

ENIGE ASPECTEN VAN  
ELECTRISCHE PRIKKELING  
VAN HET EVENWICHTSORGAAN  
BIJ KONIJNEN

A. J. G. SWAAK

ENIGE ASPECTEN VAN  
ELECTRISCHE PRIKKELING  
VAN HET EVENWICHTSORGAAN  
BIJ KONIJNEN

ACADEMISCH PROEFSCHRIFT

TER VERKRIJGING VAN DE GRAAD VAN DOCTOR IN DE  
GENEESKUNDE AAN DE UNIVERSITEIT VAN AMSTERDAM,  
OP GEZAG VAN DE RECTOR MAGNIFICUS DR. A. DE FROE,  
HOOGLEERAAR IN DE FACULTEIT DER GENEESKUNDE, IN  
HET OPENBAAR TE VERDEDIGEN IN DE AULA DER  
UNIVERSITEIT (TIJDELIJK IN DE LUTHERSE KERK,  
INGANG SINGEL 411, HOEK SPUI) OP DONDERDAG 4 JULI  
1974 DES NAMIDDAGS TE 5 UUR

door

ANTHONIUS JOZEF GERARDUS SWAAK

GEBOREN TE UTRECHT

1974

PROMOTOR:

PROF. Dr. L. B. W. JONGKEES

CO-PROMOTOR:

Dr. W. J. OOSTERVELD

CO-REFERENT:

PROF. Dr. J. Th. F. BOELES

UNIVERSITEIT VAN AMSTERDAM

Keel-, Nens- en Oorbeelkundige Kliniek

(Prof. Dr. L. B. W. Jongkees)

Vestibulaire Afdeling (Dr. W. J. Oosterveld)

VOORWOORD

Hooggeleerde Jongkees ik dank U voor de gelegenheid die U gaf om dit proefschrift in Uw kliniek te bewerken.

Zeergeleerde Oosterveld, het leggen van de basis van dit werk heb ik aan U te danken.

Hooggeleerde de Boer, de kritische wijze waarop U het manuscript gelezen heeft en voor de raadgevingen ben ik U dankbaar.

De heren Melk en Tee ben ik zeer erkentelijk voor hun voortvarendheid en toewijding bij het ontwikkelen van de benodigde apparatuur.

De heren Bakker en de Ruyter, U beiden dank ik voor het verzorgen van het illustratieve gedeelte van het manuscript.

Waarde Varenhorst, U dank ik voor de praktische hulp en het verzorgen van de proefdieren.

Mevrouw Vonk-Schrama ik dank U voor het geduld waarmee U dit manuscript herhaaldelijk heeft getypt.

Voor de steun en hulp die ik van mijn ouders in mijn studiejaren heb gekregen ben ik hen zeer dankbaar.

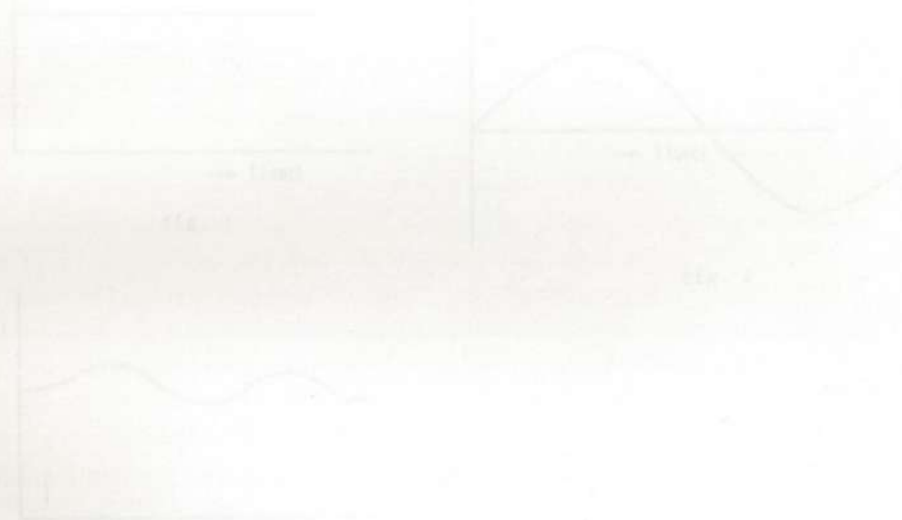
Vele ongenoemden hebben direct of indirect hun hulp verleend, zonder hun bijdrage was het tot stand komen van dit proefschrift zeer moeilijk geweest. Hen allen dank ik zeer.

## INHOUD

|                                                                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Algemene inleiding                                                                                                                             | 1  |
| Hoofdstuk I. Galvanische prikkeling                                                                                                            | 3  |
| Hoofdstuk II. Methoden van prikkeling en drempelwaardemeting                                                                                   | 9  |
| Hoofdstuk III. Waarnemingen en resultaten bij galvanisch vestibulair onderzoek                                                                 | 14 |
| Hoofdstuk IV. Registratiemethoden van oogbewegingen                                                                                            | 20 |
| Hoofdstuk V. Beschrijving van het reactiepatroon ontstaan door elektrische prikkeling                                                          | 23 |
| V.1 Methodiek en techniek                                                                                                                      | 23 |
| V.2 Elektrische prikkeling bij normale konijnen                                                                                                | 26 |
| V.3 Elektrische prikkeling bij konijnen waarbij aan één zijde het labrynt uitgeschakeld is                                                     | 32 |
| V.4 Elektrische prikkeling bij konijnen waarvan aan één zijde de nervus utricularis is doorgesneden                                            | 33 |
| V.5 Elektrische prikkeling bij konijnen die aan één zijde labryntloos zijn en waarbij aan de andere kant de nervus utricularis is doorgesneden | 34 |
| V.6 Elektrische prikkeling bij konijnen waarbij aan beide zijden de nervus utricularis is doorgesneden                                         | 34 |
| V.7 Elektrische prikkeling bij konijnen waarbij aan beide zijden de labrynten zijn uitgeschakeld                                               | 35 |
| V.8 Conclusie                                                                                                                                  | 35 |
| Hoofdstuk VI. Invloed van elektrische prikkeling op nystagmus die ontstaat door een laesie van het vestibulaire orgaan                         | 37 |
| VI.1 Nystagmus die ontstaat na labryntdestructie aan één zijde                                                                                 | 37 |
| VI.2 Bechterew nystagmus                                                                                                                       | 41 |
| VI.3 Nystagmus ontstaan na doorsnijding van één nervus utricularis                                                                             | 44 |
| VI.4 Nystagmus die optreedt na doorsnijding van de nervus utricularis beiderzijds                                                              | 42 |

|                                                                                                                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| VI.5 Nystagmus die ontstaat na doorsnijden van de linker<br>nervus utricularis bij een konijn met een uitgeschakeld<br>rechter labyrint                                | 44 |
| VI.6 Conclusie                                                                                                                                                         | 45 |
| Hoofdstuk VII. Invloed van elektrische prikkeling op nystagmus<br>veroorzaakt door thermische prikkeling en door alcohol                                               | 46 |
| VII.1 Invloed van een sinusvormige elektrische prikkeling<br>op de nystagmus veroorzaakt door een calorische prikkel aan<br>één oor                                    | 46 |
| VII.2 Invloed van sinusvormige elektrische prikkeling op<br>positie alcoholnystagmus                                                                                   | 47 |
| VII.3 Conclusie                                                                                                                                                        | 48 |
| Hoofdstuk VIII. Galvanische prikkeling en het ontstaan van een<br>"galvanische" nystagmus                                                                              | 49 |
| VIII.1 Inleiding                                                                                                                                                       | 49 |
| VIII.2 Invloed van de plaats der elektroden en de sterkte<br>van de stroom op het ontstaan van nystagmus opgewekt door de<br>gelijkstroom bij "normale" konijnen       | 49 |
| VIII.3 De minimale stroomsterkte die nodig is om nystagmus<br>op te wekken bij konijnen met perifere laesies in het vesti-<br>bulaire stelsel                          | 50 |
| VIII.4 Conclusie                                                                                                                                                       | 53 |
| Hoofdstuk IX. De invloed van "galvanische" prikkeling op een<br>nystagmus veroorzaakt door centrale prikkeling (centrale ny-<br>stagmus)                               | 55 |
| IX.1 De invloed van centrale prikkeling op de "galvanische"<br>nystagmus                                                                                               | 55 |
| IX.2 De invloed van "galvanische" prikkeling op de centrale<br>nystagmus                                                                                               | 55 |
| IX.3 Conclusie                                                                                                                                                         | 57 |
| Hoofdstuk X. De invloed van torsieschommeling op de "galvanische"<br>nystagmus en de invloed van de gelijkstroom op de nystagmus ver-<br>oorzaakt door draaiprikkeling | 58 |

|                                                                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Hoofdstuk XI. Intracranieële doorsnijding nervus vestibularis                                                     | 60 |
| Samenvatting van de resultaten verkregen door elektrische<br>prikkeling van het vestibulaire systeem bij konijnen | 61 |
| Summary                                                                                                           | 63 |
| Literatuur                                                                                                        | 65 |



## ALGEMENE INLEIDING

Het onderzoek (hoofdstuk V tot en met IX) is gericht op:

a) het beschrijven van de oogbewegingen (het "galvanische" reactiepatroon) die ontstaan tijdens elektrische prikkeling.

b) de vraag of dit "galvanische" reactiepatroon inlichtingen kan verschaffen die van belang zijn voor de diagnostiek bij vestibulaire aandoeningen.

Galvanische stroom is een gelijkstroom opgewekt door een element. Deze stroom verandert niet van richting en sterkte (fig. 1), dit in tegenstelling tot een wisselstroom, die wel van richting en sterkte verandert gedurende een tijdsinterval (fig. 2). Een pulserende gelijkstroom verandert wel van sterkte maar niet van richting (fig. 3).

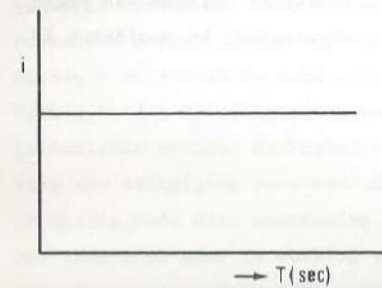


fig. 1

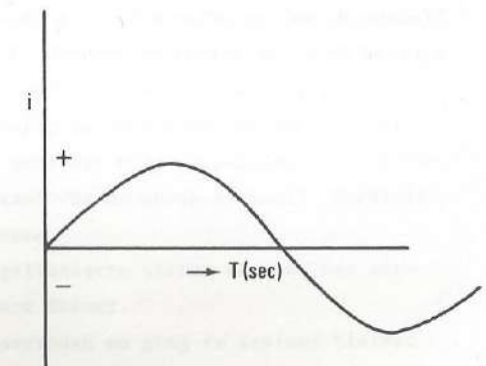


fig. 2

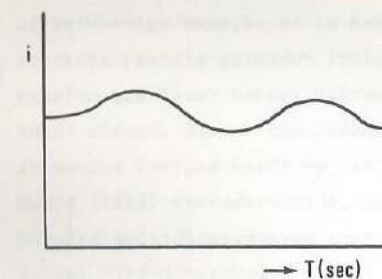


fig. 3

$i$  = stroomsterkte in coulomb/sec. = ampère ;  $T$  = tijd

fig. 1 Gelijkstroom

fig. 2 Wisselstroom

fig. 3 Pulserende gelijkstroom

Het onderzoek met een galvanische stroom vereist een speciale apparatuur en is bovendien omstreken wat zijn waarde betreft. Afhankelijk van de verkregen resultaten, geven de verschillende onderzoekers die deze methode van onderzoek hebben toegepast ook andere verklaringen voor de mogelijke galvanische werking op het vestibulaire geleidingssysteem. Dit wordt uiteengezet in hoofdstuk I.

De problemen die zich voordoen bij dit onderzoek zijn voornamelijk gelegen in de wijze van prikkelen, dat wil zeggen de plaats van de prikkelelectroden. Dit wordt beschreven in hoofdstuk II. Bij het verschil in de manier van prikkelen, zijn de resultaten afhankelijk van de gebruikte methode. Daardoor lijken sommige verkregen resultaten tegenstrijdig met elkaar (beschreven in hoofdstuk II en III).

Tijdens de galvanische prikkeling is de meest bruikbare methode van registreren de fotoëlectrische methode. Dit wordt uiteengezet in hoofdstuk IV.

## Hoofdstuk I

### GALVANISCHE PRIKKELING

#### VERKLARING VAN DE WERKING VAN DE GALVANISCHE STROOM OP HET VESTIBULAIRE ORGAAN.

In 1803 publiceerde Augustin therapeutische toepassingen van de galvanische stroom bij verschillende aandoeningen. Volgens Augustin was het Volta die in 1792 reeds vermeldde dat een galvanische stroom duizeligheid kon veroorzaken.

Purkinjé onderzocht in 1820 wat voor verschijnselen een continue, galvanische stroom kon veroorzaken. Zo vond hij bijvoorbeeld de daardoor veroorzaakte duizeligheidssymptomen.

Hitzig (1871) breidde deze studies uit en bevestigde de bevindingen van Purkinjé, dat duizeligheidsgevoelens veroorzaakt konden worden door een galvanische stroom. Daarnaast nam hij waar dat tijdens galvanische prikkeling een valneiging ontstond naar de kant van de anode (+ pool). Purkinjé en Hitzig dede deze waarneming bij mensen.

Het onderzoek naar de werking van de galvanische stroom en naar het aangrijpingspunt werd in 1889 verricht door Breuer.

Breuer veranderde de plaats van de elektroden en ging de invloed hiervan na op de valneiging. Hij plaatste de elektroden intracutaan, in de halfcirkelvormige kanalen en in het cerebellum bij duiven. Daarbij werd de sterkste reactie gevonden indien de elektroden in de halfcirkelvormige kanalen geplaatst waren. Galvanische prikkeling van het cerebellum had geen enkel effect. Breuer concludeerde hieruit dan ook, dat een gelijkstroom de meeste invloed heeft op het perifere vestibulaire orgaan.

Ewald (1892) veronderstelde, op grond van zijn waarnemingen, dat het vestibulaire geleidingssysteem geprikkeld kon worden door een gelijkstroom.

Strehl (1895) beschreef dat bij duiven met vernietigde labyrinten, het galvanische reactiepatroon onveranderd bleef, daarom veronderstelde hij dat de gelijkstroom centraal moest werken, wellicht op de vestibulaire kernen.

Jensen (1896) vond dat door galvanische stroom een hoofdbeweging op te wekken was. De mate van hoofdeviatie hing af van de sterkte van de stroom.

Nam hij de grootte van de hoofdbeweging als maat voor de reactie van de galvanische prikkeling, dan zag hij dat bij duiven zonder labyrint de stroom-

sterkte die nodig was om een bepaalde hoofddeviatie te provoceren, in de loop van de tijd moest worden opgevoerd.

Bárány (1906) onderzocht het galvanische reactiepatroon bij neurologische patiënten. Na hun dood werden deze patiënten pathologisch-anatomisch en histologisch onderzocht om na te gaan of er verband gelegd kon worden tussen de vastgestelde afwijkingen en het galvanische reactiepatroon. Enig verband heeft hij niet gevonden. Als verklaring voor de verschijnselen die optraden tijdens de galvanische prikkeling veronderstelde hij dat de continue stroom een anelectrotonus, respectievelijk een kathelectrotonus in het perifeer vestibulaire geleidingssysteem zou opwekken.

Brünings (1911) ging de effecten na die veroorzaakt werden door een wisselstroom, een pulserende en een continue gelijkstroom bij konijnen.

Deze proeven breidde hij uit door combinatieproeven te doen, waarbij proefdieren met twee stimuli tegelijk werden geprikkeld: galvanische stroom en draaiprikkels of thermische prikkels. De verschijnselen die veroorzaakt werden door een gelijkstroom ontstonden niet tijdens prikkeling met een wisselstroom of een snel pulserende gelijkstroom. Bij combinatieproeven met de gelijkstroom kon hij zowel additie als subtractie effecten registreren. Op grond hiervan stelde hij de theorie op dat de invloed van de galvanische stroom beruiste op een mechanische kataforese van de beweeglijke delen in de endolympe. De werking van een galvanische stroom is dezelfde als die van draai- of thermische prikkels, stelde Brünings: de kataforese van de endolympe doet een cupula-beweging ontstaan.

Hoewel hij het niet kon aantonen, veronderstelde Brünings dat met behulp van de galvanische stroom het daardoor mogelijk moest zijn, te differentiëren tussen een mechanische- of een nerveuze stoornis van het vestibulaire eindorgaan. Ter ondersteuning van zijn theorie stelde Brünings:

- a) een continue gelijkstroom kan een zenuw niet prikkelen, bijvoorbeeld de N. VII.
- b) de gelijkstroom kan een nystagmus veroorzaken, die beïnvloed wordt door zowel thermische- als draaiprikkels volgens het additie en subtractie principe.
- c) de richting van de nystagmus opgewekt door een galvanische stroom is afhankelijk van de richting van de stroom. Brünings kwam zo tot de kataforese-theorie.

Bard (1918) deed bij mensen dezelfde proeven als Brünings. De waarnemingen waren analoog aan die van Brünings.

Marx (1911) refereerde aan:

- 1) Ewald, die reeds gezien had dat bij dieren waarvan de labyrinten vernietigd waren toch een galvanische reactie op te wekken was,
- 2) en Lewandonsky (1906), die deze proeven bij apen had gedaan en eenzelfde resultaat vond.

Marx kon de hypothese van Brünings niet bevestigen. Hij voerde daartoe twee typen proeven uit: bij één serie dieren bracht hij een prop in de halfcirkelvormige kanalen, bij een tweede serie deed hij een totale labyrintectomie. De galvanische reacties waren bij beide series proefdieren onveranderd aanwezig en verschilden onderling niet. Daarmee weerlegde hij de theorie van Brünings.

Quix (1924) trachtte het ontstaan van de reacties door galvanische stroom te verklaren alsmede het verschil in drempelwaarde voor het ontstaan van de valreactie en de nystagmus. Voor het kanalenstelsel zou gelden dat de rustprikkel die hiervan uitgaat aan de zijde der kathode toeneemt en aan de kant van de anode afneemt. Het gevolg zijn reflexbewegingen van hals, romp en ledematen die het lichaam naar de anode toe doen draaien in het horizontale vlak (rotatie) en in het frontale vlak. De prikkeling van de vezels vanuit het otolietenapparaat ligt volgens Quix nog meer voor de hand omdat deze zenuwen vele malen dikker zijn dan die van het halfcirkelvormige kanalenstelsel. De otolieten van de utriculi (Lapilli), waarvan de as van de longitudinale macula horizontaal is, zijn synergisten en hebben een faciliterende invloed op de extensoren van romp, hals en ledematen.

De werking op het evenwichtssysteem heeft uiteraard plaats in het sagitale vlak. Bij galvanische prikkeling zou de excitatie aan de kant der kathode de remming aan de zijde der anode opheffen, zodat het totale effect nul zou zijn. De otolieten der sacculi (sagittae), waarvan de maculae met de longitudinale as verticaal staan, zijn antagogenisten en hebben een werking op de ogen en houdingsreflexen in het frontale vlak. Bij prikkeling zou excitatie aan de kant der kathode gepaard gaan met remming aan de kant der anode. De ogen zullen dan in het frontale vlak naar de kant van de kathode draaien waarbij in het frontale vlak ledematen, hals en romp in de richting van de verminderde rustprikkel draaien (abductie aan de kant der kathode, adductie aan de kant der anode) en dus wenden en draaien hoofd en romp naar de zijde van de anode.

Durand (1927) onderzocht patiënten met aandoeningen van het vestibulaire eindorgaan (bijvoorbeeld patiënten die een trepanatie operatie van het

laterale kanaal hadden ondergaan) en patiënten die een vestibulaire stoornis hadden met een centrale etiologie. Hij vond dat bij patiënten met een perifere laesie een onveranderd galvanisch reactiepatroon bestond, maar dat patiënten met een centrale laesie soms een afwijkend reactiepatroon hadden. Hij meende dat het aangrijpingspunt van de galvanische prikkel niet het vestibulaire eindorgaan zou zijn.

Dohlman (1929) verrichtte microscopisch onderzoek over endolymfhe-beweging en deed vergeefse pogingen om met behulp van galvanische stimulatie een stroming in deze vloeistof op te wekken. Hij kon de kataforese-theorie niet bevestigen. Bij galvanische stimulatie van konijnen met beiderzijds uitgeschakelde labyrinten zag hij een reactiepatroon dat gelijk was aan dat van normale konijnen.

Bij zijn operatie van de vestibulaire eindorganen werd het perifere deel van de nervus vestibularis intact gelaten. Door proeven kon Dohlman aantonen dat de nervus vestibularis te prikkelen was door een gelijkstroom van 0,1 mA, waardoor een oogbeweging ontstond. Na de nervus vestibularis intracranieel te hebben doorgesneden, kon hij geen oogbeweging meer opwekken en evenmin nystagmus. Dohlman concludeerde dat, indien het ganglion-vestibularis intact was, een normale galvanische reactie aanwezig bleef.

Werd de verbinding met de centrale kernen verbroken dan veranderde het normale galvanische reactiepatroon.

Huizinga (1931) bekeek de verandering van het galvanische reactiepatroon bij duiven waarvan het labyrint aan beide kanten uitgeschakeld was. Als parameter bekeek hij de invloed van de tijd verlopend na de uitschakeling van de labyrinten. De hoofdbeweging werd na verloop van tijd minder. Na een paar maanden was het hem niet meer mogelijk met behulp van een galvanische stroom een hoofdbeweging op te wekken. Indien geen galvanische reactie meer op te wekken was, vond hij bij histologisch onderzoek een totaal gedegenererde nervus octavus. Huizinga concludeerde dat na labyrintectomie aan beide zijden de galvanische reacties nog waren op te wekken, maar dat ze door de progressieve degeneratie van de zenuw weer verdwenen. Huizinga kon geen verschil in reactiepatronen aantonen tussen dieren die maar aan één kant labyrintloos waren en normale.

Na verwijdering aan beide kanten van de gangliae vestibulares vond hij eenzelfde resultaat als na uitschakeling van de labyrinten. Samenvattend stelde hij dat galvanische reactie optreedt door prikkeling van de nervus vestibularis. Ledoux (1948, 1958) ging bij kikkers de invloed van draaiprikkels, thermische

prikkels en van de galvanische stroom na op de spontane elektrische activiteit van de zenuwen van de drie halfcirkelvormige kanalen. Aan de kant van de negatieve pool ontstond een stimulatie van de elektrische activiteit van de nervus ampullaris. Bij het onderbreken van de stroom trad een remming op. De anode veroorzaakte een remming en bij het onderbreken van de stroom een stimulatie. Een remming van de elektrische activiteit van de nervus ampullaris, veroorzaakt door een draaiprikkel kon te niet worden gedaan door de stimulering uitgaande van de kathode, en een toename van de elektrische activiteit, veroorzaakt door een draaiprikkel kon geremd worden door de anode. Electroden waren bij dit onderzoek intracutaan aangebracht.

Ledoux vatte deze waarnemingen samen onder de begrippen kathelectrotonus en anelectrotonus (van Bárány).

Ristow (1960) herhaalde de experimenten van Dohlman bij konijnen. Deze had gevonden dat na labyrintuitschakeling beiderzijds toch nog galvanische reacties op te wekken waren. Hij stelde dat dit mogelijk was doordat er nog een tonisch evenwicht bestond, uitgaande van de ganglia van Scarpa, die nog intact bleven na labyrintectomie aan beide zijden.

Na labyrintectomie beiderzijds appliceerde Ristow aan één kant pantocaïne in de operatieholte. Tien minuten na de operatie bleek dat de drempel voor het opwekken van nystagmus 0,5 - 0,8 mA was. Tien minuten daarna steeg de hiervoor benodigde stroomsterkte, totdat geen nystagmus meer kon worden opgewekt. De galvanische reactie, aan de kant waar geen pantocaïne geapplied was, bleef onveranderd. Ristow veronderstelde dat er een spontane elektrische activiteit van het ganglion van Scarpa uitging. Als werkingsmechanisme van de galvanische stroom op het vestibulaire apparaat stelde hij dat de mogelijkheid, een nystagmus op te wekken met behulp van gelijkstroom gebonden was aan het intact zijn van het ganglion van Scarpa. Hennebert (1950) was het met de theorie van Ledoux eens. Hij voegde er aan toe dat de gevoeligheid van het perifere geleidingssysteem voor de galvanische stroom naar centraal afneemt. Wordt het perifere vestibulaire eindorgaan vernietigd dan vindt de aangrijping van een galvanische prikkeling op het niveau van het ganglion van Scarpa plaats, maar hiervoor is een hogere stroomsterkte nodig. Bij zijn onderzoek bij mensen keek hij naar het optreden van nystagmus, valneiging, duizeligheidsgevoelens en beweging van hoofd, hals, romp en armen. Pfaltz (1967, 1969) bevestigde net als Ewald, Bárány en Huizinga, dat na bilaterale labyrintectomie toch nog galvanische reacties op te wekken zijn. Dit zou mogelijk zijn via de spontane elektrische activiteit uitgaande van

het ganglion van Scarpa en de nervus vestibularis. Door beschadiging van de N. VIII treedt een verandering op in de spontane elektrische activiteit en daardoor vermindert tevens de galvanische reactie. Hierdoor moet het mogelijk zijn, met het galvanisch onderzoek te differentiëren tussen laesies op verschillende plaatsen in het perifere geleidingssysteem. Hij deed dit onderzoek bij mensen met behulp van de foto-electrische manier van registreren.

Overzicht van de opvattingen over de werking van galvanische stroom op het vestibulaire apparaat.

1. galvanische stroom heeft zijn invloed centraal op het vestibulaire systeem (Strehl, 1895).
2. galvanische stroom veroorzaakt een endolymphestroming; kataforese theorie van Brünings (1911) en Bard (1918).
3. galvanische stroom heeft invloed op het perifere vestibulaire systeem, de negatieve pool heeft een stimulerende invloed op het labirint terwijl de positieve pool de prikkelbaarheid van het labirint vermindert (Ewald, 1892).

Bárány (1906) sprak van anelectrotonus of kathoelectrotonus die de galvanische stroom in het vestibulaire apparaat opwekt. Mackenzie (1917) vond reeds dat bij partiële laesie in het geleidingssysteem een verandering in het reactiepatroon optrad. Daarmee toonde hij aan dat de gelijkstroom zijn invloed op de nervus VIII zou kunnen uitoefenen. Huizinga (1931) ondersteunde de theorie, dat de gelijkstroom zijn werking op de nervus VIII uitoefent. Deze theorie werd verder uitgewerkt en gemodificeerd door Dohlman (1929), Ledoux (1948, 1958), Hennebert (1950), Ristow (1960) en Pfaltz (1967, 1969).

## Hoofdstuk II

### METHODEN VAN PRIKKELING EN DREMPELWAARDEMETING

#### INLEIDING

Indien een proefpersoon met een continue galvanische stroom wordt geprikkeld, ontstaan een aantal verschijnselen (Hennebert, 1950). Deze verschijnselen treden op in een bepaalde volgorde, die afhangt van de stroomsterkte en van de wijze van prikkelen. Eerst beweegt het hoofd opzij en dit gaat over in een verdere buiging van de romp, die weer gevolgd wordt door een deviatie van de armen, vooropgesteld dat deze gestrekt voor het lichaam gehouden worden. De proefpersoon neigt tot vallen. Daarna ontstaat nystagmus. Bij verdere toename van de stroomsterkte ontstaat een gedwongen beweging naar één van beide zijden zowel als een sterke duizeligheidssensatie.

#### DE PLAATS VAN DE ELECTRODEN: (Bellens, 1950)

1. Ba Bp (Bi-auriculair Bipolair): beide elektroden worden ieder op een oor geplaatst; op het mastoid of op de tragus.
2. Ma Bp (Mono-auriculair Bipolair): één elektrode wordt op de tragus geplaatst, de andere elektrode op het mastoid van hetzelfde oor.
3. Ba Mp (Bi-auriculair Monopolair): twee elektroden met gelijke potentiaal ieder op een oor geplaatst, de andere elektrode op het lichaam (arm of rug).
4. Ma Mp (Mono-auriculair Monopolair): de prikkelelektrode wordt op de tragus of op het mastoid geplaatst, de indifferente elektrode op de rug, borst of arm.
5. Fronto mammaire stimulatie (methode van Dyrenfurth): bij deze methode bevindt zich de stimulerende elektrode (negatieve pool) op het voorhoofd, de andere elektrode op de borst.

Degeen die mono-auriculair prikkelt meent dat men hiermee één labirint kan prikkelen, dat wil zeggen het labirint aan de kant waar men de elektrode plaatst. Maar welk evenwichtsonderzoek men ook doet, men zal toch de beide evenwichtsorganen in hun onderlinge verband in het onderzoek betrekken. Over het algemeen geeft de Ba Bp wijze van prikkelen bij een geringe stroomsterkte reeds een verstoring van het evenwichtsgevoel (Bos, 1963). Een bijkomend argument om op Ba Bp wijze te prikkelen, is dat de elektrische stroom een pijnsensatie geeft, die ten nauwste verband houdt met de sterkte van de stroom. Bij Ba Bp methode blijkt daarnaast ook de

plaats van de electrode van invloed (Breson, 1971). De electrode geplaatst op de tragus gaf sterkere reacties te zien dan wanneer de electrode op het mastoid werd geplaatst.

Afhankelijk van de verschillende methoden van prikkelen zullen ook de resultaten ten opzichte van elkaar anders zijn (Hennebert, 1950; Breson, 1971). Wanneer men de stroomsterkte waardoor een nystagmus opgewekt wordt als parameter kiest, blijkt dat de drempelwaarden bij Ba Bp lager zijn dan bij Ma Bp wijze van prikkelen.

Bellens (1950) onderzocht de verschillende wijzen van prikkelen en daarmee tevens de verschillende parameters bij 50 proefpersonen, zoals het hoofdbuigingssymptoom, het duizeligheidsgevoel en de nystagmus.

Bij Ba Bp wijze van prikkelen was bij 44 personen van deze groep een nystagmus op te wekken, hoofdbuiging als duizeligheidsgevoel trad bij allen op. Met Ma Bp prikkeling kon bij 40 personen, met Ma Mp bij 36 personen, geen nystagmus worden opgewekt maar wel een deviatie van lichaam en hoofd. Wil men een bepaalde parameter bestuderen, dan zal de methode van prikkelen hierop dus van invloed zijn.

Piéron (1927) gebruikte de Ma Bp methode van prikkelen bij mensen en plaatste de elektroden als volgt: één electrode op het mastoid en de andere op het voorhoofd, of één op de tragus en de andere in de nek. Uit zijn onderzoek concludeerde Piéron dat bij de eerste wijze van prikkelen het verticale kanaal, op de tweede manier het horizontale kanaal stimuleerde. Quix (1924, 1927) vond dat bij de Ba Bp wijze van prikkelen reeds bij een stroomsterkte van 2 - 4 mA de karakteristieke verschijnselen ontstonden. Plaatste men de kathode bij het rechter oor en de anode op een indifferente plaats (Ma Bp), dan konden dezelfde verschijnselen opgewekt worden, maar hiervoor moest de sterkte van de stroom groter zijn, nl.

10-25 mA. De analyse van de vingerwisprouf tijdens de gelijkstroomprikkeling, waarbij de positie van de elektroden gevarieerd werden, deed hem veronderstellen dat, afhankelijk van de plaats van de elektroden, verschillende delen van het evenwichtsorgaan te prikkelen zouden zijn.

Dohlman (1926) vond bij Ba Bp wijze van prikkelen drempelwaarden van 1 - 5 mA.

Durand (1927) prikkelde Ba Bp en vond als drempelwaarde voor het ontstaan van nystagmus een stroomsterkte van 5 mA. Reeds bij 3 mA ontstond een sterk gevoel van duizeligheid.

Spiegel en Scala (1943) beschreven dat bij een stroomsterkte van 1-2 mA

en Ba Bp wijze van prikkelen een oogbeweging in de richting van de anode ontstond. Door een stroomsterkte van 2-4 mA werd een horizontaal-rotatoire nystagmus opgewekt, die gericht was naar de kant van de kathode. Met de plaatsing van één electrode op een indifferente plaats (Ma Mp) of beide elektroden ter weerszijde van één oor (Ma Bp) moest men, om dezelfde reacties te verkrijgen, de stroomsterkte verhogen (indien men de nystagmus als parameter nam).

Hennebert (1950) gaf als waarden bij Ma Mp wijze van prikkelen 10-20 mA en bij Ba Bp 2-3 mA op.

Peitersen (1963) gaf waarden op van 3-4 mA.

Pfaltz en Richter (1958, 1965) prikkelden Ba Bp en vonden drempelwaarden van 1-2 mA voor het ontstaan van een nystagmus.

Hahn en Menzio (1966) vonden de drempelwaarden voor het ontstaan van nystagmus bij 2-3 mA. Deze drempelwaarden werden bepaald bij mensen.

De drempelwaarden voor het ontstaan van valreacties lagen veel lager dan die voor het ontstaan van nystagmus. Spiegel en Scala (1943) gaven waarden op van 0,5-1 mA voor valreacties, Peitersen (1963) 0,2-0,8 mA. Blonder (1936) echter 0,5-2 mA, met behulp van Ma Bp wijze van prikkeling. Coats (1969) vond waarden van 0,5-1 mA.

Andere parameters die bestudeerd zijn, worden weer gekenmerkt door andere drempelwaarden.

Babinski (1901) vond voor de buigingsreactie van het hoofd waarden van 2,4-3,5 mA; de methode van prikkelen was Ba Bp.

Weil (1927) vond geen verschil in wijze van prikkelen; zowel uni- als bipolair ontstond een hoofdbuiging bij een stroomsterkte van 3 mA. Gelijke resultaten werden beschreven door Bourguignon en Déjean (1927). De andere parameters, zoals onstandvastigheid, valneiging respectievelijk onzekerheidsgevoel, zouden optreden bij een stroomsterkte van 2 mA en Ma Mp wijze van prikkelen (Hennebert, 1909). De methode van Dyrenfurth is weinig gebruikt; hiermee zou een valneiging naar de kant van het pathologisch veranderde labrynt op te wekken zijn. In gevallen waarin beide labrynten normaal zijn zou het resultaat van deze prouf negatief zijn.

#### ANDERE METHODEN VAN PRIKKELEN

Utsumi (1963) bracht een electrode (een zilveren bal) in het middenoor van het konijn en prikkelde op verschillende plaatsen. Afhankelijk van de

plaats van de electrode prikkelde hij het horizontale of het verticale kanaal. De reacties traden op bij een stroomsterkte van 0,08-0,150 mA. Prikkeling van het horizontale kanaal gaf horizontale oogbewegingen, het verticale kanaal zou tot verticale oogbewegingen aanleiding geven. Gelijksortige experimenten heeft Kornhuber (1965) verricht bij de kat. Hij ging na wat het effect van labyrint-polarisatie op de elektrische activiteit van de verschillende delen van het centraal zenuwstelsel was. Dezelfde experimenten beschreef Potthoff (1967). De gebruikte stroomsterkte was 0,1-0,2 mA. In de verschillende hersendelen konden specifieke reactiepatronen waargenomen worden. De reacties veroorzaakt door de galvanische labyrint-polarisatie waren niet constant, er trad een duidelijk gewinningseffect op. Toename van de stroom gaf toename van de ontladingsfrequentie, die daarna weer afnam.

Opmerkelijk was dat geen effecten te registreren waren indien de N.VIII doorgesneden was.

Lowenstein (1955) en De Vito (1956) gingen het effect na van calorisatie, rotatie en labyrint-polarisatie bij de steekpog op de elektrische activiteit van de neuronen van de nervus ampullaris horizontalis en de nucleus van Deiters. De effecten toonden onderling geen verschil. Daarnaast kon worden aangetoond dat een kwantitatieve sommatie van effecten optrad bij tegelijkertijd toedienen van twee impulsen.

Ledoux (1948, 1958) onderzocht de elektrische activiteit van de zenuwen van de halfcirkelvormige kanalen bij de kikker. Door endolymfische stroming kon een duidelijk effect aangetoond worden op deze activiteit en eenzelfde effect door een galvanische stroom. De passage van een galvanische stroom (Ba Bp) gaf een verhoging aan de kant van de kathode en een remming aan de kant van de anode op de spontane elektrische activiteit van de nervus ampullaris.

Omgekeerd gaf het verminderen van de stroom toeneming aan de kant van de anode en remming aan de kant van de kathode.

Labyrint-polarisatie, zoals beschreven door Kornhuber (1965), en prikkeling via de huid-electrodes, zoals beschreven door Ledoux (1948, 1958), hadden op de elektrische activiteit van de zenuwen die afkomstig waren van de semi-circulaire kanalen gelijke effecten.

Resumerend kan men zeggen dat de Ba Bp wijze van prikkelen de voorkeur

verdient boven Ma Bp. De argumenten hiervoor zijn:

- a) de drempelwaarden voor het ontstaan van nystagmus liggen lager.
- b) Ma wijze van prikkelen geeft eerder onaangename sensaties dan Ba.

WAARNEMINGEN EN RESULTATEN BIJ GALVANISCH VESTIBULAIR ONDERZOEK

De methoden van galvanische prikkeling, de wijze van plaatsing van de elektroden, zowel als het soort elektroden, verschillen bij diverse auteurs. De waarnemingen tonen een samenhang met de methode welke men gebruikt. Maar ook de parameters die men bestudeert, en het resultaat zullen afhangen van de gebruikte registratiemethode.

In een overzichtsartikel van Dohlman (1929) wordt het tot 1929 gedane onderzoek op het gebied van de galvanische prikkeling van het evenwichtsorgaan samengevat. Dohlman komt tot de conclusie dat galvanische prikkeling een oogbeweging veroorzaakt en dat deze door de galvanische prikkeling veroorzaakte oogbeweging waarschijnlijk niet te beïnvloeden is door laesies aan te brengen ter plaatse van het labrynt of het vestibulaire ganglion. Als hypothese stelde Dohlman dat tussen de beide vestibulaire organen een evenwicht bestaat. Door verstoringen van dit evenwicht, zoals veroorzaakt door labryntuitschakeling of zenuwdoorsnijding aan één kant, ontstaat nystagmus.

Voor het ontstaan van een door galvanische stroom veroorzaakte nystagmus kan mogelijkerwijs eenzelfde verklaring worden gegeven.

Durand (1927) bepaalde het galvanische reactiepatroon eerst bij normale mensen, daarna bij twaalf patiënten die een trepanatie-operatie hadden ondergaan. Bij zeven patiënten vond hij een normaal galvanisch reactiepatroon (nystagmus), bij vijf andere patiënten een beeld dat hij eigenlijk niet interpreteren kon. Durand onderzocht ook de handhaving van de staande houding en vond bij vijf patiënten een normale reactie, eveneens bij vijf een abnormale reactie, die bestond uit een valneiging naar achteren of naar de kant van het zieke oor.

Er was geen valneiging op te wekken naar de kant van het normale oor.

Bij één patient vond hij een verschil in de sterkte van de stroom nodig om de valreactie op te wekken naar links of naar rechts. Bij één patiënt kon hij de reactie niet interpreteren. Bij patiënten die centrale laesies hadden op het niveau van de vestibulaire kernen vond Durand een afwijkend reactiepatroon, dat van patiënt tot patiënt sterk wisselde. De benodigde stroomsterkte om een hoofddeviatie te krijgen was 10-15 mA met een grote variatie in de waarnemingen bij de verschillende patiënten. Durand con-

cludeerde uit zijn proeven dat Ba Bp of Ba Mp wijze van stimuleren ten opzichte van elkaar geen verschillend resultaat had. Wanneer een veranderde galvanische reactie bij een patiënt gevonden wordt, kan dit een teken zijn van vestibulaire pathologie. Een ongestoord reactiepatroon betekent echter niets. Bij een verandering in het valneigingspatroon kan dit duiden op vestibulaire pathologie maar een verhoging van de drempel wijst op een verandering die gelocaliseerd moet worden hetzij centraal in de vestibulaire kernengroep, hetzij perifeer in het vestibulaire geleidingssysteem. Als bij een normaal calorisch en rotatoir prikkelpatroon met een normaal gehoor een afwijkend galvanisch reactiepatroon gevonden wordt, kan dit duiden op endocraniële afwijkingen. Dit bleek bij een onderzoek dat Durand verrichtte bij patiënten met een hoofdtrauma. Weil (1927) ondersteunde de bevindingen van Durand. Zowel bij unipolaire als bij bipolaire wijze van prikkelen en bij onderzoek van de "vertige voltaïque" en het hoofdbuigsymptoom, kon hij bij een vestibulaire stoornis een richtingsvoorkeur naar één bepaalde zijde aantonen. Het was Weil niet mogelijk met behulp van galvanisch onderzoek te differentiëren tussen afwijkingen die centraal of perifeer in het vestibulaire systeem zijn gelegen.

Bourguignon (1927, 1950) nam als parameter de door galvanische stroom opgewekte hoofdbeweging, met als variabelen de tijdsduur van de prikkeling en de stroomsterkte (rheobase en chronaxie). Rheobase definieerde hij als de kleinste stroomsterkte waarbij de galvanische reactie niet verandert door de duur van de stroom. Chronaxie was voor hem de kortste tijdsduur waarbij nog net een reactie verkregen wordt bij een stroomsterkte van tweemaal de rheobase. De resultaten van Bourguignon bij proefdieren waarbij de nervus octavus aan één zijde was doorgesneden, waren als volgt: met behulp van Ba Bp wijze van stimuleren vond hij dat, om een kopbeweging te verkrijgen, gericht naar de kant waar de nervus octavus doorgesneden was, de stroomsterkte aanzienlijk groter moest zijn dan voor de tegenovergestelde kopbeweging.

Ditzelfde resultaat vond hij als hij in plaats van de nervus VIII door te snijden, de endolympe wegzoog en daarmee het perifere eindorgaan uitschakelde.

Hennebert (1950) vond als belangrijkste aspect van het galvanische onderzoek dat op een gemakkelijke en snelle wijze een indruk werd verkegen over de mate van prikkelbaarheid van het evenwichtsorgaan.

Pfaltz en Richter (1958) beschreven een galvanisch onderzoek bij een patiënt na een labyrinthectomie rechts. Zij vonden een galvanische nystagmus die in beide richtingen op te wekken was, maar met een richtingvoorkeur naar links (als parameter gebruikten zij duur en frequentie van de nystagmus). Bij een patiënt met een geopereerd neurinoom van de nervus VIII (links) vonden zij overeenkomstig resultaat maar nu met een richtingvoorkeur naar links. Waarschijnlijk berustte deze waarneming op een links-rechts verwisseling, dit in verband met hun latere resultaten die hieraan tegengesteld zijn.

In 1965 vatten zij hun waarnemingen samen:

a) afwijkingen van het perifere vestibulaire orgaan worden bij galvanisch onderzoek gekenmerkt door: 1) de drempel voor het ontstaan van de nystagmus is verhoogd, 2) zowel frequentie als amplitudo van de nystagmus gericht naar het pathologisch veranderde labyrint is verminderd.

Een richtingvoorkeur naar de niet-zieke kant is dus met behulp van galvanisch onderzoek aan te tonen.

b) afwijkingen van het perifere geleidingssysteem (nervus VIII) worden bij galvanisch onderzoek gekenmerkt doordat geen nystagmus op te wekken is, die gericht is naar de pathologisch veranderde zijde, ondanks opvoeren van de stroomsterkte tot 15 mA. Dit is in tegenspraak met hun waarneming gepubliceerd in 1958.

c) bij centrale laesies vonden Pfaltz en Richter een normaal galvanisch reactiepatroon, ook als de andere vestibulaire functieproeven negatief uitvielen. Daarnaast was een spontane nystagmus van centrale oorsprong meestal niet te beïnvloeden door galvanische stroom. Als eindconclusie stelden zij dat met behulp van galvanisch onderzoek een differentiatie mogelijk was tussen de plaatsen van eventuele pathologie. De galvanische reactie verschilde afhankelijk van de plaats van de laesie in het perifere geleidingssysteem of ter plaatse van het eindorgaan.

Hahn en Menzio (1966) onderzochten bij patiënten met verschillende aandoeningen de drempelwaarde voor het ontstaan van nystagmus. Zij registreerden met behulp van fotonystagmografie en prikkelden op de wijze Ba Bp (zoals Pfaltz ook deed).

Bij twee patiënten bij wie de nervus VIII doorgesneden was, bedroeg de drempel 9 mA. Bij 12 patiënten met een tumor in de pontocerebellaire hoek bedroeg de drempelwaarde 6-9 mA. Bij 24 patiënten die een aandoening in

de hersenstam hadden, waarbij hyporeflexie bestond bij zowel het calorische als het rotatieonderzoek bedroeg de drempel 4,5-8 mA. Bij 33 patiënten die een uitgevallen labyrint hadden (aan één zijde) bedroeg de drempel om een nystagmus op te wekken, gericht naar het uitgevallen labyrint, 1-2,5 mA. Als normale drempelwaarde geeft Hahn op: 2-3 mA. De auteurs stellen op grond van hun proeven vast dat, indien een hyporeflexie bestaat voor calorische zowel als voor rotatieprikkels en de drempel voor een galvanische nystagmus normaal is, een laesie van het vestibulaire eindorgaan bestaat. Is er hyporeflexie bij het calorische- en rotatieonderzoek en is de drempel verhoogd, dan bestaat een aandoening van het perifere geleidingssysteem (nervus octavus). Tevens nemen zij waar dat een nystagmus die ontstaat na een labyrinthectomie niet dusdanig beïnvloed kan worden door de gelijkstroom dat zijn richting omslaat.

Pfaltz (1967) bepaalde de drempelwaarde bij normale mensen en vond 1-2 mA. Bij tien patiënten van wie vijf een labyrinthectomie hadden ondergaan en van wie vijf een beschadigd labyrint ten gevolge van een hoofdtrauma hadden, bleef de drempelwaarde 1-2 mA. Het calorische onderzoek van deze groep patiënten was negatief aan de kant van het pathologisch veranderde labyrint. Daarentegen was bij een groep van vijf patiënten met een acusticus-neurinoom geen galvanische nystagmus op te wekken. Bij patiënten die leden aan centraal gelocaliseerde processen, zoals aandoeningen gelegen in de hersenstam of op subcorticaal niveau, werden normale drempelwaarden gevonden. Uit dit onderzoek trok Pfaltz de conclusie dat met behulp van de drempelwaardemeting een differentiatie tussen laesies in het vestibulaire systeem mogelijk was. De waarneming van Pfaltz dat de drempelwaarde bij centrale aandoeningen niet verandert, is in tegenspraak met vergelijkbare proeven van Hahn en Menzio (1966).

Pfaltz en Koike (1968) onderzochten bij 75 patiënten de drempelwaarden. De diagnose van de afzonderlijke patiënten was met behulp van neurologisch, oftalmologisch, otoneurochirurgisch, neurochirurgisch onderzoek of bij een sectie, onomstotelijk vastgelegd. Bij patiënten die een hersenstamlaesie hadden, al of niet met een spontane nystagmus, werd een normaal galvanisch reactiepatroon gevonden.

Ondanks het feit dat in deze groep patiënten doofheid en geen reactie op calorische prikkeling werd gevonden, toonde galvanisch onderzoek geen afwijkingen aan. Bij laesies op corticaal niveau was de drempel normaal,

nochtans was nystagmusrichtingsvoorkeur aan te tonen naar de kant van de laesie. Dit was in tegenspraak met hun vorige onderzoeken.

Een uitbreiding van dit onderzoek publiceerde Pfaltz in 1969. Bij een groep van 100 patiënten die gekenmerkt werden door zowel een unilateraal gehoorverlies als een vestibulaire uitval, hetzij partieel, hetzij totaal, was de drempelwaarde symmetrisch normaal, 1-2 mA. Van tien patiënten die een acusticus neurinoom hadden, was het bij acht niet mogelijk een nystagmus op te wekken, gericht naar de kant van de tumor.

Pfaltz opperde dat laesies in het perifere geleidingssysteem de galvanische drempelwaarde verhogen, terwijl de ernst van de aandoening de grootte van de stijging in de stroomsterkte bepaalde.

Coats (1969) gebruikte als parameter de valneiging veroorzaakt door de Ba Bp wijze van prikkelen. Bij onderzoek van patiënten met een eindorgaanlaesie werd een symmetrisch reactiepatroon gevonden. Daarnaast vond Coats bij drie patiënten met een retro-vestibulaire laesie dat een valneiging naar de kant van de laesie niet meer op te wekken was. Dit was dus een bevestiging van het onderzoek van Pfaltz.

Uit de proeven van Pfaltz, Richter, Koike, Coats en Hahn blijkt dat, na totale destructie van het vestibulaire orgaan, het galvanische reactiepatroon niet verandert, maar dat bij een laesie van het perifere geleidingssysteem een verandering optreedt, zowel in de nystagmus (duur, frequentie en drempelwaarde), als in de valneiging.

Hierdoor zou een differentiëring mogelijk zijn tussen een aandoening van het vestibulaire orgaan en een aandoening van het perifere neuron. Bij galvanisch onderzoek van patiënten met centrale laesies, zoals cerebello-pontine tumoren, supratentoriële tumoren, of hersenstamlaesies, werd geen verandering in het reactiepatroon gevonden, ondanks het feit dat de andere vestibulaire proeven negatief uitvielen. De resultaten hiervan zijn nog wel tegenstrijdig aangezien Hahn en Menzio wel verhoogde drempelwaarden vonden en Pfaltz normale.

Daarnaast vond Pfaltz zowel bij subcorticale als bij corticale laesies een nystagmusrichtingsvoorkeur. Tevens vermeldde Pfaltz (1969) dat een spontane vestibulaire nystagmus van perifere oorsprong onderdrukt kan worden door galvanische prikkeling. Centrale nystagmus wordt echter nauwelijks of niet veranderd door galvanische prikkeling. In de gepubliceerde waarnemingen zitten toch discussiepunten. Bourguignon (1950) vond geen ver-

schil in het reactiepatroon tussen een vestibulaire laesie van het eindorgaan en een van het geleidingssysteem. Beide worden gekenmerkt door een nystagmusrichtingsvoorkeur. Dit werd eerst bevestigd door Pfaltz (1958), maar in latere publicaties gelooft Pfaltz dit niet meer. Hij beschrijft dan een duidelijk verschil tussen eindorgaanlaesies en laesies van het perifere neuron.

Dit werd bevestigd door Hahn en Menzio, hoewel deze laatsten, ondanks het feit dat de nervus octavus was doorgesneden, toch nog een galvanische reactie konden opwekken, zij het dat de drempelwaarde wel verhoogd was. Dit was volgens Pfaltz (1969) niet mogelijk.

REGISTRATIE METHODEN VAN OOGBEWEGINGEN

1. Mechanische methode: Buys (1909) maakte gebruik van de kromming van de oogbol; de oogbolbeweging werd met behulp van een soort luchtkussen op een schrijver overgebracht (pneumokymografische methode). Deze methode werd door Ohm (1914) en Witmer (1917) gevarieerd: het luchtkussen werd vervangen door hevels, die op het gesloten ooglid werden geplaatst en de vormverandering van dit ooglid die ontstaat bij oogbolbewegingen, geregistreerd (kymografisch).

2. Optische methode: Von Judd, Mc Allister en Steel (1905) brachten op de cornea een merkteken aan. Dit teken werd met een camera negen maal per seconde gefotografeerd. Pinaroli (1913), Abrahams en Ohm (1913) verbeterden deze techniek waardoor zij, door meer opnamen te maken, beter in staat waren de oogbewegingen te bestuderen. Abrahams merkte de cornea met een kruisfiguur waardoor betere analyses mogelijk waren.

Orschansky (1898), Dodge (1907) en Trendelenburg (1911) ontwikkelden een methode waarbij door een klein, op de cornea geplaatst spiegelkje, een lichtbundel werd teruggekaatst. Kort geleden werd deze methode nog beschreven door Kristensen (1953). Combinatie van de mechanische en optische methoden werden beschreven door Struycken (1918) en Kuilman (1931).

3. Electriche methode: Schott (1922) beschreef een methode waarbij met behulp van een snaar-galvanometer zwakke potentiaalverschillen die ontstaan door oogbewegingen tussen twee in de conjunctivaalzak gelegen elektroden gemeten konden worden. Later werd deze methode door Meyers (1929) en Jacobson gemodificeerd.

Meyers gebruikte nog een galvanometer; Jacobson een vacuumbuisversterker. Zij veronderstelden dat zij de actiepotentialen van de extraoculaire oogspieren maten. Dit werd weerlegd door Mowrer (1936), die aantoonde dat het potentiaal verschil tussen de cornea en retina kon worden opgevangen en geregistreerd. Het bestaan van een cornea-retinale potentiaal was reeds in 1849 beschreven door Dubois Reymond. Deze methode werd daarna verbeterd en als zodanig is het thans de meest gebruikte manier om oogbewegingen te registreren. Daarnaast werd door Robinson (1963) een elektromagnetische wijze van registreren beschreven. Met behulp van een in-

ductiespoeltje in een lens, die zich op de cornea bevond, kon hij de bewegingen van het oog registreren. Dit gebeurde door het meten van de spanningswisselingen die in het spoeltje geïnduceerd werden door een magnetisch veld waarin de patiënt geplaatst was.

4. Foto-electrische registratiemethode: Torok (1951) introduceerde een methode om het verschil in lichtterugkaatsing door de oogbol om te zetten in elektrische impulsen. De hoeveelheid gereflecteerd licht dat van de sclera komt, zal groter zijn dan dat wat van de iris komt. Als een lichtbundel half op de sclera en half op de iris wordt gericht, zal door de oogbewegingen minder of meer licht worden teruggekaatst. Als een lichtgevoelige cel voor het oog geplaatst wordt, kan door een wisselende hoeveelheid gereflecteerd licht een wisselende elektrische stroom doen ontstaan, die geregistreerd kan worden.

Deze methode werd verder ontwikkeld door Pfaltz en Richter (1956).

Een verbetering beschreef Hykiel (1963) door gebruik te maken van vier fotocellen. Door de methode te toetsen aan mechanische modellen, maakte hij haar ook voor kwantitatieve oogmetingen geschikt. Young (1963) kon met deze methode de snelheid van de langzame fase nauwkeurig meten. De foto-electronystagmografische wijze van registreren werd verder beschreven door Takashima (1971), Gestewitz (1972), Forgács en Járfa (1973). Het gebruik van de electronystagmograaf tijdens het onderzoek met gelijkstroom bleek niet mogelijk; Gabersek (1965); Breson en Krag (1967); Bos, Jongkees en Kruidenier (1968).

Bij galvanisch onderzoek verkreeg men nystagmogrammen die oogbolbewegingen suggereerden waarvan de frequentie gecorreleerd kon worden aan het hartritme, Bos (1968); Gabersek (1965). De verklaring hiervoor is waarschijnlijk dat door de bloedvoorzieningen de weerstand van de huid schommelt, meegaand met de polsslag. Deze schommelingen in weerstand worden door de electronystagmograaf gemeten. Een bruikbare methode om toch de oogbeweging te registreren tijdens de galvanische stimulatie bleek de foto-electrische; Pfaltz en Richter (1956). Daarnaast werden nog andere methoden van registreren ontwikkeld om toch de effecten van gelijkstroom op de vestibulaire reflexen vast te leggen.

Cervantes (1952) beschreef de goniometer, die nauwkeurig de hoofdbewegingen weergeeft die ontstaan tijdens galvanische prikkeling. Coats (1969, 1972, 1973) bestudeerde lichaamszwaaibewegingen (body-sway). Als bruikbare parameter vond hij de beweging naar lateraal die tijdens

de gelijkstroomstimulatie ontstaat. Naast deze verplaatsing naar lateraal ontstaat ook een lichaamszwaai in voor-achterwaartse richting, die hij echter niet kon interpreteren.

Kapteyn (1968), Nashner (1971, 1972), Njiokiktjien (1971) en De Wit, (1972) beschreven de stabilograaf. De verplaatsing ten opzichte van het centrum van een platform waarop de proefpersoon staat, wordt op vectografische wijze als functie van de tijd op papier geregistreerd en wel afzonderlijk in voor-achterwaartse en voor-zijdelingse bewegingen.

Ook met deze methode bleek bij galvanisch onderzoek de zijdelingse verplaatsing de enig interpreteerbare parameter. Het voordeel van het registreren van lichaamsbewegingen als effect van het galvanisch onderzoek is volgens Coats, dat de gevoeligheid groter is, dat wil zeggen dat men een veel lagere stroomsterkte kan gebruiken.

Omdat deze laatste methode moeilijkheden oplevert bij het onderzoek van konijnen, gebruikten wij foto-electronystagmografie voor het registreren.

## Hoofdstuk V

### BESCHRIJVING VAN HET REACTIEPATROON ONTSTAAN DOOR ELECTRISCHE PRIKKELING

#### V.1 METHODIEK EN TECHNIEK

##### Foto-electrische registratie van de oogbeweging

De proeven zijn gedaan op konijnen (foto 1), die worden vastgebonden in

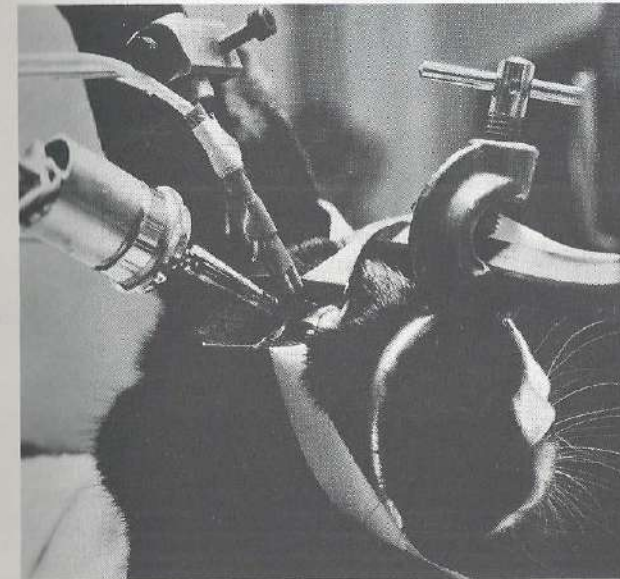


Foto 1. De foto illustreert hoe het konijn gefixeerd is met behulp van een kopklem en verband.

buikligging met de kop gefixeerd in een klem, zodanig dat de naso-occipitale as in het sagittale vlak ligt en het vlak door de gesloten kaken een hoek van ongeveer  $40^\circ$  met het horizontale vlak maakt. De bi-temporale as is horizontaal. Bewegingen van kop en lichaam worden vermeden door het lichaam met verband aan een plank te fixeren. De oogleden worden opengehouden door een

oogspreider. Oogbewegingen worden geregistreerd met behulp van twee fotocellen, waarvan de één op de iris, de ander op de sclera gericht wordt (zie foto 2, blz. 24). Dit deel van de cornea wordt verlicht door een lichtbundel. Door het bewegen van het oog zal het deel van de lichtbundel, dat op de sclera gericht is, toe- of afnemen. Doordat het witte oppervlak meer licht terugkaatst dan het donkere vlak van de iris, zal de totale hoeveelheid gereflecteerd licht toe- of afnemen afhankelijk van de oogbeweging.

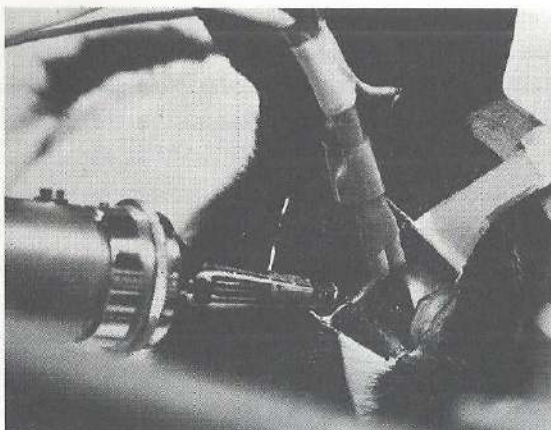


Foto 2. In deze opstelling van de twee fotocellen en de lichtbundel worden de oogbewegingen geregistreerd.

#### Torsieschommel

De torsieschommel wordt gebruikt zoals die beschreven is door Oosterveld (1965). Met behulp van de torsieschommel wordt door een hoekversnelling in het horizontale vlak een nystagmus in dit vlak opgewekt.

#### Parallelschommel

De parallelschommel zoals die beschreven is door Oosterveld (1970), wordt gebruikt. Hiermee worden lineaire versnellingen opgewekt. Door stimulatie van de otolieten treden compensatoire oogbewegingen op. De parallelschommel beweegt zich loodrecht op de lengteas van het konijn, behalve waar dit anders is aangegeven.

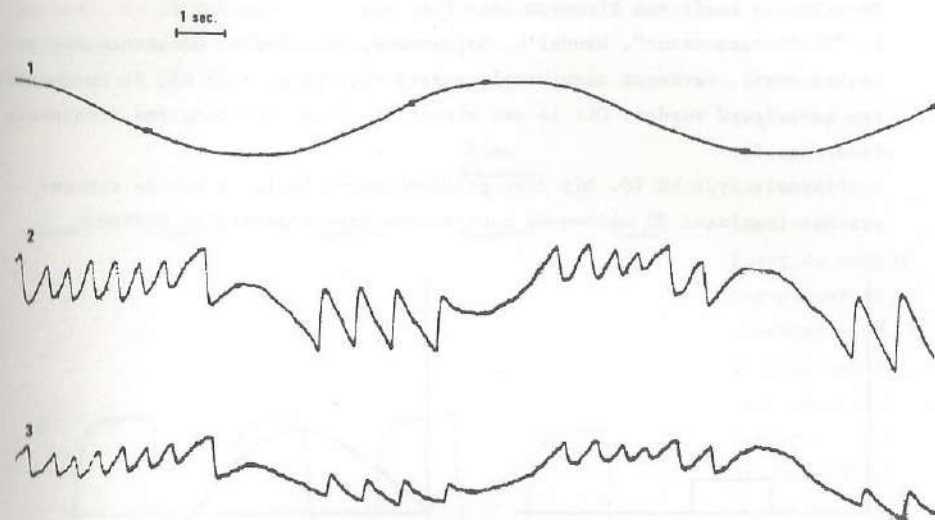
Om de foto-electronystagmografie te vergelijken met de electronystagmografie werden beide methoden gelijktijdig toegepast (curve 1, blz. 25).

Gelet werd op:

- a. Richting van de oogbeweging
- b. Differentiëring van de langzame en snelle fase
- c. Frequentie en amplitudo van de oogbeweging

Curve 1 toont de registratie van de oogbeweging van een konijn tijdens de

Deze lichtintensiteitsveranderingen veroorzaken in de fotocellen stroomimpulsen die met een versterkersysteem op een pen-schrijver worden overgebracht. Tijdens het onderzoek wordt alleen gekeken naar de horizontale component van de nystagmus, tenzij anders aangegeven.



Curve 1.

1. Torsieschommelregistratie
2. Foto-electrische registratie
3. Electronystagmografie

torsieschommeling. Beide methoden van registreren werden gelijktijdig gebruikt en gaven bijna identieke curves van hetzelfde oog.

De oogbeweging opgewekt door parallelschommeling, wordt door de foto-electronystagmografische wijze van registreren goed weergegeven. Het quantitatief weergeven van de grootte van een oogbeweging bleek moeilijk met deze manier van registreren. Het is echter mogelijk om de richting van een oogbeweging duidelijk weer te geven, in de proeven is dan ook alleen maar gekeken naar de richting en de frequentie van de door elektrische prikkeling opgewekte nystagmus.

#### Methoden van prikkelen

- a. Tektronix stimulator (type 161 pulse generator en type 162 wave generator). De maximale stroomsterkte is 2,5 mA; daarnaast zijn zowel de duur van de impuls, het impulsvrije interval als de polariteit te veranderen.

De stimulus heeft een blokvorm (zie fig. 4).

b. "Tieftongenerator", Wandel u. Goltermann, Reutlingen. De stroom die geleverd wordt, verloopt sinusvormig tussen  $-2,5$  mA en  $+2,5$  mA; de frequentie kan gevarieerd worden. Dit is een wisselstroom met een langzame frequentie (zie fig. 5).

c. Oltronix type LS 70. Bij deze gelijkstroom-stimulator kan de stroomsterkte (maximaal 30 mA) en de duur van de impuls gewijzigd worden.

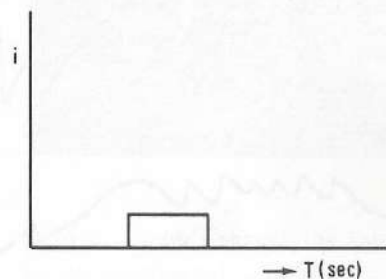


fig. 4

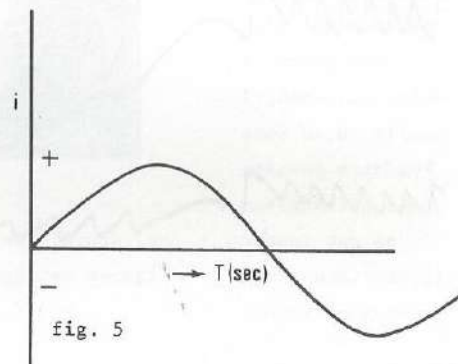


fig. 5

$i$  = stroomsterkte ;  $T$  = tijd

fig. 4. Impulsregistratie van de prikkel die afkomstig is van de Tektronix stimulator

fig. 5. Impulsregistratie van de "Tieftongenerator".

De naaldelectroden waarmee het konijn geprikkeld wordt, worden subcutaan aangebracht. Tenzij anders vermeld wordt altijd Ba Bp geprikkeld.

## V.2 ELECTRISCHE PRIKKELEN BIJ "NORMALE" KONIJNEN

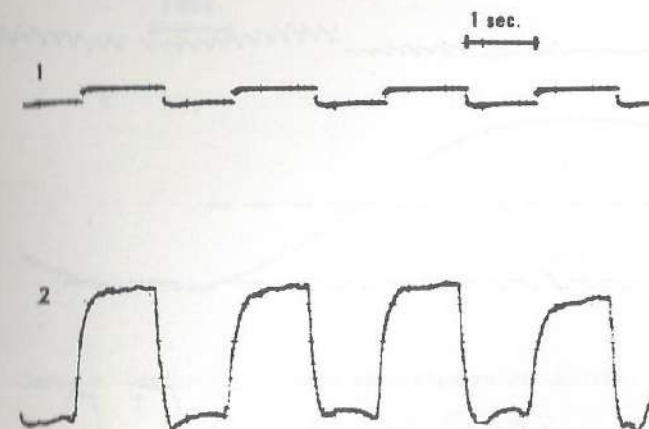
Tektronix stimulator (blokvormige prikkel)

Waarnemingen werden verricht bij 25 konijnen. Tijdens de prikkeling, waarbij de (+) pool bij het rechter oor is geplaatst, treedt een oogboldeviatie naar rechts-achter en naar beneden op van het rechter oog die constant aanwezig blijft zolang de elektrische prikkel duurt. Het linker oog maakt een beweging tegengesteld aan de beweging van het rechter oog, naar voren en naar omhoog.

Het omgekeerde vindt plaats wanneer de (+) pool zich aan de linkerzijde

bevindt. Er is dus een verticale en een horizontale component te onderscheiden waarvan de verticale overweegt.

Uit curve 2 blijkt dat bij een blokvormige stimulus ook een blokvormige



Curve 2.

1. Impulsregistratie, (+) pool rechter oor, prikkelsterkte 2,5 mA.
2. Foto-electrische registratie van de bewegingen van het rechter oog (gekeken wordt naar de verticale component van de oogbeweging).

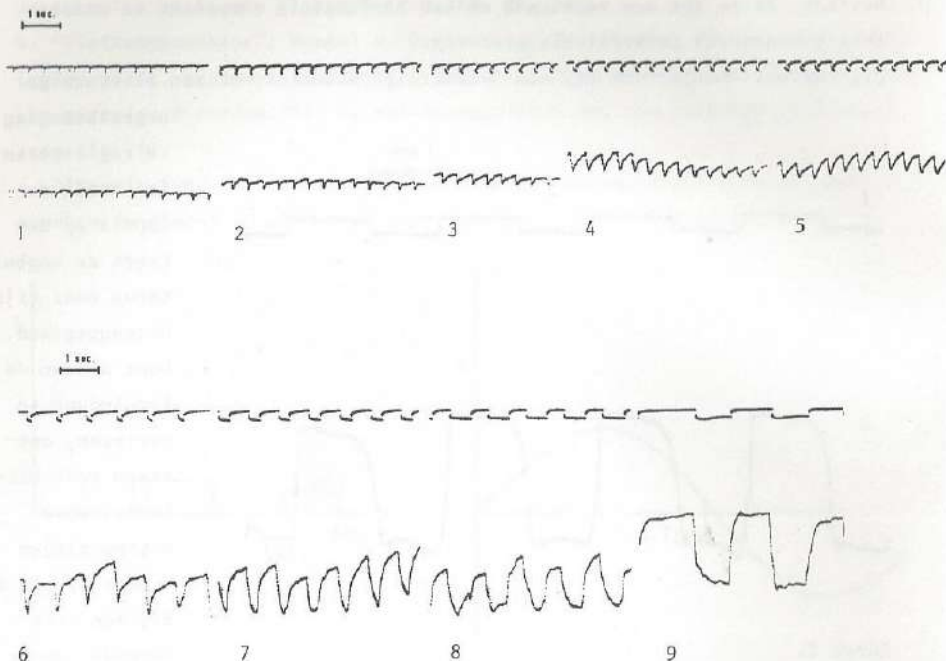
impulsduur langer, dan ontstaat er op een gegeven moment een oogbolbeweging, die gelijkenis vertoont met een nystagmus. Dit wordt gezien bij een impulsduur van circa 80 milliseconden. Bij verdere toeneming van de prikkelduur ontstaat een blokvormige oogbeweging zoals beschreven in de voorgaande curve (2).

De oogbolbewegingen berusten op een oogboldeviatie die veroorzaakt wordt door de elektrische prikkel. In het impulsvrije interval keert de oogbol naar zijn ruststand terug. Het begin van de impuls wordt geregistreerd als de snelle fase, bij het eind van de impuls keert de oogbol naar zijn beginstand terug als langzame fase.

Bij gelijkblijvende prikkelsterkte (2,5 mA) blijkt dat de grootte van de oogbeweging ook bepaald wordt door de duur van de prikkel.

oogbolbeweging te registreren is; houdt de impuls op dan keert de oogbol terug naar zijn uitgangsstand. Door alleen de impulsduur te variëren, ontstaan verschillende typen oogbewegingen (curve 3, blz 28). Bij een kortdurende impuls ontstaat een snelle op en neergaande beweging van het oog.

Wordt de im-



Curve 3. Deze curves laten duidelijk de verschillende oogbewegingen zien die ontstaan door de duur van de prikkel te variëren:

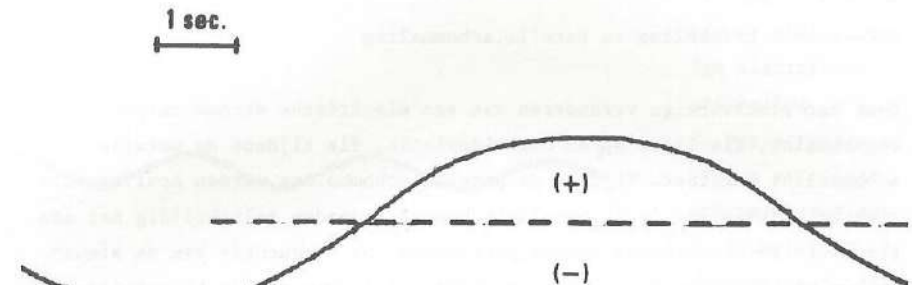
1. 10 millisecon.; 2. 20 millisecon.; 3. 50 millisecon.; 4. 60 millisecon.; 5. 80 millisecon. (de prikkeelfrequentie was 4 per sec.); 6. 100 millisecon.; 7. 300 millisecon. (van 6 en 7 was de prikkeelfrequentie 2 per sec.); 8. 600 millisecon. (de prikkeelfrequentie was 1,5 per sec.); 9. 1 sec. (de prikkeelfrequentie was 0,5 per sec.).

De bovenste curve geeft de impuls weer; de onderste de oogbeweging, (+) pool links, registratie van het linker oog. De prikkelsterkte bleef in alle gevallen gelijk (2,5 mA).

"Tiefton"-generator (sinusvormige prikkel)

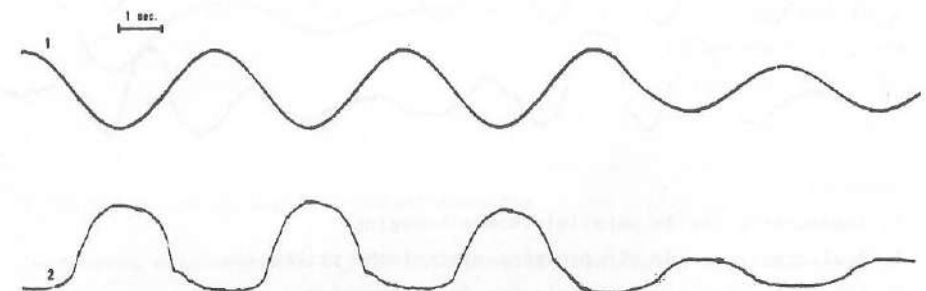
De sinusvormige elektrische prikkeling wordt weergegeven in curve 4. In het bovenste deel van de sinus is de polariteit van de prikkelelektrode positief.

Tijdens deze stimulatie (curve 4) wordt de stroomsterkte sinusvormig veranderd.



Curve 4. Registratie van de sinusvormige prikkeling.

Curve 5 laat zien dat hiermee een oscillerende oogbeweging wordt opgewekt. Hoe sterker de stroom, des te groter is de oogbeweging. In het laatste stuk van curve 5, waar de maximale stroomsterkte verminderd wordt blijkt, dat een oogbeweging ontstaat met een veel geringer amplitudo.



Curve 5.

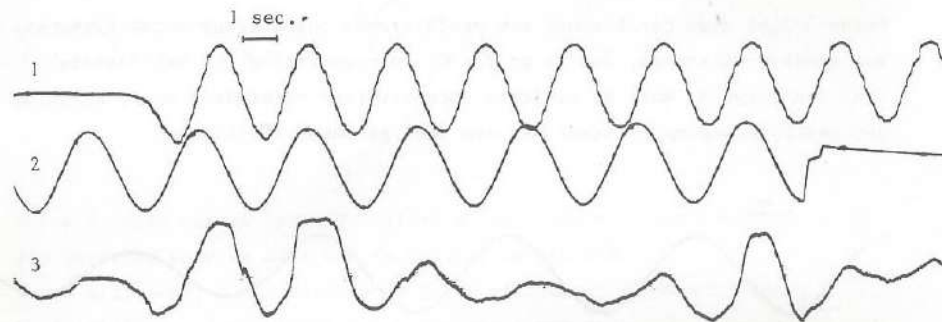
1. Registratie van de sinusvormige elektrische prikkeling
2. Foto-electrische registratie van de oogbeweging

Bij observatie zowel als bij foto-electrische registratie blijkt deze oogbeweging in het verticale vlak te liggen.

Aan de oogbolbeweging kan men twee richtingen onderscheiden: een beweging die naar boven en een beweging die naar beneden verloopt, afhankelijk van de polariteit van de stroom.

#### Electrische prikkeling en parallelschommeling

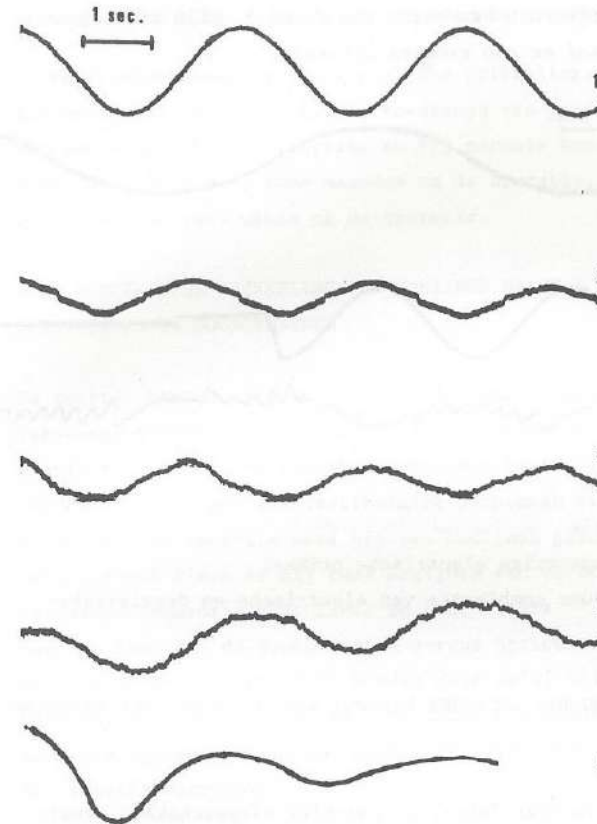
Door het sinusvormige veranderen van een electrische stroom ontstaat een oogbeweging, die lijkt op de oogboldeviatie, die tijdens de parallelschommeling ontstaat. Tijdens de parallelschommeling werden konijnen die zich in buikligging op de parallelschommel bevonden gelijktijdig met een sinusvormige electrische stroom geprikkeld. De frequentie van de sinusstroom was zo gekozen, dat hij ongeveer gelijk was aan de frequentie van de parallelschommel. De parallelschommel maakte een beweging loodrecht op de lengteas van de konijnen. Deze proeven werden uitgevoerd bij 20 konijnen. Curve 6 laat de resultaten zien.



Curve 6.

1. Registratie van de parallelschommelbeweging
2. Registratie van de sinusvormige electrische prikkeling
3. Foto-electrische registratie van de oogbeweging

De door de parallelschommelbeweging veroorzaakte oogboldeviatie en de door de sinusvormige prikkeling opgewekte oogbeweging resulteren in een oogbeweging, die beide componenten vertegenwoordigt volgens algebraïsche additie. Curve 7 laat de afzonderlijke oogbewegingen zien, die opgewekt worden door de sinusvormige electrische prikkeling en door de parallelschommeling. Worden beide oogbewegingen opgeteld, dan ontstaat er een oogbeweging die overeenkomt met degene die geregistreerd werd in curve 6.



Curve 7.

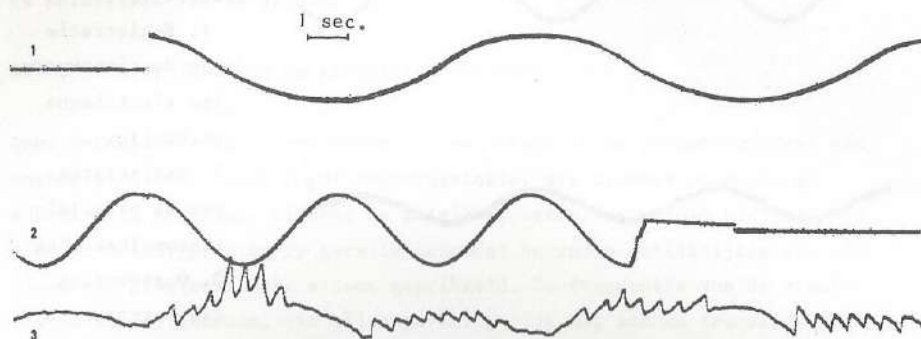
1. Registratie van de sinusvormige electrische prikkeling.
2. Registratie van de parallelschommelbeweging.
3. Oogbeweging die ontstaat tijdens de parallelschommeling (A).
4. Oogbolbeweging die ontstaat door sinusvormige electrische prikkeling (B).
5. De theoretische oogbeweging die ontstaat bij algebraïsche additie van A en B.

#### Electrische prikkeling en torsieschommeling

De proeven werden gedaan bij 20 konijnen; de draaiïngsas was loodrecht op hun lengteas. Evenals bij de combinatie van parallelschommeling en electrische prikkeling wordt er een oogbeweging geregistreerd, die beide componenten vertegenwoordigt (curve 8).

Het lijkt alsof de door de torsieschommelbeweging opgewekte nystagmusfrequentie niet beïnvloed wordt door de electrische prikkeling. Omgekeerd beïnvloedt de nystagmusfrequentie tengevolge van de draaiprikkel de door de electrische stroom opgewekte oogbeweging niet. Indien de langzame fase eenzelfde richting heeft als de oogbeweging door de electrische prikkel, lijkt

deze toe te nemen. Dit blijkt uit het begin van curve 8. Zijn zij tegengesteld, dan lijkt het alsof er een remming optreedt.



Curve 8.

1. Torsieschommelregistratie
2. Registratie van de sinusvormige elektrische prikkel
3. Opgewekte oogbeweging door combinatie van elektrische en draaiprikkeling.

#### V.3 ELECTRISCHE PRIKKELING BIJ KONIJNEN WAARBIJ AAN EEN ZIJDE HET LABYRINT UITGESCHAKELD IS

Bij zes konijnen werd het rechter labirint operatief uitgeschakeld, zoals beschreven door De Kleyn (1912). Alle tonen een nystagmus, gericht naar de niet geopereerde kant; daarbij wordt de kop zodanig gehouden dat het uitgeschakelde labirint onder het normale labirint komt te liggen. Na twee tot drie weken zijn deze spontane vestibulaire symptomen gewoonlijk gecompenseerd. De proeven werden twee weken en twee maanden na de operatie verricht. De spontane nystagmus was toen bij alle dieren verdwenen. Met het torsieschommelonderzoek was bij zes konijnen een duidelijke richtingsvoorkeur van nystagmus naar links te vinden. Tijdens de parallelschommelbeweging ontstond nog een duidelijke oogbeweging.

##### 1. Sinusvormige elektrische prikkeling.

Bij deze konijnen is er een waarneembaar verschil met de toestand vóór de operatie. Worden zij voor en na de operatie met dezelfde stroomsterkte ge-

prikkeld, dan blijkt dat de grootte van de oogbeweging is toegenomen.

##### 2. Parallelschommeling en elektrische prikkeling.

Het resultaat van gelijktijdig toedienen van beide stimuli bij konijnen met een uitgeschakeld labirint en bij normale konijnen is niet verschillend. Het onderzoek, twee maanden na de operatie, verschilt niet van het onderzoek van twee weken na de operatie.

#### V.4 ELECTRISCHE PRIKKELING BIJ KONIJNEN WAARVAN AAN EEN ZIJDE DE NERVUS UTRICULARIS IS DOORGESNEDEN

De rechter nervus utricularis werd doorgesneden, zoals beschreven door Versteegh (1927). Na het doorsnijden ontstaat er een kortdurende periode waarin het konijn een spontane nystagmus heeft, gericht naar het normale labirint. Deze spontane vestibulaire symptomen zijn binnen enkele dagen verdwenen. De operatie werd bij zes konijnen gedaan. Bij het torsieschommelonderzoek bleek er bij twee konijnen een verschil te bestaan in de nystagmusfrequentie naar links en naar rechts.

Naar de kant van de doorgesneden nervus utricularis gericht, bleken minder nystagmusslagen opgewekt te worden door gelijkblijvende draaiprikkel. Deze zes konijnen toonden bij het parallelschommelonderzoek duidelijk waarneembare oogbewegingen. Het onderzoek werd twee weken en twee maanden na de operatie verricht.

##### 1. Sinusvormige elektrische prikkeling.

De resultaten zijn hier gelijk aan die, beschreven bij konijnen waarvan aan één zijde het labirint is uitgeschakeld. Bij gelijkblijvende prikkelsterkte blijkt de grootte van de oogbeweging na de operatie te zijn toegenomen.

##### 2. Parallelschommeling en elektrische prikkeling.

Sinusvormige elektrische prikkeling en parallelschommeling gaf bij konijnen een additiefenomeen te zien. Ook na de nervus-utricularisdoorsnijding wordt dit gezien.

#### V.5 ELECTRISCHE PRIKKELING BIJ KONIJNEN DIE AAN EEN ZIJDE LABYRINT- LOOS ZIJN EN WAARBIJ AAN DE ANDERE KANT DE NERVUS UTRICULARIS IS DOOR- GESNEDEN

Waarnemingen werden verricht bij zes konijnen. Nadat het rechter labrynt uitgeschakeld was, werd na ongeveer 5 weken de linker nervus utricularis doorgesneden. Geen van de dieren had een spontane of positie nystagmus. Dit werd zowel in donker als in licht onderzocht. Bij de torsieschommelproef kon alleen nystagmus opgewekt worden, indien de draaiprikkel gericht was naar de zijde van het intacte labrynt.

De parallelschommelprikkeling wekte bij deze dieren geen meetbare oogbeweging op. Het onderzoek werd twee weken en twee maanden na de laatste operatie verricht.

##### 1. Sinusvormige elektrische prikkeling.

De oogbolbeweging veroorzaakt door elektrische prikkeling, verschilt bij deze konijnen niet van de oogbolbeweging bij konijnen waarvan maar aan één zijde het labrynt uitgeschakeld of de nervus utricularis doorgesneden is.

##### 2. Parallelschommeling en elektrische prikkeling.

De parallelschommeling had bij geen van de dieren enig effect op de oogbeweging veroorzaakt door de elektrische prikkeling.

#### V.6 ELECTRISCHE PRIKKELING BIJ KONIJNEN WAARBIJ AAN BEIDE ZIJDEN DE NERVUS UTRICULARIS IS DOORGESNEDEN

De proeven werden gedaan bij zes konijnen waarbij aan beide zijden de nervus utricularis werd doorgesneden.

Deze konijnen toonden bij torsieschommelonderzoek zowel vóór als na operaties op de nervus utricularis een goede symmetrische reactie. De nystagmusfrequentie en de amplitudo zijn wel verminderd in vergelijking met die van vóór de operatie. Bij parallelschommeling werden geen oogbewegingen waargenomen. Het onderzoek werd twee weken en twee maanden na de operatie verricht.

##### 1. Sinusvormige elektrische prikkeling.

De oogbolbeweging die hierdoor werd opgewekt was bij alle proefdieren vóór en na de operatie gelijk. Wanneer de oogbol een sterk gedeveerde stand

innam, ontstond een fijnslagige oogbeweging in deze uiterste stand.

##### 2. Parallelschommeling en elektrische prikkeling.

Bij elektrische prikkeling tijdens de parallelschommeling, bleken de electrisch opgewekte oogbolbewegingen niet beïnvloed te worden door de parallelschommelbeweging.

#### V.7 ELECTRISCHE PRIKKELING BIJ KONIJNEN WAARBIJ AAN BEIDE ZIJDEN DE LABYRINTEN ZIJN UITGESCHAKELD

Waarnemingen werden verricht bij zes konijnen. Bij deze konijnen werden beide labrynten op dezelfde dag uitgeschakeld. Bij geen van deze konijnen werd bij het torsieschommelonderzoek nystagmus waargenomen. Parallelschommelonderzoek wekte ook bij geen van de konijnen oogbewegingen op. Ten tijde van het onderzoek, zowel twee weken als twee maanden na de operatie, had geen van de konijnen een spontane of positie nystagmus.

##### 1. Sinusvormige elektrische prikkeling.

Dit gaf een oogbewegingspatroon dat vóór en na de operatie gelijk was.

##### 2. Parallelschommeling en elektrische prikkeling.

De oogbeweging opgewekt door de elektrische prikkeling werd niet beïnvloed door de parallelschommeling.

#### V.8 CONCLUSIE

Door elektrische prikkeling ontstaat een oogbolbeweging, die gericht is naar de (+) pool. De grootte van deze beweging is afhankelijk van de sterkte van de stroom. Door de duur van de prikkel of van het prikkelvrije interval te veranderen is het mogelijk, een oogbolbeweging op te wekken die lijkt op een nystagmus. Bij gelijktijdige prikkeling met zowel de parallelschommel als een elektrische stroom, zijn beide effecten aanwezig op het oogbewegingspatroon. Dit gaat ook op voor gelijktijdige toediening van elektrische en rotatieprikkeling.

Bij konijnen waarvan aan één zijde het labrynt uitgeschakeld is of waarvan aan één zijde de nervus utricularis doorgesneden is, wordt bij gelijkblijvende elektrische prikkel na de operatie een toename gezien van de

oogbeweging. Tot twee maanden na de operatie blijft dit een constant verschijnsel. Er treedt geen verandering op in het reactiepatroon bij gelijktijdig toedienen van parallelschommeling en elektrische prikkeling. Opmerkelijk is dat elektrische prikkeling oogbewegingen kan opwekken bij uitschakeling van de utriculusfunctie of bij afwezigheid van functionerende labyrinten.

## Hoofdstuk VI

### INVLOED VAN ELECTRISCHE PRIKKELING OP NYSTAGMUS DIE ONTSTAAT DOOR EEN LAESIE VAN HET VESTIBULAIRE ORGAAN

#### VI.1 NYSTAGMUS DIE ONTSTAAT NA LABYRINTDESTRUCTIE AAN EEN ZIJDE

Wanneer bij een konijn het labyrint aan één kant uitgeschakeld wordt, toont het dier de eerste dagen na de operatie spontane nystagmus. Deze nystagmus is meestal gericht naar de niet-geopereerde zijde (Versteegh, 1927; Bos, 1962; Jongkees en Philipszoon, 1964). Daarnaast houden de konijnen hun kop scheef en wel zodanig dat het intacte evenwichtsorgaan boven de geopereerde zijde komt te liggen. Van de kant van het uitgeschakelde labyrint zullen minder impulsen de homolaterale vestibulaire kernen bereiken. Hierdoor zal het intacte labyrint overheersen. Na enige tijd vindt compensatie plaats en de "spontane" nystagmus verdwijnt dan. Deze compensatie ontstaat waarschijnlijk door toeneming van de activiteit van de homolaterale vestibulaire kernen zoals Bos (1962) en Bergmann (1970) veronderstellen.

De frequentie van de nystagmus is het grootst in de zijligging waarbij het intacte evenwichtsorgaan onder ligt; de amplitudo is dan het kleinst. Ligt het intacte labyrint boven, dan neemt de frequentie van de nystagmus af; de amplitudo neemt echter toe (Lorente de No, 1931; Jongkees en Philipszoon, 1964). Na uitschakeling van het evenwichtsorgaan aan één zijde verandert ook de stand van de ogen. Na uitschakeling van het linker labyrint is het rechter oog antero-dorsaal gedraaid; het linker oog postero-ventraal. Door een laesie aan te brengen in het linker labyrint, neemt de tonus van de linker musculus rectus inferior en rectus lateralis toe, die van de musculus rectus superior, medialis en obliqui superior, af (Lorente de No, 1931). Deze toestand, die direct na de operatie ontstaat, verandert niet meer. Waarnemingen werden bij vier konijnen gedaan; de registraties één dag na de destructie van het rechter labyrint. Deze vier konijnen toonden één dag na de operatie een nystagmus naar links waarvan zowel de amplitudo als de frequentie het grootst waren wanneer het dier in het donker werd onderzocht. In het licht namen de amplitudo en de frequentie van de nystagmus af.

Het onderzoek werd zowel electronystagmografisch als foto-electronystagmografisch uitgevoerd. Electronystagmografisch was er geen invloed van het

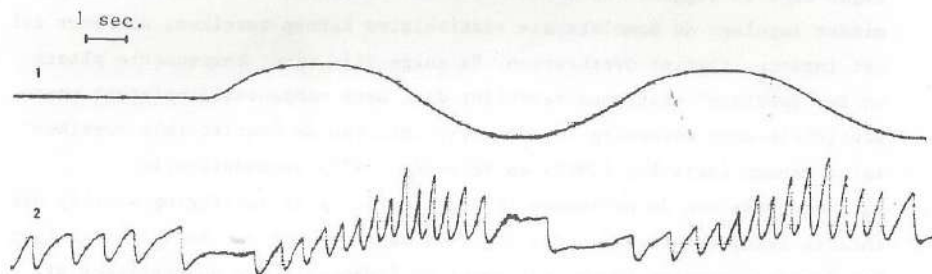
lampje te registreren als het dier in het donker werd onderzocht.

Op de nystagmus werd de invloed nagegaan van:

1. Torsieschommeling.
2. Sinusvormige elektrische prikkeling.
3. Blokvormige elektrische prikkeling.
4. Sinusvormige elektrische prikkeling en torsieschommeling.
5. Sinusvormige elektrische prikkeling en parallelschommeling.

1. Torsieschommeling.

Curve 9 laat de invloed op de spontane nystagmus van draaiprikkels zien. Afhankelijk van de richting van de torsieschommel ontstaat een remming of stimulatie van de nystagmus.



Curve 9.

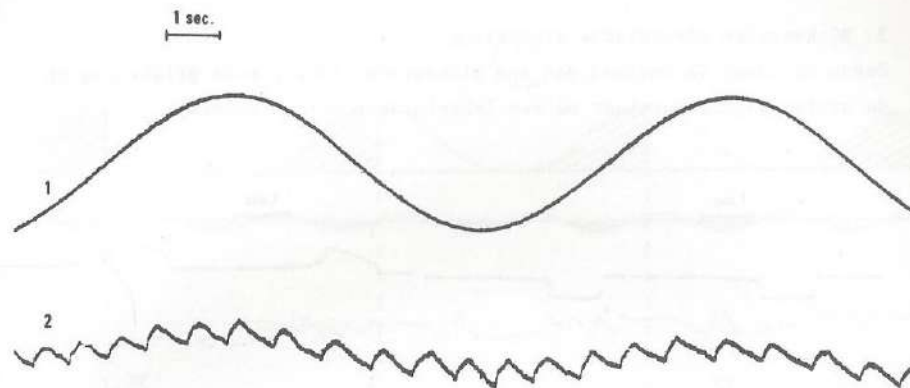
1. Torsieschommelregistratie
2. Foto-electrische registratie van de oogbeweging

2. Sinusvormige elektrische prikkeling.

Tijdens sinusvormige prikkeling bleek geen verschil te bestaan in de resultaten die verkregen werden vóór en na de labyrintdestructie. De oogbol volgde de sinusvormige prikkels als eerder beschreven.

Indien de positieve pool zich bij het linker oor bevond, verminderde de frequentie van de nystagmus. Deze vermindering bleek, zoals wordt geïllustreerd in de curves 10 en 11, afhankelijk te zijn van de stroomsterkte. Wordt bij sinusvormige prikkeling de prikkelelectrode (geplaatst bij het linker oor) negatief, dan neemt de frequentie toe.

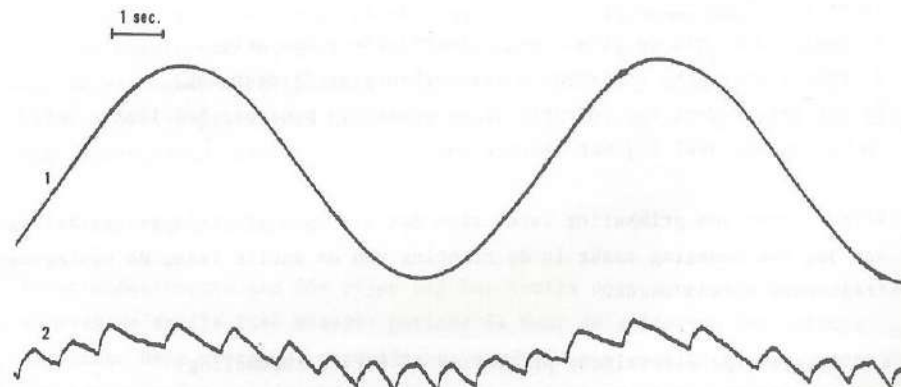
In curve 10, waar de stroomsterkte maximaal 1,25 mA is, treedt nog weinig remming op van de spontane nystagmus.



Curve 10.

1. Registratie sinusvormige elektrische prikkeling (maximale sterkte 1,25 mA)
2. Foto-electrische registratie van de oogbeweging (rechter oog)

Curve 11 laat de resultaten duidelijker zien, indien geprikkeld wordt met een stroomsterkte van 2,5 mA.

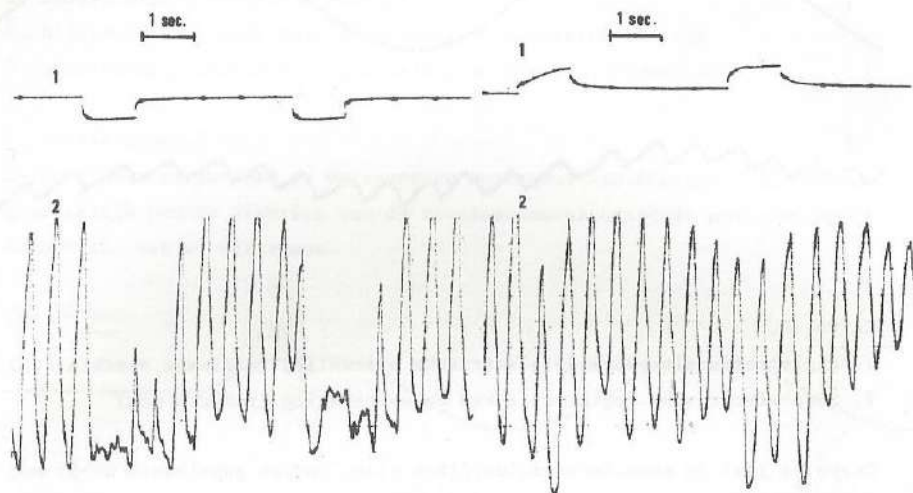


Curve 11.

1. Registratie sinusvormige elektrische prikkeling (maximale sterkte 2,5 mA)
2. Foto-electrische registratie van de oogbeweging (rechter oog)

### 3. Blokvormige elektrische prikkeling.

Curve 12 toont de invloed van een blokvormige elektrische prikkeling op de nystagmus die ontstaat na een labyrintdestructie (rechts).



Curve 12.

1. Registratie van de blokvormige elektrische stimulatie
2. Foto-electrische registratie van oogbeweging (linker oog)

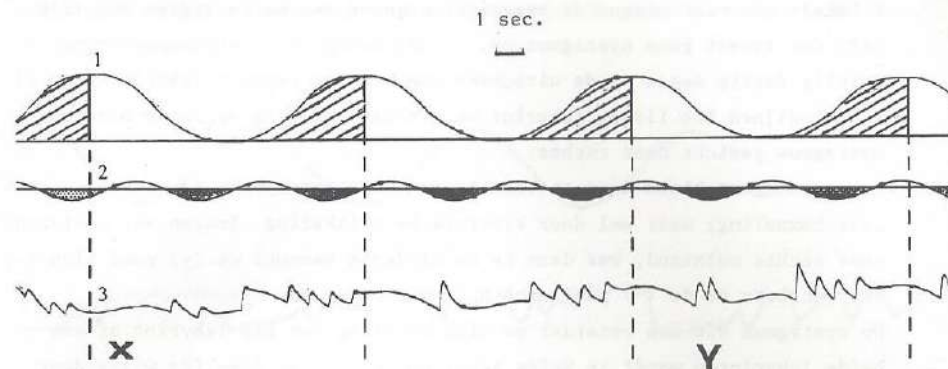
In het eerste deel van de curve is de positieve pool bij het linker oor, in het tweede deel bij het rechter oor.

Beide vormen van prikkeling laten zien dat als door elektrische prikkeling het oog een beweging maakt in de richting van de snelle fase, de nystagmus-frequentie geremd wordt.

### 4. Sinusvormige elektrische prikkeling en torsieschommeling.

Curve 13 is afkomstig van een konijn na labyrintdestructie (links).

Hierdoor ontstaat een nystagmus naar rechts; een draaiprikkel tegengesteld aan de richting van deze nystagmus remt de nystagmusfrequentie (X). Wordt het konijn tegelijkertijd geprikkeld met een sinusvormige elektrische stroom dan is een effect te registreren waarbij de remming tengevolge van de draaiprikkel opgeheven wordt door de elektrische prikkeling (Y).



Curve 13.

1. Registratie van de torsieschommelbeweging; in het gearceerde deel is de draaiprikkel naar rechts.
2. Registratie van de sinusvormige elektrische prikkeling; in het gearceerde deel is de polariteit negatief, de prikkelelektrode is bij het rechter oor geplaatst.
3. Foto-electrische registratie van de oogbeweging (rechter oog).

### 5. Sinusvormige elektrische prikkeling en parallelschommeling.

Bij het nagaan van de invloed van de parallelschommeling op de frequentie van de nystagmus werd geen duidelijk effect gevonden. Wordt het konijn tegelijkertijd geprikkeld met een sinusvormige stroom dan ontstaat een effect van algebraïsche additie.

## VI.2 BECHTEREW NYSTAGMUS

Labyrintdestructie aan één zijde bij het konijn doet een nystagmus ontstaan, waarvan de snelle fase meestal gericht is naar de zijde van het intacte labyrint. Deze nystagmus verdwijnt na ongeveer een week. Schakelt men nu ook het labyrint aan de andere zijde uit, dan treedt een nystagmus op waarvan de snelle fase gericht is naar de contralaterale zijde.

Soms verandert de richting van de nystagmus (Jongkees en Philipszoon, 1964). Het ontstaan van de Bechterew nystagmus wordt verklaard uit een grotere spontane activiteit van de vestibulaire kernengroep van de kant die het eerst geopereerd werd (Bos, 1962).

Schakelt men daarentegen de evenwichtsorganen aan beide zijden tegelijk uit, dan treedt geen nystagmus op.

Twintig-dertig dagen na de uitschakeling van het rechter labyrint werd bij vier konijnen het linker labyrint vernietigd. Na deze operatie ontstond nystagmus gericht naar rechts.

Deze nystagmus bleek niet te beïnvloeden door draaiprikkels of door parallelschommeling; maar wel door elektrische prikkeling. Indien een nystagmus naar rechts ontstond, was deze te verminderen wanneer de (+) pool zich bij het rechter- of de (-) pool zich bij het linker oor bevond.

De nystagmus die dus ontstaat na uitschakeling van één labyrint of van beide labyrinten wordt in beide gevallen op precies dezelfde wijze door elektrische prikkeling geremd.

### VI.3 NYSTAGMUS ONTSTAAN NA DOORSNIJDING VAN EEN NERVUS UTRICULARIS

De nystagmus die ontstaat na doorsnijding van de nervus utricularis is het gevolg van beschadiging van de zenuw van het laterale semicirculaire kanaal (Versteegh, 1927). De nystagmus is gericht naar het intacte labyrint, zoals ook het geval is na unilaterale labyrintectomie. De oogstandverandering die na destructie van een labyrint zo uitgesproken is, ontbreekt echter. Op de hierdoor ontstane nystagmus werd de invloed nagegaan van:

1. Torsieschommeling
2. Sinusvormige elektrische prikkeling
3. Een combinatie van sinusvormige elektrische prikkeling met torsieschommeling en parallelschommeling

Waarnemingen werden gedaan bij vijf konijnen bij welke de linker nervus utricularis werd doorsneden.

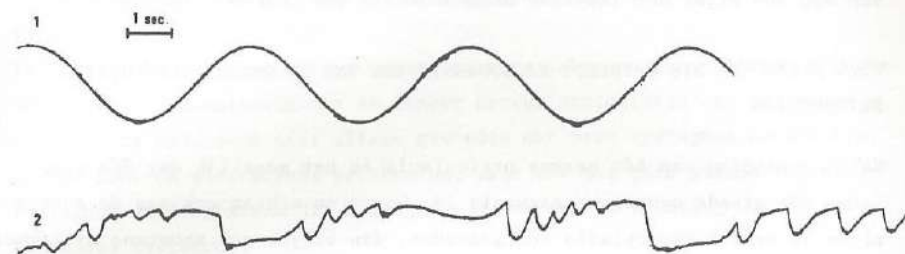
#### 1. Torsieschommeling.

Het onderzoek werd één dag na de operatie uitgevoerd. Alle konijnen toonden een nystagmus naar rechts. Indien de draaiprikkel tegen de klokrichting in ging, ontstond vermindering van de nystagmusfrequentie. Ging echter de draaiprikkel in tegenovergestelde richting, dan nam de frequentie van de spontane nystagmus toe.

#### 2. Sinusvormige elektrische prikkeling.

Curve 14 laat zien dat bij sinusvormige elektrische prikkeling de nystagmusfrequentie minder wordt indien het konijn geprikkeld wordt met een positieve

stroom, maar dat bij omkering van de stroomrichting een toename van de nystagmusfrequentie wordt gevonden.

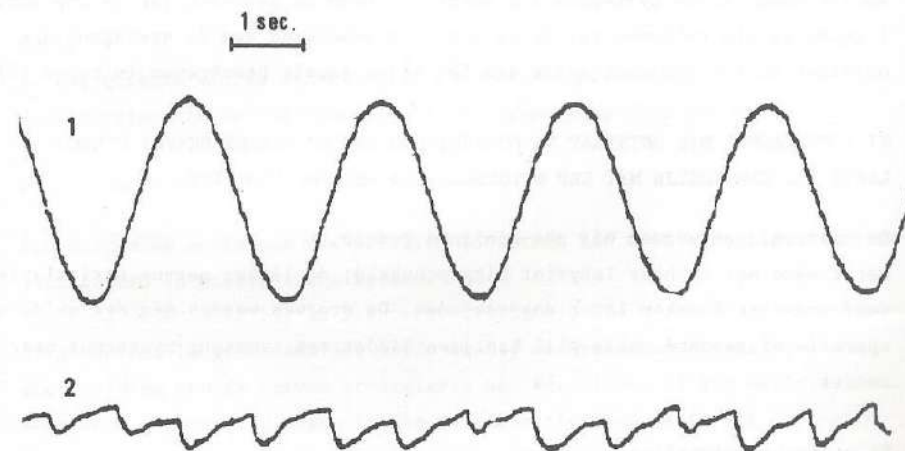


Curve 14.

1. Registratie van de sinusvormige elektrische prikkeling
2. Foto-electrische registratie van de oogbeweging (rechter oog)

#### 3. Een combinatie van sinusvormige elektrische prikkeling met torsieschommeling en parallelschommeling.

Bij het nagaan van de invloed van een parallelschommelbeweging op de frequentie van de nystagmus werd geen duidelijk effect gevonden op de nystagmusfrequentie (curve 15).



Curve 15.

1. Registratie van de parallelschommeling
2. Foto-electrische registratie van de oogbeweging (rechter oog)

Bij het onderzoek met torsieschommeling en elektrische prikkeling gecombineerd, deden zich dezelfde effecten voor als beschreven bij konijnen waarvan aan één zijde het labrynt uitgeschakeld was (curve 13).

#### VI.4 NYSTAGMUS DIE OPTREEDT NA DOORSNIJDING VAN DE NERVUS UTRICULARIS BEIDERZIJDIG

Na doorsnijding van één nervus utricularis is het mogelijk dat één week later nog steeds nystagmus aanwezig is. Wordt nu echter ook aan de andere zijde de nervus utricularis doorgesneden, dan blijkt een spontane nystagmus te ontstaan, gericht naar de contralaterale zijde. Dit is dus een nystagmus die, wat de aetiologie betreft, gelijkenis vertoont met de Bechterew nystagmus.

Bij vijf konijnen werd eerst de rechter nervus utricularis doorgesneden en na 20-30 dagen de linker nervus utricularis. Na deze operatie toonden de konijnen een nystagmus naar rechts. De proeven werden een dag na de laatste operatie gedaan.

##### Electrische prikkeling

Wanneer het oog door de elektrische prikkel beweegt in de richting van de snelle fase van de nystagmus dan wordt een remming gevonden van de nystagmusfrequentie die volkomen gelijk is aan de bevindingen van de nystagmus die ontstaat na labryntdestructie aan één zijde (zoals beschreven in curve 12).

#### VI.5 NYSTAGMUS DIE ONTSTAAT NA DOORSNIJDEN VAN DE LINKER NERVUS UTRICULARIS BIJ EEN KONIJN MET EEN UITGESCHAKELD RECHTER LABRYNT

De waarnemingen werden bij zes konijnen gedaan.

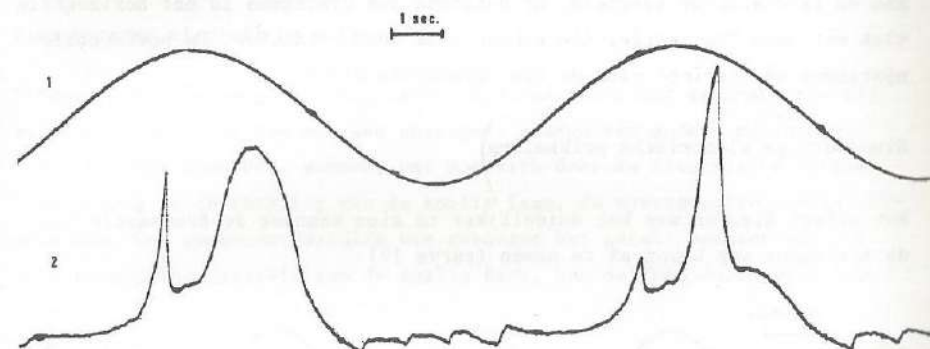
Eerst werd het rechter labrynt uitgeschakeld; de linker nervus utricularis werd ongeveer 5 weken later doorgesneden. De proeven werden één dag na deze operatie uitgevoerd. Alle vijf konijnen hadden een spontane nystagmus naar rechts.

##### Electrische prikkeling

Bevindt zich de (+) pool bij het linker oor, dan neemt de frequentie van de spontane nystagmus toe. Indien de (-) pool links is geplaatst, vermindert de nystagmusfrequentie.

Bij toedienen van een draai- en een elektrische prikkel, blijkt dat de beide methoden van stimuleren eenzelfde invloed hebben, zoals beschreven bij de nystagmus die ontstaat na labryntdestructie aan één zijde (curve 13).

Bij één konijn met een uitgeschakeld rechter labrynt (beschreven in curve 16), dat na doorsnijding van de linker nervus utricularis een nystagmus naar rechts had, werd niet alleen gevonden dat deze nystagmus geremd kon worden door de elektrische prikkeling, maar ook dat deze prikkeling een nystagmus deed ontstaan die tegengesteld was aan de richting van de reeds aanwezige nystagmus.



Curve 16.

1. Registratie van de sinusvormige elektrische prikkeling
2. Foto-electrische registratie van de oogbeweging (rechter oog)

#### VI.6 CONCLUSIE

Een bestaande nystagmus van perifere oorsprong kan door elektrische prikkeling geremd en gestimuleerd worden.

Dit werd onderzocht bij de Bechterew nystagmus, die ontstaat na uitschakeling van het labrynt aan één zijde en bij de nystagmus die ontstaat na doorsnijding van de nervus utricularis aan één zijde, of aan beide zijden. Wordt een oogbeweging opgewekt die dezelfde richting heeft als de snelle fase van de nystagmus, dan wordt deze geremd (frequentie van de nystagmus). Een vergelijkbaar effect bij deze nystagmus hebben ook draaiprikkels. Daarnaast kan door elektrische prikkeling een nystagmus worden opgewekt (curve 16).

## Hoofdstuk VII

### INVLOED VAN ELECTRISCHE PRIKKELING OP EEN NYSTAGMUS VEROORZAAKT DOOR THERMISCHE PRIKKELING EN DOOR ALCOHOL

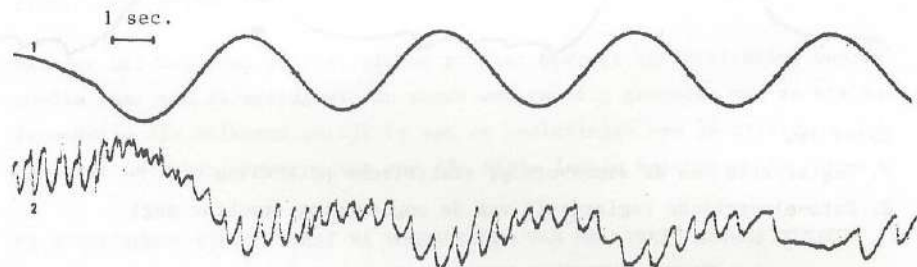
#### VII.1 INVLOED VAN EEN SINUSVORMIGE ELECTRISCHE PRIKKELING OP DE NYSTAGMUS VEROORZAAKT DOOR EEN CALORISCHE PRIKKEL AAN EEN OOR

##### Methode

Bij vijf konijnen werd met 200 ml water van  $0^{\circ}\text{C}$  de uitwendige gehoorgang aan de rechterzijde gespoeld. Er ontstond een nystagmus in het horizontale vlak met hoge frequentie, die echter zeer snel uitdooft. De horizontale nystagmus was gericht naar de contralaterale zijde.

##### Sinusvormige elektrische prikkeling

Het effect hiervan was het duidelijkst te zien wanneer de frequentie van de nystagmus wat begon af te nemen (curve 17).



Curve 17.

1. Sinusvormige elektrische prikkeling
2. Foto-electrische registratie van de postcalorische oogbeweging (rechter oog)

Remming van de nystagmusfrequentie door de sinusvormige elektrische prikkeling is aan het eind van de curve duidelijk te zien wanneer de nystagmus opgewekt door de calorische test, begint af te nemen.

Het bleek dat, wanneer de (+) pool zich bij het rechter oor bevond en de snelle fase van de nystagmus naar links was gericht, de nystagmusfrequentie

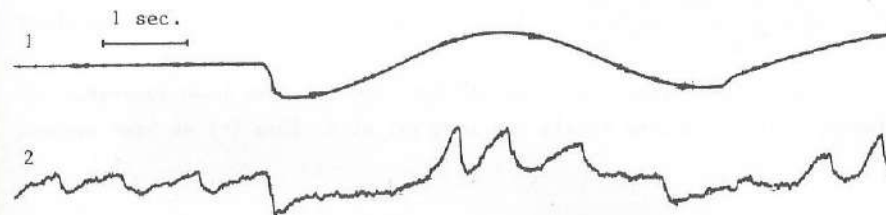
niet verminderde. Maar wanneer de (-) pool zich bij het rechter oor bevond, nam de nystagmusfrequentie duidelijk af.

#### VII.2 INVLOED VAN SINUSVORMIGE ELECTRISCHE PRIKKELING OP POSITIE ALCOHOL-NYSTAGMUS

De waarnemingen werden gedaan bij vijf konijnen die geen spontane nystagmus of positie nystagmus hadden. De alcohol werd in een concentratie van 45% 4 ml/kg lichaamsgewicht intraperitoneaal toegediend. De oogbewegingen werden geregistreerd bij het konijn in linker zijligging.

##### Sinusvormige elektrische prikkeling

Tijdens elektrische prikkeling werd hetzelfde resultaat gevonden als bij de proeven met konijnen die een nystagmus hadden van andere oorsprong. Curve 18 laat zien dat, wanneer het oog zich door de elektrische prikkeling bewoog in de richting van de snelle fase, de nystagmusfrequentie verminderde. Het tegenovergestelde was eveneens het geval: wanneer het oog zich bewoog tegengesteld aan de snelle fase, nam de frequentie weer toe.



Curve 18.

1. Sinusvormige elektrische prikkeling
2. Positie alcoholnystagmus, foto-electronystagmografisch geregistreerd (rechter oog)

### VII.3 CONCLUSIE

De invloed van elektrische prikkeling werd nagegaan op zowel een calorische nystagmus als op een positie alcoholnystagmus.

De resultaten van dit onderzoek tonen aan dat elektrische prikkeling remmend kan werken op deze nystagmusvormen. Deze bevinding is in overeenstemming met het resultaat, verkregen bij het electrisch stimuleren van konijnen met kunstmatig aangebrachte laesies van het perifere vestibulaire orgaan.

## Hoofdstuk VIII

### "GALVANISCHE" PRIKKELING EN HET ONTSTAAN VAN EEN "GALVANISCHE" NYSTAGMUS

#### VIII.1 INLEIDING

Door elektrische prikkeling ontstaat een oogbeweging. Dit is beschreven in het eerste deel van de proeven, uit het tweede en derde deel blijkt dat elektrische prikkeling ook invloed heeft op de nystagmus.

De tot nu toe gebruikte stroomsterkte was maximaal 2,5 mA.

Uit de literatuur (Buys, 1909; Hennebert, 1950) is bekend dat voor het opwekken van een nystagmus een stroomsterkte, groter dan 2,5 mA nodig is. Met behulp van de Oltronix stimulator kan de sterkte (maximaal 30 mA) en de prikkelduur van een gelijkstroom gevarieerd worden.

Gekeken werd naar de stroomsterkte die nodig is om een nystagmus op te wekken en de invloed van laesies in het vestibulaire stelsel op deze "galvanische" nystagmus.

#### VIII.2 INVLOED VAN DE PLAATS VAN DE ELECTRODEN EN DE STERKTE VAN DE STROOM OP HET ONTSTAAN VAN NYSTAGMUS OPGEWECT DOOR DE GELIJKSTROOM BIJ "NORMALE" KONIJNEN

Het onderzoek werd verricht bij vijf "normale" konijnen. Tijdens de proeven werd de (-) pool of de (+) pool van plaats veranderd (zie schema).

| I     |        |           | II    |        |
|-------|--------|-----------|-------|--------|
| (-)   | (-)    | voorpoten | (+)   | (+)    |
| (+)   | (-)    | oren      | (-)   | (+)    |
| (-)   | (-)    | nek       | (+)   | (+)    |
| links | rechts |           | links | rechts |

In schema I wordt de plaats van de (-) pool veranderd; in schema II de (+) pool. Indien de polen bi-auriculair geplaatst worden, nl.: (+) pool links en (-) pool rechts of omgekeerd, ontstond reeds bij een prikkelsterkte van 5 mA nystagmus, die echter snel uitdoofde. De richting van de nystagmus is altijd gericht naar de cathode. Naarmate de prikkel sterker

werd, nam de duur van de nystagmus toe. Pas bij 10-15 mA ontstond nystagmus met constante frequentie, die circa 60 seconden aanhield en daarna langzaam uitdoofde. Met een prikkelsterkte van 15-20 mA ontstond nystagmus die in frequentie langer dan 180 seconden constant bleef.

In alle genoemde variaties (schema I en II) kon een nystagmus opgewekt worden, maar de stroomsterkte die dan nodig was steeg tot boven de 20 mA. Opgemerkt moet worden dat zulke stroomsterktes dermate hoog waren dat de duur van de impuls zo kort mogelijk gehouden moest worden in verband met het pijnlijke karakter van de prikkeling.

#### Conclusie

De optimale plaats voor de polen die aangesloten zijn op een stroombron is bi-auriculair-bipolair; dan is de drempel voor het opwekken van een nystagmus het laagst, de richting van de nystagmus is gericht naar de cathode.

#### VIII.3 DE MINIMALE STROOMSTERKTE DIE NODIG IS OM NYSTAGMUS OP TE WEKKEN BIJ KONIJNEN MET PERIFERE LAESIES IN HET VESTIBULAIRE STELSEL

a. Konijnen waarbij aan één kant het labirint uitgeschakeld is.

Bij vijf konijnen waarvan het rechter labirint operatief uitgeschakeld was, werd de drempel van de stroomsterkte bepaald, die nodig was om nystagmus op te wekken, waarvan de reactie aanhoudt tot het eind van de prikkeling.

Het onderzoek werd bij vijf konijnen, één week na de uitschakeling van het labirint, verricht. Bij deze konijnen kon geen spontane nystagmus worden geregistreerd. Het opvallendste was, dat indien de (+) pool zich rechts bevond, reeds een nystagmus naar links ontstond bij 2 tot 4 mA. Bevond echter de (+) pool zich links, dan was er tot 15 mA geen nystagmus op te wekken.

De na-nystagmus (post-galvanische nystagmus) is de nystagmus die optreedt bij het afbreken van de gelijkstroom. Ook hier was een duidelijk verschil van de plaatsing van de elektroden vast te stellen. Als de stroomsterkte 10 mA was, en de (+) pool zich links bevond, ontstond een langdurende nystagmus bij het onderbreken van de stroom. De duur van deze na-nystagmus was langer dan 30 seconden. Als de (+) pool zich rechts bevond, was een kortdurende na-nystagmus te registreren. Deze duurde veelal korter dan 3 seconden.

Dit onderzoek werd drie weken na de operatie herhaald. De resultaten waren gelijk aan die van het onderzoek dat één week na de operatie werd verricht. Drie maanden na de operatie kon bij plaatsing van de (+) pool links of rechts een vergelijkbaar verschil worden aangetoond. Er ontstond indien de (+) pool zich rechts bevond, nystagmus bij een stroomsterkte van 5 mA. Het verschil van de nystagmus, 3 maanden na de operatie met de opgewekte nystagmus na 1 of 3 weken was, dat de opgewekte "galvanische" nystagmus 1 of 3 weken na de operatie langer dan 180 seconden aanhield. Drie maanden na de operatie doofde de nystagmus binnen 30-60 seconden uit. Bij een plaatsing van de (+) pool links ontstond pas nystagmus bij 15 mA die echter snel uitdoofde (binnen 30 seconden).

b. De minimale stroomsterkte die nodig is om nystagmus op te wekken bij konijnen waarvan aan één zijde de nervus utricularis doorgesneden is.

Bij vijf konijnen waarbij de rechter nervus utricularis doorgesneden was werd de drempel bepaald die nodig is om een nystagmus op te wekken. Het onderzoek werd na de operatie acht dagen lang elke dag herhaald. Opmerkelijk was het, dat dan met behulp van "galvanisch" onderzoek een nystagmusrichtingsvoorkeur aan te tonen was. Bevond zich de (+) pool rechts, dan ontstond nystagmus bij een stroomsterkte van 8-10 mA. Bevond de (+) pool zich links, dan was pas nystagmus op te wekken bij een stroomsterkte van 15-20 mA. Er kon geen verschil in na-nystagmus worden aangetoond. Deze waarnemingen bleven in alle gevallen tot de vierde dag constant, daarna trad verandering op. Bij het opwekken van nystagmus naar links nam de prikkel drempel toe. Na de achtste dag kon bij plaatsing van de (+) pool links of rechts geen verschil meer aangetoond worden.

c. De minimale stroomsterkte die nodig is om nystagmus op te wekken bij konijnen waarvan aan beide kanten de nervus utricularis is doorgesneden.

De nervus utricularis werd zowel aan de linker als de rechterkant op dezelfde dag doorgesneden. Het onderzoek werd zowel één dag, drie weken als drie maanden na de operatie uitgevoerd bij vijf konijnen.

Bij "galvanische" prikkeling één dag na de operatie ontstond bij de vijf konijnen een nystagmus bij een stroomsterkte van 2-6 mA. Er werd geen verschil bij plaatsing van de (+) pool links of rechts gevonden.

Drie maanden na de operatie waren de resultaten van het onderzoek gelijk

aan de voorgaande. In vergelijking met de drempelwaarde, één dag na de operatie, moest drie weken tot drie maanden na de operatie de stroomsterkte veel hoger zijn (15-20 mA) om met behulp van een gelijkstroom een nystagmus te veroorzaken.

Ook kon in de na-nystagmus geen verschil worden aangetoond.

d. De minimale stroomsterkte die nodig is om nystagmus op te wekken bij konijnen waarvan aan beide kanten de labyrinten zijn uitgeschakeld.

Bij deze konijnen werden beide labyrinten op dezelfde dag uitgeschakeld, het onderzoek werd respectievelijk één dag, drie weken en drie maanden na de operatie bij vier konijnen verricht. De resultaten van het onderzoek op de eerste dag na de operatie en het onderzoek drie weken later, toonden geen verschil in drempelwaarden van de nystagmus. Eén dag na de operatie was de drempel 1-2 mA, drie weken na de operatie 2-4 mA. Drie maanden na de operatie echter waren de drempelwaarden aanmerkelijk hoger met een iets grotere spreiding: 10-15 mA. Ook hier kon geen verschil van de plaatsing van (+) pool links of rechts worden aangetoond.

De na-nystagmus naar links of naar rechts toonde evenmin verschil.

Er was dus duidelijk verschil in de resultaten bij konijnen waarvan aan beide zijden de nervi utriculares doorgesneden waren en die van konijnen waarbij aan beide kanten de labyrinten waren uitgeschakeld.

Eén dag na operatie ontstond bij de konijnen die labyrintloos waren een "galvanische" nystagmus bij 1-2 mA. Dit beeld veranderde weinig tot 3 weken na de operatie. Daarna nam de stroomsterkte toe tot 10-15 mA.

Bij de konijnen waarvan aan beide kanten de nervus utricularis doorgesneden was, lagen de drempelwaarden veel hoger en bleven ook hoger in de loop van de tijd.

e. De minimale stroomsterkte die nodig is om nystagmus op te wekken bij konijnen waarvan aan één zijde de nervus utricularis doorgesneden is en aan de andere kant het labyrint uitgeschakeld is

Het onderzoek werd gedaan bij vijf konijnen. Eén week na de operatie werd bij de konijnen die rechts labyrintloos waren en waarvan aan de andere kant de nervus utricularis doorgesneden was de stroomsterkte bepaald, nodig om nystagmus naar links of naar rechts te veroorzaken. Bij deze konijnen was een duidelijke richtingsvoorkeur van de nystagmus

aan te tonen. Indien de (+) pool zich rechts bevond, ontstond een nystagmus bij een stroomsterkte van 2-4 mA. In het geval dat de (+) pool zich links bevond, ontstond nystagmus naar rechts bij een stroomsterkte van 5-8 mA. Hetzelfde resultaat werd drie weken na de operatie gevonden. Drie maanden na de operatie werden de volgende resultaten verkregen: (+) pool rechts gaf een nystagmus naar links bij een stroomsterkte van 5-10 mA, (+) pool links bij 15-20 mA. De drempelwaarden lagen dus ver uit elkaar, bij elk konijn was tussen de (+) pool links en de (+) pool rechts een drempelverschil van 10 mA meetbaar.

#### VIII.4 CONCLUSIE

In dit onderzoek werd nagegaan of door een gelijkstroom nystagmus kan ontstaan. Voor het opwekken van een nystagmus is de optimale plaats van de polen die aangesloten zijn op een stroombron bi-auriculair-bipolair. Zij de polen bi-auriculair geplaatst, dan is de drempel voor het opwekken van nystagmus het laagst. Hiervoor is een stroomsterkte nodig van ten minste 10-15 mA. Er ontstaat dan een nystagmus met een constante frequentie die circa 60 seconden duurt. Om een nystagmus op te wekken die langer dan 180 seconden aanhoudt, is een prikkelsterkte nodig die varieert van 15-20 mA. Bij konijnen die aan één zijde een uitgeschakeld labyrint hebben of die aan één kant labyrintloos zijn en waarbij aan de andere zijde de nervus utricularis doorgesneden is, kan een nystagmus aangetoond worden waarbij een duidelijke richtingsvoorkeur uitgaat naar de kant van het intacte labyrint of het minst beschadigde vestibulaire orgaan. De drempelwaarde van de nystagmus gericht naar het intacte labyrint, is aanmerkelijk lager dan de drempelwaarde, nodig voor het opwekken van nystagmus gericht naar het beschadigde labyrint.

De drempelwaarde bij konijnen die beiderzijds labyrintloos waren, liep van de dag na de operatie op van 1-2 mA naar 2-4 mA drie weken na de operatie. Drie maanden later bedroeg de drempelwaarde 10-15 mA. Er kon geen richtingsvoorkeur van de nystagmus aangetoond worden.

Bij konijnen waarvan beiderzijds de nervus utricularis doorgesneden was, liep de drempelwaarde binnen 30 dagen van 2-6 mA naar 15 mA. Er is dus een duidelijk verschil aan te tonen tussen konijnen die beiderzijds een uitgeschakeld labyrint hebben en die waarbij beiderzijds de nervus utricularis is doorgesneden.

Samenvattend kan dus gezegd worden dat met behulp van een gelijkstroom een nystagmusrichtingsvoorkeur aangetoond kan worden, gericht naar het intacte of minst beschadigde vestibulaire orgaan.

Daarnaast geeft drempelwaardemeting informatie over de grootte van de laesie in het vestibulaire orgaan.

## Hoofdstuk IX

### DE INVLOED VAN "GALVANISCHE" PRIKKELING OP EEN NYSTAGMUS VEROORZAAKT DOOR CENTRALE PRIKKELING (CENTRALE NYSTAGMUS)

Door elektrische stimulatie van het nystagmogene centrum, gelegen in het mesodiencephalon, ontstaat een vorm van centrale nystagmus (Lachman, Bergmann en Monnier, 1958). Deze nystagmus is gericht naar de contralaterale zijde. Wordt het rechter centrum geprikkeld, dan ontstaat een nystagmus naar links en omgekeerd. Perifere labirintprikkelers kunnen deze centrale nystagmus beïnvloeden volgens algebraïsche additie (Oosterveld, 1963). Gekeken werd nu naar het effect van gelijktijdig opwekken van de centrale nystagmus en de galvanische nystagmus.

#### IX.1 DE INVLOED VAN CENTRALE PRIKKELING OP DE "GALVANISCHE" NYSTAGMUS

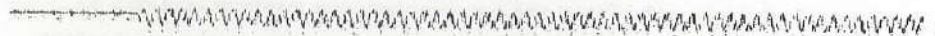
De centrale prikkeling vond plaats volgens de methode beschreven door Oosterveld (1963). De prikkelsterkte varieerde van 0,5-2,5 Volt, weerstand 10.000  $\Omega$  met een prikelfrequentie van 30 impulsen per seconde en 2 milliseconden duur. Deze proeven zijn bij drie konijnen gedaan. Het konijn werd tegelijkertijd geprikkeld met een gelijkstroom van 15-20 mA, Ba Bp. Hierdoor ontstond een nystagmus met een constante frequentie. Bij centrale prikkeling werd na een korte latentie tijd een duidelijk waarneembare stimulerende of remmende invloed gezien op de galvanische nystagmus, afhankelijk van de richting van de centrale nystagmus. Had de centrale nystagmus dezelfde richting als de galvanische nystagmus, dan was een additie-effect van de nystagmusfrequentie (curve 19) te registreren. Wanneer de richting van de centrale nystagmus tegengesteld was aan die van de galvanische nystagmus, dan kon de centrale nystagmus de galvanische nystagmus zelfs geheel onderdrukken (curve 20).

#### IX.2 DE INVLOED VAN "GALVANISCHE" PRIKKELING OP DE CENTRALE NYSTAGMUS

Door prikkeling van het nystagmogene centrum ontstond een nystagmus; had deze een constante frequentie dan werd het konijn gelijktijdig geprikkeld met een "galvanische" stroom (15-20 mA). Na een korte latentietijd werd een remmende invloed gevonden, indien de "galvanische" prikkeling een nystagmus veroorzaakte tegengesteld aan de centraal opgewekte nystagmus.

1 sec.

1



2



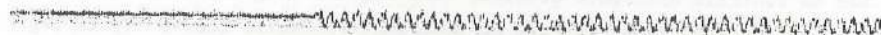
Curve 19.

1. Registratie van de centrale prikkeling
2. Foto-electrische registratie van het rechter oog

Door galvanische prikkeling ((+) pool rechts) ontstaat een nystagmus naar links; wordt vervolgens het rechter nystagmogene centrum geprikkeld, dan treedt na een korte latentie tijd een additie effect op.

1 sec.

1



2



Curve 20.

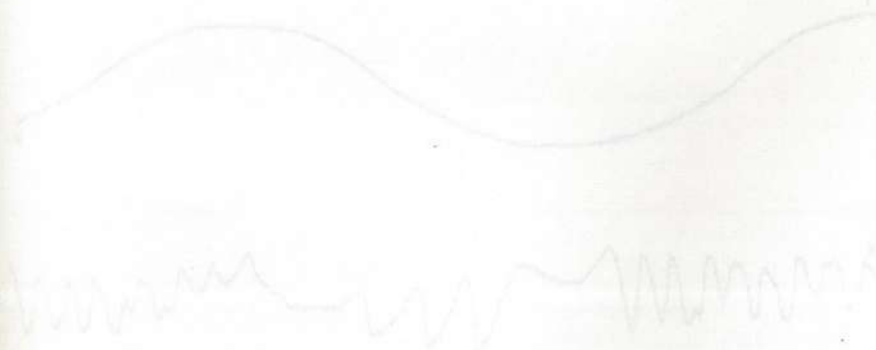
1. Registratie van de centrale elektrische prikkeling
2. Foto-electrische registratie van het rechter oog

De galvanische nystagmus naar rechts ((+) pool links) wordt na een korte latentie tijd geremd door stimulatie van het rechter nystagmogene centrum.

Had de galvanische nystagmus eenzelfde richting dan nam de nystagmus-frequentie toe.

### IX.3 CONCLUSIE

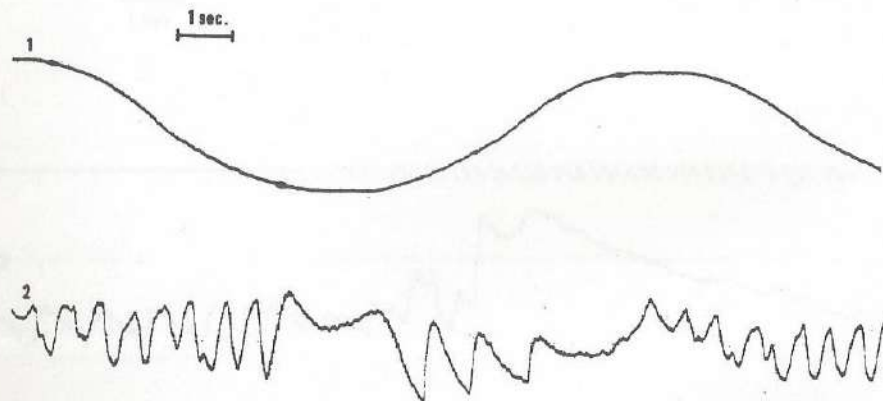
De centraal opgewekte nystagmus is door een "galvanische" stroom te remmen en te stimuleren. Centrale prikkeling heeft op een galvanische nystagmus m.m. eenzelfde effect.



## Hoofdstuk X

### DE INVLOED VAN TORSIESCHOMMELING OP DE "GALVANISCHE" NYSTAGMUS EN DE INVLOED VAN DE GELIJKSTROOM OP DE NYSTAGMUS VEROORZAAKT DOOR DRAAI-PRIKKELING

In hoofdstuk V.2 werd de invloed beschreven van oogbewegingen opgewekt door elektrische prikkeling op de nystagmus veroorzaakt door torsieschommeling. Een aanduiding van remming werd gevonden indien de elektrisch opgewekte oogbeweging eenzelfde richting had als de langzame fase van de nystagmus. Om dit effect duidelijker vast te leggen werd gekeken naar de invloed van de galvanische nystagmus op de nystagmus opgewekt door torsieschommeling. Het onderzoek werd bij vijf konijnen verricht. Tijdens het elektrische prikkelen bevond de (+) pool zich rechts, de stroomsterkte werd met stappen van 2 mA verhoogd. Tot een stroomsterkte van 8 mA werd geen effect gezien op de nystagmusfrequentie, opgewekt door de torsieschommeling. Bij een stroomsterkte van 10 mA werd een verandering van het nystagmuspatroon gevonden. De frequentie nam af (curve 21) van een nystagmus waarvan de snelle fase gericht was naar de (+) pool.



Curve 21.

1. Registratie van de torsieschommeling
2. Foto-electrische registratie van de oogbeweging; tijdens deze registratie was de prikkelsterkte 10 mA ((+) pool rechter oor).

Bij verdere toename van de stroomsterkte verdween de nystagmus naar rechts die werd opgewekt door de torsieschommel.

In de situatie waarbij eerst een galvanische nystagmus werd opgewekt en daarna de invloed nagegaan werd van draaiprikkeling op deze nystagmus, werd hetzelfde resultaat gevonden. De galvanische nystagmus werd geremd, wanneer de torsieschommel een nystagmus opwekte waarvan de richting tegengesteld was aan de richting van de galvanische nystagmus.

## Conclusie

Galvanische prikkeling en draaiprikkeling hebben een additief effect op de nystagmusfrequentie wanneer zij gelijktijdig worden gebruikt.

## INTRACRANIËLE DOORSNIJDING NERVUS VESTIBULARIS

Aangetoond werd in de vorige proeven dat, ondanks het niet meer functioneren van de labyrinten, met behulp van elektrische prikkeling een nystagmus opgewekt kon worden.

Dohlman (1929) en Pfaltz (1969) konden bij laesies van de nervus vestibularis geen nystagmus opwekken. Om deze proeven te herhalen werd geprobeerd om bij konijnen de nervus vestibularis ter plaatse van de meatus acusticus internus door te snijden. Deze operatie bleek echter zo traumatiserend te zijn dat de konijnen (twaalf) overleden voordat elektrische prikkelingsproeven gedaan konden worden indien zij geen spontane nystagmus meer hadden. De konijnen overleden binnen 3 weken na de operatie. Wel bleek dat de nystagmus, ontstaan na nervus vestibularis doorsnijding aan één zijde, op dezelfde wijze beïnvloed werd als de nystagmus die ontstaat na labyrintdestructie aan één kant.

## SAMENVATTING VAN DE RESULTATEN VERKREGEN DOOR ELECTRICHE PRIKKELING VAN HET VESTIBULAIRE SYSTEEM BIJ KONIJNEN

Het onderzoek is gericht op het beschrijven van de oogbewegingen (galvanisch reactiepatroon) die ontstaan door elektrische prikkeling. Daarnaast worden de veranderingen nagegaan die in dit galvanisch reactiepatroon ontstaan bij konijnen met een kunstmatig aangebrachte laesie in het vestibulaire stelsel. Door elektrische prikkeling wordt een oogbeweging opgewekt waarvan grootte en richting (amplitudo) afhangen van stroomsterkte, polariteit en plaats van de prikkelelektroden.

Voor het opwekken van oogbewegingen door elektrische prikkeling zijn geen functionerende labyrinten nodig.

De oogbewegingen opgewekt door parallelschommeling en door elektrische prikkeling beïnvloeden elkaar volgens algebraïsche additie; eenzelfde effect wordt gezien bij het gelijktijdig toepassen van elektrische- en draaiprikkeling. Nystagmus die ontstaat na het aanbrengen van laesies in het vestibulaire stelsel, door thermische prikkeling of door het toedienen van alcohol, blijkt door elektrische prikkeling beïnvloed te kunnen worden. Wanneer de richting van de nystagmus gericht is naar de anode, treedt remming op van de nystagmusfrequentie.

Centraal opgewekte nystagmus blijkt door elektrische prikkeling geremd en gestimuleerd te kunnen worden. Ook hier geldt dezelfde relatie tussen de nystagmusrichting en de polariteit van de stroom.

Bij het gebruik van een elektrische prikkel (gelijkstroom) groter dan 5 mA ontstaat nystagmus. De duur van deze nystagmus hangt af van de stroomsterkte. Bij konijnen met laesies aan één kant in het vestibulaire systeem kan met behulp van metingen van de drempelwaarde een nystagmusrichtingsvoorkeur aangetoond worden naar het intacte of minst beschadigde vestibulaire orgaan. De verlaging van de drempelwaarde, die ontstaat na doorsnijding van de nervus utricularis aan één of beide zijden is binnen acht dagen na de operatie weer verdwenen, maar bij konijnen die aan één of aan beide zijden een volledig uitgeschakeld labyrint hebben, blijft de verlaging tenminste drie maanden na de operatie aantoonbaar.

Bij gelijktijdig opwekken van een centrale nystagmus en een galvanische nystagmus treedt een additief effect op.

Uit het onderzoek en uit de literatuur blijkt dat voor het opwekken van een nystagmus door elektrische prikkeling functionerende labyrinten noch

ganglia van Scarpa nodig zijn.

Uit de bevinding dat elektrische stimulatie en andere vestibulaire prikkels elkaar volgens algebraïsche additie beïnvloeden, valt te concluderen dat de elektrische prikkeling specifiek kan aangrijpen op het gehele vestibulaire systeem. Het feit dat elektrische prikkeling op zichzelf ook vestibulaire reflexen veroorzaakt, maakt het onwaarschijnlijk dat het aangrijpingspunt uitsluitend in het oogbewegingsstelsel zou liggen. Volgens de auteurs Dohlman, Huizinga, Pfaltz en Richter heeft de elektrische prikkeling bij konijnen en bij de mens zijn aangrijpingspunt op het niveau van de nervus vestibularis, aangezien bij laesies op dit niveau geen galvanisch reactiepatroon meer op te wekken is.

Bourguignon, Hahn en Menzio vonden echter dat een laesie van de nervus vestibularis bij de mens wordt gekenmerkt door een toename van de drempelstroomsterkte die nodig is voor het opwekken van een nystagmus. Hieruit volgt dat de elektrische prikkel, naast de nervus vestibularis, tenminste nog één aangrijpingspunt moet hebben in het centrale vestibulaire stelsel. Wij konden overigens deze bevindingen niet bevestigen bij labyrinthloze konijnen. Het lukte niet, langdurende experimenten te doen bij konijnen waarbij de nervus vestibularis was doorgesneden. De bovenvermelde resultaten wijzen er op dat de sterkte van de elektrische prikkeling die nodig is om een galvanisch reactiepatroon op te wekken, afhangt van het al of niet intact zijn van het vestibulaire stelsel. Een zuiver perifere laesie in het vestibulaire stelsel doet de reactie op elektrische prikkeling nauwelijks of niet veranderen, hoewel de drempelwaarde doorgaans afneemt. Bij een centrale localisatie van een laesie zal de voor het opwekken van een bepaalde galvanische reactie noodzakelijke stroomsterkte naar alle waarschijnlijkheid toch wel groter zijn dan bij een meer perifeer gelegen laesie.

Onze conclusie is dat bij galvanische stimulatie de elektrische prikkeling zowel centraal als perifeer in het vestibulaire stelsel kan aangrijpen. Aldus is met behulp van het galvanisch onderzoek een voorkeur van de nystagmusrichting aan te tonen bij een pathologische verandering in het vestibulaire stelsel.

Een onderzoek bij patiënten zal moeten uitwijzen of de galvanische stimulatie bruikbaar kan worden gemaakt als methode voor vestibulair onderzoek. Daarbij zal het vooral van belang zijn technieken te ontwikkelen die slechts één vestibulair orgaan prikkelen.

## SUMMARY

The aim of this study was to investigate eyemovements provoked by electric stimulation of the vestibular system in rabbits. Also the effects of artificial lesions of this system on the galvanic reaction pattern were determined.

Electric stimulation provoked an eyemovement, the amplitude and direction of which depended on the strength and polarity of the current and on the location of the electrodes. Eyemovements could also be elicited by electric stimulation in rabbits with both the labyrinths destroyed. When the parallel swing and electric stimulation were used at the same time, an algebraic summation of both eyemovements was obtained.

The same phenomenon was seen when rotatory and electric stimulations were simultaneously applied. The frequency of the nystagmus diminished when its fast phase was directed towards the anode. Centrally provoked nystagmus appeared to react equally to electric stimulation.

A direct current of 5 mA or more caused a nystagmus which duration correlated with the increasing strength of the current. In rabbits with unilateral lesions in the vestibular system we could demonstrate a directional preponderance of the nystagmus towards the intact or least damaged vestibular organ.

Our investigation confirmed the results reported in the literature that when a nystagmus is provoked by means of electric stimulation the labyrinths are not involved. The same may hold true for the ganglia of Scarpa.

From the fact that electric and other stimuli of the vestibular system influenced each other according to the principle of algebraic summation, we may conclude that the electric stimulation can effect the entire vestibular system in a specific way. The very fact that electric stimulation also provoked vestibular reflexes, makes it unlikely that the point of impact of the electric current is confined exclusively to the oculomotor system.

Dohlman, Huizinga, Pfaltz and Richter state that the point of impact of the electric stimulation is the vestibular nerve in rabbits as well as in man since they could not provoke any galvanic reaction if the vestibular nerves were damaged.

In contrast Bourguignon, Hahn and Menzio found that a lesion of the vestibular nerve in man only results in an increase of the threshold value for the electric current necessary to provoke a nystagmus. This suggests that

besides the vestibular nerve, there is at least one more point of impact inside the central vestibular system. Unfortunately, we did not succeed in continuing our experiments with the rabbits in which one vestibular nerve had been cut, as the animals died within three weeks after the operation.

In conclusion it may be said that the strength of the electric stimulus necessary to provoke a galvanic reaction pattern, correlates with the integrity of the vestibular system. In cases of a peripheral lesion the reaction to electric stimulation hardly diminished and in most cases the sensitivity increased. A centrally located lesion needed a stronger current to provoke a galvanic reaction pattern than a more peripherally located one. Since a directional preponderance of the nystagmus in rabbits indicated a lesion of the vestibular system, the galvanic vestibular test may be suitable for the detection of such lesions in patients, especially when the lesion is located in only one peripheral vestibular organ.

# LITERATUUR

- ABRAHAMS, A. (1913) The analysis of nystagmus. *Lancet* 1: 1523.
- AUGUSTIN, F.L. (1803) Versuch einer vollständigen systematischen Geschichte der galvanischen Electricität und ihrer medicinischen Anwendung. Berlin, Der Felischischen Buchhandlung.
- BABINSKI, J. (1950) geciteerd uit P.E. Hennebert: L'épreuve galvanique. *Acta oto-rhino-laryng. belg.* 4: 409-417.
- BÁRÁNY, R. (1906) Untersuchungen über rhythmischen den vom Vestibularapparat des Ohres reflektorisch ausgelösten Nystagmus und seine Begleiterscheinungen. *Mscr. Ohrenheilk.* 40: 193-297.
- BARD, L. (1929) geciteerd uit G. Dohlman: Experimentelle Untersuchungen über die galvanische vestibularis Reaktion. *Acta oto-laryng.* (Stockh.) suppl. VIII: 1-48.
- BELLENS, S. (1950) Etude critique de l'épreuve galvanique. *Acta oto-rhino-laryng. belg.* 4: 418-423.
- BERGMANN, F., COSTIN, A. en CHAIMOVITZ, M. (1970) Influence of lesions in the lateral geniculate body of the rabbit on optic nystagmus. *Exp. Neurol.* 28: 64-75.
- BLONDER, E.J. en DAVIS, L. (1936) The galvanic falling reaction in patients with verified intracranial neoplasm. *J. Amer. med. Ass.* 107: 411-412.
- BOIS-REYMOND, E. DE. (1849) Untersuchungen über thierische Elektrizität. Berlin, Reiner.
- BOS, J.H. (1962) On vestibular nystagmus without causative endolymph displacement. *Academisch proefschrift*, Amsterdam.
- BOS, J.H. en JONGKEES, L.B.W. (1963) On galvanic stimulation of the labyrinth. *Pract. oto-rhino-laryng.* (Basel) 25: 345-348.
- BOS, J.H. (1967) Galvanische nystagmus. *Ned. T. Geneesk.* 111: 1680.
- BOS, J.H., JONGKEES, L.B.W. en KRUIDENIER, C. (1968) The artifact on electronystagmography during galvanic labyrinth stimulation. *Pract. oto-rhino-laryng.* (Basel) 30: 214-218.
- BOURGUIGNON, G. en DEJEAN, R. (1927) Chronaxie normale du nerf vestibulaire de l'homme. *Rev. neurol.* 1, 6: 1017-1024.
- BOURGUIGNON, G. (1950) Les chronaxies vestibulaires. *Acta oto-rhino-laryng. belg.* 4: 424-446.
- BRESNAN, K. en KRAG, E. (1967) Galvanic pseudonystagmus. *Acta oto-laryng.*

BRESON, K., ELBERLING, C. en FANGEL, J. (1971) Galvanic nystagmography. *Acta oto-laryng.* (Stockh.) 71: 449-455.

BREUER, J., (1929) geciteerd uit G. Dohlman: Experimentelle Untersuchungen über die galvanische vestibularis Reaktion. *Acta oto-laryng.* (Stockh.) suppl. VIII: 1-48.

BRÜNNINGS, W. (1911) Beiträge zur Theorie, Methodik und Klinik der Kalorimetrischen Funktionsprüfung des Bogengang apparatus. *Z. Ohrenheilk.* 63: 20-99.

BUYS, E. (1909) Beitrag zur Studium des galvanischen Nystagmus mit Hilfe der Nystagmographie. *Msehr. Ohrenheilk.* 43: 801.

CERVANTES, J.J. (1952) Goniometrie beim Rombergschen Phänomen und bei der galvanischen vestibularis Prüfung. *Pract. oto-rhino-laryng.* (Basel) 14: 124-128.

COATS, A.C. (1966) Directional preponderance and spontaneous nystagmus. *Ann. Otol.* (St Louis) 75: 1134-1159.

COATS, A.C. en STOLZ, M.S. (1969) The recorded body-sway response to galvanic stimulation of the labyrinth. *Laryngoscope* (St Louis) 74: 85-103.

COATS, A.C. (1972) Limit of normal of the galvanic bodysway-test. *Ann. Otol.* (St Louis) 8: 410-416.

COATS, A.C. (1973) Effect of varying stimulus parameters on the galvanic bodysway-response. *Ann. Otol.* (St Louis) 82: 96-102.

COATS, A.C. (1973) The variability of the galvanic bodysway-test. *Ann. Otol.* (St Louis) 82: 333-339.

COATS, A.C. (1973) The sinusoidal galvanic bodysway response. *Acta oto-laryng.* (Stockh.) 74: 155-162.

DODGE, R. (1907) An experimental study of visual fixation. The psychological review monograph 8: 4 Nov.

DOHLMAN, G. (1925) Physikalische und physiologische Studien zur Theorie des kalorischen Nystagmus. *Acta oto-laryng.* (Stockh.) suppl. V: 1-196.

DOHLMAN, G. (1929) Experimentelle Untersuchungen über die galvanische vestibularis Reaktion. *Acta oto-laryng.* (Stockh.) suppl. VIII: 1-48.

DURAND, J. (1927) L'épreuve galvanique. *Rev. neurol.* I, 6: 942-949.

EWALD, J.R. (1892) Physiologische Untersuchungen über das Endorgan des Nervus Octavus. Wiesbaden, Bergmann.

FORGÁCS, P., JÁRFAS, K. en KUN, L. (1973) Recording of Forgác's photo-nystagmographic method. *J. Laryng.* 87: 347-364.

GABERSEK, V. en JORBET, F. (1958) L'enregistrement du nystagmus galvanique. *Ann. Oto-laryng.* (Paris) 83: 1-2, 370-378.

GABERSEK, V. en JORBET, F. (1965) L'épreuve galvanique en électro-nystagmographie. *Rev. neurol.* (Paris) 112, 4: 266-270.

GESTEWITZ, H. (1972) Die Photoelectronystagmographie. H.N.O. (Berlin) 20: 159.

HAHN, R. en MENZIO, P. (1966) La valeur diagnostique de la stimulation vestibulaire galvanique dans certains syndromes otoneurologiques. *Confin. neurol.* (Basel) 28: 327-332.

HENNEBERT, C. (1950) geciteerd uit P.E. Hennebert: L'épreuve galvanique. *Acta otho-rhino-laryng. belg.* 4: 409-417.

HENNEBERT, P.E. (1950) L'épreuve galvanique. *Acta oto-rhino-laryng. belg.* 4: 409-417.

HITZIG, E. (1871) Über galvanische Schwindel. *Reymond's Archiv.* Hft 5 & 6 Reichertz und Du Bois.

HUIZINGA, E. (1930) Untersuchungen über die galvanischen Reaktion des Vestibularapparates bei der Taube. *Pflügers Arch. ges. Physiol.* 224: 569-586.

HUIZINGA, E. (1931) De la réaction galvanique de l'appareil. *Acta oto-laryng.* (Stockh.) 15: 451-468.

HUIZINGA, E. (1931) Über die galvanische vestibularis Reaktion und über die Folgen der Extirpation des Scarpaschen Ganglions bei Taube. *Pflügers Arch. ges. Physiol.* 226: 709-722.

JACOBSON, E. (1930) Electric measurements of neuromuscular states during mental activities. *Amer. J. Physiol.* 95: 694.

JENSEN, P. (1896) Über den galvanischen Schwindel. *Pflügers Arch. ges. Physiol.* 64: 182-222.

JUDD, Ch.H., McALLISTER, C.N. en STEELE, W.M. (1905) General introduction to a series of studies of eye movements by means of kinetoscopic photographs. *Monograph Suppl. of the Psychol. Rev.* 7: 1.

KAPTEYN, T.S. (1968) The stabilogram: the recorded Rombergtest. *Pract. oto-rhino-laryng.* (Basel) 30: 400.

KAPTEYN, T.S. (1968) Het stabilogram: de geschreven Rombergproef. *Ned. T. Geneesk.* 112: 968.

KAPTEYN, T.S. (1972) The stabilogram: measurement techniques. *Agressologie* 13C: 75-78.

KAPTEYN, T.S. en WIT, G. DE. (1972) Posturography as an auxiliary in vestibular investigation. *Arch. Otolaryng.* 73: 104-111.

KLEYN, A. DE (1912) Zur Technik der Labyrinthextirpation und Labyrinth-ausschaltung bei Katze. Pflügers Arch. ges. Physiol. 145: 549-556.

KORNHUBER, H.H. en DA FONÇESCA, J.S. (1964) Optovestibular integration in the cat's cortex: a study of sensory convergence an cortical neurons. In: M.B. Bender: The oculomotor system, pp. 428-482. New York, Harper & Row.

KRISTENSEN, H.K. en ZILSTORFF-PEDERSEN, K. (1953) Optical nystagmography in the differential caloric test. Acta oto-laryng. (Stockh.) suppl. 109: 82-93.

KUILMAN, J. (1938) Nystagmographie tijdens draaibewegingen bij de mens. Academisch proefschrift, Leiden.

LACHMANN, J., BERGMANN, F. en MONNIER, M. (1958) Central nystagmus elicited by stimulation of the mesodiencephalon in the rabbit. Amer. J. Physiol. 193: 328-334.

LE DOUX, A. (1949) Activité électrique des nerfs des canaux semicirculaires du saccule et de l'utricule chez la grenouille. Acta oto-rhino-laryng.belg. 3: 335-349.

LE DOUX, A. (1958) Les canaux semicirculaires. Acta oto-rhino-laryng.belg. 12: 113-346.

LORENTE DE NO, R. (1931) Ausgewählte Kapitel aus der vergleichenden Physiologie des Labyrinthes. Sonderdruck Ergebn. Physiol. 32.

LÜWENSTEIN, O. (1955) The effect of galvanic polarization on the impulse discharge from sense endings in the isolated labyrinth of the thornbackray (raja clavata). J. Physiol. 127: 104-117.

MACKENZIE, G.W. (1917) Galvanic test of the internal ear. Laryngoscope (St Louis) 27: 200-203.

MARX, H. (1911) Über den galvanischen Nystagmus. Z. Ohrenheilk. 63: 201-210.

MEYERS, I.L. (1929) Electronystagmography: a graphic study of the action currents in nystagmus. Arch. Neurol. Psychiat. (Chic.) 21: 901.

MOWRER, O.H., RUCH, T.C. en MILLER, N.E. (1963) The corneo-retinal potential difference as the basis of the galvanometric method of recording eye movements. Amer. J. Physiol. 114: 423.

NJIOKIKTJEN, Ch. (1971) Enige aspecten van de vestibulospinale reflexen. Ned. T. Geneesk. 115: 217-220.

NJIOKIKTJEN, Ch. (1972) The influence of vision on the vestibulospinal reflex. Agressologie 13C: 91-94.

NJIOKIKTJEN, Ch. en RIJKE, W. DE (1972) The recording of Rombergtest and its application in neurology. Agressologie 13C: 1-7

NYKIEL, F. en TOROK, N. (1963) A simplified nystagmograph. Ann. Otol (St Louis) 72, 3: 647-654.

NASHNER, L.M. (1971) A model describing vestibular detection of body-swaymotion. Acta oto-laryng. (Stockh.) 72: 429-436.

NASHNER, L.M. (1972) Vestibular postural control model. Kybernetik 10: 106-110.

OEM, J. (1914) Zur graphischen Registrierung des Augenzitterns der Bergleute und der Lidbewegungen. Z. Augenheilk. 33:4.

OOSTERVELD, W.J. (1963) Effects on central nystagmus. Academisch proefschrift, Amsterdam.

OOSTERVELD, W.J. (1965) De torsieschommel. Ned. T. Geneesk. 109: 1783-178

OOSTERVELD, W.J. (1970) The parallel swing. Arch. Otolaryng. 91: 154-157.

ORSCHANSKY, J. (1898) Eine Methode die Augenbewegungen direkt zu untersuchen. Zbl. Physiol. 12: 785.

PEETERSON, E. en ZILLSTORFF-PEDERSEN, K. (1963) Vestibulospinal reflexes, alterations in the steppingtest following galvanic stimulation. Arch. otolaryng. 77: 586-591.

PFALTZ, C.R. en RICHTER, H.R. (1955) La photoélectronystagmographie. J. franç. Oto-rhino-laryng. 62: 113.

PFALTZ, C.R. en RICHTER, H.R. (1965) Photoelektrische Nystagmus Registrierung. Pract. oto-rhino-laryng. (Basel) 18: 263-271.

PFALTZ, C.R. en RICHTER, H. (1965) La valeur diagnostique de la réaction vestibulaire galvanique. Confin. neurol. (Basel) 25: 203-209.

PFALTZ, C.R. en RICHTER, H. (1965) Grundlagen und Anwendungsbereich der Photoelektronystagmographie (PENG). Schweiz. Arch. Neurol. Neurochir. Psychiat. 264-267.

PFALTZ, C.R. (1965) L'épreuve vestibulaire galvanique. Acta oto-rhino-laryng. belg. 19: 367.

PFALTZ, C.R. (1967) Recherches nystagmographiques sur la réaction vestibulaire galvanique. Rev. neurol. 117: 309-319.

PFALTZ, C.R. en KOIKE, Y. (1968) Galvanic test in central vestibular lesions. Acta oto-laryng. (Stockh.) 65: 161-168.

PFALTZ, C.R. (1969) The diagnostic importance of the galvanic test in otoneurology. Pract. oto-rhino-laryng. (Basel) 31: 193-203.

PIERON, M. (1927) La signification de l'épreuve de la Marche Babinski-Weil et la valeur de l'excitation électrique unilatérale du labyrinthe. Rev. neurol. I, 6: 1012-1014.

PINAROLI (1925) geciteerd uit G. Dohlman: Physikalische und physiologische Studien zur Theorie der kalorischen Nystagmus. Acta oto-laryng. (Stockh.) 5: 1-186.

POTTHOFF, P.C. en BURANDT, H.R. (1967) Neuronale Reaktionen in Pons und Mesencephalon der Katze nach galvanischer Labyrinth Polarisation. Arch. klin. exp. Ohr.-, Nas.- u. Kehlk.-Heilk. 189: 262-280.

PURKINJE, J. (1820) Beiträge zur näheren Kenntniss des Schwindels aus heautognostischen Daten. Med. Jb. d. Österr. Staates 6: 79-125.

QUIX, F.H. (1924) De labyrintreflexen opgewekt door de galvanische stroom. Ned. T. Geneesk. 58: 2072-2078.

QUIX, F.H. (1926) Het verschil in de labyrintreflexen opgewekt door calorische en galvanische prikkels. Ned. T. Geneesk. 70: 471-475.

RICHTER, H.R. (1956) Principes de la photoélectronystagmographie. Rev. neurol. 94: 138-141.

RICHTER, H.R. (1956) Experiences avec la photoélectronystagmographie. Rev. neurol. 94: 843-847.

RICHTER, H.R. en PFALTZ, C.R. (1958) Recherches nystagmographiques sur la réaction vestibulaire galvanique. Confin. neurol. (Basel) 18: 370-378.

RICHTER, H.R. (1961) Analyse électronique de tracés photoélectronystagmographiques (PENG). Confin. neurol. (Basel) 21: 194-196.

RICHTER, H.R. (1964) A propos du tracé nystagmographique vrai (experiences avec la photoélectronystagmographie (PENG). Société d'electro-encephalographie de langue française 12: 270-275.

RISTOW-NIESTE, W. (1960) Tierexperimentelle Untersuchungen über den galvanischen Nystagmus und den vestibulären Tonus. Arch. klin. exp. Ohr.-, Nas.- u. Kehlk.- Heilk. 176: 792-793.

ROBINSON, D.A. (1963) A method of measuring eyemovements using a scleral search coil in a magnetic field. IEEE Trans. Biomed. Eng. okt. no: 137-145.

SCHOTT, E. (1922) Über die Registrierung der Nystagmus und anderer Augenbewegungen vermittelst des Saitengalvanometers. Dtsch. Arch. klin. Med. 140: 79-90.

MIKI TAKA SHIMA (1971) Clinical observations on the galvanic test by means of photoelectronystagmography. J. oto-rhino-laryng. Soc. Jap. Abst. 5, part I: 8-9.

SPIEGEL, E.A. en SCALA, N.P. (1943) Response of the labyrinthine apparatus to electrical stimulation. Arch. Otolaryng. 38: 131-138.

STREHL, J. (1929) geciteerd uit G. Dohlman: Experimentelle Untersuchungen über die galvanische vestibularis Reaktion. Acta oto-laryng. (Stockh.) suppl. VIII: 1-48.

STRUYCKEN, H.J.G. (1918) Registratie van de nystagmus. Ned. T. Geneesk. 62: 621.

TOROK, N., GUILLEMIN, V. en BARNOTHY, J.M. (1951) Photoelectric nystagmography. Ann. Otol. (St Louis) 60: 917-925.

TRENDELENBURG, W. en MARX, E. (1911) Über die Genauigkeit der Einstellung des Auges beim Fixieren. Z. Sinnesphysiol. 45: 87.

UTSUMI, S., YMANAKA, Y. en SUZUKI, H. (1963) Eye deviation and galvanic stimulation applied to the tympanic cavity in rabbits. J.Nara med. Ass. 14: 121-127.

UTSUMI, S. en SHINDO, H. (1963) Headmovements of the vestibular origin and the regulatory functions of the central nervous system. Acta oto-laryng. (Stockh.) suppl. 179: 25-32.

VERSTEEGH, C. (1927) Ergebnisse partieller Labyrinthextirpation bei Kaninchen. Acta oto-laryng. (Stockh.) 11: 393-408.

VITO, R.V. DE, BRUSA, A. en ARDUINI, A. (1956) Cerebellar and vestibular influence on Deitersian units. J. Neurophysiol. 19: 241-253.

WEIL, G.A. (1927) Recherches sur la technique que vertige voltaïque, inclination et rotation. Rev. neurol. I: 104-117.

WIT, G. DE. (1971) Enkele aspecten van de stabilometrie. Ned. T. Geneesk. 115: 218-220.

WIT, G. DE. (1972) Analysis of the stabilographic curves. Agressologie 13C: 79-83.

WITMER, J. (1916) Über Schüttelnystagmus. Klin.Mbl. Augenheilk. II: 361.

YOUNG, L.R. (1963) Measuring eyemovements. Amer. J. med. Technol. 2: 300-307.