

Hoofdstuk IX

SAMENVATTING.

De mens kan tijdens het staan zijn relatief hoge en zware lichaam op een klein steunoppervlak stabiel overeind houden dankzij de werkzaamheid van de drie receptorsystemen: het vestibulaire, het proprioceptieve en het visuele systeem.

Deze drie systemen verstrekken het centraal zenuwstelsel de informatie betreffende de ruimtelijke oriëntatie, alsmede de belasting van spieren, banden, gewrichten e.d. In reactie op deze informatie kan het centraal zenuwstelsel door middel van efferente pulsen het motorisch systeem opdracht geven verandering aan te brengen in de lichaamshouding.

In deze studie wordt speciaal aandacht geschonken aan de bijdrage van het vestibulaire systeem in het proces van het bewaren van de stabiliteit. De doelstellingen van deze studie zijn:

- 1) het objectief en reproduceerbaar vastleggen van de krachten zoals die worden uitgeoefend op het steunvlak ten gevolge van onwillekeurige bewegingen die een persoon maakt tijdens het staan: de Stabilometrie.
- 2) het komen tot een maatstaf waarmee de onderzoekresultaten beoordeeld kunnen worden teneinde met een zekere mate van waarschijnlijkheid vast te kunnen stellen in hoeverre deze als afwijkend aangemerkt mogen worden: Standaardisatie van de stabilometrie.
- 3) het zo mogelijk klassificeren van afwijkingen en deze klassificatie in relatie brengen met bekende ziektebeelden: de Stabilometrie voor diagnostische doeleinden.
- 4) het komen tot een model dat inzicht geeft in de wijze waarop de mens zich beweegt teneinde staande te blijven: de modelmatige benadering van de bewegingsmechanismen.

In hoofdstuk II worden de drie samenwerkende receptorsystemen kort besproken, alsook de wisselwerking en de coördinatie van deze systemen.

1. DE STABILOMETRIE.

Hoofdstuk III geeft een oriënterend overzicht van het werk dat andere onderzoekers op het gebied van de stabilometrie of posturografie hebben verricht. In dit overzicht is vooral aandacht besteed aan publikaties die handelen over de aspecten welke ook in ons onderzoek aandacht krijgen. Omdat de meningen van de verschillende auteurs niet altijd even gefundeerd lijken en vaak niet geheel met elkaar in overeenstemming zijn, is aan het einde van dit hoofdstuk een korte samenvatting gegeven.

a) de apparatuur

Hoofdstuk IV vermeldt allereerst de eisen, die wij aan onze meetapparatuur gesteld hebben. Enkele meetmethoden worden kritisch besproken en de keuze van het rekstrookjesprincipe in onze stabilometer wordt toegelicht. De ijkgegevens van het instrument staan beschreven in bijlage A. Thomas en Whitney (1959) hebben gewezen op het feit dat de door het motorisch systeem bewerkte houdingsveranderingen gepaard gaan met krachten die werkzaam zijn op het steunvlak. Gedurende snelle correcties van de lichaamshouding stemt de krachtenwerking op de stabilometer dan ook niet geheel overeen met de verplaatsing van het lichaamszwaartepunt. Dit impliceert dat strikt genomen de gekozen stabilometrische meetmethode niet geheel voldoet aan de eisen zoals geformuleerd in doelstelling 1. Met het oog hierop is op onze afdeling een meetapparatuur ontwikkeld - de positie indicatorschakeling - die het mogelijk maakt de bewegingen van een lichtbron op het lichaam van de staande persoon, welke worden waargenomen door een T.V. camera, vast te leggen met een penschrijver of een FM tape-recorder. Het blokschema en de ijkgegevens van deze positie indicatorschakeling zijn gegeven in bijlage B. Een overzicht van de meetopstelling wordt gegeven in figuur 6.

Op grond van onze interesse voor de bijdrage van het vestibulaire systeem in het proces van handhaven van het evenwicht, is door middel van de positie indicatorschakeling met name de beweging van het hoofd vastgelegd tijdens het meten van het stabilogram. Figuur 7 laat zien dat er een goede overeenstemming is tussen de bewegingen van het hoofd en de geregistreerde stabilogrammen; het blijkt dat in de hoofdbewegingen de bijdrage van de frequentiecomponenten tussen 1 en 10 Hz in veel mindere mate voorkomt dan in het stabilogram. Uit bijlage B blijkt dat dit niet veroorzaakt

kan zijn door de meetopstelling, zodat in dit verschijnsel een bevestiging gezien kan worden van de gedachtengang van Thomas en Whitney, dat het lichaam deze frequenties absorbeert.

De bewerkingsmethoden van de meetgegevens van andere auteurs en de door ons gekozen methode, worden aan een kritische beschouwing onderworpen. De toegepaste bewerking is gericht zowel op kwantificatie van de beweeglijkheid tijdens het staan als op het vastleggen van eventuele periodiciiteiten die zich in het bewegingspatroon kunnen manifesteren. Met het oog op dit laatste aspect is in het analyseprogramma een piekdetectiemethodiek en een auto-correlatiemethodiek toegepast voor twee verschillende samplesnelheden, te weten 10 s.p.s. en 10 : 3 s.p.s.

b) oriënterende onderzoeken

Hoofdstuk V geeft een overzicht van een aantal oriënterende onderzoeken. Het doel hiervan was een indruk te krijgen over de bijdrage die elk van de drie onderscheiden receptorsystemen levert aan het proces van het bewaren van de stabiliteit. De resultaten van het onderzoek in de "Flying Enterprise kamer" - figuur 8 - bevestigen de gedachte dat het proprioceptieve systeem de meest belangrijke is van de drie. Iemand verliest alleen dan zijn evenwicht wanneer het vestibulaire systeem tijdelijk wordt uitgeschakeld en het visuele systeem op zichzelf juiste informatie verstrekt, welke echter uitnodigt tot een verkeerde interpretatie door het centraal zenuwstelsel en bovendien het proprioceptieve systeem ten gevolge van het staan op een hellend grondvlak, in zijn werking wordt gehinderd. In alle gevallen waarin op een horizontaal grondvlak wordt gestaan en het proprioceptieve systeem wel goed kan functioneren, kan de proefpersoon zijn evenwicht handhaven ondanks de invloeden van het staan in een scheve kamer en het hoofdschudden. Wanneer één der systemen door experimentele omstandigheden minder goed kan functioneren, blijken de andere systemen meer invloed te hebben in het proces van het handhaven van het evenwicht. Het oproepen van een bewegingsillusie door middel van de optokinetische trommel beïnvloedt de stabiliteit nauwelijks. De meetopstelling van de Wit met de "zwaai" blijkt in staat te zijn de zogenaamde "optische zwaai" te veroorzaken.

In enkele andere onderzoeken komen aanwijzingen naar voren dat pathologie van het vestibulaire orgaan een opmerkelijke invloed kan hebben op het bewegingspatroon tijdens het staan gedurende en vlak na een periode

van hoofdschudden (figuur 10). Dit leidt tot de vraagstellingen:

*Is de laagfrequente component in het stabilogram van vestibulaire oorsprong?
Zo ja, is tijdens het hoofdschudden het centraal verwerkingsysteem verminderd toegankelijk voor informatie afkomstig uit het vestibulaire systeem?*

In hoofdstuk VII wordt nader aandacht besteed aan deze vragen.

Het calorisch onderzoek blijkt tijdelijk een lichaamsverplaatsing in zijwaartse richting te veroorzaken: Bij uitspuiten met koud water naar de ipsilaterale kant en bij uitspuiten met warm water naar de contra-laterale kant. Daarnaast blijkt bij dit onderzoek een component van ca. 0,3 Hz gedurende enige tijd meer geprononceerd voor te komen in het stabilogram in zijwaartse bewegingsrichting (figuur 11 en figuur 12).

Stimulatie van het otolithensysteem door middel van een wagentje dat een versnelde beweging uitvoert laat zien, dat de meetgegevens van een aantal gezonde proefpersonen vrij sterk gespreid liggen (figuur 13). Een persoon met beiderzijds een onprikelbaar vestibulair systeem blijkt echter niet staande te kunnen blijven wanneer zij aan het experiment deelneemt.

Stimulatie met een elektrische stroom, welke door middel van elektroden door het hoofd wordt gevoerd, kan het bewegingspatroon van personen wijzigen, met name in zijwaartse richting. Deze reactie is sterk afhankelijk van sommige ziektebeelden (figuur 14 en figuur 15).

Een patient met een uitgesproken periodieke beweging, waarschijnlijk veroorzaakt door een dysfunctie van het vestibulaire systeem, gaat tijdens galvanische prikkelingen met wisselstromen van bepaalde frequenties in het stabilogram bewegingsvormen demonstreren die het best te beschrijven zijn als zwevingspatronen (figuur 16). Voor verschillende frequenties zijn auto-correlatiefuncties berekend van de gemeten stabilogrammen (figuur 17). Het blijkt dat de voor-achterwaartse beweging in veel mindere mate gevoelig is voor de galvanische prikkeling dan de zijwaartse beweging. De zwevingsverschijnselen lijken samen te hangen met het met elkaar in fase zijn van de spontane beweging in voor-achterwaartse richting en de beweging in zijwaartse richting, waarbij de spontane beweging wordt beïnvloed door de opgedrongen periodiciteit. Tenslotte blijkt bij deze proef dat de hoofdbeweging niet steeds overeenstemt met het tegelijkertijd geschreven stabilogram.

In de literatuur blijken er meningsverschillen te bestaan omtrent de vraag welke conclusies men kan trekken uit de resultaten die men krijgt door middel van de stimulatie met een elektrische stroom zoals hier toe-

gepast. Om deze reden is deze stimulatiemethode in het onderzoek verder niet toegepast.

In figuur 19 wordt aangetoond dat het nuttigen van alcohol invloed heeft op de gemeten stabilogrammen. Op grond van een sorteringsmethode van de tijdens deze onderzoeken gemaakte statokinesigrammen, wordt het aannemelijk dat er een verband bestaat tussen de genuttigde hoeveelheid alcohol en de toename van de beweeglijkheid tijdens het staan (tabel 5-3 en tabel 5-4). De invloed van diazepam (Valium^R) op de stabiliteit komt naar voren in figuur 20. In tegenstelling tot alcohol blijkt diazepam de hoge frequenties te reduceren; de component van ca. 0,5 Hz gaat meer geprononceerd naar voren komen in het stabilogram. Op grond van het reactiepatroon van één persoon lijkt het waarschijnlijk dat een genuttigde hoeveelheid diazepam na drie kwartier de stabiliteit reeds optimaal aantast en dat de stabiliteitsvermindering na ongeveer drie uur weer afneemt (tabel 5-5).

De stabilometrie blijkt een nuttig hulpmiddel te kunnen zijn voor onderzoek naar het functioneren van het vestibulaire systeem, alsook voor onderzoek naar de invloed die bepaalde farmaca kunnen hebben op het proces voor het bewaren van de stabiliteit tijdens het staan.

2. STANDAATDISATIE VAN DE STABILOMETER.

In hoofdstuk VI staat beschreven, hoe getracht is tot een maatstaf te komen, waarmee in de kliniek beoordeeld kan worden of de stabilometrische meetresultaten als normaal of als pathologisch mogen worden aangemerkt. Door toepassing van de match-methode is nagegaan wat de invloed is van de navolgende factoren: lengte (6-1), gewicht (6-2), leeftijd (6-3), sportactiviteit (6-4) en gevoeligheid voor zeeziekte (6-5).

Dit onderzoek kon worden verricht dankzij het feit dat wij toestemming kregen van de Koninklijke Marine om 75 personen aan een uitvoerig stabilometrisch onderzoek te onderwerpen. Elke persoon is onderzocht in acht verschillende testsituaties (figuur 21). De bovengenoemde factoren blijken geen duidelijke invloed te hebben op de stabilometrische meetgegevens met uitzondering van de gevoeligheid voor zeeziekte. Personen die gevoelig zijn voor zeeziekte hebben namelijk een geringere beweeglijkheid tijdens het staan met gesloten ogen dan met geopende ogen ($P < 0,03$). Als verklaring voor dit opmerkelijke verschijnsel kan men veronderstellen dat het vestibulaire systeem van deze personen ongewoon gevoelig is en dat deze

gevoeligheid te groot is in situaties waar het lichaam doorlopend aan versnellingen wordt onderworpen, zoals dit het geval is op een schip. Wij hopen in staat gesteld te worden dit verschijnsel nader uit te zoeken.

De spreiding van de meetgegevens van de 75 personen in de acht testsituaties blijkt zo groot te zijn (6-6) dat we niet tot een scherp omschreven maatstaf kunnen komen wat betreft de normale beweeglijkheid.

De piekdetectiemethode levert voor een beperkt aantal proefpersonen in alle situaties een ongewoon groot aantal gedetecteerde pieken. Het is niet gelukt hiervoor een bevredigende verklaring te vinden; mogelijk is lichamelijke vermoeidheid één van de oorzaken van dit verschijnsel.

Algemeen blijkt het aantal gedetecteerde pieken in het voor-achterwaartse stabilogram groter te zijn dan in het stabilogram in zijwaartse richting (6-7). In hoofdstuk VIII wordt hiervoor een verklaring gegeven.

De auto-correlatiefuncties zijn ingedeeld, op grond van de mate van periodiciteit, in de vier klassen A t/m D, waarbij de eerstgenoemde een bijna sinusvormig karakter heeft terwijl in de stabilogrammen, welke in klasse D zijn ingedeeld, geen periodiciteit meer op te merken is.

Voor alle testsituaties, uitgezonderd III (staand op een dik stuk schuimrubber met de ogen geopend) en IV (als III, maar nu met de ogen gesloten), zijn de resultaten vrijwel hetzelfde (6-8). De periodiciteiten in de beide bewegingsrichtingen kunnen tijdens een meetperiode verschillen (6-8 onderste gedeelte). Dit is niet alleen het geval voor gemiddelde waarden van groepen personen, maar dit verschijnsel wordt ook gezien bij personen die tegelijkertijd in beide bewegingsrichtingen een duidelijke periodieke beweging vertonen (6-9). In 80% van deze laatste gevallen blijkt er een duidelijk verschil in periodiciteit te zijn tussen de voor-achterwaartse en de zijwaartse posturale zwaai. In de bovengenoemde situaties III en IV, waarbij gebruik gemaakt wordt van een dik stuk schuimrubber, blijkt met name de stabiliteit in zijwaartse richting sterk afgenomen te zijn; daarnaast is het aantal gedetecteerde pieken voor de beweging in voor-achterwaartse richting sterk afgenomen en krijgen de bewegingsvormen een meer periodiek karakter, gezien de klassificatie van de auto-correlatiefuncties. In hoofdstuk VIII worden deze gegevens besproken in relatie tot de ontwikkelde modellen voor de onderscheiden bewegingsmechanismen.

3. DE STABILOMETRIE ALS DIAGNOSTISCH HULPMIDDEL.

In hoofdstuk VII komt doelstelling 3 aan de orde. Het beschrijft de

bewerking van stabilometrische meetgegevens op onze afdeling, verkregen tijdens het klinisch onderzoek van patienten met duizeligheidsklachten. Het blijkt dat de stabiliteit van deze personen duidelijk ongunstiger is dan van de personen die gezond zijn en die in het vorige hoofdstuk werden besproken. Het is niet mogelijk een relatie te vinden tussen de stabilometrische meetgegevens en de specifieke gegevens omtrent het functioneren van het vestibulaire systeem, zoals deze verkregen worden met behulp van de elektronystagmografie (predominance, preponderance of onprikelbaar zijn van een labyrint). Wel zijn er aanwijzingen gevonden dat bepaalde diagnoses gerelateerd kunnen zijn met karakteristieke verschijnselen in de stabilogrammen. Teneinde dit nader uit te zoeken zijn drie groepen patienten geformeerd:

- 1) Patienten met duidelijke verschijnselen van het "cervicale syndroom" (6)
- 2) Patienten met duizeligheidsklachten na een doorgemaakte commotio (11)
- 3) Patienten lijdend aan het syndroom van Ménière (26)

De meetgegevens van deze patienten zijn vergeleken met die van een onselecteerde groep van de Marinepopulatie (10) en die van een aantal personen, werkzaam op onze afdeling (12).

Omdat de patient-gegevens alleen aanwezig zijn in de vorm van op papier geschreven curves, is een visuele beoordeling toegepast. De meetgegevens van de referentiegroepen zijn op dezelfde wijze beoordeeld. In tabel 7-2 worden de meetresultaten gegeven van de verschillende groepen in de zes toegepaste testsituaties. De optredende verschillen zijn met de toets van Yates onderzocht op significantie. Het blijkt dat de patienten in alle testsituaties instabieler staan dan de controlegroepen. Daarnaast blijken de verschillende groepen patienten zich onderling te onderscheiden in de verschillende testsituaties:

- 1) groep 1 (cervicaal syndroom) blijkt duidelijk profijt te hebben van de visuele informatie (tabel 7-2, kolom 1-2). In de andere situaties is de stabiliteit vrijwel gelijk, behalve in de situatie VI, waar na het hoofdschudden de stabiliteit extra afgenomen is.
- 2) groep 2 (commotio-patienten) ondervindt niet veel steun van de visuele informatie (1-2). De sensibilisatie doet de stabiliteit afnemen (2-3), evenals het hoofdschudden (2-5), maar in de periode na het hoofdschudden is de stabiliteit niet extra afgenomen (5-6).

3) groep 3 (Ménière-patienten). De visuele informatie blijkt een grote invloed te hebben (1-2); karakteristiek voor deze groep is dat de stabiliteit groter is tijdens het hoofdschudden met gesloten ogen dan tijdens het stilstaan met gesloten ogen (5-2); ná het hoofdschudden blijkt de stabiliteit sterk af te nemen met name in links-rechts richting (2-6). Het verschil tussen de situaties V en VI, is alleen voor deze groep significant.

De verdeling van de geklassificeerde amplituden worden in figuur 22 gegeven. Op grond van dit onderzoek kan men zeggen dat, hoewel de maatstaf voor het al of niet normaal-zijn van een stabilogram niet scherp te definiëren is, patienten met duizeligheidsklachten toch duidelijk minder stabiel staan dan normale proefpersonen. Tevens blijkt dat de drie groepen patienten zich duidelijk van elkaar onderscheiden, mits de testsituaties goed gekozen worden. De onderzoekresultaten maken het waarschijnlijk dat tijdens het hoofdschudden de invloed van de informatie van een pathologisch vestibulair apparaat wordt teruggedrongen en dat de specifieke bijdrage van het vestibulaire systeem voor het handhaven van het evenwicht, zoals dat wordt vastgelegd in het stabilogram, naar voren komt in de vorm van een component met een frequentie van ca. 0,3 Hz.

4. DE MODELMATIGE BENADERING VAN DE BEWEGINGSMECHANISMEN.

In hoofdstuk VIII wordt beschreven hoe met een gesloten T.V. circuit het bewegen tijdens het staan in beide richtingen is vastgelegd. Voor de voor-achterwaartse bewegingsrichting (figuur 23) blijken de meetgegevens te kunnen worden beschreven met een eenvoudig model (figuur 25) dat leidt tot een differentiaalvergelijking die door andere auteurs ook is aangegeven. De bewegingsvorm in zijwaartse richting blijkt persoonlijk bepaald te zijn (figuur 26, 27 en 28). Als model voor het stabiliserend mechanisme wordt gewezen op de functie van de abductoren en adductoren bij de heup (figuur 29). Op grond van dit model is een differentiaalvergelijking ontwikkeld ter beschrijving van het op de stabilometer uitgeoefende koppel. Met behulp van de positie indicatorschakeling zijn tijdens het meten van het stabilogram ook de bewegingen van het hoofd vastgelegd. Door het PDP-8 computersysteem zijn de uitkomsten van de differentiaalvergelijkingen berekend, waarbij uitgegaan is van de hoofdbeweging. Voor beide bewegingsrichtingen worden de berekende resultaten in relatie gebracht met de ge-

meten stabilogrammen (figuur 30 en figuur 31). Het kwalitatieve verloop van de curven stemt goed overeen, evenals de piek-tot-piekwaarden van de curven. De beperking bij deze metingen is gelegen in de gebruikte 9 bits analoog digitaalconverter, die de samplewaarden onvoldoende nauwkeurig vastlegt, waardoor het vereiste twee maal differentiëren grote onnauwkeurigheid met zich meebrengt. Uit de curven komt ook een tijdsverschil naar voren tussen het gemeten en het berekende stabilogram. Ter verklaring hiervan kan gewezen worden op het feit dat de stabilometrie de krachtenwerking registreert welke de aanzet vormt voor het veranderen van de lichaamshouding, terwijl de hoofdbeweging juist het resultaat van deze verandering in lichaamshouding vastlegt.

Aan het eind van hoofdstuk VIII worden enkele meetresultaten uit eerdere hoofdstukken in verband gebracht met de modelmatige benadering van het bewegingsmechanisme. Met name voor de meetgegevens uit hoofdstuk VI, verkregen met het toepassen van de dikke laag schuimrubber, kunnen bevredigende verklaringen worden gegeven.

Tenslotte wordt aangegeven op welke wijze het onderzoek zal worden voortgezet.