



Omtrent den ballistometer

<https://hdl.handle.net/1874/319862>

h. que. 192, 1934.

OMTRENT
DEN BALLISTOMETER

G. J. M. WIEGERSMA

BIBLIOTHEEK DER
RIJKSUNIVERSITEIT
UTRECHT.

s.
ht

OMTRENT DEN BALLISTOMETER

Diss. Utrecht 1934

OMTRENT DEN BALLISTOMETER

PROEFSCHRIFT

TER VERKRIJGING VAN DEN GRAAD VAN
DOCTOR IN DE GENEESKUNDE AAN DE
RIJKSUNIVERSITEIT TE UTRECHT, OP
GEZAG VAN DEN RECTOR MAGNIFICUS
DR C. W. STAR BUSMANN, HOOGLEERAAR
IN DE FACULTEIT DER RECHTSGELEERD-
HEID, VOLGENS BESLUIT VAN DEN
SENAAT DER UNIVERSITEIT TEGEN DE
BEDENKINGEN VAN DE FACULTEIT DER
GENEESKUNDE TE VERDEDIGEN OP

DINSDAG 20 MAART 1934

DES NAMIDDAGS TE VIJF UUR DOOR
GERARDUS JOZEFUS MARIA WIEGERSMA

ARTS

GEBOREN TE LITH



H. VEENMAN & ZONEN — WAGENINGEN — 1934

BIBLIOTHEEK DER
RIJKSUNIVERSITEIT
UTRECHT.

Bij het verschijnen van dit proefschrift is het mij een aangename plicht U, Hooggeleerden, Oud-Hooggeleerden en Docenten der Geneeskundige en Philosophische Faculteiten der Utrechtsche Universiteit, te danken voor het onderwijs dat ik van U mocht ontvangen.

Uit den aard der zaak geldt nu echter op de eerste plaats dank aan U, Hooggeleerde Weve, Hooggeachte Promotor. Als een groot voorrecht beschouw ik het mijn oogheekundige vorming onder Uwe leiding te hebben mogen voltooien, zonder Uw hulp ware mij dit zeer moeilijk gevallen.

Ik heb gemeend goed te doen met niet veel woorden te gebruiken waar weinige voldoende zijn en kan slechts hopen een weinig te hebben bijgedragen tot de theoretische en practische kennis van den ballistometer, die Uw naam draagt.

Wat dit proefschrift betreft: U heeft mij een groote vrijheid gelaten, die ik zeer op prijs stelde. U waart het echter, die bij mij de belangstelling voor dit onderwerp wekte en tevens gaande hield. U waart het ook voor wien geen moeite te veel was om de bewerking zoo nauwkeurig mogelijk te controleeren en van Uw zeer op prijs gestelde aantekeningen te voorzien.

Hooggeleerde Noyons, de tijd, gedurende welken ik het voorrecht had bij U in Uw prachtig laboratorium te Leuven als assistent te verblijven, vormt voor mij nog steeds een van de meest aangename herinneringen uit mijn assistententijd. Gij waart het die mij steeds tot zelfstandigen arbeid aanzette. U ben

ik veel verschuldigd. Voor de altoos gastvrije ontvangst ten Uwen huize, ook U, Mevrouw Noyons, nog wel mijn groote erkentelijkheid.

Hooggeleerde Rochat, mijn jaren in Groningen gesleten waren voor mij van zeer groot nut. Uw onderwijs was helder als kristal, Uw leiding vast en sterk; ook U mijn dank.

De buitengewoon prettige wijze, waarop U, Hooggeleerde Fokker, mij behulpzaam waart bij het aanbrengen van eenige correcties, stemt mij nog steeds tot dankbaarheid.

U, Zeergeleerde Utermöhlen, die zichzelf vroeger zoo zeer tot de oogkunde aangetrokken gevoelde, U een bijzonder woord van dank voor de door mij en met mij door talloos velen zoo buitengewoon op prijs gestelde bemiddeling wat betreft de scheepsarts-Indië-reizen; reizen van groot nut, reizen zoo aangenaam. Uw grootste genoegen was het ons jongere collegae in deze behulpzaam te zijn.

Geleerde Janssen, van de jaren gedurende welke ik als assistent in eenige sanatoria werkzaam was, is het jaar onder Uwe bekwame leiding doorgebracht voor mij onvergetelijk.

U, Zeergeleerde Van Heuven en U, Oud-assistenten der Inrichtingen voor Ooglijders te Groningen en te Utrecht, dank ik voor Uw vriendschappelijken omgang.

U, Van Berkel, mijn dank voor Uw hulp door het vervaardigen der verschillende toestellen.

INHOUD

| | Blz. |
|---|------|
| INLEIDING | 9 |
| HOOFDSTUK I. Literatuuroverzicht | 11 |
| HOOFDSTUK II. Inleiding in de botsingstheorie | 17 |
| HOOFDSTUK III. Korte beschrijving van den ballistometer van Weve | 24 |
| HOOFDSTUK IV. Experimenteel onderzoek der factoren, die de ballistische reactie van het phantoomoog beïnvloeden | 30 |
| HOOFDSTUK V. Botsingsquotient | 38 |
| HOOFDSTUK VI. Verdere proeven | 52 |
| HOOFDSTUK VII. Ballistometerbouw | 67 |
| CONCLUSIES | 70 |
| SAMENVATTING | 72 |
| ZUSAMMENFASSUNG | 74 |
| SUMMARY | 76 |
| RÉSUMÉ | 78 |
| LITERATUUR | 80 |

INLEIDING

Het ballistrometrisch onderzoek van het oog is van vrij recenten datum.

Noyons was de eerste die dit uitvoerde; na hem volgen andere onderzoekers, waarvan sommigen de elasticiteit van den wand als voorwerp van hun belangstelling kozen (Vogelsang), weer anderen den oogdruk (Weve, Obbink).

Het doel van dit onderzoek was op de eerste plaats den theoretischen ondergrond van den ballistometer nader uit te werken, op de tweede plaats de oorzaken na te gaan die de ballistische reactie bepalen, op de derde plaats aan te toonen, dat het mogelijk is den ballistometer als corrector te gebruiken voor de door middel van den tonometer gevonden waarden, voor zoover deze tengevolge van den invloed van den wand correctie behoeven.

HOOFDSTUK I

LITERATUUROVERZICHT

Op de elastische eigenschappen van het dierlijk weefsel en de veranderingen, die deze onder bepaalde omstandigheden kunnen ondergaan, werd vrij laat de aandacht gevestigd.

De elastische eigenschappen van het oog als geheel, en van omhulsel en inhoud afzonderlijk, en de factoren, die deze elastische eigenschappen bepalen, werden nog later aan een systematisch onderzoek onderworpen.

Ik zal hier alleen in zoo verre een overzicht der literatuur geven als dit op onze methode van onderzoek betrekking heeft.

Zij, die omtrent oogelasticiteit nader willen weten, vinden de geheele literatuur volledig bijeengebracht door Vogelsang.

Ook heeft het geen zin wederom een overzicht uit de literatuur te geven omtrent den oogdruk en zijn meting, alhoewel dit nauw verband houdt met ons onderzoek.

Het zij voldoende te verwijzen naar Lloyd, die een goed verzorgd, hoewel niet volledig, verslag hieromtrent geeft.

Het eerste weefsel, dat ter bepaling zijner elasticiteit ballistisch werd onderzocht, was het spierweefsel, waarvan de grove, met eenvoudige hulpmiddelen aantoonbare toestandsveranderingen, die o.a. bij contractie van de spier optraden, wel algemeen bekend waren, maar de fijnere, zooals weerstandtoeneming, eerst in lateren tijd voorwerp van onderzoek werden.

Als wij de wijze nagaan waarop zich dit onderzoek ontwikkelde, dan volgen wij den weg, die ons voert tot de ballistometrie van het oog.

De oudere spierfysiologie, waaraan namen als die van Fick, Engelmann en Hermann verbonden zijn, zullen wij hier niet meroreeren, maar slechts de onderzoekingen der laatste decennien nagaan.

Als een spier zich contraheert wordt deze harder, waar wij onder „hard” iets anders verstaan dan in de physica gemeenlijk geschiedt.

Indien we over physisch onderzoek van de hardheid van een lichaam spreken, bedoelen we daarmede gewoonlijk een zoodanig onderzoek, dat het lichaam daardoor een blijvende vormverandering ondergaat (glas-diamant), terwijl bij een spier de vormverandering voorbijgaand is. Wij hebben hier te doen met een elastische tegenkracht en wel een elastische tegenkracht tegen druk, zooals er ook een elastische tegenkracht bestaat tegen buigen, trekken en tordeeren. Wij zouden dan ook om misverstand te voorkomen, beter kunnen zeggen „resistentie” een woord voorgesteld door Gildemeister.

Tot onderzoek van deze spierresistentie moeten wij twee principieel verschillende methoden onderscheiden en wel de statische en de dynamische. Bij de eerste methode wordt op de oppervlakte van de spier een druk uitgeoefend door een gewicht of een veer en de diepte van den indruk gemeten.

Bij de ballistische methode wordt of wel de botsingstijd van een tegen de spier aanslaande hamer gemeten, of wel het aantal slingeringen, of wel de eerste terugspringhoogte van den terugbotsenden hamer.

De ballistische resistentie-onderzoek-methode stamt in principe van den Franschen mineraloog Thoulet .

Deze spierelasticiteit nu, deze resistentie die toeneemt bij contractie, werd het eerst onderzocht door Noyons en ongeveer tegelijk met hem door Uexküll. Later werd door hen gezamenlijk hierover gepubliceerd.

Eerst gebruikte Noyons voor deze onderzoekingen den ballistischen sclerometer, een kleinen hamer, die in rust loodrecht naar beneden hangt en de te onderzoeken spier bijna raakt.

De hamer wordt tot bepaalde hoogte opgetild en weer losgelaten, botst nu tegen de spier en springt terug, botst weer enz. met telkens lageren opslag, totdat er rust is ingetreden.

Hoe resistenter de spier des te geringer de demping der slingeren, die dus des te talrijker worden uitgevoerd. Deze bewegingen worden fotografisch geregistreerd tot de hamer tot rust is gekomen. Toen ook reeds gaf Noyons een curve verkregen op een varkensoog.

Daarna ging Noyons tot een andere methode over, nl. die van den gewichtssclerometer, een statische, die te vergelijken is met de resistentiemeting door middel van palpatie. Hij benutte een kegel (metaal-eboniet), die op de spier werd geplaatst en langzaam door eigen gewicht daarin inzinkt. Tijd en diepte van indringen werden geregistreerd.

Bij deze methode werd verre van alleen de resistentie gemeten, maar hoofdzakelijk de elastische nawerking.

Schade gebruikte hetzelfde toestel voor elasticiteitsmeting.

De fout, die de elastische nawerking geeft, kleeft alle statische methoden aan.

Wertheim Salomonson gebruikte tot bepalen der spier-

resistentie óók een zgn. statische methode, nl. de veersclerometer.

Een pelotte werd in de spier gedrukt en de druk, evenals de diepte van indruk, gemeten.

Exner en Tandler deden ongeveer gelijke proeven.

Dan is het vooral Gildemeister, die den ballistometer aan een nader onderzoek onderwerpt en tot de conclusie komt, dat de ballistometer de, bij snelle deformatie van het lichaam in warmte omgezette, energie meet.

Deze zou wel is waar toenemen als de deformatie grooter wordt, d.i. als bij gelijken hamer en gelijke valhoogte de resistentie geringer wordt.

Het zou echter ontoelaatbaar zijn omgekeerd uit de verloren gegane energie, die uitsluitend van de inwendige wrijving afhankelijk is, de resistentie grootte te bepalen.

Of de inwendige wrijving bij het dierlijk organisme, zelfs bij hetzelfde orgaan onder verschillende omstandigheden, steeds van dezelfde grootte blijft, daarover is niets bekend.

Bij de elastische botsing treedt steeds vormverandering op; gaat deze geheel terug, dan gaat er geen energie verloren; gaat deze niet geheel terug, dan gaat energie verloren en springt dus de hamer minder hoog op.

In 1922 komt Gildemeister op zijn vroeger onderzoek terug. Gildemeister en Hoffmann wijzen hier nog eens op het verschil tusschen hardheid in physischen zin en indringings-elasticiteit (resistentie-tasthardheid). De auteurs voeren nieuwe metingen uit aan huid en onderhuidsche bindweefsel.

De elastische weerstand kan bij doode stoffen uit den druk en de diepte van den door het drukkend voorwerp op het

te onderzoeken lichaam teweeggebrachten indruk, gemeten worden.

Wegens de fouten, die door de elastische nawerking ontstaan, gingen bovengenoemde auteurs tot de ballistische methode over.

Zij bepaalden door middel van den tijdsfactor de elasticiteit. Hoe harder het weefsel, hoe korter de botsingstijd.

Na Gildemeister zijn het Bethe, Steinhausen en Richter, die de ballistische elastometrie gebruikten tot het nagaan der spierresistentie.

Dan komt Vogelsang, die eerst volgens een eigen methode en dan samen met Steinhausen en Richter de ballistische methode op het dierlijk oog toepaste en later als eerste op het menschelijk oog.

Hij gebruikte den elastometer volgens Richter, die uit hamer en overdrachthamertje (30,5 g) bestond. De zeer lichte hamer botste tegen het overdrachthamertje, dat op zijn beurt — twee millimeter buiten den limbus — op het oog rustte. Het hamertje moest uiterst licht zijn, daar de botsingstijd zóó kort moest wezen, dat zijn terugslag vóór den uitslag van den te registreeren uitslag van het overdrachthamertje viel.

Hij deed proeven op varkensoogen bij stijgenden druk en eveneens bij constanten druk met impregnatie der oogkapsels met jodium, loog, zuur, enz. en kon uit de krommen een elasticiteitsverandering van den wand opmaken.

Tegelijk met Vogelsang en onafhankelijk van hem is het Obbink die onder leiding van Weve en met een door dezen ontworpen ballistometer, de ballistometrie nader onderzocht en zijn bevindingen in zijn proefschrift neerlegde. Hij werkte met

den eenvoudigen hamerballistometer en fotografische registratie.

De bedoeling van zijn onderzoek was na te gaan of tonometrie van het oog langs ballistischen weg in principe mogelijk was en hij komt tot de conclusie, dat deze methode slechts bruikbaar is in het gebied, waarin het energieverlies van het hamertje nagenoeg afhankelijk is van de verplaatste hoeveelheid vloeistof. In dit gebied zou de uitslag van het hamertje afhankelijk zijn van den oogdruk.

Tegelijk met Obbink was het Müller die zich met de ballistometrie bezig hield.

Hij trachtte langs fotografischen weg den indruk te meten, die de hamer in het oog maakte.

Ten slotte is het Weve, die een in principe geheel nieuwen ballistometer in de ballistometrie invoert. Zijn ballistometer zullen we straks meer uitvoerig bespreken, omdat de later volgende proeven alle hiermede werden verricht.

HOOFDSTUK II

INLEIDING IN DE BOTSINGSTHEORIE

Wij kunnen de ballistometrie indeelen in de ballisto-elasto- en ballisto-tonometrie.

De ballisto-tonometrie is eigenlijk een onderdeel der ballisto-elastometrie.

De ballisto-elastometrie berust op het meten van de terugslaghoogte van den ballistometer, om uit deze terugslaghoogte conclusies te trekken betreffende de elasticiteit van het te onderzoeken voorwerp.

Wij laten een hamertje tegen het oog botsen en meten de hoogte van terugkaatsen. Het ligt nu voor de hand, dat dit botsen niet zoo maar willekeurig kan geschieden om bruikbare en constante waarden uit de terugspringhoogte te kunnen afleiden.

Om eenig idee omtrent de wijze van botsen te krijgen voor zoover dit voor ons doel van belang is, zullen wij hierop iets nader ingaan.

Wij spreken van „botsing” zoo een lichaam in beweging op zijn baan met een ander lichaam in aanraking komt, tengevolge waarvan elk de bewegingstoestand van het andere in meerdere of mindere mate verandert.

Botsende voorwerpen kunnen elkaars bewegingstoestand op verschillende wijze beïnvloeden en wel:

- 1° afhankelijk van den aard der botsende lichamen;
- 2° afhankelijk van de wijze van botsing;
- 3° afhankelijk van de bewegingsrichting der botsende lichamen.

Sub 1: Op de eerste plaats treedt bij de botsing een vormverandering der botsende lichamen op, die voorbijgaand is bij een veerkrachtige¹⁾, blijvend bij een niet veerkrachtige stof.

Dienovereenkomstig onderscheidt men de beide grensgevallen van de botsing als die van volkomen veerkrachtige en volkomen onveerkrachtige lichamen, of in het kort: *de veerkrachtige* en *onveerkrachtige* botsingen.

Tusschen deze twee staat de *onvolkomen veerkrachtige botsing*. Dit wat betreft den aard der botsende lichamen.

Sub 2: Met betrekking tot de wijze van botsen houden wij rekening met de plaats van het punt, waarin een lichaam het eerst met een ander botst en onderscheiden respectievelijk een *centrale* en *niet-centrale (excentrische)* botsing.

Denken wij ons op de oppervlakte van het lichaam in het punt, waarin de botsing plaats vindt, een normaal, dan is de botsing centraal als deze door het zwaartepunt van het lichaam gaat; de botsing is niet centraal (excentrisch) als dit niet het geval is.

¹⁾ Onder veerkracht — elasticiteit — verstaan wij het vermogen tot terugkeer uit de vormverandering bij opheffing der deze vormverandering teweegbrengende belasting (ruimte en vorm naast ruimte-elasticiteit).

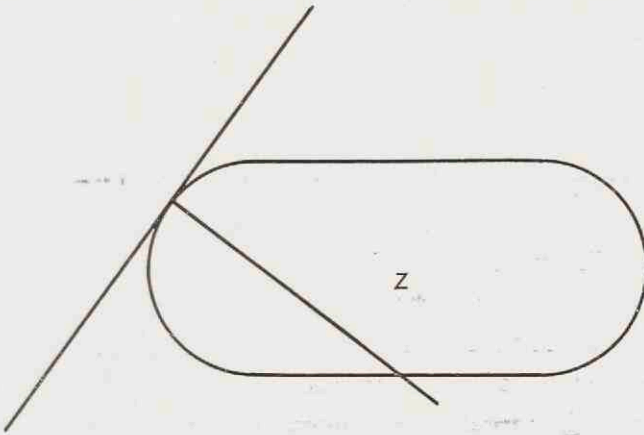


Fig. 1. Voorbeeld van een niet-centrale botsing

Als dus een homogene bol met een ander lichaam botst, dan ondergaat hij steeds een centrale botsing, daar alle normalen van het boloppervlak door zijn middelpunt respectievelijk zwaartepunt gaan.

Sub 3: Met betrekking tot de bewegingsrichting onderscheidt men de *rechte* en *scheeve* botsing.

Bij de rechte botsing valt de bewegingsrichting met de normaal van het contactpunt samen; bij de scheeve botsing is dit niet het geval.

De botsing van twee bollen zal dus een rechte zijn als zij zich in de verbindingslijn der middelpunten bewegen (is echter bij homogene bollen steeds centraal).

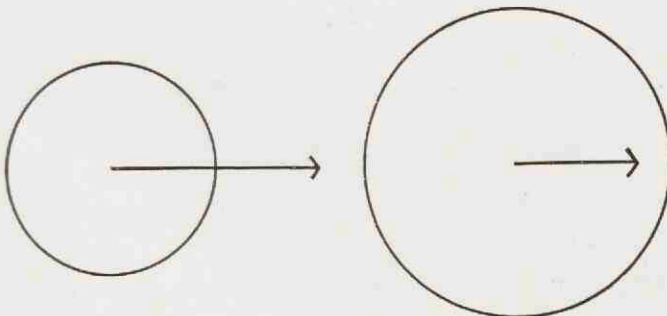


Fig. 2. Voorbeeld van een rechte centrale botsing

Het meest eenvoudige geval van botsing is wel de rechte centrale botsing, die dus kan zijn: veerkrachtig, niet-veerkrachtig en onvolkomen veerkrachtig.

Hierbij, evenals bij de scheeve centrale botsing, zullen wij een oogenblik stilstaan, omdat deze gevallen zich later bij onze proeven zullen of kunnen voordoen.

De overige mogelijkheden, als voor ons van geen belang, laten wij buiten beschouwing.

Wij zullen eerst dus de drie vormen nagaan van een rechte centrale botsing.

A. Niet-veerkrachtige rechte centrale botsing

Dit is dus het eene grensgeval.

Als twee niet-elastische lichamen A en B met verschillende snelheden met elkaar in rechte centrale botsing komen, vindt eerst een wederkeerig samendrukken plaats, een vormverandering, die eindigt, wanneer de snelheden van beide lichamen even groot geworden zijn.

Deze gemeenschappelijke eindsnelheid is — zoo m' en m'' de massa's zijn van A en B, c' en c'' ($c' > c''$) hun snelheden en c^0 de gemeenschappelijke eindsnelheid — te berekenen.

$$c^0 = \frac{m' c' + m'' c''}{m' + m''} \quad (1)$$

Staat nu een lichaam stil, is dus b.v. $c'' = 0$, dan krijgen wij

$$c^0 = \frac{m' c'}{m' + m''} \quad (1a)$$

Heeft het andere lichaam bovendien een massa = zeer klein: $m' = 0$, dan krijgen wij $c^0 = 0$. (1b)

In woorden: het botsende lichaam springt niet terug.

B. *Volkomen veerkrachtige rechte centrale botsing*

Dit is het andere grensgeval.

Wij vonden voor de gemeenschappelijke eindsnelheid bij een rechte centrale botsing van twee botsende lichamen:

$$c^0 = \frac{m' c' + m'' c''}{m' + m''} \quad (1)$$

Is tot dit moment de elasticiteitsgrens van beide lichamen niet overschreden, dus is er geen blijvende vormverandering opgetreden, dan trachten beide elastische lichamen de oorspronkelijke gedaante te herwinnen, waardoor zij in hun contactpunt tegen elkander drukkend weer een botsing ondergaan. In deze tweede helft der botsing werken tijdelijk symmetrisch dezelfde krachten als in de eerste. Ieder lichaam krijgt in de tweede helft der botsing nog eenmaal dezelfde snelheidsverandering, die het in de eerste helft ondervond.

A ondervond een snelheidsvermindering van $c' - c^0$.

B een toeneming van $c^0 - c''$.

Neemt men de snelheden na de botsing v' , v'' , dan hebben wij

$$c' - c^0 = c^0 - v' \quad \text{en} \quad c^0 - c'' = v'' - c^0;$$

waaruit volgt: $v' = 2 c^0 - c'$

$$v'' = 2 c^0 - c''$$

Volgens vergelijking (1) is $c^0 = \frac{m' c' + m'' c''}{m' + m''}$.

Nu is daar $v' = 2 c^0 - c'$

$$v' = \frac{(m' - m'') c' + 2 m'' c''}{m' + m''} \quad (2)$$

Staat nu een lichaam stil, dus is b.v. $c'' = 0$, dan krijgen wij

$$v' = \frac{(m' - m'') c'}{m' + m''} \quad (2a)$$

Heeft het andere lichaam bovendien een massa = zeer klein, dus $m' = 0$ dan krijgen wij $v' = -c'$ (2b) dus in woorden: het botsende lichaam keert even snel terug.

C. *De rechte centrale, onvolkomen veerkrachtige botsing*

De onvolkomenheid der veerkracht uit zich hierin, dat de tweede botsingsperiode niet meer identiek is met de eerste.

Bij het uitzetten komen er dus niet meer veranderingen $c^0 - v'$ en $v'' - c^0$, maar kleinere, die men kan voorstellen door $e(c^0 - c')$ en $e(c'' - c^0)$ als $e = < 1$. Dus zijn de snelheden na de botsing:

$$\begin{aligned} v' &= c^0 + e(c^0 - c') \\ \text{en } v'' &= c^0 - e(c'' - c^0); \\ \text{of } v' &= (e+1)c^0 - e c' \\ v'' &= (e+1)c^0 - e c''. \end{aligned}$$

e heet restitutiecoëfficiënt of botsingsgetal.

c^0 is op het moment van den botsingsomkeer 0, dus dan hebben wij $v' = -e c'$

$$v'' = -e c'' \quad (3)$$

e ligt tusschen 0 en 1.

Bij volkomen onveerkrachtige botsing is $e = 0$ of $v' = 0$.

Bij volkomen veerkrachtige botsing is $e = 1$ of $v' = -c'$.

D. *Ten slotte volgt de scheeve centrale botsing*

Nemen wij hier als voorbeeld de botsing van een bol tegen een wand.

Bol M botst in de richting d-a tegen een wand W; Ma stelt de snelheid voor.

Splitst men nu Ma in componenten Mb loodrecht op, en

Mc evenwijdig aan W, zoo ziet men dat de eerste component afplatting van den bol, de tweede een door wrijving beïnvloede voortbeweging in de richting Mc bewerkt. Mb = v' en Mc = v''. v'' is onveranderd en v' is omgezet in een snelheid van gelijke grootte doch in tegenovergestelde richting, zoo de bol volkomen elastisch is; dus zal de hoek van terugkaatsing gelijk zijn aan den hoek van botsing. Zoo deze niet elastisch is, dan zal er geen terugkaatsing plaats vinden. Zoo deze onvolkomen elastisch is, dan is de terugkaatsingshoek daarmede evenredig.

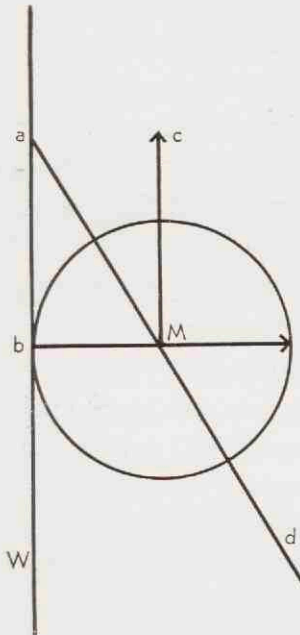


Fig. 3. Scheeve centrale botsing

HOOFDSTUK III

KORTE BESCHRIJVING VAN DEN BALLISTOMETER VAN WEVE

De ballistometer van Weve verschilt principieel van de tot dusverre in de ballistometrie gebruikte ballistometers en wel in tweeërlei opzicht.

1° wordt de hamer door een contragewicht in evenwicht of ten naastebij in evenwicht gehouden;

2° als gevolg hiervan moet een aparte voortbewegingsmechaniek bestaan, geheel los van het hamersysteem.

Uit bijgaande schematische figuur is het constructiebeginsel duidelijk.

De hamer, die met hard metalen puntjes in centertjes is opgehangen, heeft aan het eene einde een contragewicht, aan het andere een dwarssteel met als eene uiteinde hiervan het botsende punt en als andere uiteinde een gaffeltje, dat als draagvlak voor het overgewichtje — een gewoon metalen cilindertje — dienst doet.

Het contra-gewicht, dat den vorm van een sector uit een schijf heeft, is voorzien van een arrêt, die den hamer in horizontalen stand fixeert en dezen door middel van een metaal-draadontspanner vrijmaakt.

De voortbewegingsmechaniek, die oorspronkelijk uit een los kogeltje bestond, dat in bepaalden stand van den hamer rolde,

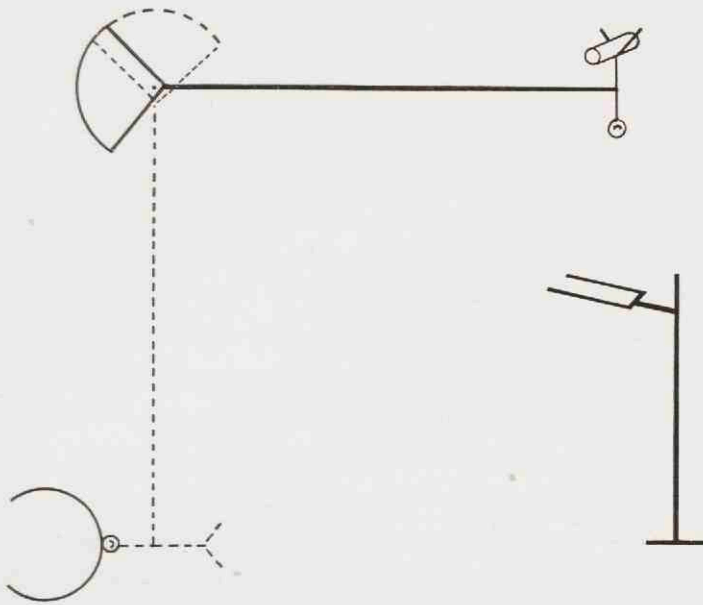


Fig. 4. Constructiebeginsel van den ballistometer volgens Weve

werd later op mijn voorstel vervangen door een mechanisch meer zuiver werkende inrichting, nl. staafgewichtje + aftilvorkje, iets dergelijks dus als o.a. wordt toegepast bij de valmachine van Atwood.

Wordt de hamer nu losgelaten door den ontspanner in te drukken, dan zet hij zich in beweging, wordt door het vorkje van zijn overgewicht ontdaan en slaat nu, met bepaalde energie beladen, door tot de botsing optreedt, de energie verloren gaat en gedeeltelijk wordt teruggegeven en een bepaalde opspringhoogte wordt bereikt, afhankelijk van de restende energie en den weerstand van den hamer.

Dit alles is het essentiele van het toestel, dat later door vele

bijkomstige veranderingen meer geschikt gemaakt werd tot praktisch gebruik voor oogen van patiënten.

Ter plaatse zullen wij — voor zoover noodig — deze aanvullende constructiedetails memoreeren.

Het toestel moet waterpas in twee loodrecht op elkaar staande richtingen worden opgesteld.

Wij zien nu terstond, dat er twee gebruiksmogelijkheden van dezen ballistometer bestaan:

- 1° met den volkomen uitgebalanceerden hamer;
- 2° met den niet-uitgebalanceerden hamer.

Bij den uitgebalanceerden hamer is het voor meting bruikbare gebied veel grooter en de benoodigde voortbewegingsenergie gering.

Bij den niet-uitgebalanceerden hamer is het voor meting bruikbare gebied maximaal 180° en is de benoodigde voortbewegingsenergie naar evenredigheid grooter.

Bij geen van de twee ballistometers bestaat er rechte evenredigheid tusschen uitslag en energieverlies.

De wijze van botsen is voor beide dezelfde, is er nl. maar één goede richting, waarin de hamer het te onderzoeken oog kan treffen.

Wij zullen dit aan de hand van eenige teekeningen duidelijk maken. Fig. 5, I en II stellen de doorsnede van het oog voor.

Wij hebben dus vele botsingsmogelijkheden.

M is het middelpunt van de hoornvlieskromming, Z is het zwaartepunt van het oog.

Zooals wij terstond zien geven in I B en C een rechte botsing, die ook centraal is. B treft de cornea, C de sclera.

De mogelijkheid van eventueele cornea-sclerale differentiaal

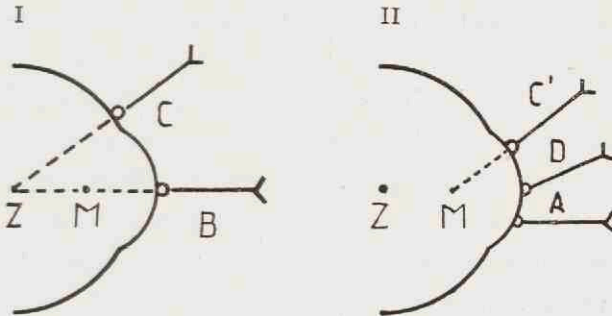


Fig. 5 (zie tekst)

ballistometrie is hierdoor gegeven.

In het eerste geval fixeert de patiënt de richting van den hamer op het moment der botsing (tangens); in het tweede geval wordt onder bepaalden eenvoudig te berekenen hoek van deze richting naar terzijde of beneden afgeweken.

Alleen B is recht en tevens centraal wat betreft de cornea-ballistometrie; immers M en Z liggen beide in de botsingsrichting, die tevens fixatierichting is (in het toestel van Weve is voor gemakkelijke fixatie een aparte inrichting aanwezig).

De hamer, die zich alleen in een bepaald vlak, zijn slinger-vlak, kan bewegen, kan hiervan niet in het geringste afwijken zonder dat er wringingsverschijnselen optreden.

De bij de rechte botsing opgewekte tegenkracht is tegenovergesteld radiaal gericht, de botsingskracht radiaal, de hamer kan dus denzelfden weg terug als hij gekomen is zonder eenig verlies aan energie door wringing.

Is een botsing echter niet recht doch scheef, dan is de opgewekte tegenkracht niet gelijk gericht in tegenovergestelde richting.

Naar gelang nu de energie geheel of gedeeltelijk wordt terug-

gegeven, zal het botsende lichaam in meer of minder gelijken doch tegenovergestelden hoek worden teruggedreven.

Deze bewegingsrichting is echter voor den gefixeerden hamer niet mogelijk en wij zien dus een groot gedeelte aan energie door wringing verloren gaan.

Wij weten nu dus, dat corneaal slechts één methode mogelijk en betrouwbaar is en wel die, welke in fig. 5 is afgebeeld.

Wij hebben reeds gezien en hiervoor geldt dezelfde verklaring, dat er ook slechts één sclerale botsingsrichting bestaat, alhoewel hier meerdere trefplaatsen zijn.

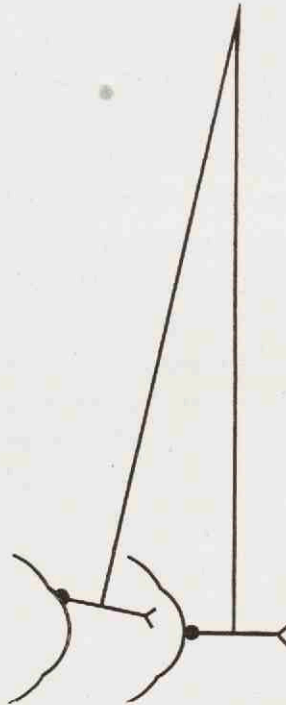


Fig. 6

In vivo is bovengenoemde methode gemakkelijk te verwezenlijken.

Toch moet er dan nog op gelet worden, dat op het moment van de botsing de hamersteel bij horizontale fixeerlijn loodrecht naar beneden hangt, wat bij waterpas opstellen van het toestel steeds geschiedt.

Indien dit niet het geval ware, zou de botsing scheef zijn, zooals uit figuur 6 blijkt.

Uit deze figuur kunnen wij nog iets anders afleiden, met betrekking tot de lengte van den hamersteel; naar mate deze nl. langer is, zal de fout, die ontstaat door een niet juiste afstandinstelling van het oog, geringer zijn.

Aan de latere toestellen worden de instelfouten — ook deze laatste — automatisch vermeden, daar er behalve visueele fixatie een inrichting aanwezig is, die de cornea tot den juiste afstand van het toestel doet naderen, bestaande uit een kleinen glascylinder, waardoor de hamerkop zich beweegt. Deze glascylinder heeft tevens het doel de oogleden op te vangen bij reflectorisch knijpen.

Tot nu toe werd in de ballistometrie weinig aandacht geschonken aan de wijze van botsen. Alleen Weve en Obbink noemen het als een van de punten die van belang zijn voor een goede ballistometrie.

HOOFDSTUK IV

EXPERIMENTEEL ONDERZOEK DER FACTOREN, DIE DE BALLISTISCHE REACTIE VAN HET PHANTOOMOOG BEINVLOEDEN

Tot het doen van een keuze tusschen de twee soorten van ballistometerhamers, nl. geheel of gedeeltelijk uitgebalanceerde, maken wij gebruik van een phantoomoog, dat tevens later dienst zal doen om de componenten te ontwarren, die den terugslag bewerkstelligen, als daar zijn de spanning en de aard der omhulsels, de aard der cornea, haar dikte en wellicht volume, en aard van den inhoud van het oog, enz.

Voor dit alles is het dierlijk oog niet geschikt, omdat hierbij verschillende van genoemde invloeden tegelijk aanwezig zijn, sterk wisselen en niet van elkaar te scheiden, zoowel in één oog afzonderlijk als vooral in onderling te vergelijken oogen, zoodat we beter doen deze te bestudeeren aan een oog, waarvan we alle factoren een constante waarde kunnen geven en naar believen een enkelen factor kunnen varieeren.

Op deze wijze toch krijgen wij een juist inzicht in den invloed, die ieder afzonderlijk uitoefent en winnen zoo gegevens, die ons bij het onderzoek op het dierlijk en het menschelijk oog, en bij het interpreteeren der hierop gevonden waarden, van groot nut kunnen zijn.

Hiertoe construeerden wij een metalen oog, gelijk ook door

Obbink in meer eenvoudigen vorm en door Richter tot dit doel gebruikt werden.

Dit oog bestaat uit een metalen cylinder met lossen voor- en achterwand, die wat opening-grootte betreft te regelen is.

Het geheel is voorzien van een afsluitkraan en in verbinding te brengen met een watermanometer, waarlangs op een maatlat de druk in kwik en water naast elkaar is aangegeven.

Een gummislang aan het bovineinde, voorzien van een glazen buis (M), kan met een koord over een katrol langs de maatlat op en neer bewogen worden; de buis is gevuld met water, waarop zich een klein drijvertje bevindt tot duidelijk aangeven van den hoogtestand.

Tusschen het phantoomoog en de beweegbare buis is een ballon (B) aangebracht, die door middel van een schroef (P) ingedrukt kan worden om zodoende een gemakkelijke nauwkeurige instelling van het drijvertje in (M) ten opzichte van de maatlatindeeling te verkrijgen.

A is het phantoomoog met uitpuilende cornea.

BA is de ballistometer met hamer (H) en aftilvorkje (V).

Daar wij ook aan den voor- en achterwand van het oog een zekere elastische waarde kunnen geven, kunnen wij het oogomhulsel nabootsen; de tegendruk toch op de cornea is hetzelfde of we diffuus den achterwand elastisch maken of enkele deelen niet en andere meer elastisch maken.

Tot afsluitmateriaal gebruikte ik, in tegenstelling met anderen die gummimembranen aanwendden, een cellulose vlies, cellofane, cellon, enz., dat een groot voordeel bezit boven de reeds genoemde.

Een cellulosemembraan toch is bij druktoename, bij niet te

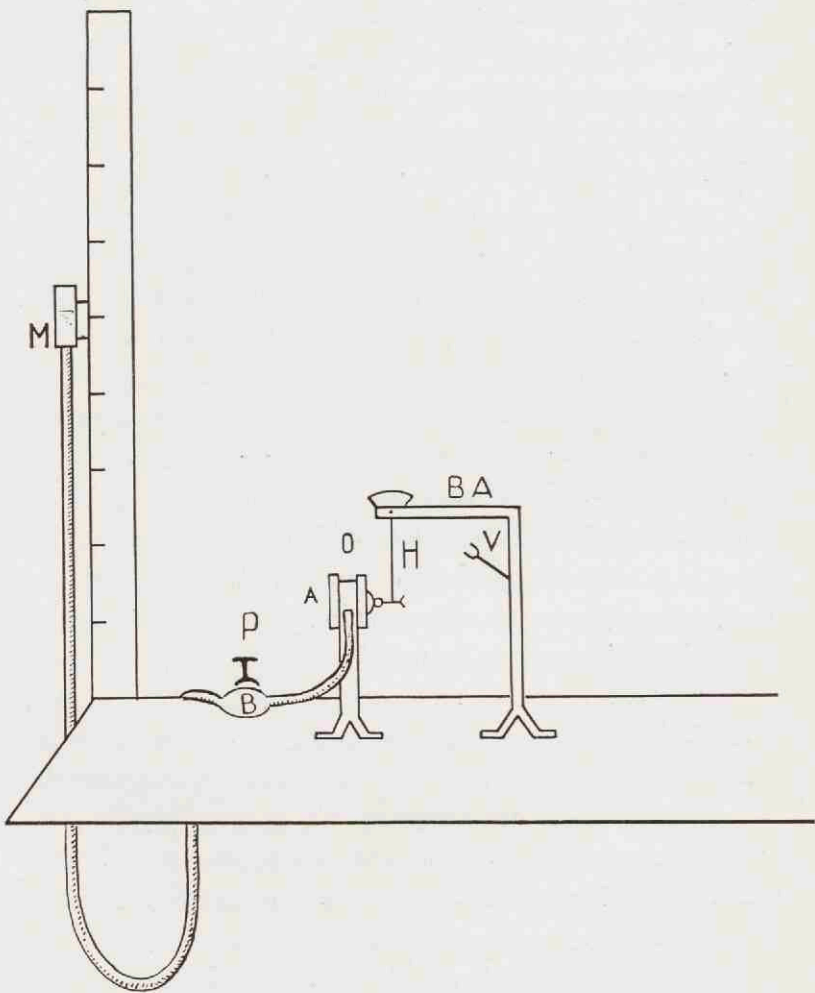


Fig. 7. Schematische voorstelling der apparatuur tot ballistometrisch onderzoek van het phantoomoog

grooten diameter, constant in vorm; hieraan is een variabele constante kromming te geven (zoo noodig is deze kromming met Javal op te nemen) en deze membraan wordt door geen stoffen aangetast.

Als wij nu nog eens de twee hamers vergelijken, zou oppervlakkig beschouwd de keuze al spoedig ten gunste van den uitgebalanceerden uitvallen.

De energie, die de hamer op het moment van de botsing aan het oog afgeeft, om ze voor een groot gedeelte weer terug te ontvangen, laat ons niet geheel onverschillig. Hoe geringer deze is, hoe gunstiger (deze energie moet natuurlijk ten opzichte van den weerstand betrekkelijk groot blijven).

Bovendien werd er reeds door Obbink op gewezen, dat de contactduur van een licht hamertje geringer, de opslaghoogte grooter was dan van een zwaar hamertje.

Dat de opslaghoogte van een licht hamertje een voordeel is, is gedeeltelijk maar schijn; het gaat hoofdzakelijk om het verschil van uitslag bij lage en hooge elasticiteit en deze is bij de tot nu toe bruikbare toestellen, zooals wij later zullen zien, weinig grooter.

De maximale uitslag van den hamer in evenwicht is, als wij deze bij den door ons benutten ballistometer door middel van een doorslingerproef bepalen, voor een overgewicht van 50 mg 207°, gemeten van den horizontalen valstand af; voor een overgewicht van 100 mg 380°, voor een overgewicht van 150 mg 550°; het geheele gebied van 150 mg is niet meer te gebruiken daar dit maximaal $\pm 270^\circ$ kan zijn.

Het bruikbare gebied van een 50 mg overgewicht is, daar de eerste uitslag (kunstoog 10 mm Hg-druk, cornea diameter

12 mm, achterwand massief) reeds een terugslag van 77° geeft, nooit grooter te krijgen dan 40° . En daar er praktisch geen absolute elasticiteit bij onze proeven aanwezig is, is de werkelijke waarde nog kleiner. Bij 50 mm Hg-druk is de terugslag 92° om daar boven praktisch niet meer te stijgen; het verschil is dus hier 15° , voor 100 mg overgewicht is dit $290^\circ - 165^\circ = 125^\circ$, voor 150 mg is dit $460^\circ - 275^\circ = 195^\circ$. (De terugslag is natuurlijk 90° kleiner dan het aantal graden gevonden bij de doorslingerproeven.)

Wij zien hier dus, dat bij toename van het overgewicht de breedte der gevoeligheidszône sterk toeneemt.

Een hamer in evenwicht met zwaarder overgewicht zou dus zeer gevoelig worden; deze oplossing is ook mogelijk en wel door overdracht der beweging, zoodat de hamer door kan slingeren.

Tot dit doel werden er in Utrecht verschillende toestellen geconstrueerd, maar mocht het tot nu toe niet gelukken een dusdanig bevredigend resultaat te krijgen, dat zuivere en betrouwbare gegevens verkregen werden.

Als bezwaar tegen den uitgebalanceerden hamer geldt nog, dat hij voor geringe storingen zeer gevoelig is en dus spoedig door kleine oorzaken inconstante uitslagen geeft.

Als we nu den niet-uitgebalanceerden hamer nader beschouwen, dan zien wij dat het bruikbare gebied begrensd wordt door 0° en 180° , onafhankelijk van het gewicht van den hamer; boven 180° toch zal de hamer doorslaan tengevolge van de zwaartekracht, beneden de 90° wordt met het stijgen van den hamer de invloed der zwaartekracht steeds grooter, neemt toe evenredig met den sinus van den hoek om boven

90° weer evenredig met den cosinus van den hoek af te nemen.

Om deze en andere redenen zullen wij in de praktijk voorloopig slechts het gebied tusschen 90 en 180° benutten.

Het overgewicht moet des te zwaarder zijn naar mate het gewicht van den hamer zwaarder is, twee factoren, die samengaan om de door het oog te ontvangen energie hoog op te voeren.

Wij zullen nu vergelijken welke combinatie het beste is; een zwaardere hamer met een zwaarder overgewicht of een lichtere hamer met een lichter overgewicht, en zullen ook hier weer hoofdzakelijk rekening houden met het uitslagverschil bij grotere en geringere elasticiteit.

Alles moet zich echter in het gebied tusschen 90° en 180° afspelen.

Indien wij nu verschillende bepalingen met het phantoom-

TABEL 1.

| Overgewicht mg | Gew. Hamer | Druk Hg mm 10 uitslag | Druk Hg mm 90 uitslag | Vershil uitslag |
|-------------------|---------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------|
| 100 | 40 | 90 | 105 | 15 |
| 150 | 40 | 110 | 132 | 22 |
| 200 | 40 | 132 | 177 | 45 |
| 200 | 80 | 110 | 133 | 23 |
| 250 | 80 | 120 | 150 | 30 |
| 300 | 80 | 130 | 170 | 40 |
| 300 | 120 | 110 | 135 | 25 |
| 350 | 120 | 120 | 150 | 30 |
| 400 | 120 | 125 | 163 | 38 |
| 400 | 150 | 111 | 138 | 27 |
| 450 | 150 | 116 | 149 | 33 |
| 500 | 150 | 123 | 160 | 37 |
| 500 | 180 | 111 | 140 | 29 |

oog (massief, cornea cellofane, diameter 12 mm) doen en een in de oogheelkunde voorkomend drukverschil nemen varieerend tusschen 10 mm kwik en 90 mm kwik, dan krijgen wij de getallen, die wij tot het verkrijgen van een gemakkelijk overzicht in een tabelvorm zullen plaatsen.¹⁾

Vooraf werd de zwaarte van den hamer met een milligram belast voor de verschillende standen van een ruitertje bepaald. (Tabel 1, blz. 35).

Gaan wij nu de waarden uit dezelfde graadgebieden vergelijken, dan vinden wij bij de volgende combinaties:

TABEL 2.

| Hamer | Overgew. | Uitslag versch. |
|--------|----------|-----------------|
| 80 mg | 250 mg | 30° |
| 120 mg | 350 mg | 30° |
| 150 mg | 450 mg | 33° |

dat de nuttige uitslag, uitgedrukt in vergelijkbare waarden, niet of slechts zeer gering toeneemt als wij den hamer zwaarder maken en dienovereenkomstig het overgewicht.

Voor een gewicht van 1350 mg, een gewicht dat in de eerste ballistometer gebruikt werd, wordt met een hamer van 270 mg in dezelfde graadzône een uitslag van 32° verkregen.

Het is dus duidelijk, dat het geen nut heeft een zwaar gewicht met een zwaren hamer te combineeren. Een hamer, die ten opzichte van den weerstand welke deze door wrijving en luchtweerstand ondervindt, zwaar genoeg is, is het meest aan te bevelen.

¹⁾ Bij stijging van den druk van 10 mm Hg tot 100 mm Hg blijft de kromming van de cellofane-cornea constant (bij 12 mm diameter), wat met Javal werd nagegaan.

Wat de gevoeligheid voor de overige kleinere stoornissen betreft, deze stoornissen worden voldoende omzeild door een combinatie van een hamer van ± 40 mg en een overgewicht van 170 mg voor het kunstoog en dienovereenkomstig voor het menselijk oog.

Tevens wordt dan vermeden, dat er een niet te berekenen bedrag aan energie verloren gaat door het indringen van het oog in de orbita, of bij het kunstoog door het in trilling brengen van dit systeem: waarden, die vrij groot kunnen worden bij gebruik van groote energie en waarden, die te verwaarloozen zijn bij gebruik van geringe energie.

Welk gewicht wij nu zullen kiezen hangt af van het volgende:

- 1° moet de uitslag vallen tusschen 90 en 180°;
- 2° mag de hamer met het oog op den weerstand in ophangpunt en lucht niet te licht worden.

Uit het voorafgaande blijkt dus, dat wij uit de beide ballistometers den niet uitgebalanceerden lichten hamer met licht overgewicht moeten kiezen, terwijl de uitgebalanceerde ballistometer te wenschen blijft. Wel heeft Weve een nieuw toestel ontworpen, dat gedeeltelijk als geheel uitgebalanceerd kan worden beschouwd, nl. in het onderste quadrant (0°-90°). In het bovenste quadrant echter wordt de hamer door een bij 90° opgenomen gewichtje afgeremd. Hier is de hamer dus wederom een niet-uitgebalanceerde. Over deze combinatie van uitgebalanceerden en niet-uitgebalanceerden hamer zullen we in het laatste hoofdstuk nog een en ander mededeelen.

HOOFDSTUK V

BOTSINGSQUOTIENT

Bepaling van het energieverlies door luchtweerstand en wrijving in de ophangpunten.

1. *Bij den uitgebalanceerden hamer.*

Het energieverlies door luchtweerstand en wrijving in ophangpunten is behalve van de wijze van fixatie, van vorm en gewicht van den ballistometer, afhankelijk van zijn snelheid.

Hoe dit energieverlies nu tijdens de verschillende omwentelingen in verband met de wisselende snelheden is, kunnen wij op eenvoudige wijze nagaan.

Wij bepalen hiervoor de benodigde energie voor iedere af te leggen halve omwenteling, zijnde 180° .

Hiervoor nemen wij eerst een overgewicht waardoor wij een halve omwenteling krijgen, dan een waardoor wij een heele omwenteling krijgen; het verschil in aanvangsenergie is het energieverlies in de eerste helft der eerste omwenteling.

Zoo gaan wij door en bepalen de eerste helft der tweede, derde, vierde en opeenvolgende omwentelingen en krijgen zoo in volgorde de opeenvolgende energieverliezen der opeenvolgende halve omwentelingen.

Wij meten nu eerst de uitslagen bij opeenvolgende overgewichten van 50 mg, 100 mg tot en met 150 mg en vinden de volgende waarden:

TABEL 3.

| Overgewicht | Uitslag | Overgewicht | Uitslag |
|-------------|---------|-------------|---------|
| 50 mg | 205° | 300 mg | 980° |
| 100 mg | 385° | 350 mg | 1000° |
| 150 mg | 550° | 400 mg | 1220° |
| 200 mg | 710° | 450 mg | 1350° |
| 250 mg | 850° | 500 mg | 1440° |

Ontwerpen wij nu met deze gegevens een kromme en interpoleeren wij bij de volgende uitslagen de daarmee overeenkomende waarden, dan krijgen wij de volgende getallen:

TABEL 4.

| Uitslag | Gewicht in mg |
|---------|---------------|
| 0 | 0 |
| 180 | 45 |
| 360 | 50 |
| 540 | 55 |
| 720 | 60 |
| 900 | 65 |
| 1080 | 70 |
| 1260 | 75 |
| 1440 | 80 |

Deze getallen vormen een rekenkundige reeks van de tweede orde, waaruit wij dus zien dat het energieverlies in de opeenvolgende halve omwentelingen verloopt volgens een rekenkundige reeks van de eerste orde.

In formule uitgedrukt zouden wij dit energieverlies als een algemeene term van een rekenkundige reeks van de tweede orde kunnen weergeven:

$$a + \frac{n-1}{1} b + \frac{(n-1)(n-2)}{2}$$

welke formule in onze reeks wordt $2,5 n (17 + n)$, waaruit wij dus terstond voor iedere halve omwenteling het benodigde gewicht kunnen vinden en hieruit het energieverlies uit te drukken in ergen door het te vermenigvuldigen met gh.

Zoo wij dit energieverlies in graden willen uitdrukken, dan behoeven wij slechts n te vervangen door $\frac{n}{180}$ (n stelt hier de afgelegde hoek voor) om als algemeen formule te vinden

$$2\frac{1}{2} \frac{n}{180} (17 + \frac{n}{180}).$$

2. Bij den niet-uitgebalanceerden hamer.

Het bruikbare gebied van den niet-uitgebalanceerden hamer wordt begrensd door 90° en 180° , in werkelijkheid is het nog veel kleiner omdat de gevoeligheid te groot wordt bij het naderen van het maximum (180°); wij zullen dus alleen in dit gebied het energieverlies nagaan.

Behalve vorm, grootte en ophangwijze van den ballistometer treedt hier ook de werking der zwaartekracht als remmende factor op.

Deze remmende factor neemt naarmate de hamer stijgt in intensiteit af en wel met den cosinus van den hoek, zoodat, als de hamer verticaal staat, deze zich gedraagt als uitgebalanceerd.

Het energieverlies in dit gebied kunnen wij op de meest eenvoudige wijze experimenteel nagaan, daar behalve de veranderlijke werking der zwaartekracht ook de snelheid wisselend is en met haar wederom de luchtweerstand en de wrijvingsweerstand in de ophangpunten.

Zoo wij den hamer van bekend gewicht verzwaren met een

bepaald overgewicht met bepaalde valhoogte, kennen wij de energiegift ($gh'm' + ghm$).

Het verschil van deze energiegift en de restende energie van den hamer in zijn hoogsten opslagstand (h''), is de energie verloren gegaan op den afgelegden weg door het overwinnen van zwaartekracht en weerstand ($gh'm' + ghm - gh''m$).

Wij kennen het gewicht van den hamer (m) en eveneens zijn valhoogte (h).

Zijn gewicht bepalen wij met de milligrambalans en vinden voor de verschillende ruitstanden respectievelijk 40 mg, 80 mg, 120 mg.

Van de beginenergie $gh'm' + ghm$ kennen wij dus:

h' = valhoogte van het overwicht (7,7);

m' = massa van het overgewicht (wisselend);

h = valhoogte van den hamer = 14;

m = gewicht van den hamer = (40 mg).

Wij zullen nu de energiegift voor den hamer van 40 mg berekenen, omdat dit de lichtst mogelijke hamer is die practisch gebruikt kan worden.

Wij nemen de volgende serie overgewichten en noteeren hierbij de daarmee overeenkomende uitslagen.

TABEL 5.

| Gew. in mg | Uitslag | Gew. in mg | Uitslag |
|------------|---------|------------|---------|
| 0 | 153 | 94,6 | 212 |
| 43,6 | 180 | 110,8 | 224 |
| 51,4 | 184 | 127,8 | 238 |
| 57,6 | 190 | 134,3 | 244 |
| 67,6 | 196 | 149,2 | 270 |
| 72,2 | 200 | | |

Uit de door middel van deze getallen ontworpen kromme noteeren wij nu terstond bij iederen uitslag het daarbij behoorende gewicht.

TABEL 6.

| | | | |
|------|-----|------|-----|
| 180° | 44 | 230° | 119 |
| 190° | 60 | 240° | 130 |
| 200° | 76 | 250° | 139 |
| 210° | 92 | 260° | 145 |
| 220° | 106 | 270° | 150 |

Wij hebben dus voor iederen graaduitslag m' gevonden en kennen dus ook de energiegift noodig om dien uitslag te bereiken, zijnde $g(h'm' + hm)$.

Tot het bepalen van de restende energie moeten wij h'' kennen; deze h'' stelt de opslaghoogte van den hamer voor en deze kunnen wij op de volgende wijze berekenen:

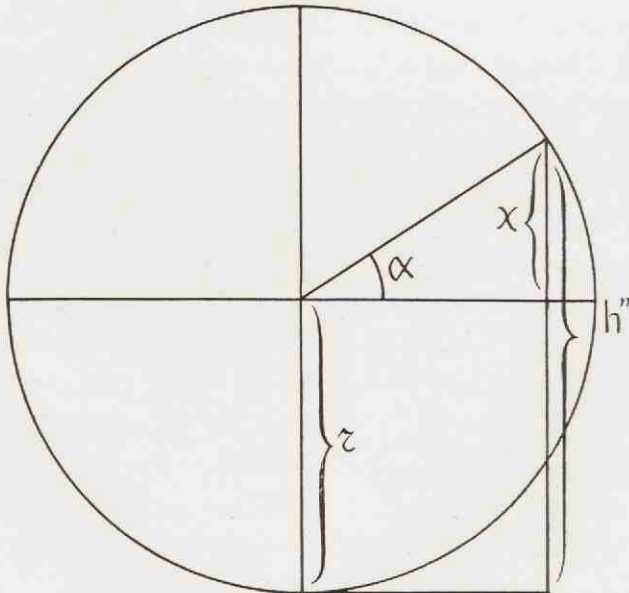


Fig. 8. Zie tekst

$$h'' = r + x$$

$$x = r \sin a$$

of h'' varieert tusschen 0 en $2r$ en wel in de volgende waarden:

TABEL 7.

| | | | |
|---------------------|-----|----------------------|-----|
| $0^\circ = 0$ | r | $90^\circ = 1$ | r |
| $10^\circ = 0,0152$ | | $100^\circ = 1,1736$ | |
| $20^\circ = 0,0603$ | | $110^\circ = 1,3420$ | |
| $30^\circ = 0,1340$ | | $120^\circ = 1,5$ | |
| $40^\circ = 0,2340$ | | $130^\circ = 1,6428$ | |
| $50^\circ = 0,3572$ | | $140^\circ = 1,7660$ | |
| $60^\circ = 0,5000$ | | $150^\circ = 1,8660$ | |
| $70^\circ = 0,6580$ | | $160^\circ = 1,937$ | |
| $80^\circ = 0,8264$ | | $170^\circ = 1,9848$ | |
| $90^\circ = 1$ | | $180^\circ = 2$ | |

g h'' m is dus bekend.

De energie door wrijving (f) verloren gegaan kunnen wij dus berekenen door in de formule g ($m'h' + mh - mh''$) de waarden te substitueeren van $m'h'$, mh en mh'' .

Doen wij dit dan krijgen wij de volgende getallen:

Tabel 8.

| | $m'h' + mh$ | - | mh'' | = | f |
|-------------|-------------|---|--------|---|--------|
| 180° | 0,9071 | | 0,5600 | | 0,3471 |
| 190° | 1,0279 | | 0,6572 | | 0,3707 |
| 200° | 1,1527 | | 0,7515 | | 0,4012 |
| 210° | 1,2777 | | 0,8400 | | 0,4377 |
| 220° | 1,3868 | | 0,9199 | | 0,4669 |
| 230° | 1,4882 | | 0,9889 | | 0,4993 |
| 240° | 1,5739 | | 1,0449 | | 0,5290 |
| 250° | 1,6440 | | 1,0862 | | 0,5578 |
| 260° | 1,6910 | | 1,1115 | | 0,5795 |
| 270° | 1,7150 | | 1,1200 | | 0,5950 |

Deze f geeft dus voor iederen graaduitslag het energieverlies van den hamer door wrijving weer.

Zoo wij f uit tabel 8 in curve brengen (zie fig. 9), dan krijgen wij een \pm recht verloopende lijn.

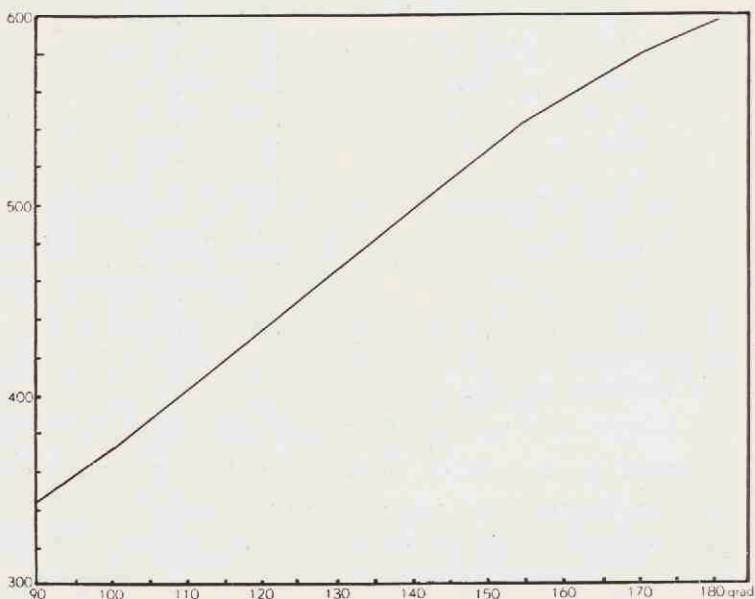


Fig. 9. Deze figuur geeft het energieverlies van den hamer door luchtweerstand en wrijving in de ophangpunten weer, bij wisselenden opslag.

Gaan we nu over tot het berekenen van energie die bij de botsing verloren gaat en die gelijk is aan het verschil der restende energie (terstond na de botsing) en de beginenergie (vlak vóór de botsing) dan kunnen wij deze gelijk stellen aan $g (mh + m'h' - fd) - g (mh'' + fs)$.

fd is het energieverlies tot op het moment der botsing, fs is het energieverlies onmiddellijk na de botsing, tot de rust van den hamer is ingetreden.

Voor den uitgebalanceerden hamer is deze berekening echter niet mogelijk daar hier geen restende energie aanwezig is.

Wij kunnen echter ook op een andere wijze te werk gaan en een nieuwe grootheid invoeren nl. het botsingsquotient (BQ).

Voor den niet uitgebalanceerden hamer nemen wij het quotient van de beginenergie (vlak vóór de botsing) = $g (mh + m'h' - fd)$ als noemer en de restende energie (vlak nà de botsing) $g (mh'' + fs)$ als teller, zijnde:

$$\frac{mh'' + fs}{mh + m'h' - fd}$$

In deze formule is voor een bepaald overwicht en voor een bepaalden hamer de noemer constant, zoodat wij kunnen schrijven

$$\frac{mh'' + fs}{K}$$

Deze waarde geeft dus het botsingsquotient weer, varieerend tusschen 1 (volkomen elastisch) en 0 (niet elastisch) is dus identiek aan het botsingsgetal (zie pag. 22).

Wij kunnen dus de ballistische reactie op twee wijzen uitdrukken en wel in een energiemaat — verlies in ergen — en in het botsingsquotient.

Wij zullen dit voortaan in laatstgenoemde grootheid doen.

Wij kunnen dan voor iederen bepaalden ballistischen hamer-opslag een bepaalde waarde vinden uit te drukken in het BQ.

Tevens moet bij bepaalde elasticiteit voor verschillende overwichten het botsingsquotient hetzelfde zijn.

Vooraleer wij echter dit BQ voor eenig overwicht kunnen berekenen moeten wij fs en fd kennen, dit geheel experimenteel te doen is onmogelijk.

Op pag. 43 berekenden wij f bij doorslingeren; bij den ballistischen terugslag moeten wij echter anders te werk gaan.

Wanneer wij den hamer, met bepaald overwicht verzwaard, van uit den horizontalen stand laten vallen dan zal deze bij doorslingeren b.v. den weg $a-c$, $c-e$ afleggen. Bij botsing echter $a-c$, $c-b$.

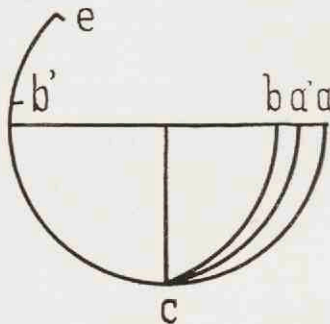


Fig. 10. Zie tekst

Het energieverlies over $a-c$ ($f d$) = het energieverlies over dienzelfden afstand van de baan $a-c$, $c-e$.

Het energieverlies over den afstand $c-b$ ($f s$) = het energieverlies over denzelfden afstand van de baan $a'-c$, $c-b'$.

Een baan, die bij doorslingeren met kleiner overwicht wordt afgelegd. $f d$ is voor bepaald overwicht een constante, $f s$ is echter afhankelijk van den ballistischen terugslag. $f d$ en $f s$ berekenen wij op ongeveer gelijke wijze.

Als wij f op pag. 43 voor doorslingeren berekend, per graad nagaan, vinden wij voor:

TABEL 9.

| | |
|----------------|----------------|
| 180° = 0,00187 | 230° = 0,00217 |
| 190° = 0,00195 | 240° = 0,00220 |
| 200° = 0,00200 | 250° = 0,00223 |
| 210° = 0,00208 | 260° = 0,00222 |
| 220° = 0,00212 | 270° = 0,00220 |

met als gemiddelde 0,00209, waarvan bovengenoemde getallen weinig of niet afwijken.

Wij zien dus dat als wij het energieverlies per graad uitdrukken, dit energieverlies vrij constant is, waaruit wij mogen afleiden, dat de afgelegde weg een grooten, de wisseling der snelheid op dezen afgelegden weg een kleinen invloed op het energieverlies uitoefent.

Bij deze doorslingerproeven (pag. 41) gingen wij tot een overwicht van 160 mg. Wij mogen dus wel aannemen, dat ook voor het bij onzen ballistometer gebruikte overgewicht van 170 mg hetzelfde gemiddelde geldt.

Aldus bepalende vinden wij voor $f d$ en $f s$:

$$f d = 90 \times 0,00209 = 0,188$$

$$f s$$

TABEL 10.

| | |
|--------------|--------------|
| 90° = 0,188 | 140° = 0,293 |
| 100° = 0,209 | 150° = 0,314 |
| 110° = 0,230 | 160° = 0,335 |
| 120° = 0,251 | 170° = 0,356 |
| 130° = 0,272 | 180° = 0,377 |

De fout, die bij bovenstaande weerstandsverlies berekening gemaakt wordt, is practisch geheel te vermijden indien wij den weerstand van den hamer zeer gering maken, zoowel wat betreft de weerstand in de ophangpunten als wat betreft de lucht-

weerstand, of indien wij het overgewicht respectievelijk den hamer naar behoefte iets verzwaren.

Dan toch zal de fout practisch te verwaarloozen zijn, daar dit weerstandsverlies dan slechts een zeer kleine fractie is van de begin- en de restende energie en dus geen invloed op de grootte van het BQ uitoefent (zie primaire BQ-formule, pag. 45).

Wij kunnen de energie voor zoover deze bij den terugslag verloren gaat ook op een andere wijze bepalen en wel door den onbelasten hamer te laten doorslingeren en als energie in den laagsten hamerstand het meetkundig gemiddelde van de energieën in de uiterste standen te nemen. Doen wij dit dan krijgen wij waarden, die eenigszins van de op bovengenoemde wijze gevondene afwijken.

Wij vinden dan voor f s :

TABEL 11.

| | |
|----------------------|-----------------------|
| $90^\circ = 0,139$ g | $140^\circ = 0,206$ g |
| $100^\circ = 0,156$ | $150^\circ = 0,222$ |
| $110^\circ = 0,169$ | $160^\circ = 0,233$ |
| $120^\circ = 0,178$ | $170^\circ = 0,241$ |
| $130^\circ = 0,194$ | $180^\circ = 0,247$ |

Drukken wij deze waarden als functie van den afgelegden weg uit, dan vinden wij wederom een \pm rechtlijnig verloop, wat wederom zou pleiten voor den grooteren invloed van den afgelegden weg ten opzichte van de wisseling der snelheid op het energieverlies.

Deze laatste berekening is afkomstig van Prof. Fokker.

Ook voor de hier eventueel gemaakte fout geldt hetzelfde als voor de bij de eigen berekeningswijze gemaakte. Beide zijn

geheel te verwaarloozen bij perfectionneering van den hamer, wat ophanging en vorm betreft.

Wij zullen nu het B Q bij verschillenden opslag voor een overgewicht van 170 mg bepalen en in curve brengen, opdat wij door middel van deze curve terstond bij iederen willekeurigen ballistischen opslag het daarbij behoorende BQ kunnen vinden.

Uitgaande van de formule:

$$\frac{m h'' + f s}{K}$$

berekenen wij voor B Q bij:

TABEL 12.

| | | | |
|------|-------------------------------|------|-------------------------------|
| 90° | $\frac{0,748}{1,681} = 0,444$ | 140° | $\frac{1,281}{1,681} = 0,762$ |
| 100° | $\frac{0,867}{1,681} = 0,515$ | 150° | $\frac{1,358}{1,681} = 0,813$ |
| 110° | $\frac{0,981}{1,681} = 0,583$ | 160° | $\frac{1,421}{1,681} = 0,845$ |
| 120° | $\frac{1,091}{1,681} = 0,648$ | 170° | $\frac{1,467}{1,681} = 0,872$ |
| 130° | $\frac{1,191}{1,681} = 0,708$ | 180° | $\frac{1,497}{1,681} = 0,890$ |

In curve gebracht vertoont deze lijn een buigend verloop (fig. 11, blz. 50).

Zooals wij reeds opmerkten moet bij bepaalde elasticiteit voor verschillende overgewichten bij gebruik van denzelfden hamer het botsingsquotient hetzelfde zijn.

Dat dit inderdaad zoo is, blijkt duidelijk uit de overeenkomst der volgende botsingsquotienten, die wij voor eenige wisselende overgewichten bepalen.

Wij nemen het phantoomoog met een willekeurige constante

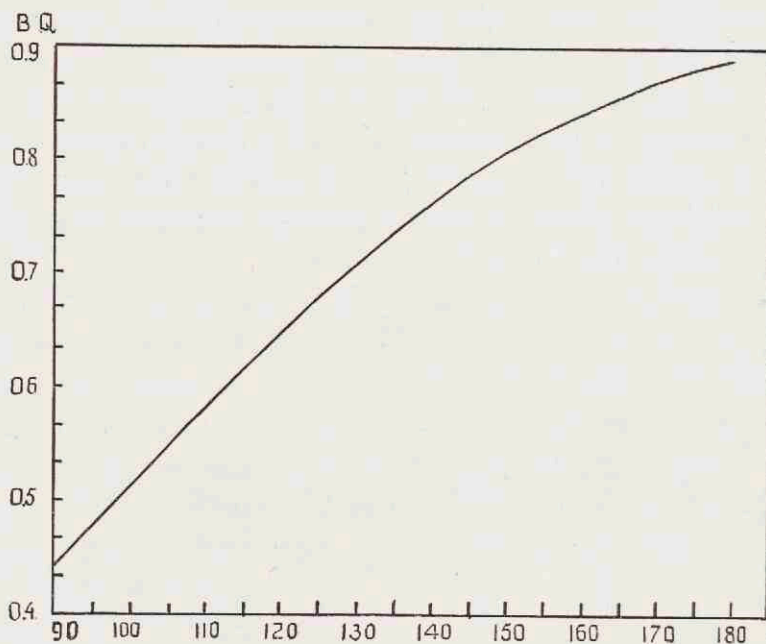


Fig. 11. Deze figuur geeft het BQ weer bij verschillenden graaduitslag (bij bepaalden hamer en bepaald overgewicht)

elasticiteit en berekenen nu de daarmee overeenkomende botsingsquotienten door middel van de bekende formule.

Overgewicht:

170 mg opslag 140°

110 mg opslag 112°

$$\text{BQ } 170 \text{ mg} = \frac{0,56 \times 1,766 + 0,293}{0,56 + 0,170 \times 7,7 - 0,188} = 0,76$$

$$\text{BQ } 110 \text{ mg} = \frac{0,56 \times 1,374 + 0,234}{0,56 + 0,110 \times 7,7 - 0,188} = 0,77$$

Deze overeenkomst tusschen de twee uiterst bruikbare overgewichten is tevens een bewijs, dat de bij den door ons gebruikten nog vrij primitieven ballistometer niet te vermijden fout, bij de berekening van het energieverlies door wrijving, zeer gering is en valt binnen de toelaatbare ballistometerfout (zie later).

Met behulp van het ballistisch BQ kunnen wij dus op zeer betrouwbare wijze een bepaalde elasticiteitswaarde uitdrukken, onafhankelijk van het gebruikte overgewicht en onafhankelijk van den gebruikten ballistometer.

Bij ieder overgewicht behoort bij een bepaalden hamer een bepaalde BQ-curve.

In het vervolg zullen wij dus de gevonden waarden alleen nog slechts in het BQ uitdrukken. De groote voordeelen hieraan verbonden liggen voor de hand.

Onafhankelijkheid van het toestel, zoowel als van het overgewicht. Bovendien nauwkeurig met elkander te vergelijken waarden.

In deze waarden zijn alle factoren opgenomen, die bij de botsing energie doen verloren gaan, als inwendige wrijving van den inhoud en de meer of mindere rigiditeit der oogomhulsels als hoofdoorzaken.

Welke het aandeel van de verschillende dezer momenten is, zullen wij in een volgend hoofdstuk trachten na te gaan.

De hiervoor benoodigde proeven zullen wij alle met den ten naastenbij uitgebalanceerden hamer uitvoeren en den volkomen uitgebalanceerden hamer voorloopig laten rusten.

HOOFDSTUK VI

VERDERE PROEVEN

Wij gebruiken dus een ten naastenbij uitgebalanceerden hamer, die wij ten opzichte van het gewicht van het gefixeerde oog gelijk kunnen stellen aan 0.

Wij kunnen nu de in hoofdstuk II afgeleide formules toepassen.

Nemen wij eerst b.v. het weeke oog (niet veerkrachtig).

Het oog is in rust, het gewicht van den ten naastenbij uitgebalanceerden hamer stelden wij gelijk aan 0.

In formule (1) pag. 20 is dus $c'' = 0$, $m' = 0$, dus $c^0 = 0$ (1b) of wel de hamer springt niet terug.

Als tweede grensgeval nemen wij het theoretisch absoluut veerkrachtige oog.

Volgens formule (2) pag. 21 hebben wij dan, zoo wij wederom $c'' = 0$ stellen en $m' = 0$, $v' = -c'$ (2b), wat dus in woorden luidt, het botsende lichaam keert even snel terug.

Tusschen deze twee waarden ligt het meest voorkomende geval, het niet-volkomen veerkrachtige oog.

Hiervoor geldt $v' = -e c'$, waarin v' wederom de terugspring-snelheid voorstelt en e het botsingsgetal, welke waarden wij dus in de ballistometrie door middel van het B Q kunnen vinden.

Zoo het oog weeker wordt nadert e tot 0 of $v' = 0$, wordt het oog meer elastisch dan nadert e tot 1 of $v' = -c'$.

Wij zien dus ook hier wederom een verloop tusschen de waarden 0 en 1.

Bezien wij nu de BQ-curve (fig. 11), dan zien wij dat bij stijging van den hamer het BQ in evenredigheid minder sterk toeneemt, zoodat als de uitslag 180° nadert het BQ slechts in geringe mate stijgt.

Het meest gevoelige gebied ligt wel tusschen 90 en 150° , reden waarom het raadzaam is ook in dit gebied de metingen te verrichten.

In dit gebied b.v. bij $\pm 110^\circ$ kunnen wij bij herhaalden hameropslag bij het phantoomoog met een constanten druk en wand nooit grooter verschil in uitslag krijgen dan 2° ($110-112^\circ$), wat in het BQ uitgedrukt overeenkomt met 0,58 en 0,59.

De nauwkeurigheid bij den door ons gebruikten ballistometer is dus niet hooger op te voeren.

Deze nauwkeurigheid nu kennende, weten wij dat iedere verdere uitslagverandering gezocht moet worden in de toestandverandering der te onderzoeken stof. Het opsporen van de deze toestandverandering teweegbrengende factoren en de mate waarin ieder dezer invloed op de ballistische reactie uitoefent, zij doel van het volgende onderzoek.

Als hoofdmomenten zullen wij nagaan:

1° den wand;

2° den inhoud.

Onder wand verstaan wij zoowel den getroffen wand als den omhullenden wand.

Spanning en rigiditeit is hier van belang.

Wij zullen den invloed van aard, dikte en grootte van cornea en sclera nagaan bij verschillenden druk.

Wat de inhoudsverandering aangaat, hiervan moet worden nagegaan de volumeverandering en de verandering van den aard van den inhoud onder wisselende omstandigheden zoowel van druk als van temperatuur.

Het is niet te vermijden, dat wij bij deze proeven nu en dan in herhaling vervallen wat betreft een en ander onderdeel, door vroegere onderzoekers met minder nauwkeurig werkende ballistometers reeds nagegaan.

Tot verkrijging van een goed geheel kunnen wij dit niet missen.

Wij zullen alleen met het vroeger reeds beschreven phantoomoog onze verdere waarnemingen doen.

Dit phantoomoog staat door middel van een nauwe naald in verbinding met den manometer, nadat gebleken was dat een wijde communicatie (open kraan) hoofdzakelijk bij lage spanning grooten invloed op den uitslag uitoefent.

Bij nauwe (naaldvormige) verbinding heeft de stand van de kraan (open of dicht) geen merkbaren invloed, daar nu gedurende de botsing geen energie verloren gaat door vloeistofverdringing buiten het oog.

Gaan wij nu over tot onze systematische proeven en bepalen wij op de eerste plaats de botsingsquotientcurve voor het phantoomoog met een opening van $2\frac{1}{2}$ cm (cellofane 0,09 mm, achterwand massief) bij stijgenden druk, dan krijgen wij de kromme a in fig. 12.

Bij stijgenden druk zien wij het BQ in waarde stijgen om bij een druk van ± 100 H₂O wederom in waarde te dalen. Dit eigenaardig verloop kunnen wij op de volgende wijze verklaren:

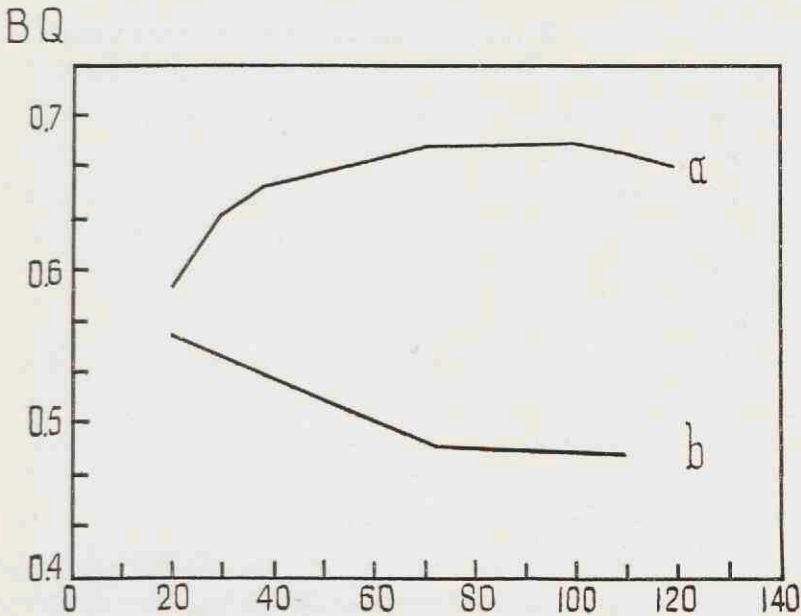


Fig. 12. Deze figuur geeft het BQ van het phantoomoog weer bij stijgenden druk bij gebruik als cornea materiaal. a cellofaan, b cellon.

Bij stijgenden druk zal het plastisch energieverlies der oogomhulsels tengevolge van de onvolkomen elasticiteit toenemen, het energieverlies tengevolge van intraoculaire vloeistofbeweging echter afnemen (zie Weve, Arch. f. Aughk., 105 pag., 632, 1932). Aanvankelijk overweegt de tweede factor en zal de curve stijgen, wordt echter de druk steeds hoger dan zal ook de invloed der vloeistofbeweging verminderen tot evenwicht is ingetreden; bij nog hoger opvoeren van den druk zal dus ten slotte de eerste factor de overhand krijgen en zien wij de curve dalen.

Dit verschijnsel van dalen der curve werd door mij reeds

vroeger bij het ballistisch onderzoek van varkensooogen waargenomen.

Men verwarre dit verschijnsel niet met hetgeen Elschmig en Sobansky waarnamen bij de statische tonometrie, waar zij bij oogen onder abnormaal hoogen druk met den tonometer van Schiötz en bij gebruik van licht overgewicht een negatieven uitslag verkregen. Dit verschijnsel berust op geheel andere gronden.

Nemen wij in plaats van cellofane cellon (dit is een andere cellulose preparaat dat in tegenstelling met cellofane wel oplosbaar is in aceton, dikte 0,124 mm) en onderzoeken wij dit op gelijke wijze, dan krijgen wij een geheel ander verloop en wel een dalende BQ-drukcurve (fig. 12b).

Dit is wel iets zeer opvallends; hieruit toch blijkt overduidelijk, dat onder lang niet alle omstandigheden een opvoeren van den druk een hooger ballistischen uitslag geeft.

Blijkbaar is tengevolge van de grootere rigiditeit van den wand de vochtverplaatsing zeer gering en het toenemende energieverlies bij opvoeren van druk, tengevolge van de onvolkomen elasticiteit der oogomhulsels, van grooten invloed.

Ook hier treedt bij ± 70 H₂O-druk evenwicht op, maar in tegenstelling met de a-lijn geen verder afwijkend verloop, wat trouwens te verwachten was.

Uit een en ander zien wij dus tevens, dat voor onze verdere proeven cellon als cornea-materiaal ongeschikt is, daar zijn gedragingen geheel afwijken van die der dierlijke cornea.

Bij aanname van de twee bovengenoemde invloeden op het verloop der botsingscurve kunnen wij ook de volgende krommen verklaren.

Wat de eigenlijke hoofdoorzaak van dit geheel afwijkende verloop van cellon in tegenstelling met cellofane is, zal ons duidelijk worden uit de volgende curve, die de BQ-lijn weer-geven voor het phantoomoog (achterwand massief, diameter $2\frac{1}{2}$ cm) voor verschillende dikten van de kunstcornea.

- a. 0,04 mm;
- b. 0,09 mm;
- c. 0,17 mm.

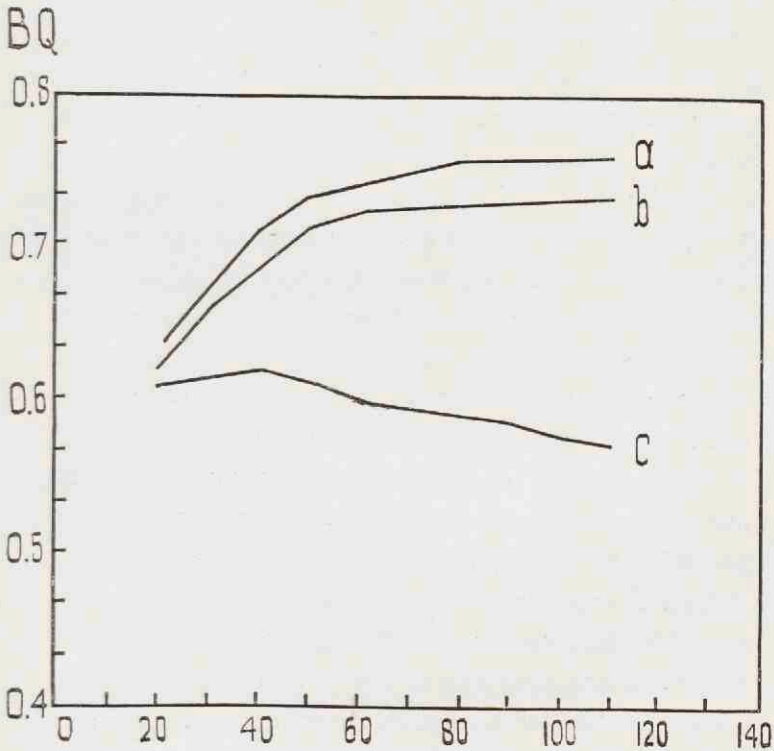


Fig. 13. Deze figuur geeft het BQ van het phantoomoog weer bij stijgenden druk; a, b en c telkens voor stijgende dikte van de cornea.

Terstond zien wij, dat een toenemende wanddikte bij lagen druk een grooter energieverlies beteekent, dus een minder sterke ballistische reactie en bij toenemenden druk den invloed van den wand ten opzichte van de inwendige vochtverplaatsing zich in steeds sterker mate doet gevoelen, zoodat de c-lijn, fig. 13, grooter overeenkomst gaat vertoonen met de b-lijn, fig. 12. Wij mogen dus aannemen, dat het de grootere rigiditeit van den wand is, die zulk een belangrijke rol speelt vooral bij hoogere spanning.

Hoe dunner de cornea des te sterker zal de invloed zijn van het energieverlies tengevolge van interoculaire vloeistofbeweging en des te steiler zal de curve verlopen; krijgt de cornea een grootere dikte, een grootere rigiditeit, dan wordt de invloed der interoculaire vloeistofbeweging steeds meer uitgeschakeld en treedt de wandwerking steeds meer op den voorgrond, of wel: hoe meer rigide de wand, hoe vlakker en in hoe lager niveau de ballistische spanningscurve verloopt.

Cellofane c, fig. 13, blijkt dus ook ongeschikt als materiaal voor onze ballistische proeven.

Daar het curveverloop bij de ballistometrie van het mensche-lijk en het dierlijk oog veel overeenkomst vertoont met het verloop van b (respectievelijk a) (in fig. 13), zullen wij dit materiaal in het vervolg gebruiken voor onze verdere proeven.

Wordt de wandoppervlakte binnen bepaalde grenzen ver-groot, dan zal hiermede het BQ toenemen en wel bij de ver-schillende spanningen met vrij groote gelijkmatigheid.

Bovendien zien wij, dat hoe geringer de diameter, hoe minder snel de curve een betrekkelijk horizontaal verloop gaat innemen, hoe minder snel de curve een „knik” vertoont. Bij 12 mm is

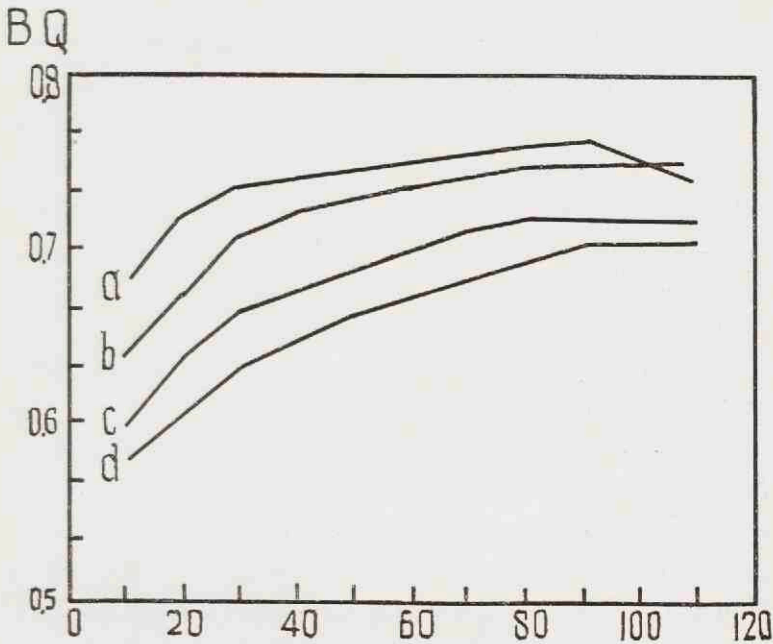


Fig. 14. Deze figuur geeft het BQ van het phantoomoog weer bij stijgenden druk; a, b, c en d bij steeds afnemenden diameter van de cornea-doorsnee; a = 40 mm, b = 30 mm enz.

deze knik geheel afwezig, bij 20 respectievelijk 30 en 40 mm treedt deze „knik” steeds vroeger op.

Als wij nu cellofane met een diameter van 20, respectievelijk 30 en 40 mm beschouwen als cornea + sclera en cellofane met een diameter van 12 mm alleen als cornea, dan is het ons duidelijk waarom een phantoomoog met een cornea van 12 mm geen „knik”, een dierlijk oog bij bepaalde drukhoogte wel een „knik” vertoont.

Een en ander komt dus zeer goed overeen met hetgeen door Obbink werd waargenomen bij zijn proeven met phantoom-

en varkensoogen naar aanleiding van de physische berekeningen van Fokker.

Wij zien dan ook, dat hoe meer rigide de sclera bij gelijke cornea, hoe lager de spanningscurve verloopt.

Op hoogerem leeftijd neemt de rigiditeit van de sclera, zooals o.a. door Wessely, Bader en Kalfa werd aangetoond, toe, evenals alhoewel in mindere mate de rigiditeit van de cornea (Bader en Müller).

Ook in vivo kunnen wij deze toename in rigiditeit aantonen, op welke wijze zullen wij later zien.

Wat de invloed van den achterwand betreft, deze is bij lagen druk nog wel merkbaar maar onafhankelijk van den „aard” van den wand, dus alleen afhankelijk van het energieverlies tengevolge van vermeerderde vochtverplaatsing.

Een specifieke reactie van den achterwand komt echter niet tot uiting en wel om reden dat de botsing reeds is afgelopen als deze wandreactie in werking treedt.

Slechts het verschil tusschen massieven en niet-massieven achterwand komt tot uitdrukking (zie fig. 15).

Voor het oog zou dit beteekenen, dat wij met den ballistometer behalve de spanningsveranderingen alleen veranderingen van cornea en het aangrenzende deel der sclera kunnen nagaan, *dat echter de rigiditeitsveranderingen der achterpool weinig invloed op de ballistische reactie uitoefenen.*

Wat de inhoud betreft kunnen wij kort zijn.

Vooraf zij opgemerkt, dat het volume betrekkelijk weinig invloed op de ballistische reactie uitoefent als de overige voorwaarden onveranderd blijven, wat duidelijk blijkt uit de verschillende ballistometrische proeven met het phantoomoog.

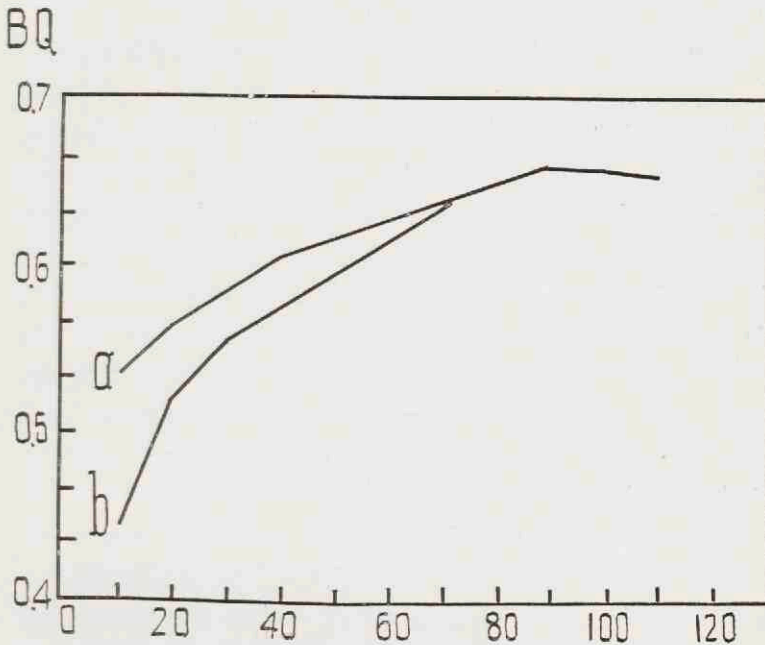


Fig. 15. Deze figuur geeft het BQ van het phantoomoog weer voor gelijke cornea, maar voor wisselenden achterwand; a achterwand massief, b achterwand cellofaan, van verwisselende dikte, gummimembraan-cellon, enz.

TABEL 13.

| Phantoomoog Druk H ₂ O | Zonder wasopvulling inh. 33 cc uitslag | Met wasopvulling inh. 7 cc uitslag |
|--------------------------------------|--|--|
| 10 | 110 | 106 |
| 20 | 115 | 114 |
| 30 | 120 | 120 |

Alleen in een zeer laag drukgebied gaven deze groote inhoudverschillen een geringer BQ voor geringeren inhoud.

Ook de invloed van den aard van den inhoud kan in het geheel niet worden aangetoond, b.v. voor gelatine van $\frac{1}{2}$ %; dit is

trouwens te verwachten; zou ook zeer gering zijn, valt namelijk in het niet bij den grooten invloed van wand en spanning.

1% gelatine gaf reeds onjuiste waarde door verstopping der manometernaald; sterkere gelatineconcentraties geven tevens een mechanisch beletsel voor druknivelleering in het oog, zooals Heesch aan geëucleëerde oogen kon bewijzen door verschil in druk in voorkamer en achterpool bij het opvoeren van den druk door zwellingsproeven met zuren aan te toonen.

De invloed van de temperatuur kan evenmin worden aangetoond, zelfs een verschil van kamertemperatuur en een temperatuur van 50° Celsius gaf niet het minste verschil in ballistische reactie.

Gaan wij nu na welke invloeden de ballistische reactie bepalen, dan hebben wij voornamelijk twee factoren en wel op de eerste plaats de rigiditeit van de voorste deelen van den wand (zowel cornea als sclera) en op de tweede plaats de spanning.¹⁾

Omtrent den invloed van andere factoren weten wij, dat zoo deze aanwezig zijn hun invloed toch zeer gering, ja niet merkbaar is.

Voor den tonometer zijn dit ook de spanning en de rigiditeit van de cornea.

Dat de rigiditeit een rol speelt is reeds aangetoond door Bader, Müller e.a., die vonden dat bij gelijken inwendigen druk vaak zeer verschillende tonometerwaarden voor verschillende oogen gevonden werden, ook met inachtneming der tonometerfouten.

¹⁾ De adhesie van de vochtige cornea werd buiten werking gesteld door deze met talk te bepoederen.

Ook op een andere, zeer eenvoudige wijze, zou dit aange-
toond kunnen worden.

De druk op de phantoomcornea is b.v. per cm^2 vlakke-eenheid
gelijk aan de hoogte van de waterkolom in den manometer.
Wij zouden met dezen druk, zoo de wand geen invloed had,
dus evenwicht kunnen maken door op de cornea een gelijk-
waardig gewicht te plaatsen met dezelfde vlakke-eenheid als
grondvlak. Wij zullen echter tot het verkrijgen van evenwicht
een iets zwaarder gewicht noodig hebben en dit wel tengevolge
der rigiditeit van den wand.

Als wij het gedrag van den tonometer en den ballistometer
tegenover de twee genoemde factoren, nl. de spanning en de
rigiditeit vergelijken, zien wij iets eigenaardigs.

Voor het gemak drukken wij den tonometernaalduitslag uit
in zijn tegenovergestelde waarden, nl. in waarden van 20 tot 0
in plaats van in 0 tot 20.

Bij gebruik van een kunstcornea met een kromming $R =$
 ± 8 mm hebben wij bij den

a. *tonometeruitslag* (20-0):

| | | | |
|------------|----------------|------------------|----------------------|
| lage druk | lage waarden; | rigide wand | <i>hooge waarden</i> |
| hooge druk | hooge waarden; | minder rigide w. | <i>lage waarden</i> |

b. *ballistometeruitslag* (B Q):

| | | | |
|------------|----------------|------------------|----------------------|
| lage druk | lage waarden; | rigide wand | <i>lage waarden</i> |
| hooge druk | hooge waarden; | minder rigide w. | <i>hooge waarden</i> |

Wij zien dus, dat het gedrag van ballistometer en tonometer
tegenover stijgenden druk gelijk is, maar hun gedrag tegenover
stijgende rigiditeit tegenovergesteld. Blijft de rigiditeit dus
constant en stijgt binnen normale grenzen de spanning, dan

zullen beide een hogere waarde geven ten opzichte van de oorspronkelijke; blijft echter de spanning constant en stijgt de rigiditeit, dan geeft de tonometer een hogere waarde, de ballistometer een lagere.

Nemen wij dus in het normale drukgebied de tonometerwaarde en ballistometerwaarde gelijk, dan zullen bij stijgende rigiditeit de waarden uiteen gaan lopen en hebben wij hierin een middel om de rigiditeitsverandering van den bulbus te meten en in waarden uit te drukken.

Ter verduidelijking diene de volgende reeks waarden met bijbehorende curve.

Wij bepalen met het phantoomoog, waarvan wij door middel van een persje de kunstcornea een welving geven, $R = \pm 8$ mm, de verschillende ballisto- en tonometerwaarden, en vinden dan de volgende getallen (gesloten kraan):

TABEL 14.

| H ₂ O | Tonometer (20-0) | | Ballistometer | |
|------------------|------------------|------------|---------------|------------|
| | Celf. 0,13 | Celf. 0,04 | Celf. 0,13 | Celf. 0,04 |
| 10 | 11 | 3 | 82 | 90 |
| 20 | 16 | 7 | 86 | 100 |
| 30 | 18 | 10 | 90 | 109 |
| 40 | 19 | 12 | 96 | 114 |
| 50 | 19.5 | 14 | 99 | 118 |
| 60 | 20 | 17 | 102 | 122 |
| 70 | 20 | 18.5 | 104 | 124 |
| 80 | 20 | 19.5 | 106 | 126 |
| 90 | 20 | 20 | 108 | 128 |
| 100 | 20 | 20 | 110 | 130 |
| 110 | 20 | 20 | 112 | 132 |

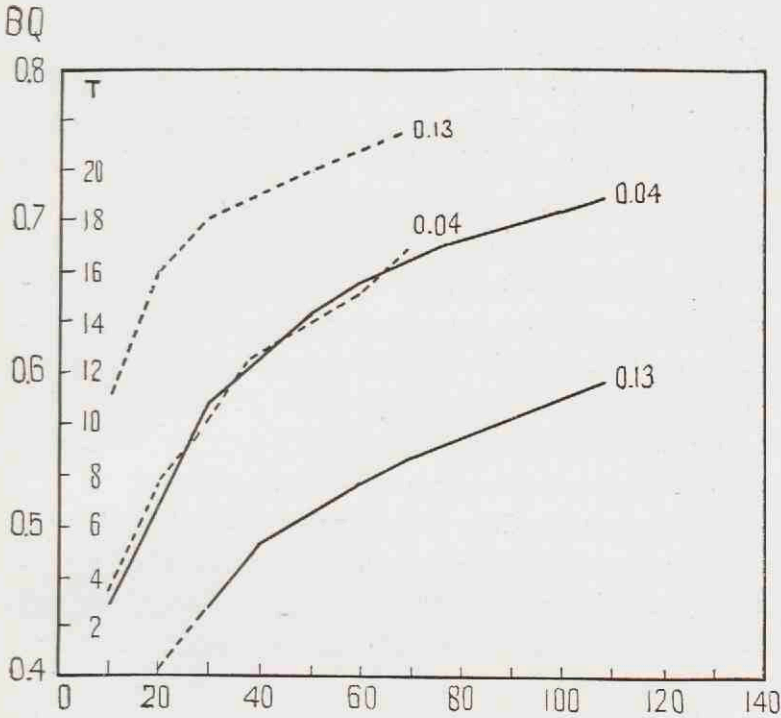


Fig. 16. In deze figuur geven de stippellijnen de tonometerwaarden aan, de andere de ballistometer waarden; zie verder verklaring tekst.

Wij zien bij gelijken druk en bij op gelijke schaal brengen van tonometercurve en ballistometercurve bij celf. van 0,04 mm, in het geheele drukgebied van 20 tot 70° bij meer rigide worden van den wand een sterk uiteenwijken der twee waarden. Wij behoeven dus slechts oogen met een zeer geringe rigiditeit van den wand als eenheid te nemen en hierbij de tono- en ballistometerwaarden gelijk te stellen om bij stijgende rigiditeit van den wand (voorste deel) een duidelijk uiteenloopen der waarden

te vinden. Dat het juist het voorste deel van den oogwand betreft, hebben wij reeds vroeger aangetoond; wij zien dus dat de ballistometer in combinatie met den tonometer zeer geschikt is tot het bepalen der rigiditeit en dat tevens de ballistometer gebruikt zal kunnen worden om de fout door den invloed van den wand bij de tonometrie gemaakt te corrigeeren. In de practijk zou dit hierop neer komen, dat wij uitgaan van het phantoomoog met zeer dunne cellofaan cornea (normale kromming) — deze zoo dun om haar invloed zoo gering mogelijk te doen zijn — en de hierop gevonden tonometer en ballistometer-waarden aan elkaar gelijk stellen. Wij kunnen dan de BQ-getalwaarden in de tonometergetalwaarden uitdrukken.

In onze curve (fig. 16) wordt dit $BQ\ 0,10 = 8\ (T)$. Gaan we nu een menschelijk oog tonometrisch en ballistometrisch onderzoeken, dan vinden wij voor den tonometer ten opzichte van het phantoomoog hogere waarden, voor den ballistometer lagere. Drukken wij deze twee in vergelijkbare waarden uit, dan zal het verschil dier waarden toenemen naar gelang de rigiditeit toeneemt en vinden wij hierin een getalwaarde, die ons een idee geeft omtrent de rigiditeit van den wand.

Er zijn natuurlijk nog andere wegen ter berekening te bewandelen en een en ander zal dan ook nader uitgewerkt moeten worden. De mogelijkheid der uitvoering is echter gegeven.

HOOFDSTUK VII

BALLISTOMETERBOUW

Voorwaarden waaraan een ballistometer moet voldoen

Wij kunnen dus kiezen tusschen twee ballistometers, de uitgebalanceerde en de niet-uitgebalanceerde.

Voor den uitgebalanceerden ballistometer geldt als eerste mogelijkheid een ballistometer met bewegingsoverdracht. Bij deze mogelijkheid behouden wij de drie groote voordeelen aan een uitgebalanceerden ballistometer verbonden, nl.: 1° het geringe gewicht, 2° het geringe overgewicht, 3° de groote uitslag.

Als tweede mogelijkheid geldt de oplossing van Weve op pag. 37 beschreven. Hier vervalt dus het voordeel van grooten uitslag en licht overgewicht, blijft echter het voordeel van den zeer lichten hamer. Door mij werden met het toestel eenige serie proeven genomen, die zeer constante uitslagen gaven; verdere proeven moeten nog verricht vooraleer definitieve resultaten beschreven kunnen worden.

Ook de niet-uitgebalanceerde hamer kan verder vervolmaakt worden. Op de eerste plaats wat betreft de hamer, waarvan de lengte met het oog op de te vermijden instelfouten nog belangrijk verlengd kan worden; met deze verlenging bereiken wij tevens een meer nauwkeurige afleesmogelijkheid.

Vervolgens is het van het grootste belang dat de hamer zoo licht mogelijk zij, maar met dien verstande dat de energie verloren door weerstandsoverwinning der lucht en verloren door wrijving in de ophangpunten slechts een te verwaarloozen fractie der beginenergie is. Geperfectioneerde ophanging en geperfectioneerde vorm van den hamer zullen hiertoe kunnen bijdragen. Het contra-gewicht kan dan tevens nog in grootte gereduceerd worden.

De graadboog achter den hamer aangebracht kan tot aflezen blijven dienst doen, toch ware het tot algemeen gebruik van belang hiernaast tevens een tweede indeeling, onafhankelijk van den gebruikten hamer en het gebruikte overgewicht aan te brengen. Zouden wij bij een ballistometer meerdere overgewichtjes willen of zoo dit bij practisch gebruik zou mogen blijken moeten toevoegen, dan zouden wij voor ieder overgewichtje een vermenigvuldigingsfactor moeten aangeven om het daarbij behoorende botsingsquotient makkelijk te kunnen vinden. Deze tweede indeeling is dus de indeeling naar het BQ dus een absolute. De graadboog zou zich voor universeel gebruik van 0 tot 180° moeten uitstrekken en wel zoo dat 180° overeenkomt met $BQ = 1$. Door dit laatste vereischte is voor bepaalden ballistometerhamer het overgewicht bepaald en op de volgende wijze te berekenen:

$$\frac{m h'' + fs}{m h + m' h' - fd} \text{ (zie pag. 45) } = BQ.$$

Wij nemen dus aan dat fs en fd kunnen verwaarloosd worden en krijgen dan:

$$\frac{m h''}{m h + m' h'} = 1$$

$$\text{dus } m' = \frac{mh'' - mh}{h'}$$

zoodat m' bekend is.

Bij iederen ballistometer behoort bij een bepaald overwicht een bepaalde BQ-curve.

Alle ballistometers kunnen wij dus met behulp van een phantoomoog ijken overeenkomstig een standaard ballistometer door nauwkeurige berekening volgens BQ ingedeeld.

Bij iedere af te leveren ballistometer zou een phantoomoog (gummieballetje of dergel.) toegevoegd kunnen worden, waarop den ballistometer voor bepaalden opslag is ingesteld. Dit ter contrôle voor het constant blijven der ballistometer-uitslagen. Iets dergelijks dus als bij den Schiötz-tonometer geschiedt.

De ervaringen met de tot nu toe gebruikte ballistometers opgedaan, doen ons het meest neigen tot de bijna volkomen uitgebalanceerden ballistometer van geringe massa.

Het BQ voor het normaal menschenoog in vivo = $\pm 0,52$.

Vier en twintig uur post exstirpationem = 0,67.

Dit bij gelijken intraoculairen druk = 25 mm Hg.

CONCLUSIES

Op grond van voorafgaande overwegingen en onderzoeken komen wij tot de volgende conclusies:

- I. De tot nu toe in de physiologie gebruikte ballistometers waren ongeschikt voor onderzoek op het menselijk oog.
- II. Door het zeer licht maken van een langen hamer, het toevoegen van een contra-gewicht en van een aftilbaar overgewicht, zooals in den ballistometer van Weve, is een bruikbaar toestel te construeeren.
- III. Een rechte centrale botsing is tot het verkrijgen van bruikbare ballistische waarden noodzakelijk.
- IV. Met cellofaan als cornea-materiaal voor het phantoomoog kunnen wij de menschelijke cornea wat kromming en rigiditeit betreft nabootsen.
- V. De ballistometer-uitslag kan worden uitgedrukt in een absolute waarde, nl. in het botsingsquotient (BQ).
- VI. Het invoeren van het BQ stelt ons in staat waarden van verschillende ballistometers onderling te vergelijken.
- VII. Het invoeren van het BQ stelt ons tevens in staat voor ieder oog een bepaalde waarde te vinden onafhankelijk van den gebruikten ballistometer.
- VIII. Het BQ wordt zoo goed als uitsluitend bepaald door de rigiditeit van den wand en door de spanning.

- IX. Aard en temperatuur van den inhoud van het oog hebben geen merkbaaren invloed op de ballistische reactie.
- X. De achterpool van het oog heeft evenmin een merkbaaren invloed op de ballistische reactie.
- XI. Hoe meer rigide de wand, hoe vlakker en in hoe lager niveau de ballistische spanningscurve verloopt.
- XII. Gecombineerd gebruik van ballistometer en tonometer stelt ons in staat nadere gegevens te verkrijgen omtrent den graad der rigiditeit van den oogwand, welke gegevens tevens kunnen dienen om correctie aan te brengen in de door middel van het toestel van Schiötz gevonden statische tonometerwaarden.

SAMENVATTING

In de laatste jaren werd een nieuw beginsel van spanningsbepaling van het oog ingevoerd, nl. een ballistische methode in tegenstelling met de tot nu toe gebruikte statische methode. Schrijver heeft zich ten doel gesteld de theoretische grondslagen van den ballistischen tonometer nader uit te werken en experimenteel te toetsen.

Hoofdstuk I geeft een kort overzicht van de ontwikkeling der ballistische tonometrie in spierfysiologie en oogheelkunde.

In hoofdstuk II worden grondbeginselen der botsingsmechanica behandeld en op grond daarvan wordt vastgesteld dat voor toegepaste ballistische tonometrie van het oog slechts de rechte centrale botsing in aanmerking komt.

In hoofdstuk III wordt een korte beschrijving gegeven van den ballistischen tonometer van Weve, waarmede de schrijver zijn onderzoekingen heeft verricht.

In hoofdstuk IV worden door experimenteel onderzoek de factoren nagegaan, die de ballistische reactie van het phantoomoog bepalen.

In hoofdstuk V wordt een nieuwe grootheid in de ballistometrie ingevoerd, die als maat voor den ballistometeruitslag gebruikt kan worden en ons in staat stelt uitslagen van verschillende ballistometers onderling te vergelijken.

In hoofdstuk VI wordt de nieuwe ballistometer aan eenige

botsingswetten getoetst en worden verder de factoren nagegaan die den ballistometeropslag bepalen; tevens wordt hierin de weg gewezen voor een nieuw gebruik van den ballistometer, nl. als corrector der door middel van het toestel van Schiötz gevonden statische tonometerwaarden.

In hoofdstuk VII wordt een en ander medegedeeld omtrent ballistometerbouw.

ZUSAMMENFASSUNG

In den letzten Jahren wurde ein neues Element der Spannungsbestimmung des Auges eingeführt, u.z. eine ballistische Methode im Gegensatz zu der bis heute angewandten statischen Methode. Der Verfasser hat sich zur Aufgabe gestellt die theoretischen Grundzüge des ballistischen Tonometers weiter auszuarbeiten und experimentell zu prüfen.

Kapitel I gibt eine kurze Übersicht der Entwicklung der ballistischen Tonometrie in Muskelphysiologie und Augenheilkunde.

In Kapitel II werden Grundzüge der Stossmechanik behandelt und auf Grund deren wird ermittelt dass für angewandte ballistische Tonometrie des Auges nur der gerade zentrale Stoss in Betracht kommt.

In Kapitel III wird eine kurze Beschreibung gegeben des ballistischen Tonometers von Weve, womit der Verfasser seine Untersuchungen gemacht hat.

In Kapitel IV werden durch experimentelle Untersuchung die Factore, welche die ballistische Reaction des Phantomauges bestimmen, geprüft.

In Kapitel V wird eine neue Grösse in die Ballistometrie eingeführt, die als Mass für den Ballistometerausschlag verwendet werden kann und uns ermöglicht Ausschläge verschiedener Ballistometer miteinander zu vergleichen.

In Kapitel VI wird der neue Ballistometer geprüft mit einigen Stossgesetzen und werden weiter die Faktoren geprüft, die den ballistischen Rückschlag bestimmen; weiter wird in diesem Kapitel der Weg angegeben für einen neuen Gebrauch des Ballistometers, u.z. als Korrektor der mittels des Apparates von Schiötz gefundenen Tonometerwerte.

In Kapitel VII wird einiges mitgeteilt über Ballistometerbau.

SUMMARY

In the late years a new principle has been introduced for determining the tension of the eye, i.e. a ballistic method in contrast with the static method applied up to now. The author has made it his task to elaborate ampler and test by experience the theoretical principles of the ballistic tonometer.

Chapter I gives a short review of the development of the ballistic tonometry in muscle physiology and ophthalmology.

In chapter II the fundamental principles of the concussion mechanics are treated and on grounds thereof it has been established that for applied ballistical tonometry of the eye only the straight central concussion may be considered.

In chapter III a short description is given of the ballistic tonometer by Weve, with which the author made his experiments.

In chapter IV the factors that determine the ballistic reaction of the phantom-eye are examined.

In chapter V a new factor is introduced in the ballistometry, which may be used for measuring for the stroke of the ballistometer and which enables us to compare with each other the strokes of the different ballistometers.

In chapter VI the new ballistometer is tested to some concussion-laws and further the factors that determine the ballistic up-stroke are examined; at the same time the way for a new

use of the ballistometer is shown, i.e. as a corrector of the static tonometer values found by means of the apparatus by Schiötz.

In chapter VII some information is given about the construction of the ballistometer.

RÉSUMÉ

Dans les dernières années un nouveau principe pour la détermination de la tension de l'oeil fut introduit, notamment une méthode ballistique à l'opposé de la méthode statique appliquée jusqu'à présent.

L'auteur a envisagé d'élaborer plus amplement les principes théoriques du tonomètre ballistique et de les vérifier expérimentalement.

Le chapitre I donne un résumé succinct du développement de la tonométrie ballistique dans la physiologie des muscles et dans l'ophtalmologie.

Dans le chapitre II les principes fondamentaux de la mécanique de la percussion sont traités et en vertu de cela l'auteur arrive à la conclusion que ce n'est que la droite percussion centrale qui entre en ligne de compte pour la tonométrie ballistique appliquée de l'oeil.

Dans le chapitre III une courte description est donnée du tonomètre ballistique de Weve, avec lequel l'auteur a fait ses investigations.

Dans le chapitre IV les facteurs qui déterminent la réaction ballistique de l'oeil fantôme sont examinés expérimentalement.

Dans le chapitre V un nouveau facteur est introduit qui pourra être employé comme mesure pour l'indication du ballistomètre et qui nous permet de comparer entre eux les in-

dications de différents ballistomètres.

Dans le chapitre VI le nouveau ballistomètre est vérifié par moyen de quelques lois de percussion et ensuite les facteurs qui déterminent l'indication du ballistomètre sont examinés.

En même temps le chemin est indiqué pour un nouvel emploi du ballistomètre, notamment comme correcteur des valeurs statiques tonométriques trouvées au moyen de l'appareil de Schiötz.

Dans le chapitre VII des détails sont donnés sur la construction du ballistomètre.

LITERATUUR

Voor een volledige op dit gebied betrekking hebbende literatuuropgave wordt verwezen naar de onder no 4 en no 17 genoemde schrijvers.

1. Exner und J. Tandler, Mitt. a. d. Grenzgebiet der Med. und Chir., Bd. 20, S. 458, 1909.
2. M. Gildemeister, Z.f. Biol., Bd. 63, S. 187, 1914.
3. M. Gildemeister, Pflügers Arch., Bd. 195, S. 153-166, 1922.
4. R. Lloyd, Am. Journal of Ophth., May 1930.
5. H. K. Müller, Ber. Deutsch. Ophth. Ges., Heidelb. 1930.
6. A. K. M. Noyons, Over Autotonus der Spieren, Diss. Utrecht, 1908.
7. A. K. M. Noyons, U. J. v. Uexküll, Z.f. Biol., Bd. 56, S. 139, 1911.
8. J. Obbink, Onderzoek naar het Verband tusschen Inw. Oogdruk en Ballistische reactie, Diss. Utrecht, 1931.
9. H. Schade, Z.f. Exp. Path. u. Ther., Bd. 11, S. 369, 1912.
10. Steinhausen, Pflügers Arch., Bd. 205, S. 76, 1924.
11. Steinhausen, Pflügers Arch., Bd. 212, S. 31, 1926.
12. H. J. Thoulet, Recherches sur l'élasticité des minéraux et des roches, C.r. Acad. Scient., Paris 96, 1883.
13. J. v. Uexküll, Centralblatt für Physiol., Bd. 22, S. 33, 1908.
14. K. Vogelsang, Deutsche Ophth. Ges., Heidelb., Bd. 46, S. 61, 1927.
15. K. Vogelsang, Deutsche Ophth. Ges., Heidelb., Bd. 48, S. 161, 1930.
16. K. Vogelsang, Arch. f. Augenhk., Bd. 103, S. 317, 1930.
17. K. Vogelsang, Arch. f. Augenhk., Bd. 103, S. 357, 1930.
18. H. J. M. Weve, Kl. M. Bl. f. Augenhk., S. 234, Febr. 1932.
19. H. J. M. Weve, Arch. f. Augenhk., Bd. 105, S. 631, 1932.

STELLINGEN

I

Een rechte centrale botsing is tot het verkrijgen van bruikbare ballistometerwaarden noodzakelijk.

II

De ballistometeruitslag dient te worden uitgedrukt in een absolute waarde c.q. in het botsingsquotient.

III

De bloedbezinkingssnelheid-reactie dient ook in de oogheekunde te worden toegepast.

IV

Het meten der intracellulaire waterstof-ionen-concentratie is onlogisch.

V

De gunstige werking van een ketogeen dieet bij infectie der urinewegen is niet uitsluitend toe te schrijven aan de bactericide werking der urine met lage P_H .

VI

De secale extracten zijn in hun werking onbetrouwbaar en dienen te worden vervangen door nauwkeurig gedoseerde preparaten.

VII

De neurochirurgie dient als afzonderlijk specialisme door neurologisch onderlegde chirurgen te worden beoefend.

VIII

De invloed, die de normale voedselopname heeft op de bezinkingssnelheid der erythrocyten heeft klinisch geen betekenis.

Utt

19