12.000 M. gemeten. Bij 124 mm. had ik een toevoer van rond 34 tot 38 L. per minuut. Op de andere hoogten heb ik de hoeveelheid geschat en ben daarbij zeer waarschijnlijk iets aan den lagen kant gebleven.

Koolzuur. Zooals uit de tabellen blijkt daalt de alv. koolzuurspanning vrij sterk boven 12.000 M. Bij *Be.* bereikt zij zelfs de buitengewoon lage waarde van 20,2 mm. De respiratie is blijkbaar levendig. Bij alle p.p. is de alv. koolzuurspanning op het hoogste punt lager dan op 6000 M. zonder zuurstof.

Zuurstof. De alv. zuurstofspanning daalt boven 12.000 M. sterk. Bij een atm. druk van 124 mm. bedraagt ze bij *Jd.* gemiddeld 42 mm., bij *Sg.* zelfs 27,5 mm. Dit is de laagste alv. zuurstofspanning, die ik

TABEL XIV.

Samenstelling der alveolair-lucht van *Jd.*

N°. v.h. protocol.	Hoogte		O_2-toevoer L. per min.		CO_2.		O_2.		N_2.		Pols.	14/8 '28.	
	druk in m/m.	in M.	ter plaatse.	van 760 m/m.	%.	m/m	%.	m/m.	%.	m/m.		Pols.	Resp.
8	755	0	—	—	5,86	41,5	13,30	94,0	80,84	572,5	76	74	12/13
16 B.	535	3.000	—	—	8,03	39,1	11,25	55,0	80,72	393,9	84	86	13
16 C.	360	6.000	—	—	10,10	31,6	10,86	34,0	79,04	247,4	96	94	16/17
16 F.	360	6.000	7 ¼	3,4	12,81	40,1	39,93	125,0	47,26	147,9	72	76	13
21 C.	250	9.000	14	4,6	19,97	40,6	47,68	96,8	32,35	65,6	76	78	14
55 B.	170	12.000	27½	6,2	27,73	34,1	63,78	78,4	8,49	10,5	75	80	16/17
55 C.	144	12.500	± 30	± 5,8	34,69	33,7	60,13	58,3	5,18	5,0	86	82	18/19
55 D.	124	14.000	± 34	± 5,5	38,05	29,3	55,85	43,0	6,10	4,7	92	84	19/20
58 A.	id.	id.	id.	id.	41,70	32,1	54,81	42,2	3,49	2,7	84	—	—
58 B.	id.	id.	id.	id.	38,82	29,9	54,04	41,6	7,14	5,5	84	—	—

TABEL XV.

Samenstelling der alveolair-lucht van *Be.*

N°. v.h. Protocol.	Hoogte.		O_2-toevoer L. per min.		CO_2		O_2		N_2		Pols.	Respiratie.
	druk in m.m.	in M.	ter plaatse.	van 760 m/m.	%.	m/m.	%.	m/m.	%.	m/m.		
59 A.	759	0	—	—	5,48	39,0	14,56	103,7	79,96	569,3	72	11
59 B.	535	3.000	—	—	7,29	35,6	11,69	57,1	81,02	395,3	86	13/14
59 C.	360	6.000	—	—	9,27	29,0	12,76	39,9	77,97	244,1	116	17/15
59 D.	360	6.000	7 1/1	3,4	10,58	33,1	41,60	130,2	47,82	149,7	74	11/12
60 A.	250	9.000	14	4,6	16,70	33,9	47,37	96,2	35,93	72,9	86	11/12
60 B.	170	12.000	27 1/2	6,2	24,89	30,6	60,24	74,1	14,87	18,3	88	12 (diep)
60 C.	130	13.500	±33	± 5,6	24,83	20,2	69,54	57,7	5,63	5,1	84	12 (diep)

TABEL XVI.

Samenstelling der alveolair-lucht van *Bs.*

N°. v.h. protocol.	Hoogte.		O_2-toevoer L. per min.		CO_2		O_2		N_2		Pols.
	druk in m.m.	in M.	ter plaatse.	van 760 m/m.	%.	m/m.	%.	m/m.	%.	m/m.	
56 A	752	0	—	—	5,74	40,5	14,01	98,7	80,25	565,8	71
66 A.	535	3.000	—	—	7,05	34,4	13,43	65,5	79,52	388,1	88
56 C.	360	6.000	—	—	9,73	30,5	11,14	34,9	79,13	247,6	112
56 D.	360	6.000	7¼	3,4	10,37	32,5	35,76	111,9	53,87	168,6	74
66 B.	250	9.000	14	4,6	15,84	32,1	48,36	98,0	35,80	72,9	82
66 C.	170	12.000	27½	6,2	22,79	28,0	58,52	72,0	18,69	23,0	84
66 D.	130	13.500	± 33	± 5,6	32,26	26,8	51,72	42,9	16,02	13,3	92

TABEL XVII.

Samenstelling der alveolair-lucht van *Sg.*

N°. v.h. protocol.	Hoogte.		O_2-toevoer L. per min.		CO_2		O_2		N_2		Pols.
	druk in m m.	in M.	ter plaatse.	van 760 m/m.	%.	m/m.	%.	m/m.	%.	m/m.	
5	762	0	—	—	5,81	41,5	14,77	105,0	79,42	568,5	72
23 A.	535	3.000	—	—	7,79	38,0	12,63	61,7	79,58	388,3	86
23 B.	360	6.000	—	—	10,73	33,6	9,82	30,7	79,45	248,7	108
70 A.	360	6.000	7¼	3,4	11,29	35,3	35,14	110,0	53,57	167,7	68
70 B.	250	9.000	14	4,6	17,19	34,9	45,02	91,4	37,79	76,7	76
70 C.	170	12.000	27½	6,2	27,83	34,2	49,52	60,9	22,65	27,9	88
70 D.	124	14.000	±34	± 5,5	35,99	27,7	35,71	27,5	28,30	21,8	108

ooit vond; p.p. was dan ook een collaps zeer nabij, zooals in de voorgaande bladzijden is beschreven. Het collabeeren bij een alv. O_2-spanning van 27,5 m.m. is in goede overeenstemming met het resultaat van *Strassburg*[1]), die in de weefselvloeistof (het intermediair tusschen bloed en lichaamscel) een zuurstofspanning van 25 m.m. aantoonde.

Waar in bovenbedoeld geval de O_2-spanning in het arterieele bloed slechts weinig meer dan 25 m.m. bedraagt, zal (ook wanneer onder deze omstandigheden de O_2-spanning in de weefselvloeistof mocht dalen) slechts zeer weinig zuurstof de cellen kunnen bereiken.

Bs. heeft bij een atm. druk van 130 mm. een alv. zuurstofspanning van 42,9 mm.; *Be.* daarentegen nog 57,7 mm. Deze laatste heeft zijn betrekkelijk hooge alv. zuurstofspanning ongetwijfeld te danken aan zijn zeer diepe ademhaling (zie later), waarop ook de lage koolzuurspanning wijst; zijn longlucht werd daardoor goed ververscht, terwijl hij bovendien eenige mm. zuurstof won door de daling van den koolzuurdruk.

Bij alle p.p., behalve Sg., is de alv. zuurstofspanning op het hoogste punt hooger, dan op 6000 M. zonder zuurstof.

Stikstof. De stikstofwaarde in de tabellen vermeld berekende ik als de rest der droge alveolair-lucht na aftrek van koolzuur en zuurstof.

Tot 9000 M. loopen deze waarden voor de 4 p.p. betrekkelijk weinig uiteen. De verschillen ontstaan hoofdzakelijk, zooals vroeger besproken, door meer of minder goed aanpassen van het masker tegen het gezicht. Op 12.000 M. treden de verschillen duidelijk voor den dag; de stikstofspanning varieert tusschen 10,5 en 27,9 mm.

Op de grootste hoogte (124 of 130 mm.) is bij *Jd.* de alv. stikstofspanning op 3 verschillende tijdstippen: 4,7 en 2,7 en 5,5 mm. of gemiddeld 4,3 mm.; bij *Be.:* 5,1 mm. Bij de beide andere p.p. bedroeg zij 13,3 en 21,8 mm. Op deze stikstofspanningen kom ik later terug.

[1]) Zie Zwaardemaker, l.c., dl. I, p. 394.

Pols. Het gedrag van den pols is, wat de frequentie betreft, eenigszins merkwaardig. Laten we p.p. *Sg.* met zijn extreem lage alv. zuurstofspanning buiten beschouwing, dan is de pols boven 12.000 M. minder frequent, dan in verband met de alv. zuurstofspanning te verwachten zou zijn. Boven 12.000 M. neemt de polsfrequentie slechts weinig toe; bij *Be.* daalt ze zelfs. Zij komt op het hoogste punt het dichtst bij die op 3000 M. zonder zuurstof, terwijl de alv. zuurstofspanning op 3000 M. bij *Jd.* 13,4 en bij *Bs.* zelfs 22,6 mm. hooger is. Bij *Be.* zijn polsfrequentie en alv. zuurstofspanning op genoemde niveau's vrijwel gelijk.

Het aantal proeven is gering en de resultaten zijn weinig in het oog loopend, maar ik ontkom niet aan den indruk, dat men er met eenzelfden alv. zuurstofdruk (als deze laag is) op zeer groote hoogte minder slecht aan toe is, dan op geringere hoogte, mits de overige omstandigheden (o.a. de temperatuur) gelijk zijn. Hiervoor pleit ook, dat men zich subjectief op 14.000 M. beter voelt, dan op 5500 à 6000 M. zonder extra zuurstof. (zie protocol *Bs.* n°. 66). Ook de schrijfproeven van protocol n°. 58 wijzen, ofschoon niet overtuigend, in deze richting; die op 14.000 M. met O_2 bevat minder fouten, dan die op 6000 M. zonder O_2. Een verklaring hiervoor zou het volgende kunnen zijn: bij eenzelfde zuurstofpsanning in de alv. lucht zal per tijdseenheid een grooter aantal zuurstof-moleculen naar het bloed diffundeeren, naarmate de totale spanning der alv. lucht lager is. (*Haldane*) [1]); de zuurstof-moleculen komen dan minder in botsing met andere moleculen. Het bloed heeft slechts gedurende korten tijd gelegenheid zuurstof uit de long-alveoli op te nemen; op zeer groote hoogte zou door de grootere diffusie-snelheid de zuurstofspanning in het arterieele bloed dus dichter bij die der alv. lucht kunnen komen, dan op geringe hoogte.

Alvorens uit de verkregen gegevens conclusies te trekken omtrent de zuurstofvoorziening boven 12.000 M., wil ik de vraag onder oogen

[1]) Haldane, l.c., p. 362.

zien, of het mogelijk is, zonder de methode van zuurstoftoevoer principieel te wijzigen, de alv. zuurstofspanning hooger op te voeren, dan bij mijn proeven het geval was.

De twee middelen, die ons hiertoe ten dienste staan zijn:

verhooging van den zuurstoftoevoer en

gebruik van een ademventiel.

Beide middelen kunnen, zooals vroeger aangetoond, met succes aangewend worden, zoolang er geen beperkende omstandigheden zijn. Zal de alv. zuurstofdruk hooger worden, dan kan dit alleen, indien de totale spanning der overige in de alv. lucht aanwezige gassen (waterdamp, koolzuur en stikstof) kleiner wordt.

Aan de waterdampspanning valt niet te tornen, zij blijft 47 mm.; de koolzuurspanning regelt zich zelf; blijft dus alleen over vermindering van de stikstofspanning. Bij *Jd.* en *Be.* bedraagt deze op het hoogste punt resp. 4,3 en 5,1 mm. Kon de alv. stikstofspanning tot nul gereduceerd worden, dan zou dus bij deze twee p.p. een zuurstofwinst van 4 à 5 mm. worden verkregen. Zoolang echter nog eenige stikstof in de lichaamsweefsels is opgelost zal de stikstofdruk in de alveolairlucht niet nul kunnen worden, ook al komt er met de ademlucht geen molecule stikstof naar binnen. Voor genoemde twee p.p. mag worden aangenomen, dat zij de maximale alv. zuurstofspanning hebben, die met het gebruikte apparaat te krijgen is; noch door verhooging van den zuurstoftoevoer, noch door het gebruik van een respiratie-ventiel zal deze spanning noemenswaard kunnen worden opgevoerd. Wel zou waarschijnlijk met een uitademingsventiel dezelfde alv. zuurstofspanning bij geringeren toevoer kunnen worden verkregen.

P.p. *Bs.* heeft op 13.500 M. nog 13,3 mm., p.p. *Sg.* op 14.000 M. nog 21,8 mm. stikstof in de alv. lucht. Bij beide kan de alv. zuurstofspanning, die laag is vergeleken bij die der andere p.p., worden opgevoerd, waarschijnlijk reeds alleen door meer zorg voor goed aansluiten van het masker; anders zeker door één der genoemde middelen. Maar ook zij zijn spoedig aan hun maximum; de lage atmosferische druk stelt zelf de grens.

Interessant is het in dit verband na te gaan wat men mag verwachten van den voorslag van *Mosso*, die, bouwende op zijn acapnie-theorie, geen zuivere zuurstof, maar een mengsel van zuurstof en koolzuur wil laten ademen op groote hoogte. Mosso wilde daardoor de alv. koolzuurspanning hoog houden, om acapnie te voorkomen. Op zeer groote hoogte is het mengsel van Mosso zonder eenigen twijfel onbruikbaar. Immers de verhooging van de alv. koolzuurspanning kan slechts plaats vinden ten koste der zuurstofspanning; deze laatste, die zelfs onder gunstige omstandigheden toch al laag is, zou daardoor nog lager worden. Enkele mm. zuurstof meer of minder zijn op zeer groote hoogte van groot belang.

Het is derhalve verwonderlijk, dat *Agazotti*[1]), een mengsel van 67 % zuurstof en 13 % koolzuur ademend, een hoogte van ongeveer 14.500[2]) M. (122 mm. druk) zou hebben bereikt zonder eenig bezwaar te ondervinden. Naar mijn gevoelen was de ademtechniek van Agazotti echter niet juist, met het gevolg, dat hij zich wel bevond in een atmosfeer van 122 mm. druk, maar ademde in een atmosfeer van hooger spanning. De toevoer van het ademmengsel geschiedde als volgt:

Een gashouder (gazomètre à eau) met 500 L. van het zuurstof-koolzuurmengsel stond buiten de pneumatische klok opgesteld. Hieruit kon telkens een zak van dierlijke membraan in de klok gevuld worden door een buis, die door den wand der klok ging en waarin binnen de klok een kraan zat. De spanning van het gas in den houder blijft steeds 1 atm.; naarmate de druk in de klok kleiner wordt zal dus het gas bij opening der kraan met grooter kracht in den zak stroomen (het verschil in spanning bedraagt tenslotte $^5/_6$ atm.), zooals Agazotti ook zelf zegt: „le sac se remplissait rapidement, *et il aurait même éclaté,*

---

[1]) *A. Agazotti: Expériences faites sur l'homme alors qu'il respire en même temps du CO_2 et de l'O_2 à la pression barométrique de* 122 *mm., correspondant à l'altitude de* 14,582 *mètres.* (*Laboratoire scientifique international du Mont Rosa. Travaux des années* 1904—1907. *Tome II, p.* 168).

[2]) De hoogte-berekening van Agazotti is niet juist; bij een druk van 122 mm. behoort een hoogte van rond 14.000 M.

si, quand il était plein, on n'avait pas fermé le robinet." Uit dezen zak ademde A. Het mengsel kwam door een Müller's-ventiel in het nauwkeurig luchtdicht tegen het gelaat afgesloten masker; de expiratie geschiedde, eveneens door een Müller's-ventiel, naar de klok. Op deze wijze, aldus A., werd een *constanten stroom* verkregen.

Het ligt voor de hand, dat de spanning van het mengsel in den zak na elke vulling uit den gashouder grooter is, dan die in de caisson. Daardoor stroomt het mengsel via het inspiratie-ventiel naar het masker en vandaar door het expiratie-ventiel naar de klok. Het stelsel van buizen en ventielen had blijkbaar nog al eenigen weerstand, anders zou er geen gevaar voor barsten van den zak bestaan. De hoogere druk in den zak blijft dus eenigen tijd bestaan en de stroom duurt tot de druk in den zak gelijk is aan dien in de klok vermeerderd met den weerstand der beide ventielen. Dit is vermoedelijk het oogenblik, waarop A. uiterlijk opnieuw mengsel in den zak toelaat, hij spreekt immers van een *constanten* stroom. Goed beschouwd ademde Agazotti dus in een zuurstof-koolzuurstroom, die een wisselende spanning had, welke echter steeds grooter was, dan de spanning in de klok. Agazotti bevond zich dus bij zijn experiment tot 14.000 M. wat zijn ademhaling betreft op een veel geringere hoogte. Tot goed begrip bedenke men wel, dat het bedoelde verschil in druk niet groot behoeft te zijn, om de omstandigheden reeds veel gunstiger te maken; eenige tientallen mm. spelen op deze hoogte reeds een belangrijke rol.

De beschrijving van de eerste proef van A. (tot 13.500 M.) geeft nog een bewijs van de juistheid mijner opvatting. Was de spanning in den zak gelijk aan die in de klok, zooals het eigenlijk hoorde, dan zou door de aanwezigheid der twee ventielen geen mengsel ongebruikt kunnen wegstroomen; is de druk in den zak echter hooger dan in de klok, dan heeft voortdurend verlies plaats. A. gebruikt nu bij deze proef, die 50 minuten duurt, ongeveer 500 L. mengsel van 1 atm., dus gemiddeld 10 L./min. Zijn minuten-ademvolume beweegt zich echter tusschen 6½ en 2½ L. van 1 atm. per min., waaruit volgt, dat een zeer groot deel van het mengsel ongebruikt is wegge-

stroomd, wat geheel in overeenstemming is met mijn bovenweergegeven opvatting.

Bij zijn proef tot 14.000 M. voelt A. zich op het hoogste punt *uitstekend*; zijn polsfrequentie van 116 lijkt me echter hiermee niet geheel in overeenstemming.

De conclusies van Agazotti, gebasseerd op deze enkele proef bij een temperatuur van 21 gr. C., luiden:

> „La présence d'une certaine quantité d'anhydride carbonique dans l'air „qu'on respire est nécessaire pour empêcher les symptômes de malaise durant „la diminution très forte de la pression barométrique.
>
> „Le conseil donné par Mosso aux aéronautes, d'ajouter de l'anhydride car„bonique a l'oxygène comprimé est pleinement justifié. Il suffit de 13% „d'anhydride carbonique avec 67% d'oxygène pour que l'homme puisse „arriver a une altitude de 14.500 M. sans le moindre trouble."

Het eerste deel hiervan is niet juist, omdat mijn p.p., die werkelijk ademden in een atmosfeer van 124 of 130 mm., bij ademing van onvermengde zuurstof in betere conditie waren, dan Agazotti, getuige o.a. de polsfrequentie; *noodig* is de CO_2 dus zeker niet.

Tot de tweede uitspraak is Agazotti naar mijne overtuiging niet gerechtigd, omdat het op zijn minst genomen zeer twijfelachtig is of hij wel op een hoogte van 14.000 M. ademde, terwijl bovendien zijn adem-apparaat voor aeronauten ten eenenmale onbruikbaar is.

Ik heb bij deze proef van Agazotti iets langer stilgestaan, omdat hij voor zoover mij bekend de eenige is, die een hoogte bereikte overeenkomende met die van mijn proeven.

Welke conclusies mogen nu worden getrokken uit de door mij verkregen gegevens?

Twee p.p. waren bij een atmosferischen druk van 130 mm. in goede conditie; één p.p. bij herhaalde proeven tot 124 mm. eveneens; één p.p. was bij 124 mm. in slechten toestand.

Onder overigens gunstige omstandigheden (rust, normale temperatuur) kunnen bij voldoenden zuurstof-toevoer gezonde menschen met

een normaal-zuurstof-apparaat een atmosferischen druk van 130 à 124 mm. (overeenkomende met globaal 13.500 à 14.000 M.) nog juist gedurende niet te langen tijd verdragen; deze hoogte moet echter als een limiet beschouwd worden. Er staan ons geen middelen ten dienste om deze limiet naar boven te verleggen, tenzij het adem-apparaat principieel wordt gewijzigd.

Theoretisch kan men zich een masker zonder uitademingsopening denken, dat absoluut luchtdicht tegen het gezicht afsluit. Wanneer in een dergelijk masker zuivere zuurstof wordt geperst tot een spanning van 160 à 170 mm. en er bovendien een koolzuur-absorber in wordt aangebracht, dan kan men met een dergelijk apparaat uitgerust, wat de zuurstofvoorziening betreft, willekeurig hoog gaan. In de practijk zou een dergelijk apparaat echter niet bruikbaar zijn. Het moge in het laboratorium onder gunstige omstandigheden en bij een in rust verkeerende proefpersoon al gelukken een masker luchtdicht af te sluiten, bij een vlieger, die aan wisselende temperaturen is blootgesteld, een wisselende vulling van de bloedvaten van het gezicht zal hebben en zijn hoofd vrij moet kunnen bewegen, zal dit niet gemakkelijk zijn, zeker niet, wanneer, zooals in het onderstelde geval, binnen het masker een overdruk moet heerschen. Daarbij komt, dat bij dit vliegermasker de afsluiting absoluut betrouwbaar zou moeten zijn; in het laboratorium is hoogstens een experiment mislukt, als het masker ondicht wordt, bij den vlieger zou dit op zeer groote hoogte fataal zijn. Beter zou het daarom zijn het masker uit te breiden tot een soort helm, die om den hals afsluit of tot een duikerpak, waarin de zuurstof op de genoemde spanning wordt gehouden. Het behoeft echter geen betoog, dat dergelijke uitrustings-stukken den vlieger in zijn taak zeer zouden belemmeren en voor de passagiers op zijn minst alleronaangenaamst zouden zijn. Men moet dus nog een stap verder gaan en het duikerpak uitbreiden tot een ruimte, waarin men zich kan bewegen. Zoo komt men tot de gesloten cabine als de oplossing van het vraagstuk om gedurende onbeperkten tijd zonder al te veel ongemak op zeer groote hoogte te kunnen vertoeven. Onder zorg van voldoende ventilatie wordt de om-

ringende atmosferische lucht in deze cabine gecomprimeerd tot ongeveer 1 atm. Zorgt men bovendien nog voor behoorlijke verwarming van dit vertrek (waarvoor misschien de bij het comprimeeren ontstane warmte nuttig kan worden aangewend), dan bevinden de luchtvaarders zich op elke hoogte practisch onder normale omstandigheden.

Bij gebruik van een dergelijke cabine kan nu echter het gewone zuurstof-apparaat een veiligheidsfactor van niet te onderschatten belang worden. Zoo goed als het meest trotsche zeekasteel uitgerust is met reddingsbooten, zoo goed zal een eventueel toekomstig hoogte-vliegtuig voorzien moeten zijn van veiligheids-installaties, o.a. wat betreft de zuurstofvoorziening der inzittenden. De mogelijkheid bestaat ten allen tijde, dat b.v. de compressor-installatie defect raakt. Nemen we het ergste geval, dat daardoor in de cabine de lage druk der omgeving komt te heerschen. Zonder veiligheids-inrichting zouden de inzittenden dan verloren zijn. Beschikt men echter over een middel, om vliegers en passagiers gedurende het eerste halve tot heele uur voldoende van zuurstof te voorzien, dan zijn zij gered, omdat het vliegtuig in dien tijd tot een lager niveau kan zijn gedaald, waar geen zuurstofgebrek meer te vreezen is. Dit middel is een eenvoudige zuurstof-installatie, overeenkomende met het bij mijn proeven gebruikte, waarvan ik de bruikbaarheid in soortgelijke omstandigheden tot een hoogte van ongeveer 14.000 M. heb kunnen vaststellen. Wat er op nog grooter hoogte zou moeten gedaan worden is een open vraag.

Een dergelijke installatie stel ik mij in haar eenvoudigsten en meest practischen vorm als volgt voor. Bij elke zitplaats hangt een klein masker met uitademings-ventiel (dat bij de normale temperatuur, die in de cabine heerscht, zijn diensten kan bewijzen). Alle maskers zijn aangesloten op één zuurstofflesch, die door een der manschappen van het vliegtuig wordt bediend. Op de hooge-drukflesch zit een eenvoudig reduceerventiel en een wijzerplaat met een verdeeling in K.M. hoogte. In geval van nood hebben de inzittenden slechts hun masker op te zetten, terwijl de mecanicien niet anders te doen heeft, dan de kraan der zuurstofflesch zoover open te draaien, tot de wijzer dezelfde hoogte

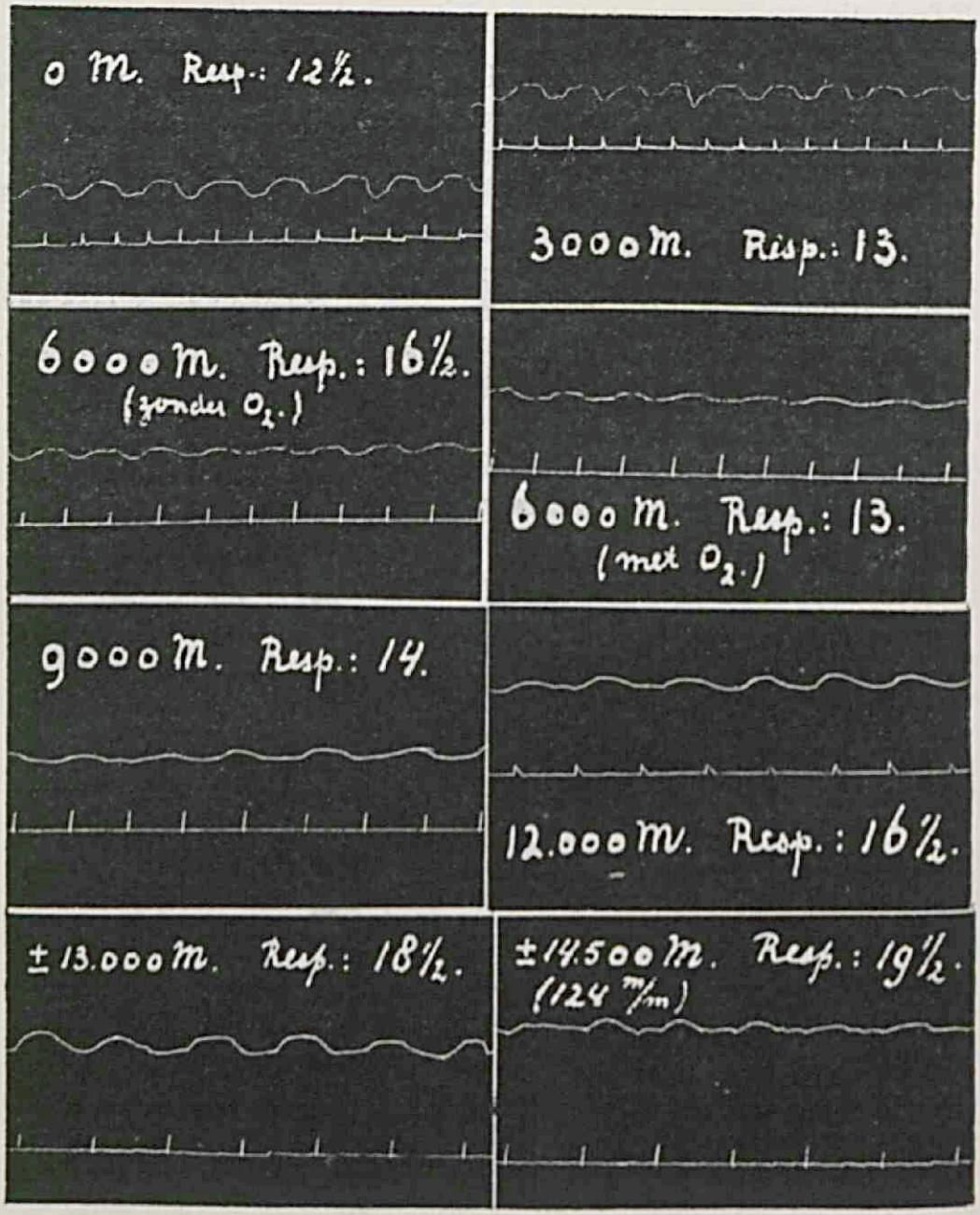
aangeeft, als de hoogtemeter in het vliegtuig. Het reduceerventiel moet zoodanig zijn afgesteld, dat op ± 14.000 M. per passagier per minuut ongeveer 40 L. zuurstof uitstroomt; d.i. rond 7 L. van 1 atmosfeer; en op lagere hoogte regelmatig minder, overeenkomstig de gegevens in het voorgaande vermeld.

Nemen we als voorbeeld een vliegtuig voor 15 passagiers met 2 vliegers en 1 mecanicien, dus totaal 18 personen. Geven we den vliegers een uur den tijd om in geval van nood van ongeveer 14.000 M. tot 4000 M. te dalen (wat zeer ruim berekend is), en stellen we, dat gedurende dien tijd gemiddeld 5 L. zuurstof van 1 atm. per persoon per minuut beschikbaar moet zijn, dan moet aan boord zijn: 18 × 60 × 5 of 5400 L. van 1 atm. Met een cylinder van 40 L. inhoud, waarin de zuurstof tot een druk van 150 atm. is gecomprimeerd (deze cylinders zijn in den handel) komt men dus in het onderhavige geval uit. Het totale gewicht van een dergelijke onmisbare installatie behoeft nog geen 100 K.G. te bedragen, zoodat het vliegtuig er niet noemenswaard door wordt belast.

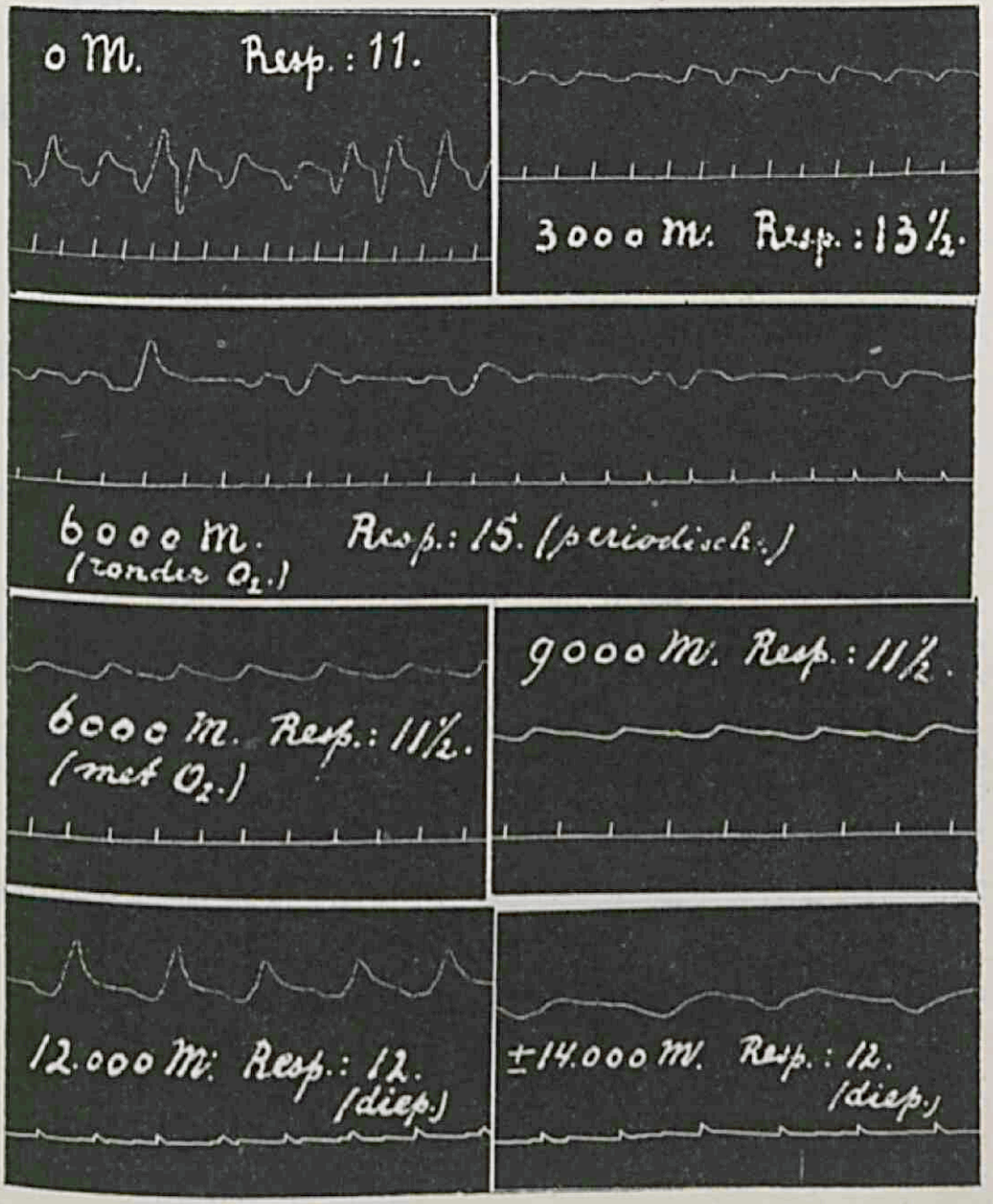
In de laatste kolommen van de tabellen XIV en XV vindt men de ademfrequentie per minuut op de verschillende hoogten. Door het inwendige van het masker te verbinden met een kleine Mareysche tambour konden de geringe drukschommelingen in het masker tijdens in- en uitademing op een beroet papier worden opgeteekend. De afbeeldingen 4 en 5 geven deelen der verkregen krommen. De tijdlijn geeft perioden van 3 sec. aan [1]).

Bij p.p. *Jd.* is de ademfrequentie op den grond 12½; tot 3000 M. blijft ze vrijwel constant (de alv. koolzuurspanning is overeenkomstig hiermee slechts weinig gedaald); op 6000 M. is zij gestegen tot 16½.

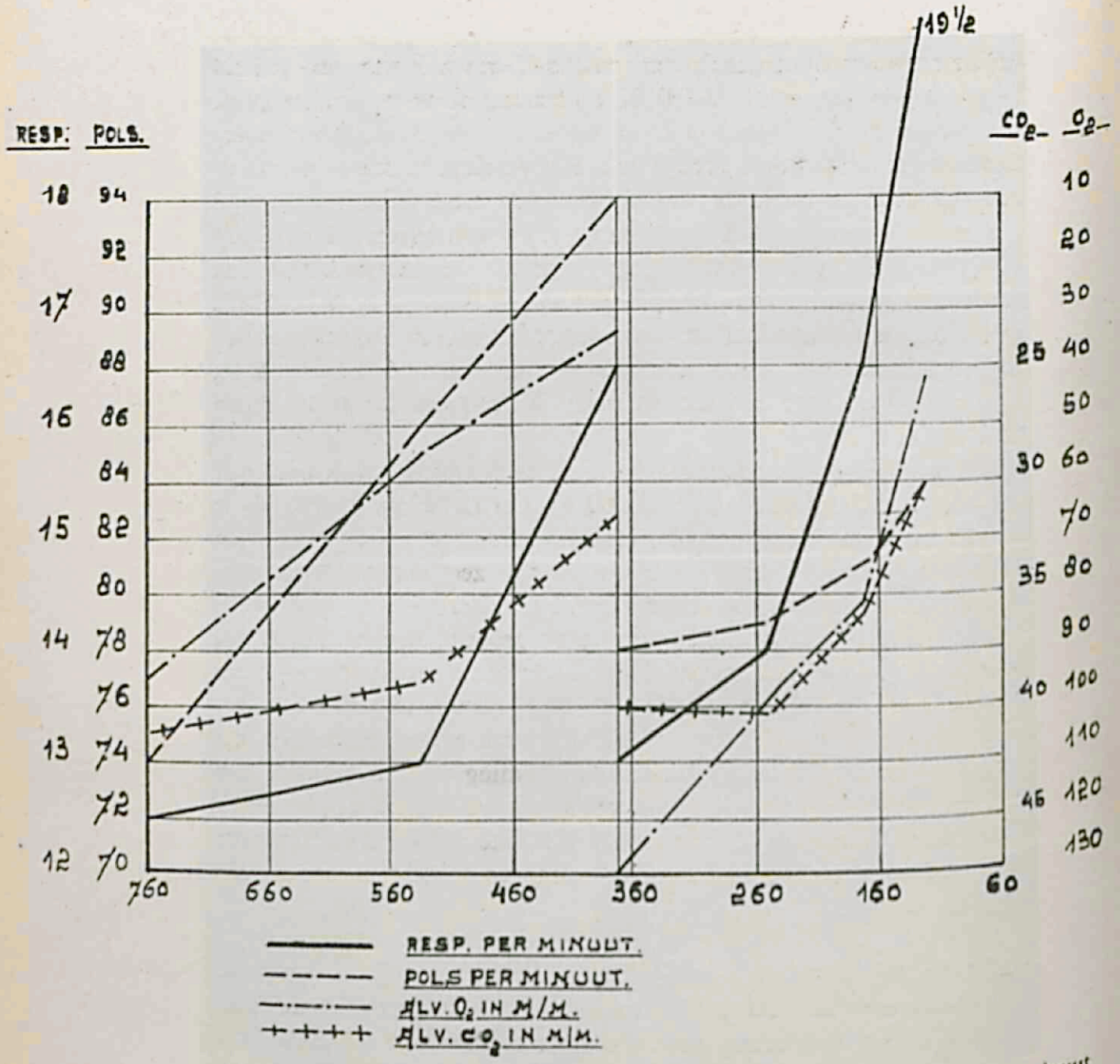
[1]) Zooals op de afbeeldingen te zien is, wordt de afstand tusschen twee tijdsignalen grooter naarmate de kromme op grooter hoogte is opgeteekend. Dit is niet een fout van den tijdschrijver, maar komt, doordat een kymographion werd gebruikt met windvleugels als regulateur. Bij een vasten stand van de vleugels zal het kymographion sneller draaien, naarmate de luchtdruk geringer wordt.



Afb. 4. Ademhalingskromme van p.p. *Jd.* (Naar boven is *uit*-, naar beneden is *in*ademing). Beschrijving in den tekst.



Afb. 5. Ademhalingskromme van p.p. *Be*. (Naar boven is *uit*-, naar beneden is *in*ademing). Beschrijving in den tekst.



Afb. 6. Graphische voorstelling van den samenhang van respiratie- en pols frequentie per minuut en alveolaire zuurstof- en koolzuurspanning bij p.p. *Jd.* Links van de dubbele lijn van 0 tot 6000 M. zonder zuurstof, rechts van 6000 tot 14.000 M. (124 m.m) met zuurstof.

Bij zuurstoftoevoer op deze hoogte daalt de frequentie weer tot normaal (13), om dan verder tot 14.000 M. regelmatig op te loopen tot 19½. Omtrent de diepte der respiratie kan weinig worden afgeleid; bijzonderheden vertoont de curve verder niet. Het verband tusschen alv. koolzuurspanning en respiratie is duidelijk. (zie tabel XIV).

P.p. *Be.* begint op den grond met een ademfrequentie van 11. Op 3000 M. is zij 13½ geworden. (hier is de alv. koolzuurspanning ook reeds flink gedaald). Op 6000 M. vertoont de curve een vrij dikwijls gesignaleerde eigenaardigheid. De respiratie is hier nl. duidelijk periodisch; telkens na één diepe ademhaling volgen eenige oppervlakkige. Later verdwijnt deze periodiciteit weer. De frequentie is in het eerste deel 17, later 15.

Bij zuurstoftoevoer op 6000 M. wordt de frequentie weer ongeveer normaal (11½) en blijft zoo tot 9000 M. Op 12.000 en 13.500 M. is ze 12, dus slechts weinig toegenomen, echter blijkt uit de curve, dat de ademhaling zeer diep is geworden, wat de zeer lage alv. koolzuurspanning van p.p. op het hoogste punt verklaart.

Beide ademhalingskrommen zijn op de grootste hoogte anders van vorm, dan op de andere niveau's. Het maakt den indruk of het type der respiratie veranderd is; de uitademing duurt relatief langer en de overgang naar de inademing lijkt geleidelijker, wat er op zou wijzen, dat vooral de *uit*ademing bij zeer lage atm. spanning moeilijker wordt. Dit is in overeenstemming met andere geconstateerde feiten, nl.: de moeilijkheid om behoorlijk in de buis van Haldane te blazen (geforceerde expiratie), de onmogelijkheid om te fluiten en de inspanning, die het spreken kost.

Het diagram van afb. 6 is samengesteld uit de gegevens van p.p. *Jd.* De nauwe samenhang tusschen alveolaire zuurstofspanning, alv. koolzuurspanning, pols- en ademfrequentie op de verschillende hoogten is er duidelijk uit te lezen.

Ten overvloede wijs ik nog op de scherpe stijging van alv. zuurstof-

en koolzuurspanning en de even scherpe daling der pols- en ademfrequentie bij zuurstoftoevoer op 6000 M.

Tenslotte vestig ik de aandacht op de verschijnselen, die op groote hoogten optreden als gevolg van den mechanischen invloed van den geringen luchtdruk.

Reeds vroeger heb ik er op gewezen, dat deze invloed tot 6000 M. gering is, mits de gassen uit de verschillende lichaamsholten voldoende kunnen ontwijken. Voor grootere hoogten wordt deze invloed der lage atmosferische spanning echter dikwijls onderschat; hier kunnen de gevolgen zeer onaangenaam, zoo niet gevaarlijk worden.

De gassen, die zich in het maagdarmkanaal bevinden, kunnen tot 6000 M. in de meeste gevallen door ructus en flatus voldoende verwijderd worden. Is men op 14.000 M., waar de luchtdruk 124 mm. of rond $^1/_6$ atm. bedraagt, dan zal het deel der gassen, dat nog niet ontsnapt is, een volume hebben van 6 maal het oorspronkelijke, nog afgezien van de gassen, die bij de lage spanning uit oplossing vrij komen. Dikwijls is de afvoer nu niet meer voldoende. Zooals ook uit de voorgaande protocollen blijkt ontstaat een gevoel van groote spanning in het abdomen; bij sommige proefpersonen rond en onder den navel (gasophooping in de dunne darm), bij anderen meer uitgesproken links of rechts (colon ascendens, resp. descendens), bij bijna allen bovendien een gevoel, alsof het diaphragma omhoog wordt gedrukt (colon transversum; maag?). Een en ander, vooral het laatste, belemmert de respiratie; de moeilijkheid om diep in te ademen wordt subjectief door bijna alle p.p. als zeer hinderlijk ondervonden. Tenslotte treden dikwijls heftige buikkrampen op, die een verblijf op zeer groote hoogte allerminst tot een genoegen maken. Dat het opgehoopte gassen zijn, die deze verschijnselen veroorzaken, blijkt uit het feit, dat zij minder hevig zijn naarmate er meer flatulentie is en dat flatus zoowel de krampen, als de spanning tijdelijk vermindert.

Alle verrichtingen, waarbij de lucht moet worden gecomprimeerd of waarbij de lucht in sterke beweging moet worden gebracht, zijn op

groote hoogte moeilijk of niet uitvoerbaar. Men kan probeeren te hoesten, den neus op te halen, de keel te schrapen; het blijft bij een poging, men bereikt er weinig of niets mee. De proef van Valsalva gelukt niet; het blazen in de buis van Haldane geeft het gevoel of men geen lucht heeft om uit te blazen.

Het is al even moeilijk om de lucht in trilling te brengen, teneinde geluid te maken. Fluiten is op 10.000 M. reeds moeilijk; boven 12.000 M. brengt men geen geluid meer voort. Het spreken is zeer bezwaarlijk; de stem heeft geen volume meer en is van karakter veranderd, men herkent zijn eigen geluid niet, het wordt een laag, rauw keelgeluid; het spreken is vermoeiend, de keel wordt spoedig pijnlijk; in de spieren van tong, keel en mondbodem treedt een gevoel van moeheid op, dat zeer onaangenaam is.

Dat tenslotte het gehoor vermindert en het lijkt alsof alle geluiden uit de verte komen en zacht en „afgerond" zijn, moet behalve misschien aan zuurstofgebrek zeker ook worden toegeschreven aan de slechtere voortplanting van het geluid bij den lagen atmosferischen druk.

Al deze betrekkelijke kleinigheden verwekken op zeer groote hoogte toch een onbehaaglijk gevoel van onvermogen, dat eventueel tot psychische ontstemming kan leiden.

Als belangrijkste der mechanische gevolgen van den lagen atmosferischen druk moet ik de optredende pijnen beschouwen. Voor zoover mij bekend is hierop nog niet eerder gewezen, mede om de eenvoudige reden, dat bij deze lage spanning met menschen niet is geexperimenteerd.

Den eersten keer, dat ik de pijn voelde, die voornamelijk in den linkerpols zetelde, bracht ik haar in verband met een oude fractuur van metacarpale II, die met vrij veel callusvorming genezen was. Toen bij elken volgenden tocht de pijn opnieuw optrad en ik haar nauwkeuriger localiseerde, moest ik deze veronderstelling echter laten vallen; de plaats van de callusvorming was steeds vrij van pijn. De pijn begint bij p.p. *Jd.* bijna steeds in de buurt der duimgewrichten en blijft verder

voornamelijk in het polsgewricht gelocaliseerd; de hand staat dan in het polsgewricht iets gebogen en de beweging is moeilijk. Een enkelen keer trekt de pijn omhoog tot den elleboog en het schoudergewricht. Rechts treedt de pijn slechts in mindere mate op. Eén keer moest de rechtervoet het ontgelden. De pijn begint steeds op ongeveer 13.000 M. en is bij daling op 8000 M. weer verdwenen.

P.p. *Be.* voelt de pijn in den linkerknie; bij licht gebogen stand is de pijn het minst. De rechterknie is een beetje pijnlijk. Ook hier begint zij op 13.000 M. en eindigt op 8000 M.

P.p. *Bs.* heeft geen pijnen gevoeld.

P.p. *Sg.* herinnert zich na afloop der proef niets van pijn. Op 14.000 M. heeft hij een vreemd gevoel in de huid van de rechterhand; het is geen pijn, ook geen jeuk.

De verschijnselen bij de eerste twee proefpersonen, alsmede die bij den laatsten proefpersoon misschien, doen denken aan die, welke op kunnen treden bij decompressie na verblijf in gecomprimeerde lucht; aan lichte gevallen van *caisson-ziekte.* Bij de eerste twee p.p. treden de z.g. „bends" op, bij de laatste huid-paraesthesien. Inderdaad is het stijgen niet anders dan een decompressie; met dit verschil, dat de gewone decompressie eindigt bij 1 atm. en het stijgen daarbij begint, om te eindigen bij b.v. $^1/_6$ atm. (ongeveer 14.000 M.).

Daarmee is het optreden der verschijnselen echter niet verklaard. Immers bij de gewone decompressie treden geen verschijnselen van caisson-ziekte op, wanneer de overdruk niet grooter is geweest, dan $1\frac{1}{4}$ à $1\frac{1}{2}$ atm., ook al geschiedt de decompressie zeer snel; terwijl bij het stijgen in bovenvermelde gevallen reeds duidelijke verschijnselen optraden bij een drukverschil van $^5/_6$ atm. en een zeer geleidelijke decompressie.

Wat kan de oorzaak van dit belangrijke verschil zijn?

Zooals bekend ontstaat de caisson-ziekte (in korte trekken) op de volgende wijze. Bij voldoend lang verblijf onder hoogen atmosferischen druk zullen de lichaamsvochten en -weefsels zooveel stikstof opnemen, tot de spanning dezer stikstof gelijk is aan die in de omringende atmos-

feer, of juister gelijk aan die in de alveolairlucht. Bij overgang tot een druk van 1 atm. zal de spanning der opgeloste stikstof dus veel grooter zijn, dan die der alv. lucht; het evenwicht zal zich trachten te herstellen. De overtollige stikstof wordt practisch alleen via de longen verwijderd. Is nu het verschil in druk groot, dan kan de stikstof niet snel genoeg worden verwijderd en vormen zich in de weefsels stikstofbellen, die aanleiding geven tot huidparaesthesien, gewrichtspijnen, zenuwpijnen, verlammingen, zelfs tot hartembolie. Onafhankelijk van de absolute spanning is het het *volume* der overtollige stikstof, dat bepaalt of in een gegeven geval stikstofbellen zullen ontstaan of niet.

Berekenen wij vergelijkenderwijs globaal dit overtollige volume bij decompressie van $2\frac{1}{4}$ tot 1 atmosfeer, waarbij geen verschijnselen optreden en bij stijgen tot 14.000 M., waarbij wel verschijnselen optreden.

Veronderstellen we, dat de gezamenlijke lichaamsweefsels en -vochten 1 L. stikstof opgelost kunnen houden. Bij normalen druk van 1 atm. zal (de alv. stikstofspanning op rond 75 % van 1 atm. gesteld) in het lichaam dan opgelost zijn 1 L. stikstof van $\frac{3}{4}$ atm. Wanneer de overige omstandigheden niet veranderen zal volgens de wet van Henry bij een atm. druk van $2\frac{1}{4}$ atm. (waarbij de alv. stikstofspanning rond 75 % van $2\frac{1}{4}$ atm. bedraagt) worden opgelost: 1 L. van $\frac{3}{4} \times 2\frac{1}{4}$ atm. Bij plotselingen overgang van $2\frac{1}{4}$ tot 1 atm. zal in de weefsels dus overtollig zijn 1 L. stikstof van $\frac{3}{4} \times 1\frac{1}{4}$ atm. Daar de alv. stikstofpsanning nu $\frac{3}{4}$ atm. bedraagt, zal het volume der vrijkomende stikstof $1\frac{1}{4}$ L. bedragen.

Denken we ons vervolgens hetzelfde lichaam bij plotseling stijgen tot 14.000 M., daarbij gebruik makend van de gegevens uit tabel XIV. Op den grond bevat het lichaam 1 L. stikstof van rond 570 mm. spanning. Op 14.000 M. is de alv. stikstofspanning slechts rond 5 mm.; er kan dus slechts 1 L. stikstof van 5 mm. spanning in oplossing zijn. Er komt dus vrij 1 L. van 565 mm., die bij de heerschende alv. stikstofspanning een volume vertegenwoordigen van 565 : 5 of 113 L.

In het eerste geval moet dus $1\frac{1}{4}$ L. stikstof via de longen worden verwijderd; in het tweede 113 L. Dit groote verschil in volume der over-

tollige stikstof maakt het begrijpelijker, dat in het laatste geval, niettegenstaande de kleinere decompressie, wel verschijnselen optreden.

Zoo erg, als in dit orienteerende voorbeeld voorgesteld, is de zaak in werkelijkheid gelukkig niet, omdat bij het stijgen de decompressie langzaam verloopt en de overtollige stikstof dus meer gelegenheid krijgt om afgevoerd te worden. Vooral op grootere hoogte wordt door het langzamer stijgen de afneming der absolute stikstofspanning als functie van den tijd geringer, zooals uit onderstaande tabel blijkt, die ik aan de hand van een protocol samenstelde.

TABEL XVIII.

Hoogte in M.	Totale tijd in min.	Tijd tusschen 2 niveau's in min.	Alv. N_2-spanning in mm.
0	0	—	573
3.000	5	5	394
6.000	10	5	247 (met O_2 : 148)
9.000	16	6	66
12.000	23 tot 30	7	10,5
13.000	37	7	5
14.000	52	15	4,7

Het relatief grootste verschil ligt tusschen 9000 en 12.000 M., waar in 7 min. de stikstofspanning tot op minder dan $^1/_6$ van haar aanvangswaarde valt. (van 66 op 10½ mm.). Hier moest in korten tijd een groot volume stikstof worden verwijderd; het is zeer waarschijnlijk, dat indeze periode de stikstofbellen beginnen te ontstaan, wat in goede overeenstemming is met het feit, dat op 13.000 M., dus eenige minuten later, de pijnen beginnen op te treden.

De vermelding van de alv. stikstofspanning bij zuurstoftoevoer op

6000 M. in tabel XVIII tegelijk met die zonder zuurstoftoevoer zou aanleiding kunnen geven tot de foutieve veronderstelling, dat bij zuurstoftoediening de alv. stikstofspanning plotseling zoo sterk daalt. Men moet zich echter tusschen deze twee gegevens een tijdverschil van 5 min. denken. De hier vermelde stikstofwaarde bij zuurstofademing stamt van een andere proef.

De zeer lage alveolaire stikstofspanning, die op zeer groote hoogte ontstaat mede tengevolge van de ademing van practisch 100 % zuurstof, (bij ademing van atmosferische lucht zou de stikstof in de alv. lucht theoretisch op 14.000 M. een druk hebben van: 80 % van 124—47 of ruim 60 mm.!) is de uiteindelijke oorzaak, dat het overtollige stikstofvolume zeer groot is, waardoor stikstofbellen in de weefsels ontstaan.

In dit verband merk ik nog op, dat bij de twee proefpersonen, die duidelijke verschijnselen vertoonden, de bedoelde stikstofspanning op het hoogste punt rond 5 mm. bedroeg. Bij den p.p., die een twijfelachtige aanduiding van verschijnselen had (huidparaesthesien) bedroeg zij 21,8 mm., bij de p.p., die geen verschijnselen had 13,3 mm. Ook dit wijst op den invloed der zeer lage stikstofspanning.

Aggazotti [1]) voelde zich bij zijn proef tot 122 mm. uitstekend; we mogen dus aannemen, dat hij van verschijnselen van caisson-ziekte niets heeft gemerkt. Dit behoeft geen verwondering te baren, als we bedenken, dat hij een mengsel van 67 % zuurstof en 13 % koolzuur ademde, zoodat zijn ademlucht dus 20 % stikstof bevatte. Op het hoogste punt bedroeg zijn alv. stikstofspanning dus ten minste: 20 % van 122—47 of 15 mm., naar alle waarschijnlijkheid meer. Wat deze spanning betreft valt Aggazotti dus in de categorie van mijn laatste twee proefpersonen, die ook geen of zeer lichte verschijnselen vertoonden.

Wat de localisatie der stikstofbellen betreft het volgende. De pijn

[1]) Aggazotti, l.c. p. 168.

werd meest gevoeld ter hoogte van de gewrichten: duim-, pols-, elleboog, heup-, kniegewricht. De beweging in het gewricht was bemoeilijkt, er was een gevoel van spanning, bij licht gebogen stand in het gewricht was de pijn het minst. Het ligt voor de hand in deze gevallen een opeenhooping der stikstofbellen binnen de gewrichtskapsel aan te nemen; mogelijk ware dit door Röntgen-opnamen te verifieeren. Een enkele maal trok de pijn langs onder- en bovenarm omhoog. Hier moet aan bellenvorming in de myelinschede der zenuwen gedacht worden. (n. radialis?).

Theoretisch moet het mogelijk zijn het optreden der bovengeschetste symptomen bij het stijgen te voorkomen, door dit trapsgewijze te doen geschieden, analoog met de trapsgewijze decompressie, zooals die tegenwoordig bij duikers wordt toegepast [1]). Bij het vaststellen der trappen moet dan worden uitgegaan van de vermoedelijke spanning der alv. stikstof op de verschillende niveau's.

Om zeker te gaan zou telkens moeten worden gestegen tot een hoogte, waar deze spanning ongeveer de helft is van die op den voorgaanden trap. Op elken trap is dan het overtollige stikstofvolume hetzelfde en komt overeen met dat bij gewone decompressie van 2 tot 1 atmosfeer, welke decompressie, zooals bekend, zonder nadeelig gevolg kan worden verricht. Op elken trap moet eenigen tijd gepauzeerd worden, teneinde het lichaam gelegenheid te geven zich van de overtollige stikstof te ontdoen.

Aan de hand van de gegevens uit tabel XVIII zou de trapsgewijze stijging tot 14.000 M. als volgt moeten worden uitgevoerd.

1ste trap: 0 tot 5000 M. (val der stikstofspanning van 573 tot ongeveer 280 mm.). Pauze.

2de trap: nieuwe pauze gedurende welke zuurstof wordt geademd, waarbij de stikstofspanning daalt van 280 tot ongeveer 150 mm.

[1]) Haldane, l.c., p. 350.

3de trap: 5000 tot 9000 M. (stikstofspanning van 150 tot 66 mm.). Pauze.

4de trap: 9000 tot 11.000 M. (stikstofsp. van 66 tot ongeveer 30 mm.). Pauze.

5de trap: 11.000 tot 12.000 M. (stikstofsp. van 30 tot 10½ mm.). Pauze.

6de trap: 12.000 tot 13.000 M. (stikstofsp. van 10½ tot 5 mm.). Pauze.

7de trap: 13.000 tot 14.000 M. De stikstofspanning verandert nu weinig meer, nl. van 5 tot 4,7 mm.

Hoe lang elke pauze zou moeten duren is moeilijk te zeggen; Haldane rekent voor halve verzadiging der verschillende lichaamsweefsels tot 75 minuten! In elk geval zou de trapsgewijze stijging zeer veel tijd kosten, waartegen de betrekkelijk geringe bezwaren, die bij continu stijgen optreden, niet opwegen. Uit bovenstaand schema ziet men, dat de hoogte-trappen kleiner worden, naarmate men hooger komt.

Het optreden der „caisson-ziekte" bij het stijgen tot zeer groote hoogte zou ook in de practijk van het luchtverkeer aanleiding tot moeilijkheden kunnen geven. Bij de betrekkelijk langzame decompressie tijdens mijn proeven kwamen slechts lichte verschijnselen voor den dag. Denken wij ons nu echter weer het hoogte-vliegtuig met cabine onder druk van ongeveer 1 atmosfeer en het ergste geval, waarbij door een defect de druk in de cabine plotseling daalt tot b.v. 120 mm., de druk der omringende atmosfeer. De inzittenden ondergaan dan een zeer snelle decompressie, waarbij de toestand, wat de alveolaire stikstofspanning betreft, nog wordt verergerd, doordat de inzittenden hun zuurstofmasker nemen en rijkelijk zuurstof ademen. Het is verre van onwaarschijnlijk dat onder deze omstandigheden heel wat bedenkelijker verschijnselen van caisson-ziekte zullen optreden. Ook hier zal het redmiddel zijn: zoo snel mogelijk dalen. Het beste is het dan waarschijnlijk om beneden 5000 M. den zuurstoftoevoer te be-eindigen; de alveolaire stikstofspanning neemt dan snel toe, waardoor de nog aanwezige stikstofbellen

weer in oplossing gaan. In tegenstelling met den duiker verkeert de vlieger in de gelukkige omstandigheid, dat de toestand voor hem gunstiger wordt, naarmate hij het aard (zee-)oppervlak snel nadert.

In het kort samengevat luiden de uitkomsten van dit hoofdstuk als volgt.

Onder overigens gunstige omstandigheden (rust en normale temperatuur) en bij voldoenden zuurstoftoevoer werd een totale atmosferische druk van 130 m.m. Hg. in 5 gevallen goed verdragen; een druk van 124 mm. werd in 3 gevallen goed, in 1 geval niet goed verdragen. (verdeeld over 4 proefpersonen).

Een atmosferische druk van 124 m.m., overeenkomende met een hoogte van 14.000 M., moet bij zuurstofademing door middel van een „open" masker (waarin dus geen overdruk heerscht) als het toelaatbare minimum worden beschouwd. Tenzij de ademhaling in een kunstmatige atmosfeer van hoogeren druk plaats heeft, is het overschrijden van de genoemde hoogte, ook onder overigens gunstige omstandigheden, voor den mensch gevaarlijk.

De zuiver mechanische invloed van den lagen atmosferischen druk doet zich op hoogten boven 12.000 M. in hinderlijke mate gelden; de ophooping van gassen in het maag-darmkanaal veroorzaakt vaak hevige buikkrampen; het spreken is zeer bemoeilijkt; enz.

Bovendien daalt tengevolge van den lagen atmosferischen druk en doordat nagenoeg zuivere zuurstof wordt ingeademd, de alveolaire stikstofspanning snel en tot een zeer laag peil. Hierdoor kan stikstofophooping in gasvorm in de weefsels ontstaan en kunnen verschijnselen optreden als bij de z.g. „caisson-ziekte". Tijdens de in dit hoofdstuk beschreven experimenten traden deze verschijnselen op boven 13.000 M. bij een stijgtijd tot deze hoogte van 30 tot 37 minuten en bestonden voornamelijk uit gewrichtspijnen.

HOOFDSTUK VI.

SAMENVATTING. — CONCLUSIES.

Bij het stijgen (tot een hoogte van 6000 M.) wordt de physieke gesteldheid (gemeten volgens de Schneider-test) met toenemende hoogte slechter. *De oorzaak hiervan is de verminderde partieele zuurstofspanning in de ademlucht.*

Bij de bestudeering van de zuurstofvoorziening van den vlieger op groote hoogten moet *de zuurstofspanning in de alveolair-lucht* als criterium worden gebruikt, niet de zuurstofspanning in de ingeademde lucht; de verhouding dezer twee spanningen verandert met de hoogte.

Bij langdurige of inspannende vluchten is het wenschelijk reeds boven 4500 M. extra zuurstof toe te voegen aan de inademingslucht. Korte vluchten zijn geoorloofd tot een hoogte van 5500 M. zonder extra zuurstof.

Op een hoogte van 6000 M. is een extra zuurstoftoevoer van 3,4 L. (van 760 m/m) per minuut ruimschoots voldoende om in de zuurstofbehoefte van den vlieger te voorzien bij gebruik van een open masker.

Op 9000 M. is een zuurstoftoevoer van 4,6 L. per minuut noodig en voldoende.

Op 12.000 M. is bij een zuurstoftoevoer van 6,2 L. per minuut de zuurstofvoorziening nog redelijk te noemen; de alveolaire zuurstofspanning is echter steeds lager, dan onder normale omstandigheden op den grond.

Naast het optredende te kort aan zuurstof is het vooral *de zeer lage temperatuur*, die op zeer groote hoogten voor den vlieger in een open vliegtuig gevaarlijk wordt. De maximaal toelaatbare werkhoogte voor vliegers in open toestellen moet gesteld worden op 11.000 à 11.500 M.

De maximale hoogte, welke onder overigens gunstige omstandigheden (rust, normale temperatuur), bij zuurstoftoevoer mag worden bereikt is van de orde van 14.000 M. (atmosferische druk 124 m/m.).

Door het masker te voorzien van een *uitademingsventiel* kan de zuurstof economischer worden gebruikt; het gebruik van een dergelijk ventiel is echter alleen wenschelijk, wanneer de temperatuur van de onmiddellijke omgeving niet beneden 0° C. kan dalen.

Een betere zuurstofvoorziening van de lichaamsweefsels bij een lage alveolaire zuurstofspanning naarmate de bijbehoorende totale atmosferische druk lager is, zou te verklaren zijn door een gunstiger diffusie en absorptie der zuurstof.

Bij uitzonderingsvluchten tot zeer groote hoogte (b.v. hoogte-recordvluchten) verdient voorshands het gebruik van *eenvoudig geconstrueerde, door den vlieger te regelen zuurstof-apparaten* de voorkeur boven het gebruik van meer gecompliceerde automatische apparaten.

Boven 12.000 M. geeft de lage atmosferische druk door zuiver *mechanische werking* aanleiding tot hinderlijke secundaire verschijnselen. De voornaamste daarvan zijn: het optreden van buikkrampen en het moeilijk worden van het spreken.

Boven 13.000 M. doen zich (bij een gemiddelde stijgsnelheid van 333 M. per minuut en normalen zuurstoftoevoer) verschijnselen voor (voornamelijk gewrichtspijnen) overeenkomende met die, welke bij lichte graden van „caisson-ziekte" bekend zijn. De oorzaak dezer verschijnselen is in beide gevallen vermoedelijk dezelfde, n.l. *vorming van stikstofgasbellen in de weefsels.*

STELLINGEN.

I.

De geneeskundige keuring en contrôle van alle vliegers dient te geschieden door artsen, die bekend zijn met de medisch-aviatische vraagstukken en zich practisch bekwaamd hebben in het vliegen.

Deze *vlieger-artsen* moeten beschouwd worden als specialisten.

II.

ZIEHEN's principieele ontkenning van onbewust-psychische processen is niet te handhaven.

III.

Het is onjuist den candidaat-sportvlieger toe te staan bij het geneeskundig onderzoek een corrigeerenden bril te dragen (gelijk vastgesteld door de *Commission Internationale de Navigation Aérienne*); wil men deze categorie van adspirant-vliegers tegemoet komen, dan stelle men liever de eischen betreffende de oogen iets lager.

IV.

Bij de klinische diagnose prostaat-hypertrophie is „prostatectomie" de aangewezen therapie; de coagulatie door middel van diathermie kan voorshands de prostatectomie niet vervangen, zij blijve slechts gereserveerd voor die gevallen, waar een strenge contra-indicatie tegen prostatectomie bestaat.

V.

De duur van den post-rotatoiren nystagmus is geen betrouwbare maat voor de gevoeligheid van het evenwichtsorgaan.

VI.

Het vaststellen van een „*oxypression critique physiologique*" als bedoeld door BÉHAGUE c.s. heeft geen zin.

VII.

FREUD's meening, dat de drang tot zelfbehoud een uiting der sexualiteit of libido zou zijn, is onjuist.

VIII.

Meel wordt door den zuigeling, zelfs op zeer jongen leeftijd, uitstekend verdragen.