

II.

METHODIEK.

§ 3. Enkele historische gegevens.

De verschillende onderzoekers, die zich tot aan het jaar 1913 aan het electrencephalographisch onderzoek wijdten, gebruikten voor hun metingen gevoelige galvanometers. Meestal berustten deze op de krachtwerking tusschen stroomgeleiders en magneten of tusschen stroomgeleiders onderling. Een bijzonder gevoelige vorm was de capillair-electrometer van *Lippman*.

Deze berust op de verkleining van de oppervlaktespanning van kwik in een verdunde oplossing van zwavelzuur door bijvoeging van kwikzout. Wanneer men kwik gebruikt als elektroden, in verdunde zwavelzuur, dan is rondom deze steeds kwikzout in oplossing aanwezig. Bij de kwikkathode wordt kwik uitgescheiden en de concentratie van het opgeloste kwikzout verminderd: de oppervlaktespanning wordt grooter. Bij de kwikanode wordt kwikzout opgelost, waardoor de oppervlaktespanning daalt.

Men denke zich een N-vormig buisje, waarvan het schuine capillaire been met het R-been een U-vormig buisje vormt. In dit U-vormig buisje zit kwik, daarboven met mercurosulfaat verzadigde zwavelzuur; in het linker been van de „N” zit eveneens kwik en daarboven dezelfde vloeistof.

Voert men een te meten stroom van den bodem van het laatste buisje naar het onderende van de kwikkolom in het rechterbeen van de „N”, dan steigt de kwikkolom in het capillaire buisje door verandering der oppervlaktespanning. Met een microscoop is het potentiaalverschil alom te bepalen.

Eventueel zou men deze zelfs kunnen vastleggen door projectie van den top van de kwikkolom op een loopende film, door middel van een projectie-oculair op den microscoop.

Terwijl in 1903 door *W. Einthoven* de snaargalvanometer werd geconstrueerd, was *Neminski* in 1913 de eerste, die deze galvanometer bij het onderzoek naar de electrobiologische verschijnselen van de hersenschors gebruikte. Sedert dien hebben practisch alle onderzoekers zich tot 1921 van een snaargalvanometer bediend.

Deze berust op de heweging van één, enkele millimeters lang, uiterst dun verzilverd kwartsdraadje, dat als stroomdrager fungeert in een zeer sterk magnetisch

veld (10.000 à 20.000 gauss). De beweging is aperiodisch, de insteltijd is c.a. 0.01 seconde, de weerstand is hoog (10.000 ohm) de gevoeligheid gaat tot 0.00001 microampère per schaaldeel. De uitslag van de snaar wordt op een loopenden filmband geprojecteerd en aldus vastgelegd.

§ 4. De oscillograaph.

In 1931 kreeg *Berger* de beschikking over een, speciaal voor zijn doel, door *Siemens* en *Halske* geconstrueerde oscillograaph. De naam oscillograaph zou kunnen doen denken, dat de registratie van de trillingen voor dit instrumentarium specifiek zou zijn. De eenvoudige wijze, waarop de registratie geschiedt, is, tezamen met den origineelen galvanometer, méér specifiek, doch het instrument onderscheidt zich van alle vorige meetinstrumenten hierin, dat het geen stroomsterktemeter is, maar een spanningsmeter.

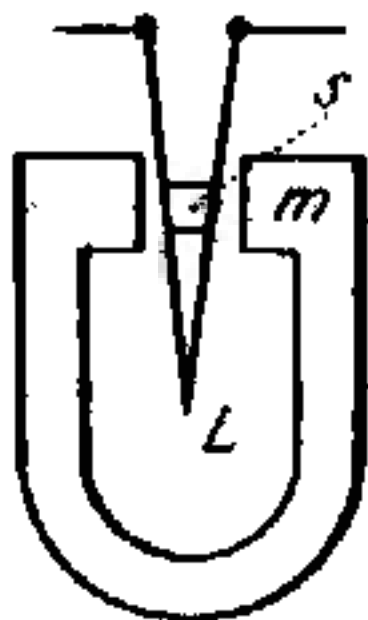


Fig. 1. Schematische voorstelling van de spiegelgalvanometer: m = magneet; L = lus; s = spiegel.

In dit instrument is gebruik gemaakt van een z.g. spiegelgalvanometer (zie het schema fig. 1). Een zeer licht beweegbaar spoeltje (meestal een enkele draadlus) bevindt zich in een sterk magnetisch veld (deze galvanometer draagt dan ook den naam dubbelspoelgalvanometer). Aan deze lus is een zeer licht spiegelkje bevestigd.

Een lichtbundel, op het spiegelkje geworpen, wordt teruggekaatst op een loopende film, welke door een

uurwerk wordt voortbewogen. Aldus wordt de uitslag van den galvanometer vastgelegd.

Terwijl deze galvanometer het „hart“ van de door *Berger* gebruikte oscillograaph is, en ook van de door *Siemens en Halske* geconstrueerde „Versterker-electrocardiograaph“ biedt het instrument als spanningsmeter bijzondere voordeelen tegenover den tot nu toe gebruikten stroomsterktemeter.

§ 5. Spanningsmeter of stroomsterktemeter?

Vijftien jaren geleden, in 1927, heeft *Kahlson* (*Göteborg*) (15) reeds aangetoond, dat voor de electrocardiographie eerder een registreermethode in aanmerking komt, waarbij de spanningen der bio-electrische stroomen electrostatisch overgedragen worden, d.w.z. zonder energie uit het orgaan zelf te ontnemen. Bij deze methode worden niet alleen de steeds wisselende overgangsweerstanden aan de elektroden, doch ook misvorming van het E.C.G. door electrolyse en polarisatie vermeden.

In het electrencephalogram hebben de belangrijkste elementen, de alpha-golven, een gemiddelde spanning, welke het tiende gedeelte van die der hartactiestroomen bedraagt; de vorm van de details der curven is nog van grooter belang dan in het E.C.G.; wat dus geldt voor de electrocardiographie geldt a-fortiori voor de electrencephalographie.

De methoden, waarbij de stroom direct uit de schors afgeleid wordt, zijn minder zuiver, omdat er energie verbruikt wordt, wanneer stroom uit het orgaan zou worden afgetapt, waardoor de spanning der energiebron daalt. De stroomcurve wordt bovendien hierbij vervormd door de verschillende weefsellagen, die de stroom doorloopt, een verschillenden specifiek Ohmschen weerstand hebben.

Voor den lezer, die belang stelt in de theoretische bijzonderheden door *Koopman en Hoelandt* (16) in een publicatie medegedeeld, wordt aan het bovenstaande nog het volgende toegevoegd:

De potentialen, welke van de grijze hersenschors worden afgeleid, wisselen periodiek van richting en amplitudo-grootte; aldus zijn het wisselstromen, welke een bepaalde frequentie bezitten.

Er zijn slechts twee manieren om deze energie af te leiden:

- 1) door middel van condensatorelectroden.
 - 2) door directe afleiding van stroom of spanning.
- ad 1) Hierbij stellen wij voorop, dat de elektrische energie van de grijze hersenschors zich langs den weg der capacatieve koppeling met de spierlaag op de schedel overplant; daar de spierlaag een bepaalden elektrischen weerstand heeft, zal hier een verdeling der potentialen plaats vinden.

Aangenomen, dat de energie zich capacatief overplant, dan zal deze weer door middel van condensatorelectroden afgeleid kunnen worden.

Deze capacatieve energie-overdracht hangt echter weer van een mathematische formule af, waaruit terstond volgt, dat de weerstand van een condensator in een wisselstroomveld omgekeerd evenredig is met de frequentie. m.a.w. bij lager wordende frequentie wordt de bedoelde weerstand naar verhouding grooter en omgekeerd.

In het E.E.G. gaat het echter om laag-frequentie-stroomen; zoodat het uitgesloten is, dat de energie door middel van condensatorelectroden wordt afgeleid.

- ad 2) De grijze hersenschors wordt omgeven door weefselagen, welke een verschillenden specifischen weerstand hebben; te onderscheiden zijn: de hersenschors, de hersenvliezen, de tabula interna, de diploë, de tabula externa, en de harde hoofdhuid. Al deze lagen geleiden meer of minder gemakkelijk den elektrischen stroom. De spanning verdeelt zich dan ook op een wijze, alsof de betreffende lagen weerstanden zijn, welke aan een energiebron parallel geschakeld zijn. Onderzoek der verschillende lagen bij het dierexperiment toonde aan, dat de verschillende curven synchroom verlopen.

Verder bleek, dat de spanningen in de verschillende lagen congruent zijn; had men nu gebruik gemaakt van een apparatuur, welke stroom onttrent aan de energiebron door haar eigen weerstand, dan zou deze weerstand natuurlijk een verandering in de spanningverdeling in de tusschen de elektroden liggende lagen tengevoege gehad hebben. Deze verandering zal grooter worden al naar gelang de weerstand van den meetkring kleiner wordt. Men moet hierbij ook rekening houden met den overgangsweerstand bij de plaatsen van afleiding.

Tönnies heeft in het „Journal für Psychologie und Neurologie” een theoretische uiteenzetting van de mogelijke energieverdeling gegeven, en deze aan de hand van een schema van de Aequipotentiaallijnen toegelicht, de lezer zij hier naar deze uiteenzetting verwezen (13).

Aan het bovenstaande kan nog de opmerking worden toegevoegd, dat het uit technisch-fysikallsch standpunt niet juist kan zijn eenerzijds van een of ander punt van de grijze hersenschors af te leiden en anderzijds van het oog.

Hierdoor zullen steeds grootere of kleinere potentiaalverschuivingen optreden, tengevolge van het onderscheid in specifieke weerstand van de tusschenliggende weefsels.

Beschouwt men n.l. de grijze hersenschors als energiebron, dan liggen de verschillende weefseldeelen als voorschakelweerstand met haar in serie, elk weefseldeel heeft echter, gelijk gezegd, een specifieke geleidbaarheid, zoodat hierdoor potentiaalverschuivingen tot stand komen.

De methode van *Berger* om de electrobiologische actiestroomen te registreeren moet dan ook wel als de juiste beschouwd worden, daar de gezamenlijke weefseldeelen weerstanden zijn, die parallel aan den meetkring geschakeld zijn en aldus het opnemen van zuivere spanningscurven niet verstoren.

§ 6. De versterker-oscillograaf.

Sedert men in de electrotechniek beschikt over de z.g.n. versterkingslampen (of radiolampen), die in de radio-techniek worden toegepast, is men in staat de uiterst zwakke electrobiologische actiestroomen primair duizendvoudig te versterken; hierdoor is het mogelijk geworden voor de meting van deze uiterst zwakke wisselstroomen gebruik te maken van minder gevoelige, doch daardoor kleinere en lichtere galvanometers.

Dit is aanleiding geweest tot het bouwen van het draagbare model van de electrocardiograaf.

De constructie van de radiolamp berust op de eigenschap, dat metaaloppervlakten bij verhitting electronen uitzenden. Indien men nu in de nabijheid van dit verhitte metaal (cathode) een metalen plaat (anode) brengt, welke t.o.v. het verhitte metaal een positief spanningsverschil heeft, worden de electronen naar de plaat getrokken. Er ontstaat een electronenstroom. Teneinde nu een praktische vorm van uitvoering te vinden, construeert men het te verhitten lichaam als een gloeidraad van een lamp en verwarmt men den gloeidraad elec-

trisch. Het geheel wordt dan in een luchtledige glazen of metalen ballon ingesmolten, o.a. om oxidatie van den gloeidraad tegen te gaan. Een radiolamp, welke, als boven beschreven, slechts 2 electroden bezit, heeft de eigenschap, dat ze, op geschikte wijze daartoe aangesloten, slechts in één richting, n.l. van anode naar cathode, stroom doorlaat. Wordt dus een wisselstroom door een dergelijk apparaat geleid, dan laat het slechts den stroom in één richting door en werkt het dus als gelijkrichter.

Naast de toepassing als een gelijkrichter en als detector vindt de lamp toepassing als versterker. Als men n.l. tusschen anode en cathode een metalen gaas of geperforeerde plaat, gewoonlijk rooster genaamd, aanbrengt, dan zal een deel der electronen op dit rooster neerslaan. Hierdoor remt de elektrische stroom zichzelf af. Geeft men anderszijds dit rooster een zekere spanning, dan zal deze spanning eveneens invloed gaan uitoefenen op den electronenstroom en dus op het spanningsverschil tusschen anode en cathode. Is de lamp goed geconstrueerd, dan zijn eventueele spanningsvariaties aan de anode belangrijk grooter, dan die op het rooster, welke ze veroorzaken. De spanningsvariaties op het rooster worden dus versterkt. De lamp werkt als versterker.

Ter technische volmaking worden nog vaak hulp-roosters ingebouwd, welke alle verschillende functies hebben; naar hun aantal spreekt men van dioden, trioden, penthoden, enz. (*Dubois*).

§ 7. *De electrencephalograaph van Koopman en Hoelandt.*

Bij al mijn onderzoekingen werd van dit instrumentarium gebruik gemaakt.

Om een electrencephalograaph te construeeren, welke eenvoudig in haar gebruik is en niet zoo buitengewoon kostbaar als de spannings-oscillograaph, die *Berger* gebruikte, maakten *Koopman* en *Hoelandt* gebruik van het draagbare model van de electro-cardiograaph van

Siemens en Halske (transportable *Siemens-Versterker Electro-Cardiograaph*) (16) (Fig. 2).

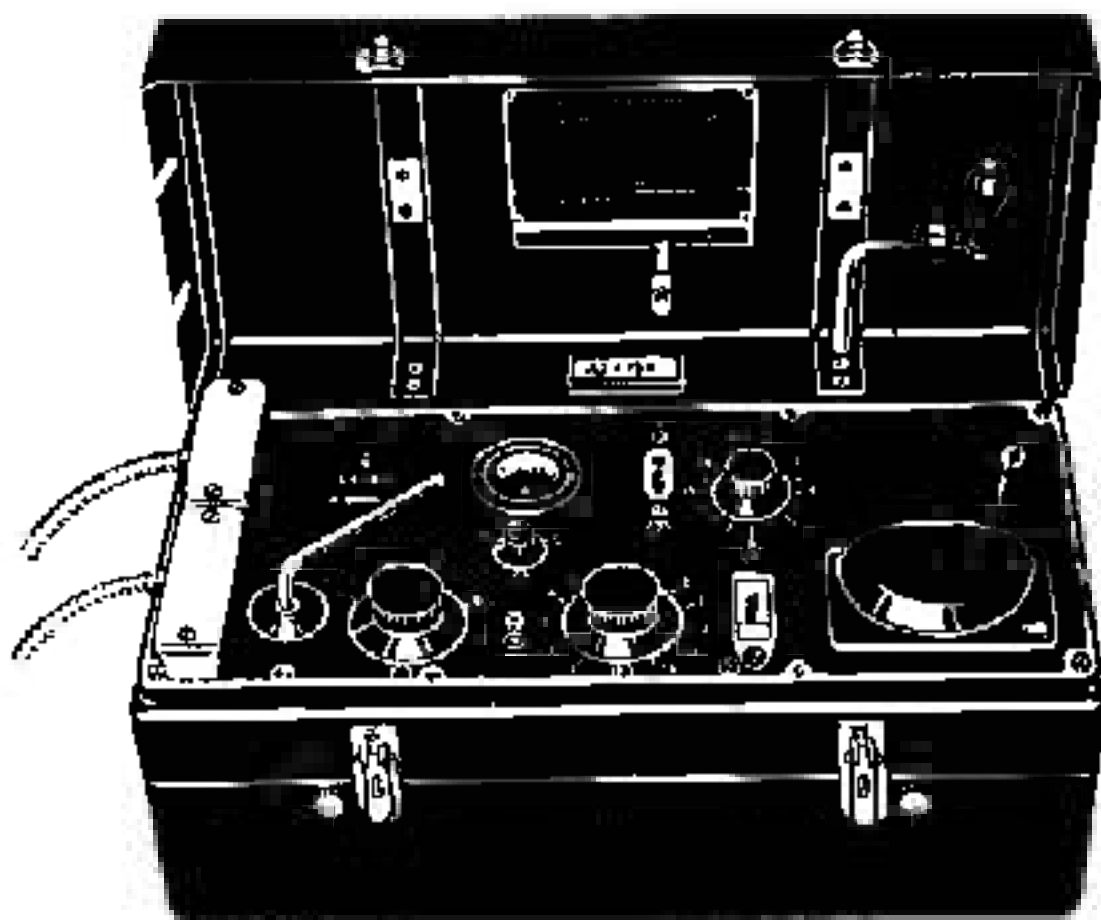


Fig. 2. Opname-apparaat van de draagbare electrocardiograaph. Hierbij behoort een metalen batterijkast, welke iets kleiner van afmetingen is. Geheel links op het schakelbord bevinden zich twee contactstekkers; een der smoren loopt naar den patient, de ander naar de batterijkast. Naar rechts volgt het eerst de handgreep, waarmede men den galvanometer in zijn geheel kan laten draaien, om door middel van het spiegelkje het licht op de filmstrook te projecteeren. Verder bevinden zich erop een bedieningsknop, waarmede men de wijze van afleiding kiest, een voor de gevoeligheid te regalen; en een om de afgeleopen papierlengte af te lezen. Geheel rechts bevindt zich de handgreep van de kassette, die men er naar boven uittrekt. Links hiervan het uitglansje, waarop aan den onderkant een gedeelte van den weerkaatsten lichtbundel wordt geprojecteerd. Men ziet hierop dus den uitslag van het galvanometerlichtpunt.

Deze electrocardiograaph is een drielamps-versterker. Hoewel de eigenfrequentie en de insteltijd (8 mil. sec.) van den galvanometer toereikend waren voor de frequentie van de hersenstroomen, was de meetgevoeligheid van het instrumentarium echter niet groot genoeg. Om deze meetgevoeligheid te verhoogen werd door de genoemde constructeurs een vóórversterker vervaardigd, die, gehouden in een metalen doos, op eenvoudige wijze op de contacten van de versterker electrocardiograaph kan worden gemonteerd; hierdoor wordt de gevoeligheid van dit instrument zoodanig verhoogd,

dat zij met die van *Berger's* instrumentarium overeenstemt ¹⁾ (Fig. 3 en 4).

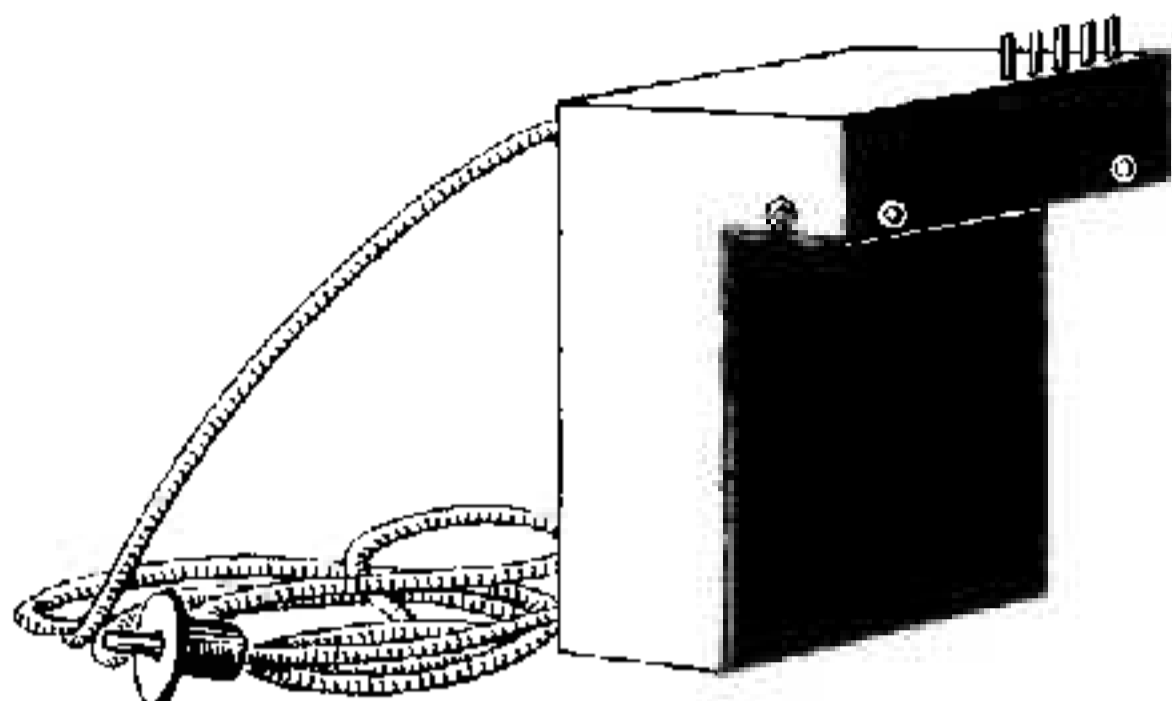


Fig. 3. De voorversterker.

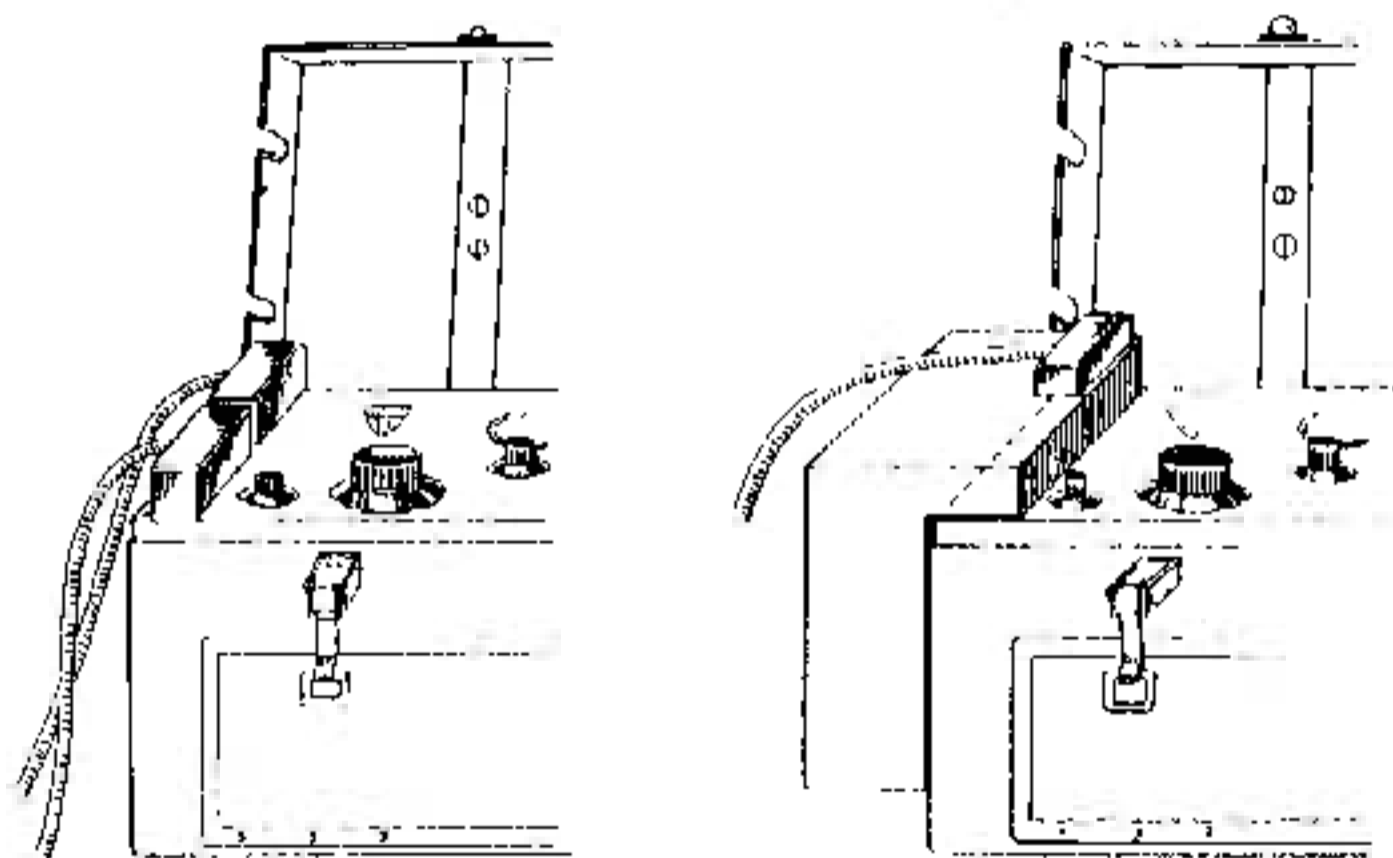


Fig. 4. De electrocardiograaf omgebouwd in electroencephalograaf.

Fig. 5 geeft een schematisch beeld van het proces van afleiding-versterking-meting en registratie der electrobiologische actiestroommen van de hersenschors van den mensch.

a is de patient, bij wien twee electroden zijn aange-

¹⁾ Het voorversterker apparaat wordt in de werkplaatsen van de N.V. Almeta te Amsterdam (filiaal van de Siemens-Reiniger-Werke A.G. Berlijn) vervaardigd.

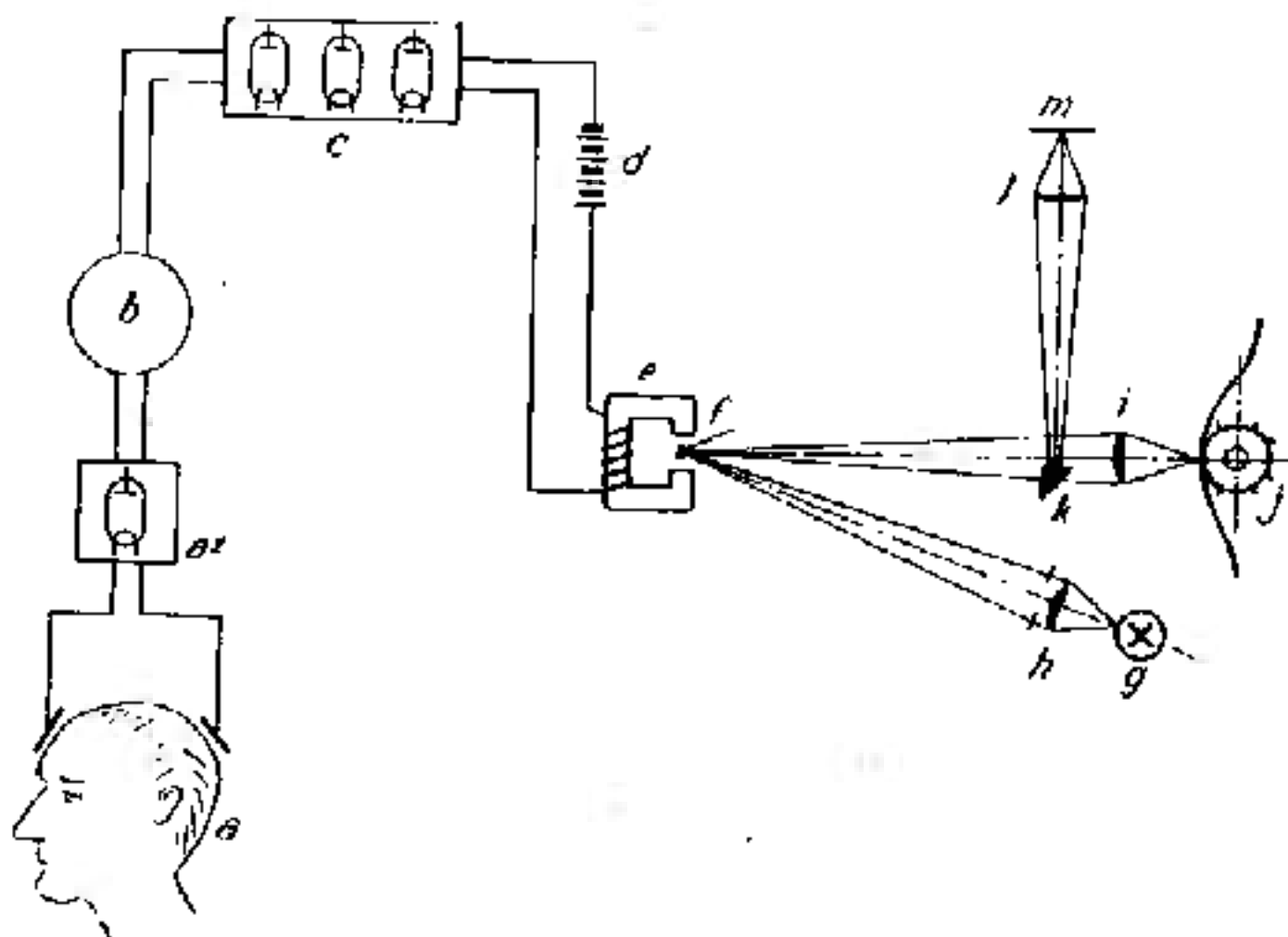


Fig. 5. Zie toelichting in den tekst.

gelegd: de twee electroden zijn hevestigd frontaal bij de haargrens en occipitaal op de kruin; a^1 is een ééns-lamps-vóórversterker; b is de kies-schakelaar (van de electro-cardiograaph), ingeschakeld volgens de eerste afleiding; c is de drielamps-versterker; d is de batterij; e is de galvanometer; f is de spiegel op de galvanometersnaakl.

Het optische systeem bestaat uit een lichtbron (g) met een lens (h), die het licht centreert op het galvanometerspiegeltje en het tijdschrijver-spiegeltje; de teruggekaatste lichtbundel passeert de lens (l), welke deze centreert op de film (j); vóór de lens (l) passeert de lichtbundel een prisma (k); hierdoor wordt een deel van het licht naar ~~boven~~ geworpen en wordt door de lens (l) gecentreerd op het matglasje (m), dat zich bevindt op het schakelbord. In dit matglasje ziet men dus tijdens de opname een trillend lichtpunt, dat een beeld geeft van de amplitudo, doch vooral bestemd is om te kunnen zorgen, dat de lichtbundel niet buiten de grenzen van de film valt. Hiertoe dient de handgreep op het schakelbord, waarmede men de galvanometer in

zijn geheel in dien stand kan draaien, dat de weerkaatste lichtbundel steeds op de film gecentreerd is.

Naderhand werd op het instrument nog een tijdmarkeeringsinrichting gebouwd. Hiermede is het mogelijk den patient of den proefpersoon een willekeurige prikkel, (b.v. een lichtprikkel) te geven, waarbij de reactietijd van den patient met exacte juistheid op de curve wordt gemarkeerd, terwijl de reactietijd van den experimentator volkomen wordt uitgeschakeld. Hiertoe werd een eenvoudige, volkomen doeltreffende, oplossing gevonden: op de film bevindt zich onder de opgenomen curve steeds een rechte lijn, waaraan men herkennen kan, dat de curve op de juiste wijze, d.w.z. niet ondersteboven, wordt bekeken. Door aan een kleinen hefboom te draaien wordt de genoemde rechte lijn onder de curve *onderbroken* en op hetzelfde moment wordt den proefpersoon een uitwendigen prikkel gegeven, doordat door het draaien aan het hefboompje tevens een electrisch lampje, of een schélsignaal enz., in werking wordt gebracht.