

UNDERSØGELSER PAA MENNESKER OVER ILT- OG KULSYRESPÆNDINGEN I PULMONALARTERIENS BLOD OG OVER MAALING AF HJÆRTETS MINUTVOLUMEN.

(FRA UNIVERSITETETS DYREFYSIOLOGISKE LABORATORIUM).

AF

DR. MED. L. S. FRIDERICIA.

I. Ilt- og Kulsyrespændingen i Pulmonalarteriens Blod under Hvile.

Talrige Undersøgelser har efterhaanden givet ret fyldige Oplysninger om Ilt- og Kulsyrespændingen i Lungernes Alveolærluft hos Mennesker, baade under normale og pathologiske Forhold. Derved har man efter al Sandsynlighed tillige faaet et grundigt Kendskab til Luftarternes Spænding i Menneskets arterielle Blod. I Modsætning hertil er Kendskabet meget sparsomt til Ilt- og Kulsyrespændingen i det venøse Blod, som strømmer fra højre Hjærteventrikel gennem Pulmonalarterien til Lungerne. Kun faa Undersøgelsesrækker er offentliggjort herover, og de faa, der findes, har flere tekniske Mangler. Og dog har saadanne Undersøgelser en stor Interesse. De giver bl. a. et Middel til at bestemme, hvor stor en Brøkdæl af Ilten i det arterielle Blod der forbruges i Legemet. Men Undersøgelserne frembyder ganske vist forskellige tekniske Vanskeligheder.

Paa Forsøgsdyr har flere Fysiologer foretaget tonometriske Bestemmelser af Luftarternes Spændinger i venøst Blod, hentet gennem et Katheder fra højre Hjærteventrikel. Undersøgelser efter dette Princip lader sig ikke foretage paa

Mennesker. Men Ilt- og Kulsyrespændingen i Pulmonalarterieblodet kan ogsaa bestemmes efter det Princip, der ligger til Grund for Pflügers Lungekatheder, og derved bliver der Mulighed for at anstille saadanne Undersøgelser paa Mennesker.

Pflügers Lungekatheder var som bekendt et Tamponkatheder, der nedførtes i en Bronchiegren gennem en Tracheotomiaabning. Dets Tampon spærrede for Luftpassagen gennem Bronchiegrenen og aflukkede derved en Del af en Lunge. Pflüger og hans Elever gik ud fra, at Luftarterne i den aflukkede Lungedels Alveoler efterhaanden maatte faa samme Spændinger som Luftarterne i Blodet. Den afspærrede Lungelap skulde fungere som Tonometer. Naar der var indtraadt Diffusionsligevægt mellem den afspærrede Luft og Blodet, saa kunde man bestemme Ilt- og Kulsyrespændingen i det venøse Blod fra højre Hjærteventrikel ved at analysere Luftprøver, som gennem Lungekathedret toges fra den aflukkede Lungedel.

Kun under to Forudsætninger kan Undersøgelser efter Lungekathederprincippet give Oplysninger om Luftarternes Spænding i Pulmonalarterieblodet. For det første maa det forudsættes, at Luftsiftet mellem Blod og Lungeluft foregaar efter den kendte fysiske Diffusionslov, for det andet er det forudsat, at der ikke i selve Alveolærepitelet eller i Blodet, som strømmer gennem Lungekapillærerne, foregaar maaleligt Iltforbrug eller Kulsyreproduktion. At Luftsiftet i Lungerne foregaar ved Diffusion, maa man for Øjeblikket gaa ud fra efter de talrige Arbejder herover af AUG. KROGH og hans Elever. Mere tvivlsomt er Spørgsmaalet om Størrelsen af Iltforbruget og Kulsyreproduktionen i Lungevævet og i Lungernes Kapillærblod. Efter Undersøgelser af EVANS og STARLING¹⁾ synes Lungevævets Iltforbrug at være meget ringe. MORAWITZ' Undersøgelser²⁾ gør det yderst tvivlsomt, om der selv ved stærk Asphyxi kan foregaa Ilttningsprocesser

i Blodet. Desuden er det tidligere experimentelle Grundlag for at antage, at der kan foregaa betydelige Iltningsprocesser i Lungen, bortfaldet efter Undersøgelser over Coronarkredsløbet af HENRIQUES³⁾ og af EVANS og STARLING¹⁾. For Tiden maa det derfor være berettiget at gaa ud fra, at der i kortvarige Forsøg ikke foregaar maalelige Iltningsprocesser i Lungevævet eller i Lungernes Kapillærblod. For ganske nylig har HENRIQUES i en Række meget smukke Forsøg (Biochemische Zeitschr. Bd. 71. p. 481. 1915) direkte paavist, at der kun kan foregaa Iltningsprocesser i meget ringe Omfang i Lungerne eller Blodet, som strømmer gennem Lungernes Kar.

Efter det nuværende Kendskab til de respiratoriske Processer i Lungerne maa man derfor antage, at Forsøg med PFLÜGERS Lungekatheder kan give Oplysning om Iltens og Kulsyre's Spænding i Pulmonalarterieblodet. Metoden blev af PFLÜGER'S Elever WOLFFBERG⁴⁾ og NUSSBAUM⁵⁾ kun anvendt til Hundeforsøg. Først i 1905 forsøgte LOEWY og VON SCHROETTER at anvende Lungekathedermetoden til Undersøgelser paa Mennesker⁶⁾. Deres Forsøg udførtes næsten paa samme Maade som de ældre Dyreforsøg, og Fremgangsmaaden var meget indgribende. Først cocaïniseredes Forsøgspersonens Larynx- og Trachealslimhinde, derefter nedførtes et Bronchoscop, og Bronchiernes Forgreningsforhold undersøgt; endelig nedførtes et Sølvkatheder i en Bronchiegren af 2^{den} eller 3^{die} Orden (undertiden dog i højre Hovedbronchus), og Bronchiegrenen lukkedes ved en oppustelig Tampon, som var anbragt omkring Sølvkathederet ovenfor dets Munding. Derved var Luften i et større Lungeafsnit afspærret. Afspærringen fortsattes længe, i det langvarigste Forsøg 42 Minutter, og under denne toges en Serie Luftprøver fra den lukkede Lungedel gennem Kathederet. I alt udførtes 35 Forsøg paa 10 Personer. Man maatte nu vente, at Analyserne af de udtagne Luftprøver viste, hvorledes

Iltspændingen i Løbet af et Forsøg sank og Kulsyrespændingen steg i den indelukkede Lungeluft, indtil begge Spændinger naaede et Niveau, paa hvilket de holdt sig konstante. Naar en saadan Ligevægtstilstand var naaet, havde den indelukkede Luft samme Ilt- og Kulsyrespænding som Pulmonalarterieblodet. Men efter LOEWY og v. SCHROETTER'S Forsøgstabeller blev en saadan Spændingsligevægt kun naaet i 5 af 35 udførte Forsøg. Selv regner Forfatterne, at 30 af deres Resultater er brugbare, idet de kun kasserer Forsøg, under hvilke der er forefaldet Uheld. Hvad Aarsagen har været til, at en konstant S sammensætning af den indespærrede Luft saa sjælden naaedes, er selvfølgelig nu umuligt at vide. Forfatterne anfører selv, at de anser nogle Forsøg for ubrugelige, fordi Tamponen ikke har aflukket Bronchus fuldstændig, og at man under saadanne Forhold vil finde en fortløbende Forandring af den afspærrede Luft.

I følgende Tabel er anført Resultaterne fra de 5 af LOEWY og v. SCHROETTERS Forsøg, i hvilke Analyserne viste, at der var indtraadt Spændingsligevægt mellem den afspærrede Lungeluft og Pulmonalarterieblodet.

Forsøgs-Nr.	Forsøgspersonens Sygdom	Slutningssammensætning af den indespærrede Luft	
		Kulsyre	Ilt
12	Pneumoni	5,5—6,2 %	5,0—5,5 %
14) (samme Person	6,6—6,9 „	5,4—5,5 „
23		Larynxstenose Botulisme	6,0—6,2 „
24	Larynxstenose	5,6—5,8 „	5,5 „
28	Tb. pulmon. et laryngis. . .	5,2 „	5,2 „

I mine Undersøgelser, som senere anføres, finder jeg ganske lignende Værdier for Ilt- og Kulsyrespændingen i Pulmonalarterieblodet. Dette er i Virkeligheden forbavsende. Thi i LOEWY og v. SCHROETTERS Forsøg bliver det Blod, der passerer den ikke respirerende Lungelap, ikke arterialiseret,

og da Forsøgene varer indtil 42 Minutter, maa Arterieblodet efterhaanden blive iltfattigere end normalt. Man skulde derfor vente, at ogsaa Iltspændingen i Veneblodet blev abnorm. Det er ogsaa overraskende, at de Sygdomme, som LOEWY og v. SCHROETTERS Forsøgspersoner led af, synes at have været uden Indflydelse paa Resultaterne.

En ny Forsøgsrække over Luftspændingerne i Menneskets Pulmonalarterieblod blev offentliggjort af PLESCH i 1909⁷⁾. PLESCH tager Afstand fra LOEWY og v. SCHROETTERS Metode, hovedsagelig fordi den fordrer saa store Indgreb, og benytter i Stedet en Teknik, der ganske vist er baseret paa det samme Princip som Lungekathederforsøgene, men dog i Hovedsagen er ny. Ved Lungekathederforsøg fungerer den afspærrede Lungedel som Tonometer. PLESCH forsøger at anvende Lungerne i deres Helhed som Tonometer, idet han lader Forsøgspersonen aande forceret frem og tilbage i en lukket Gummipose. Hvis Forsøget fortsattes tilstrækkelig længe, maatte Ilt- og Kulsyrespændingen i Lungeluften og i Poseluften til sidst blive identisk med Spændingerne i Pulmonalarteriens Blod. Men dette lader sig ikke gøre, thi PLESCH gør opmærksom paa, at hvis Pulmonalarteriens Blod ikke skal faa en abnorm Sammensætning, maa hele Forsøget vare kortere end et normalt Kredsløb; under et Forsøg maa det samme Blod ikke to Gange passere Lungekapillærerne. PLESCH angiver, at over 20 Sek. maa et Forsøg derfor ikke vare. Det er PLESCH's Fortjeneste klart at have angivet de Principper, hvorefter Luftspændingerne i Pulmonalarteriens Blod hos Mennesket lader sig bestemme, men i sine Forsøg paa at uddanne en Teknik paa Basis af disse Principper er han stødt paa Vanskeligheder, som han kun delvis har overvundet. PLESCH anvender to forskellige Metoder. Den første bestaar simpelthen i, at Forsøgspersonen efter en maximal Inspiration nogle Gange aander frem og tilbage i en tom Gummipose, hvilket tager ca. 20 Sek. Forsøgene sluttet med en maxi-

mal Expiration, hvorefter Posen lukkes. Men, som PLESCH bemærker, er der naturligvis ikke Tale om, at Iltspændingen i de ca. 3,5 Liter Luft, Lungerne har indeholdt ved Forsøgets Begyndelse, i Løbet af 20 Sek. kan synke ned til en Spænding, der er lig Pulmonalarterieblodets. Forsøget maa derfor gentages flere Gange, uden at Luften i Sækken fornyes. Før og i Slutningen af hvert nyt Forsøg foretager Forsøgspersonen en maximal Expiration. Men heller ikke disse Gentagelser fører til Maalet, thi PLESCH gør opmærksom paa, at ved hver Gentagelses Begyndelse blandes Poseluften med Forsøgspersonens Residualluft, der indeholder ca. 16% Ilt, og Blandingen faar derved saa høj en Iltspænding, at den ikke i Forsøgstiden kan komme i Ligevægt med Pulmonalarterieblodet, selv om Poseluften ved Forsøgsbegyndelsen var iltfattig fra det foregaaende Forsøg. PLESCH anlægger derfor Forsøgene paa en anden Maade. Han fylder før Forsøgets Begyndelse Posen med Kvælstof og lader Forsøgspersonen respirere frem og tilbage i den efter først at have expireret maksimalt. Herved fortyndes Residualluften stærkt, og det maa ved denne Fremgangsmaade kunne hænde, at Luften i Posen kommer i Spændingsligevægt med Pulmonalarterieblodet. Men Metoden giver ingen Mulighed for at kontrollere, om dette sker. Thi Forsøget kan jo ikke gentages med den samme Poseluft. Ved Gentagelserne vender straks Forholdet fra før tilbage, at Poseluften blandes op med den iltrige Residualluft. Sine fleste Forsøg (21 af 28) udfører PLESCH med denne Metode. I Forsøgene har Poseluftens Sammensætning sikkert ofte angivet Pulmonalarterieblodets Kulsyre-spænding og vistnok ogsaa af og til dens Iltspænding. Men den anvendte Metode giver som sagt ingen Mulighed for at bedømme, hvilke af de som Regel stærkt svingende Forsøgsresultater fra samme Person der er de rigtige. PLESCH anvender som Regel den højeste af de fundne Kulsyreværdier og den laveste af Iltværdierne.

Men Blandingen af Residualluften og Kvælstoffet i Posen har sikkert ofte haft en Iltprocent, der var saa lav, at der ikke indtraadte Spændingsligevægt mellem Luften og Blodet i Forsøgstiden. De laveste af de fundne Iltværdier er derfor ikke sikrere end de højeste.

I sine sidste Forsøg gaar PLESCH over til en anden Metode. Han lader Mundstykket, hvorigennem Forsøgspersonen respirerer, ved et T-Rør staa i Forbindelse med to Poser, en stor, der rummer 10 Liter, og en lille, der rummer 3—4 Liter. Før Forsøget fyldes den store Pose med Kvælstof, medens den lille er tom. Forsøgspersonen respirerer under Forsøget først frem og tilbage i den store Pose, men i Forsøgets sidste Sekunder lukkes denne, og der respireres i den lille Pose. Forsøget kan nu gentages, idet Luften i den lille Pose ikke fornyes, medens den store Pose atter fyldes med Kvælstof. Nu respireres atter først i den store Pose, til sidst i den lille Pose med Restluften fra forrige Gang. Mellem Gentagelserne analyseres Luften i den lille Pose. Ved denne Metode er der Mulighed for en Kontrol af Resultaterne, thi i de Tilfælde, hvor den lille Poses Luftsammensætning kun har forandret sig lidt fra den ene Gentagelse til den næste, maa Ilt- og Kulsyrespændingerne i dens Indhold have været meget nær ved Pulmonalarterieblodets. Med denne Metode udførtes 7 Forsøg. I det ene (Nr. 61) var Iltprocenten i den lille Pose stigende fra Gentagelse til Gentagelse; der var altsaa ikke naaet Ligevægt. I nogle af de øvrige svinger Poseluftens Sammensætning hele Tiden stærkt. I 2 Forsøg (Nr. 57 og 59) naaedes ikke Ligevægt for Kulsyrens Vedkommende. Resultaterne af de 6 Forsøg findes opført i omstaaende Tabel.

Intet af disse Forsøg er udført paa sunde, men de fundne Værdier er af samme Størrelsesorden som LOEWY og v. SCHROETTERS og mine.

Mig bekendt findes der ikke offentliggjort flere Forsøg

Forsøg Nr.	Forsøgspersonens Sygdom	Poseluftens Sammensætning	
		Kulsyre	Ilt
56	Insuff. aortæ.....	4,76—5,33 ‰	4,93—5,42 ‰
57	Morb. Basedowi.....	Stadig stigende	4,73—5,01 „
58	Stenosis mitralis.....	5,06—5,11 ‰	4,70—5,70 „
59	Stenosis pulmonalis.....	Stadig stigende	5,44—5,48 „
60	Nephritis chron.....	6,11—6,28 ‰	5,44—5,56 „
62	Morb. Basedowi.....	5,02—5,12 „	5,46—5,51 „

paa at bestemme baade Ilt- og Kulsyrespændingen i Pulmonalarterieblodet hos Mennesker. Kulsyrespændingen alene er bestemt i nogle Forsøgsrækker af PORGES, LEIMDÖRFER og MARCOVICI⁸⁾, som anvendte PLESCH's Metode, og i nogle nylig offentliggjorte Undersøgelser af JOHANNE CHRISTIANSEN, C. G. DOUGLAS og I. S. HALDANE⁹⁾. I det sidstnævnte Arbejde var Teknikken følgende: Forsøgspersonen expirerede først maximalt, inspirerede dernæst fra en Pose eller et Spirometer en Blanding af atmosfærisk Luft og Kulsyre (oftest 6—8 ‰ Kulsyre) og holdt Vejret; efter ca. 5 Sek. udaandedes ca. 1 Liter, og der toges en Prøve af den sidst udaandede Luft; efter et yderligere Ophold udaandedes videre, og der toges atter en Prøve af Alveolarluften. I nogle Forsøg udaandedes til sidst til Residualluften i et tredje Sæt, atter efterfulgt af Luftprøvetagning. Teknikken er omtrent identisk med den, jeg har anvendt, kun foretoges i de engelske Forsøg ingen grafisk Registrering af Forsøgstid og Spirometrets Bevægelser. Hos 4 normale Mennesker fandtes Kulsyrespændinger mellem 6,3 og 6,8 ‰. Iltspændingen bestemtes ikke. Under Forsøgene maa Iltprocenten i Lungeluften have været over 10—12 ‰, da der indaandedes atmosfærisk Luft, blandet med Kulsyre. Forf. viser i Arbejdet, at Iltspændingens Højde paavirker Blodets Ævne til at binde Kulsyre, og at man finder en lavere Kulsyrespænding i Pulmonalarterieblodet ved Indaanding af iltfattig Luft end ved

Indaanding af ilt. Herefter maa Kulsyre-spændingerne, de finder i deres Undersøgelser paa normale, være noget højere end de virkelige Spændinger i Pulmonalarterieblodet. Den virkelige Kulsyre-spænding kan man efter deres Forsøg kun finde, hvis Lungeluften under Forsøget har ikke blot samme Kulsyre-spænding, men ogsaa samme Iltspænding som Pulmonalarterieblodet. Dette har været Tilfældet i mine Forsøg.

Mine Forsøg er udført efter samme Princip som PLESCH's, men min Forsøgsteknik afviger meget fra hans. Forsøgsprincippet gaar ud paa tonometrisk at bestemme Spændingen af Ilt og Kulsyre i det Blod, som strømmer til Lungerne, idet Lungerne selv anvendes som Tonometer. Hver Bestemmelse maa, som angivet af PLESCH, ikke være længere end det halve af Kredsløbstiden. For at Udligningen af Luftspændingerne mellem Lungeluften og Blodet kan foregaa i saa kort Tid, maa Lungerne ved Forsøgets Begyndelse være fyldt med en Luftblanding, i hvilken Ilt- og Kulsyre-spændingen er saa nær som muligt ved Pulmonalarterieblodets.

Forsøgenes Metodik slutter sig nær til den, der anvendes paa »dyrefysiologisk Laboratorium« til andre Respirations- og Kredsløbsundersøgelser. Der anvendtes et Spirometer efter Aeroplethysmografprincippet; Spirometret er konstrueret af Dr. A. KROGH, som nylig har beskrevet dets Indretning og Anvendelse¹⁰). Spirometret er forbundet med en roterende Tromle, paa hvilken dets Bevægelser opskrives. Samtidig registrerer en Chronograf Tiden paa Tromlen i $\frac{1}{100}$ Minutter. 0,001 Minut kan aflæses. Før hvert Forsøg lader man det tomme Spirometer skrive en Nullinie paa Tromlen. Spirometrets skadelige Rum (o: Luftindhold i Nulstillingen) er bestemt. Paa de Kurver, det opskriver ved sine Bevægelser, kan de relative Forandringer i dets Luftindhold under Forsøgene udmaales, og heraf beregnes dets absolute Rumfangsforandringer med en Nøjagtighed af 10 cc. Ved mine For-

søg var Spirometret forbundet med et Metalmundstykke med Tregangsventil (se ¹⁰) ved en ca. 1,5 Meter lang, vid Gummislange (22 mm Diameter). Slangens og Mundstykkets Rumfang bestemtes med ca. 10 cc's Nøjagtighed. Fra Mundstykket udgik et Blyrør med kapillær Boring, gennem hvilket der kunde tages Prøver af Luften i den lange Gummislange. Luftprøverne analyseredes i et Haldanes Apparat efter KROGH's Model. Til Analyserne toges 10 cc; paa Analyseapparatets Burette lod 0,001 cc sig aflæse (Prøvetagning og Analyse beskrevet i ¹⁰).

Et Forsøg foregik paa følgende Maade: Forsøgspersonens Næse klemmes til, og han tager Mundstykket i Munden. Mundstykkets Ventil staar saaledes, at der er Forbindelse mellem Personens Luftveje og Atmosfæren. Efter nogen Tid sættes Spirometerregistreringsapparatet i Gang, Forsøgspersonen expirerer maximalt, Mundstykkets Ventil drejes, og han fylder sine Lunger maximalt fra Spirometret med iltfattig og kulsyrerig Luft af udprøvet Sammensætning (se nedenfor). Herved blandes Personens Residualluft med nogle Liter Spirometerluft; han holder nu Vejret et Par Sekunder og expirerer derpaa hurtig en Del af Lungernes Indhold ud i Spirometret. Slangen mellem Mundstykket og Spirometret indeholder den sidst expirerede Luft (Alveolærluft), af denne tages en Prøve. Uden at have inspireret holder Forsøgspersonen atter Vejret, denne Gang i 8—12 Sekunder og expirerer derpaa hurtig saa meget som muligt af Resten af sit Lungeindhold ind i Spirometret. Ventilen drejes, saa Personen kan aande atmosfærisk Luft, og der tages en Prøve fra Slangen bag Mundstykket af den anden Expirations Alveolærluft.

De to partielle Expirationer maa være saa store, at de fuldstændig udskyller det skadelige Rum i Respirationsvejene (mindst 1 Liter hver). Selve Forsøget varer fra Slutningen af første til Slutningen af anden partielle Expiration. Ana-

lyserne af de to Luftprøver giver Oplysning om Lungeluftens Sammensætning før og efter Forsøget. Ved at sammenligne Analyseresultaterne kan man, ganske som i andre Tonometerforsøg, se, om Luftarternes Spændinger i Lungeluften er tiltagne eller aftagne under Forsøget, og følgelig, om Spændingerne ved Forsøgets Slutning angiver øvre eller nedre Tilnærmelsesværdier for de søgte Spændinger i Pulmonalarterieblodet.

Sammensætningen af Luften i Spirometret ved Forsøgets Begyndelse er et vigtigt Punkt. Forsøget begynder med, at 2—3 Liter af denne Luft blandes med Personens Residualluft, og denne Blanding skal have en Ilt- og Kulsyrespænding, der ligger saa nær Pulmonalarterieblodets som muligt. I indledende Forsøg maa det findes, hvilken Sammensætning af Spirometerluften, der er den hensigtsmæssige. Disse Forundersøgelser maa gentages for hver Forsøgsperson under de givne Forsøgsbetingelser. Forundersøgelserne, hvis Antal ikke er helt ringe, har kun teknisk Interesse og er ikke refereret i det følgende. I de fleste Forsøgsrækker viste det sig mest praktisk at anvende Spirometerluft med 1—2 % Ilt og 6—7 % Kulsyre. Blandingerne fremstilledes af Kvælstof fra en Beholder (indeholder altid lidt Ilt og maa analyseres), atmosfærisk Luft og Kulsyre, fremstillet af Calciumkarbonat.

Under Forsøget optegnedes som omtalt Spirometrets Bevægelser som en Kurve. Da Forsøgspersonen under Forsøget foretager ganske de samme Respirationsbevægelser, som ved Bestemmelser af Hjertets Minutvolumen efter KROGH og LINDHARD's første Metode (»Residualmetoden«¹¹), kommer Kurverne til at se ud som Kurver fra Minutvolumenforsøg, og Udmaalingen af dem sker paa samme Maade som ved disse. Forsøgsvarigheden udmaales, d. v. s. Tiden fra Slutningen af første til Slutningen af anden Expiration (som hos KROGH ikke helt fra Slutningen; se ¹⁰). Da Forsøgs-

personens Residualluft blev bestemt (efter den af KROGH¹⁰) angivne Fremgangsmaade), og da Personerne som omtalt før hvert Forsøg expirerede til Residualluften, kunde man ved Udmaaling af Spirometrets Registreringskurve beregne, hvor meget Luft der fandtes i Forsøgspersonens Lunger paa hvert Tidspunkt af Forsøget. Heraf lod sig atter beregne, hvor meget Ilt og Kulsyre Forsøgspersonen havde optaget eller afgivet under hvert Forsøg.

Et Eksempel vil bedst illustrere Fremgangsmaaden. Til Eksemplet er anvendt to Hvileforsøg paa Personen A (se Tabel II).

Forsøg Nr. 24, d. 22.—5.—1914, Kl. 3²⁵ Em.

Barometer 768,7 mm.

Forsøgspersonen A (ung Mand) har hvilet, liggende paa en Feltseng, en Time umiddelbart før Forsøgene. Disse udføres, medens han stadig ligger i Sengen.

Luftanalyse efter 1. Expiration: 6,23 % CO₂ og 6,11 % O₂.

„ „ 2. „ 6,43 „ „ „ 6,21 „ „

Tid mellem Expirationerne: 0,139 Minut.

Spirometrets Luftindhold før Forsøget: 5,49 Liter.

„ „ efter 1. Expiration: 3,90 Liter.

Da A's Residualluft er bestemt til 1,19 Liter og han, som omtalt, før Forsøget har expireret til Residualluften, har hans Lunger under selve Forsøget (mellem 1. og 2. Expiration) indeholdt: $5,49 \div 3,90 + 1,19 = 2,78$ Liter Luft (maalt ved 768,7 mm og Stuens Temp.)¹

Under Forsøget (i Tiden mellem 1. og 2. Expiration) er der i hans Lunger udskilt:

$2,78 (0,0643 \div 0,0623) = 0,0055$ Liter. Ved 0° og 760 mm: 5,2 cc Kulsyre og (ligeledes udskilt):

¹ Anm. Da der i Forsøgets Forperiode finder en ringe Udveksling af Ilt og Kulsyre Sted mellem Lungeluften og Blodet, vil der være en Fejl i det fundne Volumen. I alle de fundne Forsøg er Fejlen imidlertid saa ringe (faa cc), at den ingen Rolle spiller.

$2,78 (0,0621 \div 0,0611) = 0,0028$ Liter. Ved 0° og 760 mm: 2,7 cc Ilt.

Ved Forsøgets Slutning var Kulsyre-spændingen i Lungeluften $6,43 \text{ ‰} = 46,4$ mm, og Iltspændingen $6,21 \text{ ‰} = 44,9$ mm.

Spørgsmaalet er nu, om disse to Værdier angiver Spændingerne i Pulmonalarterieblodet, eller med andre Ord, om Luften i Lungerne under Forsøget har naaet at komme i Diffusionslignevægt med Blodet. At dette, i al Fald for Iltens Vedkommende, maa have været Tilfældet, viser et nyt Forsøg, udført $\frac{1}{2}$ Time senere, medens A stadig laa paa Feltsengen:

Forsøg Nr. 25, d. 22.—5.—1914, Kl. 4⁰⁰ Em.

Barometer 768,7 mm. Forsøgsperson A, liggende.

Luftanalyse efter 1. Expiration: $6,32 \text{ ‰} \text{ CO}_2$ og $6,43 \text{ ‰} \text{ O}_2$.

„ „ 2. „ $6,56 \text{ ‰} = 47,3$ mm CO_2 og

$6,25 \text{ ‰} = 45,2$ mm O_2 .

Tid mellem Expirationer: 0,137 Minut.

Lungernes Luftindhold mellem Expirationerne: 2,83 Liter.

Under Forsøget afgivet 2,83 ($0,0656 \div 0,0632$) = 0,0068 Liter, reduceret = 6,5 cc CO_2 .

„ „ optaget 2,83 ($0,0643 \div 0,0625$) = 0,0051 Liter, reduceret = 4,8 O_2 .

Ved Begyndelsen af Forsøg 24 var Iltspændingen i Lungeluften lavere end Pulmonalarterieblodets, saa at der under Forsøget afgaves 2,7 cc Ilt fra Blodet; derved blev Iltspændingen i Lungeluften ved Forsøgets Slutning 44,9 mm. Ved Begyndelsen af Forsøg 25 var Iltspændingen i Lungeluften, modsat forrige Forsøg, højere end Pulmonalarterieblodets, thi under Forsøget optog Blodet 4,8 cc Ilt, og ved Forsøgets Slutning var Iltspændingen i Lungeluften 45,2 mm. At Iltspændingen i Pulmonalarterieblodet hos A maa have

været 45 mm, fremgaar altsaa med stor Sikkerhed af disse to Forsøg.

For Kulsyrens Vedkommende er de to Forsøg ikke fuldt saa bevisende, da der under dem begge er afgivet Kulsyre fra Blodet.

Den her beskrevne Forsøgsmetode frembyder flere iøjnefaldende Fordele fremfor de tidligere anvendte, specielt fremfor PLESCH's:

1. Ved hver Bestemmelse tages to Luftprøver, en ved Forsøgets Begyndelse og en ved dets Slutning. Derved faar man ligesom i Tonometerforsøg at vide, om Værdierne ved Forsøgets Slutning angiver øvre eller nedre Tilnærmelsesværdier for de søgte Spændinger.
2. Registrering af Forsøgsvarighed og Spirometerbevægelser gør det muligt at beregne Lungernes Fyldningsgrad under Forsøget og Optagelsen eller Udskillelsen af Ilt og Kulsyre.

Ved Bestemmelsen af Iltspændingen i Pulmonalarterieblodet vilde Idealet være at kunne anstille Forsøgspaar, som det ovenfor beskrevne (Forsøg 24 og 25); her er der under det ene Forsøg udskilt en ringe Mængde Ilt, under det andet optaget lidt, derved er fundet en øvre og nedre Tilnærmelsesværdi for Iltspændingen, og disse ligger meget tæt ved hinanden. Saa heldig kan man imidlertid kun sjælden være. Før Begyndelsen af et Forsøg indeholder Lungerne Residualluft med ca. 15—16 % Ilt, under Forsøget blandes denne op med nogle Liter Spirometerluft, Blandingen holdes nogle Sekunder i Lungen, og en Del af den exspireres. Paa dette Tidspunkt er det, at Iltspændingen i Lungerne skal være lidt over, henholdsvis lidt under Pulmonalarterieblodets. Ved at variere Spirometerluftens Sammensætning kan man imidlertid kun opnaa en Tilnærmelse til dette Ideal, da Iltspændingen i Lungerne paa det afgørende Tidspunkt er afhængig af flere Faktorer, som man kun delvis behersker, f. Eks. af den Mængde Spirometerluft Forsøgspersonen ind-

aander. Det er derfor nødvendigt at skaffe sig Kendskab til, hvor stor en Spændingsforskel mellem Ilten i Lungeluften og Pulmonalarterieblodet der kan udlignes i Forsøgstiden under de givne Betingelser.

Ved Begyndelsen af mine Undersøgelser har jeg udført en Del Forsøg herover. Forsøgene var ikke helt vellykkede p. G. a. nogle tekniske Ufuldkommenheder, men gav dog en Del Oplysninger. Imidlertid skal jeg ikke komme nærmere ind paa disse Forsøg. Det viste sig nemlig efter Afslutningen af mine Forsøgsrækker over Luftspændingerne i Pulmonalarterieblodet, at en grafisk Fremstilling af Forsøgsresultaterne gav tilstrækkelig gode Oplysninger om Udligningshastigheden mellem Spændingerne i Blod og Lungeluft. Særlig var den længste af de udførte Forsøgsrækker oplysende i denne Henseende. I det følgende skal fremstilles paa hvilken Maade.

Denne Forsøgsrække udførtes paa Personen A (ung Mand, 27 Aar, Vægt 65 kg, Højde 1,77 Meter), og dens Resultater findes opført i Forsøgstabel II. Rækken bestaar af 18 Hvileforsøg; før hvert havde A hvilet $\frac{1}{2}$ Time, liggende paa en Feltseng, og Forsøgene udførtes, medens han stadig laa. Residualluften hos A er bestemt i to Forsøg (d. 18.—9.—1914) til 1,14 Liter og 1,24 Liter, Middel 1,19 Liter. Tabel II indeholder 15 Kolonner. I de første tre er opført Forsøgenes Løbenumre, Forsøgsdatoen (og Klokket), samt Barometerstanden under Forsøgene. I Kolonne 4 findes Tiden mellem 1. og 2. Expiration (Forsøgstiden), og i Kolonne 5 Lungernes Luftindhold efter 1. Expiration (under Forsøget). I Kolonnerne 6, 7, 11 og 12 er opført Kulsyre- og Iltprocenterne i Lungeluften ved Slutningen af 1. og ved Slutningen af 2. Expiration, i Kolonne 8 og 13 Kulsyre- og Iltspændingen i mm efter 2. Expiration. I Kolonne 9 og 14 er opført den Mængde Ilt og Kulsyre i cc. reduceret til 0° og 760 mm, som er optaget eller afgivet under Forsøget. Be-

regningen af disse Værdier er sket paa den Side 13 beskrevne Maade. De fundne Værdier er betegnet ved $+$, naar Luftarten er optaget i Blodet, ved \div , naar den er afgivet fra Blodet til Lungeluften.

Den Mængde Kulsyre eller Ilt, der er optaget eller afgivet af Blodet i Forsøgstiden (Kolonne 9 og 14), giver et Maal for, hvor nær Luftarternes Spændinger i Lungeluften har ligget ved de søgte Spændinger i Blodet ved Begyndelsen af hvert Forsøg; jo højere f. Eks. Lungeluftens Iltspænding har ligget over Pulmonalarterieblodets ved Forsøgets Begyndelse, des mere Ilt vil der være optaget i Blodet under Forsøget. Dette gælder dog kun fuldt ud under to Forudsætninger: for det første, at Blodets Strømningshastighed har været den samme i alle Forsøgene, for det andet, at alle Forsøgene har været lige længe. Begge Forudsætninger faar kun Betydning i Forsøg, hvor der ikke er sket fuldstændig Udligning mellem Luftspændingerne i Blod og Lungeluft.

Nødvendigheden af den første Forudsætning er let forstaaelig. Tænker man sig to Forsøg, under hvilke alle Betingelser er ens (samme Forsøgsvarighed, samme Iltspændinger i Lungeluft og i Blod ved Forsøgenes Begyndelse), men hvor Blodets Strømningshastighed er forskellig, saa vil der, hvis Lungeluftens Iltspænding i begge Forsøg har været højere end Blodets, optages mest Ilt under Forsøget med den største Blodstrømningshastighed (hvis der ikke i begge Forsøg er sket fuldstændig Spændingsudligning mellem Blod og Luft). Det kan ikke afgøres, om Blodets Strømningshastighed har været ens i de forskellige Forsøg. Da de ydre Forsøgsbetingelser har været ens, er Forskellighederne næppe store. Og Forskellighederne maa være meget store, for at Mængden af optaget eller afgivet Ilt (pr. Tidsenhed) ikke skulde give i al Fald et tilnærmelsesvis Maal for Forskellen mellem Iltspændingerne i Lungeluft og Blod ved Forsøgsbegyndelsen. Desuden skal det straks omtales, at Spæn-

dingsudligningen i Lungerne synes at have været ret fuldstændig i de fleste Forsøg, og i disse Tilfælde er Forskelligheder i Blodets Strømningshastighed ligegyldige.

Nødvendigheden af den anden Forudsætning, at Forsøgsvarigheden maa være den samme, hvis Forsøg med ufuldstændig Spændingsudligning skal kunne sammenlignes, er ogsaa indlysende. I et kortvarigt Forsøg vil der kunne optages eller afgives mindre Ilt end i et langvarigt, selv om der ved Forsøgenes Begyndelse har været større Iltspændingsforskell mellem Blod og Lungeluft i det første end i det sidste. Af Tabel II ses det, at Forsøgsvarigheden ikke har været ganske ens i Forsøgene. Dette Forhold korrigeres imidlertid let ved at bestemme Kulsyre- og Iltoptagelsen eller -afgiften pr. Sekund. Dette er gjort, og de fundne Værdier er opført i Kolonne 10 og 15. Disse Værdier er naturligvis kun beregnede Gennemsnitsstørrelser, thi i Virkeligheden vil der jo udveksles mere Ilt og Kulsyre i et Forsøgs første Sekunder end i de sidste, hvor der allerede har fundet en delvis Udligning af Spændingsforskellen Sted (Udligningen sker efter en asymptotisk Kurve).

Tallene i Kolonne 10 og 15 giver altsaa et tilnærmelsesvist Maal for Spændingsforskellen mellem Lungeluft og Pulmonalarterieblod ved Begyndelsen af hvert Forsøg.

I Fig. 1 er givet en grafisk Fremstilling af Iltspændingsbestemmelserne i Tabel II. Forsøgsresultaterne er indførte i et Koordinatsystem, hvis Ordinate angiver Iltspændingen i Lungeluften ved Forsøgets Slutning (i mm), og hvis Abscisse angiver Mængden af optaget eller afgivet Ilt pr. Sek. under Forsøget (i cc reduceret til 0° og 760 mm). Paa et vilkaarligt Sted af Abscisseaksen er afsat et Nulpunkt, til venstre herfor er opført Værdierne for afgivet, til højre for optaget Ilt pr. Sekund.

Det viser sig nu, at Fig. giver gode Holdepunkter for, i hvilke Forsøg der har fundet Spændingsudligning Sted

mellem Blod og Lungeluft og i hvilke ikke. Paa Fig. falder Forsøgene i 3 Grupper, som er adskilte ved punkterede Linier. 1. Gruppe længst til venstre indeholder alle Forsøg, under hvilke der er afgivet mere end 1 cc Ilt pr. Sekund fra Blodet til Lungeluften; i disse Forsøg har Iltspændingen i Lungeluften ved Forsøgenes Slutning været lav (39,0 til 40,2 mm). Omvendt i 3. Gruppe længst til højre, som indeholder de Forsøg, under hvilke Blodet har optaget mere end 1 cc Ilt pr. Sekund; her er Iltens Slutspænding funden ret høj (44,3 til 47,2 mm). Gruppe 2 i Midten indeholder Forsøgene med ringe Iltudveksling (mindre end 1 cc pr. Sekund); her ligger de fundne Spændingsværdier inden for et Bælte mellem 42,2 mm og 46,2 mm. Ganske vist ligger Iltspændingsværdierne ogsaa her gennemgaaende noget lavere i de Forsøg, hvor Blodet har afgivet Ilt, og højere i Forsøgene med Iltoptagelse, men den højeste og den laveste Værdi i denne Gruppe findes i to Forsøg, under hvilke der saa godt som ingen Iltudveksling har fundet Sted. I disse to Forsøg (Nr. 22 og 28) har Lungeluften altsaa straks fra Forsøgenes Begyndelse haft næsten nøjagtig samme Iltspænding som Pulmonalarterieblodet, og Spændingsudligningen har derfor sikkert været fuldstændig. De to Forsøg er foretagne med 14 Dages Mellemrum, men under saa ens Forsøgsbetingelser, som man kan skaffe det og paa samme Tid af Dagen. De viser derfor, at nogen fuldstændig Konstans af Iltspændingen i Pulmonalarterieblodet findes ikke under de givne Forhold; Variationer paa 4 mm maa man gøre Regning paa at træffe. Smaa Variationer i Pulmonalarterieblodets Iltspænding kan ogsaa indtræde hos samme Forsøgsperson indenfor faa Timer, som det senere skal omtales. Pulmonalarterieblodet hos en bestemt Person i Hvile kan derfor kun angives som Gennemsnitstallet af en Række Værdier, der ganske vist kun afviger lidt indbyrdes.

I de Forsøg, som hører til Fig.'s Gruppe 2, har der

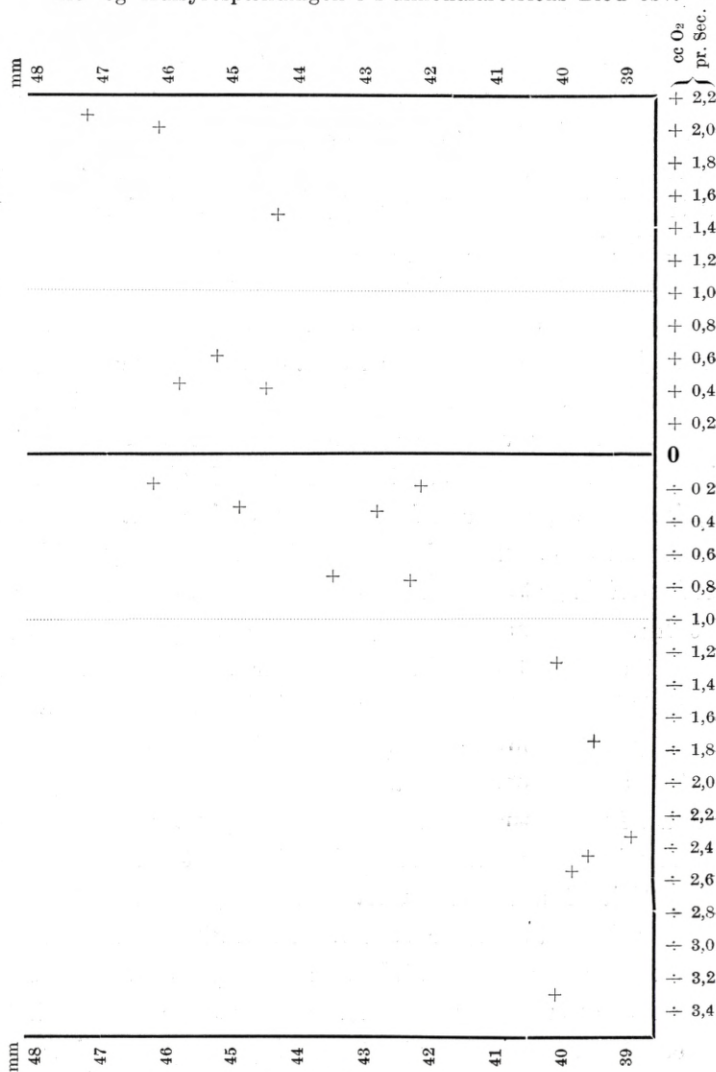


Fig. 1.

været bedst Betingelser for Spændingsudligning mellem Blod og Lungeluft. I de to Forsøg Nr. 22 og Nr. 28 har, som omtalt, en saadan Udligning sikkert fuldstændig fundet Sted. Nu ligger imidlertid alle de øvrige Iltspændingsværdier i Gruppe 2 mellem Værdierne, som fandtes i Forsøg Nr. 22 og Nr. 28 (42,2 mm og 46,2 mm). Værdierne i Gruppe

1 ligger derimod alle under 42,2 mm, og af Værdierne i den lille Gruppe 3 ligger en over 46,2, en anden er 46,1. Det forekommer mig derfor berettiget at antage, at Udligningen mellem Blodets og Lungeluftens Iltspændinger har været fuldstændig i Gruppe 2's Forsøg, ufuldstændig i Gruppe 1 og rimeligvis ogsaa i Gruppe 3.

Herefter kan man betragte Forsøgsresultaterne som brugbare i alle de Forsøg, hvor Blodet i Lungerne har optaget eller afgivet mindre end 1 cc Ilt pr. Sekund under Forsøget. I saadanne Forsøg har Spændingsudligningen været fuldstændig. Som nævnt har de Forsøg indenfor Gruppe 2, i hvilke Blodet har optaget Ilt, gennemsnitlig givet lidt lavere Værdier end de, under hvilke det har afgivet Ilt. Ved Bestemmelsen af Gennemsnitsværdien for Iltspændingen i Pulmonalarterieblodet hos en Person i Hvile, maa man derfor helst have lige saa mange Forsøg med Iltoptagelse under Forsøget som med Iltafgift. Dette har været Tilfældet her. Gennemsnitstallet for Iltspændingen i de 9 Forsøg i Gruppe 2 er 44,2 mm. Middeltallet mellem Gruppens højeste og laveste Værdi er ogsaa 44,2.¹

Paa Fig. 1 viser der sig en Antydning af, at Ilten passerer hurtigere fra Lungeluften ind i Blodet end den omvendte Vej. I alle Forsøg, hvor Blodet har afgivet mere end 1 cc Ilt pr. Sek., er som nævnt Slutværdien abnorm lav, altsaa Udligningen ufuldstændig, men omvendt forekommer der paa Fig. Forsøg, hvor Blodet har optaget indtil 2 cc Ilt pr. Sek., uden at Iltspændingens Slutværdi ligger højere end i de Forsøg, hvor Udligningen har været fuldstændig. Imidlertid egner Forsøgsmetoden sig daarlig til at bevise noget sikkert om dette Forhold, og jeg har kun nævnt

¹ Anm. Dr. AUG. KROGH har for nylig givet en kortfattet Fremstilling af min Metode til Bestemmelse af Ilt- og Kulsyrespændingen i Pulmonalarterieblodet (¹⁰) p. 558). Den her af Dr. KROGH foreslaaede Korrektion af Forsøgsresultaterne har jeg ikke benyttet, da den efter ovenstaaende er overflødig.

Sagen, fordi den stemmer saa godt overens med OINUMA's¹²⁾ og BARCROFT's¹³⁾ Undersøgelser over Hastigheden af Blodets Iltoptagelse og Iltafgift. De fandt netop, at ved lave Iltspændinger optager Blodet hurtig Ilt, men afgiver Iltten langsomt; f. Eks. ved 40 mm's Iltspænding og 40 mm's Kulsyre-spænding afgiver Blodet en bestemt Mængde Ilt lidt over dobbelt saa langsomt, som det optager den.

For Kulsyrens Vedkommende giver Forsøgene i Tabel II mindre gode Oplysninger om Spændingsudlignings-hastigheden. Alle Forsøgsresultaterne, undtagen Forsøg 31's (40,7 mm), ligger mellem 42,9 mm og 49,5 mm Kulsyre-spænding, enten der under Forsøgene er optaget eller afgivet lidt eller meget Kulsyre pr. Sekund. Rimeligvis beroer dette paa, at Kulsyre diffunderer langt hurtigere end Ilt, og at Pulmonalarterie-blodets Kulsyre-spænding svinger noget mere end dets Iltspænding. Kulsyre-spændingens Gennemsnitsværdi for alle Rækkens Forsøg er 46,05 mm. Tages Gennemsnitsværdien alene af de 11 Forsøg, i hvilke der er optaget eller afgivet mindre end 1 cc pr. Sekund, faar man Værdien 45,96 mm, altsaa ganske den samme. Anvender man ved Bestemmelsen af Pulmonalarterieblodets Kulsyre-spænding kun de Forsøg, i hvilke Kulsyreudvekslingen har været under 1 cc pr. Sekund, faar man i al Fald ingen Forsøg med, i hvilke Spændingsudligningen mellem Blod og Lungeluft har været ufuldstændig.

Betragtningen af den grafiske Fremstilling af Forsøgsrækken i Tabel II har ført til følgende Resultater:

1. Ilt- og Kulsyre-spændingen i Pulmonalarterieblodet hos en Forsøgsperson i Hvile er ikke helt konstant, trods Ensartethed i de ydre Forsøgsbetingelser. I denne Række har Iltspændingen svinget 4 mm, Kulsyre-spændingen 6,6 mm.
2. Ilt- og Kulsyre-spændingen i Pulmonalarterieblodet hos en

- Forsøgsperson under givne Forsøgsbetingelser maa derfor bestemmes som Middeltal af en Række Forsøg.
3. Udføres Forsøgene med den her anvendte Metodik, kan man til Beregning af disse Middeltal kun anvende Resultaterne af Forsøg, under hvilke der er optaget eller afgivet mindre end 1 cc Ilt eller Kulsyre pr. Sekund. Der maa helst findes omtrent lige mange Forsøg med Optagelse og Afgift af de nævnte Luftarter.
 4. Under de givne Forhold synes Blodet at optage Ilten hurtigere, end det afgiver den.

Foruden Forsøgsrækken i Tabel II, er der paa samme Person A ca. 4 Maaneder senere udført en ny Forsøgsrække over Ilt- og Kulsyrespændingen i Pulmonalarterieblodet under de samme Forsøgsbetingelser (liggende Stilling, $\frac{1}{2}$ Times Hvile før Forsøgene). Resultaterne er opført i Tabel IV. I denne Forsøgsrække bliver Gennemsnitsværdien for Pulmonalarterieblodets Iltspænding i de Forsøg, hvor der er optaget eller afgivet under 1 cc Ilt pr. Sek., 44,9 mm, for dets Kulsyrespænding 46,6 mm, altsaa samme Værdier som i den tidligere Forsøgsrække (44,2 og 46,0 mm).

Tabel I indeholder en Forsøgsrække paa en anden ung Mand P (20 Aar gammel, Vægt 74 kg, Højde 1,72 Meter, Residualluft 1,03 Liter). Ogsaa disse Forsøg udførtes i liggende Stilling efter $\frac{1}{2}$ Times Hvile. Gennemsnitsværdierne bliver for Iltspændingen i Pulmonalarterieblodet 40,7 mm, for Kulsyrespændingen 45,2 mm.

Mellem Forsøgene paa P findes en Række paa 6 Forsøg, udførte paa samme Dag i Løbet af 3 Timer (Nr. 8 til 13). Under Forsøgene laa P stadig paa en Feltseng, og mellem 2 Forsøg var der mindst 20 Minutter. I alle 6 Forsøg var Udvekslingen af Ilt og Kulsyre mindre end 1 cc pr. Sek. Forsøgsresultaterne var følgende:

Forsøg Nr.	8	9	10	11	12	13
Kl. (Em.) . . .	2 ²⁰	2 ⁴⁰	3 ⁰⁰	4 ³⁰	4 ⁵⁰	5 ²⁰
Forsøgsvarighed . . .	0,196 Min.	0,184 Min.	0,185 Min.	0,206 Min.	0,266 Min.	0,265 Min.
Kulsyresp. . . .	46,1 mm	45,0 mm	45,7 mm	45,0 mm	44,2 mm	43,5 mm
Iltspænding	41,0 „	39,1 „	38,5 „	38,8 „	39,2 „	42,1 „

Rækken viser, hvor relativt smaa Svingningerne er i Værdierne for Kulsyre- og Iltspændingen i Pulmonalarterieblodet indenfor kortere Tid, nemlig henholdsvis 2,6 mm og 3 mm.

Tabel V indeholder Forsøg paa en middelaldrende Mand L (44 Aar, Vægt 63 kg, Højde 1,71 Meter, Residualluft 1,22 Liter). I denne Forsøgsrække har Personen indtaget siddende Stilling. Under 3 af Forsøgene har han udaandet i 3 Sæt, med Prøvetagning af hver partielle Expiration, i Stedet for som ellers i 2. Tabellen viser, at denne Ændring i Fremgangsmaaden ingen Fordele frembyder. For L bliver Gennemsnitsværdien af Pulmonalarterieblodets Iltspænding 35,1 mm, af dets Kulsyre-spænding 45,3 mm.

I de 4 Forsøgsrækker har Variationerne i Forsøgsresultaterne været af samme Størrelsesorden. Iltspændingen svinger i Tabel I 4,8 mm, i II 4 mm, i IV 5,8 mm og i V 3,1 mm. Det betyder Svingninger paa ca. 5 % til begge Sider for Middeltallet. Svingningerne er snarest mindre end i Værdierne af andre Funktionsmaalinger fra samme Person under ensartede ydre Forhold, f. Eks. Hvilestofskiftet. Det er derfor berettiget, at regne med en Middelværdi for Ilt- og Kul-

Forsøgsperson	Stilling	Pulmonalarterieblodets					
		Kulsyrespænding			Iltspænding		
		Max.	Min.	Gen-nemsnit	Max.	Min.	Gen-nemsnit
P	liggende	mm 47,3	mm 42,4	mm 45,2	mm 43,3	mm 38,5	mm 40,7
A (Maj—Juni)	„	49,5	42,9	46,0	46,2	42,2	44,2
A (Septbr.—Oktbr.)	„	48,8	45,2	46,6	48,3	42,5	44,9
L	siddende	46,5	43,9	45,3	36,7	33,6	35,1

syrespændingen i Pulmonalarterieblodet under Hvile hos hver enkelt Forsøgsperson.

Foranstaaende Tabel giver en Oversigt over Resultaterne.

Gennemsnitsværdierne for Pulmonalarterieblodets Iltspænding er mere forskellig for de 3 Forsøgspersoner indbyrdes, end Gennemsnitsværdierne for Kulsyrespændingen.

II. Ilt- og Kulsyrespændingen i Pulmonalarterieblodet under Muskelarbejde.

Over dette Spørgsmaal har jeg kun udført en enkelt Forsøgsrække. Skønt dens Resultater selvfølgelig ikke kan generaliseres, vil jeg dog anføre dem, da de forekommer mig at have nogen Interesse. Der foreligger kun et eneste Forsøg, i hvilket der er foretaget en direkte Bestemmelse af Kulsyre- og Iltspændingen i Pulmonalarterieblodet hos Mennesket under Muskelarbejde. Forsøget er udført af LOEWY og v. SCHROETTER⁶⁾ med deres tidligere omtalte Lungekathedermetode, og dets Resultat er anført i Tabellen Side 4 heri over disse Forfatteres vellykkede Forsøgsresultater under Forsøg Nr. 14. Under Forsøget udførte Forsøgspersonen et Arbejde, der bestod i at løfte en 5 kg-Vægt til en Højde af 70 cm 3 Gange i Minuttet (= mindst 10,5 kg-M. pr. Min.), altsaa et meget ringe Arbejde. Der fandtes i Pulmonalarterieblodet en Kulsyrespænding mellem 6,6 og 6,9 % (= 47—49 mm) og en Iltspænding mellem 5,4 og 5,5 % (= 38—39 mm). LOEWY og v. SCHROETTER angiver, at disse Værdier ikke afviger fra Værdierne, funde hos Personer i Hvile; og at de har Ret heri vil ses af Tabellen Side 4 og af mine Forsøgstabeller I, II, IV og V.

Om Kulsyrespændingen i Pulmonalarterieblodet under Muskelarbejde ved man intet udover Resultatet af dette ene Forsøg. Over Kulsyrespændingen i Alveolærluften under Muskelarbejde er der derimod gjort talrige Undersøgelser i

de sidste Aar. HALDANE og PRIESTLEY¹⁴⁾ fandt, at Alveolærluftens Kulsyrespænding var forhøjet ved moderat Muskelarbejde, nedsat ved anstrengende Muskelarbejde. Senere viste KROGH og LINDHARD¹⁵⁾, at HALDANE's Metodik ikke egnede sig til at bestemme Alveolærluftens Sammensætning under Muskelarbejde. Deres Bestemmelser efter nye Metoder, i Forbindelse med LINDHARD's senere Forsøg¹⁶⁾, viser, at Variationerne i den alveolære Kulsyrespænding under Muskelarbejde er smaa og vekslende, oftest synes Spændingen at aftage lidt. Men heraf lader sig slet intet beregne angaaende Kulsyre's Forhold i Pulmonalarteriens venøse Blod.

Om Iltspændingen i Pulmonalarterieblodet under Muskelarbejde, har man ad indirekte Vej Oplysninger i KROGH og LINDHARD's Undersøgelser over Hjertets Minutvolumen i Hvile og under Arbejde¹¹⁾ ¹⁶⁾. I LINDHARD's talrige Forsøg viser det sig, at der forbruges en større Brøkdel af Blodets Ilt i Kapillærene under Muskelarbejde end i Muskelhvile (det samme har tidligere vist sig i ZUNTZ og HAGEMANN's Forsøg paa Heste¹⁷⁾). Herefter maatte man vente at finde Iltspændingen i Pulmonalarterieblodet nedsat under Muskelarbejde.

De 14 Forsøg, jeg har udført over Spørgsmaalet, er anførte i Tabel III. Alle Forsøgene er udførte paa den tidligere omtalte Forsøgsperson A (se Tabel II og IV), der ikke var træneret. Under Forsøgene udførte A et Arbejde ved at køre paa KROGH's Bicycle-Ergometer (beskrevet af KROGH¹⁸⁾). Arbejdet var saa vidt muligt ens (ca. 200 kg-M. pr. Min.) i alle Forsøgene, idet Bicycle-Ergometret altid var ens belastet (1 kg). Da A ikke har kørt med nøjagtig samme Kørehastighed i alle Forsøgene, varierer det maalte Arbejde mellem 185 og 251 kg-M. pr. Min. I Forsøgene 34 til 42 (Tabel III) kørte A 3—4 Minutter før Spændingsbestemmelserne udførtes, i Forsøgene 43—47 10 Minutter. Denne Forskel har været uden Indflydelse paa Resultaterne.

Det udførte Muskelarbejde var ikke særlig anstrengende, men dog ca. 20 Gange større end Arbejdet i LÖEWY og v. SCHROETTER's omtalte ene Forsøg. Forsøg med meget store Arbejdsydelse mislykkedes, da Forsøgspersonen under disse ikke kunde holde Vejret saa længe, som Forsøgene krævede.

Bestemmelsen af Ilt- og Kulsyrespændingen i Pulmonalarterieblodet foretoges paa samme Maade som i Hvileforsøgene, kun opsamledes Luftprøverne i evacuerede Beholdere, for at spare Tid. Forsøgsvarigheden var 3,7 til 5,8 Sek., i de fleste Forsøg omkring 4,5 Sek. Hvileforsøgene varede ca. 10 Sek. Den korte Forsøgstid var nødvendig, da A kun var i Stand til at holde Vejret kort Tid under Muskelarbejde; ogsaa af teoretiske Grunde er den korte Forsøgstid heldig, da et Forsøg, som omtalt, nødig maa vare længere end Halvdelen af Kredsløbstiden.

Paa Grund af den større Strømningshastighed af Blodet, maa Udligningen mellem Luftspændingerne i Lungeluften og Blodet foregaa hurtigere i Arbejdsforsøg end i Hvileforsøg. En grafisk Fremstilling af Forsøgsresultaterne i Tabel III giver imidlertid ingen gode Oplysninger. De fundne Værdier for Iltspændingen falder indenfor de samme Grænser, ligegyldigt om der er udvekslet meget eller lidt Ilt pr. Sek. mellem Blodet og Lungeluften. Undtages maa dog Forsøg 34, i hvilket der afgaves særlig meget Ilt pr. Sek. af Blodet (2,43 cc), og hvor Iltspændingen fandtes lavere end ellers (30,7 mm). I alle de øvrige Forsøg ligger de fundne Iltspændinger mellem 32,3 og 39,0 mm, og disse to Værdier er fundne i Forsøgene 36 og 39, hvor Iltudvekslingen pr. Sek. mellem Blod og Lungeluft har været saa lille (0,39 og 0,43 cc), at der sikkert er opnaaet Spændingsudligning. Middeltallet af alle de fundne Værdier for Iltspændingen er 35,2 mm (udelades Forsøg 34 faas 35,5 mm. Udeladelsen har saaledes ingen Betydning). For Kulsyrespændingens Vedkommende synes der ikke at være indtraadt Spændingsud-

ligning i Forsøgene 41, 42 og 44. I disse 3 Forsøg har Blodet optaget over 3 cc Kulsyre pr. Sek., og Forsøgene har givet særlig høje Værdier for Kulsyre-spændingen (58,4 mm til 61,0 mm). I Forsøg 35 er ligeledes fundet en ekstraordinær høj Kulsyre-spænding (58,9 mm), skønt Blodets Kulsyreoptagelse pr. Sek. ikke har været fuldt saa høj (2,4 cc). Udelades Forsøgene 41, 42 og 44, bliver Middelværdien for Kulsyre-spændingen i Pulmonalarterieblodet 52,2 mm. Resultaterne af de tre Forsøgsrækker, som er anstillede paa Personen A, er opført i følgende Tabel:

Forsøgsperson A		Pulmonalarterieblodets					
		Kulsyre-spænding			Iltspænding		
		Max.	Min.	Gen-nemsnit	Max.	Min.	Gen-nemsnit
Hvile	Maj—Juni	mm 49,5	mm 42,9	mm 46,0	mm 46,2	mm 42,2	mm 44,2
	Septbr.—Oktbr.	48,8	45,2	46,6	48,3	42,5	44,9
Arbejde (Juni—Septbr.)		58,9	48,5	52,2	39,0	30,7	35,2

Variationerne i Pulmonalarterieblodets Ilt- og Kulsyre-spænding er større i Arbejdsforsøgene end i Hvileforsøgene (10 og 12 % til begge Sider for Middeltallet mod 6 og 7 %). Dette er meget naturligt, da det udførte Muskelarbejde som omtalt ikke var helt ens under de forskellige Forsøg.

Efter Tabellen ovenfor er der ingen Tvivl om, at Pulmonalarterieblodets Iltspænding er nedsat hos A under det anvendte Muskelarbejde. Ikke alene ligger Gennemsnitsværdien 9 mm lavere i Arbejdsforsøgene end i Hvileforsøgene, men Maximumsværdien i et Arbejdsforsøg er 39,0 mm, medens Minimumsværdien under et Hvileforsøg er 42,2 mm. Dette bekræfter altsaa KROGH og LINDHARD's Resultater, som er naaede ad en helt anden Vej; men det stemmer ikke med Resultatet af LOEWY og v. SCHROETTER's ene Forsøg.

Kulsyre-spændingen i Pulmonalarterieblodet er efter Tabellen som Regel højere hos A under Muskelarbejde end under

Hvile, men Forskellen er mindre udtalt end for Iltens Vedkommende. Der er kun 6 mm's Forskel paa Gennemsnittallene for Kulsyrespændingen, og Maximum for Kulsyrespændingen under Hvile (49,5 mm) ligger lidt højere end Minimum under Arbejde (48,5 mm). Herved bliver Resultatet af LOEWY og v. SCHROETTER's ofte omtalte Forsøg forstaaeligt for Kulsyrens Vedkommende.

III. Om Maaling af Hjertets Minutvolumen hos Mennesker.

For faa Aar siden har AUG. KROGH og J. LINDHARD udarbejdet en Metode til Maaling af Hjertets Minutvolumen hos Mennesker¹¹⁾. Metoden er baseret paa et Princip, som BORNSTEIN¹²⁾ havde angivet, og den bestaar i korte Træk i følgende: Fra et Spirometer indaander Forsøgspersonen et Par Gange atmosfærisk Luft, hvortil er sat ca. 14 % Kvælstofforilte (N_2O); efter den sidste Indaanding puster Forsøgspersonen lidt Luft ud i Spirometret, holder nu Vejret nogen Tid og puster saa Resten af Luften i sine Lunger ud. Den Tid, i hvilken Vejret holdes, er selve Forsøgsperioden (fra 4 til 12 Sekunder); dette Tidsrum maales nøjagtig. Af Luften, som pustes ud før og efter Forsøgsperioden, analyseres Prøver. Disse Analyser vil vise, at der i Forsøgsperioden, medens Vejret blev holdt, er forsvundet noget af Luftens Kvælstofforilteindhold. Dette beror paa, at Blodet, som er strømmet gennem Lungerne i Forsøgstiden, har absorberet noget Kvælstofforilte. Da nu denne Luftart ikke bindes til Hæmoglobinet, men absorberes i Blodplasmaet efter den fysiske Absorptionslov, og da Blodet p. G. a. Lungerne Bygning vil mætte sig med Kvælstofforilte ved det tilstedeværende Partialtryk, saa kan man regne ud, hvor meget Blod, der har passeret Lungerne i Forsøgstiden, naar man ved, hvor meget Kvælstofforilte, der er absorberet (forsvundet) i denne Tid, hvor høj Kvælstofforiltespændingen i Lungeluf-

ten har været, og hvor stor Blodets Absorptionskoefficient for Kvælstofforilte er. Naar man kender den Blodmængde, som har passeret Lungerne i Forsøgstiden, beregnes Hjertets Minutvolumen heraf. Paa den fundne Værdi foretager KROGH og LINDHARD en Korrektion. Minutvolumen er jo nemlig bestemt, medens Forsøgspersonen holdt Vejret, altsaa under abnorme Forhold. Forudsættes det, at Pulmonalarterieblodets Iltspænding er konstant under identiske Forsøgsbetingelser, saa maa Minutvolumen være proportional med Iltoptagelsen for samme Forsøgsperson under samme Forhold og indenfor korte Tidsrum. Forsøgspersonens Iltoptagelse er bestemt under Kredsløbsforsøget. Ved at bestemme hans normale Iltoptagelse under Forsøgsbetingelserne, lader den fundne Værdi for Hjertets Minutvolumen sig korrigere, eller, som KROGH og LINDHARD kalder det, reducere til normal Iltoptagelse. Angaaende Metodens Teknik og Enkeltheder henvises til KROGH og LINDHARD's Arbejder ¹⁰⁾ ¹¹⁾ ¹⁶⁾.

I den sidste Tid har KROGH og LINDHARD's Metode været anvendt til flere Undersøgelserækker over vigtige fysiologiske og patologiske Spørgsmaal ¹⁶⁾ ²⁰⁾ ²¹⁾. Der har imidlertid aldrig været foretaget Kontrollforsøg over Metodens Korrekthed.

Enhver Kontrolundersøgelse bestaar i, at bestemme den samme Størrelse paa to af hinanden uafhængige Maader. Hvis man kunde bestemme Hjertets Minutvolumen hos en Forsøgsperson, dels efter KROGH og LINDHARD's Metode, dels under de samme Forsøgsbetingelser efter en ganske anden Metode, saa kunde Resultaterne næppe komme til at stemme overens, hvis en af Metoderne indeholdt systematiske Fejl.

KROGH og LINDHARD's Metode hviler som nævnt paa BORNSTEIN's Princip: Blodets Absorption i Lungerne af en indifferent Luftart. Der er imidlertid Mulighed for at maale Hjertets Minutvolumen hos Mennesker efter et helt andet Princip, som ADOLPH FICK angav i 1870 ²²⁾. FICK's Princip

beror paa følgende: Kender man det procentiske Iltindhold i Blodet, som strømmer til Lungerne, og i Blodet, som strømmer derfra, samt den Mængde Ilt, der er optaget i en given Tid, saa kan man heraf beregne den Mængde Blod, som har passeret Lungerne i Tidsrummet.

GRÉHANT og QUINQUAUD²³⁾ og senere ZUNTZ og HAGEMANN¹⁷⁾ bestemte Hjertets Minutvolumen hos Dyr efter FICK's Princip. Til Undersøgelser paa Mennesker var LOEWY og v. SCHROETTER de første, der anvendte Princippet i deres tidligere omtalte Arbejde⁶⁾. Deres Forsøg blev gennemført med en overordentlig Energi og Omtanke; naar Resultaterne ikke tilfredsstillende nu, beror det for en Del paa Iagttagelser angaaende Blodets Iltbinding, som er af senere Datum end Forsøgene. LOEWY og v. SCHROETTER bestemte Iltmængderne i højre og venstre Hjertesides Blod ad indirekte Vej, dels bestemte de Iltspændingerne i Pulmonalarteriens og Pulmonalvenernes Blod, dels Forholdet mellem Mængde og Spænding af Ilt i Blodet. Heraf lod de procentiske Iltmængder i det arterielle og venøse Blod sig beregne. Endelig bestemtes Forsøgspersonernes Iltoptagelse.

LOEWY og v. SCHROETTER's Bestemmelser af Iltspændingen i Pulmonalarteriens venøse Blod er omtalt i det foregaaende.

Iltmængden i det arterielle Blod er under normale Forhold ret let at bestemme med nogenlunde Nøjagtighed, naar blot Blodets Iltkapacitet kendes, og denne kan beregnes af Blodets Hæmoglobinholdighed. Den arterielle Iltspænding er under Hvile næsten lig Iltspændingen i de respirerende Lungealveoler, og det arterielle Blods Hæmoglobin er ved denne Spænding saa nær ved at være mættet med Ilt, at en mindre Fejl i Bestemmelsen af den alveolære Iltspænding ikke faar stor Betydning¹. Men den særlige Forsøgsmetode

¹ Anm. LOEWY og v. SCHROETTER beregnede den alveolære Iltspænding efter BOHR's Formel af Expirationsluftens Sammensætning og Størrelsen af Respirationsvejenes skadelige Rum. Imidlertid be-

(Nedførelse af et Lungekatheder), som LOEWY og v. SCHROETTER anvendte, bevirkede, at Vanskelighederne ved at bestemme Iltspændingen i det arterielle Blod under disse specielle Forsøg blev uovervindelige. Under Forsøgene blev nemlig ikke alt Blod, som passerede Lungerne, arterialiseret, da der intet normalt Luftsifte foregik i den Del af Lungen, der var afspærret ved Lungekathederets Tampon. Da det ikke vides, hvor stor en Brøkdel af Blodet der passerer den afspærrede Lungedels Kapillærer, saa kan Arterieblodets Ilt-holdighed under Forsøgene slet ikke beregnes, og da hvert Forsøg varede mange Gange længere end et Kredsløb, kan dette Forhold ogsaa have faaet Indflydelse paa Ilt-holdigheden af det venøse Blod. LOEWY og v. SCHROETTER ved derfor heller ikke selv, hvorledes de skal beregne deres Forsøg, og kommer under een Forudsætning til det Resultat, at under Forsøgene har Blodet mistet 20,6 % af sin Ilt i Kapillærene, under en anden Forudsætning bliver den samme Størrelse i de samme Forsøg 34,2 %.

LOEWY og v. SCHROETTER anvendte meget Arbejde paa at bestemme Forholdet mellem Iltspænding og Iltmængde i Prøver af deres Forsøgspersoners Blod ved Tonometerforsøg. Men desværre har disse Bestemmelser kun ringe Værdi, da Forf. ikke kendte Kulsyrens store Indflydelse paa Forholdet mellem Iltmængde og Iltspænding i Blodet²⁴). I de fleste af Tonometerforsøgene er Kulsyrespændingen i Tonometret ikke bestemt.

LOEWY og v. SCHROETTER var de første, der anvendte FICK's Princip til Kredsløbsbestemmelser hos Mennesker, men

stemte de ikke det skadelige Rum hos deres Forsøgspersoner, men regnede med nogle ret vilkaarlige Gennemsnitstal. Dette kan give meget store Fejl i Bestemmelsen af Lufts-pændingerne i Alveolerne, som KROGH og LINDHARD har vist¹⁵). Men under normale Forhold faar disse Fejl som sagt ringe Betydning for Beregningen af det arterielle Blods Iltmængde.

det vil ses, at nogen stor Nøjagtighed kan deres Forsøg ikke gøre Krav paa.

PLESCH udførte senere Bestemmelser paa Mennesker efter samme Princip i sit tidligere omtalte Arbejde⁷⁾. Hans Bestemmelser af Iltspændingen i Pulmonalarterieblodet er omtalt ovenfor. I Arterieblodet regner PLESCH, at Iltspændingen svarer til 16—18 % Ilt, og at Iltmætningen er 98 % af Blodets Iltkapacitet; dette er lidt for højt. BARCROFT og COOKE²⁵⁾¹³⁾ bestemte Iltmætningen af Blod, taget direkte fra et Menneskes Arteria radialis, og fandt, at dets Iltindhold svarede til 94 % af Blodets Iltkapacitet. PLESCH foretog ikke Forsøg over Forholdet mellem Iltspænding og Iltmængde i Blodet hos sine Forsøgspersoner, men nøjedes med kolorimetrisk at bestemme Blodets Iltkapacitet og dernæst beregne Iltmængden i Pulmonalarteriens Blod af Iltspændingen efter BOHR, HASSELBALCH og KROGH's Kurver²⁴⁾. En saadan Beregning kan kun give ret grove Tilnærmelsesværdier, thi BARCROFT har vist¹³⁾, at Iltbindingskurven (Forholdet mellem Iltspænding og Iltmængde i Blodet) varierer hos forskellige Personer indbyrdes, og at disse Variationer ikke blot beror paa Variationer i Kulsyrespændingen.

Den Nøjagtighed, hvormed Hjertets Minutvolumen kan bestemmes hos Mennesker efter FICK's Princip, afhænger, som det vil ses, af Maalingen af følgende fire Størrelser:

- I. Iltspændingen i Pulmonalarterieblodet.
- II. Iltspændingen i det arterielle Blod (Pulmonalvenebloodet).
- III. Iltmængderne i Arterie- og Veneblod ved de fundne Spændinger.
- IV. Personens Iltoptagelse.

I et foregaaende Afsnit er Bestemmelsen af Størrelsen I beskrevet hos 3 Personer, A, P og L i Hvile. Gennem disse Undersøgelser kendte jeg en af de Størrelser, som maa bestemmes, naar man vil maale Hjertets Minutvolumen efter FICK's Princip, og netop den Størrelse, til hvis Bestemmelse

man ikke i Forvejen havde gennemarbejdede Metoder. Bestemmelsen af Størrelserne under II, III og IV volder ingen større Vanskelighed med de Metoder, der nu staar til Raadighed. Jeg havde derfor Midlet i Hænde til at maale Hjertets Minutvolumen efter FICK's Princip med langt større Nøjagtighed, end LOEWY og v. SCHROETTER eller PLESCH kunde, og derved tillige til at foretage Kontrolundersøgelser over KROGH og LINDHARD's Metode.

Saadanne Kontrolundersøgelser blev foretagne paa to af Forsøgspersonerne, A og L. Hos begge maaltes Hjertets Minutvolumen i Hvile, først efter FICK's Princip, dernæst med KROGH og LINDHARD's Metode. De to Bestemmelsesmaader egner sig godt til at kontrollere hinanden, thi de er ganske uafhængige af hinanden, baade i Princip og i de enkelte Maalinger. Ingen af de udførte Maalinger er fælles for begge Metoder, saaledes som det vil fremgaa af efterfølgende Beskrivelse.

Betingelserne for en Sammenligning af Resultaterne var desuden særlig gode. Bestemmelsen af Hjærtets Minutvolumen efter det FICK'ske Princip, hviler for en stor Del paa Bestemmelsen af Luftspændingerne i Pulmonalarterieblodet; men under disse Bestemmelser udførte mine Forsøgspersoner, som omtalt, de samme Respirationsbevægelser (Expiration i to Sæt efter dyb Inspiration), som udføres ved Bestemmelsen af Hjertets Minutvolumen efter KROGH og LINDHARD's Metode (i dens ene Modifikation). Hertil skal jeg senere komme tilbage.

I det følgende beskrives først Bestemmelsen af Hjertets Minutvolumen efter FICK's Princip hos Forsøgsperson A. De 4 Størrelser, som det er nødvendigt at maale ved denne Bestemmelse, nævntes ovenfor.

I. Iltspændingen i Pulmonalarterieblodet under Hvile. Bestemmelsen heraf hos A findes i Tabel II og IV og er omtalt Side 127—134. Gennemsnitsværdien for Ilt-

spændingen var i den første af de udførte Forsøgsrækker 44,2 mm, i den anden 44,9 mm. Forskellen paa de to Værdier er betydningsløs. Da den sidste Række er udført kort Tid forud for Kredsløbsbestemmelserne paa A efter KROGH og LINDHARD'S Metode, benyttes Værdien fra denne Række: 44,9 mm.

II. Iltspændingen i det arterielle Blod (Pulmonalvenebloodet) er ved normal Respiration efter BARCROFT¹³⁾ en Ubetydelighed lavere end Iltspændingen i Lungernes Alveolærluft. Da Blodet næsten er iltmættet ved denne Spænding, kan man uden at begaa nogen Fejl af praktisk Betydning regne, at Arterieblodet har Alveolærluftens Iltspænding. Alveolærluftens Sammensætning hos A i Hvile er bestemt efter HALDANE'S Metode¹⁴⁾ (Bestemmelserne udførtes af Dr. AUG. KROGH). Resultatet var følgende:

I Alveolærluft	Efter normal Inspir.	Efter normal Exspir.	Gennemsnit	Barometer
Ilt	14,03 %	13,82 %	14,1 % = 101 mm	} 761,5
Kulsyre	5,55 %	5,82 %	5,7 % = 41 ,,	

III. Iltmængden i A's Blod ved de fundne Iltspændinger. Som omtalt har BARCROFT fundet¹³⁾, at Iltbindingskurven ikke er ens for Blodet fra forskellige Individier, bortset fra de Forskelligheder, der skyldes Variationer i Hæmoglobinholdighed og i Kulsyrespænding. Selv med samme Hæmoglobinholdighed, samme Iltspænding og samme Kulsyrespænding vil Blodet fra to Mennesker ofte binde forskellige Iltmængder. Man kan derfor ikke benytte nogen Gennemsnitsiltbindingskurve til Bestemmelse af Blodets procentiske Iltindhold ved kendte Luftspændinger, men maa gøre Bestemmelser paa hvert enkelt Individ's Blod.

Hos Forsøgspersonen A kendes Ilt- og Kulsyrespændingerne i hans Pulmonalarterie- og Pulmonalveneblood under Hvile. Ved direkte Undersøgelser paa A's Blod maa det

findes, hvor meget Ilt hans Blod indeholder ved disse Spændinger.

Dr. AUG. KROGH har vist mig den Venlighed at udføre de nødvendige Undersøgelser.

Undersøgelserne foretoges d. $\frac{1}{11}$ 1914, d. v. s. kort Tid efter Bestemmelsen af Pulmonalarteriens Luftspændinger hos A, og kort Tid før Kredsløbsbestemmelserne efter KROGH og LINDHARD's Metode. Bestemmelserne paa A's Blod blev foretaget med den Metodik, som BARCROFT har angivet og beskrevet i Enkeltheder (¹³) p. 297 ff.). Fremgangsmaaden er i Princippet følgende: Et Par cc Blod rystes i en lukket Beholder (Tonometer) ved 15° med en stor Mængde Luft, i hvilken Ilt og Kulsyre har de Spændinger, som Blodets Ilttholdighed skal bestemmes ved. Naar der er Ligevægt mellem Blodets og Tonometerluftens Iltspænding, analyseres en Prøve af Luften. Ca. 1 cc af Blodet bringes over i den ene Beholder af et BARCROFT's Apparat til Bestemmelse af Blodets Iltindhold ved Differentialmetoden, og Apparatet sættes i en Vandtermostat ved 15° . Først bestemmes nu det Undertryk B, som opstaar i Apparatet, naar det i aflukket Tilstand rystes, og Blodet derved mættes helt med Ilt ved 15° . Dernæst bringes Trykket i Apparatet i Ligevægt med Atmosfæren, det aflukkes atter, og man bestemmer det Overtryk C, som opstaar i Apparatet, naar al Ilten drives ud af det iltmættede Blod ved Rystning med Ferridcyankalium ved 15° . $(C \div B) : C \cdot 100$ angiver Blodets procentiske Iltmætning, og $B : C \cdot 100$ angiver i Procent af Blodets Iltkapacitet, hvor meget Blodet manglede i at være mættet med Ilt. Ved BARCROFT's Fremgangsmaade bliver det overflødigt at korrigere de fundne Værdier for Temperatur og Tryk. Derimod maa der tages Hensyn til, at Forsøgene ikke udføres ved Legemstemperatur, og der maa indføres en Korrektion for den Ilt, som absorberes i Blodplasmaet.

Dr. KROGH foretog 4 Bestemmelser paa Blod fra A, 2 over dets Iltholdighed ved Pulmonalarterieblodets Luftspændinger og 2 over Iltholdigheden ved Alveolærluftens Luftspændinger (svarende til Pulmonalvenebloodets). Resultaterne var følgende:

A. Bestemmelse af Blodets procentiske Iltmætning hos A ved Luftspændinger svarende til hans Pulmonalarterieblods under Hvile (44,9 mm Ilt og 46,6 mm Kulsyre). I Legemet har Blodets Luftarter disse Spændinger ved 37°, Tonometerbestemmelserne gøres ved 15°, ved denne Temperatur vil Ilt- og Kulsyrespændinger paa henholdsvis 41,7 og 43,3 mm frembringe samme Iltoptagelse i Blodet, som de ovenfor nævnte Spændinger ved 37°.

Forsøg 1. Luftspændinger i Tonometret: 42,8 mm Ilt og 43,5 mm Kulsyre. A's Blod mangler i fuld Iltmætning (Størrelsen $B : C \cdot 100$): 25,5 %.

Forsøg 2. Luftspændinger i Tonometret: 42,5 mm Ilt og 43,7 mm Kulsyre. Blodet mangler i Iltmætning: 24,6 %.

Middeltallet for Iltspændingerne i Tonometret er 42,6 mm, medens Pulmonalarterieblodets Iltspænding ved 15° svarede til 41,7 mm. For denne Forskel kan man korrigere de fundne Værdier efter BARCROFT'S Kurver, naar man først beregner Konstanten K i A. V. HILL'S Ligning for Blodets Iltbindingskurve¹³⁾ 26). For Personen A bliver K efter de ovennævnte Forsøg $2,5 \cdot 10^{-4}$, og den søgte Korrektion bliver derefter 0,6 %.

Altsaa mangler Pulmonalarterieblodet hos A i fuld Iltmætning: $\left(\frac{25,5 + 24,6}{2}\right) + 0,6 = 25,6$ %.

B. Bestemmelsen af Blodets procentiske Iltmætning hos A ved Luftspændinger svarende til Alveolærluftens (101 mm Ilt og 41 mm Kulsyre). To Forsøg gav for Størrelsen $B : C \cdot 100$ Værdierne 2,7 % og 1,1 %, Middeltal 1,9 %. Saa meget manglede Pulmonalvenebloodet hos A i fuld Iltmætning.

De fundne Resultater viser, at $25,6 \div 1,9 = 23,7$ % af

en Iltmængde svarende til Blodets Iltkapacitet forbruges hos A under Hvile i Vævene og optages i Lungerne. Størrelsen maa korrigeres for Forskellen i Plasmaets Iltholdighed i arterielt og venøst Blod: $23,7 + 0,2 = 23,9$ 0/0. Strengt taget gælder hele Beregningen kun, hvis Iltkapaciteten har været ens i Pulmonalarteriens og Pulmonalvenernes Blod. Dette er vistnok ikke fuldstændig Tilfældet (Forskel i Vandholdighed). Naar Arterieblodet som her næsten er iltmættet, bliver dette Forhold dog uden Betydning [efter BARCROFT¹³] p. 299].

Størrelsen 23,9 0/0 betegner, hvad KROGH og LINDHARD har kaldet Blodets Udnytningskoefficient [KROCH¹⁰] p. 555] hos A i Hvile.

For at beregne de absolute Værdier af Iltmængderne i A's Blod, maa dettes Iltkapacitet bestemmes. Dette har Fru Dr. MARIE KROGH været saa venlig at udføre med et standardiseret HALDANE's Hæmoglobininometer. 3 Bestemmelser (d. ¹³/₁₁, ⁸/₁₂ og ²²/₁₂ 1914) gav Værdier, svarende til Iltkapaciteter paa 19,6—19,2 og 19,1 Volumenprocent Ilt. Middeltallet bliver 19,3 Volumenprocent¹. Da Blodets Udnytningskoefficient hos A er 0,237 (23,7 0/0), vil 100 cc af A's Blod ved Passagen gennem Lungerne optage $19,3 \cdot 0,237 = 4,57$ cc Ilt.

IV. A's Iltoptagelse i Hvile (liggende Stilling) er bestemt i 3 Forsøg af Dr. KROGH. Hertil anvendtes et Respirationsapparat af REGNAULT-Typen (beskrevet af Dr. KROGH¹⁸). Forsøgene gav følgende Værdier for A's Iltforbrug i Hvile pr. Minut: 291 cc—273 cc—278 cc. Herefter er A's Iltoptagelse i Hvile gennemsnitlig 281 cc pr. Minut.

Nu er alle Størrelser bestemt, som indgaar i Maalingen

¹ A nm. En Bestemmelse udført d. ¹⁴/₉ 14 af en mindre øvet Under søger havde givet Værdien 17,9 Volumenprocent. I Betragtning af Overensstemmelsen mellem de 3 andre Resultater, maa denne Værdi anses for at være fejlagtig.

af Hjertets Minutvolumen efter FICK's Princip under Hvile i liggende Stilling. Da A's Iltoptagelse under disse Forhold er 281 cc pr. Minut og 100 cc af hans Blod optager 4,57 cc Ilt i Lungerne, bliver hans Minutvolumen $281 : 4,57 \cdot 100 = 6150$ cc, eller forkortet: **6,2 Liter**. Udnytningskoefficienten af hans Blod var, som ovenfor nævnt: **0,237**.

Efter at Hjertets Minutvolumen hos A var bestemt efter FICK's Princip, foretog jeg en Række Bestemmelser af den samme Størrelse efter KROGH og LINDHARD's Metode. Princippet for denne Metode er beskrevet ovenfor. Metodens Enkeltheder har været saa ofte beskrevne i den sidste Tid, at det er tilstrækkeligt at henvise til disse Beskrivelser¹⁰⁾¹¹⁾¹⁶⁾²¹⁾.

I deres første Meddelelse om Metoden¹¹⁾ anvendte KROGH og LINDHARD 2 forskellige Fremgangsmaader under Forsøgene, de kaldte dem henholdsvis Ligevægtsmetoden og Residualmetoden. Forsøg efter Ligevægtsmetoden udføres paa den Maade, at Forsøgspersonen i en Forperiode foretager 3 middeldybe Respirationer fra det omtalte Spirometer, der er fyldt med en Blanding af atmosfærisk Luft og Kvælstofforilte; efter den sidste Expiration tages en Prøve af hans udaandede Lungeluft, dernæst holder han Vejret i ca. 0,2 Minut og udaander da saa dybt som muligt ind i Spirometret, af denne sidste Expirationsluft tages atter en Prøve. Denne Ligevægtsmetode adskiller sig mindst fra normale Respirationsforhold, og er derfor anvendt af LINDHARD og af LUNDSGAARD i deres senere Forsøg. Ved Residualmetoden foregaar Forsøget saaledes, at Forsøgspersonen først expirerer maximalt ud i Værelset, derefter inspirerer dybt fra Spirometret med Kvælstofforilteblandingen, holder Vejret i en Forperiode, expirerer en Del af sit Lungeindhold ud i Spirometret, atter holder Vejret i Forsøgsperiodens ca. 0,2 Minut og til sidst expirerer maximalt ud i Spirometret.

Det vil ses, at ved Kredsløbsbestemmelser efter Residual-

metoden foretager Forsøgspersonen nøjagtig de samme Respirationbevægelser, som i mine Forsøg til Bestemmelse af Luftspændingerne i Pulmonalarterieblodet (Beskrivelsen S. 10—11). For at gøre Forsøgsbetingelserne saa ens som muligt under de to forskellige Minutvolumenbestemmelser paa samme Individ, har jeg derfor foretaget de KROGH-LINDHARD'ske Minutvolumenbestemmelser efter Residualmetoden og ikke efter den hyppigere benyttede Ligevægtsmetode.

Tabel VI indeholder 8 saadanne Bestemmelser af Hjertets Minutvolumen paa Personen A. Under Forsøgene laa A paa en Feltseng og hvilede mindst 15 Minutter før hver Bestemmelse, ganske som ved Undersøgelserne over Luftspændingerne i hans Pulmonalarterieblod. I de 6 af Forsøgene stemmer Resultaterne godt overens, 2 af Forsøgene (Nr. 6 og Nr. 8) har givet Værdier for Hjertets Minutvolumen og for Udnyttelsen af Blodets Ilt, der afviger en Del fra de øvrige. Da det ikke fremgaar af min Forsøgsprotokol, at der har været særlige Uregelmæssigheder i disse to Forsøg, medtages de ved Beregningen af Gennemsnitstallene.

De direkte maalte Minutvolumina i Forsøgene er omregnede til A's normale Iltoptagelse paa den af KROGH og LINDHARD angivne Maade ¹⁰⁾ ¹¹⁾).

I Gennemsnit bliver Hjertets Minutvolumen hos A i liggende Stilling ved normal Iltoptagelse efter KROGH og LINDHARD's Metode: 6,8 Liter og Udnyttelseskoefficienten for Iltten i hans Blod: 0,216.

Hos Forsøgspersonen L er Hjertets Minutvolumen ogsaa bestemt baade efter FICK's Princip og efter KROGH og LINDHARD's Metode. Fremgangsmaaden var ganske den samme som ved Forsøgene paa A, kun indtog L siddende Stilling ved Kredsløbsbestemmelserne, ligesom ved Bestemmelserne af Pulmonalarterieblodets Luftspændinger. Resultaterne var følgende:

Bestemmelse af Hjertets Minutvolumen hos L efter FICK'S Princip:

I. Pulmonalarterieblodets Iltspænding var i Gennemsnit 35,1 mm, dets Kulsyrespænding 45,3 mm (se Side 135).

II. I Lungernes Alveolærluft hos L: Iltspænding 101 mm, Kulsyrespænding 36,8 mm.

III. Iltmængderne i L's Blod, som svarer til de fundne Ilt- og Kulsyrespændinger.

Dr. KROGH foretog d. ⁴/₁₁ 1914 4 Bestemmelser paa L's Blod efter BARCROFT'S Metoder, 2 ved Pulmonalarterieblodets, 2 ved Alveolærluftens Spændinger (se Side 146—148).

Pulmonalarterieblodets Spændinger ved 37° (35,1 mm Ilt og 45,3 mm Kulsyre) svarer ved 15° til 32,7 mm Ilt og 42,2 mm Kulsyre.

Forsøg 1. Luftspændinger i Tonometret: 33,8 mm Ilt og 42,2 mm Kulsyre. Ved disse Spændinger manglede Blodet 33,3 % i Iltmætning.

Forsøg 2. I Tonometret 34,6 mm Ilt og 43,2 mm Kulsyre. Blodet manglede 34,1 % i Iltmætning.

Middeliltspændingen i Tonometret var i de to Forsøg 34,2 mm. Pulmonalarterieblodets Iltspænding svarede ved 15° til 32,7 mm. For den Forskel korrigeres efter BARCROFT'S Kurver og HILL'S Ligning (se Side 148). Konstanten K for L's Blod bliver $2,6 \cdot 10^{-4}$. Korrektionen i Blodets Iltmætning er herefter 2,2 %. Ved Pulmonalarterieblodets Luftspændinger mangler L's Blod $33,7 + 2,2 = 35,9$ % i Iltmætning.

Spændingerne i L's Alveolærluft var ved 37° 101 mm Ilt og 36,8 mm Kulsyre, svarende til 93,8 mm Ilt og 34,2 mm Kulsyre ved 15°.

I to Forsøg (i Tonometret 94,3 mm Ilt og 34,4 mm Kulsyre) fandt Dr. KROGH, at L's Blod ved disse Spændinger manglede 3,4 % og 1,3 %, gennemsnitlig 2,3 % i Iltmætning.

Af Blodets Ilt udnyttedes hos L $35,9 \div 2,3 = 33,6$ % i

Vævene. Korrigeret for Forskellen i det arterielle og venøse Plasmas Iltholdighed: $33,6 + 0,2 = 33,8$ $\%$. Udnyttelseskoefficienten for L's Blod er altsaa **0,338**.

Iltkapaciteten af L's Blod (bestemt af Fru M. KROGH) svarede til 17,8 Volumenprocent Ilt. Ved Passage gennem Lungerne optager 100 cc af L's Blod $17,8 \cdot 0,338 = 6,02$ cc Ilt.

IV. L's Iltoptagelse i Hvile i siddende Stilling er 250 cc pr. Minut.

Hjertets Minutvolumen hos L i siddende Stilling er altsaa $250 : 6,02 \cdot 100 = 4150$ cc eller **4,2 Liter**.

Tabel VII indeholder 4 Kredsløbsbestemmelser paa L i siddende Stilling efter KROGH og LINDHARD's Metode (Residualmetoden) (se Side 150). Resultaterne stemmer godt overens indbyrdes. Gennemsnitsværdien er for Hjertets Minutvolumen **3,9 Liter**, for Udnyttingskoefficienten af Blodets Ilt **0,365**.

For hver af Forsøgspersonerne er der ad to Veje fundet Værdier, dels for Udnyttelsen af Blodets Ilt, dels for Hjertets Minutvolumen. For at afgøre, hvilken Overensstemmelse man kan vente at finde mellem de forskellige Værdier, maa man være klar over, med hvilken Nøjagtighed de er bestemt.

Først skal omtales Bestemmelsen af Udnyttelseskoefficienten for Blodets Ilt.

Ved KROGH og LINDHARD's Metode afhænger denne Bestemmelse af to Maalinger:

- 1) Iltkapaciteten (Hæmoglobinholdigheden) af Forsøgspersonens Blod. Denne er bestemt af en særlig øvet Undersøger ved Hjælp af HALDANE's Hæmoglobinimeter som Middeltal af flere Undersøgelser. Nøjagtigheden af Bestemmelsen er ca. 1 $\%$.
- 2) Forholdet mellem den Mængde Ilt og den Mængde Kvælstofforilte, som absorberes i Lungerne under Forsøget. Dette Forhold bestemmes ved a) to Luftanalyser; Nøjag-

tigheden af disse er en saadan, at Analysefejlen højst kan frembringe Afvigelser paa 5 % i Resultatet ¹¹⁾; — b) Forholdet er afhængigt af de Faktorer, som skal kontrolleres (specielt Absorptionen af Kvælstofforilte).

Kendte Fejlkilder kan altsaa i alt frembringe Fejl paa 6 % i Værdien af Udnyttelseskoefficienten for Blodets Ilt, bestemt efter KROGH og LINDHARD's Metode.

Bestemmelsen af Udnytningskoefficienten efter den anden af de her anvendte Metoder (kaldes i det følgende for Kortheds Skyld: Metode F) afhænger 1) af to Bestemmelser af Blodets procentiske Iltmætning ved givne Ilt- og Kulsyre-spændinger efter BARCROFT's Metode. Efter Maalinger af BARCROFT og BURN ²⁷⁾ kan Metoden give en maximal Fejl paa 3 % af Resultatet, altsaa for to Bestemmelser 6 %; — 2) af Bestemmelsen af Ilt- og Kulsyrespændingen i Lungernes Alveolærluft. Fejl i denne Bestemmelse vil kun faa en højst ubetydelig Indflydelse paa Resultatet, da Blod ved Alveolærluftens Iltspændinger næsten er iltmættet; — 3) af Bestemmelsen af Ilt- og Kulsyrespændingen i Pulmonalarterieblodet, hvilket er den Faktor, som skal kontrolleres.

Kendte Fejlkilder kan frembringe Fejl paa 6 % i Værdien af Udnytningskoefficienten for Blodets Ilt efter Metode F.

Det maa fremhæves, at ingen af de Maalinger, som indgaar i Bestemmelsen af Udnytningskoefficienten efter KROGH og LINDHARD's Metode, har noget som helst fælles med Maalingerne efter Metode F. (Blodets Iltkapacitet indgaar i Maalingen efter KROGH og LINDHARD, ikke i Bestemmelsen af Udnytningskoefficienten efter Metode F.)

Ved Sammenligning af Bestemmelser efter de to Metoder kan altsaa kendte Fejlkilder gøre Rede for indbyrdes Afvigelser paa indtil 12 % af Værdien.

For A i Hvile fandtes Værdien for Udnytningskoefficienten efter KROGH og LINDHARD's Metode 0,216, efter Metode

F 0,237. Den indbyrdes Afvigelse er 10 % af den laveste Værdi. For L var Værdierne henholdsvis 0,365 og 0,338, den indbyrdes Afvigelse 8 %. Hos A har Metode F givet den højeste af de to Værdier for Udnytningskoefficienten, hos L den laveste. Der er saaledes ingen Tegn til, at de ukendte Faktorer, som har Indflydelse paa de to Bestemmelser, har frembragt nogen maalelig systematisk Fejl.

Bestemmelserne af Hjertets Minutvolumen afhænger i Virkeligheden af ganske de samme Maalinger som Bestemmelserne af Udnytningskoefficienten for Blodets Ilt.

Efter KROGH og LINDHARD's Metode afhænger Bestemmelsen af Hjertets Minutvolumen kun:

- 1) af Forholdet mellem den i Lungerne under Forsøget optagne Iltmængde og den optagne Kvælstofforiltmængde. Denne Værdi opføres i Tabellerne i KROGH og LINDHARD's Arbejder under Betegnelsen: Iltmængde optaget pr. Liter Blod. I LUNDSGAARD's Tabeller²¹⁾ anføres den reciproke Værdi heraf og kaldes Strømequivalenten. Maalingen af Lungernes Luftindhold under Forsøget og af Forsøgstiden indgaar ikke i Værdien for Minutvolumen, reduceret til normal Iltoptagelse (se LUNDSGAARD²¹⁾ Side 61),
- 2) af Iltoptagelsen under Hvile.

Efter Metode F afhænger Minutvolumenbestemmelsen af:

- 1) Blodets Udnytningskoefficient,
- 2) Blodets Iltkapacitet (Hæmoglobinholdighed) og
- 3) Iltoptagelsen under Hvile.

Maalingen af Iltoptagelsen under Hvile indgaar paa samme Maade i begge Metoder. Ved Bestemmelsen af Minutvolumen indgaar Blodets Iltkapacitet kun i Maalingen efter Metode F, ikke i Maalingen efter KROGH og LINDHARD. Omvendt indgik denne Størrelse ved Bestemmelsen af Udnytningskoefficienten i KROGH og LINDHARD's Metode, ikke i Metode F.

Resultaterne af Minutvolumenbestemmelserne viser derfor ganske naturligt de samme indbyrdes Afvigelser som Be-

stemmelserne af Udnytningskoefficienten: 10 % for Maalingerne paa A efter de to Metoder (6,2 og 6,8 Liter), 8 % for Maalingerne paa L (4,2 og 3,9 Liter). Her har Metode F givet den højeste af de to Bestemmelser af samme Størrelse hos L, den laveste hos A.

Følgende Tabel giver en Oversigt over Resultaterne:

	Hjertets Minutvolumen		Udnytningskoefficienten for Blodets Ilt	
	A (liggende)	L (siddende)	A (liggende)	L (siddende)
Metode F (FICK'S Princip) . . .	6,2 Liter	4,2 Liter	0,237	0,338
KROGH og LINDHARD'S Metode	6,8 „	3,9 „	0,216	0,365
Metodernes indbyrdes Afvigelse	+ 10 %	÷ 8 %	÷ 10 %	+ 8 %

Kontrollforsøgene over KROGH og LINDHARD'S Metode til Bestemmelse af Hjertets Minutvolumen hos Mennesker er saaledes faldet tilfredsstillende ud. Ganske vist er kun to Personer undersøgt, men til Gengæld afviger Kredsløbsforholdene under Hvile ret stærkt hos de to Personer indbyrdes. Den ene (A) har et hurtigt Kredsløb og en tilsvarende lav Udnytningskoefficient for Iltten i sit Arterieblod, den anden (L) et langsomt Kredsløb og en høj Udnytningskoefficient. Da A og L har samme Pulsfrekvens i Hvile (efter Tabel VI og VII gennemsnitlig henholdsvis 66 og 67 pr. Min.), har Hjertet et større Slagvolumen i Hvile hos A (98 cc) end hos L (60 cc).

Disse Forskelligheder mellem de to Forsøgspersoner er fundne med begge Metoder. Ved begge Metoder har en Værdi maattet bestemmes som Gennemsnit af en Række Bestemmelser. I Metode F er denne Størrelse Iltspændingen i Pulmonalarterieblodet, i KROGH og LINDHARD'S Metode Forholdet mellem den Mængde Ilt og den Mængde Kvælstoforilte, Blodet optager i Lungen under Forsøgene. At Iltspændingen i Pulmonalarterieblodet varierer noget under ensartede ydre Forsøgsbetingelser, synes at fremgaa af mine

Forsøg (se Side 130 og 133). Om disse Variationer alene forklarer Svingningerne i Forholdet mellem Ilt- og Kvælstof-forilteoptagelse i Forsøg efter KROGH og LINDHARD'S Metode, eller om der ogsaa findes reelle Svingninger i Hjertets Minutvolumen, som paavirker disse sidste Maalinger, er det ikke muligt at afgøre. Det sidste er vel nok det sandsynligste.

Begge de anvendte Metoder har til Forudsætning, at Luftarterne i Blodet, som forlader Lungerne, er i Spændingslignevægt med Alveolærluften. At dette praktisk talt er Tilfældet (for Iltens Vedkommende) hos normale Mennesker, viser de tidligere omtalte Undersøgelser af BARCROFT og COOKE²⁵⁾ 13). Hvorledes Forholdene stiller sig under patologiske Tilstande med Forandringer i Lungerne (Lunge- og Hjertesygdomme) kan man ikke vide uden nærmere Undersøgelse.

Résumé.

- 1) Der beskrives en Metode til Bestemmelse hos Mennesker af Ilt- og Kulsyre-spændingen i det venøse Blod, som fra højre Hjerteventrikel strømmer til Lungerne gennem Pulmonalarterien. Metoden frembyder følgende Fordele fremfor de Metoder, tidligere Undersøgere har anvendt:
 - a) i hvert enkelt Forsøg kan man se, om de fundne Ilt- og Kulsyre-spændinger er øvre eller nedre Tilnærmelsesværdier til de søgte Spændinger.
 - b) Lungernes Fyldningsgrad og Udskillelsen eller Optagelsen af Ilt og Kulsyre pr. Sekund under hvert Forsøg bestemmes.

Det paavises, at Forsøg, under hvilke Forsøgspersonen har optaget eller afgivet mindre end 1 cm³ Ilt eller Kulsyre pr. Sekund, kan betragtes som vellykkede, og deres Resultater er brugbare.

- 2) Med Metoden er udført 64 Forsøg paa 3 Forsøgspersoner.
- 3) Det viser sig, at Ilt- og Kulsyrespændingen i Pulmonalarterieblodet hos en Person i Hvile ikke er helt konstant, trods Ensartethed i de ydre Forsøgsbetingelser. Svingningerne er dog smaa (2,6 til 6,6 mm for Kulsyrens, 3,1 til 5,8 mm for Iltens Vedkommende). I en Række Forsøg fra samme Dag er Svingningerne særlig smaa.

Ilt- og Kulsyrespændingen i Pulmonalarterieblodet hos en Forsøgsperson under givne Forsøgsbetingelser maa derfor bestemmes som Middeltal af en Række Forsøg.

- 4) Under Hvile er der hos de 3 undersøgte Personer fundet følgende Gennemsnitsværdier for Pulmonalarterieblodets Iltspænding: 40,7 mm—44,5 mm—35,1 mm, for dets Kulsyrespænding: 45,2 mm—46,3 mm—45,3 mm.

Værdierne for Iltspændingen afviger mere hos de 3 Personer indbyrdes end Værdierne for Kulsyrespændingen.

- 5) Under et nøjagtig maalt Muskelarbejde (varierende omkring 200 kg-Meter pr. Minut) er der fundet en lavere Iltspænding (35,2 mm mod 44,5 mm) og en højere Kulsyrespænding (52,2 mm mod 46,3 mm) i Pulmonalarterieblodet, end hos samme Person i Hvile.

- 6) Hos to Forsøgspersoner er Hjertets Minutvolumen i Hvile bestemt efter FICK's Princip. Hertil er bl. a. benyttet de fundne Værdier for Ilt- og Kulsyrespændingen i Forsøgspersonernes Pulmonalarterieblod, samt en Række Bestemmelser af Iltbindingen i deres Blod (udført af Docent AUG. KROGH efter BARCROFT's Metoder).

Hos de samme Personer er Hjertets Minutvolumen i Hvile bestemt efter den af KROGH og LINDHARD udarbejdede Metode.

De to Metoder, som i Princip og i de enkelte Maalinger er ganske uafhængige af hinanden, gav Resultater,

der stemmer overens indenfor de anvendte Analysemeters Fejlgrænse.

Dette er de første Kontrolundersøgelser, som er udført over Korrektheden af KROGH og LINDHARD's Metode til Bestemmelse af Hjertets Minutvolumen hos Mennesker.

Jeg er Docent Dr. AUG. KROGH overordentlig megen Tak skyldig for Tilladelsen til at benytte hans Laboratorium og Apparater, for stadig Vejledning under Forsøgene og for hans Venlighed, at udføre de BARCROFT'ske Bestemmelser af Ilt- og Kulsyrebindingen i mine Forsøgspersoners Blod. Desuden takker jeg Fru Dr. MARIE KROGH, som har udført Hæmoglobinbestemmelserne i Arbejdet, og Hr. cand. pharm. ANDRESEN, som har udført nogle af Luftanalyserne.

Litteratur.

- 1) C. LOVATT EVANS and E. H. STARLING. The Journal of Physiology. B. 46. p. 413. 1913.
- 2) P. MORAWITZ. Deutsch. Arch. f. klin. Med. Bd. 103. p. 253. 1911.
- 3) V. HENRIQUES. Biochem. Zeitschr. Bd. 56. p. 230. 1913.
- 4) SIEGFRIED WOLFFBERG. Pflügers Archiv. Bd. 4. p. 465. 1871 og Bd. 6. p. 23. 1872.
- 5) MORITZ NUSSBAUM. Pflügers Archiv. Bd. 7. p. 296. 1873.
- 6) A. LOEWY und H. v. SCHRÖTTER. Zeitschr. f. experimentelle Pathol. u. Therapie. Bd. 1. p. 197. 1905.
- 7) JOHANN PLESCH. Zeitschr. f. experimentelle Pathol. u. Therapie. Bd. 6. 1909.
- 8) O. PORGES, A. LEIMDÖRFER und E. MARCOVICI. Zeitschr. f. klinische Medizin. Bd. 73. p. 389. 1911 og Bd. 77. p. 477. 1913.
- 9) JOHANNE CHRISTIANSEN, C. G. DOUGLAS and I. S. HALDANE. The Journ. of Physiol. Bd. 48. p. 244. 1914.
- 10) AUG. KROGH. Handb. d. biochem. Arbeitsmethoden herausgegeben v. EMIL ABDERHALDEN. Bd. 8. p. 529. 1915.
- 11) AUG. KROGH und J. LINDHARD. Skandinav. Arch. f. Physiol. Bd. 27. S. 111. 1912.
- 12) OINUMA. The Journ. of Physiol. Bd. 43. p. 364. 1911.

- 13) JOSEPH BARCROFT. The respiratory function of the blood. (Cambridge 1914.)
 - 14) I. S. HALDANE and PRIESTLEY. The Journ. of Physiol. Bd. 32. p. 225. 1905.
 - 15) AUG. KROGH and J. LINDHARD. Skandinav. Arch. f. Physiol. Bd. 30. p. 390. 1913 og The Journ. of Physiol. Bd. 47. p. 30 og 112. 1913.
 - 16) J. LINDHARD. Undersøgelser angaaende Hjertets Minutvolumen i Hvile og under Muskelarbejde. (Disputats 1914.)
 - 17) N. ZUNTZ und O. HAGEMANN. Landwirtschaftl. Jahrb. Bd. 27. Suppl. 3. 1898.
 - 18) AUG. KROGH. Skandinav. Arch. f. Physiol. Bd. 30. p. 375. 1913.
 - 19) BORNSTEIN. Pflügers Archiv. Bd. 132. p. 307. 1910.
 - 20) J. LINDHARD. Skandinav. Arch. f. Physiol. Bd. 30. p. 73 og 94. 1913.
 - 21) CHRISTEN LUNDSGAARD. Undersøgelser over Hjertets Minutvolumen hos Patienter med Hjertesygdomme. Disputats 1915.
 - 22) ADOLPH FICK. Sitzungsber. d. phys.-med. Gesellsch. z. Würzburg. 1870. p. 16 (cit. e. Nagels Handb.).
 - 23) GRÉHANT et QUINQUAUD. Comptes rendues d. l. Soc. de Biol. Ser. 8. Bd. 3. p. 159. 1886. (do.)
 - 24) CHR. BOHR, K. A. HASSELBALCH u. AUG. KROGH. Skandinav. Arch. f. Physiol. Bd. 16. p. 390. 1907.
 - 25) JOSEPH BARCROFT and COOKE. The Journ. of Physiol. Bd. 47. 1913 (Proceed of Physiol. Soc.)
 - 26) A. V. HILL. The Journ. of Physiol. Bd. 40. p. IV. 1910.
 - 27) JOSEPH BARCROFT and BURN. The Journ. of Physiol. Bd. 45. p. 493. 1913.
-

Forsøgstabellerne I—VII.

og II.

Kulsyre				Ilt					Anm.
efter 2den Expiration		optaget (+) eller afgivet (-)		efter 1ste Expiration	efter 2den Expiration		optaget (+) eller afgivet (-)		
		under Forsøg	pr. Sek.				under Forsøg	pr. Sek.	
%	mm	cm ³	cm ³	%	%	mm	cm ³	cm ³	
6,27	44,4	÷ 1,9	÷ 0,22	5,18	5,45	38,6	÷ 6,3	÷ 0,74	
6,32	44,7	÷ 15,5	÷ 1,54	7,75	6,90	48,9	+ 25,4	+ 2,52	
6,43	45,6	+ 0,3	+ 0,03	5,79	6,10	43,3	÷ 9,1	÷ 0,97	
6,31	44,8	÷ 5,8	÷ 0,52	5,94	5,76	40,9	+ 4,9	+ 0,44	
6,41	45,5	+ 3,4	+ 0,40	6,04	6,10	43,3	÷ 1,4	÷ 0,17	
6,02	42,4	÷ 5,6	÷ 0,72	5,16	5,54	39,0	÷ 10,6	÷ 1,36	
6,24	43,9	÷ 2,6	÷ 0,29	5,92	5,83	41,0	+ 2,6	+ 0,29	
6,55	46,1	+ 5,8	+ 0,49	5,70	5,83	41,0	÷ 3,6	÷ 0,31	
6,40	45,0	+ 3,9	+ 0,35	5,78	5,65	39,1	+ 3,9	+ 0,35	
6,49	45,7	+ 3,0	+ 0,27	5,48	5,47	38,5	+ 0,3	+ 0,03	
6,40	45,0	+ 0,3	+ 0,02	5,61	5,52	38,8	+ 2,3	+ 0,19	
6,29	44,2	÷ 3,9	÷ 0,24	5,72	5,56	39,2	+ 4,4	+ 0,28	
6,17	43,5	+ 4,4	+ 0,28	5,91	5,99	42,1	÷ 2,5	÷ 0,16	
6,33	45,1	÷ 9,6	÷ 0,70	5,78	5,75	41,0	+ 1,0	+ 0,07	
6,63	47,3	+ 4,4	+ 0,49	5,94	5,89	42,0	+ 1,3	+ 0,15	
6,95	49,3	÷ 0,3	÷ 0,03	7,38	6,65	47,2	+ 21,6	+ 2,09	
6,85	48,6	÷ 20,4	÷ 2,42	6,98	6,50	46,1	+ 17,0	+ 2,01	
6,37	46,1	+ 12,2	+ 1,48	4,60	5,56	40,2	÷ 27,5	÷ 3,32	
6,48	46,8	+ 4,3	+ 0,47	4,82	5,47	39,6	÷ 16,6	÷ 1,79	
6,52	47,9	+ 12,9	+ 1,09	6,60	6,35	45,8	+ 5,1	+ 0,43	
6,32	45,6	÷ 2,4	÷ 0,25	5,59	5,87	42,4	÷ 7,4	÷ 0,78	
6,53	47,2	÷ 2,2	÷ 0,28	6,33	6,40	46,2	÷ 1,2	÷ 0,15	
6,54	47,3	+ 9,2	+ 1,14	4,83	5,51	39,7	÷ 20,2	÷ 2,51	
6,43	46,4	÷ 5,2	÷ 0,62	6,11	6,21	44,9	÷ 2,7	÷ 0,32	
6,56	47,3	÷ 6,5	÷ 0,79	6,43	6,25	45,2	+ 4,8	+ 0,58	
6,14	43,9	÷ 6,4	÷ 0,76	4,70	5,59	39,9	÷ 22,3	÷ 2,64	
6,22	44,5	÷ 5,8	÷ 0,71	4,74	5,45	39,0	÷ 19,4	÷ 2,37	
6,07	43,2	÷ 12,1	÷ 1,23	5,89	5,94	42,2	÷ 1,7	÷ 0,17	
6,03	42,9	÷ 5,9	÷ 0,71	5,25	5,64	40,1	÷ 10,4	÷ 1,25	
6,65	46,8	÷ 4,2	÷ 0,45	5,95	6,08	42,8	÷ 3,2	÷ 0,34	
5,72	40,7	÷ 19,3	÷ 2,46	6,62	6,23	44,3	+ 10,1	+ 1,29	
6,96	49,5	+ 13,6	+ 1,61	6,40	6,28	44,7	+ 3,1	+ 0,38	
6,31	44,9	+ 7,5	+ 0,83	5,89	6,11	43,5	÷ 6,4	÷ 0,76	

Forsøgstab

	Forsøg Nr.	Dato	Barometer	Forsøgsvarighed	Lunger-nes Luft-indhold	K					
						etter 1ste Expiration	etter 2den Expiration	mm			
Tabel III											
Arbejdsfors. (paa Krogh's Cycle-ergometer) Forsøgsperson A (se Tabel II) Juni—September 1914	34	12/6	764,3	0,070	3,60	6,42	6,76	48,5			
	35	—	—	0,081	3,65	8,54	8,20	58,9			
	36	—	—	0,068	2,91	7,13	7,20	51,7			
	37	15/6	762,4	0,079	2,44	6,42	6,83	48,9			
	38	—	—	0,077	2,91	7,08	7,09	50,7			
	39	—	—	0,074	2,99	6,73	6,96	49,8			
	40	31/8	766,5	0,063	2,58	7,51	7,38	53,1			
	41	—	—	0,086	2,42	8,95	8,15	58,6			
	42	—	—	0,097	3,27	8,83	8,12	58,4			
	43	2/9	766,7	0,070	2,74	7,55	7,68	55,2			
	44	—	—	0,070	2,97	9,23	8,47	61,0			
	45	—	—	0,061	3,12	7,28	7,48	53,8			
	46	4/9	758,7	0,071	2,84	7,61	7,70	54,8			
	47	—	—	0,084	2,77	7,06	6,91	49,2			
Tabel IV											
Hvileforsøg (liggende) Forsøgsperson A (se Tabel II) Septbr.—Oktbr. 1914	48	16/9	758,7	0,118	2,94	7,74	7,21	51,3			
	49	—	—	0,161	2,93	6,87	6,85	48,8			
	50	25/9 Kl. 2 ³⁰	770,0	0,138	3,10	7,41	6,97	50,5			
	51	— - 3 ⁴⁰	—	0,169	2,75	11,19	7,30	52,8			
	52	28/9 - 2 ³⁰	735,5	0,173	3,05	6,52	6,56	45,2			
	53	— - 4 ⁰⁰	—	0,161	2,61	7,25	6,27	43,2			
	54	30/9 - 2 ⁵⁵	763,0	0,137	2,58	5,80	6,29	45,0			
	55	— - 3 ⁴⁰	—	0,132	2,92	6,40	6,59	47,2			
	56	9/10 - 3 ⁰⁰	766,0	0,155	2,71	5,62	6,27	45,1			
	57	— - 3 ⁴⁵	—	0,125	2,99	5,97	6,31	45,4			
Tabel V											
Hvileforsøg (siddende) Forsøgsperson L. ♂ 44 Aar Højde: 171 cm Vægt: 63 kg Iltkapacitet af Blod: 17,8 Volumenprocent Residualluft: 1,22 l Oktober 1914	58	10/10	768,5	0,115	3,81	6,06	6,36	46,0			
	59	—	—	0,159	4,51	6,41	6,44	46,5			
	60	12/10 Kl. 3 ²⁰	760,5	0,105	3,53	5,45	6,00	42,8			
	64	17/10 - 2 ⁵⁰	765,0	0,146	3,63	5,70	6,12	44,0			
	Forsøg Nr.	Dato	Barometer	Forsøgsvarighed		Lungernes Luftindh.		Ku			
1ste Per.				2den Per.	1ste Per.	2den Per.	etter 1ste Exsp.	etter 2den Exsp.	etter 3die Exspirat.	mm	
			mm	Min.	Min.	l	l	%	%	%	mm
	61	12/10 Kl. 2 ³⁵	760,5	0,085	0,077	3,42	1,73	6,31	6,54	6,25	44,
	62	14/10 - 2 ²⁰	764,5	0,079	0,076	4,00	1,94	7,29	6,44	6,33	45,
	63	— - 3 ⁰⁰	—	0,079	0,085	4,00	2,24	5,64	6,01	6,12	43,

II, IV og V.

Ilt		Arbej- dets Størrelse		Anm.				
optaget (+) eller afgivet (-)		pr. Minut						
under Forsøg	pr. Sek.	under Forsøg	pr. Sek.					
cm ³	cm ³	%	%	mm	cm ³	cm ³	kg-m	
÷ 11,5	÷ 2,74	3,98	4,28	30,7	÷ 10,2	÷ 2,43	222	
+ 11,7	+ 2,41	4,30	4,50	32,3	÷ 6,9	÷ 1,42	228	
÷ 1,9	÷ 0,47	4,56	4,50	32,3	+ 1,6	+ 0,39	220	
÷ 9,4	÷ 1,98	5,49	4,76	34,1	+ 16,8	+ 3,55	186	
÷ 0,3	÷ 0,06	4,92	5,11	36,6	÷ 5,2	÷ 1,12	205	
÷ 6,5	÷ 1,46	5,52	5,45	39,0	+ 1,9	+ 0,43	197	
+ 3,2	+ 0,85	4,91	5,08	36,5	÷ 4,2	÷ 1,11	201	
+ 18,4	+ 3,57	4,54	4,79	34,4	÷ 5,7	÷ 1,10	185	
+ 22,0	+ 3,77	4,48	4,82	34,6	÷ 10,5	÷ 1,81	188	
÷ 3,4	÷ 0,85	5,31	5,07	36,4	+ 6,3	+ 1,50	212	} 10 Min. Arbejde for Forsøget
+ 21,4	+ 5,09	4,69	5,08	36,6	÷ 11,0	÷ 2,62	215	
÷ 5,9	÷ 1,61	5,30	5,31	38,2	÷ 0,3	÷ 0,08	251	
÷ 2,4	÷ 0,56	5,62	4,67	33,2	+ 25,0	+ 5,88	225	
+ 3,9	+ 0,77	4,88	5,32	37,8	÷ 11,4	÷ 2,26	222	
+ 14,6	+ 2,06	5,88	6,30	44,8	÷ 11,1	÷ 1,57		
+ 0,6	+ 0,06	6,27	6,00	42,8	+ 7,1	+ 0,73		
+ 13,2	+ 1,59	6,50	6,05	43,7	+ 13,3	+ 1,61	Puls: 60	
+ 101,7	+ 10,0	6,02	6,09	44,0	÷ 1,8	÷ 0,18	— 54	
÷ 1,1	÷ 0,11	6,11	6,17	42,5	÷ 1,6	÷ 0,15	— 66	
+ 23,2	+ 2,40	6,78	6,77	46,6	+ 0,3	+ 0,03		
÷ 11,9	÷ 1,44	6,59	6,11	43,8	+ 11,7	+ 1,42	— 59	
÷ 5,2	÷ 0,66	6,55	6,30	45,1	+ 6,9	+ 0,87	— 56	
÷ 9,0	÷ 0,97	6,40	6,22	44,8	+ 4,6	+ 0,49	— 65	
÷ 9,9	÷ 1,32	6,91	6,71	48,3	+ 5,7	+ 0,76	— 65	
÷ 10,8	÷ 1,56	5,68	5,02	36,2	+ 24,0	+ 3,47	Puls: 65	
÷ 1,3	÷ 0,14	5,12	4,97	35,9	+ 6,5	+ 0,68	— 66	
÷ 18,2	÷ 2,89	5,00	4,75	33,9	+ 7,3	+ 1,16	— 66	
÷ 14,4	÷ 1,64	5,40	4,99	35,8	+ 13,9	+ 1,58	— 69	

Ilt		Puls										
optaget (+) eller afgivet (-)		pr. Minut										
under Forsøg	pr. Sekund	under Forsøg	pr. Sekund									
1ste Per.	2den Per.	1ste Per.	2den Per.									
cm ³	cm ³	%	%	mm	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³				
÷ 7,4	+ 4,7	÷ 1,55	+ 1,01	4,63	4,75	5,00	35,7	÷ 4,1	÷ 8,5	÷ 0,80	÷ 1,84	} Kredslobsforsøg samme Dag
+ 28,4	+ 1,6	+ 5,98	+ 0,37	6,22	5,14	5,12	36,7	+ 44,0	+ 0,3	+ 9,37	+ 0,07	
÷ 17,8	÷ 2,4	÷ 3,75	÷ 0,47	4,72	4,73	4,69	33,6	÷ 0,2	+ 1,0	÷ 0,04	+ 0,20	

Forsøgstabe

	Forsøg Nr.	Dato	Baro- meter	Forsøgs- varighed
			mm	Minut
Tabel VI	1	18/11 Kl. 2 ⁴⁵	771	0,126
Kredsløbsforsøg efter Krogh og Lind- hards Metode	2	— - 3 ⁰⁰	—	0,158
	3	— - 3 ²⁰	—	0,140
Hvileforsøg (liggende)	4	— - 3 ³⁵	—	0,166
Forsøgsperson A (se Tabel II)	5	25/11 - 2 ⁰⁰	756	0,179
November 1914.	6	— - 2 ¹⁵	—	0,133
	7	— - 2 ³²	—	0,155
	8	— - 2 ⁵⁰	—	0,158
Tabel VII	9	14/10 Kl. 2 ⁴⁰	764,5	0,139
Kredsløbsforsøg efter Krogh og Lind- hards Metode	10	— - 3 ¹⁵	—	0,142
Hvileforsøg (siddende)	11	17/10 - 2 ²⁵	765,0	0,133
Forsøgsperson L (se Tabel V) Oktober 1914.	12	— - 3 ¹⁵	—	0,159

VI og VII.

Lungernes Luftindhold	Iltoptagelse under Forsøget	Hjærtets Minut- volumen		Udnyttelse af Blodets Ilt	Puls- frekvens pr. Minut	Hjærtets Slag- volumen
		direkte maalt	reduceret til normal Iltoptagelse			
1	cm ³	l	l	%		cm ³
2,84	519	14,00	7,6	19,2	68	112
2,97	494	11,03	6,2	23,2	62	100
4,01	560	13,57	6,8	21,2	63	108
2,32	431	12,06	7,9	18,6	55	143
3,07	550	15,67	8,0	18,3	71	113
2,90	535	8,19	4,3	33,8	71	61
3,76	529	12,51	6,6	21,9	68	97
3,26	472	15,00	8,9	16,3	68	131
3,97	846	13,32	3,94	37,0	66	60
3,11	520	8,52	4,18	34,0	63	66
3,64	710	10,90	3,84	36,5	71	54
3,19	543	7,83	3,80	38,7	70	51