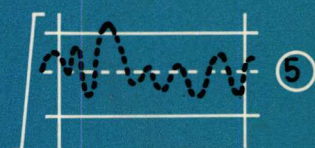
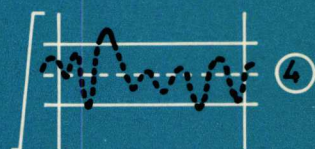
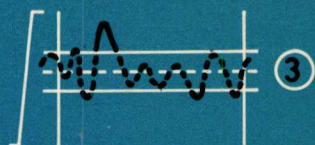
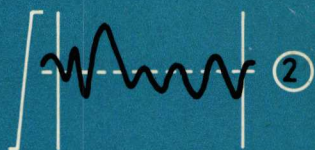
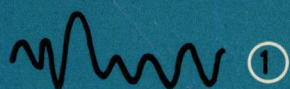


DR. J. H. ETTEMA



ARBEIDS FYSIOLOGISCHE ASPECTEN VAN MENTALE BELASTING

GEZONDHEIDSORGANISATIE TNO

**ARBEIDSFYSIOLOGISCHE ASPECTEN
VAN MENTALE BELASTING**

DR. J. H. ETTEMA

**ARBEIDSFYSIOLOGISCHE
ASPECTEN
VAN MENTALE BELASTING**



ASSEN 1967

VOOR DE GEZONDHEIDSORGANISATIE TNO

UITGEGEVEN DOOR

VAN GORCUM & COMP. N.V. - DR. H. J. PRAKKE & H. M. G. PRAKKE

Gedrukt ter Koninklijke Drukkerij Van Gorcum & Comp.

VOORWOORD

Gaarne wil ik voldoen aan het verzoek van schrijver en uitgever om dit boek van Dr. J. H. Ettema, getiteld: *Arbeidsfysiologische aspecten van mentale belasting* door middel van een voorwoord onder de aandacht van belangstellenden te brengen.

Bijna elke vorm van menselijke arbeid, zowel vroeger als nu vertoont lichamelijke en geestelijke aspecten. Krachtens zijn mens-zijn zal de mens de resultaten van zijn arbeid toetsen aan de inspanning die deze arbeid hem heeft opgelegd. Ook heel eenvoudig fysiek werk als spitten, aardappelrooien of zakken stapelen eist van de mens overleg, aandachtsconcentratie en verwerking van informatie en dus geestelijke inspanning. Door toenemende mechanisatie en automatisatie heeft er echter een belangrijke verschuiving plaats in het arbeidspatroon met als duidelijke tendens het verminderen van de fysieke inspanning, dat wil zeggen het leveren door de mens van energie of kracht en daar tegenover het vermeerderen van het waarnemen, herkennen en verwerken van informatie en dus van mentale inspanning.

Nu heeft de moderne arbeidsfysiologie een systeem opgebouwd tot het vaststellen van de zwaarte van de fysieke arbeid en van het fysieke prestatievermogen van de mens. In een Rapport van TNO, verschenen bij dezelfde uitgever is een uiteenzetting gegeven over de begrippen uitwendige en functionele of fysiologische belasting, absolute maximale (niet tijd gebonden) en relatieve maximale (tijd gebonden) belastbaarheid, alsmede de verhouding van functionele belasting en maximale belastbaarheid, aangeduid met de term belastingsgraad. In dit zelfde rapport wordt een overzicht gegeven van meetmethoden, die in de praktijk van de beroepsarbeid door deskundige onderzoekers kunnen worden gebruikt om de belasting van individu of groep bij een bepaalde arbeid vast te stellen.

Reeds bij de aanvang van de werkzaamheden van de Cargo TNO en de daaronder ressorterende Stuurgroep is naast de fysieke belasting ook de mentale belasting als object van studie en zo mogelijk meting met klem naar voren gebracht.

In vergelijking met de op zichzelf reeds ingewikkelde verhoudingen bij de fysieke belasting levert de mentale belasting echter een probleem van zodanig complexe aard, dat er bij vele onderzoekers een grote aarzeling bestond en nog bestaat, om dit probleem experimenteel en theoretisch aan te pakken. Niet zelden wordt een onderzoeker die zich aan een dergelijk probleem waagt met medelijden, kritiek of zelfs met enige afschuw bezien, omdat deze bereidheid tot onderzoek zou kunnen duiden op een miskenning van de gecompliceerdheid van het menselijk brein. Men kan en moet zich echter afvragen wat een dergelijke negatieve houding tot gevolg heeft. De technische ontwikkeling schrijdt voort, ongeacht de staat van ontwikkeling waarin zich arbeidsfysiologie en arbeidspsychologie bevinden. Deze ontwikkeling heeft echter tot gevolg dat aan grote groepen arbeiders taken worden opgedragen waarvan de arbeidsfysiologen en arbeidspsychologen niet kunnen of durven zeggen hoe zwaar deze zijn voor de mens en of ze zullen voeren tot acute of chronische overbelasting respectievelijk onderbelasting met alle gevolgen daarvan voor individu, groep en gemeenschap (arbeidsproductiviteit.)

In het gebrek aan kennis steekt dus duidelijk een uitdaging aan de wetenschap. Deze uitdaging is indertijd welbewust aanvaard door de Stuurgroep Ergonomie TNO en later met name door Dr. Kalsbeek, die na een aantal voorstudies uitgevoerd in het Instituut voor Perceptie Onderzoek van de T. H. Eindhoven en als gast van de Applied Psychology Research Unit en het Psychologisch Laboratorium van de Universiteit te Cambridge, tot de overtuiging kwam dat het onderzoek van goed meetbare fysiologische grootheden die met de mate van mentale belasting samenhangen, zinvol was en uitzicht zou kunnen bieden op verdieping van inzicht. Hieruit resulteerde de detachering van de psycholoog Kalsbeek in het Coronel Laboratorium, dat sterk geïnteresseerd was in dit werk. Deze belangstelling vloeyde niet alleen voort uit de overweging dat de ontwikkeling van de ergonomie behoefte had aan de meting van mentale belasting en belastbaarheid; de invloed van toxische stoffen in kleine doses (en eventueel andere omgevingsfactoren) op de mens zal zich kunnen uiten in verandering van menselijk gedrag in het algemeen en van mentale belastbaarheid in het bijzonder.

Zo was dus de verbintenis tussen psychologie en fysiologie op alleszins begrijpelijke wijze tot stand gekomen en hieruit kwam de wetenschappelijke tweeling-uitgave voort: de psychologische aspecten van de mentale belasting en de daarmee samenhangende

fysiologische verschijnselen enerzijds (Kalsbeek) en de arbeidsfysiologische aspecten van mentale belasting en hun onderlinge samenhang (Ettema) anderzijds.

De auteur van dit boek, Dr. Ettema heeft van de aanvang af zijn belangrijk aandeel gehad in de fysiologische metingen die Dr. Kalsbeek voor het samenstellen van zijn denkraam en de theoretische en experimentele exploraties ter ontwikkeling van meetmethoden nodig had. Dr. Ettema is echter zich volledig baserende op het door Dr. Kalsbeek ontwikkelde denkraam en zijn theoretische en experimentele exploraties tot het ontwikkelen van meetmethoden, op fysiologisch terrein verder gegaan en heeft door uitgebreide literatuurstudie en scherpzinnige experimenten de bruikbaarheid van andere fysiologische parameters voor het evalueren van de mentale belasting getoetst en de onderlinge samenhang van de verschijnselen bestudeerd.

Voor een deel overlappen de onderzoeken van arbeidspsycholoog en arbeidsfysioloog elkaar; ten dele maken ze zelfs in hun betoog gebruik van dezelfde experimenten. Het is echter nuttig en boeiend door lezing van beide verhandelingen een dieper inzicht te verwerven door de benadering van hetzelfde probleem vanuit verschillende disciplines.

De auteur komt tot een aantal duidelijk geformuleerde gevolgtrekkingen en opent bovendien veelbelovende perspectieven voor verder onderzoek, hetgeen in dit nog zo weinig ontgonnen onderzoeksterrein van grote betekenis moet worden geacht.

Er zal nog veel fundamenteel en in de praktijk van de arbeid toegepast onderzoek moeten worden verricht, alvorens de arbeidswetenschappen zullen beschikken over scherp gedefinieerde begrippen en meetmethoden die kunnen voeren tot het nastreven van een juist evenwicht tussen mentale belasting en mentale belastbaarheid in de arbeidssituatie. Het begin, of als men wil, een begin is gemaakt met het evalueren van deze grootheden. De toekomst zal moeten leren in hoeverre arbeidsfysiologie en arbeidspsychologie erin zullen slagen aan de evaluatie van deze evident belangrijke grootheden een deugdelijke grondslag te geven en daarop gebaseerde in de praktijk bruikbare meetmethoden.

PROF. DR. G. C. E. BURGER

INHOUDSOPGAVE

VOORWOORD

HOOFDSTUK I	INLEIDING	1
HOOFDSTUK II	DENKMODEL VOOR DE ARBEIDSBELASTING .	5
HOOFDSTUK III	MENTALE BELASTING.	15
HOOFDSTUK IV	OPERATIONALISERING EN VRAAGSTELLING.	32
HOOFDSTUK V	HARTRITME EN MENTALE BELASTING. . . .	43
HOOFDSTUK VI	BLOEDDRUK EN MENTALE BELASTING . . .	56
HOOFDSTUK VII	ADEMHALING EN MENTALE BELASTING. . .	61
HOOFDSTUK VIII	ENKELE AANVULLENDE EXPERIMENTEN . .	66
HOOFDSTUK IX	SINUSARITMIE	74
HOOFDSTUK X	SCORING VAN DE SINUSARITMIE	86
HOOFDSTUK XI	BESCHOUWINGEN EN NIEUWE VRAAGSTEL- LING	96
HOOFDSTUK XII	DE OPZET VAN EEN NIEUW ONDERZOEK . .	102
HOOFDSTUK XIII	RESULTATEN VAN HET ONDERZOEK	114
HOOFDSTUK XIV	PERSOONLIJKHEIDSKENMERKEN	127
HOOFDSTUK XV	EINDBESPREKING	134
SAMENVATTING		145
SUMMARY		151
LITERATUUR		157

HOOFDSTUK I - INLEIDING

De mens in het arbeidsproces

De ontwikkeling in onze maatschappij van het sociale leven en van de techniek hebben geleid tot een herwaardering van de positie van de mens in het arbeidsproces. De groei van het sociaal bewustzijn heeft enerzijds de economische betekenis van de menselijke arbeid sterk doen toenemen, anderzijds het oordeel omtrent de aanvaardbaarheid van de arbeidstaak beïnvloed. Daarnaast worden door de technische vooruitgang aan de mens steeds nieuwe eisen gesteld, waaraan hij vaak niet kan voldoen, omdat ze te weinig rekening houden met de specifieke menselijke capaciteiten.

De bedrijfsgeneeskunde heeft in deze ontwikkeling de kans een positieve bijdrage te leveren aan de bevordering van situaties, die gunstig zijn voor de gezondheid. Gezondheid is hier vooral: het bestaan van een goede harmonie tussen de mens en zijn omgeving (taak).

De Ergonomie

In het kader van de ergonomie streeft men naar een volledige acceptatie van de factor *mens* in het produktieproces, zowel met het oog op de bevordering van zijn gezondheid, als met het oog op een optimaal gebruik van zijn capaciteiten. Hierbij wordt er naar gestreefd de kloof, die is ontstaan tussen de ontwerper van een taak (constructeur, bedrijfsorganisator, planner, etc.) en diegenen, die de taak dienen uit te voeren, te overbruggen. De ontwerper dient ook de mens (uitvoerder) als volwaardig element in zijn planning te betrekken. Helaas ontbreken hem zeer vaak de gegevens, die voor zo'n planning nodig en bruikbaar zijn. Het is de taak voor de medicus en de psycholoog in het ergonomisch team hem die gegevens te leveren en wel in een vorm, die bruikbaar is; waarmede 'gerekend' kan worden. Er is een behoefte aan kennis van relevante menselijke eigenschappen in 'maat en getal', in de vorm van tabellen en modellen. Een juiste interpretatie van deze gegevens zal het mogelijk

maken bij de vormgeving van een taak rekening te houden met een optimaal gebruik van de menselijke vermogens – en zo de produktie te dienen – als ook met de beperkingen aan het gebruik van die vermogens te stellen – en zo bij te dragen tot bevordering van de gezondheid van de mens; deze gezondheid is tenslotte voorwaarde voor een voldoende prestatie ook op lange termijn.

Gebrek aan kennis

Helaas bestaat er een groot gebrek aan kennis, speciaal aan kennis in een vorm, die ergonomisch hanteerbaar is. Hier is nog veel medische, speciaal arbeidsfysiologische research nodig om naast vertaling van bekende feiten in een technische vorm, door middel van experimenten nieuwe, tot nog toe onbekende gegevens te verzamelen, gegevens die in maat en getal relevante menselijke eigenschappen weergeven. Alleen zo is het mogelijk te komen tot een juiste herwaardering van de factor arbeid door de mens en zo van de mens in het produktieproces.

Door de voortschrijdende mechanisatie en automatisatie verandert het accent van de menselijke bijdrage aan het produktieproces. Lag vroeger het accent vooral op het leveren van energie (mens als 'krachtbron'), steeds meer en meer verschuift het accent naar het controleren en reguleren van onderdelen van het produktieproces. Vooral dit aspect van het menselijk vermogen is onvoldoende bekend. De behoefte aan kennis omtrent de eisen, die men moet stellen bij de vormgeving van dit soort taken en die voortvloeien uit de factor mens, wordt in het bedrijfsleven sterk gevoeld. In navolging van het begrip fysieke belasting spreekt men wel van mentale belasting, om de eisen van taak en taakomstandigheden aan de geestelijke vermogens van de mens aan te duiden.

Initiatief tot onderzoek

De bovengeschetste ontwikkeling heeft er toe geleid, dat de stuurgroep Ergonomie van de Cargo T.N.O. (Commissie voor Arbeids-geneeskundig Onderzoek van de Gezondheidsorganisatie T.N.O.) behalve aan de fysieke belasting ook aandacht ging schenken aan de mentale belasting, die in een taak besloten kan liggen.

Dit gebeurde op een – internationaal gezien – vroeg tijdstip. Er waren reeds ervaringen met de begripsvorming en normstelling rondom de gehele scala van fysieke invloeden vanuit taak en taak-

omgeving op de mens (fysieke belasting). Vanuit deze ervaringen werd nu getracht te komen tot een omschrijving van de eisen, die voortvloeien uit taken die vooral een mentale inspanning vereisen (mentale belasting).

In 1960 werd door T.N.O. (Cargo) een opdracht verstrekt aan het Instituut voor Perceptieonderzoek (I.P.O.) te Eindhoven (directeur prof. dr. J. Schouten) en het Laboratorium voor Zintuigfysiologie T.N.O.-R.V.O. te Soesterberg (directeur destijds dr. M. A. Bouwman) om bij te dragen aan de ontwikkeling van meetmethoden voor de perceptief-mentale belasting. In het raam van deze opdracht volgde detachering vanuit T.N.O. bij het I.P.O. van een experimenteel-psycholoog, nl. drs. J. W. H. Kalsbeek. Het zijn de resultaten van het werk van Kalsbeek met dubbeltaakexperimenten bij het I.P.O. en later bij de Applied Psychology Unit (A.P.U.) te Cambridge, die de basis hebben gevormd voor het verdere onderzoek naar fysiologische meetmethoden. Eind 1962 werd door Kalsbeek begonnen met het betrekken van fysiologische parameters bij het onderzoek. Dit geschiedde in nauwe samenwerking met het Coronel Laboratorium voor Arbeidshygiëne van de Universiteit van Amsterdam (hoogleraar-directeur destijds prof. dr. G. C. E. Burger). Ook na het tot stand komen van het Laboratorium voor Ergonomische Psychologie T.N.O. in 1964 is deze samenwerking tussen Kalsbeek en de auteur voortgezet, waarbij de auteur in het bijzonder de medisch-fysiologische aspecten van het onderzoek heeft verzorgd.

De introductie van het onderzoek naar fysiologische criteria

Het arbeidsfysiologisch onderzoek heeft geleid tot inzicht in de 'kosten' van fysieke belasting voor een menselijk organisme. Meer dan een beoordeling van het gedrag blijken bepaalde fysiologische criteria bij te dragen tot dit inzicht in de kosten. Uit de optredende fysiologische veranderingen kan men de objectieve betekenis van een bepaalde inspanning beoordelen: een zelfde gedrag behoeft nog niet een zelfde inzet, gelijke kosten te betekenen. Vanuit deze gedachtengang kan men nu komen tot de stelling, dat ook voor de beoordeling van de kosten van mentale inspanning kennis van de fysiologische veranderingen belangrijker is dan kennis van het gedrag alleen. Voorafgaande aan het onderzoek naar fysiologische veranderingen diende allereerst een ergonomisch hanteerbare, kwantificeerbare omschrijving van het begrip mentale belasting tot stand te komen. Naar mijn mening is door Kalsbeek (KALSBEEK 1967) op

zeer aanvaardbare en verantwoorde wijze hieraan tegemoet gekomen. Het onderzoek, dat op basis van zijn theorieën is gedaan, heeft inderdaad geleid tot het vinden van bepaalde fysiologische veranderingen.

Resultaten van het onderzoek

Het in de volgende hoofdstukken beschreven onderzoek naar circulatoire en respiratoire veranderingen bij mentale belasting is grotendeels verricht in nauwe samenwerking met Kalsbeek. Hierbij heeft ieder zijn eigen specifieke inbreng gehad vanuit de eigen discipline.

Na verschillende gezamenlijke publikaties zijn onlangs door Kalsbeek vanuit de experimentele psychologie uitgebreid de resultaten van experimenten en begripsvorming weergegeven (KALSBEEK 1967). Hierbij zijn ook enkele resultaten van de onderzoeken naar fysiologische veranderingen bij mentaal belastende taken vermeld. Vooral dit laatste aspect – de fysiologische belasting – zal in de volgende pagina's aandacht krijgen. Bovendien zal gepoogd worden meer inzicht te geven in de fysiologische grondslagen van de veranderingen in circulatoire en respiratoire verschijnselen onder invloed van mentale belasting aan de hand van bespreking van enkele daarop gerichte onderzoeken.

Ook zal, maar nu meer consequent vanuit de arbeidsfysiologische begripsvorming rondom de fysieke belasting, aandacht geschonken worden aan het denkmodel voor het begrip 'mentale belasting'. Getracht zal worden dit begrip af te grenzen tegenover enkele andere uit de literatuur bekende begrippen.

De hier ontwikkelde begrippen kunnen niet meer dan voorlopig zijn. Zij dienen meer gezien te worden als startpunt voor verder onderzoek. Toepassing van deze begrippen en van de resultaten van het in het laboratorium gedane onderzoek in de praktijk van industriële taken is geen utopie, maar een uitdaging die aanvaard kan en moet worden.

HOOFDSTUK II - DENKMODEL VOOR DE ARBEIDSBELASTING

Het systeem: MENS-SITUATIE

De door Wiener in zijn 'Cybernetics' geformuleerde inzichten hebben verrijkend gewerkt op alle gebieden van de wetenschap (WIENER 1961). Ook voor de menswetenschappen betekent de cybernetica een nieuwe dimensie. Zij heeft niet alleen de aandacht gericht op de onderlinge samenhang en orde van de verschillende functionele systemen en mechanismen in de mens, maar ook de wisselwerking tussen de mens en zijn omgeving in een nieuw licht geplaatst. In de bedrijfsgeneeskunde neemt de bestudering van dit systeem MENS-SITUATIE een belangrijke plaats in. De mens is in de industriële situatie – al dan niet vrijwillig – onderhevig aan allerlei invloeden vanuit deze situatie, die vaak vele reacties van het menselijk organisme ten gevolge hebben. Maar bovendien moet hij een speciale inspanning verrichten en daarbij kunnen in het dynamisch evenwicht tussen de mens en zijn omgeving en tussen de verschillende orgaansystemen onderling belangrijke verschuivingen optreden.

De taak van de bedrijfsgeneeskunde

In dit kader kan men aan het handelen van de bedrijfsgeneeskundige twee doelstellingen onderscheiden:

1. gericht op de individuele mens: uitgaande van de eisen van de taak en taakomstandigheden door selectie bepaalde minder geschikte of meer kwetsbare personen uit te sluiten van bepaalde werkzaamheden; door revalidatie bepaalde personen meer geschikt te maken of door voorschrijven van individuele beschermingsmaatregelen schade aan de gezondheid te voorkomen, etc.
2. gericht op de situatie: uitgaande van de eigenschappen van de normale, gemiddelde mens omgeving en taak aan de mens aan te passen op een wijze, dat de beïnvloeding van de mens door taak en situatie niet schadelijk of zo mogelijk zelfs bevorderlijk zal zijn voor de gezondheid van de mens; hierbij moet de doelstelling van de opgelegde taak worden gehandhaafd.

Men kan het dubbele doel van de bedrijfsgeneeskunde als volgt samenvatten: 'the adaptation of work to man and of each man to his job' (I.L.O.-W.H.O. 1957).

Vooraf tijdens en na de laatste wereldoorlog is er in het bedrijfsleven meer interesse ontstaan voor de tweede doelstelling: de aanpassing van het werk aan de man. Dit heeft geleid tot een interdisciplinaire benadering in een samengaan van technici, medici en psychologen in het kader van Human Engineering (Amerika) en Ergonomie (Europa), welke beide niet geheel identieke activiteiten een soort synthese vinden in de studie van de 'Human Factors (Society)'.

De Ergonomie

De definitie van Ergonomie, zoals BURGER (1960) die formuleerde luidt:

„The application of biological knowledge in the field of anatomy, physiology, experimental psychology and occupational medicine to the study of work done in gainful employment, with the purpose of achieving an optimum man-machine system, in which a proper balance is maintained between work load and work capacity by seeing to it that the best possible use is made of the workers powers and capabilities, in the interest of his own health (and dignity) and in the interest of productivity”.

De Nederlandse vereniging voor Ergonomie hanteert de volgende beginselverklaring:

„Onder Ergonomie wordt verstaan het verzamelen, interpreteren en toepassen van kennis over de mogelijkheden, beperkingen en vitale behoeften van de gezonde mens met het doel tot een optimale aanpassing te geraken van de arbeidsvorm, de arbeidsintensiteit en de arbeidsomgeving aan de eigenschappen van de mens, teneinde diens geestelijk en lichamelijk welzijn te bevorderen en een optimaal arbeidsresultaat te verkrijgen.

Iedere wetenschap, die de relatie bestudeert tussen mens en arbeid kan dan ook een bijdrage tot de ergonomie leveren.

Hierbij kan men denken aan de arbeidsfysiologie, functionele anatomie, psychologie ('engineering psychology'), arbeidswetenschappen, technische wetenschappen.

De ergonomie is dus een benaderingswijze, waarbij het samengaan van verschillende vakgebieden essentieel is”.

Deze definities bevatten niet alleen een pleidooi tot de constructeurs, om bij de vormgeving van taak en taakomstandigheden de mens als volwaardig element en niet als sluitstuk te beschouwen, maar ook een uitdaging aan de menswetenschappen tot formuleren van de capaciteiten, die betrekking hebben op de mens in het 'man-machine

system'. Deze formulering van eisen dient zo te geschieden, dat met deze eisen rekening kan worden gehouden of met andere woorden: 'kan worden gerekend'.

Ergonomie houdt in een interdisciplinaire samenspraak en uitwisseling van gegevens. Niet alleen de bedrijfsarts en de bedrijfspsycholoog, maar ook de technici, die bij de planning en vormgeving van een taak immers met ergonomische eisen rekening moeten houden, dienen aan de ergonomische activiteiten deel te hebben. Hieruit volgt echter, dat de bijdragen van medicus en psycholoog in dit kader niet alleen kwalitatief, maar vooral kwantitatief dienen te zijn: maat en getal zijn een noodzakelijke voorwaarde om tot een vruchtbare samenwerking te komen. Voor de bedrijfsarts en bedrijfspsycholoog betekent dit het hanteren van nieuwe, aan het technisch denken te ontleen begrippen en een gebruik van een denkschema, waarin eventueel reeds bekende feiten opnieuw gerangschikt kunnen worden. Werken met dit denkschema houdt in, dat leemten in de kennis aan het licht worden gebracht; leemten, die door gericht onderzoek zullen moeten worden opgevuld.

Schema Ergonomisch onderzoek

Bij de beoordeling van een situatie in het bedrijf zijn verschillende aspecten van belang:

- A. *de mens*: wat kan hij, wat mag hij, hoe wordt hij beïnvloed en hoe beïnvloedt hij de situatie?
- B. *de machine*, de taak, gereedschap: wat zijn de eisen?
- C. *de omgeving*: wat is de invloed van lawaai, toxische stoffen, etc. op mens, taak en taakvervulling?

In het samenstel van eisen, die aan het menselijk organisme worden gesteld, kan men onderscheid maken tussen:

- I. Lichamelijke of fysieke belasting (energetisch en/of statisch)
- II. Geestelijke of mentale belasting:
 - 1. verwerking van informatie, als onderdeel van de taakuitvoering; *a.* waarnemen, *b.* keuze en beslissing, *c.* beheerste beweging.
 - 2. overige geestelijke factoren, afkomstig van individu en/of groep, aspecten, veelal subjectief, van psychische functies, die beïnvloed worden of geprovoceerd door de situatie (storing in intermenselijke contacten, verantwoordelijkheid, etc.).

Burger heeft een schema voor het ergonomisch onderzoek voorgesteld, waarbij deze aspecten van het 'man-machine system' zijn opgenomen. (BURGER 1959, BURGER en DE JONG 1962). Dit schema aangepast aan de sindsdien gewijzigde nomenclatuur, wordt gegeven in figuur 1.

<i>Uitwendige belasting</i>			
1. gemiddeld	A	B	C
2. piek			
intensiteit	MENS	MACHINE	OMGEVING
frequentie		EN	
duur		GEREEDSCHAP	
<i>I. Lichamelijke belasting</i>			
1. energetisch			
2. statisch			
<i>II. Geestelijke belasting</i>			
1. verwerking van informatie			
a. perceptie			
b. keuze en beslissing			
c. beheerste beweging			
2. overige geestelijke factoren:			
a. afkomstig van individu			
b. afkomstig van groep			

FIG. 1. Schema voor het ergonomisch onderzoek (naar Burger).

Het schema van Burger brengt naar voren, dat er een wisselwerking is tussen de verschillende belangrijke aspecten. Vanuit dit schema nu kan men komen tot onderzoek gericht op analyse van de afzonderlijke aspecten en deze aspecten kan men in hun onderlinge samenhang betrekken bij de beoordeling van de integrale belasting.

Het begrip: BELASTING

In bovengeschetste gedachtengang is geïntroduceerd de term 'belasting'. Deze term staat voor een kwantitatief begrip: belasting betekent voor het organisme zekere 'kosten', en bij een hogere belasting zullen ook de 'kosten' hoger zijn. Tevens houdt het in, dat er ergens een grens is aan de belasting, aan de kosten, die opgebracht kunnen worden (belastbaarheid, capaciteit). De belastbaar-

heid per tijdseenheid (maximaal vermogen) hangt tevens af van de tijdsduur, gedurende welke deze belasting voortduurt. Een hogere belasting betekent schade aan het organisme en leidt tot irreversibele veranderingen.

Meer cybernetisch gesteld kunnen we zeggen, dat er sprake is van belasting, indien door taakvervulling of door invloeden vanuit de omgeving een bedreiging optreedt van bepaalde – aan homeostatische normen gebonden – evenwichten. Dit zal aanleiding geven tot een aantal fysiologische reacties, die op te vatten zijn als compensatiemechanismen. Zo zal bij een verhoging van de energie-output een vergrote energie-opname en energietransport (zuurstof, nutriënten) nodig zijn om de in het lichaam aanwezige energie op het vereiste peil te houden. Een van de fysiologische reacties, die daarvoor nodig is, is een versnelde hartactie, waardoor een compensatie mogelijk wordt voor het bedreigde energie-evenwicht.

Het begrippenstelsel

Een werkgroep Meetmethoden Belasting en Belastbaarheid van de stuurgroep Ergonomie (Commissie voor Arbeidsgeneeskundig Onderzoek van de Gezondheidsorganisatie T.N.O.) is er in geslaagd een bruikbaar begrippenstelsel te ontwerpen en aanwijzingen te geven voor het toepassen van fysiologische methoden bij het vaststellen van belasting en belastbaarheid, speciaal voor een dynamische spierbelasting (CARGO 1965). Zij geeft de volgende definities en begrippen:

1. De *uitwendige belasting* wordt bepaald door de combinatie van factoren, die inhaerent zijn aan de arbeidsvorm, de arbeidsintensiteit, de arbeidsduur en de arbeidsomstandigheden en die aanleiding geven tot reacties van de mens. Deze factoren zijn uit te drukken in fysische grootheden als de gevraagde arbeid (kilocalorieën, Newtonmeters, vroeger kgm), of, bij een bepaald arbeidstempo, het gevraagde arbeidsvermogen (kilocal./minuut, PK, Newtonmeters/sec of Watts) en wel in een arbeidsomgeving omschreven in temperaturen, luchtbeweging, vochtgehalte, luchtdruk, geluidsdruk, trillingen, versnellingen, verlichtingssterkte, concentraties van gassen en dampen, enz.
2. Onder *functionele of fysiologische belasting* verstaat men de combinatie van fysieke en mentale (psychische) verschijnselen ten gevolge van een uitwendige belasting. Deze zijn uit te drukken in biologische grootheden als zuurstofverbruik, koolzuurproductie, hartminuutvolume, ventilatie, enz. Soms is de uitwendige belasting van de mens vast te stellen op indirecte wijze en wel op grond van de invloed op de hoedanigheid van het arbeidsresultaat (foutenpercentage's enz.) of op de prestatie per tijdseen-

heid. In wezen hebben deze laatste grootheden als criteria voor de belasting een ander karakter dan de functies, die direct aan het organisme zelf gemeten worden.

3. Met *belastbaarheid of arbeidscapaciteit* bedoelt men:

a. het hoogste vermogen, dat het individu bij een gegeven arbeidsvorm gedurende een bepaalde tijd kan, resp. mag leveren, al of niet gecombineerd met het vermogen tot het doorstaan van omgevingsinvloeden, uitgedrukt in fysische grootheden, als bijvoorbeeld 200 watt gedurende 10 minuten bij een effectieve temperatuur van 30°C.

b. de maximale waarde van ook bij de functionele belasting gebruikte biologische grootheden als de maximale zuurstofopneming per minuut (aerobe capaciteit), het maximale hartminuutvolume, de maximale polsfrequentie, het maximaal ademminuutvolume, de maximale zweetsecretie per minuut.

Het gebruik van biologische grootheden zal in het algemeen de voorkeur verdienen, omdat de belastbaarheid dan beter met de belasting kan worden vergeleken.

4. De *belastingsgraad* is de verhouding tussen de werkelijke en de maximale belasting, beide uitgedrukt in fysische grootheden (het leveren van 100 watt gedurende 10 minuten bij een maximaal prestatievermogen voor deze arbeidstijd van 200 watt geeft een belastingsgraad van 0,5), of in biologische grootheden (het verbruiken van 4 kcal/min gedurende 8 uur bij een fysiek arbeidsvermogen voor deze arbeidstijd van 5 kcal/min geeft een belastingsgraad van 0,8). Om dezelfde redenen als bij de belastbaarheid genoemd verdient de uitdrukking in biologische (functionele) grootheden veelal de voorkeur. Naast de hierboven omschreven belastingsgraad, die gebaseerd is op de arbeidscapaciteit voor de werkelijke arbeidstijd (t) en die als *relatieve* belastingsgraad wordt aangeduid, kan men de *absolute* belastingsgraad onderscheiden: de verhouding tussen de werkelijke functie en de maximale functie tijdens de 4e minuut bij een totale arbeidstijd van 4 minuten. * Stelt $\dot{M}$ de arbeidsstofwisseling gedurende de tijd t voor, dan is de relatieve belastingsgraad $= \dot{M}/A_t$ en de absolute belastingsgraad $= \dot{M}/A_4$.

Beide verhoudingsgetallen zijn in fracties of als percentages uit te drukken.

De commissie heeft zich voorlopig voor de toepassing van deze begrippen gericht op de belasting, die ontstaat bij dynamische spierarbeid. Ze zijn vooral gericht op de praktische toepassing. Wil men ook voor de beoordeling van andere effecten vanuit de situatie op de mens van dit zelfde denkschema uitgaan, dan is het noodzakelijk deze begrippen nader uit te werken.

* Deze periode van vier minuten is gekozen, daar verschillende fysiologische reacties pas na 4 minuten een maximale waarde bereiken, met name de maximale zuurstofopname wordt pas bereikt in de vierde minuut, nadat na het bereiken van de maximale zuurstofschuld de ademhaling de tijd gehad heeft zich aan te passen aan de hoge eisen.

Nadere uitwerking van het denkmodel

Vooraf bij het toepassen van het begrip functionele belasting bij andere vormen van uitwendige belasting ontstaan moeilijkheden. Allereerst dient men duidelijk onderscheid te maken tussen de niet-willekeurige fysiologische reacties – die een objectieve indruk geven van de belasting – en het willekeurig gedrag, dat voor de taakuitvoering vereist is. Bij dit laatste speelt niet alleen het (niet-) kunnen, (*Leistungsfähigkeit*), maar ook de subjectieve instelling, het (niet-) willen (*Leistungsbereitschaft*, LEHMANN 1953), een rol. Een onvoldoende taakuitvoering kan samenhangen met een te zware opgave, een toestand van uitputting (verminderde capaciteit bij ziekte bijv.), maar ook met een te geringe inzet. Het zijn de fysiologische reacties, die in dit geval een oordeel mogelijk maken.

De cybernetica heeft nieuw licht geworpen op het functioneren van bepaalde systemen en subsystemen, zoals in deze context van 'de mens'. Vele regelkringen, geordend in systemen en subsystemen, dienen de handhaving van bepaalde homeostatische normen, noodzakelijk voor de instandhouding van het integrale organisme mens. Er is een dynamisch evenwicht, zowel tussen de vele regelkringen onderling, als tussen deze en de omgeving. Extreme invloeden vanuit de situatie veroorzaken een verschuiving van de aan een norm gebonden evenwichten, welke verschuiving echter beperkt blijft door het in werking komen van diverse tegenmaatregelen, fysiologische reacties die in extreme situaties aan sterke verandering onderhevig zijn. Zo ontstaat bij fysieke inspanning een verhoogde energiestroom mede door een geringe verschuiving van de PCO_2 in de intercellulaire ruimten in de spier; deze geeft echter aanleiding tot duidelijke veranderingen in het circulatieapparaat (STEGEMAN 1963).

Lang niet altijd echter is duidelijk of de waargenomen fysiologische veranderingen relevant zijn voor de handhaving van een bedreigde norm; ook onze kennis over deze (welke?) norm kan tekort schieten. De voorkeur dient dan ook gegeven te worden aan de term 'parameters' om aan te geven, dat bepaalde waargenomen verschijnselen blijkens empirie of experiment duidelijk correleren met invloeden, die in bepaalde grootte en intensiteit schadelijk zijn voor de gezondheid van het individu.

Wij missen in bovengenoemd begrippenstelsel nog een vermelding over de uitgangswaarde. Ten opzichte van welke situatie beoordeelt men of er van belasting sprake is? Het is niet mogelijk

uit te gaan van een absoluut nulpunt, bijvoorbeeld de toestand bij een polsfrequentie = 0. Bepaalde relaties, zoals de lineaire betrekking tussen polsfrequentie en zuurstofopname bij fysieke inspanning, gelden slechts voor een beperkt bereik en gaan dus blijkbaar niet op bij zeer lage (evenmin als bij zeer hoge) waarden. Belangrijker echter is, dat deze toestand met een polsfrequentie van 0 slagen per minuut niet met het leven verenigbaar is. Dit wijst er op, dat voor de instandhouding van het leven een bepaalde fysiologische activiteit noodzakelijk is en dat er ook van een *onderbelasting* sprake kan zijn; een toestand van bedreiging van de norm door een tekort vanuit de omgeving. Als het gaat om een fysieke belasting van korte duur is er in de industriële situatie nauwelijks een probleem. Bij langdurige onderbelasting, bijvoorbeeld spierinactiviteit door bedrust gedurende enkele weken of bepaalde dwanghoudingen in de industrie, kan echter wel degelijk schade voor de mens optreden in de vorm van spieratrofie, onvoldoende aangepast zijn van het circulatie-apparaat, etc. Zoals wij later zullen zien, kan de onderbelasting bij mentale taken (vigilantietaken) in de industriële situatie ook voor de taakuitvoering schadelijk zijn.

Bij toepassing van deze begrippen in de praktijk gaat de commissie in feite wel uit van een bepaalde, bij onderlinge overeenkomst vastgestelde norm, bijvoorbeeld een nader geoperationaliseerde conditie: 'rust' (zittend op een stoel, etc.); tijdens deze conditie mogen dan gedurende enige tijd geen belangrijke schommelingen van bijvoorbeeld de polsfrequentie optreden. De functionele belasting door arbeid kan dan vervolgens bepaald worden aan de hand van de verandering van de 'parameter' ten opzichte van de rustwaarde, bijvoorbeeld de toename van de polsfrequentie (arbeidspols). Voor een oordeel over de mate van functionele belasting ten gevolge van arbeid kan men nu de gevonden verandering afwegen tegenover de grootst mogelijke verandering (belastingsgraad). Ook kan men een oordeel verbinden aan de gevonden nieuwe waarde zelf, een polsfrequentie van bijvoorbeeld 110 sl/min wordt geacht op te treden bij een belasting, die gedurende de gehele werkperiode kan (mag) worden volgehouden.

De tijdsduur bij de bepaling van de belastbaarheid

Door het bewerken van gegevens over de wereldrecords voor enkele sporten kan men gegevens verkrijgen over gemiddelde snelheid – als maat voor het geleverde gemiddelde vermogen – en over de record-

tijden – op te vatten als volhoudtijden – voor de berekende gemiddelde snelheden (ETTEMA 1966). De gemiddelde snelheid in grafiek uitgezet als functie van de volhoudtijd laat een bepaalde relatie zien: bij geringere snelheid (geringer vermogen) is de volhoudtijd aanzienlijk langer (fig. 2). De beperkingen hierbij worden gegeven door maximale zuurstofschuld (als maat voor de reserve-energie) en maximale zuurstofopname (als maat voor de maximaal mogelijke aanpassing van het energie-transport). Voor de dag in dag uit te leveren prestatie bepaalt veeleer de maximaal mogelijke voedselopname de grens van de gemiddelde dagelijks op te brengen arbeid. Bij seizoenarbeiders kan deze grens soms gedurende enkele maanden worden overschreden, hetgeen zal leiden tot gewichtsverlies. In de stille perioden treedt dan weer herstel op.

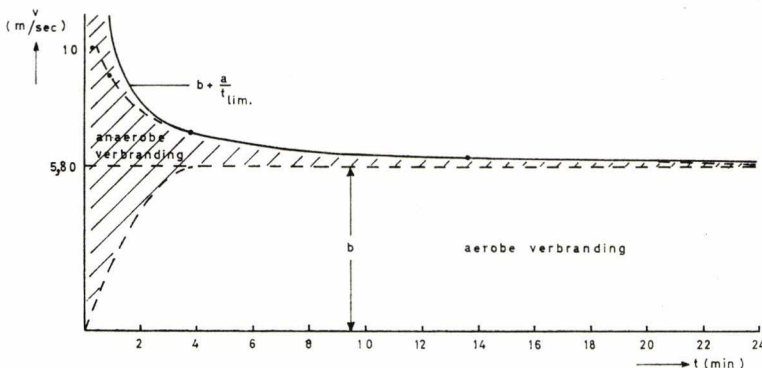


FIG. 2. Schematische weergave van het verband tussen het met behulp van anaerobe en aerobe verbranding beschikbare vermogen en de volhoudtijd en van het verband tussen gemiddelde snelheid – parameter van het vermogen – en de volhoudtijd. Hierbij is aangenomen, dat beide curven in het gebied tussen 4 en 20 minuten overeenstemmen. (Wereldrecord 1965 hardlopen).

Uit deze opmerkingen blijkt dat ook de tijdsduur, gedurende welke een bepaalde prestatie moet worden volgehouden, een belangrijke factor is bij de bepaling van de belastbaarheid. De invoering van de begrippen absolute en relatieve belastingsgraad is dan ook een aanwinst, hierbij passen de begrippen absolute en relatieve belastbaarheid.

Normen en grenzen van toelaatbaarheid

In de ergonomie is het streven er op gericht bepaalde normen en grenzen van toelaatbaarheid aan te geven, waaraan taak of taak-

omstandigheden (uitwendige belasting) moeten voldoen in het algemeen en in individuele gevallen van verminderde belastbaarheid. Hierbij wordt gebruik gemaakt van bovengenoemd begrippenstelsel. Bij het bepalen van deze normen spelen naast medische overwegingen (verwachting van schade, eventueel op lange termijn) ook sociale overwegingen een rol.

Men kan onderscheid maken in:

- a. absolute biologische grenzen in noodsituaties;
- b. factoren bij wedstrijdsport leidende tot inspanningen, die vrijwel overeen komen met de absolute biologische grenzen;
- c. sociaal-individuele factoren, die de 'Leistungsbereitschaft' of 'willing to spend capacity' mede bepalen, en van belang zijn voor het aanvaarden van bepaalde situaties;
- d. pathologische factoren, die de capaciteit begrenzen.

Men is zo gekomen tot bepaalde normen en grenzen van toelaatbaarheid voor de uitwendige of daardoor veroorzaakte functionele belasting. Voor de dagelijks te verrichten arbeid geldt bijvoorbeeld dat hierbij de gemiddelde polsfrequentie niet boven de 110 sl/min mag komen, terwijl een arbeid, die gepaard gaat met een polsfrequentie van 140 sl/min slechts gedurende een half uur achtereen verricht mag worden en geldt als zware arbeid. De M.A.C.-waarden voor toxische invloeden en de normen bij expositie aan bepaalde klimaatinvloeden passen in dit kader (zie ook BURGER 1964).

In een onlangs verschenen rapport van de zogenaamde 7-december groep (M.F.I. 1966) worden richtlijnen voor het onderzoek in de industrie naar de fysiologische belasting en enkele normen gegeven.

Pogingen tot uitbreiding van het denkmodel

Door WESSELING (1967) is gepoogd de begrippen belasting en belastbaarheid te beschrijven vanuit een cybernetische benadering van het functioneren van het menselijk organisme. Zielhuis heeft in een beschouwing wegen aangegeven, waarlangs het mogelijk lijkt het gehele gebied van het hygiënisch beleid te benaderen via de begrippen belasting en belastbaarheid (ZIELHUIS 1966, 1967).

In het volgende hoofdstuk wordt uiteengezet op welke wijze gepoogd is ook de mentale belasting onder te brengen in bovengeschetst denkmodel. Hierbij wordt tevens de gelegenheid benut om nader in te gaan op enkele aspecten en consequenties van een dergelijk stramien van begrippen.

HOOFDSTUK III - MENTALE BELASTING

Verschuiving in de industrie

De voortschrijdende mechanisatie en automatisatie is er oorzaak van, dat in de industrie een steeds geringer beroep gedaan wordt op fysieke inspanning (energie-transport) van de mens. Het accent verschuift meer en meer naar taken die een beroep doen op geestelijke functies van de mens. Er is in een aantal gevallen reden om na te gaan of de mate van de gevraagde mentale inspanning invloed heeft op het welzijn (psychische of somatische klachten, ziekte-verzuim, etc.) of op het gedrag (in en buiten de werksituatie) van de werker. Om te kunnen nagaan of bepaalde klachten samenhangen met de taak als zodanig, met de omgeving, met de 'tijdgeest' etc., dient men een indruk te hebben van de mate van beïnvloeding van de mens door deze verschillende aspecten. Bij het onderzoek hebben wij getracht meer inzicht te verkrijgen in de betekenis van de 'mentale belasting', inherent aan dit soort taken, voor de mens. Een analyse van dit soort taken, zoals repeterende montagearbeid, paneelbewaking, telefoonbediening, miniatuurarbeid, etc. leert, dat het accent voor de mens hierbij ligt op:

- nauwkeurig waarnemen
- het nemen van een juist besluit
- fijn gestuurd uitvoeren van handelingspatronen

vaak in een door de taak bepaald, opgelegd tempo.

Bij dit soort taken treedt niet het energietransport op de voorgrond maar het transport (en de verwerking) van informatie. Onderwerp van onderzoek is voorlopig dan ook geweest de studie van de mechanismen en beperkingen van de informatieverwerking door de mens, als onderdeel van de mentale inspanning (mentale belasting). Vooral vanuit de experimentele psychologie is de laatste jaren veel bijgedragen aan de begripsvorming rondom de mentale belasting. Hier te lande is naast anderen vooral door Kalsbeek gepoogd, vanuit de bestaande begrippen voor de fysieke belasting tot een zelfde stramien te komen voor de mentale belasting. In zijn dissertatie is hij uitgebreid ingegaan op begripsvorming en experi-

mentele grondslag (KALSBEER 1967). Daar deze bijdrage echter allereerst een experimenteel-psychologische is, is het nuttig om ook vanuit de arbeidsfysiologie en ergonomie, dus vanuit het in het voorgaande hoofdstuk behandelde denkmodel, de verschillende begrippen en conclusies nogmaals kritisch te bezien.

De mens als informatieverwerker

Zoals boven vermeld treedt er in de industrie een verschuiving op naar taken, waarbij het accent voor de mens ligt op het informatie-transport. Dit transport van informatie van percipiërend orgaan naar effector is echter geen transport zonder meer, zoals bij een reflex. De informatie wordt verwerkt, er wordt een beslissing aan toegevoegd. Uit verschillende mogelijkheden dient het juiste antwoord gekozen te worden. Wij kunnen aan de informatieverwerking vier hoofdonderdelen onderscheiden (fig. 3):

1. input: perceptie en codering van de informatie en confrontatie van de naar centraal voortgeleide informatie aan kennis, die in het lange of korte geheugen (instructie) is opgeslagen
2. keuze: gerichte overschakeling van input naar output
3. output: centrale sturing, voortgeleiding naar de periferie en (gestuurde) activiteit van de effectoren (spieren)
4. feedback: de terugmelding van het resultaat van de handeling, gedeeltelijk ingebouwd in het systeem van het outputmechanisme.

(Opm.: Vele van deze termen zijn ontleend aan de communicatie- en informatietheorie. Veelal is een goede vertaling van de anglosaksische terminologie zonder uitgebreide omschrijving niet goed mogelijk).

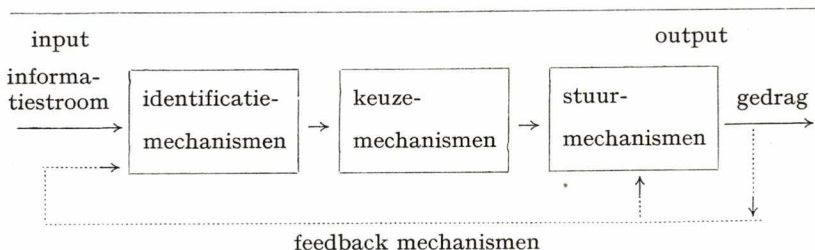


FIG. 3. Systemen voor de centrale informatie-verwerking.

Bezien vanuit het 'man-machine system' moeten we aan het bovenstaande toevoegen: aanbieding van de informatie vanuit de bron

en toevoeging van de omgezette informatie aan de machine (omzetten schakeling, etc.).

De capaciteit voor opname en doorgeven van informatie is voor de verschillende onderdelen zeer verschillend en hangt samen met het aantal circuits, dat 'genomen' moet worden, waarbij vooral het aantal synapsen, zenuwkringen, etc. van belang is. Zo is het voor het zien mogelijk afzonderlijke signalen als zodanig waar te nemen tot een frequentie van 40 à 50 Hz (flikkerfusiefrequentie) (WOODWORTH 1949), terwijl bij trillerproeven bleek, dat een aantal van 5 à 6 eenvoudig repeterende handelingen (altijd nog uit verschillende spierbewegingen samengesteld) per seconde gedurende een half uur kon worden volgehouden (Wesseling, persoonlijke mededeling). Zodra echter een keuze wordt ingeschakeld, en dus een overschakeling van input naar output noodzakelijk wordt, wordt de frequentie van het aantal overgebrachte signalen veel lager. Zo vonden wij bij een eenvoudige taak als gemiddeld maximum een aantal van 76 keuzen per minuut, terwijl het waarnemen van de signalen (nl. hoge en lage tonen in toevalsvolgorde) en de antwoordhandelingen (indrukken van vingertoetsen) afzonderlijk, dus zonder keuze-element, bij een zeer veel hogere frequentie mogelijk zijn. De beperking van de informatieverwerking ligt, zoals deze en andere proeven aantonen, dus in de eerste plaats in het keuzemechanisme. Het is het aantal keuzen per tijdseenheid, het aantal overschakelingen van input naar output, benodigd voor de uitvoering van een taak, dat als voornaamste beperking bij de informatieverwerking allereerst de aandacht vraagt.

Het centrale decisiekanaal

Verschillende onderzoekers, zoals BROADBENT (1958), WELFORD (1959) CROSSMAN (1960) en HERMAN (1965) hebben aandacht geschonken aan de functie van het keuze-mechanisme, de centrale overschakeling van input naar output, bij de informatieverwerking. Hun onderzoekingen hebben geleid tot de hypothese, dat terwijl voortgeleiding van informatie van de periferie naar centraal of omgekeerd via verschillende banen tegelijk mogelijk is, de overschakeling van input naar output gebeurt, alsof er maar één beslissing, één overschakeling tegelijk mogelijk is. Welford spreekt in dit verband van 'single channel decision mechanism' (WELFORD 1959). Kalsbeek, die in een aantal experimenten steun vond voor deze hypothese (KALSBECK 1964a, KALSBECK en SYKES 1966) spreekt

van tourniquet-functie: per elementaire tijdseenheid kan maar één decisie, één overschakeling van input naar output plaats vinden.

In dubbeltaaksituaties lijkt het, alsof het mogelijk is verschillende dingen tegelijk te doen. Bij nauwkeurige analyse blijkt echter niet alleen een beïnvloeding van deze taken op elkaar, voor zover hierbij een beroep gedaan wordt op de centrale verwerking, maar is het aannemelijk dat een alterneren optreedt van de informatieverwerking, en met name van het doen van keuzen, tussen de twee taken. De via één of meerdere perifere inputkanalen aangeboden informatie, die niet aan de beurt is, moet wachten totdat er weer ruimte is in het centrale decisie-kanaal (queuing).

Met een eenvoudig voorbeeld is duidelijk te maken, dat de beperkingen van het centraal kanaal voor de mate van mentale belasting de belangrijkste factor betekent. Een kind dat leert lezen, leest letter voor letter, dat wil zeggen: identificeert letter voor letter en schakelt na identificatie van elke letter over op het uitspreken daarvan. Na enige tijd echter verloopt het lezen veel sneller en is het lezen voor het kind ook minder vermoeiend. Het herkent dan lettergrepen en woordbeelden, die in hun geheel worden uitgesproken. Terwijl de objectieve informatie van de aangeboden tekst niet verandert, is het aantal overschakelingen veel minder geworden. De informatiewaarde, gemeten aan de tekst, per overschakeling is toegenomen, omdat door het ontstaan van bepaalde coderingen in identificatie en stuurmechanisme bepaalde informaties tot een geheel, één signaal, zijn samengevoegd. Uit dit voorbeeld kunnen we dan ook enkele aanwijzingen putten voor de uitbouw van het denkmodel.

1. Het is blijkbaar mogelijk, dat de inhoud, de informatiewaarde van het signaal dat overgeschakeld wordt, zeer verschillend is en afhankelijk van de in het identificatie- of stuurmechanisme aanwezige mogelijkheid tot verwerking tot of van samengestelde informatie.
2. Een signaal kan gedefinieerd worden als een toestandsverandering van het centraal decisiekanaal. De objectieve informatiewaarde van een signaal kan zeer verschillend zijn.
3. Als maat voor de mentale belasting, voor zover betrekking hebbende op het functioneren van het centrale decisiekanaal, kan dienen het aantal signalen per tijdseenheid, dat overgeschakeld moet worden. In deze zin is een moeilijke rekenopgave, waarover men een hele dag mag doen, minder belastend, dan een serie eenvoudige optelsommetjes, die men echter in enkele minuten moet oplossen.

Bij de onderzoeken is dan ook voornamelijk uitgegaan van de werkhypothese, dat er van mentale belasting sprake is in zoverre er per tijdseenheid meer signalen door het centrale decisiekanaal verwerkt moeten worden. De hypothese van het 'single channel mechanism' is voor het belastingbegrip geen noodzakelijke voorwaarde, maar is wel zeer goed bruikbaar om ons inzicht in het functioneren van de mechanismen van de informatieverwerking te verruimen. Dit geldt vooral bij het ergonomisch onderzoek van industriële taken.

Bijdrage aan de mentale belasting door andere mechanismen

Het is waarschijnlijk, dat niet alleen het functioneren van het centraal kanaal een bijdrage levert tot de mentale belasting, maar ook de mechanismen van input, output en feedback hieraan een bijdrage leveren. Een aanwijzing kan men vinden, indien men als maat voor de mentale belasting een gedragsvariabele gebruikt, namelijk de absolute reactietijd (de tijd tussen begin van het signaal en het begin van het zo snel mogelijk gegeven antwoord). Bij proeven met de reactograaf van Burger diende een signaal beantwoord te worden met een snelle beweging van de rechterarm in zijdelingse richting (BURGER 1964). Deze beweging was ongericht of gericht op een bepaald doel. Het signaal was aangebracht op een niet eindigende, van boven naar beneden bewegende papierrol, de beweging werd met behulp van een ballpoint op het zelfde papier geregistreerd. Door het draaien van het papier om twee rollen verscheen het zelfde signaal repeterend 14 maal per minuut. Onder deze omstandigheden, waarbij reactietijd en beweging onderdeel waren van een taakuitvoering, werd tijdens een cursus Ergonomie voor bedrijfsartsen en in een eigen onderzoek een aanwijzing gevonden dat de absolute reactietijd toenam naarmate het uit te voeren – repeterende – bewegingspatroon meer gecompliceerd was (ETTEMA 1963). In een later meer uitgebreid onderzoek werd deze bevinding bevestigd (BAART, ETTEMA en KALSBECK 1964).

Hier is dus een samenhang tussen het uit te voeren outputprogramma, het 'plan de commande', en de mentale belasting. Ook de toename van de reactietijd bij toename van het aantal keuzemogelijkheden, de zogenaamde wet van Hick (HICK 1952), zou men in dit verband kunnen zien als een samenhang tussen mentale belasting en het meer of minder gecompliceerd zijn van de te identificeren aangeboden informatie (input).

In het algemeen kan men zeggen, dat de mentale belasting groter zal zijn naarmate een groter beroep wordt gedaan op de corticale activiteit. Deze corticale activiteit zal groter worden naarmate meer van de deelmechanismen van de informatieverwerking is ingeschakeld. Een groter beroep op de andere deelmechanismen van informatieverwerking (input, output, feedback) zal een grotere mentale belasting betekenen. Dit punt is door Kalsbeek verder uitgewerkt (KALSBEEK 1967).

De capaciteit van het centrale decisiekanaal

Hierboven is reeds betoogd, dat in het centrale decisiekanaal de belangrijkste beperking voor de informatieverwerking is gelegen. Bij onze experimenten over mentale belasting zijn we dan ook hiervan uitgegaan. Het is hier de plaats nader in te gaan op de reeds vermelde bepaling van de capaciteit van het centrale decisiekanaal. In een experiment met 24 proefpersonen, alle studenten, was de opdracht te antwoorden op een lichtje door het indrukken van een vingertoets. Er waren twee lampjes, recht voor de proefpersoon, met een onderlinge afstand van 15 cm in het horizontale vlak. Een van beide lampjes lichtte steeds op in toevalsopeenvolging; bij het rechter lichtje moest geantwoord worden met het indrukken van een rechter toets, bij het linker lichtje met het indrukken van de linker toets. De opdracht was gedurende drie minuten zo veel mogelijk goede antwoorden te geven (tolerantie 3 foute antwoorden per drie minuten). Na een antwoord verscheen direct een nieuw signaal, zodat de proefpersonen zelf het tempo konden bepalen. Het zo gevonden maximum bedroeg gemiddeld 76 (s.d. 7.2) sign/min (KALSBEEK en ETTEMA 1964, DIJKSTRA en MULDER 1965). Bij een gedwongen tempo ligt het maximum als regel lager (L.E.P. 1964). Sykes vond bij dubbeltaakexperimenten van twee soortgelijke taken, waarvan een in een opgelegd, de ander in vrij tempo, zelfs nog lagere waarden (KALSBEEK en SYKES 1967).

De capaciteit is hier uitgedrukt in signalen per minuut. Veelal wordt de capaciteit gegeven in bits/tijdseenheid. Het aantal bits, een aan de informatietheorie ontleende maat, komt overeen met de $2^{\log}$ van het aantal keuzemogelijkheden. Dit is dus een maat voor de overdracht van informatiewaarde. Bij de door ons gebruikte experimenten hield elk signaal een binaire keuze in, elk signaal komt daarbij dus overeen met 1 bit ($2^{\log 2}$), de capaciteit dus met 76 bits/min of $1\frac{1}{4}$ bit per seconde. Dit is duidelijk minder dan men elders

vermeld vindt. Zo vermeldt Crossman een maximum capaciteit van 4 bits/sec bij taken (tracking tests) zonder 'preview', dus zonder voorinformatie; bij taken met voorinformatie was de uitvoering correct tot ongeveer 2 bits/sec, maar nog mogelijk tot een prestatie van 8 bits/sec. In dit laatste geval was echter de hoeveelheid aangeboden informatie veel groter, zodat dus veel informatieaanbod niet tot verwerking leidde (CROSSMAN 1960). Als theoretisch maximum werd door Crossman berekend een maximum van 10 bits/sec. Miller vermeld een maximum van 5 bits/sec (MILLER 1962). Bij vergelijking van de gegevens dient echter rekening gehouden te worden met de verschillende proefsituaties en eisen aan de taak gesteld. Op de eerste plaats berusten deze gegevens op kortdurende proeven, waarvan de exacte duur niet gegeven is; die van ons op proeven van minstens 3 minuten. Vervolgens ontbreekt de eis van een volledig goede verwerking van alle aangeboden informatie. Naast deze punten is echter vooral het feit van belang, dat zoals boven werd uiteengezet, de informatiewaarde van een signaal voor de capaciteit van het centraal decisiekanaal een minder grote betekenis heeft dan het aantal signalen. De in bovenstaande experimenten gebruikte signalen zijn soms zeer complex van aard; de informatiewaarde per signaal is dus groot.

Zoals reeds aangegeven werd, is de capaciteit tot informatieverwerking voor de verschillende mechanismen van informatieverwerking zeer verschillend. In het algemeen geldt ook voor het menselijk organisme hetzelfde als bij communicatie via telefoon, etc.: hoe meer complex de banen die genomen moeten worden, hoe meer circuits, hoe geringer de capaciteit. Miller geeft een overzicht van de capaciteit voor verschillende elementen van het menselijk organisme (MILLER 1962). Voor een enkele cel geldt als maximum een capaciteit van 1.000 bits/sec, voor een afzonderlijk orgaan 50 bits/sec, voor het organisme als geheel ongeveer 5 bits/sec, terwijl bij grotere systematiek (groep, organisatie) de capaciteit nog geringer is.

Schema voor de mentale belasting

Bij het onderzoek naar mentale belasting zijn we uitgegaan van de hypothese, dat de mentale belasting berust op de belasting van de verschillende organische systemen die bij informatieverwerking een rol spelen. Het onderzoek is dus gericht op de verschillende mechanismen, op hun werking en onderlinge samenhang in het

fysiologisch geheel van het menselijk organisme. Zo komt men dan ook tot het toepassen van wetmatigheden gevonden bij andere vormen van belasting, maar in principe geldend voor alle fysiologische mechanismen. Hieruit is een schema voor de mentale belasting voortgekomen. Bij toepassing van een dergelijk schema dient men rekening te houden met het karakteristieke van de informatieverwerking als fysiologisch gebeuren. Enkele jaren geleden konden wij een dergelijk schema (fig. 4) voorstellen (KALSBECK en ETTEMA

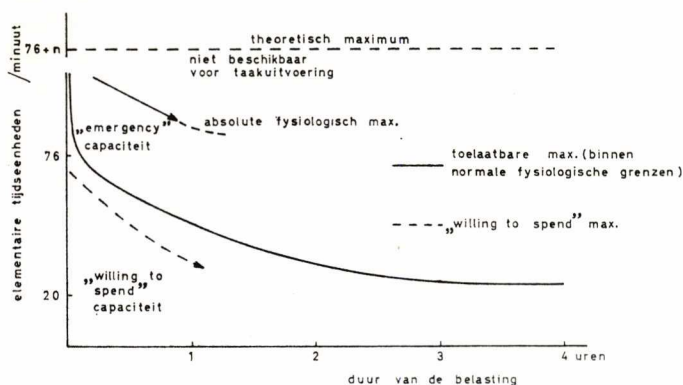


FIG. 4. Schema voor de maximale mentale capaciteit. Mentale capaciteit gemeten in elementaire tijdseenheden per minuut. Een elementaire tijdseenheid is de kortste tijd nodig voor een overschakeling van input naar output bij een eenvoudige binaire-keuzetaak.

1964). Als nieuw begrip werd hierbij voorgesteld het begrip 'elementaire tijdseenheid', de minimale tijd nodig om over te schakelen van een input naar een output. Als maat voor mentale belasting kan dienen het aantal elementaire tijdseenheden, dat per tijdseenheid door de taak in beslag wordt genomen. Het theoretisch maximum, de maximale bezetting die theoretisch mogelijk is, is het totaal aantal elementaire tijdseenheden in een eenheid van tijd (bijv.

één minuut), dus theoretisch maximum = $\frac{60 \text{ sec}}{\text{el. tijdseenheid in sec}}$.

Het werkelijk maximum ligt lager, daar voor de informatieverwerking ook input en output enige tijd in beslag zullen nemen. Belangrijker is nog, dat dit maximum slechts zeer kort volgehouden kan worden, omdat het noodzakelijk herstel van de circuits, etc. een beperking betekent voor de capaciteit. Het absolute fysiologische maximum, de prestatie waarboven ook in de meest ideale om-

standigheden geen capaciteit meer beschikbaar is, is bovendien, zoals bij alle fysiologische mechanismen, afhankelijk van de tijd waarover deze prestatie moet worden volgehouden. Dit absolute fysiologische maximum zal alleen in zeer extreme situaties benaderd worden. Voor de normale fysiologische activiteiten, zoals gevraagd mag worden voor de dagelijkse taakvervulling, liggen de grenzen van het toelaatbare maximum veel lager (to spend maximum). Voor een piekbelasting van enkele minuten zal dit voor een vrij tempo bij 70 sign/min, voor een opgelegd tempo bij 60 sign/min liggen, mits de informatiewaarde per signaal gering is. Als richtlijn voor een achturige werkdag zijn wij uitgegaan van een vuistregel uit de arbeidsfysiologie: toelaatbaar te achten is een belasting van 30-40% van de maximale prestatie (berekend per minuut), die gedurende korte tijd (4 minuten) kan worden geleverd. Dit komt ongeveer overeen met een gedwongen tempo van 20 sign/min. Een onderzoek met 6 proefpersonen, die gedurende 4 uur een eenvoudige binaire-keuzetaak verrichtten met een opgelegd tempo van 20 sign/min, gaf geen enkele aanwijzing dat de grenzen van het toelaatbare naar boven of naar onder werden overschreden, noch wat betreft enkele fysiologische verschijnselen tijdens de taak – verschijnselen, die bij een hogere belasting wel degelijk belangrijke veranderingen vertoonden – noch wat betreft de prestatie tijdens de taak, noch wat betreft het gedrag na de taak. Geheel anders was dit bij een proefpersoon die op eigen initiatief gedurende 4 uur een binaire-keuzetaak met een tempo van 60 sign/min verrichtte. Niet alleen bleek tegen het einde van de proef de prestatie duidelijk te verminderen en was er tijdens de proef een geleidelijke stijging van de bloeddruk, ook na de proef was de proefpersoon duidelijk in minder goede conditie: hij toonde een aanwijzing van stotteren en wilde door een dichte deur heengaan. De proefpersoon verrichtte deze taak blijkbaar met wat genoemd is zijn 'emergency capacity', de capaciteit die wel aanwezig is, maar gereserveerd dient te worden voor noodgevallen. Een langdurig gebruik van deze emergency capaciteit kan blijkbaar schadelijk zijn voor de gezondheid en de normale functionering van het organisme.

De grens van wat toelaatbaar geacht moet worden voor een normale taakvervulling gedurende 4 uur zal liggen tussen een mentale belasting, overeenkomend met 20 signalen (binaire keuzen) per minuut en een mentale belasting, overeenkomend met 60 signalen per minuut, en wel dicht bij de 20 signalen per minuut.

Binnen dit schema is het mogelijk door vele duurproeven en

epidemiologisch onderzoek te komen tot een nadere bepaling van de grenzen van toelaatbaarheid. De bepaling van de exacte waarden van het absolute fysiologisch maximum, zoals voor fysieke inspanning mogelijk is aan de hand van sportprestaties (ETTEMA 1966), is voor de mentale belasting voor de verschillende volhoudtijden zeer moeilijk. Evenals voor de fysieke inspanning de topwaarden alleen bereikt worden in de wedstrijd sport, en in feite nauwelijks bij het normale arbeidsfysiologisch onderzoek, zo zal een onderzoek naar de grenzen van het mentaal mogelijke alleen succes hebben in een wedstrijd sfeer. Bovendien maakt het risico schade toe te brengen aan de proefpersonen – hoewel van te voren niet bekend is hoe groot het gevaar is en van welke aard eventuele schade – een dergelijk onderzoek ontoelaatbaar.

De actuele functionele belasting van de mens wordt bepaald door verschillende factoren, zoals motivatie, inwerking van de taak, conditie, voorafgaande belasting, etc. Deze 'willing to spend capacity' of 'Leistungsbereitschaft', de actuele inzet van het organisme, bepaalt uiteindelijk de belasting en de daarmee correlerende fysiologische veranderingen. Wat men dus altijd bepaalt is deze 'willing to spend capacity'.

Elders wordt gesproken over 'reservecapaciteit', dat is die capaciteit, die niet in beslag genomen wordt door een bepaalde taak en nog beschikbaar is voor andere inspanning (pieken, onverwachte gebeurtenissen, etc.). Probeert men deze reservecapaciteit te meten, zoals bijv. in dubbeltaakexperimenten, dan meet men het verschil tussen de reeds in beslag genomen capaciteit en de willing to spend capacity, zoals deze is in de nieuwe situatie van het experiment.

Een norm voor de corticale activiteit

Aan de activiteit van de hersenen liggen verschillende mechanismen ten grondslag, die als subsystemen in onderlinge samenhang, zoals de substantia reticularis en cortex bij het arousal fenomeen, de werking van de hersenen bepalen. Hierbij zal ook het reeds door CANNON (1929) ingevoerde begrip homeostase van belang zijn. Bedreiging van de homeostase zal zowel binnen de betreffende regelkring als daarbuiten aanleiding geven tot bepaalde tegenmaatregelen, die er op gericht zijn deze bedreiging en dus de feitelijke afwijking van de norm zo klein mogelijk te houden.

Het niveau van corticale activiteit, in zoverre zich deze uit in het sensomotorische apparaat, is verder afhankelijk van het dag-nacht

(circadian) ritme. Gedurende de werkperiode is dit niveau echter meer constant. Alleen indien aan bijkomende voorwaarden is voldaan zal de hersenactiviteit toenemen; we spreken dan van inspanning. Deze bijkomende voorwaarden kunnen zijn: vergroot aanbod van informatie, bedreiging van de mens in een noodsituatie, etc. Door deze inspanning zal een bedreiging van de norm van corticale activiteit een bedreiging betekenen voor de homeostatische normen van de aan de corticale activiteit ten grondslag liggende subsystemen en tot bepaalde tegenmaatregelen aanleiding geven. Welke deze homeostatische normen zijn en welke mechanismen een rol vervullen bij met name de informatieverwerking is voor onze vraagstelling slechts van secundair belang. Voor de uitbouw van ons denkmodel kunnen we volstaan met de hypothese, dat het niveau van corticale activiteit, samenhangend met de informatieverwerking, gebonden is aan een norm en elke bedreiging van de norm, dit is elke vorm van mentale belasting, tot bepaalde tegenmaatregelen aanleiding zal geven. Deze tegenmaatregelen kunnen zich zowel uiten in het gedrag als in het optreden van bepaalde fysiologische veranderingen.

In een gegeven situatie zal de bepaling van het niveau van corticale activiteit, waarbij de geringste bedreiging (belasting) optreedt van de met deze corticale activiteit samenhangende mechanismen, zeer moeilijk, zo niet onmogelijk zijn. Er is behoefte aan een geoperationaliseerd uitgangspunt, waarvoor men kan kiezen de conditie 'rust', welke conditie dan echter nader omschreven moet worden. Een mens in rust, indien wakker, verwerkt doorlopend informatie, die van buiten en binnen het lichaam de hersenen bereikt, terwijl door rondkijken etc. het aanbod van nieuwe informatie op peil wordt gehouden. Het is waarschijnlijk, dat in deze situatie het spontaan gekozen niveau van corticale activiteit vrijwel zal beantwoorden aan de op dit moment geldende norm.

Bij het uitvoeren van bepaalde taken zal allereerst getracht worden het niveau van corticale activiteit te handhaven door het afstoten van voor de taak niet-relevante informatieverwerking, er treedt daardoor een herdistributie van de aandacht op. Ervaringen in het eigen laboratorium met dubbeltaakexperimenten wijzen op het optreden van een functionele blikveldvernaauwing en een vermindering van de spontane activiteit. Sanders beschrijft de beperking van het functioneel gezichtsveld (SANDERS 1963), allemaal verschijnselen, die op te vatten zijn als een beperking van de spontane informatieverwerking. Pas indien door herdistributie niet meer vol-

ledig voldaan kan worden aan de eisen van de taak bij het (rust) niveau van corticale activiteit, zal de norm bedreigd worden en zullen de daarbij behorende fysiologische tegenmaatregelen in actie moeten komen. Bij een belasting van het centraal decisiekanaal met 20 signalen per minuut vonden wij geen verandering van bepaalde fysiologische reacties; deze veranderingen traden wel op bij een hogere belasting. Hier ligt een aanwijzing, dat het rust-niveau van de corticale activiteit zal overeenkomen met de corticale activiteit nodig voor een informatieverwerking van ongeveer 20 signalen/minuut.

Van mentale belasting nu kan men spreken indien het niveau van corticale activiteit, nodig voor het uitvoeren van een taak, duidelijk hoger ligt dan de spontane corticale activiteit tijdens rust. Pogingen om deze mentale belasting te verminderen (shed load) kunnen zijn: herdistributie van de aandacht (afstoten van niet-relevante informatie); het kiezen van bepaalde strategieën, die verlichtend werken of een gebrekkige uitvoering van de opgelegde taak door verlangzaming van het tempo; het maken van fouten, etc. De actuele mentale belasting zal leiden tot bepaalde fysiologische reactieverschijnselen en mogelijk tot een – tijdelijke – aanpassing van de norm.

Naast een te hoge activiteit kan er voor een taak ook te weinig activiteit vereist worden, zonder dat op een andere manier aan het handhaven van het niveau van corticale activiteit kan (mag) worden bijgedragen. Men kan dan spreken van onderbelasting. Dit komt voor bij zogenaamde vigilantietaken, zoals paneelbewaking. Het juist en vlot kunnen herkennen van relevante informatie (afwijking van een wijzer bijvoorbeeld) vereist een duidelijk verschil in herkenbaarheid met niet relevante informatie, dus een goede signaal-ruis-verhouding. De hoeveelheid niet op de taak betrekking hebbende informatie dient beperkt te worden (aandachtbinding op de taak), terwijl de hoeveelheid informatie, afkomstig van de taak, waarop ingrijpen geboden is, minimaal is bij een goed verloop van het produktieproces. Als gevolg hiervan ontstaat een conflict van eisen, dat zich uit in een onrust of in een geleidelijk toenemende slaperigheid, een teken dat de norm zich aan het niveau van informatieverwerking aanpast.

Nadere definiëring van het begrip mentale belasting

Na het voorgaande is het nu mogelijk een poging te wagen om tot een nadere omschrijving te komen van de begrippen mentale

belasting en belastbaarheid. Als basis hiervoor dient het in het voorgaande hoofdstuk ontwikkelde schema voor de fysieke belasting. Vooralsnog geldt hier een beperking tot mentaal belastende taken.

Mentaal belastend zijn die taken, die een beroep doen op het informatieverwerkend vermogen van de mens.

De uitwendige belasting wordt gerepresenteerd door de taak, na eventuele correctie voor fouten, en gemeten in signalen/tijdseenheid. Een signaal is een toestandsverandering van het centraal decisiekanaal en betekent een overschakeling van input (gecodeerde en geïdentificeerde informatie, die door de taak gegeven is) naar een output (die aanleiding geeft tot het vereiste antwoord).

De functionele of fysiologische belasting wordt gevormd door het totaal van de fysiologische veranderingen, die nodig zijn om de geleverde informatieverwerking per tijdseenheid mogelijk te maken. Als parameters gelden die meetbare fysiologische veranderingen, die correleren met de mate van mentale belasting.

Het gedrag is te onderscheiden in:

- a. de prestatie: de werkelijke hoeveelheid verwerkte informatie die in de taak besloten ligt;
- b. het gedrag, voor zover niet primair bepaald door de uitwendige belasting. Hier kan wel sprake zijn van een secundaire samenhang met de mentale belasting, bijvoorbeeld de verminderde bewegingen van spieren, die voor de taak zelf niet van belang zijn.

De belastbaarheid of mentale capaciteit:

- a. de hoogste prestatie, die het individu bij een gegeven arbeidsvorm met behoud van reversibiliteit kan, respectievelijk mag leveren;
- b. de grootst mogelijke functionele belasting, af te meten aan de grootst mogelijke verandering ten opzichte van de rustwaarde van de fysiologische parameters.

Ook hier kunnen wij onderscheid maken tussen een absolute belastbaarheid (de hoogst mogelijke prestatie, die gedurende korte tijd, bijv. 3 minuten, geleverd kan worden) en een relatieve belastbaarheid (de hoogst mogelijke prestatie, die gedurende een bepaalde (arbeids) periode kan worden volgehouden).

De belastingsgraad is de verhouding tussen de actuele uitwendige of functionele belasting en de belastbaarheid. Ook hier te onderscheiden in een absolute belastingsgraad en een relatieve belastingsgraad.

Andere vormen van geestelijke belasting

Naast fysieke belasting en mentale belasting ten gevolge van informatieverwerking zijn er ook nog andere vormen van belasting die in een bepaalde situatie van belang kunnen zijn.

Begrippen zoals intermenselijke verhoudingen, sociaal gedrag, verantwoordelijkheid en emotie, spelen bij de klassieke psychologische benadering van het begrip psychische vermoeidheid een rol. Niet alleen, dat de met deze begrippen aangeduide mentale functies belastend kunnen zijn bij een taakuitvoering, bij een te zwaar mentaal belastende taak kunnen deze situaties juist opgeroepen of versterkt worden. Zo vond Kalsbeek bij schrijfproeven onder afleidingsstress in de geschreven tekst constructies, die met euphoor, mopperen etc. te omschrijven zijn (KALSBEER 1965). Het lijkt vooralsnog zeer moeilijk deze begrippen te vertalen in experimentele condities, waarbij kwantitatief de betekenis als belasting naar voren kan komen. Een hercodering van de mentale processen, die ten grondslag liggen aan deze begrippen, zal nodig zijn om te kunnen pogen ook deze processen onder het begrip mentale belasting te vatten. Welford heeft in een Society's Lecture voor de Ergonomics Research Society wegens aangegeven, waarlangs het mogelijk lijkt grote delen van het sociaal gedrag te beschrijven in informatietheoretische termen (WELFORD 1966). Zo lijkt het mogelijk de grootte van een groep te bepalen aan de hand van de hoeveelheid informatie die in de onderlinge communicatie voor een goede taakuitoefening nodig is, en verantwoordelijkheid van de taak af te meten aan de duur, waarbinnen geen controle en geen feedback plaatsvindt. De wegen voor het voldoen aan een belangrijke ergonomische eis: maat en getal, lijken hiermee te zijn geopend. Een poging om begrippen als emotie en spanning (anticiperen op een signaal waarop geantwoord moet worden) te vatten in het denkmodel voor de mentale belasting is verder gedaan door KALSBEER (1967).

Zolang wij de invloed van deze processen niet kunnen meten, kunnen wij niet bepalen hoe groot de storende invloed is van deze processen op de resultaten van het onderzoek naar de invloed van de aan een taak gebonden mentale belasting. Ongetwijfeld beïnvloeden preoccupatie en emotie het fysiologische gedrag en zullen we hiermee bij het onderzoek rekening moeten houden.

Arousal

Een van de aan de corticale activiteit ten grondslag liggende

mechanismen vraagt in het verband van de mentale belasting bijzondere aandacht. Het hierboven geschetste denkmodel voor de mentale belasting is namelijk niet alleen ontstaan vanuit het analogon voor de fysieke belasting. Nieuwere wetenschappelijke inzichten en theorieën, vooral informatietheorie en cybernetica, zijn een belangrijke bron van inspiratie geweest. Zeer belangrijk voor de gedachtenvorming is ook geweest de de laatste jaren in psychofysiologische kringen populaire begrippen 'arousal' en 'alertness', samenhangend met het activatieniveau, respectievelijk het waakzaamheidsniveau van de hersenen.

MORUZZI en MAGOUN (1949) hebben gewezen op het belang van de reticulaire formatie voor de corticale activiteit. Alle naar de hersenen opgaande banen zijn door middel van collateralen verbonden met deze subcorticale formatie. De langs deze banen opstijgende prikkels stimuleren tevens de reticulaire formatie, echter aspecifiek. De diffuse prikkelingstoestand van de reticulaire formatie die hierdoor ontstaat, draagt bij aan en is noodzakelijk voor de algemene prikkelbaarheid van de cortex. Zonder een bepaalde graad van opgeladen zijn, van prikkelbaarheid van de cortex worden de op de cortex binnenkomende signalen niet verder verwerkt. Door het werk van o.a. Brodal, Duffy en Bonvallet is de kennis over het zogenaamde R.A.S. (reticular arousal system) vergroot. (Overzichten bij BERLYNE 1960, BONVALLET 1959, DELL 1966 en BIRKMAYER c.s. 1966). Zo blijkt, dat vanuit de cortex een terugmelding naar de reticulaire formatie mogelijk is en dat reticulaire formatie en lager gelegen centra elkaar wederzijds beïnvloeden. Een grotere mate van arousal maakt de doelmatigheid (efficiency) van een taak beter, althans tot een bepaald optimum, hetgeen zich bijv. uit in snellere reactietijden. Tevens treden er bij toename van de arousal verschillende fysiologische veranderingen op.

Bij mentale belasting, dus bij een vergrote informatieverwerking, zal niet alleen de corticale activiteit toenemen, maar via de collateralen ook het arousalniveau van het R.A.S., en zo de diffuse prikkelingstoestand van de cortex. Deze laatste is bovendien noodzakelijk om te komen tot een verhoogde corticale activiteit. In principe kan men dus dezelfde fysiologische verschijnselen verwachten. Er zijn echter verschillen. Arousal bepaalt het niveau van *waakzaamheid*, waarbij actie zelf niet noodzakelijk is; mentale belasting hangt samen met het niveau van *activiteit*. Deze activiteit hangt samen met een specifieke prikkel en een specifiek mechanisme, namelijk de informatieverwerking. Verhoging van het arousalniveau kan optreden in

samenhang met allerlei prikkels, zoals lawaai, pijn, emotionele prikkels, etc., prikkels die niet behoeven te leiden tot informatie-verwerking. Het niveau van arousal werd in enkele experimenten bepaald met behulp van een reactietijdmeter. Het betreft hier steeds eenzelfde, slechts een enkele maal gevraagde reactie, die als taak gezien nauwelijks bijdraagt tot het algemene arousal- en activiteitsniveau. Dit was bij de op pag. 19 genoemde experimenten anders, hierbij droeg de taak, een repeterende actie met een steeds meer gecompliceerd uitvoeringsprogramma, wel degelijk bij tot het algemene arousal- en het activiteitsniveau. In het eerste geval vindt men dan ook een verkorting van de reactietijd bij verhoging van de arousal, bij onze proeven betekende verhoging van activiteitsniveau en arousalniveau door de taak een verlenging van de reactietijd.

De bij arousalproeven geconstateerde fysiologische veranderingen kunnen evenals die bij mentale belasting niet alleen samenhangen met de specifieke werking op de reticulaire formatie, maar ook met de specifieke werking van de bepaalde prikkel op cortex of andere subcorticaal gelegen centra. Zo zal emotie niet alleen een arousal-verhogende werking hebben, maar ook een specifieke, vooral sympathische werking. Bij confrontatie van onze resultaten met die van de proeven over arousal dient men zich er dan ook bewust van te zijn, dat mentale belasting en verhoogde corticale activiteit aanleiding kunnen geven tot fysiologische reacties, die niet behoeven te berusten op de verhoogde arousal. Eveneens kunnen bepaalde verschijnselen, die bij experimenten met veranderingen van het arousalniveau gevonden zijn, berusten op de specifieke werking van de toegepaste methode.

Keuze van de term 'mentale belasting'

In de literatuur komt men vele termen tegen, die verwant of zelfs synoniem zijn met het door ons gehanteerde mentale belasting. Gewezen werd reeds op de verwantschap met het begrip arousal. Reeds Wiersma, schrijvende over bewustzijnstoestanden, maakte onderscheid tussen opmerkzaamheid, bewustzijnsgraad en prae-occupatie (WIERSMA 1911). Bartenwerfer onderscheidt: psychische Anspannung, Aufmerksamkeit en Erregung en spreekt elders van: psychische Beanspruchung (BARTENWERFER 1960 a, b). Ook wordt gesproken van nervöse Belastung (GRAF c.s. 1965), mental activity (BLATT 1961), geistige Beanspruchung (HAIDER 1962), terwijl BROWN (1961) over 'mental capacity' spreekt. Hier te lande wordt veelal

gebruikt de door Burger ingevoerde term: perceptieve belasting (BURGER 1959, SCHOUTEN c.s. 1962, SANDERS c.s. 1963, MICHON 1965, 1966). Bij het onderzoek is geleidelijk de aandacht meer geconcentreerd op de centrale mechanismen van de informatieverwerking. Bij de term perceptieve belasting valt de nadruk op het input-geheelte van de informatieverwerking. Het gebruik van de term psychische belasting kan de aandacht te veel richten op variabelen in het gedrag. Onze voorkeur is dan ook, mede in aansluiting op het in de Engelse literatuur gebruikte 'mental load', geleidelijk gegaan naar de keuze van de term: mentale belasting, hoewel ook hierbij misverstaan natuurlijk mogelijk is.

In verschillende van de bovenaangehaalde en van andere onderzoeken is aandacht geschonken aan eventuele fysiologische veranderingen als gevolg van mentale activiteit. Naar onze mening is echter nergens het begrip functionele belasting zo consequent uitgewerkt als hier. Gepubliceerde resultaten dienen dan ook veelal eerst 'vertaald' te worden om te kunnen worden ingepast in het schema voor de mentale belasting. Dit ook mede omdat in de beschrijving vaak geen onderscheid gemaakt is tussen de gevolgen van de informatieverwerking en van de emotionele begeleidingsverschijnselen, terwijl een goede, theoretisch verantwoorde, kwantitatief bepaalde vorm van uitwendige belasting (taak) vaak ontbreekt. In het volgende hoofdstuk zal aangegeven worden hoe de verschillende begrippen te operationaliseren zijn en met name hoe men kan komen tot een kwantificeerbare uitwendige belasting.

HOOFDSTUK IV

OPERATIONALISERING EN VRAAGSTELLING

Denkmodel uitgangspunt voor verder onderzoek

Het denkmodel voor de mentale belasting, dat ontwikkeld is in het voorgaande hoofdstuk, is tot nog toe meer een gedachtenspel geweest, waarbij uitgaande van enkele premissen de bestaande opvattingen en bekende feiten vanuit een nieuw uitgangspunt belicht werden. De waarde van dit schema zal echter nog moeten blijken. Hierbij gaat het niet in de eerste plaats om de waarheid van dit denkmodel, maar vooral om de bruikbaarheid voor de ergonomische vormgeving in industrie en eventueel de gehele menselijke situatie. Er is sprake van een zuiver functioneel gedacht model, het anatomisch substraat is hierin niet van belang (black box). Van belang is niet wat de mechanismen zijn, maar hoe de werking is.

Het ontwikkelde denkmodel is dan ook in de eerste plaats een werkprogramma voor onderzoek; het raam, waarbinnen de experimenten hun plaats krijgen.

De resultaten van het onderzoek kunnen er echter wel toe bijdragen dat de omvang van de black box enigszins beperkt wordt, ze kunnen met andere woorden onze kennis over de fysiologische structuren verrijken.

Beperkingen bij het onderzoek

Het onderzoekprogramma, dat op te stellen is voor de mentale belasting, is zeer veelomvattend. Wil men hierbij tot resultaten komen, dan dient het onderzoek stapsgewijs te verlopen en zal men vele vragen voorlopig moeten laten rusten. Een eerste benadering zal zich wegens de vele problemen die zich hierbij kunnen voordoen, dienen te beperken tot een goed controleerbare laboratoriumsituatie, pas vanuit de daar opgedane ervaringen is het mogelijk ook in de industriële situatie tot onderzoek te komen. Voor het onderzoek is het verder noodzakelijk de in het voorgaande hoofdstuk ontwikkelde begrippen te operationaliseren, dus te vertalen in een proefopstelling.

Wanneer we het begrip mentale belasting hanteren, beperken we

ons daarmee voorlopig tot de informatieverwerkende functie van de cortex in samenhang met de door de taak geleverde informatie. Voorlopig is hierbij de aandacht vooral geconcentreerd op de bijdrage tot mentale belasting door de belasting van het centraal decisiekanaal. De speciale bijdrage tot de mentale belasting, afkomstig van input- en outputmechanismen, zal pas later bij het onderzoek betrokken worden. Ook de beïnvloeding door andere mentale processen, die kunnen optreden bij emoties, preoccupatie, verantwoordelijkheid etc., is niet in het onderzoek betrokken. Wat deze aspecten betreft, ligt er naar mijn mening allereerst een taak voor de experimentele psychologie om een meer fundamenteel begrippenstelsel te ontwerpen en dit toegankelijk te maken voor experimenteel onderzoek.

De rust

Als uitgangspunt voor de berekening van de bij mentale belasting optredende verschijnselen hebben wij de conditie 'rust' gekozen. Deze conditie moet nader geoperationaliseerd worden. In een proefsituatie werken allerlei factoren storend in op de proefpersonen, zoals preoccupatie, emotioneel betrokken zijn, anticipatie, etc. Deze factoren kunnen aanleiding geven tot het ontstaan van bepaalde mentale processen, waarvan aard en omvang slecht bekend zijn. Uit de arbeidsfysiologie is bekend, dat bij herhaling van een onderzoek vaak een lagere rustpols gevonden wordt (WESSELING en VAN BEEK 1966). De gewinning aan een situatie heeft blijkbaar een gunstig effect. Naast herhaling van het onderzoek op een andere dag is verder getracht de invloed van deze factoren zo gering mogelijk te houden door een goede voorbereiding van de proefpersoon, hem gelegenheid te geven te wennen aan de situatie en taak en hem – na bepaling van het maximum voor die dag – te verzekeren, dat de opgelegde taak beneden dit maximum zal worden gehouden. Bovendien wordt de proefpersoon verteld, dat het onderzoek niet gericht is op het vinden van pathologie en dergelijke conclusies uit het verkregen materiaal ook niet getrokken kunnen worden. Tijdens de rust is de houding van de proefpersoon de zelfde als tijdens de taakuitvoering, als regel zittend op een stoel.

Aan de proefpersoon wordt gezegd tijdens de rust wat voor zich uit te dromen of te denken aan de kabbelende zee. Bij enkele gespannen proefpersonen lukt het soms een verdere ontspanning te bereiken door ze wat te laten bladeren in een tijdschrift met foto's, het lezen van tekst kan dan echter weer een inspanning betekenen.

De uitwendige belasting

Bij het arbeidsfysiologisch onderzoek wordt gebruik gemaakt van een ergometerfiets. Hiermee is het mogelijk een doseerbare fysieke belasting te geven van een speciaal aspect, namelijk dynamische spierbelasting. Met de ergometerfiets is het mogelijk gebleken bepaalde relaties aan te tonen tussen de grootte van de uitwendige belasting en de grootte van bepaalde fysiologische veranderingen, zoals zuurstofopname, polsfrequentie, etc. Het is mogelijk met behulp van deze ergometerfiets de individuele belastbaarheid na te gaan, terwijl bij een onderzoek naar de uitwendige belasting van een taak in de praktijk de proefpersonen eerst 'geijkt' kunnen worden op de ergometerfiets (M.F.I. 1966).

Voor de mentale belasting is, zoals we gezien hebben, het aantal keuzen per minuut, dus de bezetting van het centraal decisiekanaal, de belangrijkste maat. Voor het laboratoriumonderzoek is gezocht naar een taak, die evenals de fietsergometer, dit speciale facet van aantal keuzen per minuut als uitwendige mentale belasting toepast en waarvan de grootte van het aantal keuzen makkelijk instelbaar is. Bovendien moest dit een eenvoudig te leren en uit te voeren taak zijn.

Kalsbeek heeft als simulator voor mentale belasting gebruik gemaakt van een binaire-keuzegenerator, die ook bij het onderzoek naar de fysiologische verschijnselen regelmatig is toegepast. De eerste versie, gebouwd naar een beschrijving van PIERCE en KARLIN (1957), is vervaardigd in het Instituut voor Perceptieonderzoek te Eindhoven en bij de eerste serie onderzoeken gebruikt (VALBRACHT 1960). Sinds kort beschikken het Laboratorium voor Ergonomische Psychologie T.N.O. en het Coronel Laboratorium voor Arbeidshygiëne te Amsterdam over enkele verbeterde binaire-keuzegeneratoren, naar het oorspronkelijk idee verder ontworpen en gebouwd door de heer Terpoorten van het laatstgenoemd laboratorium. Bij het laatste onderzoek is hiervan gebruik gemaakt.

De binaire-keuzegenerator

Met de binaire-keuzegenerator kunnen zowel auditieve als visuele signalen worden gegeven. De auditieve signalen zijn of een hoge toon (2000 Hz) of een lage toon (200 Hz), die achtereenvolgens via een koptelefoon gegeven kunnen worden; de visuele signalen komen tot stand door het oplichten van twee lampjes van 18 V, 0.1 A, 20 lumen. Deze lampjes kunnen voor de proefpersoon geplaatst worden naast elkaar. Bij de nieuwe versie kunnen toonhoogte en intensiteit van de twee tonen binnen bepaalde grenzen verder

geregeld worden, zodat de proefpersonen deze duidelijk kunnen waarnemen zonder ze als hinderlijk te ervaren.

De proefpersoon dient op de signalen te antwoorden door het indrukken van een paar vingertoetsen, respectievelijk het intrappen van een paar voetpedalen. In de normale opstelling correspondeert met een hoge toon, respectievelijk met het branden van een rechts geplaatst lampje als signaal het indrukken van rechter vingertoets respectievelijk pedaal als antwoord. Met lage toon of links geplaatst lichtje correspondeert in de normale proefopstelling linker vingertoets of linker pedaal. Deze opstelling kan gevarieerd worden.

Via aparte tellers worden geregistreerd: het totaal van de aangeboden signalen, het totaal van de goed beantwoorde, het totaal van de fout beantwoorde en het totaal van de niet beantwoorde signalen. De binaire-keuzegenerator wordt gestuurd vanuit een bandlezer met ponsband. Hierop zijn – in een toevalsopeenvolging van met een hoge toon of rechter lichtje respectievelijk lage toon of linker lichtje overeenkomende – impulsopdrachten geponst, zodanig, dat steeds één van de twee mogelijke signalen optreedt. De kans, dat een nieuw signaal een hoge toon of rechter lichtje is, is dus steeds 1 op 2, dat wil zeggen binair.

De snelheid van opeenvolging van de signalen kan geregeld worden binnen een range van 0-110 sign/min indien het apparaat is ingesteld op een vast tempo van aanbidding van de signalen (paced). Bij instelling op een unpaced conditie ontstaat door verspringen van de ponsband steeds een nieuw signaal nadat op het vorige is geantwoord. In de unpaced conditie kunnen dus geen weglatingen optreden; het apparaat laat bij deze instelling een nog grotere snelheid van signaalaanbidding toe dan 110 per minuut.

Evenals bij de fietsergometer is het bij de binaire-keuzegenerator mogelijk een zeer simpele taak te geven, welke goed doseerbaar is. Deze houdt weliswaar slechts één aspect van mentale belasting in, maar dan toch wel het meest belangrijke, namelijk het doen van keuzen. Voor een goede beoordeling van de mentale belasting is het nodig, dat de proefpersonen de taak foutloos volbrengen. Hierbij wordt een geringe tolerantie van 1 fout per minuut of per 100 signalen aangehouden. Indien men geen keuze doet en automatisch in een bepaald ritme doortrapt is de kans op goede antwoorden altijd nog 50%. Tegenover elk fout antwoord zou dus een goed antwoord staan, die berust op een automatisme of niet gedane keuze. Van de andere kant kan het besef een fout gemaakt te hebben storend werken op de beantwoording van de eerstvolgende signalen. Fouten treden dan ook wel groepsgevijs op. De berekening van een mentale belasting van een bepaalde taak die zeer slecht uitgevoerd wordt, is zeer lastig. Van het begin af aan dienen de proefpersonen dan ook getraind te worden op foutloos antwoorden.

Bij gebruik als capaciteitsmeter, dus voor de bepaling van de belastbaarheid, kan men het aantal goed beantwoorde signalen per

minuut bepalen bij een drie minuten durende taakuitvoering in unpaced conditie. Bij een paced conditie is het bereikte maximum als regel lager dan bij een unpaced conditie. Hierbij geldt als maximum de hoogste snelheid, die gedurende 1 of eventueel 3 minuten kan worden volgehouden, zonder dat er meer dan 1 fout per minuut wordt gemaakt. Een beschrijving van de wijze waarop het maximum bepaald is en van de voorwaarden waaraan moet worden voldaan is, willen de resultaten vergelijkbaar zijn, noodzakelijk. Zoals we reeds aangaven, vonden wij bij een groep van 24 proefpersonen als gemiddeld maximum 76 (s.d. 7.2) sign/min (pag. 20). Hierbij was de opstelling: 2 lampjes naast elkaar, antwoorden via twee naast elkaar geplaatste vingertoetsen. Werd de opstelling minder compatibel gemaakt door de vingertoetsen boven elkaar te zetten, en/of de signalen auditief te geven, dan veranderde het maximum niet aantoonbaar. De toenemende mate van incompatibiliteit gaf bij deze proefopzet geen aanleiding tot belangrijke vermindering van de prestatie (L.E.P. 1964, DIJKSTRA en MULDER 1965) (tabel 1).

TABEL 1. Capaciteit van het centraal decisiekanaal in sign/min als afhankelijke van proefzitting en mate van incompatibiliteit tussen stimulus-bron en stimulus-response.

De taak was een binaire-keuzetaak in unpaced conditie, duur per conditie 3 minuten, foutentolerantie 1 sign/min. Aantal proefpersonen: 24. Gegeven zijn de gemiddelde waarden, tussen haakjes de standaarddeviatie.

Conditie's	Lichtjes-toetsen		Tonen-toetsen	
	comp.	incomp.	comp.	incomp.
1e proefzitting	74 (6.5)	74 (7)	72 (7.9)	71 (7.2)
2e proefzitting	79 (7.5)	78 (7.6)	77 (8)	78 (6.7)

prestatie 1e pr.z. < 2e pr.z. (rangtekentoets, tweezijdig, $\alpha < .01$) condities onderling: geen significant verschil.

Tijdens deze zelfde serie proeven werd bij 6 proefpersonen het maximum bepaald in vrij en in gedwongen tempo, ook weer een binaire keuzetaak, volhoudtijd 3 minuten. Het maximum bij vrij tempo was gemiddeld 72 sign/min (s.d. 9.1), bij gedwongen tempo 63 sign/min (s.d. 9.1). Dit laatste aantal was lager dan het eerste (rangtekentoets, tweezijdig: $\alpha < .05$).

Een taak met de binaire-keuzegenerator houdt altijd nog een, zij het geringe fysieke belasting in. Dit kan niet als een groot bezwaar

gelden, daar ook de taken waar het bij het produktieproces om gaat, altijd nog een geringe energie-output vereisen en dus een lichte fysieke belasting betekenen. Omgekeerd geldt ook, dat bij praktisch elke fysieke belasting een zekere mate van informatieverwerking, en dus van mentale belasting zal optreden. Als voorbeeld van een taak zonder energie output werd wel gebruik gemaakt van het zogenaamde 'Spaans verhaal'. Deze taak was voorgesteld door de dames v.d. Linde-Onnes en de Pree van het Psychologisch Laboratorium van de Universiteit van Amsterdam (Hoofd: prof. dr J. T. Barendregt).

Het Spaans verhaal

Na een drie minuten durende rust krijgt de proefpersoon een met eentonige stem voorgelezen tekst in een vreemde taal (Spaans) te horen, waarnaar hij niet hoeft te luisteren (alleen dus 'horen'). Na drie minuten wordt even onderbroken voor een nieuwe instructie. De proefpersoon krijgt de opdracht tijdens voorlezing van het tweede deel van deze tekst nauwkeurig op te letten en het aantal malen te tellen en te onthouden, dat het lidwoord 'los' in de tekst voorkomt. Het onderscheid met de veel voorkomende uitgang -os is moeilijk en vereist aandachtig luisteren. Dit luisteren gebeurt ook weer 3 minuten, waarna het totaal aantal woorden 'los' gezegd wordt (nl. 22). Deze taak vraagt dus geen extra energie, is zuiver mentaal. Zij is echter moeilijk kwantificeerbaar en een groot deel van de belasting wordt gevormd door de belasting van de identificatiemechanismen.

Incidenteel werden ook andere taken in het onderzoek betrokken, terwijl oriënterderwijs reeds enkele industriële taken ter plaatse werden onderzocht. Deze onderzoeken zijn vooralsnog echter zuiver exploratief geweest (KALSBEK 1967).

Het gedrag

Het psychologisch onderzoek naar mentaal belastende taken in de industrie of in het laboratorium is tot nog toe vooral gericht geweest op gedragsvariabelen. Primair stond de vraag, wat komt er van de opgedragen taak terecht (prestatie) en eventueel hoe beïnvloedt de taak andere onderdelen van het gedrag. Aan de hand daarvan trachtte men dan inzicht te krijgen in de mate van belasting voor het organisme. Zoals al eerder werd uiteengezet is dit niet altijd even makkelijk. De prestatie hangt namelijk niet alleen samen met de 'Leistungsfähigkeit', maar vooral met de 'Leistungsbereitschaft', de actuele inzet van de proefpersoon. Een zelfde prestatie, geleverd door twee personen, hoeft nog niet te betekenen dat de inzet van

beide personen dezelfde is. De kosten voor het organisme, de functionele belasting, kunnen wel degelijk verschillen.

Ondanks deze bezwaren heeft ook het psychologisch onderzoek tot goede resultaten geleid. Gelet werd hierbij op fouten in de produktie, effect op de produktie van versnelling of vertraging, reactietijden, etc. Een zeer bijzondere benadering in dit verband is het onderzoek met dubbeltaakexperimenten. Hierbij wordt getracht een indruk te krijgen van de zwaarte van een taak door meting van de reservecapaciteit met behulp van een toegevoegde, secundaire taak.

De dubbeltaakmethode

De methode van dubbeltaken, reeds lang bekend in de psychologie, werd door BORNEMANN (1942) ingevoerd bij het onderzoek naar mentale belasting. Later werd deze methode onder andere door BROWN en POULTON (1961) en hier te lande door MICHON (1965, 1966) verder uitgewerkt. Tijdens normale uitvoering van de te onderzoeken taak wordt een tweede taak toegevoegd, die kwantificeerbaar is. Deze taak kan alleen uitgevoerd worden voorzover de eerste taak geen beslag legt op de volledige capaciteit. Voor deze tweede taak is voorgesteld het maken van eenvoudige sommetjes of door MICHON (1966) het intrappen van pedalen in een vrij tempo. Een vermindering per tijdseenheid van het aantal opgeloste sommetjes of een meer onregelmatig trappen wijst op een vermeerdering van de mentale belasting van de primaire taak en daardoor vermindering van de reservecapaciteit. Enkele moeilijkheden bij toepassing van deze methode kunnen storend werken. Allereerst dienen beide taken elkaar niet perifeer uit te sluiten (bijv. bij beide taken voeten nodig) of geen beroep te doen op dezelfde specifieke functies, zoals sommetjes maken bij geld tellen. Wegens het risico van beïnvloeding van de eerste taak door de tweede, hoewel tegen de instructie, komen taken waarbij de veiligheid belangrijk is niet in aanmerking.

Verder moet men er rekening mee houden, dat bepaalde combinaties ervaren worden als een uitdaging en tot een grotere inzet, grotere willing to spend capacity, aanleiding kunnen geven, andere combinaties daarentegen het omgekeerde effect kunnen sorteren.

Bij onderzoek over langere termijn moeten we er verder rekening mee houden, dat de actuele inzet bij combinatie van twee taken groter is dan voor een taak alleen en dat daardoor de volhoudtijd minder zal zijn. Er kan verwacht worden dat er dan eerder vermoeidheid zal optreden dan tijdens de normale uitvoering van het werk.

Bij het arbeidsfysiologisch onderzoek kent men deze methode niet. Bij het onderzoek naar zware, inspannende taken, vraagt men niet wat de persoon tijdens een normale uitvoering van zijn taak aan extra inspanning kan leveren. Men neemt liever zijn toevlucht tot fysiologische maten, zoals polsfrequentie en zuurstofopname.

Kalsbeek heeft ook veelvuldig gebruik gemaakt van de dubbeltaakmethode. Hij introduceerde echter een iets andere opzet en gaat uit van een andere vraagstelling (KALSBEK 1964, 1965, SCHOUTEN, KALSBEK en LEOPOLD 1962).

Als primaire taak welke bij de taakuitvoering voorrang heeft, wordt genomen een binaire-keuzetaak met de binaire-keuzegenerator, welke dus goed kwantificeerbaar is. De te onderzoeken taak wordt hier als tweede taak toegevoegd, waarbij dus wel minder goede uitvoering mag optreden. Bij verzwaring van de primaire taak (afleidings- of distraction-stress gevend) zal geleidelijk een desintegratie van de tweede taak optreden en wel des te eerder naarmate deze tweede taak een hogere mentale belasting geeft. Die aspecten van deze taak, die op het mechanisme van de informatieverwerking meer beslag leggen zullen het eerst verdwijnen. Zo zag hij bij schrijfproeven onder afleidingsstress allereerst een teruggang in creativiteit, dit is in informatiewaarde van het geschrevene. Bij verzwaring van de primaire taak, dus versneld aanbod van tonen, trad vervolgens een teruggang op in zinsbouw, iteraties, terugval tot simpele woordjes en letters en tenslotte konden alleen nog maar lijntjes geproduceerd worden. Na vermindering en stoppen van de primaire taak trad vervolgens volledig herstel van de secundaire taak op. Bij deze methode is in principe niet alleen een kwantitatief oordeel over de mentale belasting mogelijk, maar wordt het ook mogelijk kwalitatief iets over de taak te zeggen. Voor wat de beoordeling van de zwaarte van mentale belasting betreft gelden hier natuurlijk dezelfde bezwaren als boven, terwijl dit onderzoek niet kan gebeuren zonder onderbreking van de productie.

De functionele of fysiologische belasting

Onder functionele of fysiologische belasting dienen we, zoals reeds uiteengezet, te verstaan het geheel van fysiologische veranderingen die optreden bij bedreiging van bepaalde normen als gevolg van toenemende informatieverwerking per tijdseenheid. Welke normen hierbij bedreigd worden en wat het anatomisch of chemisch substraat is, is niet bekend. Voor de ergonomische vraagstelling kan voorlopig volstaan worden met het aantonen van fysiologische veranderingen, die correleren met de mate van mentale belasting. Als uitgangspunt wordt hierbij gebruik gemaakt van de fysiologische verschijnselen zoals deze zijn tijdens normale rust.

In het kader van het onderzoekprogramma naar mentale belasting is of wordt aandacht geschonken aan vele fysiologische functies zoals polsfrequentie, bloeddruk en enkele andere circulatoire verschijnselen, ademfrequentie en andere respiratoire verschijnselen, E.E.G., oogbolbewegingen en oogknipperingen, etc. Het hier vermelde onderzoek heeft betrekking op het optreden van circulatoire en respiratoire verschijnselen tijdens mentale belasting. Bij dit onderzoek is echter wel getracht meer inzicht te verkrijgen in de fysiologische betekenis en samenhang van de gevonden verschijnselen, mede aan de hand van literatuurstudie en aanvullend onderzoek.

Vraagstelling

De voor het onderzoek geldende vraagstelling is afgeleid van de opdracht van de Commissie voor Arbeidsgeneeskundig Onderzoek (Cargo) T.N.O. aan Kalsbeek, zoals deze later is uitgebreid (zie inleiding), namelijk om te onderzoeken of meetmethoden te ontwikkelen zijn voor het bepalen van de mentale belasting van industriële taken. Deze vraagstelling, later toegespitst op de vraag naar meetmethoden aan de hand van fysiologische verschijnselen (dus van het meten van de functionele belasting), is hier beperkt tot het onderzoek van circulatoire en respiratoire parameters. Deze beperkte vraagstelling is echter weer uitgebreid met de vraag naar de betekenis in het fysiologisch gebeuren van de gevonden verschijnselen.

Uitgangspunt voor het hier uitgewerkte onderzoek waren kort samengevat de volgende vragen:

1. treden er circulatoire en respiratoire veranderingen op onder invloed van mentale belasting?
2. Zo ja, hoe is de onderlinge samenhang en welke zijn de mechanismen, die bijdragen tot deze veranderingen?

Met het oog op eventuele toepassing in de praktijk en binnen het raam van de in het laboratorium aanwezige mogelijkheden is het onderzoek vooral gericht geweest op duidelijke aantoonbare veranderingen van fysiologische verschijnselen, die zonder of met geringe hinder voor de proefpersoon, te bepalen waren.

De onderzochte fysiologische verschijnselen

Het onderzoek was aanvankelijk vooral gericht op de vraag, of er onder invloed van mentale belasting fysiologische veranderingen zouden optreden en zo ja of van deze veranderingen gebruik kon worden gemaakt om vooral voor gewone industriële taken de mentale belasting te bepalen. Voor toepassing in de industrie is het van belang over eenvoudige methoden te beschikken, waarvoor geen uitgebreide apparatuur nodig is en geen ingewikkelde voorbereidingen behoeven te worden getroffen. Verder is de eerste keus gevallen op die fysiologische verschijnselen, waarover in het kader van het arbeidsfysiologisch onderzoek binnen het Coronel Laboratorium voor Arbeidshygiëne reeds ervaring was verkregen en waarvoor apparatuur beschikbaar was.

Tijdens de eerste exploratieve fase van het onderzoek werden de volgende fysiologische verschijnselen onderzocht:

- a. het hartritme, waarbij niet alleen de polsfrequentie, maar vooral de onregelmatigheid in slagtijden van de opeenvolgende slagen, de sinus-aritmie, belangrijk bleek.
Bij dit onderzoek werd gebruik gemaakt van een cardiotachometer, ontworpen door het Medisch Fysisch Instituut T.N.O. (M.F.I.-T.N.O.) te Utrecht, waarmee continue registratie mogelijk is. Een oriënterend onderzoek naar eventuele veranderingen van het patroon van elke hartslag in het E.C.G. gaf geen aanleiding te veronderstellen, dat er duidelijke veranderingen gevonden konden worden. Dit onderzoek is tot nog toe niet voortgezet.
- b. de systolische en diastolische bloeddruk, bepaald volgens de methode Riva-Rocci-Korotkow en ter controle ook met behulp van de Siemens bloeddrukmeter. Dit betrof een discontinue registratie.
- c. enkele respiratoire verschijnselen, namelijk ademfrequentie en -diepte, zuurstofopname, regelmatigheid van het adempatroon, en de hiermee samenhangende verschijnselen, zoals ademminuut-volume. Dit onderzoek vond plaats met behulp van een eenvoudige spirograaf (Simpligraaf, Medisch-Technische Industrie, Haarlem).

Op grond van de resultaten van dit exploratieve stadium werd tenslotte een onderzoek verricht, bedoeld niet alleen om de verkregen resultaten te verifiëren, maar ook om meer inzicht te verkrijgen in de onderlinge samenhang van enkele verschijnselen. Hierbij werden de verschillende parameters tegelijk geregistreerd, waarbij van de respiratoire verschijnselen voornamelijk gekeken werd naar de ademfrequentie, terwijl op grond van enkele theoretische overwegingen tevens de volumeveranderingen van de vinger met behulp van een eenvoudige vingerplethysmograaf bij het onderzoek werden betrokken. Voor de registratie van de ademexcursies werd hierbij gebruik gemaakt van een impedantie-pneumograaf, die evenals de vingerplethysmograaf welwillend door het Medisch Fysisch Instituut T.N.O. te Utrecht ter beschikking was gesteld.

Oriëntatiereacties en instelperiode

Pavlov heeft in 1927 voor het eerst gewezen op het voorkomen van oriëntatiereacties, fysiologische verschijnselen die optreden indien

in de situatie voor mens (of dier) plotseling iets verandert. Zij zijn te beschouwen als een instelling van het organisme op eventueel te nemen maatregelen (BERLYNE 1960). Deze reacties vormen geen onderwerp van ons onderzoek, dat juist gericht is op veranderingen die optreden tijdens een situatie van mentale belasting over langere tijd.

Uit de arbeidsfysiologie is verder bekend, dat direct na het begin van een zware belasting ademhaling en polsfrequentie zich geleidelijk gaan aanpassen en pas na enkele minuten een meer of minder constant niveau bereiken. Bij minder zware belasting treedt daarentegen soms een voorbijschieten van het niveau en later terugvallen op het vereiste niveau van bijvoorbeeld de polsfrequentie op. (Zie bijv.: BINK 1959, KUBIC e.a. 1964, DAVIES e.a. 1964). In de arbeidsfysiologie is het dan ook gebruikelijk, slechts conclusies te trekken aan de hand van gegevens die na minstens enkele minuten arbeid kunnen worden verkregen.

Ook tijdens de hier beschreven proeven werden soortgelijke verschijnselen aangetroffen. Deze waren sterker, naarmate het verschil in mentale belasting tussen twee opeenvolgende condities groter was en naarmate de proefpersoon minder ervaring in de proefsituatie had. Bij het bewerken van de gegevens is in verband hiermede later een zogenaamde instelperiode in acht genomen, de gegevens van deze instelperioden zijn niet in het onderzoek betrokken. Als instelperiode werd genomen een tijd van 1 minuut, voor het laatste onderzoek zelfs van 2 minuten, na het begin van elke nieuwe conditie. De ervaring heeft geleerd, dat na deze periode gedurende het voortduren van de mentale belasting geen verdere belangrijke veranderingen van bijvoorbeeld de polsfrequentie meer optreden. Ook wat betreft de herstelrust bij deze kortdurende proeven zijn polsfrequentie en andere fysiologische verschijnselen na een enkele minuut weer op het uitgangsniveau.

HOOFDSTUK V - HARTRITME EN MENTALE BELASTING

De regulering van het hartritme

Het hart beschikt over een eigen pace-maker, de sinauriculaire knoop van Keith-Flack, van waaruit de impulsen worden gegeven die tot contractie van de hartspier leiden. Deze ~~zenuw~~knoop is in zoverre autonoom, dat deze in bijzondere omstandigheden ook in het geïsoleerde hart nog actief blijft, mits zuurstofvoorziening, temperatuur, voorziening met voedingsstoffen, chemisch milieu etc. gewaarborgd zijn. In fysiologische omstandigheden echter wordt de activiteit van de sinauriculaire knoop zowel humoraal als nerveus beïnvloed. De humorale invloed, trager dan de nerveuze, is bij bijvoorbeeld spierarbeid van minder belang, onder pathologische omstandigheden speelt zij wel degelijk een rol, zoals Donard c.s. konden aantonen bij windhonden na denervatie van het hart (DONARD c.s. 1964).

De nerveuze regulatie van het hart vindt plaats vanuit het vasomotorencentrum in de medulla oblongata via vagus en sympathicus; de vagus heeft een remmende, de sympathicus een stimulerende invloed. Allerlei invloeden op de mens die een fysieke belasting betekenen, veroorzaken een versnelling van het hartritme door prikkeling van het vasomotorencentrum. Bij spierarbeid verloopt de prikkeloverdracht geheel nerveus, waarbij als stimulus voor de verandering van de polsfrequentie de verschuiving van de P_{CO_2} in de intercellulaire ruimten van de arbeidende spieren fungeert. Dit in cybernetische zin als regelmechanisme werkzame systeem is door Stegeman als zodanig bestudeerd aan de hand van voortreffelijk uitgedachte proeven (STEGEMAN 1963).

Men neemt aan, dat de hartversnelling tijdens lichamelijke inspanning tot stand komt zowel door verhoogde sympathische als door verlaagde parasymphatische invloed op het hart; kwantitatieve gegevens hierover ontbreken vrijwel.

Naast de polsfrequentie als uiting van het hartritme heeft nog een ander fenomeen de aandacht getrokken bij het onderzoek naar mentale belasting. De onregelmatigheid van de slagtijden van

achtereenvolgende slagen, bekend als sinusaritmie, vertoont namelijk karakteristieke veranderingen onder invloed van allerlei factoren. De bestudering van de sinusaritmie op grote schaal is mogelijk gemaakt door het beschikbaar komen van een cardi tachometer. Continue registratie met een cardi tachometer van het hartritme van een persoon in rust geeft een golvende lijn rondom een gemiddelde (de polsfrequentie). Zoals figuur 5 toont kan men bij fysieke

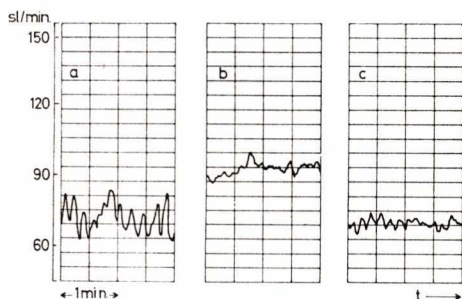


FIG. 5. Voorbeeld van een cardi tachogram van een proefpersoon

- a. in rust
- b. tijdens fietsen op de ergometerfiets bij 60 Watt
- c. tijdens een mentaal belastende taak (binaire-keuzetaak, tonen-toetsen) van 40 sign/min.

inspanning naast toename van de polsfrequentie ook een vermindering vinden van de onregelmatigheid. Reeds tijdens de eerste demonstratie van de cardi tachometer bleek echter, dat het oplossen van enkele rekenopgaven wel een onderdrukking van de sinusaritmie ten gevolge had, echter geen duidelijke toename van de polsfrequentie. Deze waarneming is uitgangspunt geworden voor het onderzoek naar de invloed van mentale belasting ook op de sinusaritmie.

In een apart hoofdstuk zal nader ingegaan worden op de fysiologische aspecten van de sinusaritmie (hoofdstuk IX).

De cardi tachometer

Bij alle proeven is gebruik gemaakt van een cardi tachometer, zoals deze is ontworpen op het Medisch Fysisch Instituut T.N.O. te Utrecht (in de handel gebracht door de fa. Rood te Rijswijk) (KUIJPER en v. PROOIJEN 1961, M.F.I. 1963). De cardi tachometer gaat uit van het E.C.G., zoals dat met behulp van drie (borst)elektroden verkregen wordt. Als signaal voor de verdere bewerking blijven na filteren de R-toppen over. De tijd tussen twee opeenvolgende R-toppen wordt vervolgens omgezet in de reciproke waarde, dus in frequentie. De frequentie van een R-R-tijd, dus van een

slagtijd, wordt gehandhaafd tot de volgende gemeten en in frequentie omgezette slagtijd het elektronisch uitgangssignaal doet veranderen. Door registratie van het uitgangssignaal verkrijgt men zo een doorlopende lijn, waarbij alleen bij grote papiersnelheid de afzonderlijke frequenties nog als zodanig bepaald kunnen worden.

IJking is gerealiseerd van de volgende frequenties, namelijk 60, 90, 120, 150 en 180 sl/min. De frequentieschaal is logaritmisch, de registratie van het cardiogram gebeurt dus semilogaritmisch (tijdas lineair). Tussen de ijkpunten in komt de frequentieschaal echter vrijwel overeen met een lineaire schaal (fout maximaal 2 sl/min).

Voor de registratie van het cardiogram werd gebruik gemaakt van een Dwarf-recorder (fa. Escomb) met een papiersnelheid van 1 inch/min; in de tweede fase van het onderzoek werd een Metrawatt-recorder (betrokken van de fa. Rood) gebruikt, waarbij een papiersnelheid van 2 cm/min werd aangehouden.

De cardiometer heeft een geringe fout, die binnen de 2 sl/min ligt. Indien er echter tussen twee opeenvolgende slagen een groot verschil is in slagtijd en dus in 'frequentie', dan geeft het cardiogram dit verschil slechts voor $\frac{3}{4}$ weer, dus een verschil van 10 sl/min wordt voor de eerste slag slechts voor $7\frac{1}{2}$ sl/min aangegeven. Blijft de polsfrequentie verder constant dan zal na drie slagen de registratie weer corresponderen met de werkelijke waarde. Deze fout zal er toe leiden, dat vooral zeer snelle veranderingen in het cardiogram onvoldoende tot hun recht komen*. Dit treedt extreem op bij een pulsus bigeminus, waarbij een hartslag met een lange slagtijd gevolgd wordt door één met korte slagtijd en deze weer door één met lange slagtijd, etc. Een bewerking van een geval van een pulsus bigeminus, die zowel op het E.C.G. als op het cardiogram was vastgelegd, leverde berekend met behulp van het E.C.G. frequenties op van ongeveer 120 sl/min en 67 sl/min en berekend met behulp van het cardiogram frequenties van ongeveer 103 sl/m en 83 sl/min. (Dit geval werd geregistreerd door coll. J. Baart). De registratie met het cardiogram wijkt dus in dit extreme geval met ongeveer 16 sl/min af van de werkelijke waarden, terwijl van het verschil tussen twee opeenvolgende slagen van 53 sl/min, slechts $\frac{3}{8} = 21$ sl/min werden aangegeven. (Opmerking: voor frequentie leze men: reciproke van slagtijd).

* Prof. dr. A. D. de Groot berekende de grootte van deze fout voor een doorlopende registratie. Voor zijn opmerkingen die beter de betekenis van deze fout deden inzien, hierbij hartelijk dank.

Ook bij de registratie van extra-systolen zal men met deze fout rekening moeten houden. In fysiologische omstandigheden verkrijgt men echter in het cardiogram slechts veranderingen over meerdere slagen, zodat hierbij deze fout vrijwel te verwaarlozen is. Zo zal bij een gemiddelde polsfrequentie van 72 sl/min, waarbij deze 6 maal per minuut fluctueert met een excursie van de fluctuatie van top tot top van 20 sl/min, de top $2/3$ sl/min onder de werkelijke waarde blijven (mededeling Ir. J. Kuiper).

Bepaling van polsfrequentie en index voor de sinusaritmie

Bij de bewerking wordt dus steeds uitgegaan van het cardiogram, de curve die met behulp van de cardiometer verkregen is. Hierbij is geen correctie toegepast voor de fout in verwerking van de cardiometer. Niet alleen is deze fout van zeer geringe betekenis, hij blijft in een bepaald cardiogram steeds gelijk en verschillen in polsfrequentie tussen opeenvolgende delen van het cardiogram worden niet beïnvloed. De bewerking geschiedt verder per minuut.

Bij de hier vermelde proeven is de polsfrequentie bepaald door op het oog het gemiddelde over een minuut van de curve te vergelijken met de ijklijnen. Bij vergelijking van de op deze manier bepaalde polsfrequentie met een polsfrequentie, berekend met behulp van een elektrocardiogram door per minuut het aantal R-toppen te tellen, bleek niet alleen een zeer goede correlatie te bestaan tussen beide methoden, maar bleek ook de fout in de bepaling per geval minder te zijn dan 2 slagen per minuut (DOCTER c.s. 1967). Ook hierbij geldt bovendien dat verschillen tussen opeenvolgende polsfrequenties door een eventuele, systematische bepalingfout niet beïnvloed worden.

Voor de bepaling van een index voor de onregelmatigheid van de curve werd bij deze proeven de volgende methode toegepast (fig. 6). Onder en boven de op het oog bepaalde lijn voor het gemiddelde worden tolerantielijnen getrokken op een afstand overeenkomend met 4% van de gemiddelde polsfrequentie (in rust bij een polsfrequentie van 75 sl/min overeenkomende met 3 sl/min), resp. 8 en 12%. Elke keer dat de curve van het cardiogram buiten een van de tolerantielijnen komt, gerekend vanaf het gemiddelde, wordt voor de score meegeteld. Het totaal van het aantal overschrijdingen per minuut vormt de index. Bij deze bepaling kan men gebruik maken van een eenvoudige mal die men op de curve legt. Hierop zijn

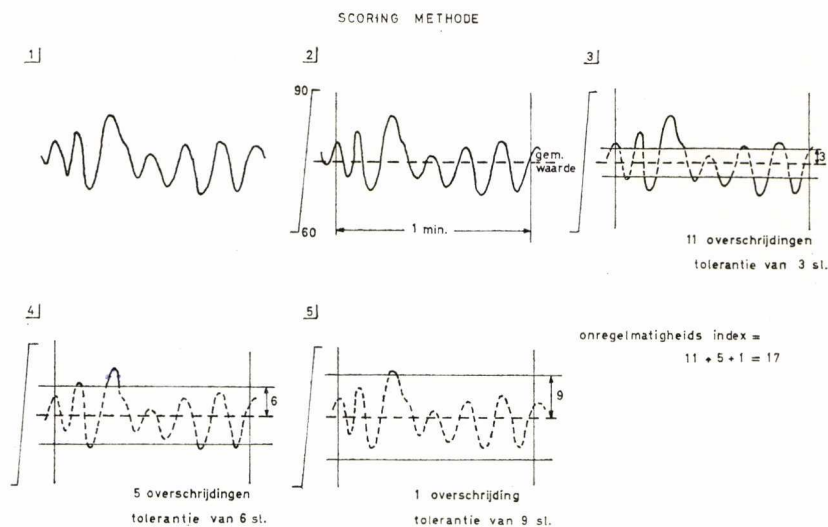


FIG. 6. Methode voor scoring van de sinusaritmie

de in fig. 6 aangegeven tolerantie lijnen getekend. De reproduceerbaarheid van deze methode is goed. Herhaling van de bepaling van 25 stukjes curve (van verschillende proefpersonen) na verschuiving van de mal over $1\frac{1}{2}$ sl/min, ten opzichte van een eerste bepaling, gaf een uitstekende overeenkomst (toets van Spearman: $n = 25$; $\alpha < .001$, rangcorr.coëff. 0.975).

Om de polsfrequentie en de sinusaritmie tijdens de verschillende condities te kunnen vergelijken, werden per proefpersoon de van elke conditie verkregen waarden voor polsfrequentie en onregelmatigheidsindex gemiddeld. Hierna werd de rustwaarde op 100% gesteld en de waarden voor de verschillende condities in percenten van de rustwaarde uitgedrukt. Deze individuele percentages vormden het uitgangspunt voor de berekening van groepsgemiddelden en spreiding. Bij deze wijze van bewerking wordt de interindividuele spreiding in absolute waarden niet meegerekend bij het berekenen van de spreiding in reactie onder invloed van mentale belasting. De gegeven spreidingsmaten voor de condities met mentale belasting weerspiegelen dus de interindividuele spreiding van de reactie op de mentale belasting in de onderzochte groep.

Proefpersonen

De hier vermelde resultaten zijn alle verkregen bij proeven met

mannelijke studenten, leeftijd variërend van 20-26 jaar. Zij ontvingen voor deze proeven een geringe vergoeding. De mede op grond van de ervaringen opgedaan bij de beschreven proeven verrichte onderzoeken bij enkele andere personen, zoals telefonistes, montagearbeidsters en enkele in de psychiatrische kliniek verpleegde personen, zijn wegens het geringe aantal niet in de resultaten verwerkt. De bij deze personen gevonden verschijnselen waren echter in overeenstemming met de hier wel vermelde resultaten.

Rustwaarden

Tijdens de hierna volgende proeven werden de volgende rustwaarden gevonden: polsfrequentie 75 (s.d. 9.6) sl/min, onregelmatigheidsindex voor de sinusaritmie: 11 (s.d. 8.5) ($n = 85$).

Binaire-keuzetaken en hartritme

Als standaardtaak voor het simuleren van een mentale belasting wordt door ons veelvuldig gebruik gemaakt van een taak met de binaire-keuzegenerator, namelijk een auditieve binaire-keuzetaak. De binaire-keuzegenerator is reeds beschreven in hoofdstuk iv (pag. 34). De combinatie tonen-voetpedalen wordt gebruikt als opstelling. In een eerste zitting worden de proefpersonen vertrouwd gemaakt met de proefsituatie en met de taak. Tijdens de tweede proefzitting wordt na nog enige oefening het individueel maximum (paced conditie) bepaald. De proef zelf bestaat uit vier condities van elk drie minuten, namelijk rust I – taak I – rust II – taak II. De taken I en II worden gevormd door een taak met een belasting van 60% of 80% van het individuele maximum, in willekeurige volgorde wordt hierbij voor de eerste taak 60% of 80%, voor de tweede taak 80% of 60% van het individuele maximum genomen. De resultaten van zo'n onderzoek bij 30 proefpersonen zijn vermeld in tabel 2.

Uit deze tabel blijkt dat onder invloed van mentale belasting, voor zover gerepresenteerd door een binaire-keuzetaak, zowel de polsfrequentie, zij het gering, toeneemt, als de sinusaritmie minder wordt. Bij verzwaring van de taak nemen deze veranderingen nog toe.

Opvallend is de in verhouding grote verandering van de sinusaritmie vergeleken met de geringe verandering van de polsfrequentie. De laatste bedraagt enkele slagen (gemiddeld 4 à 6% van 75 sl/min).

TABEL 2. Invloed van auditieve binaire-keuzetaak op polsfrequentie en sinusaritmie. Per conditie zijn gegeven de gemiddelden van de percentages van de rustwaarden. Tussen haakjes de standaarddeviaties.

Conditie	Rust I R	Tonen-pedalen	
		60% indiv. max. I	80% indiv. max. II
polsfrequentie	100	104 (9)	106 (9.4)
sinusaritmie	100	60 (25)	45 (30)

n = 30

Significanties (rangtekentoets, dubbelz.): polsfr.: I > R ($\alpha < .05$); II > R en > I ($\alpha < .01$)

sinusar.: I en II < R; II < I ($\alpha < .01$)

Tijdens de reeds vermelde onderzoeken betreffende de maximumprestatie bij een binaire keuzetaak (vrij tempo) en de invloed van de mate van compatibiliteit tussen aangeboden signaal en de wijze van antwoorden (zie hoofdstuk IV, pag. 36), werd ook het cardio-tachogram geregistreerd. Het onderzoek bestond hier voor elke proefpersoon uit 3 zittingen, de eerste zitting voor het gewend raken aan situatie en taak, de twee volgende zittingen voor het onderzoek.

TABEL 3. Effect op de *polsfrequentie* van proefzitting en maximale inspanning bij binaire-keuzetaken in 4 verschillende vormen van stimulus-bron en stimulus-response samenhang (vrij tempo).

Duur per conditie: 3 min.; foutentolerantie 1 s/m. Gegeven zijn de per proefzitting per conditie gemiddelde waarden, uitgedrukt als percentage van de rustwaarden. Tussen haakjes de standaarddeviatie.

Conditie	Lichtjes-toetsen		Tonen-toetsen	
	comp.	incomp.	comp.	incomp.
1e proefzitting	99 (6.2)	102 (8.1)	102 (7.9)	104 (8.3)
2e proefzitting	102 (7.4)	103 (8.5)	105 (10.1) *	102 (6.6)

n = 24

*; > rust ($\alpha < .05$ - rangtekentoets, dubbelz.); gemiddelde absolute rustwaarden: 1e proefz.: 80 (12.5) sl/min; 2e proefz. 81 (10.4) sl/min.

TABEL 4. Effect op de onregelmatigheidsindex voor de *sinusaritmie* van proefzitting en maximale inspanning bij binaire-keuzetaken in 4 verschillende vormen van stimulus-bron en stimulus-response samenhang (vrij tempo). Duur per conditie: 3 min.; foutentolerantie 1 s/m. Gegeven zijn de per proefzitting per conditie gemiddelde waarden, uitgedrukt in percentage van de rustwaarden. Tussen haakjes de standaarddeviatie.

Conditie	Lichtjes-toetsen		Tonen-toetsen	
	comp.	incomp.	comp.	incomp.
1e proefzitting	39 (17)	47 (27)	46 (26)	38 (16)
2e proefzitting	40 (22)	43 (24)	44 (20)	49 (26)

n = 24

Significanties (rangtekentoets, dubbelzijdig): alle waarden lager dan de rustwaarde ($\alpha < .01$).

Waarde voor tonen-toetsen incomp. 2e proefz. hoger dan waarde voor lichtjes-toetsen comp. ($\alpha < .02$).

Gemiddelde absolute rustwaarden: 1e proefz.: 9.4 (4.4), 2e proefz. 9.4 (6.6).

Een volledige proef omvatte 8 condities, afwisselend rust – taak – rust – etc., elke conditie duurde 3 minuten. De volgorde van de vier vormen van taakuitvoering was gerandomiseerd, per conditie echter één vorm. Tijdens de taakuitvoering werd van de proefpersonen een maximale inspanning gevraagd. Elk van de 24 proefpersonen deed deze proef dus twee maal. De gemiddelden voor het bereikte maximum zijn reeds gegeven in tabel 1. In tabel 3 is het effect op de polsfrequentie, in tabel 4 het effect op de sinusaritmie weergegeven.

Bestudering van deze tabellen leert ons, dat er nauwelijks sprake is van een beïnvloeding van de polsfrequentie door deze maximale inspanning, de sinusaritmie daarentegen werd wel degelijk beïnvloed; er was een onderdrukking van gemiddeld meer dan 50% van de rustwaarde.

Spaans verhaal en hartritme

Bij 21 proefpersonen werd het cardiogram geregistreerd tijdens een proef met het Spaans verhaal. Deze proef is uitvoerig beschreven in hoofdstuk iv (pag. 37). Hierbij werd nagegaan of er op objectieve wijze onderscheid gemaakt kon worden tussen horen en luisteren. De steeds 3 minuten durende condities waren: rust – horen – hernieuwde instructie en rust – luisteren. De waarden verkregen van de

registraties van de condities horen en luisteren werden uitgedrukt als percentage van de bijbehorende eerste rustwaarden. De gegevens zijn samengevat in tabel 5.

TABEL 5. Invloed van het horen van respectievelijk luisteren naar een Spaanse tekst op polsfrequentie en sinusaritmie.

Gegeven zijn per conditie de gemiddelden van de percentages van de rustwaarden. Tussen haakjes de standaarddeviatie.

Conditie	Rust R	Horen I	Luisteren II
polsfrequentie	100	101 (3.2)	102 (6.7)
sinusaritmie	100	86 (23)	51 (24)

n = 21

Significanties (rangtekentoets, dubbelz.)

polsfr.: n.s.

sinusar.: I < R ($\alpha < .02$); II < R en II < I ($\alpha < .01$)

Ook hier dus geen aantoonbare reactie van de polsfrequentie, wel van de sinusaritmie. Het passief aanhoren van de tekst gaf nog een onderdrukking van de sinusaritmie van gemiddeld 14%. Mogelijk ligt de verklaring in het feit, dat de proefpersonen in werkelijkheid niet passief waren, maar wel degelijk probeerden in deze vreemde situatie iets van de tekst te begrijpen. Het actief luisteren gaf een veel grotere onderdrukking te zien van bijna 50% van de rustwaarde.

Reactograafproeven en hartritme

Op het belang van de proeven met de reactograaf voor het uitbouwen van het denkmodel voor de mentale belasting is reeds gewezen in hoofdstuk III (pag. 19). Het aantal signalen per minuut, waarop de proefpersoon moest reageren was 14; per conditie van 3 minuten konden dus ongeveer 42 bewegingen geregistreerd worden. Door het draaien van het papier om twee rollen, werden deze curven – over elkaar geschreven – uitgerekt in horizontale richting. De absolute reactietijd werd berekend uit de afstand tussen begin van het signaal (dat op hetzelfde papier was aangebracht) en het begin van de mediane curve. In een serie proeven met 6 proefpersonen werd tevens het cardiogram geregistreerd. De opgedragen

bewegingspatronen waren per conditie zo snel mogelijk naar rechts bewegen met een beweging die respectievelijk ongericht was, of gericht op een doel op 27 cm van de start met een tolerantie van 6 mm en idem van 3 mm.

De opvolging van deze condities werd steeds gewisseld, tussen elke conditie en voorafgaande aan de proef werd steeds 3 minuten rust in acht genomen. Deze proef werd door de proefpersonen $6 \times$ verricht, per dag niet meer dan twee proeven. Op deze manier werden gegevens verkregen over 36 proefseries. Per proefserie en per conditie werden de waarden voor polsfrequentie en sinusaritmie vervolgens gemiddeld en uitgedrukt als percentage van de waarden voor de eerste rust. Deze gegevens zijn samengevat in tabel 6.

TABEL 6. Effect van een taak en van verzwareing van het uitvoeringsprogramma van een taak op de reactograaf op mediane absolute reactietijd, polsfrequentie en sinusaritmie.

Gegeven zijn per conditie steeds de gemiddelden van 36 waarden, voor de mediane absolute reactietijd in milliseconden, voor polsfrequentie en sinusaritmie uitgedrukt in percentages van de rustwaarden. Tussen haakjes de standaarddeviatie.

Conditie	Ongerichte beweging a	Gerichte beweging gr. tolerantie b	Gerichte beweging kl. tolerantie c
Mediane absolute reactietijd in msec.	255 (41)	289 (61)	305 (65)
Polsfrequentie in % v. d. rustwaarde	105 (5.5)	105 (6.5)	106 (4.8)
Index sinusaritmie in % v.d. rustwaarde	79 (42)	68 (42)	64 (46)

n = 6

Significanties (rangtekentoets, dubbelz.)

absol. reactiet.: b en c > a ($\alpha < .01$)

polsfr.: a, b en c > rust ($\alpha < .01$); c > a ($\alpha < .10$)

sinusar.: a, b en c < rust ($\alpha < .01$); b en c < a ($\alpha < .01$), c < b ($\alpha < .05$).

Voor wat betreft de absolute reactietijd zijn deze experimenten later uitvoeriger herhaald en elders gepubliceerd (BAART, ETTEMA en KALSBEK 1963). In deze publikatie worden zowel de reactograaf van Burger als de betekenis van de toename van de absolute reactietijd als functie van verzwareing van het uitvoeringsprogramma uitvoerig besproken. Hier is van belang, dat een taak waarbij de

nadruk ligt op het zo snel mogelijk uitvoeren van een bepaalde beweging, de polsfrequentie iets doet toenemen en de sinusaritmie duidelijk doet afnemen. Verzwaring van het uitvoeringsprogramma heeft op de polsfrequentie weinig invloed, op de sinusaritmie wel degelijk. Uit deze proef komt naar voren, dat toename van corticale activiteit door verzwaring van de taak zich uit in een geringe verhoging van de polsfrequentie, een duidelijke onderdrukking van de sinusaritmie en een toename van de absolute reactietijd. Deze absolute reactietijd echter hangt hier direct samen met de taak en de voor de uitvoering van de taak vereiste corticale activiteit.

Nadere uitwerking van enkele resultaten

Uit bovenstaande proeven blijkt, dat er een duidelijk verband bestaat tussen corticale activiteit (mentale belasting) als onderdeel van een informatieverwerking en in het bijzonder het hartslagpatroon. Voor het individuele onderzoek is echter van belang of dit verband altijd aantoonbaar is. Achteraf zijn daarom de gegevens van 43 proefpersonen nog eens afzonderlijk bekeken. Dit betrof verschillende situaties van mentale belasting door binaire-keuzetaak, reactograafproef of Spaans Verhaal. Er konden zo 276 waarden voor polsfrequentie en sinusaritmie tijdens mentale belasting vergeleken worden met de bijbehorende rustwaarden. Bovendien konden hiervan 117 waarden nog vergeleken worden met waarden verkregen tijdens een lichtere belasting gedurende dezelfde proefzitting. In tabel 7 is een overzicht gegeven van het aantal malen dat polsfrequentie of sinusaritmie verliep volgens verwachting, gelijk bleef of af- respectievelijk toenam.

TABEL 7. Aantal malen dat polsfrequentie of sinusaritmie toenam, gelijk bleef of afnam bij een mentaal belastende taak of bij toename van de mentale belasting bij 43 proefpersonen.

	Taak t.o.v. R		Zwaardere t.o.v. lichtere belasting	
	pf	s.a.	pf	s.a.
toename	211	9	52	14
gelijk	26	3	42	15
afname	39	264	23	88
totaal	276	276	117	117

Slechts in 12 gevallen (4.4%) werd dus geen onderdrukking gevonden van de sinusaritmie onder invloed van mentale belasting, terwijl de polsfrequentie in 65 gevallen (23.9%) niet toenam. Discriminatie tussen twee taken met verschil in uitwendige belasting bleek aan de hand van de sinusaritmie-onderdrukking niet mogelijk in 29 gevallen (24.8%), aan de hand van toename van de polsfrequentie in 65 gevallen (55.5%). Achteraf is geprobeerd een verklaring te zoeken aan de hand van de beschikbare gegevens. Een groot aantal fouten, gemaakt tijdens een taakuitvoering en dus niet overeenkomstig de instructie, maakt de mentale belasting geringer, zodat dan vergeleken met de rust geen sprake is van mentale inspanning. Dit zou in 3 gevallen het uitblijven van een onderdrukking van de sinusaritmie onder invloed van een taak, in 3 gevallen het uitblijven van een toename van de polsfrequentie en in 4 gevallen het uitblijven van een onderdrukking van de sinusaritmie bij toename van mentale belasting kunnen verklaren. Alle waarden, verkregen tijdens belasting zijn vergeleken met de waarden van de aan de condities voorafgaande rust. In een aantal gevallen zijn de rustwaarden duidelijk lager dan rustwaarden die van de zelfde persoon op andere dagen of later op dezelfde dag zijn verkregen. Mogelijk kan men hier spreken van preoccupatie, die in het verloop van het onderzoek minder wordt. Hier kan dus tijdens de rust een extra invloed aanwezig zijn geweest, die tijdens taakuitvoering van minder belang of opgeheven was. Een dergelijk mechanisme zou als verklaring kunnen worden gegeven in 3 gevallen voor het uitblijven van een toename van de polsfrequentie en in 8 gevallen voor het uitblijven van een onderdrukking van de sinusaritmie bij het uitvoeren van een mentaal belastende taak, in 6 gevallen voor het uitblijven van toename van de polsfrequentie en in 4 gevallen voor het uitblijven van verdere onderdrukking van de sinusaritmie bij verzwaring van de uitwendige belasting. Op deze manier redenerend kan men dus in een aantal gevallen een redelijke verklaring geven voor afwijkingen gevonden in individuele gevallen. Voor de polsfrequentie kon dit in 3 van de 65 gevallen bij taakuitvoering en in 9 van de 65 gevallen bij toename van uitwendige belasting. Voor de sinusaritmie zijn de getallen respectievelijk 11 van de 12 gevallen en 8 van de 29 gevallen.

Uit deze gegevens blijkt wel, dat de toename van de polsfrequentie een veel minder goede indicatie is voor het niveau van mentale belasting dan de onderdrukking van de sinusaritmie.

Conclusie

Aan de hand van een aantal experimenten blijkt, dat mentale belasting, zoals die samenhangt met de informatieverwerking per tijdseenheid, leidt tot fysiologische verschijnselen, namelijk een geringe toename van de polsfrequentie en een duidelijke onderdrukking van de sinusaritmie. De toegepaste taken zijn wat betreft de informatieverwerking onder te verdelen in drie groepen:

1. vooral betrekking hebbend op het centrale decisie kanaal: de binaire-keuzetaken;
2. vooral betrekking hebbend op het identificatiemechanisme: het Spaans verhaal;
3. vooral betrekking hebbend op het stuurmechanisme: de reactograafproeven.

De taken 1 en 3 gaan ook gepaard met een geringe toename van de fysieke belasting. Opvallend is, dat bij de tweede taak geen verandering van de polsfrequentie kon worden aangetoond, wel bij de andere twee taken. Het is dus niet onmogelijk, dat de gevonden geringe toename van de polsfrequentie hier niet direct samenhangt met de mentale belasting zelf, maar met de fysieke belasting, terwijl in een aantal gevallen ook een zekere emotioneel bepaalde polsfrequentietoename niet kan worden uitgesloten. Wegens het ontbreken van een objectief criterium voor emotie is dit laatste echter niet met zekerheid vast te stellen.

In alle experimenten blijkt echter duidelijk een onderdrukking op te treden van de sinusaritmie. Ook voor onderzoek van individuele personen is deze onderdrukking bruikbaar, mits de nodige aandacht wordt geschonken aan voorbereiding, taakuitvoering, enz. Vooral bij gespannen proefpersonen lukt het soms aanvankelijk niet het verschijnsel duidelijk aan te tonen, bij herhaling van het onderzoek lukt het vaak veel beter.

Voor groepsonderzoek moeten we rekening houden met de grote spreiding, niet alleen in absolute waarden van de onregelmatigheidsindex, maar ook van de relatieve reactie op een bepaalde uitwendige belasting. In principe lijkt het echter mogelijk met behulp van dit fenomeen van onderdrukking van de sinusaritmie te discrimineren tussen twee mentaal belastende taken, mits het aantal proefpersonen niet te klein is en de in de praktijk nooit uit te sluiten fysieke belasting voor beide taken gering is.

De hier vermelde resultaten zijn aanleiding geweest om bij alle volgende experimenten steeds tevens het cardi tachogram te registreren.

HOOFDSTUK VI - BLOEDDRUK EN MENTALE BELASTING

De regulering van de bloeddruk

De bloeddruk komt tot stand door een samenspel van invloeden, zoals bloedvolume, beschikbaar vaatbed en elasticiteit van de vaten, stroomsnelheid en cardiac output. Zowel verandering van het slagvolume van het hart, verandering in hoeveelheid bloed en vaatvernauwing of verwijding kunnen de bloeddruk doen toe- of afnemen. Op haar beurt heeft de bloeddruk invloed op het hartritme. We hebben hier dus te maken met een regelkring. Verhoging van de bloeddruk leidt tot versterkte prikkeling van de mechanoreceptoren in aortaboog en sinus caroticus. Via afferente banen (vagus) naar het vasomotorencentrum komt vervolgens een verhoogde remming door de vagus van de sinauriculaire knoop tot stand. Onder normale fysiologische omstandigheden zijn vooral hartfrequentie en slagvolume en de mate van perifere vasoconstrictie bepalend voor de actuele bloeddruk. Per hartslag wisselt de bloeddruk tussen een systolische (tijdens contractie van de ventrikel) en een diastolische waarde (tijdens de diastole van het hart).

De bloeddruk wordt door een fysieke belasting beïnvloed. Bij een statische spierbelasting treedt zowel verhoging van de systolische als van de diastolische bloeddruk op; bij een dynamische beenspierbelasting op de ergometerfiets vonden Burger c.s. eveneens een verhoging van de systolische, maar een verlaging van de diastolische bloeddruk (BURGER, WESSELING en BURGER 1961). Dit is in tegenstelling met het vermelde in sommige handboeken (BEST c.s. 1961), waar vermeld wordt dat ook de diastolische bloeddruk zou stijgen bij fysieke inspanning. In hoeverre deze discrepantie berust op verschil in houding bij het onderzoek, waarop deze vermeldingen steunen (en bijvoorbeeld op verschil in hydrostatische druk) dient verder onderzocht te worden. De invloed van fysieke belasting bij verschillende omgevingstemperaturen is nagegaan door WESSELING (1967).

Methodiek

Voor de bepaling van de bloeddruk is gebruik gemaakt van discontinue bepalingen. Dit is dus altijd een steekproef van 1 op de meer dan 60 verschillende waarden voor systolische en diastolische bloeddruk, die men bij continue (bloedige) registratie per minuut kan vinden. In verband met de wisselingen in deze waarden is een bepaling steunende op een enkele waarneming binnen 5 mm Hg zinloos. Indien men echter vele waarnemingen samenvoegt heeft het zin per waarneming nauwkeuriger de waarnemingen te noteren om niet onnodig de waarnemingsfout te vergroten.

Bij het eerste onderzoek is gebruik gemaakt van de methode Riva-Rocci-Korotkow. Voor de diastolische bloeddruk werd de waarde waarbij de tonen zachter worden aangehouden. Hierbij werd elke minuut de bloeddruk één maal bepaald, en wel tussen de 20e en 40e seconde van elke volle minuut. Een bezwaar dat men tegen deze methode kan aanvoeren is, dat de proefleider mogelijk geneigd is naar de verwachte resultaten toe te werken. Daarom werd in een later onderzoek gebruik gemaakt van een apparaat voor bloeddrukmeting dat automatisch registreerde.

Deze, de Siemens automatische bloeddrukmeter Diasyst werkt eveneens discontinu. Rondom de arm wordt een manchet, waaronder een puls-gevoelige microfoon, aangebracht. Het apparaat kan zo ingesteld worden, dat automatisch één maal per $1\frac{1}{4}$, $2\frac{1}{2}$ of 5 minuten de manchet wordt opgepompt. De diastolische bloeddruk wordt op een wijzer geregistreerd tijdens het oppompen op het moment, dat de pulsen een bepaalde sterkte bereiken. De systolische bloeddruk wordt bepaald tijdens het leeglopen van de manchet nadat de druk boven de systolische waarde is gekomen. Ook hier vormt het optreden van pulsen het signaal voor registratie van de systolische bloeddruk. Afhankelijk van de – instelbare – snelheid van oppompen en leeglopen is de registratie van de systolische bloeddruk 1 à 2 mm Hg te laag, die van de diastolische 1 à 2 mm Hg te hoog. Daar wij hier te maken hebben met een systematische fout, stoort deze de vergelijking tussen opvolgende waarden niet.

De mentale belasting

Voor de uitwendige belasting werd weer gebruik gemaakt van de binaire-keuzegenerator in de combinatie: tonen – voetpedalen. Tijdens de eerste proef bedroeg de belasting 60% van het individuele maximum tijdens een drie minuten durende conditie, respectievelijk

80% van het individuele maximum, ook weer gedurende drie minuten. De volgorde van deze condities werd gewisseld; voorafgaande aan beide condities en tussen beide condities in werd steeds 3 minuten rust in acht genomen.

De tweede proef bestond uit vijf condities van ieder 5 minuten met steeds in wisselende volgorde een andere belasting, nl. van 25%, 40%, 60%, 80% en 100% van het individuele maximum. Voorafgaande aan de proef en tussen de condities in waren rustperiodes van vijf minuten.

Bewerking van de gegevens

Voor de eerste proef werden voor elke proefpersoon de op 5 mm Hg afgeronde waarden voor systolische en diastolische bloeddruk per conditie gemiddeld.

Bij de tweede proef werd de bloeddruk één maal per 1½ minuut geregistreerd en afgelezen op de mm Hg nauwkeurig. Per conditie kon dus over vier waarnemingen beschikt worden. Hiervan werden de 2e, 3e en 4e waarneming steeds gemiddeld en als zodanig in de berekeningen opgenomen. Van het tijdens deze proeven geregistreerde cardi tachogram werden op de in hoofdstuk v beschreven manier voor elke 3e, 4e en 5e minuut van elke conditie polsfrequentie en sinusaritmie bepaald. Ook deze waarden werden per conditie gemiddeld. Ook de rustwaarden werden op deze manier per proefpersoon vastgesteld en daarna over de hele proef per proefpersoon gemiddeld. De zo bepaalde gemiddelden (in mm Hg) werden in de berekeningen verwerkt.

Resultaten

Aan het eerste onderzoek namen vijftien proefpersonen deel (mannelijke studenten). De resultaten zijn samengevat in tabel 8.

Hieruit blijkt dat zowel de systolische als de diastolische bloeddruk toeneemt onder invloed van mentale belasting. De toename van de diastolische bloeddruk is echter gemiddeld zo gering, dat, hoewel elk gegeven gemiddelde berust op 45 waarnemingen en daardoor een eventuele waarnemingsfout gereduceerd is, de praktische bruikbaarheid minimaal lijkt en de betrouwbaarheid van dit gegeven klein is. De toename ten opzichte van de rustwaarden bedroeg bij een belasting van 60% van het individuele maximum gemiddeld respectievelijk 7 mm Hg voor de systolische, 4 mm Hg

voor de diastolische bloeddruk; de extra toename bij verzwaring van de uitwendige belasting tot 80% van het individuele maximum was zowel voor de diastolische, als voor de systolische bloeddruk gemiddeld 2 mm Hg.

TABEL 8. Effect op systolische en diastolische bloeddruk van mentaal belastende taken. (Bin.-keuzetaken, tonen-pedalen). Gegeven zijn de gemiddelden per conditie in mm Hg. Tussen haakjes de standaard-deviatie.

Conditie	Rust R	Tonen-pedalen taak	
		60% indiv. max. I	80% indiv. max. II
Systolische bloeddruk	118 (12)	125 (14)	127 (14)
Diastolische bloeddruk	80 (6.7)	84 (7.5)	86 (7.1)

n = 15

Significanties (rangtekentoets, dubbelz.):

syst. bl.dr.: I en II > R ($\alpha < .01$); II > I ($\alpha < .05$)

diast. bl.dr.: I en II > R ($\alpha < .01$)

Aan de tweede proefserie namen 10 proefpersonen deel. De gegevens van één proefpersoon konden niet verwerkt worden wegens het groot aantal storingen in de registratie. Het individuele maximum bedroeg 68 (s.d. 10.6) signalen per minuut (paced). De laagste waarde voor het maximum was 45, de hoogste 80. Elke proefpersoon werd dus belast met 5 fracties van dit individuele maximum. De gegevens zijn samengevat in tabel 9.

Dit experiment bevestigde de eerder gevonden resultaten. De relatieve verandering is voor de verschillende parameters niet gelijk. De polsfrequentie nam bij 100% belasting gemiddeld 7 sl/min toe of 8% van de rustwaarde. Voor de sinusaritmie geldt bij 100% belasting een gemiddelde afname van de index met 5, d.i. 29% van de rustwaarde, de bloeddruk nam toe met: systolisch 10 mm Hg of 8%, diastolisch 7 mm Hg of 7% van de rustwaarde.

(Opmerking: bij deze proef werd de sinusaritmie lineair geregistreerd, hierbij vinden wij een geringere onderdrukking. In een later hoofdstuk zal hier verder op ingegaan worden).

TABEL 9. Effect van mentaal belastende taken met belastingen, overeenkomende met 5 verschillende percentages van het individuele maximum, op polsfrequentie, sinusaritmie en systolische en diastolische bloeddruk. Gegeven zijn per conditie per parameter het gemiddelde van de waarden verkregen over de 3e, 4e en 5e minuut. Tussen haakjes de standaarddeviatie.

Conditie	Rust	Auditieve binaire-keuzetaak (percentage individueel maximum)				
		25%	40%	60%	80%	100%
Polsfrequentie (sl/m)	87 (12.3)	87 (12)	89 (12.9)	90 (9.3)	91 (12.4)	94 (13.8)
Sinusaritmie index	17 (5.7)	16 (5.5)	14 (4.5)	13 (4.5)	12 (5.6)	12 (6.3)
Systolische bloeddruk mm Hg	121 (11)	124 (12.8)	126 (11.7)	128 (16.6)	129 (11.2)	131 (13.3)
Diastolische bloeddruk mm Hg	93 (6.6)	95 (9.3)	97 (9.2)	94 (8.8)	98 (8.2)	100 (6.8)

n = 9

Significanties (toets van Friedman):

polsfrequentie : afwijkend van normaalverdeling ($\alpha < .025$), stijgend verloop

sinusaritmie : afwijkend van normaalverdeling ($\alpha < .025$), dalend verloop

syst. bloeddruk: afwijkend van normaalverdeling ($\alpha < .01$), stijgend verloop

diast. bloeddruk: afwijkend van normaalverdeling ($\alpha < .01$), stijgend verloop

Conclusie

Uit deze experimenten mag de volgende voorlopige conclusie worden getrokken: onder invloed van mentale belasting treedt een geringe stijging van systolische en diastolische bloeddruk op. De rustwaarden bij deze experimenten gevonden kunnen als laag normaal beschouwd worden (NIEUWMEIJER 1951). Een fysieke belasting, althans van de beenspieren bij zittende houding, zoals tijdens deze proef, zal een daling van de diastolische bloeddruk veroorzaken (BURGER c.s. 1961), zodat de hier gevonden toename van de diastolische bloeddruk, hoe gering ook, zeker niet verklaard kan worden uit het aandeel van de geringe fysieke belasting bij deze proeven.

HOOFDSTUK VII - ADEMHALING EN MENTALE BELASTING

Regulatie van de ademhaling

De volumeveranderingen van de long tijdens de in- en uitademing komen tot stand door de volumeveranderingen van de thorax. De inademingsspieren, zoals intercostaalspieren en diaphragma, zorgen voor een actieve volumetoename tijdens de inspiratie, de expiratie verloopt meer passief door het samenvallen van de thorax, bij groot ademvolume eventueel ondersteund door de uitademingsspieren. De ademhaling wordt gereguleerd vanuit het ademcentrum in de medulla oblongata. Men onderscheidt in het ademcentrum wel een inspiratie- en een expiratiecentrum, die elkaar beïnvloeden. Beide centra zouden dan weer onder invloed staan van een in de pons gelegen pneumotaxisch centrum (LOVATT EVANS 1965, CUNNINGHAM c.s. 1963). In het longoppervlak zijn rek-gevoelige receptoren, die via de vagus vooral het expiratiecentrum zouden stimuleren. Men kan het mechanisme ademcentrum – efferente banen – inademingsspieren – long – receptoren – vagus – ademcentrum opvatten als een regelmechanisme. Dit mechanisme is in de literatuur bekend als reflex van Hering en Breuer en wordt gezien als beginnend met prikkeling van de receptoren in het longoppervlak.

In tegenstelling met de hartwerking komt bij inspanning de daarbij optredende toename van de ademfrequentie en ademvolume humoraal tot stand, namelijk door verandering van de P_{CO_2} van het bloed dat het ademcentrum bereikt.

Eveneens in tegenstelling met de hartwerking is er een duidelijke corticale invloed aanwijsbaar. Willekeurig kan men gedurende korte tijd de ademhaling stoppen of van aspect doen veranderen. Verder kan onder invloed van een emotioneel gekleurde psychische storing versnelling van de ademhaling optreden (hyperventilatie-syndroom). Ook indien de aandacht gericht wordt op de eigen ademhaling kan het adempatroon veranderen.

Methodiek

Voor registratie van de ademhaling werd gebruik gemaakt van een continue registratie met behulp van een eenvoudige spirograaf met CO_2 -bindend medium. Bij de eerste serie proeven werd een in het laboratorium vervaardigd apparaat gebruikt, gecombineerd met een masker. Hierbij trad echter enkele malen lekkage op, zodat wel de ademfrequentie en de regelmatigheid van het adempatroon, maar niet het ademvolume beoordeeld konden worden. Dit te meer niet, daar vooral tijdens taakuitvoering lekkage bleek op te treden.

In een tweede serie proeven werd daarom gebruik gemaakt van een andere spirograaf (Simpligraaf, Medisch-Technische Industrie N.V. te Haarlem), gecombineerd met mondstuk en neusklem. Dit laatste apparaat was op ons verzoek bovendien voorzien van een waterkoeling.

Met de spirograaf is het mogelijk een groot aantal parameters van de respiratie en ook het zuurstofverbruik te meten. Vooral de toepassing met mondstuk wordt door vele proefpersonen als hinderlijk ervaren. Bij uitvoering van een taak hebben sommige proefpersonen subjectief minder hinder dan in rust, doordat de aandacht afgeleid wordt van de proefsituatie naar de taak. Bij beoordeling van de resultaten van dit oriënterend onderzoek dient hier rekening mee te worden gehouden.

Bewerking van de gegevens

Het spirogram werd per minuut bekeken. Bepaald werden aantal in- respectievelijk uitademingen (ademfrequentie) en gemiddeld ademvolume. Uit de helling van de curve werd het O_2 -verbruik berekend. De zo gevonden waarden werden omgerekend, voor het ademvolume op lichaamstemperatuur en druk, gesatureerd (BTPS – body temperature and pressure, saturated); voor het zuurstofverbruik op 0° en 760 mm Hg, droog (STPD – standard temperature and pressure, dry). Hierbij werd gebruik gemaakt van normbladen die door een commissie van de Europese Gemeenschap voor Kolen en Staal zijn samengesteld (EGKS, 1961). Uit deze waarden werden vervolgens berekend het ademinuutvolume (A.M.V.), namelijk ademvolume $\times$ frequentie en het ademaequivalent voor zuurstof (A.M.V./zuurstofopname).

Geïnspireerd op de sinusaritmie werd ook het patroon van de ademhaling naar regelmatigheid geanalyseerd. De scoringsmethode

die werd toegepast wordt gedemonstreerd in figuur 7. Op het oog wordt een lijn getrokken die de meeste ondertoppen van het spirogram verbindt; dit gebeurt eveneens voor de boventoppen. De afstand tussen deze twee lijnen vertegenwoordigt het gemiddelde volume van de ademhaling. De overschrijdingen van deze lijnen evenals het niet bereiken van deze lijnen (beide behoudens een tolerantie van 5%) worden per minuut samengeteld en gedeeld door de frequentie. De gevonden waarde vormt de onregelmatigheidsscore (maximaal 2).

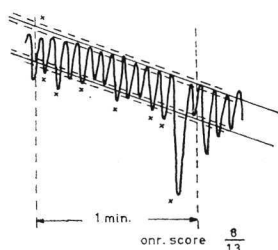


FIG. 7. Methode voor de bepaling van een onregelmatigheidsscore voor de ademhaling (tolerantie 5% van gemiddelde amplitude).

De zo gevonden minuutwaarden werden evenals bij de hiervoor beschreven experimenten per conditie per proefpersoon gemiddeld. Deze laatste getallen werden omgerekend als percentage van de rustwaarde verder gebruikt voor berekening van de resultaten. Van het tijdens de tweede serie proeven tevens geregistreerde cardiogram werden op overeenkomstige wijze polsfrequentie en sinusaritmie-index als percentage van de rustwaarde berekend.

De mentale belasting

Voor beide proefseries werd als uitwendige belasting een auditieve binaire-keuzetaak (tonen-pedalen) gegeven, weer twee condities van respectievelijk 60% en 80% van het individuele maximum in wisselende volgorde. Tussen beide condities van elk 3 minuten en eveneens voorafgaande aan beide condities was een conditie van 3 minuten rust. Gedurende de 12 minuten dat de proef duurde werd het spirogram geregistreerd.

Resultaten

Aan de eerste proefserie namen 15 proefpersonen deel, waarvan 7 de proef twee keer deden. De in totaal 22 registraties werden voor de berekeningen samengevoegd. De resultaten zijn verwerkt in tabel 10.

TABEL 10. Effect op ademfrequentie en -patroon van mentale taken (binaire keuzetaken, tonen-pedalen). De gegeven getallen zijn gemiddelden van de per conditie per proefpersoon gevonden waarden als percentage van de rustwaarden. Tussen haakjes de standaarddeviatie.

Conditie	Tonen-pedalen taak	
	60% indiv. max.	80% indiv. max.
Ademfrequentie	111 (27.9)	125 (28.3)
Onregelmatigh. score	50 (20)	49 (30)

n = 22

Significanties (rangtekentoets dubbelz.)

alle waarden verschillen van rust ($\alpha < .01$)

ademfr. bij 80% indiv. max. verschilt van die bij 60% indiv. max. ($\alpha < .02$)

De resultaten wijzen op een toenemende ademfrequentie bij toenemende mentale belasting, terwijl het adempatroon tijdens taakuitvoering wel regelmatig wordt, maar de regelmatigheid niet aantoonbaar toeneemt bij verzwaring van de belasting. De rustwaarden waren voor de ademfrequentie gemiddeld 14.5 per minuut (s.d.: 2.5), voor de onregelmatigheidsindex gemiddeld 0.69 (s.d. 0.20).

Aan de tweede proefserie namen 7 proefpersonen twee maal deel. Alleen de gegevens van de tweede proef werden bewerkt. Eén proefpersoon werd tijdens de eerste proef wat suf door hyperventilatie, dit onderzoek werd onderbroken en niet herhaald; een tweede proefpersoon verscheen niet voor het herhalingsonderzoek. Bij deze groep van 7 proefpersonen zijn dus niet alleen ademfrequentie en onregelmatigheid bewerkt, maar ook ademvolume, O_2 -opname en de afgeleide parameters, evenals polsfrequentie en sinusaritmie. De resultaten zijn samengevat in tabel 11.

Ook hier zien wij dus wat betreft polsfrequentie, sinusaritmie, ademfrequentie en onregelmatigheidsscore een bevestiging van de eerder gevonden resultaten. Geen verandering kon worden gevonden van ademvolume en van de zuurstofopname. Voor de zuurstofopname is dit niet te verwonderen. Indien er al een geringe toename van het O_2 -verbruik zou zijn, dan valt dit toch binnen de 10% die men moet aanhouden voor onnauwkeurigheid in de bepalmingsmethode. De veranderingen in ademminuutvolume en ademaequivalent voor zuurstof komen voor rekening van de toegenomen ademfrequentie.

TABEL 11. Effect van een binaire-keuzetaak (tonen-pedalen) met een gedwongen tempo van respectievelijk 60% en 80% van het individuele maximum op polsfrequentie, sinusaritmie en de met behulp van een spirograaf verkregen respiratoire parameters.

Gegeven zijn de per conditie (3 min.) gemiddelde waarden, uitgedrukt als percentage van de rustwaarden. Tussen haakjes de standaarddeviatie.

Conditie	60% indiv. max. I	80% indiv. max. II	Significanties: (rangtekentoets, dubbelz.)
Polsfrequentie	103 (1.7)	105 (4.6)	I > R ($\alpha < .05$) II > R ($\alpha < .10$)
Sinusaritmie	67 (20.9)	45 (24.6)	I en II < R ($\alpha < .02$) II < I ($\alpha < .10$)
Ademvolume	93 (11)	94 (8)	n.s.
Ademfrequentie	132 (23.3)	142 (31.7)	I en II > R ($\alpha < .02$)
A.M.V.	128 (18.2)	137 (29.8)	I en II > R ($\alpha < .02$)
O ₂ -opname	108 (14)	113 (20.2)	n.s.
Ademaequivalent voor zuurstof	137 (44)	143 (48)	I > R ($\alpha < .05$) II > R ($\alpha < .02$)
Irregulariteits score	44 (19.8)	35 (24.3)	I en II < R ($\alpha < .02$)

n = 7

Rustwaarden (absol.) pf: 88 sl/min (13.5); s.a.: 14 (13.3); ad. vol.: 680 cc (140); ademfr.: 13 /min (3.5); A.M.V.: 8000 cc (1000); O₂-opn.: 267 cc/min (32); ademaeq.: 28 (5.7); irr. score: .59 (.09).

Conclusie

De spirograaf maakt het mogelijk tegelijkertijd vele respiratoire parameters met één apparaat te registreren. Vooral bij proeven met mentale belasting is de subjectieve hinder voor de proefpersoon een storende factor bij het beoordelen van de resultaten. Als meest bruikbare parameter voor de mentale belasting kan gelden de ademfrequentie, de onderdrukking van de onregelmatigheid in het adempatroon wordt namelijk niet duidelijk groter bij toename van de mentale belasting.

Wegens de bezwaren aan het gebruik van de spirograaf zijn deze proeven later niet meer op deze manier herhaald. Voor registratie van de ademfrequentie is naar een andere methodiek omgezien.

HOOFDSTUK VIII - ENKELE AANVULLENDE EXPERIMENTEN

Toelichting

Tijdens het onderzoek werden verschillende malen verschijnselen gevonden die een interessant uitgangspunt leken voor verder onderzoek, maar betrekking hadden op problemen die niet direct vallen onder het begrip mentale belasting. Anderzijds kwamen er vragen op, die betrekking hadden op bepaalde details. Hieronder behoren vragen die van belang zijn voor het verfijnen van het denkmodel, maar ook vragen die van fysiologisch belang zijn. De verleiding is groot om bij dit soort vragen te lang stil te staan en af te dwalen van de hoofdvraag. Bij het onderzoek is er naar gestreefd op enkele van deze vragen wel in te gaan, maar meer om aan de hand van een beperkt onderzoek het belang van verder onderzoek op latere datum of door anderen vast te leggen. Enkele van dit soort onderzoekingen, vooral die betrekking hebben op het fysiologische aspect, zullen hier gereleveerd worden.

Taken voor mentale belasting

Zoals reeds eerder betoogd werd bezitten we in de binaire-keuze-generator een apparaat, waarmee het mogelijk is een gedoseerde mentale belasting te geven. Andere taken zijn moeilijker te kwantificeren naar aantal verwerkte signalen per minuut. Een wel kwantificeerbare taak lijkt het opgeven van eenvoudige sommetjes. Dit is echter in feite een taak in vrij tempo, door het treuzelen met het antwoord en het geven van een nieuwe opgave worden kortdurende rustperiodes ingevoerd. Bij een groep van 24 proefpersonen bleken tijdens een drie minuten durende taak van eenvoudige optelsommetjes zowel de polsfrequentie als de sinusaritmie met respectievelijk gemiddeld 13% en 6% te stijgen ($\alpha < .01$ resp. $\alpha < .05$, rangteken-toets) in vergelijking met de voorafgaande rustwaarde. Niet één van de proefpersonen maakte echter meer dan 30 sommetjes per minuut, dit betekent 30 overschakelingen van input (van aangeboden informatie) naar output (van antwoorden).

Rutenfranz werkte met een apparaat, een trommel met rekenopgaven, die het mogelijk maakte zowel te variëren naar aantal als naar gecompliceerdheid van de rekenopgaven (RUTENFRANZ 1960). Een dergelijke aanpak lijkt meer te beloven. In het huidige stadium echter geven wij liever de voorkeur aan een meer simpele taak, die theoretisch, gezien in het kader van de informatieverwerking, beter te duiden is.

Duurproeven

Voor het arbeidsfysiologisch onderzoek is uiteindelijk de vraag naar het verband tussen fysiologische verschijnselen en de toelaatbaarheid van een bepaalde belasting voor de gehele werkdag van eminent belang. De meeste vermelde resultaten komen van in dit licht gezien slechts kortdurende proeven, al berusten vele vanuit de psychofysiologie komende gegevens veelal op proeven van nog kortere duur. Een beperkt onderzoek met 6 proefpersonen is daarom gedaan met een belasting van 18 à 22 signalen per minuut ($1/3$ van het maximum) (tonen-pedalen) gedurende een proefperiode van vier uren achtereen. De proefpersonen mochten zelf het tijdstip en de duur van de rust kiezen. Tegen de verwachting in waren de rusten nooit meer dan één maal 5 minuten per uur, terwijl sommige proefpersonen helemaal geen rust invoegden. De relatieve waarden van

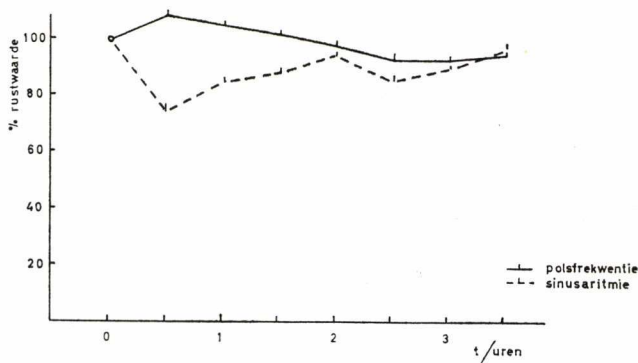


FIG. 8. Gemiddeld verloop van polsfrequentie en sinusaritmie bij 6 proefpersonen, die gedurende 4 uren een binaire-keuzetaak (tonen-pedalen) verrichtten met een mentale belasting van $1/3$ van het individuele maximum. De waarden zijn per half uur gemiddeld en uitgedrukt als percentage van de rustwaarde.

polsfrequentie en sinusaritmie ten opzichte van de rustwaarde werden per half uur gemiddeld over de hele groep en zijn weergegeven in figuur 8. Tijdens het eerste uur probeerden de proefpersonen nog wat te lezen, zij waren hierin vrij gelaten. Later beperkten zij zich tot de taak, omdat ze – zoals zij zeiden – zich toch niet konden concentreren in de momenten dat de taak (1 signaal per drie sec.) hen vrij liet. Zoals uit figuur 8 blijkt wijken de gemiddelde waarden voor polsfrequentie en sinusaritmie, behalve het eerste uur, nauwelijks af van de rustwaarden.

Van een drietal proefpersonen werd tijdens rust en enkele minuten voor het eind tevens de bloeddruk bepaald. De gevonden waarden waren respectievelijk: 120/85 en 135/95 mm Hg, 145/85 en 150/105 mm Hg en voor de derde proefpersoon 135/75 en 140/90 mm Hg, dus bij alle drie een geringe toename zowel van de systolische als de diastolische bloeddruk. Bij geen van de proefpersonen nam de prestatie in de loop van de proef af, terwijl ook na afloop van de proef geen gedragsafwijkingen konden worden geconstateerd.

Een van deze proefpersonen deed op eigen initiatief – onder voortdurende controle – gedurende vier uur een proef met 60 sign/min (tonen-pedalen). Na elk uur werd de proef gedurende 5 minuten onderbroken, na het derde uur zelfs 15 minuten. Het foutenpercentage liep tijdens de proef iets op van 1% gedurende het eerste uur tot 3% gedurende het vierde uur. De gemiddelde rustwaarden waren: polsfrequentie: 82 sl/min, sinusaritmiescore 7.3, bloeddruk 120/80 mm Hg. De polsfrequentie vertoonde het volgende verloop: 1e uur: 87 sl/min; 2e uur: 80 sl/min; 3e uur: 78 sl/min en 4e uur: 78 sl/min, de polsfrequentie nam dus geleidelijk af. De sinusaritmiescores waren gemiddeld per uur: respectievelijk 5.3, 6.3, 6.2 en 4.7, terwijl de bloeddruk enkele minuten voor de 1e rust 140/80 mm Hg, voor de 2e rust 140/100 mm Hg en enkele minuten voor het eind van de proef 150/90 mm Hg bedroeg. Als effect van de langdurige zware belasting zagen we dus: een toename van het aantal fouten, een geleidelijk iets toenemende onderdrukking van de sinusaritmie en een toename van de bloeddruk, terwijl de polsfrequentie in tegenstelling daarmee geleidelijk iets afnam. Na afloop van de proef was de proefpersoon nog enige minuten licht gedesoriënteerd, kon wel een verstandig gesprek voeren, maar wat haperend en liep tegen een dichte deur. Deze duurproeven, afhankelijk van de inzet van de proefpersoon, zijn in deze vorm niet herhaald.

Maximum vrij en gedwongen tempo

In aansluiting aan het in hoofdstuk v beschreven onderzoek naar de invloed van de mate van incompatibiliteit in de samenhang tussen stimulus-sigitaal en stimulus-response op het bereikte maximum, werd een klein onderzoek ingesteld met 6 proefpersonen naar het verschil tussen vrij tempo en gedwongen tempo. Als regel zal het maximum bij gedwongen tempo lager liggen, doordat de rustperiodes na kortdurende, snelle reacties tot het aanbieden van het volgende signaal niet benut worden. De taak was een binaire-keuzetaak (tonen-toetsen incompatibel), zoals eerder beschreven. Capaciteit, bloeddruk, polsfrequentie en sinusaritmie zijn weer berekend per conditie (van 3 minuten) en de fysiologische gegevens zijn vervolgens weergegeven als percentage van de rustwaarde. Per conditie zijn de gegevens gemiddeld. De zo verkregen resultaten zijn weergegeven in tabel 12.

TABEL 12. Capaciteit van het centraal kanaal, gemeten naar het maximum aantal binaire-keuzen per minuut bij een vrij en een gedwongen tempo in een binaire-keuzetaak (tonen-toetsen incomp.); en het effect van deze taken op polsfrequentie, sinusaritmie en bloeddruk. Duur per conditie: 3 min. Gegeven zijn de per conditie gemiddelde waarden voor de capaciteit per minuut, voor polsfrequentie, sinusaritmie en bloeddruk als percentage van de rustwaarden. Tussen haakjes de standaarddeviatie.

Conditie	Vrij tempo	Gedwongen tempo
Capaciteit (sl/min)	72 (9.1)	63 (9.1)
Polsfrequentie	103 (3.7)	106 (7.8)
Sinusaritmie	55 (3.5)	60 (2.6)
Syst. bloeddruk	107 (4.1)	107 (2.1)
Diast. bloeddruk	107 (2.4)	109 (4.7)

n = 6

Significanties (rangtekentoets, dubbelz.): t.o.v. rust: s.a. kleiner, syst. en diast. bl. dr. groter ($\alpha < .05$); vrij tempo t.o.v. gedwongen tempo: capaciteit groter ($\alpha < .05$); rustwaarden vrij en gedwongen tempo respectievelijk: pf.: 88 (14.8) en 85 (8.4) sl/min; s.a.: 9.1 (6.3) en 9 (6.1); syst. bl. dr.: 127 (8.2) en 126 (8.6) mm Hg; diast. bl.dr.: 79 (7.5) en 83 (5.3) mm Hg.

Bij deze kleine groep vinden we dus wel een verschil in capaciteit van gemiddeld 9 sign/min, echter geen aantoonbaar verschil van de fysiologische reacties bij vrij en gedwongen tempo.

Subjectieve invloed van de proefsituatie

De proefsituatie kan voor sommige proefpersonen subjectief een bepaalde belasting betekenen. Dit zal vooral bij de eerste keer dat een proefpersoon in een dergelijke situatie verkeert tot uiting kunnen komen. Door de proefpersoon steeds met zich zelf te vergelijken tijdens een zelfde proef is getracht een eventuele invloed zoveel mogelijk te verkleinen. Om na te gaan of in een groep proefpersonen deze factor storend zou werken op de fysiologische reacties, zodanig, dat de invloed van een mentale belasting door een taak niet tot uiting zou komen, zijn van een 17-tal proefpersonen enkele gegevens van de eerste proefzitting vergeleken met die van de tweede proefzitting. Dit betrof de rustwaarden en de waarden tijdens een binaire-keuzetaak (tonen-pedalen) van 60% individueel maximum. De resultaten zijn samengevat in tabel 13.

TABEL 13. Effect van proefzitting op polsfrequentie en sinusaritmie tijdens rust en tijdens een binaire-keuzetaak (tonen-pedalen, 60% individueel maximum). Duur per conditie: 3 minuten. Gegeven zijn per conditie de gemiddelde waarden. Tussen haakjes de standaarddeviatie.

Conditie	rust		tonen-pedalen	
	1e	2e	1e	2e
proefzitting				
polsfrequentie	79 (11.2)	78 (8.7)	85 (12.3)	81 (11.3)
sinusaritmie	12 (9.6)	12 (8.7)	7 (5.5)	7 (5.4)

n = 17

Significanties (rangtekentoets, dubbelz.) proefzittingeffect: pf tijdens taak 1e zitting > 2e zitting ($\alpha < .05$) effect ment. belast.: pf taak > pf rust ($\alpha < .05$); sa taak < sa rust ($\alpha < .01$).

Het enig aantoonbaar effect is dus de geringere toename van de gemiddelde polsfrequentie onder invloed van de taak tijdens de tweede proefzitting. De tendens tot toename van de polsfrequentie en tot afname van de sinusaritmie is echter reeds tijdens een eerste proefzitting duidelijk aantoonbaar.

Aan de interindividuele verschillen zal in een afzonderlijk hoofdstuk nog aandacht worden geschonken.

Invloed van lawaai en licht op polsfrequentie en sinusaritmie

In een proefserie met 12 proefpersonen werd de invloed van lawaai op het hartritme nagegaan. In een pilot-onderzoek bleek een witte

ruis niet zo'n duidelijke invloed te hebben als geregistreerd fabrieks-lawaai. Daarom werd de proefserie gedaan met een op de band opgenomen lawaai uit een ponserij, dat gereproduceerd werd met een sterkte van 80 dB en 90 dB. De mate van onverwachtheid van de veranderingen in de geluidssterkte is groot: het is lawaai waarin veel 'gebeurt'. In informatie-theoretische zin is de informatiewaarde dus groter dan die van een witte ruis. De condities in vaste volgorde waren 3 minuten rust, 3 minuten rust met lawaai van 80 dB en idem met 90 dB. De resultaten zijn samengevat in tabel 14.

TABEL 14. Invloed van industrieel lawaai van 80 en 90 dB op polsfrequentie en sinusaritmie. Gegeven zijn per conditie de gemiddelden van de percentages van de rustwaarden. Tussen haakjes de standaarddeviatie.

Conditie	rust	industrieel lawaai	
	R	80 dB I	90 dB II
polsfrequentie	100	99 (2.2)	98 (4)
sinusaritmie	100	58 (25.1)	43 (18.4)

n = 12

Significanties (rangtekentoets, dubbelz.) sinusaritmie: $II < I < \text{rust}$ ($\alpha < .01$).

Dit soort lawaai heeft dus een invloed op de sinusaritmie overeenkomende met die van een tamelijk inspannende mentale taak. Tevens blijkt, dat de sinusaritmie differentieert tussen industrieel lawaai van 80 en 90dB. Deze bevinding kan gezien worden als een aanvulling op de bevindingen van Jansen en anderen, die bij lawaai, ook van geringere intensiteit verschillende vegetatieve reacties vonden. (JANSEN c.s. 1962, COPPÉE 1961). Het zal dus zeker interessant zijn, dit gegeven in een nader onderzoek verder uit te werken.

Een groep van 16 proefpersonen nam deel aan een proef om de invloed van licht na te gaan. Hierbij werden condities van steeds 3 minuten rust met gesloten ogen vergeleken met rust met open ogen bij een verlichtingssterkte van 150 lux en een zelfde conditie bij een verlichtingssterkte van 3500 lux (weer in vaste opeenvolging van geen tot hoge verlichting). De resultaten zijn samengevat in tabel 15.

TABEL 15. Invloed van licht op polsfrequentie en sinusaritmie. Gegeven zijn per conditie de gemiddelden van de percentages van de waarden tijdens rust met gesloten ogen. (Tussen haakjes de s.d.).

Conditie	gesloten ogen I	open ogen	
		150 lux II	3500 lux III
polsfrequentie	100	99 (1.7)	99 (2.9)
sinusaritmie	100	80 (30.4)	77 (28.5)

n = 16

Significanties (rangtekentoets, dubbelz.) sinusaritmie: II en III < I ($\alpha < .01$).

Een klein verschil werd gevonden tussen de waarde van rust met gesloten ogen en van rust met open ogen. Verschil van lichtsterkte bleek niet te differentiëren. Het is trouwens niet zeker, dat het kleine verschil tussen ogen open en dicht te wijten is aan de invloed van licht. Wanneer men de ogen opent neemt daarmee in een normale omgeving vanzelf de spontane informatie-opname toe.

Conclusie

De hier behandelde experimenten ondersteunen de opvatting dat toename van de informatieverwerking per tijdseenheid leidt tot onderdrukking van de sinusaritmie en toename van polsfrequentie en systolische en diastolische bloeddruk. Dit kan men vinden zowel bij kortdurende als bij langdurende proeven, in subjectief gezien minder goede proefsituaties en ook indien de nadruk valt op het verhoogde aanbod van informatie (lawaai – licht). De toename van de polsfrequentie wordt echter alleen gevonden bij die vormen van mentale belasting, waarbij er sprake is van een zij het geringe produktie van mechanische energie (motorische activiteit).

Van de gegevens die gevonden worden wanneer de proefpersoon onder invloed staat van lawaai en licht, is hier een interpretatie gegeven vanuit de specifieke bijdrage tot informatieverwerking. Elders ziet men hierin echter een aspecifieke bijdrage tot het arousal-niveau. Vanuit deze gezichtshoek bezien zou de onderdrukking van de sinusaritmie teken zijn van een verhoogde arousal, die voorwaarde is voor verhoging van de corticale activiteit. Dit verschil in

benadering moet nader onderzocht worden. Voor onze vraagstelling is zij echter niet van urgent belang.

In het hoofdstuk over de sinusaritmie zal ook aandacht geschonken worden aan het samengaan van mentale en fysieke belasting en de daarbij optredende fysiologische verschijnselen.

HOOFDSTUK IX - SINUSARITMIE

De betekenis voor het onderzoek

Er wordt in de fysiologische handboeken weinig aandacht geschonken aan de sinusaritmie. Door het onderzoek naar mentale belasting is echter naar voren gekomen, dat een juiste interpretatie van de gevonden gegevens niet mogelijk is zonder een beter begrip van de sinusaritmie. Ook gezien vanuit de regelmechanica is het probleem zeer interessant en waard, om verder onderzocht te worden. Vooral het onderzoek naar veranderingen van de sinusaritmie onder invloed van allerlei uitwendige factoren en de samenhang van deze veranderingen met andere fysiologische verschijnselen belooft een beter inzicht in de fysiologische betekenis van circulatoire en respiratoire mechanismen. Aan de hand van een bespreking van de literatuur over dit onderwerp en enig eigen onderzoek zal getracht worden een bijdrage te leveren tot beter begrip. Van daaruit lijkt het mogelijk te komen tot verdere vraagstellingen en meer gericht onderzoek.

Regulering van het hartritme

De herhaalde stimulus die het hart tot contractie doet overgaan vindt zijn oorsprong in de sinauriculaire knoop. Deze fungeert als autonome pacemaker met een eigen ritme. In fysiologische omstandigheden wordt dit ritme echter door allerlei factoren van buiten het hart via neurogene en humonale geleiding beïnvloed. Van belang is hierbij vooral de centraal autonome tonus (SCHAEFER 1962), het evenwicht vagus-sympathicus. Naast centraal werkzame metabole invloeden (CO_2) is er een zeer ingewikkelde koppeling tussen bloeddruk, baroreceptoren en vasomotoren. Verder kunnen allerlei processen, zoals druk op de ogen (oculo-cardiale reflex), misselijkheid, etc. via neurogene prikkeloverdracht het hartritme beïnvloeden. (RUSHMER 1961). Ook lichamelijke inspanning, koorts, etc. doen de polsfrequentie veranderen. Vele van deze processen veroorzaken verandering in het hartritme door verandering van het evenwicht

vagus-sympathicus, waarbij het vasomotorencentrum als regulator optreedt.

Het cardiogram als registratie van het vagus-sympathicus evenwicht

De slagtijd van een bepaalde hartslag wordt mede bepaald door het op dat moment bestaande evenwicht tussen sympathicus en vagus. De vagus heeft namelijk een remmende invloed, de sympathicus een activerende invloed op de sinauriculaire knoop.

De tonus van de vagus en van de sympathicus wordt gegeven door het aantal actiepotentialen per tijdseenheid dat via deze zenuwen het hart bereikt. Deze voortgeleiding is dus discontinu (digitaal), het effect is continu (analoog). Het electrocardiogram, dat uitgangspunt is voor de cardiogrammeter, bestaat uit afzonderlijk voortgeleide (digitale) potentiaalwisselingen. De tijd tussen deze laatste, en met name tussen de R-toppen, wordt vervolgens omgezet in een analoog geschreven cardiogram. De slagtijden geven discontinu (digitaal) de wisselende invloed van het sympathicus-vagus evenwicht weer. Uit deze slagtijden stelt dan de cardiogrammeter weer een continu signaal samen, waarvan men mag zeggen, dat dit – zij het misschien gebrekkig – het sympathicus-vagus evenwicht weer spiegelt. Aan de hand van het cardiogram is het mogelijk uitspraken te doen over de invloed van het autonome zenuwstelsel op de hartwerking; over de werking van het hart zelf echter veel minder; deze informatie, die wel in het E.C.G. aanwezig is, is dus verloren gegaan.

Hartritme in rust

Bij bestudering van het hartritme van een proefpersoon in rust blijkt dat de slagtijd van slag tot slag wisselt. Zet men deze slagtijden nu uit tegen de tijd (bijvoorbeeld met de cardiogrammeter, waarbij de slagtijden worden uitgedrukt in sl/min) dan verkrijgt men een zeer onregelmatige curve (zie figuur 5, pag 44). Deze onregelmatigheid van het hartritme wordt sinusaritmie genoemd om onderscheid te maken met de (pathologische) aritmieën ontstaan door prikkelvorming elders in de hartspier en dus niet in de sinauriculaire knoop.

De sinusaritmie is geen onregelmatigheid volgens toeval en is dus niet op te vatten als een 'ruis'. Als eenvoudig bewijs kan de volgende bewerking dienst doen. In een puntendiagram kan men elke slagtijd

uitzetten tegen de slagtijd van de daaropvolgende. Langs de ordinaat staat dus de T_n (slagtijd van slag n), langs de abscis de T_{n+1} . Men krijgt, indien men uitgaat van de slagtijden van een proefpersoon in rust, geen ronde puntenwolk. De puntenwolk is langgerekt met als de diagonaal door het kruispunt van ordinaat en abscis. De as komt overeen met de functie: $T_n = T_{n+1}$. Punten op deze diagonaal betekenen, dat een slagtijd even lang is als de slagtijd van de eerstvolgende slag. De veranderingen tussen twee opeenvolgende slagen zijn dus gering vergeleken met de grootst mogelijke verschillen in slagtijd tussen twee willekeurige slagen (amplitude). Deze bevinding wijst op een zekere systematiek.

DISTEL en ELIOT (1961) geven een viertal patronen aan, namelijk van een zeer langzame verandering van het hartritme met kleine amplitude tot een snelle verandering met grote amplitude (dit is groot verschil in slagtijd tussen snelste en langzaamste hartslag). Dit laatste patroon, het meest opvallende, heeft een frequentie, die in de buurt ligt van die van een ander cyclisch, fysiologisch gebeuren, namelijk van de respiratie (respiratoire aritmie). Reeds vroeg is er verband gelegd tussen respiratie en sinusaritmie, maar dit verband is ook lang betwijfeld (o.a. door WIERSMA 1911).

De respiratoire aritmie

De eerste overtuigende bewijzen van het bestaan van een nauwe relatie tussen ademhaling en sinusaritmie werden geleverd door Anrep en medewerkers in een serie klassiek geworden proeven met honden (ANREP c.s. 1936). Zij deden onderzoek bij genarcotiseerde honden bij open thorax. De spontane adembewegingen werden vervangen door insufflatie van de longen, de activiteit van het ademcentrum werd onderdrukt door het hoofd te doorstromen met bloed met een laag CO_2 -gehalte. De activiteit van het ademcentrum werd gecontroleerd door meting van de activiteit van de nervus phrenicus. Ook de bloeddruk kon gereguleerd worden en daardoor de tonus van de cardiale vagus (via baroreceptoren en vasomotorencentrum). Zij kwamen tot enkele belangrijke resultaten:

1. insufflatie van de long veroorzaakt een versnelling van de hartactie, die wegvalt bij de expiratie. Deze versnelling komt tot stand, doordat bepaalde receptoren, die voor rek gevoelig zijn en gelegen zijn in het longoppervlak, geprikkeld worden. Van hier uit wordt de prikkel voortgeleid via de vagus en vaguskern naar het ademcentrum. In de vaguskern komt een remming tot

stand van de efferente vagustakken, die het hart beïnvloeden. Bij inspiratie ontstaat zo een remming van de cardiale vagus en dus een vermindering van de remming van de sinauriculaire knoop. Het gevolg is hartversnelling. Tijdens de expiratie valt deze (perifere) invloed weg.

2. ook vanuit het ademcentrum is er een beïnvloeding van de hartactie via de vagus, bij inspiratie geleidelijke toeneming van de hartfrequentie, bij expiratie abrupte verlangzaming (centrale invloed).
3. de mate van versnelling van de hartactie is niet alleen afhankelijk van de diepte van de insufflatie (inspiratie), maar ook van de tonus van de vagus. Bij gelijkblijvend ademvolume zal de versnelling van de hartactie het grootst zijn indien de tonus van de vagus niet te groot is; zowel bij geringe tonus als bij zeer grote zal de versnelling van de hartactie minder zijn of zelfs geheel kunnen uitblijven (fig. 9).

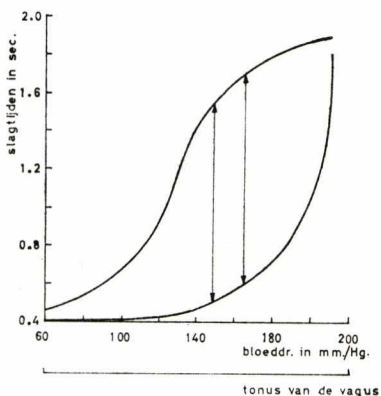


FIG. 9.

Afhankelijkheid van de respiratoire aritmie van de tonus van de vagus. Bovenste curve: slagtijden tijdens expiratie, onderste curve: slagtijden tijdens inspiratie. Abscis: gemiddelde arteriële bloeddruk in mm Hg als maat voor de tonus van de vagus. (Bewerkt naar gegevens van ANREP c.s. 1936).

Bij toepassing van de door Anrep c.s. gevonden resultaten in normale fysiologische omstandigheden kan men verwachten, dat de centrale en perifere respiratoire invloeden op de hartactie synchroon zullen zijn en elkaar zullen versterken. De bestudering van het fenomeen respiratoire aritmie in fysiologische omstandigheden is door deze perifere en centrale origine, en door de specifieke betekenis die de tonus van de vagus hierbij heeft, niet eenvoudig. In bijzondere omstandigheden kunnen zeer waarschijnlijk de autonome regulatie van het ademcentrum en de bewegingen van de long interfereren, bijvoorbeeld bij gedwongen ademtype. Mogelijk ligt hierin de oorzaak, dat MONOD en BOUISSET (1962) bij hoge ademfrequenties geen duidelijke sinusaritmie meer vonden.

Regelmechanica en respiratoire aritmie

Clynes heeft nieuwe wegen bewandeld bij het onderzoek naar het verband tussen ademhaling en sinusaritmie (CLYNES 1960). Als maat voor de ademhaling maakte hij gebruik van de wisselingen van de thoraxomtrek, die, omgezet in een elektronisch signaal, op de band werden opgenomen. Door met behulp van een computer dit signaal toe te voegen aan een bepaalde constante – elektronisch weergegeven – polsfrequentie en hierbij het respiratoire signaal via steeds nieuwe formules te vervormen, slaagde hij erin een gesimuleerd cardi tachogram te schrijven. Dit cardi tachogram bleek na al deze bewerkingen zeer goed overeen te komen met het originele cardi tachogram, dat gelijk met de respiratie geregistreerd was. Er blijkt een niet-lineair verband te bestaan tussen ademhaling en hartritme, van het type:

$$\frac{-kS^2}{(1 + T_1S)(1 + T_2S)} \text{ voor } \frac{d\gamma}{dt} > 0 \text{ en } 0 \text{ voor } \frac{d\gamma}{dt} < 0$$

waarbij:

S = Laplace operator

k = constante

T_1 = en T_2 = tijdconstanten

γ = output van de pacemaker, periodisch.

Het ligt buiten het bestek van ons onderwerp de gehele formule, die meer dan een bladzijde beslaat, hier te behandelen. Voldoende is, dat uit deze summiere weergave ook blijkt, dat er alleen een respiratoire invloed aanwezig is tijdens inspiratie ($d\gamma > 0$), tijdens exspiratie ontbreekt deze. Hiermee werd voor de regelmechanica aangetoond dat receptoren, alleen voor rek en niet voor verslapping gevoelig, in een fysiologisch mechanisme gevonden kunnen worden. Deze bevindingen bevestigen dus de resultaten van het onderzoek van Anrep c.s.

Lineaire vervorming

Naast een niet-lineaire vervorming in het verband tussen ademhaling en sinusaritmie (een $A \times$ groter ademvolume geeft geen $A \times$ grotere polsversnelling) is er ook sprake van een lineaire vervorming: amplitude (mate van polsversnelling) en fase (tijd tussen top inspiratie en top maximale versnelling, uitgedrukt in graden) staan onder invloed van de frequentie van de ademhaling.

Dit werd gevonden door Angelone en Coulter, die voortbouwden op het werk van Clynès (ANGELONE c.s. 1964). Zij streefden naar een instructie en proefopstelling, waarbij de willekeurige regulering van de ademhaling door de proefpersoon zo klein mogelijk werd gehouden, terwijl toch het ademvolume ongeveer constant bleef. Bij een ademfrequentie van 5 per minuut bleek de invloed op het hartritme zeer groot en bleken perioden van inspiratie en snelle hartactie vrijwel synchroon te lopen. Bij een ademfrequentie echter van bijvoorbeeld 30/min is er een faseverschuiving van 250° en een veel geringere invloed op het hartritme (fig. 10).

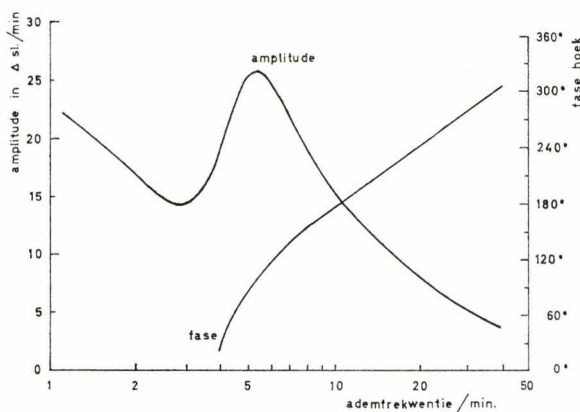


FIG. 10. Resultaten van een systematische studie van de reactie van de polsfrequentie op de frequentie van de ademhaling bij één individu. (Bewerkt naar gegevens van ANGELONE en COULTER 1964).

Eigen waarnemingen

Bij het later te beschrijven onderzoek (hoofdstuk XII) zijn ademcurve en sinusaritmie-curve van de proefpersonen synchroon geschreven. Dit materiaal is niet geschikt voor een exacte bewerking die een grotere nauwkeurigheid van met name de weergave van het ademvolume vereist. Zo'n bewerking is bovendien zeer tijdrovend. Wel laat dit materiaal een globale beoordeling toe. In dit materiaal kunnen we de lineaire vervorming terug vinden, dus bij hogere ademfrequentie een geringere polsversnelling en een grotere faseverschuiving. Het valt bij de hogere ademfrequenties op dat de excursies in het cardiogram niet meer 1 op 1 de ademexcursies volgen; een aantal ademexcursies leidt dan niet meer tot polsversnelling.

Dit verschijnsel vinden we ook vermeld bij PENAZ (1957) en bij MONOD en BOUISSET (1962). Ook de polsfrequentie zelf speelt bij de faseverschuiving waarschijnlijk een rol.

De rol van de vagus

Bij lichamelijke inspanning treedt niet alleen een versnelling van de ademhaling op, maar tevens een toename van het ademvolume. De optredende onderdrukking van de sinusaritmie bij lichamelijke inspanning kan niet zonder meer verklaard worden vanuit de ademhaling, de toegenomen ademfrequentie leidt weliswaar tot een onderdrukking van de sinusaritmie, het toegenomen ademvolume daarentegen doet de sinusaritmie weer groter worden. Men neemt echter algemeen aan, dat bij lichamelijke inspanning de tonus van de sympathicus toeneemt en – wat hier belangrijk is – tegelijk de tonus van de vagus afneemt. Door deze vermindering van de tonus van de vagus kan dus, op grond van de bevindingen van Anrep c.s., de onderdrukking van de sinusaritmie bij lichamelijke inspanning volledig worden verklaard.

Hoe zit dit nu bij de mentale belasting? WIERSMA (1911) wees er reeds op, dat de veranderingen van de sinusaritmie bij verandering van wat hij noemde 'bewustzijnstoestanden' niet geheel te verklaren waren uit de veranderingen van de ademhaling, en met name niet uit die van de ademfrequentie. Het boven geschetste ingewikkelde verband tussen ademhaling en sinusaritmie maakt een duidelijke beantwoording niet gemakkelijk. Speelt bij mentale belasting behalve de zeker optredende veranderingen van de ademhaling tevens een verandering van de tonus van de vagus een rol? Bovendien moet men zich afvragen, of de sinusaritmie, dus de onregelmatigheid van het hartritme, hier geheel door de respiratie verklaard kan worden, of dat nog andere mechanismen een rol spelen. CLYNES (1960) spreekt van 'emotional stress' – hetgeen iets anders is dan mentale belasting – en zoekt de oorzaak hierin, dat tussen zijn gesimuleerde curve en de echte curve geen volledige correlatie bestond (corr. coëf. 0.93).

Deze overwegingen hebben geleid tot een vraag aan regeltechnici en tot een beperkt eigen onderzoek naar de veranderingen van de sinusaritmie bij een gecombineerde fysieke en mentale belasting.

Vraag voor de regelmechanica

Zoals eerder beschreven werd kon CLYNES (1960) het verband tussen ademhaling en sinusaritmie bij een proefpersoon in rust in een for-

mule vastleggen. Hierin komen enkele constanten voor die voor iedere proefpersoon afzonderlijk een andere waarde kunnen hebben.

De vraag is nu:

Is het mogelijk bij een aantal proefpersonen aan de hand van deze relatie de grootte te bepalen van de verschillende elementen zoals tijdconstanten, Laplace operator, etc., en wel tijdens twee (of meer) condities, namelijk tijdens:

1. rust
2. uitvoering van een mentaal belastende taak, eventueel bij verschillende belastingsgraden?

Toelichting: Indien de grootte van de elementen van de relatie tijdens beide condities gelijk blijft, zal men kunnen aannemen dat de invloed van de mentale belasting op de sinusaritmie geheel verklaard kan worden via de invloed van de mentale belasting op de ademhaling. Indien er echter iets verandert, bijvoorbeeld de grootte van de tijdconstanten, dan zal de mentale belasting behalve door verandering van de ademhaling deze relatie ook op andere wijze moeten beïnvloeden. Enkele mogelijkheden zijn:

- a. verandering van het basisritme van het hart via sympathicus en/of vagus
- b. verandering van de invloed van de structuren die de invloed van de ademhaling op het hartritme overbrengen, dus van de vagus.

De beantwoording van deze vraag ligt buiten de strikt medische mogelijkheden en vereist een uitgebreide technische kennis en apparatuur. Beantwoording van deze vraag kan echter een bijdrage betekenen niet alleen tot de kennis van de sinusaritmie, maar ook tot de kennis van de eigenschappen van het vegetatieve systeem in het algemeen.

Gecombineerde fysieke en mentale belasting

Bij een onderzoek werden twee proefpersonen op de fietsergometer zo belast, dat het cardi tachogram nog net een minimale sinusaritmie te zien gaf. Tijdens voortduren van deze belasting werd tevens een mentaal belastende taak gegeven (tonen-toetsen). Tijdens uitvoering van deze gecombineerde opdracht bleek de sinusaritmie niet verder onderdrukt te worden, maar integendeel juist weer toe te nemen.

In een onderzoek met 12 mannelijke proefpersonen is getracht,

maar nu met een duidelijk gestandaardiseerde proefopdracht, deze bevinding te reproduceren. Dit onderzoek sloot aan bij het in hoofdstuk XII te beschrijven onderzoek. Voor beschrijving van apparatuur en bewerking van de registraties wordt daarheen verwezen. De fysieke belasting bestond uit een belasting op de fietsergometer die voor allen overeenkwam met 60 Watt, de mentale belasting bestond uit een taak met de binaire keuzegenerator (tonen-toetsen) van 40 signalen per minuut. De condities, elk van 5 minuten, waren: 5 minuten rust (Ia), 5 minuten tonen-toetsen (IIa), 5 minuten fietsen (IIIa), 5 minuten fietsen + tonen-toetsen taak (IV), 5 minuten fietsen (IIIb), 5 minuten tonen-toetsen taak (IIb) en 5 minuten rust (Ib). De gehele proef duurde dus 35 minuten, alle proefpersonen deden de proef in dezelfde volgorde. De gemiddelden per minuut voor polsfrequentie, sinusaritmie en ademfrequentie zijn weergegeven in figuur 11. Voor de statistische bewerking werden per proefpersoon

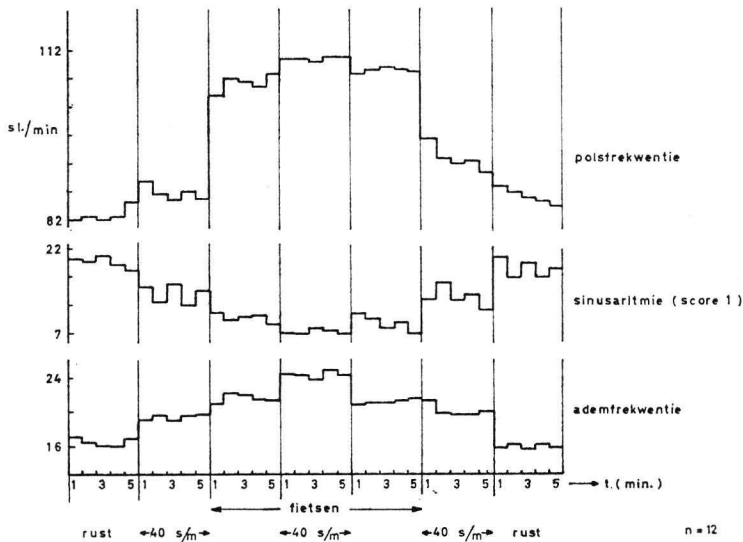


FIG. 11. Verloop van de gemiddelde polsfrequentie, ademfrequentie en sinusaritmie (meth. 1) tijdens rust, binaire-keuzetaak (tonen-toetsen 40 sign/min), fietsen (60 Watt) en gecombineerde taak (fietsen en binaire-keuzetaak) bij 12 proefpersonen.

de waarden voor de 3e, 4e en 5e minuut van elke conditie gemiddeld. De gemiddelden voor de hele groep zijn samengevat in tabel 16. Voor de statistische bewerking werden vervolgens eerste en tweede

rust, eerste en tweede tonentaak, eerste en tweede deel fietsen samengenomen en onderling en met de gemiddelde waarden voor de gecombineerde taak (fietsen + tonen) vergeleken.

TABEL 16. Effect van mentale belasting, van fysieke belasting en van gecombineerde mentale en fysieke belasting op polsfrequentie, sinusaritmie en ademfrequentie. De mentale belasting bestond uit een taak met de binaire-keuzegenerator (tonen-toetsen) van 40 sign/min, de fysieke belasting uit een taak op de ergometerfiets met een belasting van 60 Watt. Gegeven zijn per conditie de gemiddelden van de waarden voor de polsfrequentie, sinusaritmie en ademfrequentie voor de 3e, 4e en 5e minuut.

Conditie	rust	bin. keuze taak	fietsen			bin. keuze taak	
				bin. keuze taak			
	Ia	IIa	IIIa	IV	IIIb	IIb	Ib
polsfrequentie	85	86	106	111	109	92	95
sinusaritmiescore	18.5	14	9.5	7.5	6	12.5	19.5
ademfrequentie	16.5	19.5	22	24.5	21.5	20	16

n = 12

Significanties (rangtekentoeets, dubbelz.)

polsfrequentie: IV > III > II > I ($\alpha < .01$)

sinusaritmie: IV en III < II < I ($\alpha < .01$); IV < III ($\alpha \leq .10$)

ademfrequentie: IV > III > II > I ($\alpha < .01$)

Deze gegevens tonen aan dat er wat betreft de invloed op de polsfrequentie en ademfrequentie sprake is van een cumulatie van de invloed van de mentale belasting en de fysieke belasting. Ook voor de sinusaritmie is er een aanwijzing van toenemende onderdrukking onder invloed van mentale belasting bij fysieke belasting. Gemiddeld is deze echter, relatief ten opzichte van de sinusaritmie bij het fietsen alleen, enkele procenten; de onderdrukking van de sinusaritmie tijdens mentale belasting alleen ten opzichte van de rustwaarde is veel groter (ongeveer 30%). Een toename van de sinusaritmie, zoals eerder gevonden werd, kon niet worden gereproduceerd. Misschien leidt een scherpere proefopzet, waarbij zowel fysieke als mentale belasting individueel worden aangepast aan de hand van het cardiogram, tot duidelijker uitspraak.

Indien de resultaten van deze proef worden geconfronteerd met het door Angelone en Coulter gegeven schema, ondersteunen ze echter toch wel de hypothese, dat bij mentale belasting naast de

verandering van de ademhaling ook een verandering van de tonus van de vagus bijdraagt tot de verandering van de sinusaritmie.

Wat betreft het ademvolume kon slechts van 7 proefpersonen een betrouwbare schatting gemaakt worden; door storingen in de registratie was dit voor de anderen niet mogelijk. Ook nu werd geen aantoonbaar verschil onder invloed van mentale belasting gevonden, wel een duidelijke toename van het ademvolume tijdens de fysieke belasting. Deze gegevens wijzen er niet op, dat verandering van ademvolume een belangrijke rol speelt bij de verandering van de sinusaritmie.

Sinusaritmie en de bepaling van de polsfrequentie

In de psychofysiologie, vooral waar men geïnteresseerd is in de invloed van bepaalde kortdurende uitwendige prikkels op de polsfrequentie, wordt de sinusaritmie als storend ervaren. Zo vermelden Opton c.s. bepaalde correctiemethoden om de invloed van de sinusaritmie op de bepaling van een door uitwendige invloeden veroorzaakte polsversnelling of -vertraging uit te schakelen (OPTON c.s. 1966). Docter c.s. werken met een D 6 en D 13 (het maximum in slagtijd gedurende een 5 seconde-interval vergeleken met dat van een volgend interval, indien deze waarden meer dan 6 respectievelijk 13 slagen verschillen) (DOCTER c.s. 1964).

BASSAN (1966) vond na middelen over 30 seconden bij een gemiddelde polsfrequentie van 120 sl/min toch nog geringe fluctuaties van de polsfrequentie. In rust kan het verschil tussen kortste en langste slagen soms zeer belangrijk zijn en – uitgedrukt in frequentie – wel 10 à 20, in uitzonderingsgevallen zelfs 40 sl/min bedragen. Dit verschil kan binnen een tijdsbestek van enkele slagen overbrugd zijn. Het bepalen van de polsfrequentie door middel van bijvoorbeeld de 10-slagentijd zoals bij bedrijfspsychologisch onderzoek, of door gedurende 15 seconden het aantal polsslagen te tellen zoals bij het medisch onderzoek veelal gebeurt, kan dan ook bij personen met een duidelijke sinusaritmie tot verkeerde waarnemingen aanleiding geven. Op grond van een E.C.G. van een proefpersoon in rust met een polsfrequentie van 76 sl/min werd in een eigen onderzoek nagegaan hoe de 10-slagentijd en hoe de 15-secondenwaarde, willekeurig in een bepaalde minuut bepaald, de polsfrequentie zouden aangeven. Op deze manier werden waarden gevonden tussen de 64 en 94 sl/min! Indien voor een wetenschappelijk onderzoek vereist is, dat de bepalingfout gering blijft, moet men dus zeker gedurende de gehele

minuut alle slagen tellen. De bepaling van de polsfrequentie aan de hand van het cardiogram is veel nauwkeuriger dan de bepaling via 10-slagentijd of 15-secondenwaarde, zoals we ook in het eigen laboratorium konden vaststellen (DOCTER c.s. 1967).

Slotbeschouwing

Uit de literatuur blijkt, dat de ontstaanswijze van de sinusaritmie zeer complex is.

De sinusaritmie in rust komt voor een zeer groot gedeelte tot stand door invloed van de ademhaling, zowel centraal vanuit het ademcentrum als perifeer vanuit de long, via de vagus, waarbij ook de tonus van de vagus een belangrijke invloed heeft (ANREP c.s. 1936). In de relatie ademhaling-sinusaritmie is niet alleen sprake van een niet-lineaire vervorming (mate van polsversnelling niet $2 \times$ zo groot bij een $2 \times$ zo grote ademdiepte), maar ook van een lineaire vervorming (toename ademfrequentie veroorzaakt zowel minder polsversnelling als een faseverschuiving) (CLYNES 1960, ANGELONE en COULTER 1964).

De resultaten van eigen onderzoek geven een aanwijzing, dat de verandering van de sinusaritmie onder invloed van mentale belasting niet alleen berust op verandering van het adempatroon, maar ook tot stand komt door verandering van de tonus van de vagus. Verder onderzoek zal hier meer licht op kunnen werpen.

Bij gecombineerde fysieke en mentale belasting is voor wat betreft de polsfrequentie en ademfrequentie wel, voor wat betreft de sinusaritmie waarschijnlijk geen combinatie van deze invloeden op de parameters aan te nemen.

HOOFDSTUK X - SCORING VAN DE SINUSARITMIE

Betekenis van een scoringsmethode

Zoals in het vorige hoofdstuk is uiteengezet is de sinusaritmie een zeer complex fenomeen. Zeer vele invloeden, zoals momentaan long-volume, vagus-tonus en corticale activiteit, bepalen van moment tot moment hoe de curve die de verandering in slagtijden weergeeft er uit zal zien. Een methode die de sinusaritmie wil meten is dan ook niet alleen afhankelijk van het fenomeen sinusaritmie zelf, maar wordt ook bepaald door het karakter van de gebeurtenis waarmee men een bepaalde relatie wil aantonen. Zo zal het nodig zijn voor het verband ademhaling – sinusaritmie een methode te gebruiken, die van moment tot moment de sinusaritmie in een bepaalde waarde vastlegt. Ook bij het bestuderen van kortdurende invloeden zal men niet kunnen ontkomen aan zeer verfijnde meetmethoden. In de arbeidsfysiologie bepaalt men echter veelal de waarde van een fenomeen door over een gehele minuut dit fenomeen te bekijken. Zo wordt bijvoorbeeld de zuurstofopname gegeven in aantal cc per minuut en bekommert men zich er niet om of gedurende de korte uitademingsperioden nu wel of geen zuurstof wordt opgenomen. Men is daar dan ook niet geïnteresseerd in de samenhang zuurstofopname – ademexcursie, maar in de verandering van de zuurstofopname onder invloed van fysieke belasting, die ook in een maat per minuut wordt gemeten.

Ook voor de sinusaritmie zal men de voorkeur geven aan die methode die het te onderzoeken verband het best weergeeft. Bestudering van de methode kan dan eventueel bijdragen tot een beter inzicht in de wijze waarop dit verband tot stand komt. Bij een zo complex gebeuren als de sinusaritmie echter zal dit lang niet altijd mogelijk zijn.

De sinusaritmie bepalend voor de scoringsmethode

Het heeft allereerst zin een beschrijving te geven van het patroon van de sinusaritmie aan de hand van de registraties. Een scoringsmethode zal allereerst daarmee rekening dienen te houden.

1. Amplitude en frequentie

De sinusaritmie vertoont een structuur in de tijd (patroon). Er is een geleidelijke toename en afname van polsversnelling. De veranderingen verlopen min of meer golfvormig. Hierin kan men amplitude, dit is het verschil tussen de langste en de kortste slagtijd in het verloop van zo'n golf, en een golflengte onderscheiden. Er zijn verschillende structuren met verschillende golflengten en amplituden aantoonbaar, die elkaar gedeeltelijk overlappen. Men kan de scoringsmethode nu baseren op de amplitude alleen (zoals variantie, etc.) en daarbij voorbij gaan aan het golfvormig karakter, of op de frequentie alleen, zoals bij frequentieanalyse en daarbij voorbijgaan aan de amplitude. Men kan echter ook trachten beide fenomenen in één methode te vangen. Men komt dan op methoden, die gebaseerd zijn op de verschillen tussen opeenvolgende slagen.

2. Over welk 'bereik' te scoren?

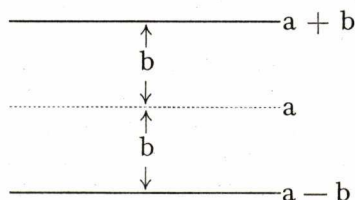
Zowel tijd als aantal waarnemingen (slagen) worden gebruikt als basis voor scoringsmethoden. Willen we echter, zoals in ons geval, aan het aspect van de sinusaritmie conclusies verbinden over processen elders in het lichaam, processen die beschreven worden als een gebeuren in de tijd, dan ligt het voor de hand uit te gaan van een tijdsbasis. Indien men uitgaat van het gemiddelde verschil tussen twee opeenvolgende slagen brengt men een relatie aan tussen de polsfrequentie en de sinusaritmie. De sinusaritmie is echter meer een afspiegeling van het vagus-sympathicus-evenwicht dan van de hartwerking en superponeert zich als het ware op het hartritme. Bij verschil in polsfrequentie, maar bij naar omvang gelijke schommelingen van het vagus-sympathicus-evenwicht, zal het verschil tussen twee opeenvolgende slagen kleiner worden, terwijl de som van de verschillen per minuut gelijk zal blijven. Uit het verschil in gedrag van polsfrequentie en sinusaritmie bij fysieke en mentale belasting blijkt, dat deze twee fenomenen niet absoluut aan elkaar gekoppeld zijn. Een ont koppeling in de bepalingmethode lijkt dan ook aangegeven.

3. Polsfrequentie of slagtijd

Afhankelijk van de manier waarop de gegevens verkregen zijn, zal de voorkeur gegeven worden aan methoden, gebaseerd op slagtijden (E.C.G., digitaal-cardiotachometer) of gebaseerd op de reciproke

waarde daarvan, dus de polsfrequentie (cardiotachometer T.N.O.). De verhouding tussen slagtijd en polsfrequentie is niet-lineair, bij verschil in gemiddelde polsfrequentie kan de verhouding tussen beide methoden dan ook geheel verschillend zijn. Dit is aan de hand van een voorbeeld toe te lichten.

Voorbeeld. Stel: twee niveau's van polsfrequentie met een verschil van $2b$ sl/min en een gemiddelde polsfrequentie van a sl/min.



De twee niveau's komen dus overeen met een niveau van respectievelijk $(a + b)$ sl/min en $(a - b)$ sl/min. De gemiddelde slagtijd zal dan zijn respectievelijk $\frac{60}{a + b}$ sec en $\frac{60}{a - b}$ sec. Het verschil tussen de twee niveau's van $2b$ sl/min zal dus overeenkomen met een verschil van $\left(\frac{60}{a + b} - \frac{60}{a - b}\right)$ sec, dit is: $-2b \cdot 60 \frac{1}{a^2 - b^2}$ sec. Bij de scoring van de sinusaritmie meten we met de door ons gebruikte methode een aantal van deze niveauverschillen, namelijk aantal golven per minuut $\times$ amplitude per golf. De gemiddelde polsfrequentie (a) is als regel groter dan 60 sl/min, de amplitude ($2b$) kleiner dan 20 sl/min. Verwaarlozen we in bovenstaande formule nu de factor b^2 , dan maken we een fout die kleiner is dan 3%. We komen dan tot de volgende vergelijking: verschil in niveau/min = $2b$ sl/min of $-2b \frac{60}{a^2}$ sec. De verhouding tussen beide methoden wordt dus gegeven door de factor: $-60/a^2$.

Indien men de onregelmatigheid uitdrukt in gemiddeld verschil per slag van de verschillen in slagtijd van opeenvolgende slagen gedurende een minuut (dus van a slagen), dan is de verhouding hiervan met een maat, die de absolute som der verschillen in één minuut weergeeft in frequentie: $\frac{60}{a^3}$. Indien dus volgens de methode der absolute verschillen bij twee curven een gelijke index gevonden wordt, terwijl de polsfrequentie van de twee curven respectievelijk

60 sl/min en 120 sl/min is, dan zal het verschil per slag gemeten in seconden bij een frequentie van 120 sl/min $1/8$ zijn van dat bij een frequentie van 60 sl/min.

De relatie tussen twee van dit soort methoden is dus alleen constant, indien de polsfrequentie niet verandert. BARTENWERFER (1960 b) gebruikt het gemiddeld verschil in sec per slag; de door ons gebruikte methoden berusten, zoals we later zullen bespreken, op de som der verschillen per minuut in sl/min.

Bij vergelijking van twee methoden is de keus tussen polsfrequentie of slagtijd dus van belang. In de arbeidsfysiologie is het gebruik, het hartritme in aantal slagen per minuut uit te drukken en niet in gemiddelde slagtijd. Tussen fysieke belasting en polsfrequentie bestaat een lineair verband, tussen fysieke belasting en slagtijd is het verband dus niet lineair (en bovendien negatief). Gebruik makende van een cardi tachometer, die weergeeft in een frequentieschaal, zijn wij voor de scoringsmethoden uitgegaan van een maat in frequentie (sl/min).

4. Verloop van de gemiddelde polsfrequentie

In ons onderzoek gaat het voorlopig om verschil in waarde van bepaalde fysiologische parameters bij twee of meer verschillende condities, die onderling naar de mate van belasting worden vergeleken. Het gaat – voorlopig althans – niet om instelfenomenen, wel om de wijze waarop het lichaam reageert nadat het zich ingesteld heeft op de nieuwe conditie. We mogen veronderstellen dat de verschijnselen na de instelperiode, bij het voortduren van de nieuwe conditie, hetzelfde aspect zullen houden zodat bij een goede proefopzet bijvoorbeeld ook de polsfrequentie niet meer in belangrijke mate zal veranderen. Toch kan een geleidelijke toename of afname van de polsfrequentie wel voorkomen door invloeden die wij niet kunnen controleren, zoals dagritme, metabolisme, etc. Bij sommige methoden is het nodig voor deze invloeden een correctie aan te brengen (vooral bij de standaarddeviatie is de invloed van een geleidelijke toe- of afname van de polsfrequentie op de uitkomst groot). Bij de door ons toegepaste methoden is de invloed, mits de verandering niet te groot is, op de bepaling van de sinusaritmie-index gering.

Mentale belasting medebepalend voor de scoringsmethode

Zoals in de eerste hoofdstukken omschreven werd, beschouwen we de mentale belasting als samenhangend met de hoeveelheid verwerkte informatie per tijdseenheid. Als tijdseenheid wordt hierbij een tijdsduur van een minuut aangehouden. Ook voor de sinusaritmiescore zullen we dus een minuutwaarde moeten verkrijgen. Deze waarde zal dan het gemiddelde aspect van het sinusaritmiepatroon representeren. Een voordeel van deze methode is, dat invloed van kortdurende storingen, zoals zuchten, schrik, etc. verkleind wordt. Als men vervolgens de gevonden waarden nog eens middelt over de gehele conditie wordt de invloed van de mentale belasting op de sinusaritmie versterkt door verkleining en egalisering van andere, storende factoren.

Bespreking van enkele methoden

Op het werk van CLYNES (1960) werd reeds gewezen. De door hem gevonden relatie heeft ons aanleiding gegeven tot de vraag of door gebruikmaking van zijn methode geen beter inzicht in de rol van de vagus bij mentale belasting is te verkrijgen. Speisman c.s. gingen het effect van een emotionele film na op een groot aantal parameters voor de sinusaritmie (SPEISMAN c.s. 1961). Hierbij bleken vooral spreidingsmaten een indicatie te geven. Zowel het werk van Clynès als dat van Speisman c.s. is echter niet mogelijk zonder inschakeling van een computer. Ook Welford c.s. werkten een computerprogramma uit, zonder resultaten te vermelden (WELFORD 1964). Simborg c.s. gaan uit van een R-R-interval histogram dat ook belangrijke informatie zou kunnen geven (SIMBORG c.s. 1966). Hier te lande wordt door ir. W. G. Koster van het Instituut voor Perceptie-onderzoek te Eindhoven gepoogd de invloed van mentale belasting op een groot aantal parameters van de sinusaritmie met behulp van een computer na te gaan. Het ligt in het voornemen ook enkele van onze registraties aldaar te verwerken.

De hierbij toegepaste technieken vallen echter buiten de zuiver medische mogelijkheden, vooral bij het bedrijfsgeneeskundig onderzoek in de industrie zal toepassing van deze technieken vooralsnog niet te verwezenlijken zijn. Bovendien is nog niet gebleken, dat deze methodieken beter voldoen dan enkele door ons toegepaste, veel eenvoudiger methoden. Sykes bewerkte de registraties van de op pag. 59 (tabel 9) beschreven proeven. Hij bepaalde per golf van de sinusaritmie maximum en minimum en berekende voor beide

maten per minuut gemiddelde en standaarddeviatie. Het verschil tussen beide gemiddelden (dus gemiddelde amplitude) bleek niet te correleren met de mentale belasting, de beide spreidingsmaten wel. Deze werden kleiner bij toenemende belasting (SYKES 1966). Dit kan er op wijzen, dat onder invloed van mentale belasting het patroon van de sinusaritmie gelijkmatiger wordt, dus minder uitschieters gaat vertonen.

BARTENWERFER (1960 b) is bij monotonieproeven een aantal maten nagegaan. Hij noemt de volgende maten:

1. De gemiddelde slagtijd (M), overeenkomend met de Herzzeit-mittelwert (HZM) van Jordan. De polsfrequentie = $\frac{6000}{M}$ (M in 0.01 sec).
2. Gemiddelde variatie (V); mittleren Deviation (Wiersma) overeenkomend met $\frac{\Sigma \text{ absolute verschillen t.o.v. } M}{\text{frequentie}}$. Deze maat is vergelijkbaar met Pulzzeitstreuung en met de Dispersion, berekend als som van Fleisch en Beckman ($V \times \text{freq.}$) en ook met de Herzzeitstreuung (HZS) van Jordan.
Zoals echter hierboven is betoogd, gaat deze overeenkomst alleen op zolang de frequentie constant blijft.
3. Gemiddeld verschil tussen opeenvolgende slagen (Bündelung = B) in slagtijd. Deze is laag bij gelijke afstanden tussen de R-toppen of wanneer de verschillen zich tot bundels aaneensluiten. Voornamelijk een maat voor snelle veranderingen.
4. Aantal malen toename en afname van de slagtijden: W , met tolerantie van 0.02 en 0.04 sec. (W_2 , W_4).

De maten M (gemiddelde slagtijd) en B (Bündelung) correleren matig (0.37-0.68). De gemiddelde variatie (V) is evenals alle spreidingsmaten gevoelig voor langzame polsfrequentieveranderingen. De verschillen van de maten M en B kunnen in een getal samengevoegd worden, namelijk $D = M_1 - M_2 + 1.5(B_1 - B_2)$. Vooral de Bündelung als maat voor de sinusaritmie zou goed correleren met mentale belasting.

Een andere maat wordt vermeld door SCHAEFER (1951), namelijk de 'Rhythmiemass' van Schlomka: van 17 opeenvolgende slagen wordt het verschil berekend van de som van de vier langzaamste en de som van de vier snelste slagen, waarna dit verschil door vier gedeeld wordt.

Niet alle genoemde en ongenoemde methoden zijn bij het onder-

zoek naar de invloed van mentale belasting toegepast. Wel toegepast zijn de door Bartenwerfer genoemde maten. Vele andere maten berusten echter vaak op een gelijksoortige aanpak en zullen dus een overeenkomstige bruikbaarheid vertonen.

Eigen methodiek

De door ons toegepaste scoringsmethode (zie onder) wijkt enigszins af van de eerder genoemde. Zij is geënt op de curve die men verkrijgt met de cardi tachometer T.N.O., waar geen afzonderlijke slag-tijden (reciproke) aangegeven worden. Zij is destijds gekozen om een methode te hebben die eenvoudig was, zonder veel hulpmiddelen kon worden toegepast en voor het oriënterend onderzoek globaal uitdrukte, wat bij visuele inspectie van de curve opviel. Bezwaren tegen de methode zijn de bewerkelijkheid en de mogelijkheid subjectief naar een bepaalde uitslag toe te werken. Reeds spoedig bleek, dat enkele aanvullingen van de beschrijving nodig waren. De wens om over een automatische scoringsmethode te beschikken was aanleiding, om te trachten de methode iets te vereenvoudigen en van daaruit door verdere verfijning een formule te vinden, die voor technici als uitgangspunt kon dienen bij het ontwikkelen van een apparaat. Een verdere aanvulling van de cardi tachometer met een linearisator, mede op ons verzoek door ir. J. Kuiper van het Medisch Fysisch Instituut T.N.O. gebouwd, zette de logaritmische frequentieschaal van de cardi tachometer om in een lineaire. Hierdoor konden de tolerantielijnen van de methode, zoals in hoofdstuk IX reeds genoemd, nu getrokken worden op afstanden overeenkomend met gelijk verschil in slagen/minuut in plaats van in percentage van de gemiddelde frequentie.

Nu volgt een bespreking van enkele in het kader van ons onderzoek getoetste methoden.

1. *Tolerantiemethode* voor de scoring van de sinusaritmie van het cardi tachogram, verkregen met de cardi tachometer T.N.O.

Na het op het oog bepalen van het gemiddeld niveau van de curve worden op een afstand van 2.5 mm, 5 mm en 7.5 mm, eventueel ook op een afstand 10 mm etc., vanaf dit gemiddelde, zowel naar boven als beneden, tolerantielijnen getrokken. Het aantal malen gedurende een minuut dat de curve buiten de tolerantielijnen komt, gezien vanaf het gemiddelde, wordt geteld; dit geldt voor elk van de tolerantielijnen (zie ook figuur 6). Deze getallen samen vormen de

irregulariteitsindex van de curve voor deze minuut. In de oude opstelling zonder linearisator en met de dwarf-recorder kwam de afstand van 2.5 mm overeen met een aantal sl/min, overeenkomend met 4% van het gemiddelde. In de nieuwe opstelling met linearisator en metrawatt-schrijver komt deze afstand overeen met 2.8 sl/min. Onderlinge vergelijking van de gegevens van de oude en nieuwe opstelling is niet toegelaten vooral niet als absolute waarden vergeleken worden. Alle bewerkingen zijn echter per proefpersoon per proefconditie uitgevoerd, zodat hierdoor de resultaten niet zijn beïnvloed.

Deze voorschriften dienen nog aangevuld te worden. Indien de curve oscilleert over enige afstand rondom een toleranteliijn en zich daarbij niet meer dan 1. sl/min van deze toleranteliijn verwijdt, dient zo'n gedeelte slechts één maal meegeteld te worden.

In de praktijk kan men gebruik maken van een mal, waarop de toleranteliijnen met een afstand van 2.5 mm zijn getekend. Deze mal is ook nuttig bij het bepalen van de polsfrequentie.

Bij herhaling van de meting, waarbij de mal ten opzichte van de eerste meting 1 à 2 slagen is verschoven, verkrijgt men vrijwel de zelfde waarden voor de irregulariteitsindex (toets van Spearman: $n = 25$; corr.coëff. 0.9755, $\alpha < .001$).

Deze methode is vrij bewerkelijk. Bovendien is er een gebied van 6 slagen (rondom het gemiddelde) waarin het aspect van de curve geen invloed heeft op het resultaat.

2. Overkruisingsmethode.

Een verbetering lijkt het, zonder rekening te houden met het gemiddelde, door de curve toleranteliijnen te trekken met onderling gelijke afstanden zoals boven van 2.5 mm. Telt men nu per minuut het aantal malen dat de curve een toleranteliijn kruist, dan heeft men een maat voor het aantal 'sprongen' van bijvoorbeeld 2.8 sl/min in de opeenvolging der slagen. Kleinere verschillen worden verwaarloosd. Een overkruising van een toleranteliijn door de curve wordt alleen geteld, indien de voorafgaande kruising van de curve met een toleranteliijn niet dezelfde toleranteliijn betrof; dit om te voorkomen dat een curve die met een geringe amplitude rondom een toleranteliijn schommelt, te zwaar wordt gewaardeerd.

Met deze methode verkrijgt men een irregulariteitsindex, die ruim $2 \times$ zo groot is als die van methode 1. Verschuiving van de toleranteliijnen ten opzichte van de curve beïnvloedt de irregulariteitsindex nauwelijks (toets van Spearman: $n = 80$, rangcorr.coëff. 0.995, $\alpha < .001$).

Tussen deze en de vorige methode bestaat een goede correlatie (toets van Spearman: $n = 45$, rangcorr.coëff. 0.632, $\alpha < .001$). Indien men echter beide methoden gebruikt voor scoring van de sinusaritmie tijdens twee condities (tonentaak, resp. 40 en 60 sign/min, dan blijkt dat methode 1 nog wel discrimineert (rangtekentoets v. Wilcoxon: $\alpha < .01$), maar methode 2 niet. Ten opzichte van de rustwaarden was voor beide condities met beide methoden bij deze proef wel een duidelijke onderdrukking. Blijkbaar wordt met beide methoden niet geheel hetzelfde gescoord; de onregelmatigheid rondom het gemiddelde wordt door de eerste methode – terecht? – niet in de bewerking betrokken. Mogelijk wordt deze – intrinsieke? – onregelmatigheid niet of veel minder door mentale belasting beïnvloed.

3. Som van de absolute verschillen

Voortbouwend op de behandelde methoden komt men er toe geen tolerantie in acht te nemen en alle verschillen, ongeacht het teken, bij elkaar op te tellen. Dit kan in principe curvimetrisch, maar dan dient gecorrigeerd te worden voor de afstand die het papier inmiddels heeft afgelegd, dus voor de tijd. Eenvoudiger is het uit te gaan van de afzonderlijke slagen en wel van de absolute verschillen tussen steeds twee opeenvolgende slagtijden, uitgedrukt in frequentie, en deze verschillen per minuut op te tellen. In formule:

$$\text{irregulariteitsindex} = \sum_1^f \left| \frac{60}{T_n} - \frac{60}{T_{n+1}} \right|.$$

waarbij:

f = aantal slagen in de minuut

T = slagtijd in seconden

T_{f+1} = slagtijd van eerste slag volgende minuut.

Deze informatie is in principe in de cardi tachometer aanwezig. Ir. J. Kuiper is er in geslaagd een apparaat te bouwen die deze formule in een curve weergeeft, waarbij de hoogte aan het eind van elke minuut de waarde van de index aangeeft. Hierbij worden echter al-

leen de positieve verschillen opgeteld (dus indien: $\frac{60}{T_{n+1}} > \frac{60}{T_n}$).

Bij gelijkblijvende polsfrequentie komt dit echter overeen met de som van de negatieve verschillen en heeft deze index dus de halve waarde van de gegeven formule. Bij het in hoofdstuk XII te beschrijven onderzoek is gebruik gemaakt van deze apparaat. In het betreffende hoofdstuk zullen de resultaten vermeld worden.

Indien men de voorkeur geeft aan een maat in slagtijden, dan kan men de formule enigszins wijzigen:

$$\text{irregulariteitsindex} = \sum_1^f \left| T_n - T_{n+1} \right|.$$

Zoals reeds werd uiteengezet is deze laatste waarde $60/f^2$ van de waarde verkregen met de eerste formule. De Bündelung-maat, beschreven door Bartenwerfer, deelt deze waarde dan nog eens door f (polsfrequentie), zodat bij verschil in polsfrequentie tussen twee condities deze drie maten tot geheel andere verschillen zullen leiden.

Overzicht

Een groot aantal methodieken is gebruikt om de sinusaritmie te meten. Men zal de voorkeur geven aan die methode die het beste correspondeert met de invloed op de sinusaritmie, die men wil bestuderen. Gewezen is op de eigenschappen van het fenomeen sinusaritmie (golfvormig verschijnsel met golflengte en amplitude), de verschillen die men verkrijgt indien men kiest voor een maat in slagen/minuut of in slagtijden, de periode die men wil beschrijven en tenslotte de invloed van een langzaam veranderende gemiddelde polsfrequentie. Deze punten en enkele beschreven methodieken zijn aan enkele voorbeelden getoetst (ETTEMA 1965). Hierbij werd de ontwikkelde redenering ondersteund.

Bij het onderzoek naar mentale belasting geven wij voornamelijk de voorkeur aan een methode, die de som van de verschillen tussen opeenvolgende slagen in een minuut in sl/min weergeeft.

HOOFDSTUK XI

BESCHOUWINGEN EN NIEUWE VRAAGSTELLING

Terugblik

De tijd is gekomen om tussentijds balans op te maken. Het is gelukt om uitgaande van het begrip mentale belasting, zoals dat in de eerste hoofdstukken nader werd omschreven, ook aan het begrip functionele belasting inhoud te geven. De verschillende onderzoeken hebben aannemelijk gemaakt, dat als gevolg van een mentale belasting een aantal fysiologische veranderingen optreedt. Allereerst dienen we ons nu af te vragen, of deze gegevens passen in wat door andere onderzoekers is gevonden. Het is nu mogelijk onze weg te zoeken in de grote hoeveelheid literatuur die handelt over fysiologische verschijnselen bij psychologische processen. Een eerste vraag is daarbij of bij bedoelde processen ook sprake is van informatieverwerking, of beter nog van informatieverwerking per tijds-eenheid. In de psychofysiologische research neemt op het ogenblik het begrip arousal een belangrijke plaats in. In hoofdstuk III is al gewezen op verschil en verwantschap van dit begrip met het begrip mentale belasting. Enerzijds is het probleem rondom de mentale belasting slechts een onderdeel van de gehele problematiek rondom het begrip arousal, anderzijds is de benadering vanuit de mentale belasting veel specifieker, althans als we afgaan op wat in veel literatuur daarover staat. Een bespreking van de zeer uitgebreide literatuur op dit gebied is praktisch onmogelijk. Volstaan wordt met een enkel voorbeeld.

Bij toenemende arousal onder invloed van affectief geladen invloeden, zoals bijvoorbeeld tijdens het vertonen van operatiefilms, blijkt de polsfrequentie toe te nemen (MALMSTROM c.s. 1965, OPTON c.s. 1966). Een interessant onderzoek wordt vermeld door HNATOW en LANG (1965). Zij toonden aan proefpersonen op een oscilloscoop een weergave van hun eigen cardiogram met de opdracht de onregelmatigheid zo klein mogelijk te houden. Inderdaad bleek, dat een aantal proefpersonen die wisten dat de getoonde curve een weergave was van de eigen hartactiviteit, er in slaagden de sinusaritmie te onderdrukken, althans gedurende enige tijd. Indien de

proefpersonen echter niet wisten dat de getoonde curve de eigen hartactiviteit weerspiegelde, slaagden zij er niet in. De auteurs konden de verandering van de sinusaritmie niet verklaren vanuit een eventuele verandering van de ademhaling, zij vonden ook geen relatie met de polsfrequentie. Verschillende verklaringen zijn mogelijk; een verklaring zou bijvoorbeeld kunnen zijn, dat het bewust kijken naar de eigen hartactie een toename betekent van de informatieverwerking, dus een toename van de mentale belasting.

Mentale belasting in de literatuur

Hoewel vele termen in gebruik zijn, is het vaak mogelijk aan de hand van de beschreven proeven te beoordelen, of in een bepaald geval sprake is geweest van mentale belasting. Een eerste publikatie is reeds te vinden bij Wiersma (WIERSMA 1911, 1913). Hij vond dat psychische inspanning (maken van rekensommen, verhoging aandacht voor omgeving, etc.) gepaard ging met een onderdrukking van de sinusaritmie en in sommige gevallen versnelling, in andere gevallen vertraging van pols en ademhaling. Gillespie liet zijn proefpersonen eveneens rekensommen oplossen, optelsommen met getallen van 4 cijfers, en vond toename van polsfrequentie en bloeddruk. Hij komt tot de conclusie, dat mentale arbeid een toename van polsfrequentie en bloeddruk veroorzaakt, welke toename onafhankelijk is van emotionele factoren en niet door bewegingen van de spraakspieren of andere spierspanningen kan worden verklaard. Verder concludeert hij, dat mentale arbeid gecombineerd met spierarbeid tot een toename van polsfrequentie en bloeddruk aanleiding geeft die groter is dan bij de taken apart (GILLESPIE 1924).

Ook Rutenfranz liet rekensommen maken, van het type $a \times b + c - d$, dus per opgave 3 bewerkingen. Deze waren gezet op een draaitrommel waarvan de snelheid gewisseld kon worden. Het aantal bewerkingen per minuut varieerde zo van 22 tot 63. Tijdens het maken van deze opgaven vertoonden de proefpersonen een gemiddelde toename van de polsfrequentie van 10 sl/min bij weinig bewerkingen tot 17 sl/min bij veel bewerkingen vergeleken met de rustwaarden (RUTENFRANZ 1960, GRAF c.s. 1965). Benson c.s. maakten gebruik van een gesimuleerde bediening van het hoogteroer door piloten en niet-piloten. Zij vonden bij toenemende 'effort', dus bij verzwaring van de taak, een toename van polsfrequentie en ademfrequentie tot 27% (BENSON c.s. 1965). Kogi gebruikte een gelijksoortige taak en vond onder andere een toename van de polsfrequen-

tie. Een verschil in reactie bij mannelijke en bij vrouwelijke proefpersonen kon hij niet aantonen (KOGI 1966).

Speciale vermelding verdient het werk van Bartenwerfer, verbonden aan het Instituut voor Psychologie van de Universiteit te Marburg (Duitsland). In een groot aantal publikaties geeft hij verslag van zijn onderzoeken in het laboratorium en in de industrie (BARTENWERFER 1957, 1960 a, b, c, d, 1961, BARTENWERFER c.s. 1963). Hij heeft gebruik gemaakt van vele psychologische methoden, zoals vragenlijsten, introspectie, etc. en is tevens de invloed van mentale belasting (psychische Anspannung) nagegaan op vele fysiologische functies. Tijdens mentale belasting neemt de polsfrequentie toe en de sinusaritmie, gemeten volgens de Bündelung-methode (zie hoofdstuk x) af. Zo vond hij bij modelautorijden bij een snelheid 40 een gemiddelde polsfrequentie van 76.5 sl/min, een sinusaritmie van 5.21×0.01 sec, bij een snelheid van 70 waren deze waarden respectievelijk 77.3 sl/min (toename van 1%!) en 4.67×0.01 sec (afname van meer dan 10%!). Ook bij monotonie, slaap, leren van een tekst in korte tijd, etc. bleek steeds een verandering van polsfrequentie en sinusaritmie, afhankelijk van het niveau van activiteit beoordeeld aan de hand van introspectie, prestatie of gedrag. Ook vond hij, zoals uit latere publikaties blijkt, een toename van de gemiddelde bloeddruk. De genoemde verschijnselen hangen niet samen met de aard van het psychische werk of met de intelligentie van de proefpersoon, wel echter met de intensiteit en de duur van de belasting. Niet bestudeerd is het optreden van deze verschijnselen bij affectieve psychische processen. De gevonden veranderingen gelden alleen voor groepsgemiddelden, mogen dus niet als voor elk individu geldend worden beschouwd. Ook vond Bartenwerfer een geringe toename van het O_2 -verbruik tijdens mentale belasting, overeenkomend met 1-3 cc O_2 per slag toename van de hartslagfrequentie (tijdens fysieke belasting is de toename 10-35 cc O_2 per slag toename van de hartslagfrequentie). Deze toename van het O_2 -verbruik bedraagt slechts enkele procenten van de rustwaarden en is dus niet praktisch bruikbaar.

Voor wat betreft de polsfrequentie vond Bartenwerfer een additie van het effect van mentale belasting met dat van lichamelijke belasting en met dat van temperatuurwisselingen. Ook ging hij na of drie kwartier na een lichte belasting of een zware belasting nog een nawerking aantoonbaar was. De polsfrequentie vertoonde hier echter, in tegenstelling met de nawerking na fysieke belasting, geen differentiatie.

Niet altijd werd een duidelijk verband gevonden tussen mentale belasting en verandering van polsfrequentie en sinusaritmie. Men moet zich dan afvragen of er ten opzichte van rust of ten opzichte van de mentale belasting tussen twee taken wel een duidelijke discriminatie mogelijk is. Zowel rustwaarde als een bepaald niveau van mentale belasting kunnen een zekere ruis vertonen, een schommelen om een bepaalde waarde. Taken, overeenkomende met bijvoorbeeld 1449 en 1597 reacties per uur, dit is dus ongeveer 24 en 27 reacties per minuut zoals bij een van de proeven van Bartenwerfer (BARTENWERFER c.s. 1963) zouden ook in onze proefopzet nauwelijks of in het geheel niet tot aantoonbare onderlinge verschillen of tot aantoonbare verschillen met de rustwaarden aanleiding geven. In de industriële situatie gaat het zelden om zulke kleine verschillen.

Ruimtevaart

In de ruimtevaart worden de astronauten aan bijzondere omstandigheden blootgesteld. Naast het uitvallen van de invloed van de zwaartekracht is er sprake van een aanzienlijke vermindering van de informatiestroom naar de cortex. Volgens Gazenko veroorzaakt dit een daling van de tonus van de sympathicus en draagt dit bij tot de 'unloading' (vermindering van mentaal belast zijn) (GAZENKO 1963). Parin c.s. constateerden, dat de sinusaritmie tijdens de vlucht toenam, zowel bij honden als bij de astronauten Gagarin en Titov. Het beeld werd als dat bij gezonde proefpersonen in slaap. Tijdens de slaap gedurende de vlucht was er wel een toenemende bradycardie, maar geen toename van de aritmie. Zij nemen aan dat de tonus van de vagus toeneemt, hetgeen zich behalve in de bradycardie ook uit in een verlenging van de ventriculaire geleiding (PARIN c.s. 1965). De tijdens de slaap gedurende de vlucht optredende bradycardie en het niet toenemen van de sinusaritmie zou verklaard kunnen worden door een toename van de tonus van de vagus, die immers volgens ANREP c.s. (1936) weer zal leiden tot een afname van de sinusaritmie. Waarschijnlijk zal deze afname echter gecompenseerd worden door verandering van de ademhaling. Ook hier dus weer een aanwijzing, dat verandering van de sinusaritmie bij mentale belasting niet alleen berust op verandering van het adempatroon, maar dat ook de tonus van de vagus hierbij van belang is.

Overzicht van de verkregen resultaten

Uit dit literatuuroverzicht blijkt een ondersteuning van de eerder vermelde resultaten. We kunnen nu een en ander voorlopig samenvatten. Mentale belasting, in de zin van informatieverwerking per tijdseenheid, wordt vergezeld van:

- a. toename van de polsfrequentie; deze is echter zeer gering, niet altijd aanwezig en moeilijk te differentiëren van de toename van de polsfrequentie door de lichte fysieke belasting, door affectieve invloeden, door temperatuurschommelingen of door houdingsveranderingen.
- b. vermindering van de onregelmatigheid van het hartslagpatroon, de sinusaritmie; niet alle bepalingsmethoden geven echter een goed resultaat bij het bepalen van de invloed van mentale belasting.
- c. toename van de systolische en diastolische, of gemiddelde bloeddruk.
- d. toename van ademfrequentie en een zeer geringe toename van de zuurstofopname.

Tijdens kortdurende belastingen is de relatieve verandering van de sinusaritmie groter dan die van de andere parameters. Bij langdurige zware mentale belasting is mogelijk de bloeddruk een belangrijke indicator, dit is nog onvoldoende nagegaan.

Bovenstaande resultaten gelden voor groepsgemiddelden, inter-individueel zijn de waarden in rust, speciaal voor de sinusaritmie, en de relatieve veranderingen onder invloed van mentale belasting gekenmerkt door een grote spreiding.

Poging tot interpretatie

Polsfrequentie en bloeddruk staan onder invloed van het vagus-sympathicus-evenwicht. De sinusaritmie is, naast een functie van de ademhaling, vooral een functie van de tonus van de vagus. De toename van de bloeddruk, hoewel gering, wijst op een toenemende invloed van de sympathicus via toenemende perifere vasoconstrictie. Men zou dan echter meer constant een iets duidelijker toename van de polsfrequentie verwachten. Mogelijk echter wordt de invloed van de toenemende sympathicus-tonus gedeeltelijk opgeheven door een toenemende tonus van de vagus. Indien dit zo is, dan zal hierdoor ook de sinusaritmie beïnvloed worden, deze wordt immers ook bij toename van de tonus van de vagus onderdrukt. De invloed van de versnelling van de ademhaling wordt dan dus ondersteund door de verandering van de tonus van de vagus. Deze redenering is

voorlopig zuiver speculatief, maar maakt het mogelijk de verschillende verschijnselen te zien onder één noemer, namelijk die van diffuse verandering van de invloed van het vegetatieve zenuwstelsel. Hierbij veronderstellen we dus een toename zowel van de parasymphathische als van de sympathische tonus. Daar waar beide systemen inwerken en elkaars werking tegengaan, zal dus slechts een gering of geheel geen effect aantoonbaar zijn (polsfrequentie), daar waar in het bijzonder de werking van de sympathicus (perifere vaatdoorbloeding) of van de vagus alleen (sinusaritmie) overwegend tot uiting komt, zal het effect duidelijker zijn. Het evenwicht tussen sympathicus en parasympathicus zal volgens deze speculaties nauwelijks beïnvloed worden. Dit is wel het geval bij toename van het energieverbruik, waar zoals wij zagen de sympathicus geactiveerd en de vagus geremd wordt.

Vraagstelling

De voorgaande overwegingen hebben de vraag doen rijzen of er iets meer gevonden kon worden over het onderling verband tussen de verschillende verschijnselen. Het experiment met gecombineerde fysieke en mentale belasting is genoemd in het hoofdstuk over de sinusaritmie. Dit gaf wel aanwijzingen, maar geen duidelijke uitspraak wat betreft voorgaande overwegingen. In een groter onderzoek zijn vele verschijnselen tegelijk vervolgd. Als uitgangspunt voor dit onderzoek dienden de volgende vragen:

1. kunnen we de eerder gevonden resultaten bevestigen, ook bij meerdere graden van mentale belasting, daarbij tevens gegevens verkrijgend over de perifere vaatdoorbloeding?
2. is er samenhang aantoonbaar tussen de verschillende verschijnselen?

Hiernaast werden de volgende nevenvragen gesteld:

3. is er verschil tussen mannelijke en vrouwelijke proefpersonen, wat betreft het gedrag tijdens mentale belasting?
Toelichting: de hiervoor behandelde proeven waren alle gedaan met mannelijke proefpersonen.
4. Is er verband tussen persoonlijkheidskenmerken en fysiologische variabelen, zowel in rust als tijdens mentale belasting?
5. Hoe is het verband tussen een geautomatiseerde scoringsmethode en de tot nog toe gebruikte methode voor scoring van de sinusaritmie bij mentale belasting?

Dit onderzoek zal in de volgende hoofdstukken besproken worden.

HOOFDSTUK XII - DE OPZET VAN EEN NIEUW ONDERZOEK

Inleidende opmerkingen

Uit de beschouwingen die aan de tot nu bereikte resultaten werden verbonden, is een nieuwe vraagstelling voortgevloeid. Voor een beantwoording is een proefopzet vereist, waarbij al de fysiologische verschijnselen tegelijk geregistreerd worden. Het gevaar is daarbij groot dat door het aanbrengen van alle elektroden, manchetten en wat dies meer zij en het manipuleren daarmee tijdens het onderzoek een cumulatie van hinderlijke ervaringen bij de proefpersonen optreedt, en dat de factor die men wil onderzoeken, in casu de invloed van de mentale belasting, in het geheel niet tot zijn recht komt. Om het onderzoek succesvol te laten verlopen, dient men zich dan ook sterke beperkingen op te leggen en alleen die methoden te kiezen die voor de proefpersoon slechts geringe hinder meebrengen. Daarom is bijvoorbeeld afgezien van het gebruik van een spirograaf. Een andere moeilijkheid bij het opzetten van een proefserie is de vraag, welke apparatuur op dat moment beschikbaar is. Ook indien de financiële middelen beschikbaar zijn, duurt het soms nog jaren voordat een bepaalde, voor het onderzoek noodzakelijk geachte apparatuur, afgeleverd wordt.

Al deze overwegingen hebben geleid tot een proefopzet zoals verder beschreven zal worden. Deze proefopzet betekent dus een compromis tussen de wens zo veel mogelijk fysiologische verschijnselen zo nauwkeurig mogelijk te registreren en de mogelijkheid respectievelijk toelaatbaarheid om dergelijke methoden toe te passen.

Bij een enigszins uitgebreid onderzoek met polygrafische registratie verkrijgt men al spoedig zo'n grote hoeveelheid materiaal, dat hierop zeer vele statistische bewerkingsmethoden kunnen worden losgelaten. Deze bewerkingen zijn echter alleen zinvol, indien het basismateriaal en de proefopzet daarvoor geschikt zijn en interpretatie van de resultaten verantwoord is. Niet altijd echter is bij de proefopzet rekening gehouden met vragen die eventueel later nog gesteld konden worden. Bij de uitwerking van de resultaten is de

toepassing van statistische bewerkingen beperkt tot die vragen waarop een antwoord reeds van te voren zinvol leek. Ook toen nog bleek zoveel materiaal voorhanden, dat voor een deel van de bewerkingen gebruik gemaakt moest worden van een computer. Hiervoor is dankbaar gebruik gemaakt van de faciliteiten van het Mathematisch Centrum te Amsterdam.

Niet alle fysiologische verschijnselen, die vroeger werden onderzocht zijn bij dit onderzoek bepaald. Zo bleven verschillende respiratoire verschijnselen buiten beschouwing. Anderzijds is gezocht naar nog een andere circulatoire maat voor de sympathicusinvloed. Hiervoor is gebruik gemaakt van een eenvoudige plethysmograaf.

Tevens is van de gelegenheid gebruik gemaakt een nieuwe elektronische methode voor scoring van de sinusaritmie te testen.

De proefsituatie

Zoals alle onderzoek vond ook dit onderzoek plaats in een gewone laboratoriumruimte bij kamertemperatuur. Hierbij zijn dus niet alle invloeden van buiten of van de apparatuur uitgesloten. Dit wordt niet als nadeel gezien, volledige isolatie van de proefpersoon zou mogelijk tot deprivatieverschijnselen aanleiding kunnen geven. Ook bij een eventuele toepassing in de industrie zal volledige isolatie niet mogelijk zijn. Bovendien betreft het onderzoek de bestudering van invloeden van een taak op de mens in een concrete situatie. In de zelfde ruimte als de proefpersoon bevond zich alle apparatuur alsmede de proefleider en de assistent. Enige afscherming van de proefpersoon werd gegeven door een tussen proefpersoon en apparatuur geplaatst kamerscherm, terwijl door het dragen van een koptelefoon geluiden van buiten zeer moeilijk konden doordringen.

De proefpersoon zat tijdens het onderzoek op een stoel, waarvan de zithoogte aangepast kon worden aan de beenlengte, zodat het bedienen van de pedalen geen extra inspanning vereiste. De linkerarm rustte op een hoge tafel, deze reikte ongeveer tot borsthoogte. Hiermee werd tevens bereikt, dat de houding van de proefpersoon tijdens het onderzoek vrijwel constant bleef.

Het uitzicht van de proefpersoon werd voornamelijk gevormd door een grijze wand.

Een schema van de indeling en gebruikte apparatuur wordt gegeven in figuur 12, een overzichtsfoto in figuur 13.

De proefpersonen

Voor het onderzoek hadden zich 24 proefpersonen beschikbaar gesteld. Deze groep bestond uit 12 mannelijke studenten in de leeftijd van 19 tot 26 jaar en 12 vrouwelijke studenten in de leeftijd van 18 tot 23 jaar. Zij ontvingen een geringe vergoeding. Een mannelijke en een vrouwelijke proefpersoon hadden al eens aan een minder uitgebreid onderzoek naar mentale belasting deelgenomen, dit was echter meer dan een half jaar geleden. De andere proefpersonen hadden nooit eerder aan een dergelijk onderzoek deelgenomen. De studenten waren afkomstig van verschillende studierichtingen van beide Amsterdamse Universiteiten.

Procedure

Tijdens een eerste zitting werden de proefpersonen enigszins gewend aan de situatie. Zij kregen een summiere instructie over het doel van het onderzoek. Daarna werden zij 'ingespannen', vier elektroden werden opgeplakt, bloeddrukmanchet omgelegd en vingerplethysmograaf aangebracht. Na instellen van de apparatuur kreeg de proefpersoon instructie voor de binaire-keuzetaak (tonen-pedalen) en daarna oefende hij korte tijd. Dit leverde voor geen van de proefpersonen enige moeilijkheden op. Hierna werd een korte proef gedaan: 3 minuten rust, 3 minuten 20 signalen, 3 min. 35 en 3 minuten 50 signalen per minuut, waarna weer 3 minuten rust. Tijdens deze proef werd de bloeddruk regelmatig gemeten, terwijl de andere fysiologische functies continu geregistreerd werden.

De tweede proefzitting volgde een dag tot een week na de eerste, afhankelijk van de beschikbaarheid van de proefpersoon op een willekeurig tijdstip tussen 9 en 17 uur. Tijdens de tweede proefzitting werden eerst de elektroden, bloeddrukmanchet en plethysmograaf aangebracht, de hoogte van de stoel geregeld, de apparatuur aangezet en bijgesteld tot een goede registratie verkregen werd. Na enig oefenen volgde de feitelijke proef met verschillende graden van mentale belasting, opgeroepen door een taak met de binaire keuze-generator (tonen-pedalen). Deze proef duurde een half uur. Na afloop van de proef werd de binaire-keuzegenerator overgeschakeld op vrij tempo. De proefpersonen kregen gedurende een minuut gelegenheid zich te oefenen op deze taak. Daarna kregen zij de opdracht in drie minuten zoveel mogelijk signalen goed te beantwoorden. Voor de mannelijke proefpersonen volgde hierna een oefening met de gecombineerde taak fietsen – mentale belasting.

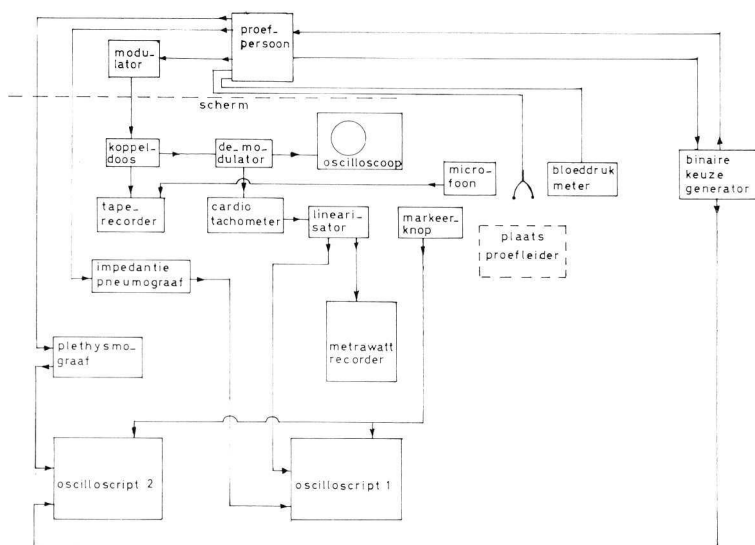


FIG. 12. Schema van de opstelling van de apparatuur tijdens een onderzoek naar de invloed van mentale belasting op enkele fysiologische parameters.

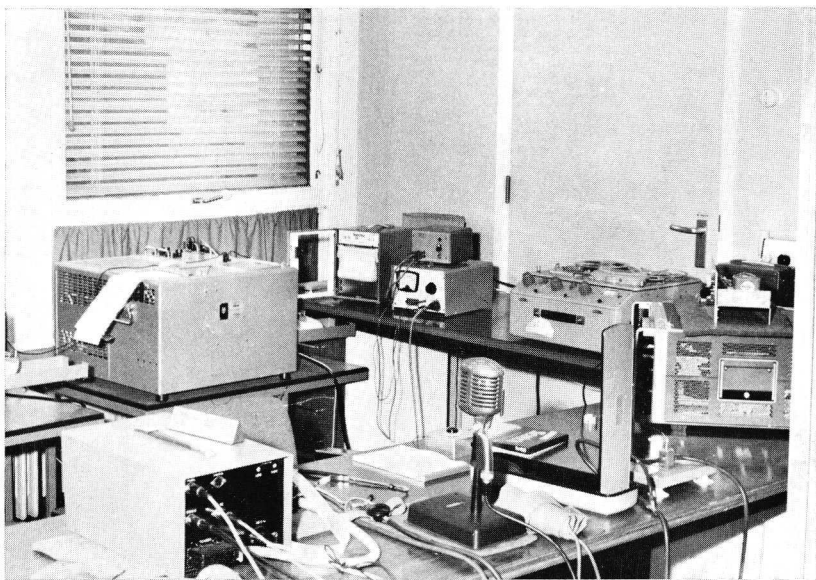


FIG. 13. Overzichtsfoto van een gedeelte van de onderzoekruimte.

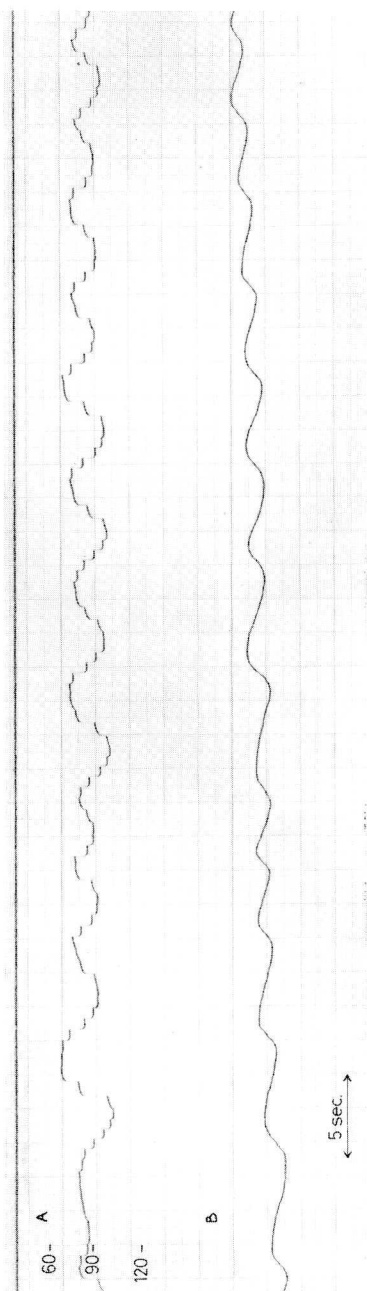


FIG. 14. Cardiotachogram (A) en impedantie-pneumogram (B), geregistreerd met een Oscilloscript-recorder, papersnelheid 30 cm/min. In dit geval wordt elke inademing gevolgd door een periode van polsversnelling.

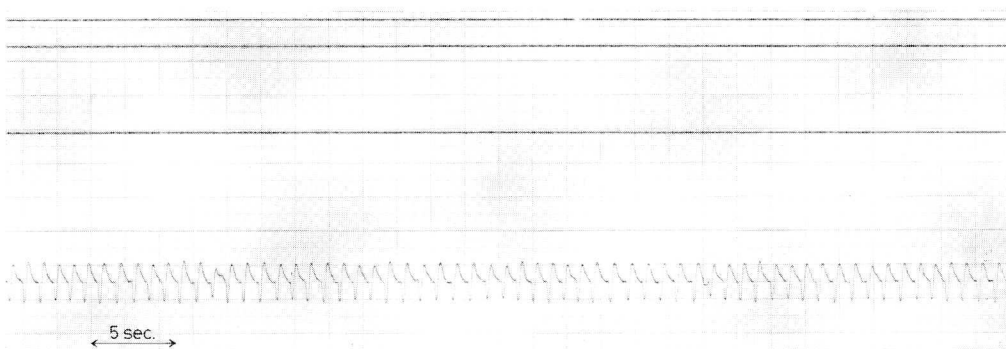


FIG. 15. Voorbeeld van een registratie van het fotoplethysmogram. Oscilloscript-recorder, papersnelheid 30 cm/min.

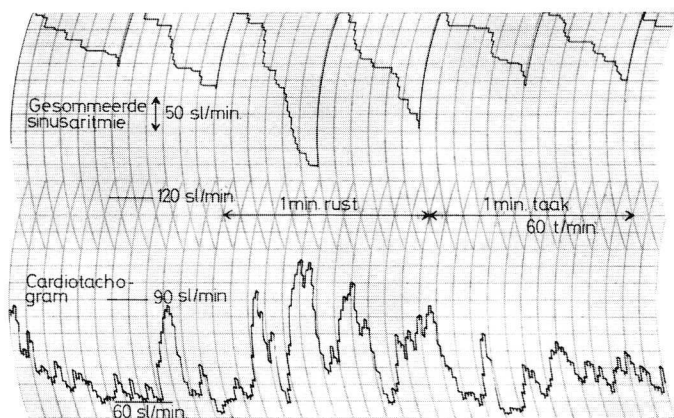


FIG. 16. Cardiotachogram en gesommeerde sinusaritmie (methode II).

In een derde proefzitting werd de proef met deze taak verricht (beschreven in hoofdstuk IX). Na afloop van de proefserie werd van alle proefpersonen een A.B.V. (Amsterdamse Biografische Vragenlijst) afgenomen. De resultaten hiermee worden besproken in hoofdstuk XIV.

De uitwendige belasting

De uitwendige belasting bestond uit taken met behulp van de binaire keuzegenerator. In een vast tempo van 20, 30, 40 of 50 signalen per minuut werden auditieve signalen aangeboden via een koptelefoon. De auditieve signalen bestonden uit in toevalsvolgorde aangeboden hoge en lage tonen. Een hoge toon moest beantwoord worden door het intrappen van een onder de rechter voet geplaatst pedaal, een lage toon door het intrappen van een onder de linker voet geplaatst pedaal. Alle aangeboden signalen, de goed beantwoorde, de fout beantwoorde en de niet beantwoorde signalen werden geregistreerd op aparte tellers. De opdracht was geen fouten te maken, hierbij werd een geringe tolerantie aangehouden van 3%. Het werd belangrijk geacht, dat tussen de uitvoering van de taken een duidelijk verschil in geleverde prestatie bleef bestaan.

De proef bestond uit 6 condities van 5 minuten, in totaal dus 30 minuten. De condities waren:

1. 0 signalen per minuut (rust)
2. 20 signalen per minuut
3. 30 signalen per minuut
4. 40 signalen per minuut
5. 50 signalen per minuut
6. herstelrust.

De volgorde van de condities 1 t/m 5 werd systematisch gewisseld (beperkt random) om volgorde-effecten in de groep als zodanig op te heffen. De herstelrust, altijd aan het eind van de proef, werd toegevoegd, omdat vroeger de indruk verkregen was dat de herstelrust minder gestoord zou worden door preoccupatie van de proefpersoon en beter met een normale rustconditie zou overeenkomen.

In tegenstelling met de meeste vroegere experimenten is hier de uitwendige belasting niet gegeven in percentage van de individuele maximale capaciteit maar in absolute waarden (in sign/min); dit om de proefopzet niet te gecompliceerd te maken.

Enige minuten na afloop van deze proef werd, zoals reeds gezegd,

de maximale capaciteit bij vrij tempo bepaald (3 minuten). Deze laatste opdracht was dus niet tijdens een eerdere proefzitting geoefend.

Registratie van polsfrequentie en sinusaritmie

Het met behulp van drie borstelektroden verkregen E.C.G.-signaal werd gevoerd naar een modulator geplaatst bij de proefpersoon. Het gemoduleerde signaal werd via een schakelknop gevoerd naar:

- bandrecorder (Ferrograaf), loopsnelheid 19 cm/sec.
- naar een demodulator.

Het gedemoduleerde signaal werd vervolgens geleid naar:

- oscilloscoop; hierop kon dus doorlopend het E.C.G. van de proefpersoon gevolgd worden, dit om na te gaan of tijdens de proef storingen in de geleiding van de signalen optraden en of tijdens de proef de proefpersoon E.C.G.-afwijkingen zou gaan vertonen.
- de cardi tachometer, waaraan aangesloten een linearisator.

De naar frequentieschaal gelineariseerde output van de cardi tachometer werd vervolgens geschreven op:

- metrawatt-recorder, loopsnelheid 2 cm/min.
- oscilloscript-recorder, 2 kanalg, loopsnelheid 30 cm/min.

Het op de band opgenomen E.C.G.-signaal werd na afloop van de proef gebruikt voor:

- bepaling van de sinusaritmie volgens de door het M.F.I.-T.N.O. ontwikkelde methode.
- bepaling van de polsfrequentie. Hierbij werd door afdraaien van de band na demodulering het signaal nog eens toegevoerd aan de cardi tachometer. De digitale output van de cardi tachometer (alle R-toppen na elkaar) werd toegevoerd aan een teller, die per halve minuut het aantal R-toppen summeerde.

Modulator, demodulator en schakelkast zijn gemaakt naar ontwerp van het M.F.I.-T.N.O. te Utrecht (ir. J. Kuiper).

Bepaling van de bloeddruk

De bloeddruk werd volgens Riva-Rocci-Korotkow bepaald. De slangen van manchet naar bloeddrukmeter en van de stethoscoop waren verlengd, zodat de proefleider op enige afstand (ongeveer

1.50 m) van de proefpersoon de metingen kon verrichten. De bloeddrukmeter was aangesloten aan een persluchtreservoir via een regelkraan, zoals beschreven door Terpoorten (TERPOORTEN 1967). Dit vergemakkelijkte het oppompen en leeg laten lopen van de manchet zeer. De bepaling van de bloeddruk tijdens de proef vond elke minuut plaats en wel tussen de 20e en 40e seconde van elke minuut.

Registratie van de ademhaling

Hierbij werd dankbaar gebruik gemaakt van een impedantie-pneumograaf, ontworpen en beschikbaar gesteld door het Medisch Fysisch Instituut T.N.O. te Utrecht (ir. J. Kuiper).

Impedantie-pneumograaf

De impedantie-pneumograaf vindt haar toepassing bij ademvolumemetingen, waar afgezien moet worden van metingen direct in de luchtstroom en waar de registratie van borstomvang-variaties niet voldoende betrouwbaar is.

Wanneer tussen 2 elektroden op de thorax de elektrische impedantie wordt gemeten, blijkt deze groter te worden bij inademing en kleiner bij uitademing. De impedantie-variatie bedraagt ongeveer 1% bij een ademvolumeverandering van 1 liter. Zij is afhankelijk van de bouw van de proefpersoon.

Van dit verschijnsel wordt bij de impedantie-pneumografie gebruik gemaakt. Een constante wisselstroom van ongeveer 100 μ A, met een frequentie van 50 kHz, wordt via 2 elektroden door de thorax gestuurd. Het spanningsverschil tussen de elektroden is een maat voor de impedantie; deze wisselspanning wordt door het ademen gemoduleerd. Het signaal wordt versterkt, gedetekteerd en geregistreerd.

Het resultaat is een curve, die gelijkvormig is aan het spirogram (fig. 14).

Het impedantie-pneumogram werd geschreven op de oscilloscript-recorder, waarop ook het cardiogram geschreven werd (papier-snelheid 30 cm/min); dit om voor een eventueel later onderzoek vergelijking van beide registraties, mede met het oog op eventuele faseverschuiving, mogelijk te maken (zie ook hoofdstuk IX).

Het impedantie-pneumogram vertoont volgens onderzoek ver-richt op het M.F.I.-T.N.O., een zeer goede overeenkomst met het spirogram. In de bij dit onderzoek gebruikte opstelling werd veelal een amplitude verkregen van enkele mm, afhankelijk mede van het ademvolume en vooral van de omvang van de proefpersoon. De bepaling van de amplitude en van veranderingen daarvan werd hierdoor zeer onnauwkeurig. Bovendien gelukte het bij enkele proefpersonen niet een geheel storingsvrije registratie te verkrijgen,

vooral de beenbewegingen bij de taakuitvoering gaven nog al eens aanleiding tot artefacten. Mede hierom gelukte het wel de ademfrequentie betrouwbaar vast te stellen, maar niet de amplitude als maat voor het ademvolume. Ook is afgezien van een ijkings van het pneumogram met behulp van een spirometer, omdat deze procedure de proefsituatie sterk zou kunnen beïnvloeden.

Registratie van de polsgolf in de vinger (plethysmografie).

De voortplanting van de schommelingen in bloeddruk en bloedvolume in het circulatoire systeem verloopt volgens zeer ingewikkelde wetten. Deze wetmatigheden worden momenteel bestudeerd door talrijke medisch-fysici onder andere met behulp van analoog computers. Inzicht verkrijgt men door bestudering van publikaties van VAN DER TWEEEL C.S. (1963), BENEKEN (1965) en van verschillende publikaties in het Handbook of Physiology (Section 2: Circulation). Interpretatie van veranderingen in het volume van een vinger is zeer moeilijk. De grootte van de volumeverandering is naast vele andere factoren vooral afhankelijk van de bloeddruk – in het bijzonder van het verschil tussen systolische en diastolische bloeddruk – en van de perifere vaatweerstand in de betreffende vinger. Het valt buiten het bestek van het onderzoek het mechanisme van deze volume- of van eventuele drukveranderingen in de vinger te bestuderen. Toch was er behoefte om het onderzoek aan te vullen met een oriënterend onderzoek naar de perifere vaatweerstand. Voor dit oriënterende onderzoek kon beschikt worden over een eenvoudige fotoplethysmograaf, die vervaardigd was op het M.F.I.-T.N.O. te Utrecht.

Fotoplethysmograaf

De opnemer is samengesteld uit twee delen. Deze twee delen samen worden door een metalen veer aaneen gehouden, zodat een grote knijper verkregen wordt die op de vinger geklemd kan worden. Eén onderdeel bevat enkele lampjes en bevindt zich aan de bovenzijde van de vinger. Het deel dat zich aan de onderzijde bevindt, bevat een gevoelige cadmium-sulphide fotoweerstand. De hoeveelheid licht die de fotoweerstand bereikt is afhankelijk van de hoeveelheid bloed in het doorgelichte deel van de vinger. Door de fotoweerstand in een spanningsdeler op te nemen kan een signaal worden geschreven, dat de volumeveranderingen van de vinger door de polsgolf veroorzaakt aangeeft.

Het apparaat werd geklemd op het nagelbed van de linker ringvinger. Het plethysmogram werd geschreven op een tweede oscillo-

script. Deze had dezelfde papiersnelheid (30 cm/min) als de andere oscilloscript (fig. 15).

Aanbrengen elektroden

Bij vorige onderzoeken werd volstaan met het aanbrengen van een soepele, geperforeerde riem om de borstkas. In deze riem waren drie elektroden aangebracht (licht concaaf, verzilverd messing). De riem werd zo aangebracht, dat een goede registratie van het cardiogram verkregen werd. Over het algemeen bevonden zich hierbij de twee elektroden voor het signaal ter hoogte van de vierde intercostaalruimte links aan weerszijde van de medioclaviculairlijn, de derde elektrode ter hoogte van de vierde intercostaalruimte rechts op de medioclaviculairlijn. Traden er storingen op, dan werden de elektroden verplaatst, soms een elektrode op de rug, net zolang tot een goede registratie werd verkregen.

Deze methodiek voldoet goed bij het arbeidsfysiologisch onderzoek, mede door de goede filterwerking van de cardiometer. Voor het onderhavige onderzoek echter was een betere methodiek noodzakelijk, omdat niet alleen de cardiometer, maar ook bandrecorder en oscilloscoop ingeschakeld waren. Bovendien was door het grote aantal te meten parameters onderlinge storing niet uit te sluiten. Voor het pneumogram gold bovendien, dat de impedantie tussen twee elektroden laag moest zijn (lager dan 10 kOhm).

Voor dit onderzoek zijn de voorschriften, opgesteld door de heren Boter en Kuiper van het M.F.I.-T.N.O. voor telemetrische registratie, gevolgd (BOTER en KUIPER 1965). Volstaan kon worden met het aanbrengen van vier elektroden, de neutrale elektrode werd zowel gebruikt voor het E.C.G. als voor de registratie van het impedantie-pneumogram. Allereerst werd de plaats waar een elektrode bevestigd zou worden schoongemaakt met ether en daarna met wat schuurpoeder licht geschuurd, zodat net geen irritatie van de huid optrad. De elektroden waren convex en gevat in plastic. Met behulp van dubbelzijdig plakkend cellofaan werden de elektroden opgeplakt, nadat eerst voldoende pasta was aangebracht. De elektroden voor het E.C.G. werden geplaatst, één aan de bovenrand van het sternum, de ander ter hoogte van de vierde intercostaalruimte links even lateraal van de medioclaviculairlijn. De elektroden voor de pneumografische registratie werden aangebracht links en rechts ter hoogte van de onderrand van het sternum tussen voorste en achter-

ste axillairlijn, de rechtse elektrode diende tevens als neutrale elektrode voor de registratie van het E.C.G.

Technische voorzieningen en storingen

Met het oog op toepassing in de industrie is het nuttig te wijzen op de maatregelen die getroffen moesten worden om storingen zoveel mogelijk te onderdrukken. Ook in de industrie heeft men namelijk veelal last van allerlei elektronische apparatuur, die als storingsbronnen kunnen optreden. De vele apparaten gebruikt bij het onderzoek waren evenzovele bronnen van storing. Vooral de binaire-keuzegenerator bleek nogal last te veroorzaken. Deze werd daarom geaard, evenals de pedalen en de registratieapparatuur. Bovendien werden alle snoeren die nodig waren voor de geleiding van de signalen van E.C.G., impedantie-pneumograaf en fotoplethysmograaf naar de verschillende recorders ommanteld. De pedalen werden geïsoleerd, daar bleek dat bij proefpersonen met natte schoenen inductiestromen van de pedalen de registraties stoorden.

Ondanks deze voorzorgen bleek het nodig één keer het onderzoek tien minuten te onderbreken wegens een duidelijk gestoord pneumogram, dat na veel zoeken bleek veroorzaakt te zijn door het oproepsysteem van het gebouw.

Zoals vermeld werd het pneumogram bij enkele proefpersonen gestoord door de bewegingen van de benen tijdens de taakuitvoering. Dit werd veroorzaakt omdat de huid onder de elektroden over de onderhuidse vetlaag heen bewoog. Bij een pycnische, wat gezette proefpersoon lukte het niet een goede registratie te verkrijgen, deze is door een andere vervangen. Bij een andere proefpersoon gelukte een goede registratie pas nadat de elektroden met lange pleisters meer stabiel ten opzichte van de borstkas bevestigd waren.

Om onderlinge vergelijking van de verschillende registraties mogelijk te maken, werd zoveel mogelijk synchroon op alle registraties het begin van de proef en het begin van elke conditie aangegeven. Voor de registraties op de oscilloscripten geschiedde dit met behulp van een markeerknop, die op beide recorders op een apart kanaal een merk aanbracht en op de metrawatt door het zetten van lijnen en aanwijzingen op het registratiepapier. Door de proefleider werden via een microfoon de verschillende tijdstippen op de band ingepreut.

Naast bovengenoemde registraties werden ook de door de binaire-keuzegenerator gegeven signalen als pulsen weergegeven, en wel op de tweede oscilloscript naast het plethysmogram.

Bewerking van de registraties

Van alle fysiologische parameters werd per minuut de waarde bepaald. De *polsfrequentie* werd bepaald door de getallen, die met behulp van de teller waren verkregen en het aantal R-toppen in een halve minuut weergaven, twee aan twee op te tellen.

De *sinusaritmie* werd op twee manieren gescoord.

Het cardi tachogram, geregistreerd met de metrawatt-schrijver werd gescoord volgens de in hoofdstuk v beschreven methode, zoals die later (hoofdstuk x) is gecorrigeerd. De zo verkregen waarden zijn niet zonder meer vergelijkbaar met de eerder verkregen waarden. De tussengeschakelde linearisator heeft namelijk de logaritmische frequentieschaal omgezet in een lineaire schaal. Bovendien is de papierbreedte bij de metrawatt groter dan bij de dwarf-recorder. De afstand tussen de tolerantelijnen van 2.5 mm komt in deze bewerking overeen met 2.8 sl/min (sin. ar.I).

Tevens werd de sinusaritmie nog eens elektronisch gescoord volgens een door ir. J. Kuiper en de heer J. Boter ontwikkelde methode. Deze bepaling vond plaats op het M.F.I.-T.N.O. te Utrecht met behulp van het op de band opgenomen E.C.G.-signaal.

Beschrijving van de meetopstelling voor het bepalen van de sinusaritmie II.

De mate van sinusaritmie wordt bepaald door de absolute waarden van de positieve variaties in de hartslagfrequenties te sommeren over een in te stellen periode (1 minuut).

De meetopstelling is samengesteld uit de volgende afzonderlijke instrumenten:

1. demodulator
2. cardi tachometer
3. gelijkspanningsversterker
4. differentiator
5. wisselspanningsversterker
6. analoog-digitaal omzetter
7. digitale sommotor
8. digitaal-analoog omzetter.

Als ingangssignaal wordt gebruik gemaakt van het tijdens de experimenten op de magnetische band opgenomen elektrocardiogram. Bij het verwerken van de banden wordt het uitgangssignaal van de bandrecorder gedemoduleerd en aangeboden aan de cardi tachometer. Deze cardi tachometer is, om de nauwkeurigheid te verhogen, voorzien van een speciaal tijdmeet-circuit. Dit zet een E.C.G. (R.R.)-interval om in een elektrische spanning.

Een gelijkspanningsversterker met hoge ingangsimpedantie, om het elektronisch geheugen niet te belasten, versterkt het uitgangssignaal van het tijdmeet-circuit.

Een differentiator bepaalt nu de absolute waarde van elke, zowel positieve als negatieve, variatie van de hartslagfrequentie.

Deze verschilspanning wordt toegevoerd aan een wisselspanningsversterker, die slechts de spanningen, die een gevolg zijn van een stijgende hartslagfrequentie, versterkt.

Een analoog-digitaal-omzetter vertaalt de topamplitude van deze uitgangsspanning in een aantal impulsen, die in de sommatie over een willekeurige tijd worden opgeteld.

Een digitaal-analoog-omzetter verzorgt tenslotte de omzetting van het aantal gemeten impulsen in een analoge spanning, die op een galvanometerschrijver wordt geregistreerd (fig. 16).

Technische gegevens van de opstelling:

meetbereik: 1-8 hartslagen/min per hartslag

meettraject: 60-132 hartslagen/min

lineariteit over meettraject: ongeveer 2%

nauwkeurigheid: ongeveer 2%

Bij deze methode worden dus alle verschillen tussen twee opeenvolgende slagen gemeten bij toenemende hartfrequentie (zie formule in hoofdstuk x, pg. 94), dus indien $T_n > T_{n+1}$; hierbij wordt geen tolerantie in acht genomen. Eveneens is er bij deze methode geen referentie aan een gemiddelde. Deze methode wordt bij het vermelden van de resultaten aangegeven als: sin. ar. II.

De *systolische en diastolische bloeddruk* werden één maal per minuut bepaald en uitgedrukt in mm Hg.

De *ademfrequentie* werd bepaald door per minuut het aantal excursies in het impedantiepneumogram te tellen.

De *amplitude van de vingerpols* werd gemeten door op het oog het gemiddelde te bepalen van de amplitudes van de verschillende excursies van het plethysmogram over steeds één minuut. Evenmin als bij het pneumogram is er een uniform verband tussen amplitude van de vingerpols en amplitude van de excursie, interindividueel kan dit verband anders zijn, afhankelijk van de dikte van de vinger, kwaliteit van de lampjes, etc.

Ook de *dicrote top* werd bepaald. Deze dicrote top, samenhangend met de terugslag golf, zou eerder volgen na de top van de excursie of hoger op de curve komen, naarmate de perifere vaatweerstand achter de plaats van de meting toeneemt (GREEN c.s. 1963). Per minuut werd op het oog de gemiddelde verticale afstand tussen top van de curve en de dicrote top bepaald. Deze afstand werd zowel absoluut in mm gemeten, als omgerekend in percentage van de gemiddelde amplitude. De bruikbaarheid van de methode is gecontroleerd door steekproefsgewijs een aantal excursies te vergelijken. De verticale afstand tussen top en dicrote top, zowel absoluut als in percentage,

werd vergeleken met het verschil in tijd tussen top en dicrote top. Inderdaad werd gevonden, dat de verticale afstand tussen top en dicrote top als regel kleiner werd als de dicrote top eerder na de top van de polsgolf volgde.

Bepaling van het gemiddeld niveau van het plethysmogram leverde bij deze apparatuur geen informatie op over de actuele gemiddelde bloedvulling, de curve was namelijk min of meer gestabiliseerd. Veneuze-occlusie-plethysmografie kon dan ook niet toegepast worden. De bepaling van de plaats van de dicrote top ten opzichte van de excursie bood echter de mogelijkheid om inzicht te verkrijgen in de mate van perifere vasoconstrictie (sympathicuswerking); de amplitude is geen directe maat voor de vasoconstrictie maar wordt mede bepaald door de bloeddruk.

Verdere bewerking

De aldus verkregen minuutwaarden voor de verschillende parameters werden op verschillende manieren bewerkt. Allereerst werden per conditie per minuut de gemiddelden voor de hele groep berekend. Vervolgens werd per proefpersoon per conditie van elke parameter het gemiddelde bepaald van de waarden van de 3e, 4e en 5e minuut. De waarden van de 1e en 2e minuut, beschouwd als instelperiode, werden hierbij dus niet betrokken. De individuele gemiddelden voor elke conditie van elke parameter werden vervolgens gebruikt voor statistische bewerkingen. Tevens werd voor elke parameter voor de hele groep de gemiddelde waarde per conditie (dus over 3e, 4e en 5e minuut) berekend, terwijl van de herstelrust tevens de standaarddeviaties van deze waarden werden berekend. Deze laatste dienen alleen ter oriëntatie om een inzicht te verkrijgen in de interindividuele verschillen, voor statistische berekeningen zijn zij niet toegepast. Van de conditie maximum werd per parameter per proefpersoon de gemiddelde waarde over de 2e en 3e minuut berekend, deze waarde vormde uitgangspunt voor verdere bewerkingen.

Voor een beschrijving van de gebruikte statistische methoden wordt verwezen naar DE JONGE (1963).

De resultaten van de verschillende bewerkingen zullen in een volgend hoofdstuk besproken worden.

HOOFDSTUK XIII - RESULTATEN VAN HET ONDERZOEK

Korte beschrijving van de proef

Aan het onderzoek namen 12 mannelijke en 12 vrouwelijke proefpersonen (studenten) deel. Er waren 6 condities van 5 minuten, aaneensluitend, bestaande uit een rustperiode (0 sign/min) en aan het eind van de proef een periode van rust (herstelrust) en 4 condities van mentale belasting. De opeenvolging van de vier condities van mentale belasting, bestaande uit een binaire-keuzetaak (tonen-pedalen) van respectievelijk 20, 30, 40 en 50 sign/min, werd met die van de conditie 0 sign/min systematisch gewisseld. Deze proef van een half uur werd na enkele minuten (gemiddeld 10 minuten) gevolgd door een bepaling van het maximum (unpaced) gedurende 3 minuten. Tijdens de proef werden continu geregistreerd:

- het cardi tachogram, waaruit bepaald werden polsfrequentie, sin. ar. I en sin. ar. II;

- het pneumogram, waarvan bepaald werd ademfrequentie;

- het plethysmogram, waaruit bepaald werden amplitude en plaats van de dicrote top;

- terwijl discontinu de bloeddruk werd gemeten.

Tijdens de bepaling van het maximum werden alleen het cardio tachogram (polsfrequentie en sin. ar. I), de bloeddruk en het pneumogram geregistreerd; het plethysmogram en de registratie op de bandrecorder (sin. ar. II) werden niet opgenomen.

Van 2 proefpersonen kon door technische moeilijkheden de sin. ar. II niet bepaald worden.

Verschil tussen mannelijke en vrouwelijke proefpersonen

Allereerst werd nagegaan of er verschil was aan te tonen in de prestaties of in de fysiologische reacties tussen de groep mannelijke en de groep vrouwelijke proefpersonen. Hiertoe werden vergeleken de maximale prestaties en de waarden van de fysiologische verschijnselen voor het gemiddelde van de 3e, 4e en 5e minuut van herstelrust en van de conditie 50 sign/min. Ook de waarden verkregen

met behulp van de Amsterdamse Biografische Vragenlijst werden vergeleken. In niet een van deze bepalingen werd een aanwijzing gevonden van een verschil tussen beide groepen (toets van Wilcoxon: n.s.).

Bij de bewerking van de gegevens is daarom aangenomen, dat de groep van 24 proefpersonen als een geheel beschouwd mocht worden.

De uitvoering van de taak

De uitvoering van de taak beantwoordde in alle gevallen aan de opdracht. Het aantal fouten en weglatingen overschreed niet één keer een tolerantie van 3%. Gemiddeld bedroeg het aantal fouten respectievelijk weglatingen voor de gehele conditie van 5 minuten van: 20 sign/min 0.1 fouten en 0.1 weglatingen
30 sign/min 0.7 fouten en 0.2 weglatingen
40 sign/min 1.8 fouten en 0.3 weglatingen
50 sign/min 3.4 fouten en 1.0 weglatingen
en tijdens de 3 minuten durende bepaling van het maximum: 2.1 fouten. Tussen de prestaties van de condities 20, 30, 40 en 50 sign/min bleek bij alle proefpersonen een duidelijk verschil aanwezig te zijn. Voor de bepaling van de maximum prestatie werd het aantal fouten afgetrokken van het aantal goede antwoorden. Het zo bepaalde maximum bedroeg gemiddeld 189.8 signalen (range: 161 — 220), of 63.3 sign/min (range 54 — 73 sign/min).

Effect van de mentale belasting op de fysiologische verschijnselen

Voor elke parameter werden de verkregen getallen per conditie verzameld. De gemiddelde waarden voor elke minuut zijn weer gegeven in figuur 17. Deze figuur toont aan, dat er bij toenemende belasting een geleidelijke verandering optreedt in de gemiddelde waarden van alle parameters. Een systematische toename zien we van polsfrequentie, ademfrequentie, systolische en diastolische bloeddruk en eveneens van de amplitude van het plethysmogram, een afname van de andere parameters. Voor de statistische toetsing werden per proefpersoon allereerst de gemiddelde waarden per conditie van 3e, 4e en 5e minuut berekend. De groepsgemiddelden, die hier weer uit zijn berekend, zijn vermeld in tabel 17. Alleen voor de herstelrust zijn de standaarddeviaties berekend, deze dienen alleen ter oriëntatie voor de interindividuele spreiding.

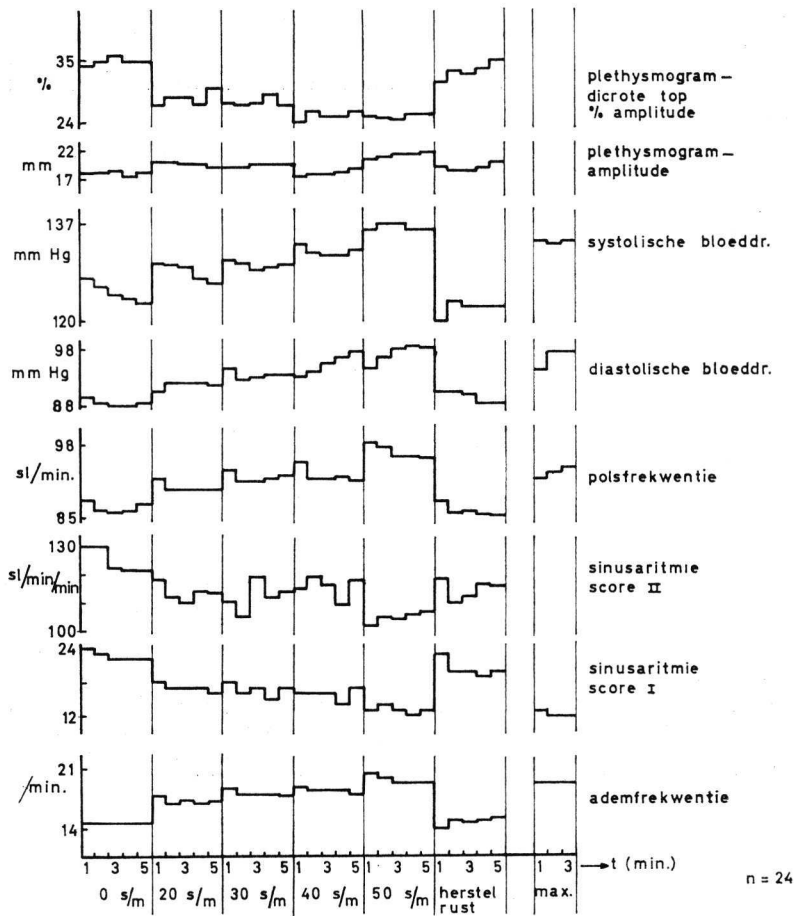


Fig. 17. Gemiddeld verloop van verschillende fysiologische verschijnselen onder invloed van mentale belasting (binaire-keuzetaak, tonen-pedalen, respectievelijk 0, 20, 30, 40 en 50 sign/min); tevens tijdens de herstelrust en tijdens bepaling van het maximum.

Deze bewerkingen betekenen allereerst een bevestiging van eerder gevonden conclusies en een ondersteuning van de aan de hand van figuur 17 getrokken conclusies. De tendens tot toename of afname van de grootte van de parameter blijkt bij nadere bestudering zelfs zeer significant. Voor de meeste parameters mag men namelijk nog een significant afwijkend verloop aannemen indien men als norm

TABEL 17. Effect van een mentale belasting (bin. keuzetaak tonen/pedalen) op verschillende fysiologische parameters. Gegeven zijn de groepsgemiddelden van de waarden voor de 3e, 4e en 5e minuut van elke conditie, van de herstelrust zijn tevens de standaarddeviaties vermeld (tussen haakjes). (Conditie maximum 2e en 3e min).

Parameter	Conditie										
	Binaire keuzetaak					Herstel- rust	Max.	Verloop 0 → 50	Verschil 0-her- stelrust	Verschil max. 50	Verschil max. 40
	0 s/m	20 s/m	30 s/m	40 s/m	50 s/m						
Polsfrequentie sl/min	86.5	90	92	91.6	96	85.6 (10.2)	93.8	toename	n.s.	n.s.	n.s.
Sinusaritmie I	22	17	16	15	13	20 (11)	20	afname	0 > her- stelrust	n.s.	max. < 40
Sinusaritmie II* sl/min/min	122.4	113	115.1	114.5	105.7	115.1 (53)	—	afname	0 > her- stelrust	—	—
Systolische Tensie mm Hg	123.8	127.8	129.6	131.9	136.2	122.6 (12.5)	133.8	toename	n.s.	n.s.	n.s.
Diastolische Tensie mm Hg	88.4	91.8	93.3	96.5	98.6	89 (8)	97.5	toename	n.s.	n.s.	n.s.
Plethysmog. amplit. mm	18.2	19.4	19.6	18.5	21.6	19.4 (10)	—	toename	n.s.	—	—
Plethysmogram dicrote top(abs)	6.7	7.1	6.6	5.3	6	7 (5)	—	afname	n.s.	—	—
Plethysmogram dicrote top (% ampl)	34.8	28.5	27.8	25.3	25.1	33.5 (2)	—	afname	n.s.	—	—
Ademfrequentie per min	15.5	18	19	19.5	20.3	15 (2)	21.2	toename	n.s.	max. > 50	max. > 40

Verloop getoetst indien verloop afweek van normaalverdeling ($\alpha < .05$ -toets v. Friedman)

Verschil getoetst voor $\alpha < .10$ dubbelz. (rangtekentoets.)

n = 24

* n = 22.

een $\alpha < .005$ aanneemt, alleen voor sin. ar. II geldt een $\alpha < .025$.

Gevonden werd dus een duidelijke systematische toename tijdens toenemende mentale belasting van polsfrequentie, ademfrequentie, systolische en diastolische bloeddruk en eveneens van de amplitude van de vingerpols. Een afname werd gevonden van de waarden voor de sin. ar. I en II en van die voor de verticale afstand tussen dicrote top en top van de excursie in het plethysmogram, wijzend op een vervroegd optreden van de dicrote top.

Verder werd nagegaan of tussen de waarden voor de eerste rust en die voor de herstelrust verschil aantoonbaar was. Dit werd alleen gevonden voor de sinusaritmie-scores ($\alpha < .10$), waarbij tegen de verwachting in tijdens de herstelrust een geringere waarde werd gevonden.

Tijdens de uitvoering van de taak bij maximale inspanning bleek de ademfrequentie groter te zijn dan bij de 50 sign/min-conditie ($\alpha < .02$), terwijl de score voor de sin. ar. I en die voor sin. ar. II kleiner, en de ademfrequentie groter waren ($\alpha < .01$) tijdens de conditie maximum dan tijdens de conditie 40 sign/min. Dit wijst er op, dat gemiddeld de mentale inspanning tijdens de bepaling van het maximum niet veel verschilde van die tijdens de zwaardere belastingen van 40 en 50 sign/min.

De relatieve betekenis van de gevonden veranderingen

Alle onderzochte parameters bleken dus een verandering te vertonen onder invloed van mentale belasting. De mate van verandering is echter niet voor alle parameters gelijk. Dit wordt duidelijk, indien we de waarden gevonden voor de zwaarste belasting (50 sign/min) vergelijken met die van de rust (0 sign/min). In percentage van deze rustwaarden vinden we de volgende getallen voor de gemiddelde waarden van de parameters tijdens de conditie 50 sign/min:

polsfrequentie:	119% van de rustwaarde
sinusaritmie I:	59% van de rustwaarde
sinusaritmie II:	86% van de rustwaarde
syst. bloeddruk:	110% van de rustwaarde
diast. bloeddruk:	112% van de rustwaarde
pleth. amplitude:	119% van de rustwaarde
dicrote top abs.:	90% van de rustwaarde
dicrote top %:	72% van de rustwaarde
ademfrequentie:	131% van de rustwaarde.

Opvallend zijn vooral de bij deze proeven gevonden veranderingen van sinusaritmie I, dicrote top % en van de ademfrequentie, deze zijn 30 tot 40% van de rustwaarde. Bij de andere parameters is de gevonden verandering geringer. Deze bevinding is in overeenstemming met wat reeds eerder gevonden werd.

Verskil tussen twee afzonderlijke taken

Hoewel duidelijk de trend tot toename of afname van de verschillende parameters onder invloed van mentale belasting is aangetoond, kan het gewenst zijn ook tussen twee afzonderlijke taken, die in belasting niet veel verschillen, dit verschil aan te tonen. Daarom is – alleen voor de sin. ar. I – nagegaan of tussen de condities van 0 sign/min tot 50 sign/min stap voor stap verschil aantoonbaar was. Met behulp van de rangtekentoets werd gevonden, dat de sin. ar. I score voor:

cond. $50 \text{ s/m} < 40 \text{ s/m} < 30 \text{ s/m}$, 20 s/m en 0 s/m ($\alpha < .005$ eenz.) en 30 s/m en $20 \text{ s/m} < 0 \text{ s/m}$ (rust) ($\alpha < .025$ eenz.).

Voor de zwaardere belasting bleek dus een duidelijk verschil, tussen de condities 20 en 30 sign/min bleek geen verschil van sin. ar. I score statistisch aantoonbaar. Dit zou er op kunnen wijzen, dat de 'ruis' bij de lichte belastingen de meting van de mentale belasting van een taak kan storen, dat echter tijdens de zware belastingen de invloed van deze 'ruis' minder is. Deze ruis zou kunnen samenhangen met een wisselend niveau van corticale activiteit, samenhangend met spontane activiteiten, die dus boven op de door de taak veroorzaakte activiteit de corticale activiteit beïnvloeden. Tijdens de zware belastingen echter is er geen gelegenheid, geen tijd meer beschikbaar voor deze spontane activiteiten.

Ook bij de fysieke inspanning kennen we een dergelijk verschijnsel. Tijdens lichte inspanning blijkt soms, dat de polsfrequentie niet toeneemt, soms zelfs afneemt, terwijl bij zwaardere inspanning steeds een toename van de polsfrequentie gevonden wordt.

Correlatie van hartritme en ademfrequentie

Terwijl tussen de waarden van de polsfrequentie, sinusaritmie en ademfrequentie bij een proefpersoon in rust geen duidelijke correlatie aanwezig is – de variaties van deze fysiologische verschijnselen verlopen voor een groot deel onafhankelijk van elkaar – kan het zijn, dat de door een uitwendige invloed veroorzaakte verandering van

deze verschijnselen, bijvoorbeeld door fysieke belasting, wel een correlatie doet ontstaan tussen deze verschijnselen.

Dit is ook nagegaan voor de invloed van mentale belasting. Per proefpersoon werden de waarden voor de 3e, 4e en 5e minuut van de condities 0, 20, 30, 40 en 50 sign/min en van de herstelrust van deze parameters vergeleken. Gecorreleerd werden de 18 waarden voor de polsfrequentie, ademprequentie en sinusaritmie I en II. Deze bewerking werd gedaan voor de gegevens van 10 proefpersonen (5 mannelijke en 5 vrouwelijke), willekeurig gekozen. De voor elke proefpersoon gevonden correlatie-coëfficiënten berekend met de rangcorrelatietoets van Spearman vormden de basis voor de berekening van de gemiddelde correlatie-coëfficiënten voor deze groep van 10 proefpersonen. De berekening van de groepsgemiddelden uit de individuele correlaties geschiedde met behulp van transformatie naar Z-scores. De groepsgemiddelden zijn samengevat in tabel 18.

TABEL 18. Correlatie tabel van de onder invloed van mentale belasting tot stand gekomen variaties van polsfrequentie, ademprequentie en sinusaritmie I en II.

	pf	af	SA I	SA II
polsfrequentie		.68	— .46	— .38
ademprequentie			— .53	— .32
sinusar. I				.67
sinusar. II				

Toets van Spearman: alle waarden significant ($\alpha < .005$)
10 proefpersonen, per proefpersoon 4×18 waarden.

Deze bewerking laat de conclusie toe, dat de door de invloed van de mentale belasting veroorzaakte toename van polsfrequentie en ademprequentie en de afname van de sinusaritmie sterker is dan de normale variatie van deze fysiologische verschijnselen. Men mag echter niet zeggen, dat deze veranderingen ook naar omvang gecorreleerd zijn, dat dus een grote toename van de polsfrequentie gepaard gaat met een grote toename van de ademprequentie of omgekeerd. Deze getallen berusten namelijk op per individu berekende coëfficiënten, waaruit voor de groep een gezamenlijke coëfficiënt is berekend.

Correlatie van de mate van verandering van alle parameters

Vindt men bij de ene proefpersoon grote veranderingen van alle parameters tijdens mentale belasting in vergelijking met de rust en bij een andere proefpersoon een geringe, dan kan men geneigd zijn aan te nemen, dat dezelfde taak voor de eerste proefpersoon een zware, voor de tweede proefpersoon een lichte belasting betekent. Vindt men bij een zelfde proefpersoon een sterke verandering van de ene parameter en een geringe verandering van een andere parameter, dan is de veronderstelling gewettigd, dat tussen beide fysiologische verschijnselen een negatieve koppeling aanwezig is. Bij fysieke inspanning, die leidt tot een te hoge bloeddruk kan dit gedeeltelijk gecompenseerd zijn door een lagere polsfrequentie (sinus caroticus reflex). Nagegaan is daarom of ook voor de mentale belasting dergelijke verbanden aangenomen konden worden. Daarvoor zijn de relatieve veranderingen, gevonden tijdens de conditie 50 sign/min ten opzichte van de rustwaarden, onderling vergeleken. Elke gemiddelde waarde voor de 3e, 4e en 5e minuut van de conditie 50 sign/min werd daartoe uitgedrukt in percentage van de gemiddelde waarde voor de 3e, 4e en 5e minuut van de conditie 0 sign/min. Dit gebeurde voor elke proefpersoon en voor elke parameter afzonderlijk. Voor de sin. ar. II werd voor de 2 proefpersonen, waarbij deze niet bepaald kon worden, een gemiddelde waarde aangehouden. Van elke proefpersoon werden zo 9 waarden verkregen, die met de 3 waarden voor de Amsterdamse Biografische Vragenlijst (zie hoofdstuk XIV) werden aangevuld. Van deze 24×12 waarden werd met behulp van de faciliteiten van het Mathematisch Centrum een produktmoment correlatie-matrix samengesteld. Hierbij is niet getoetst of de basisgegevens voldeden aan een normaalverdeling; bij een bekijken van deze getallen verkrijgt men evenwel de indruk, dat geen belangrijke afwijking van een normaalverdeling gevonden zou kunnen worden. Enig voorbehoud bij de beoordeling van de resultaten moet echter wel gemaakt worden. De correlatie-matrix voor de fysiologische parameters, die samengesteld is uit de grotere correlatie-matrix, is gegeven in tabel 19.

Als toelichting op de tabel moge het volgende dienen. Indien bij mentale belasting bij een bepaalde proefpersoon alle parameters een duidelijk verschil te zien geven, zullen de waarden voor de polsfrequentie, systolische en diastolische bloeddruk, ademfrequentie en amplitude van het plethysmogram voor de 50 sign/min in procenten van de rustwaarde een hoge waarde hebben, die voor de

sinusaritmie en dicrote top een lage waarde. Indien voor de hele groep blijkt dat een groot verschil voor de ene parameter ook een groot verschil voor de andere parameters betekent en omgekeerd een klein verschil ook voor de andere parameters een klein verschil, dan zal de correlatie voor de polsfrequentie, bloeddruk, amplitude plethysmogram en ademhaling onderling en die voor de sinusaritmie en dicrote top onderling positief zijn; tussen een van de waarden van de eerste groep parameters, bijvoorbeeld de polsfrequentie, en een van de waarden van de tweede groep parameters, bijvoorbeeld de sinusaritmie, is de correlatie in dit geval negatief. Indien echter een grote toename van de polsfrequentie gepaard gaat met een geringe toename van bijvoorbeeld de ademprequentie en omgekeerd, dan zal de correlatie negatief zijn, en indien ze gepaard gaat met bijvoorbeeld een geringe onderdrukking van de sinusaritmie en omgekeerd, dan zal de correlatie in zo'n geval positief zijn.

Bestudering van de resultaten van deze bewerking maakt het mogelijk enige conclusies te trekken. Allereerst is er nergens sprake van een duidelijk verband dat er op zou wijzen, dat een grote verandering van de ene parameter gecompenseerd zou worden door een geringe verandering van een andere parameter. Voor zover er aanwijzingen zijn dat er verband bestaat tussen de verandering van verschillende parameters onder invloed van mentale belasting, houden deze in dat een grote verandering van de ene parameter over het algemeen gepaard zal gaan met een grote verandering van de andere parameter, een kleine verandering met een kleine verandering. De koppeling is het grootst tussen dicrote top in percentage van de amplitude en in absolute waarde en verder tussen diastolische en systolische bloeddruk. Het verband tussen de twee maten voor de dicrote top, waarvan de eerste mede berekend is uit de tweede, behoeft ons niet te verwonderen. Het verband tussen diastolische en systolische bloeddruk wijst er op, dat de verhoging van de diastolische bloeddruk een duidelijke bijdrage vormt voor de verhoging van de systolische bloeddruk. Tussen polsfrequentie en respectievelijk systolische bloeddruk, ademprequentie en sin. ar. I bestaat een duidelijke correlatie, evenals tussen ademprequentie en respectievelijk systolische bloeddruk en sin. ar. II.

Tussen beide maten voor de sinusaritmie kon geen onderling verband aangetoond worden, dit geldt dus het effect van mentale belasting. Tussen beide maten voor de sinusaritmie en de maten voor de dicrote top echter werd wel een correlatie gevonden. De enige correlatie van de verandering van de amplitude van het

plethysmogram met een verandering van een andere parameter betrof die met de dicrote top %, die mede berekend werd uit deze amplitude. Een zeer hoge correlatie werd nergens gevonden, zodat naast de gevonden verbanden toch een zekere onafhankelijkheid van elk van deze parameters in reactie op de mentale belasting niet onwaarschijnlijk is. Dit wijst er namelijk op, dat de mentale belasting op elk van deze parameters een invloed heeft, die niet duidelijk tot stand komt alleen via een van de andere parameters; een dergelijk mechanisme kan namelijk niet de gehele verandering verklaren. Wel zouden de veranderingen van verschillende parameters samen eventueel een verandering van een enkele parameter kunnen verklaren.

Dit alles wijst er op, dat de verschillende parameters voor het circulatoire systeem weliswaar in dit systeem een regelkring vormen, maar bovendien ieder afzonderlijk nog deel nemen aan andere mechanismen. Het bestuderen van een dergelijke gecompliceerde samenhang van allerlei regelkringen, die bovendien ieder nog eens beïnvloed worden door de mate van corticale activiteit (mentale belasting) kan slechts stap voor stap en uiteindelijk niet zonder de technieken van regelmechanica en de bouw van analoogmodellen gebeuren.

De hier vermelde gegevens kunnen bij het ontwikkelen van een dergelijk onderzoek richtinggevend zijn.

Enkele bijzondere onderwerpen dienen nog besproken te worden.

Plethysmografische gegevens

De waarden voor de amplituden en die voor de dicrote top zijn ogenschijnlijk tegenstrijdig. Onder invloed van mentale belasting neemt de amplitude blijkbaar toe, hetgeen ogenschijnlijk wijst op een vasodilatatie, terwijl de afstand tussen top en dicrote top afneemt, wat wijst op een eerder optreden van de terugslag golf en daarom op een vasoconstrictie. De toename van de amplitude berust echter niet alleen op de mate waarin het vat een dergelijke expansie toelaat, maar ook op de invloed van de druk van het bloed, dat het vat bereikt. Bij deze proeven bleek, dat de bloeddruk onder invloed van mentale belasting duidelijk toeneemt. Bovendien zou een vaatvernauwing juist kunnen bijdragen tot verscherping van de curve van de polsgolf. Een interpretatie van de verandering van de amplitude is dus zeer moeilijk en valt buiten het bestek van het onderzoek.

De toevoeging van de plethysmografische registratie aan het onderzoek was bedoeld ter oriëntatie omtrent de verwachtingen, die bij het toepassen van deze methode kunnen worden gesteld. De gevonden gegevens geven steun aan de wens om na het beschikbaar komen van nieuwe apparatuur, waarbij ook de toepassing van de veneuze occlusie-plethysmografie zin heeft, dit onderzoek voort te zetten. Voorlopig wijzen deze bevindingen er op, dat bij mentale belasting een toename gevonden kan worden van de vasoconstrictie, veroorzaakt door een toename van de tonus van de sympathicus.

Sinusaritmie II

De nieuwe methode voor scoring van de sinusaritmie was eveneens aan het onderzoek toegevoegd ter oriëntatie over de bruikbaarheid ervan. Hierbij werd niet in de eerste plaats gedacht aan een goede correlatie met de eerste methode, maar aan een goede correlatie met de mentale belasting. Inderdaad blijkt de invloed van mentale belasting op de sinusaritmie ook met deze methode goed meetbaar (tabel 18), hoewel de significantie iets minder is. Tussen beide methoden blijkt geen verband aantoonbaar te zijn, indien men uitgaat van de afname van de index tijdens de conditie 50 sign/min (tabel 19). De positieve correlatie tussen beide maten, zoals die blijkt uit tabel 18, wijst er als gezegd alleen op dat per individu beide methoden de invloed van mentale belasting weergeven.

Tussen beide methoden bestaat een goede correlatie indien men uitgaat van de rustwaarden. Daarvoor zijn de waarden volgens beide methoden van de sinusaritmie tijdens de 3e, 4e en 5e minuut van de condities 0 sign/min en herstelrust na middelen, onderling vergeleken. Dit betrof dus $2 \times 22 \times 2$ waarden. De corr. coëff. was .88, $\alpha < .001$ (toets van Spearman). Dit zelfde is gebeurd voor de waarden van de conditie 50 sign/min. Hierbij werd een corr. coëf. gevonden van .72, $\alpha < .001$ (toets van Spearman).

Voor wat betreft het verband tussen sinusaritmie en ademhaling steunt de methode II de opvatting van Angelone, gezien de negatieve correlatie met de ademfrequentie (zie hoofdstuk IX).

Conclusies

Het onderzoek heeft een aantal waardevolle gegevens opgeleverd over de invloed van mentale belasting op circulatoire en respiratoire

verschijnselen. Allereerst kon worden bevestigd, dat onder invloed van mentale belasting, zoals die werd geoperationaliseerd in de binaire-keuzetaak, een toename van polsfrequentie, ademfrequentie, systolische en diastolische bloeddruk en een afname van de sinus-aritmie optreedt. In principe zijn deze veranderingen bruikbaar om de mate van mentale belasting in een taak te relateren aan een binaire-keuzetaak bij verschillende snelheden. Tevens bleek, dat onder invloed van mentale belasting een verkorting optreedt van de tijd tussen top van de vingerpolsgolf en dicrote top, hetgeen wijst op een toename van de tonus van de sympathicus.

Een verschil in invloed van mentale belasting op de verschillende fysiologische verschijnselen tussen mannelijke en vrouwelijke proefpersonen werd niet aangetroffen.

De toepassing van de elektronische methode voor scoring van de sinusaritmie heeft de bruikbaarheid van deze methode aangetoond. De vereenvoudiging van de meetprocedure weegt op tegen de iets geringere gevoeligheid van deze methode vergeleken met de oude.

De toepassing van de plethysmografische registratie heeft tot voldoende goede resultaten geleid om een voortzetting van deze zijde van het onderzoek met meer geschikte apparatuur in de toekomst ter hand te nemen.

HOOFDSTUK XIV - PERSOONLIJKHEIDSKENMERKEN

Mentale belasting en individuele variaties

Bij het onderzoek naar mentale belasting is de aandacht gericht op de invloed van de taak op het menselijk organisme. Door de proefpersoon te laten wennen aan taak en taakomstandigheden, door herhaling van het onderzoek en door ervoor te zorgen dat de taakomstandigheden zo weinig mogelijk belastend waren, is gestreefd naar een zo groot mogelijke uniformiteit in de subjectieve verwerking van opdracht en situatie. Met andere woorden, er is getracht de invloed van de persoonlijke verschillen zo gering mogelijk te houden.

Voor al de laatste jaren echter wijst men er op, dat bepaalde persoonlijkheidskenmerken terug te voeren zijn tot bepaalde constitutionele variaties in het organisme en zoekt men vooral verband tussen deze persoonlijkheidskenmerken en het autonome systeem (LACEY and LACEY 1958, LEVY and LANG 1966). Indien deze koppeling reëel is, zal het niet lukken door bovenstaande maatregelen deze op persoonlijkheidskenmerken terug te voeren fysiologische variaties bij het onderzoek geheel te onderdrukken. Ook bij het onderzoek naar fysiologische veranderingen bij mentale belasting zal dus in principe materiaal aanwezig zijn om de relatie tussen persoonlijkheidskenmerken en fysiologische variabiliteit na te gaan. Sinds enkele jaren wordt dan ook in aansluiting op het onderzoek naar mentale belasting getracht inzicht te krijgen in enkele persoonlijkheidskenmerken van alle proefpersonen met behulp van de vragenlijstmethode.

Psychodiagnostische en ergonomische benadering

Er is een duidelijk verschil tussen de psychodiagnostische en de ergonomische benadering. In de psychodiagnostiek probeert men aan de hand van gedragsuitingen inzicht te verkrijgen in de persoonlijkheid van de onderzochte persoon. Zij is dus gericht op het individu. In de bedrijfspsychologie maakt men gebruik van psychodiagnostische methoden voor de selectie. De bepaling van de persoonlijk-

heidskenmerken pretendeert hier een zekere voorspelling over het gedrag van de onderzochte persoon in bepaalde situaties.

Het ergonomisch onderzoek daarentegen is er op gericht de taak en taakomstandigheden aan te passen aan de capaciteiten van de mens in het algemeen. Wel kan men van ergonomische principes gebruik maken om een bepaalde taak aan te passen aan een bijzondere groep mensen met een bepaalde afwijking, invaliden bijvoorbeeld, maar ook dan is het hoofdmotief de aanpassing van de taak.

Vanwege het verschil in benadering tussen ergonomie en psychodiagnostiek moet men zeer voorzichtig zijn bij het 'vertalen' en inpassen van psychodiagnostische gegevens in het ergonomisch denkmodel. Een op individuele verschillen gericht onderzoek past niet in het ergonomisch kader. Daarom is gemeend het gerichte onderzoek naar het verband met persoonlijkheidskenmerken, voorzover het materiaal uit het ergonomisch onderzoek daar geschikt voor was, af te stoten naar een ander instituut. Alleen de basisgegevens worden vastgelegd; geven deze reden tot verder onderzoek, dan wordt dit niet door ons gedaan.

Enkele jaren geleden kwam daartoe een contact tot stand met de psychologen dr G. J. S. Wilde en drs L. Pannekoek van het Instituut voor Clinische Psychologie van de Rijks Universiteit (i.c.i.p.) te Utrecht. Met de laatste is het contact verder voortgezet. Dit contact heeft er toe geleid, dat voortaan van alle proefpersonen een vragenlijst werd afgenomen, namelijk de Amsterdamse Biografische Vragenlijst (A.B.V.).

De Amsterdamse Biografische Vragenlijst (A.B.V.)

De A.B.V. is ontworpen door dr. G.J.S. Wilde met behulp van enkele in het buitenland in gebruik zijnde vragenlijsten (WILDE 1963). De vragenlijst is aangepast aan de Nederlandse bevolking. Door scoring van de antwoorden verkrijgt men bepaalde waarden voor een aantal persoonlijkheidskenmerken. De waarden worden gegeven in percentielen, overeenkomend met de verdeling van de Nederlandse bevolking. Gemeten volgens de A.B.V. zijn de volgende persoonlijkheidskenmerken bepaald:

N: neurotische instabiliteit, zich manifesterend in psychoneurotische klachten;

NS: neurotische instabiliteit, zich manifesterend in functionele somatische klachten;

E: sociale extraversie;

T: testattitude (deze is niet in de verdere bewerkingen betrokken).

De intercorrelatie tussen deze kenmerken is gering ($< .20$), met uitzondering van die tussen N en NS (voor mannen: 0.57, voor vrouwen 0.42). Een normaal verdeelde populatie zal worden gekenmerkt doordat van alle kenmerken alle percentielen van 0-100 in gelijke aantallen voorkomen. Hierbij zullen de stabiele figuren een lage N-score, de introverte figuren een lage E-score verkrijgen.

WELFORD (1966) wijst op het belang, dat de bepaling van persoonlijkheidskenmerken ook voor de ergonomie heeft en verwacht, dat instabiele, introverte personen voor sommige taken, bijvoorbeeld vigilantietaken, beter geschikt zullen zijn dan stabiele, extraverte personen, maar anderzijds onder ernstige stress eerder zullen afknappen.

De A.B.V.-scores van de proefpersonen

De A.B.V. scores van de proefpersonen, die deelnamen aan het laatste onderzoek waren:

voor de 12 mnl. proefpersonen:	voor de 12 vrl. proefpersonen:
N: gem. 75, range 25-96	N: gem. 63, range 23-99
NS: gem. 64, range 47-86	NS: gem. 55, range 26-83
E: gem. 39, range 2-97	E: gem. 50, range 2-95

Tussen de groep mannelijke en de groep vrouwelijke proefpersonen was voor deze waarden geen verschil aantoonbaar (toets van Wilcoxon n.s.).

Uit de in het vorige hoofdstuk vermelde correlatie-matrix werd ook een correlatietabel voor de N-, NS- en E-scores samengesteld (tabel 20).

TABEL 20. Correlatietabel (product-moment) voor de factoren N, NS en E, bepaald volgens de A.B.V. van de 24 proefpersonen die deelnamen aan het onderzoek.

N	+ 1.0000		
NS	+ .1489	+ 1.000	
E	- .6015	- .2963	+ 1.000
	N	NS	E

vetgedrukt getal significant ($\alpha < .05$).

Bij deze groep kon dus geen verband tussen de N- en NS-score aangetoond worden. Opvallend is echter de (negatieve) correlatie tussen de N- en E-score. Dit blijkt bij nadere analyse vooral te berusten op het betrekkelijk groot aantal proefpersonen met een hoge N- en een lage E-score, dus introverte, instabiele proefpersonen. Volgens deze normen zou de groep proefpersonen geen goede steekproef zijn uit de gehele populatie. Een verklaring zou kunnen zijn, dat we hier te doen hebben met een groep proefpersonen met een hoog IQ (studenten), dit is echter in tegenspraak met het onderzoek van Wilde, hij vond geen verband tussen IQ en de testscores. Een andere verklaring zou kunnen zijn, dat de werkstudenten die zich voor dit soort onderzoek lenen juist de labiel, introverte figuren zijn. De vrouwelijke proefpersonen zijn echter door persoonlijke relaties geworven om als proefpersoon op te treden, zij zijn bijna alle afkomstig uit één studentendispuut, ook dit kan op zichzelf een selectie betekenen.

Voor een definitieve uitspraak is echter de groep te klein, te veel toevallige factoren kunnen een rol spelen. Verder onderzoek zou meer licht kunnen werpen op de persoonlijkheidskenmerken van speciaal de Amsterdamse studenten.

A.B.V.-scores en fysiologische veranderingen bij mentale belasting

De correlatie-matrix, berekend op het Mathematisch Centrum en vermeld in hoofdstuk XIII, bevatte naast de correlaties voor de relatieve waarden van de fysiologische parameters tijdens de conditie 50 sign/min, ook die voor de N; NS- en E-scores. Een positieve correlatie tussen deze scores en die van de fysiologische parameters betekent, dat bij mentale belasting een hoge percentiel-waarde voor N, NS of E gepaard zal gaan met een grote toename van de betreffende parameter als het effect van de mentale belasting een toename inhoudt, of met een geringe afname als het effect een afname van de betreffende parameter is. Omgekeerd zal een negatieve correlatie inhouden, dat een hoge percentielwaarde voor N, NS of E gepaard zal gaan met een geringe toename, respectievelijk een grote afname van de betreffende parameter onder invloed van mentale belasting.

Bij deze bewerking is dus uitgegaan van de individuele waarden voor elke parameter voor het gemiddelde van de 3e, 4e en 5e minuut van de conditie 50 sign/min, uitgedrukt in percentage van de gemiddelde waarde van de 3e, 4e en 5e minuut van de conditie 0 sign/min. De samengestelde correlatietabel is gegeven in tabel 21.

TABEL 21. Produkt-moment correlatie tabel van de correlaties tussen de factoren N, NS en E, gemeten volgens de A.B.V., en de relatieve waarden van de fysiologische parameters tijdens de conditie 50 sign/min in percentage van de waarden tijdens de conditie 0 sign/min, en tevens tussen de factoren N, NS en E en de maximale prestatie (unpaced).

	N	NS	E
sinusaritmie I	+ .4855	+ .0759	- .3848
sinusaritmie II	+ .4761	+ .1744	- .1249
polsfrequentie	- .1693	- .2074	- .0520
ademfrequentie	- .4827	- .2133	+ .0698
amplitude pleth.	+ .1591	- .2917	+ .0866
dicrote top abs.	+ .3072	- .0454	+ .1591
dicrote top %	+ .3451	- .2980	+ .1755
systolische tensie	- .0573	- .1628	- .2012
diastolische tensie	- .0484	- .2301	- .1483
maximum	- .3786	+ .2103	- .0607

n = 24

de vetgedrukte getallen zijn significant ($\alpha < .05$)

Bij deze bewerking werden maar weinig correlaties gevonden. Een hoge N-score betekent over het algemeen, dat tijdens mentale belasting de proefpersoon slechts een geringe onderdrukking van de sinusaritmie, bepaald volgens beide methoden, en een geringe vasoconstrictie (dicrote top %) zal vertonen, en dat de maximale prestatie gering is. De geringe onderdrukking van sinusaritmie en de geringe vasoconstrictie zouden ook kunnen berusten op het feit, dat tijdens de conditie 0 sign/min reeds (door preoccupatie?) een effect, gelijk aan dat van mentale belasting, aanwezig was.

Met de NS-score werd geen enkele correlatie gevonden, terwijl met de E-score alleen een negatieve correlatie gevonden werd met de sin. ar. I., extraverte figuren worden blijkbaar gekenmerkt door een grote onderdrukking van de sinusaritmie tijdens inspanning. Volgens WELFORD (1966) zouden deze extraverte figuren gekenmerkt worden door een lage arousal, wat een laag activiteitsniveau in rust betekent. Dit betekent weer een hoge sinusaritmie in rust, en – mede door de geringe mogelijkheid tot 'shed load' – een grote onderdrukking bij mentale belasting.

A.B.V.-scores en de rustwaarden voor de fysiologische verschijnselen

Reeds vroeger kon een verband aangetoond worden tussen de N-score en de variabiliteit van de sinusaritmie tijdens verschillende perioden van rust (ETTEMA 1965a). Deze bewerking was geïnspireerd op een onderzoek van Wiersma, die vond, dat het bij neurotische personen moeilijk was een betrouwbare waarde voor de sinusaritmie tijdens rust te verkrijgen (WIERSMA 1911). Vergeleken werd toen de variatie van de sinusaritmiewaarden, verkregen tijdens perioden van rust en gemeten op verschillende dagen met de N-scores. Een grotere variatie-coëfficiënt werd gevonden bij proefpersonen met een hoge N (toets v. Spearman: $r_s = +.49$, $n = 16$, $\alpha < .05$ eenz.).

De absolute waarden voor de verschillende parameters, geldend voor de gemiddelde waarden voor de 3e, 4e en 5e minuut, werden gecorreleerd met de N-, NS- en E-scores. Tevens werd van elke proefpersoon de s.d. berekend voor de waarden van sinusaritmie I van de 3e, 4e en 5e minuut van de condities 0 sign/min en herstel-rust, dus de s.d. van 6 waarden. Deze spreidingsmaat is dus een maat voor de spreiding van de sinusaritmie tijdens rust in een zelfde proefsituatie. De gegevens zijn vermeld in tabel 22.

TABEL 22. Produkt-moment correlatie tabel van de correlaties tussen de factoren N, NS en E, gemeten volgens de A.B.V. en de absolute rustwaarden van de verschillende fysiologische parameters, bepaald tijdens een onderzoek naar de invloed van mentale belasting.

	N	NS	E
s.d. sin. ar. I	— .4287	+ .0436	+ .2138
sinusar. I	— .4112	— .1819	— .0482
sinusar. II	— .6737	— .2718	+ .1742
polsfrequentie	— .2831	— .2542	+ .0460
ademfrequentie	+ .3366	— .1965	— .1441
systolische tensie	— .1057	— .0278	— .2007
diastolische tensie	— .0593	+ .1406	— .0707

$n = 24$

de vetgedrukte getallen zijn significant ($\alpha < .05$)

Als enige gevolgtrekking uit deze bewerking kan men opmerken, dat een hoge N-score over het algemeen gepaard zal gaan met een geringe waarde voor de sinusaritmie, die tijdens de proef gedurende de rust vrij stabiel is. Hierbij geldt als beperking, dat de maat voor

de s.d. gegeven was in absolute waarden; indien de spreiding relatief gelijk bleef zou bij een lagere waarde van de sinusaritmie ook een lagere waarde voor de absolute waarde van de s.d. gevonden worden.

Deze geringe waarde in rust kan, althans gedeeltelijk, de geringe onderdrukking van de sinusaritmie tijdens mentale belasting verklaren.

Conclusie

Ook bij het onderzoek naar mentale belasting, uitgaande van een bepaalde taak, blijkt het mogelijk de samenhang aan te tonen van de interindividuele variaties van het effect dat mentale belasting heeft op verschillende fysiologische functies met bepaalde persoonlijkheidskenmerken. De gevonden correlaties tussen in het bijzonder de N-score en de sinusaritmie, zowel in rust als tijdens mentale belasting, kunnen een interessant uitgangspunt vormen voor verder onderzoek.

HOOFDSTUK XV - EINDBESPREKING

Het begrip mentale belasting

Aan het begin van het onderzoek hebben we ons de vraag gesteld of het mogelijk zou zijn voor taken, die vooral een belasting betekenen voor de mentale vermogens van de mens, een begrippenstelsel te ontwerpen, analoog aan dat voor de fysieke belasting. Kalsbeek heeft onlangs een overzicht gegeven van zijn pogingen, om vanuit de experimentele psychologie inhoud te geven aan deze begrippen (KALSBEK 1967). Hij deed dit op grond van een analyse van de taak en van de met behulp van een taaksimulator gedane experimenten. Het ontwikkelde denkmodel werd besproken in de eerste hoofdstukken, maar dan duidelijk vanuit het stelsel van begrippen rondom de fysieke belasting en tegen de achtergrond van het medisch-arbeidsfysiologisch denken. Hierbij kwam de conclusie naar voren dat er, wil er sprake zijn van belasting, ook sprake moet zijn van fysiologische veranderingen. Het hier besproken onderzoek was er dan ook vooral op gericht de basis te leggen voor het begrip fysiologische of functionele mentale belasting. Hierbij werd gezocht naar een samenhang tussen uitvoering van mentaal belastende taken en het optreden van circulatoire en respiratoire veranderingen.

Inderdaad is het gelukt op deze wijze een hele reeks van veranderingen aan te tonen die optreden onder invloed van mentale belasting. Hierbij bleek bovendien, dat deze veranderingen groter worden naarmate de belasting toeneemt. Door te experimenteren vanuit dit denkmodel voor de mentale belasting is het mogelijk gebleken te komen tot een duidelijke uitspraak over de functionele belasting.

De conclusie is dus gewettigd, dat het alle zin heeft om binnen dit raam van begrippen te trachten de invloed van mentaal belastende taken in de praktijk nader te omschrijven. Op deze manier zal het in principe mogelijk zijn, daar waar nodig, te komen tot een ergonomisch verantwoorde inrichting van taak en taakomstandigheden en daarbij dus rekening te houden met de capaciteiten van de mens.

Voor het zover is zal nog heel wat onderzoek moeten gebeuren. Om een weg te vinden in de gecompliceerde problematiek was het namelijk noodzakelijk bij het onderzoek allerlei beperkingen aan te brengen. De consequenties hiervan dienen nader besproken te worden.

Zeggingskracht van de statistische bewerkingen

De hier vermelde resultaten hebben alle betrekking op een groep proefpersonen tussen de 18 en 28 jaar. Mogen we de conclusies nu meer algemeen geldend stellen? Uit het onderzoek komt naar voren, dat de onderhavige problematiek niet een psychologische, maar primair een fysiologische is. Gezien de grote mate van uniformiteit in het fysiologisch gebeuren bij alle leeftijdsgroepen is men eerder geneigd om aan te nemen, dat deze conclusies ook voor andere leeftijdsgroepen zullen gelden. Deze opvatting wordt voor wat betreft het cardiogram gesteund door bevindingen, die wel incidenteel, maar toch altijd bij enkele tientallen proefpersonen, in leeftijd variërend van 15-68 jaar, zijn gedaan. Gemeend is daarom de conclusies als algemeen geldend te mogen beschrijven, zij het met enig voorbehoud.

De betrouwbaarheid van een statistische uitspraak hangt af van de betrouwbaarheid van de gegevens, die men bewerkt. De wijze, waarop deze gegevens zijn verkregen, is vermeld. Het onderzoek naar de samenhangen van de gevonden verschijnselen was vooral oriënterend bedoeld; de verbanden, die met behulp van de produkt-moment correlatiebewerkingen werden gevonden zijn meer hypothesevormend dan toetsend. De andere gebruikte statistische methoden zijn non-parametrisch, hiermede werd een uitspraak gedaan over een trend in de veranderingen, maar niet over de grootte van de veranderingen. Deze is namelijk sterk individueel bepaald en, mede gezien de grote spreidingen, nogal variërend.

Informatieverwerking en mentale belasting

Als specifiek kenmerk voor de mentale belasting werd gezien de mate van vereiste informatieverwerking per tijdseenheid. Naast deze informatieverwerking spelen er bij de taakuitvoering in een concrete situatie allerlei factoren mee, die zeker belastend zullen zijn, maar ogenschijnlijk weinig met informatieverwerking van doen hebben. Welford heeft een poging gedaan althans een aantal van

deze factoren, zoals verantwoordelijkheid, motivatie en persoonlijkheidskenmerken te vatten in een informatie-theoretisch bestek (WELFORD 1966). Ook Kalsbeek heeft een schets gegeven van de wijze waarop men een aantal van deze factoren kan onderbrengen in het denkmodel (KALSBECK 1967). Deze pogingen dienen voortgezet te worden om te kunnen komen tot een gekwantificeerde kennis van de bijdrage van deze factoren tot de mentale belasting. Hier ligt allereerst een taak voor de experimentele psychologie. Pas als beschikt kan worden over een goed begrip kan het onderzoek naar de mate van functionele belasting aan de hand van fysiologische veranderingen succesvol plaats vinden.

Voor wat betreft de informatieverwerking zelf is vooral aandacht geschonken aan de overschakeling van input naar output, aan de bijdrage van identificatie- en stuurmechanismen is grotendeels voorbijgegaan. Enkele waarnemingen steunen de opvatting, dat het langs gelijke wegen mogelijk zal zijn ook de gecompliceerdheid van informatieaanbod of van de gestuurde beweging te evalueren (Spaans verhaal, reactograafproeven). Verder onderzoek naar de bijdrage tot de belasting van deze aspecten van de informatieverwerking in het kader van het ontwikkelde denkmodel zal waarschijnlijk goed mogelijk zijn.

De binaire-keuzetaak als simulator voor uitwendige belasting

Als vorm van uitwendige belasting is bij het onderzoek veelal gebruik gemaakt van de binaire-keuzegenerator. De voordelen hiervan zoals eenvoudige taakuitvoering en het goed kwantificeerbaar zijn, zijn evident. Maar als bezwaren zou men kunnen beschouwen het ritmisch karakter van de taak, vooral bij een gedwongen tempo, en de – zij het geringe – fysieke belasting. Deze bezwaren doen echter geen afbreuk aan de waarde voor ons onderzoek van de binaire-keuzegenerator. Ten eerste is het onwaarschijnlijk, dat de fysiologische verschijnselen, met name de polsfrequentie en de ademfrequentie in het ritme van de taak worden meegetrokken; het ritme van de taak is namelijk zeker geen heel veelvoud van de ademfrequentie en de polsfrequentie zeker geen heel veelvoud van de taak. En vervolgens gaan vele industriële taken ook gepaard met een lichte fysieke belasting, terwijl ze eveneens een ritmisch karakter kunnen hebben. De resultaten van ons onderzoek behoeven dus voor toepassing in de praktijk niet onbruikbaar te zijn.

Bovendien zijn de experimenteel gevonden fysiologische ver-

anderingen, vooral die in het cardiogram, bevestigd door de uitkomsten van een eerste onderzoek in de praktijk, waarbij taken werden bestudeerd, die een zware mentale belasting geven (verkeersleiding, telefonisten, montagearbeidsters). Ee zijn dus goede redenen om te veronderstellen, dat de gevonden resultaten in grote mate representatief zijn voor de mate van mentale belasting, die door de bijdrage van andere aspecten van informatieverwerking wordt veroorzaakt.

Mentale belasting en expositietijd

De hier vermelde resultaten berusten veelal op experimenten waarbij continu een bepaalde belasting werd gegeven gedurende 3 of 5 minuten. Deze tijd is lang in vergelijking met veel psychofysiologisch onderzoek, waarbij wordt getracht bepaalde fysiologische veranderingen op te wekken door kortdurende stimuli (pijnprikkels, emotie, lawaai, etc.), die eventueel meerdere malen tijdens een langere duur van de proef worden herhaald, maar elk slechts enkele seconden tot een halve minuut effect hebben.

Deze tijd van 3 tot 5 minuten is echter kort, vergeleken met die waarin in de industrie mensen belast worden. Het zal noodzakelijk zijn om de resultaten van het onderzoek te toetsen bij langdurige expositie. Enkele resultaten bij duurproeven zijn reeds vermeld, ook het verrichte onderzoek in de industrie bestond uit een langdurige registratie gedurende de arbeid van 1 tot enkele uren.

Om te kunnen oordelen of bij een bepaalde taak de uitwendige belasting de grenzen van het toelaatbare overschrijdt, dient men de tijdens de taak gevonden fysiologische veranderingen te interpreteren. Men zal dan moeten komen tot een indeling in lichte belasting die toelaatbaar is voor de gehele achturige werkdag, en zware belasting die bijvoorbeeld toelaatbaar is voor kortdurende perioden (half uur), en daartussen zal men nog enkele gradaties moeten inbrengen. Voor het zover is zal nog een uitgebreid onderzoek nodig zijn – vooral tijdens langdurige taakuitvoering – en moeten de gevonden gegevens gerelateerd worden aan andere criteria, zoals ziekteverzuim, kwaliteit van de taakuitvoering, etc.

Onderzoek in de industrie

Door het verrichte onderzoek is de basis gelegd om te komen tot een meer succesvol onderzoek in de industrie. Gewezen is al op de

technische moeilijkheden die zich daarbij kunnen voordoen. Verder is het van belang de proefpersonen goed voor te bereiden, evenals de omgeving. Herhaling van het onderzoek na enkele uren of dagen is vereist, om de invloed van subjectieve factoren te verminderen.

Naast het onderzoek tijdens het werk kan elke proefpersoon enkele malen 'geijkt' worden met behulp van de binaire-keuzegenerator, waarbij de zelfde fysiologische functies worden gemeten als tijdens de uitvoering van de industriële taak. Op deze manier is het mogelijk de tijdens de taak gevonden fysiologische verschijnselen te vergelijken met die, welke tijdens de binaire keuzetaken werden gevonden. Vindt men bijvoorbeeld tijdens de uitvoering van de industriële taak een sinusaritmieonderdrukking, die even groot is als tijdens de uitvoering van een binaire-keuzetaak van 40 sign/min, dan zal de mentale belasting van de industriële taak overeenkomen met een mentale belasting van een taak met 40 sign/min. Een vertaling van de industriële taak in een goed gekwantificeerde taak kan zo tot stand komen.

Voor het onderzoek in de industrie leent zich de cardiotachometrische registratie bijzonder goed. Toch lijkt het van belang en vaak goed uitvoerbaar te zijn om ook andere fysiologische parameters te gebruiken, in het bijzonder de bloeddruk.

De functionele belasting

De functionele of fysiologische belasting werd gedefinieerd als het geheel van de fysiologische veranderingen, die optreden als gevolg van een uitwendige mentale belasting. Het onderzoek heeft zich beperkt tot veranderingen van enkele circulatoire en respiratoire verschijnselen. Ongetwijfeld zullen ook een groot aantal andere veranderingen aangetoond kunnen worden. Hierbij valt allereerst te denken aan andere vegetatieve functies, die tot veranderingen van de galvanische huidreflex, huidtemperatuur en andere meetbare verschijnselen aanleiding kunnen geven. In het bijzonder dus vegetatieve functies die direct onder invloed staan van het vegetatieve zenuwstelsel.

Ook verschijnselen die onder invloed staan van het centrale zenuwstelsel kunnen veranderingen vertonen, met name spierspanning, oogbolbeweging etc. Enkele in de literatuur vermelde onderzoekingen wijzen in deze richting. Men kan verwachten dat de grootste veranderingen onder invloed van mentale belasting zullen optreden in de corticale mechanismen. Hier is men vooral aangewezen op het

elektro-encefalografische onderzoek. Het E.E.G. geeft geen volledige weergave van wat plaats vindt in de cortex. Toepassing van de in de literatuur vermelde gegevens omtrent veranderingen die onder invloed van psychische factoren in het E.E.G. optreden, is niet zonder meer mogelijk. Veelal zijn deze veranderingen, zoals bijvoorbeeld onderdrukking van het alfa-ritme, gevonden bij kortdurende invloeden. Ontwikkeling van het E.E.G. als meetprocedure bij het bepalen van mentale belasting zal dan ook nog een uitgebreid onderzoek vergen. Bovendien zal toepassing in de praktijk op allerlei technische en psychologische bezwaren stuiten.

Circulatoire belasting?

Bij de fysieke belasting kent men het begrip circulatoire belasting. Bij lichamelijke inspanning, vooral bij inschakeling van enkele spiergroepen, ligt het knelpunt veelal in de capaciteit van de circulatie (hartminutenvolume). Niet alleen voor het gehele organisme, maar speciaal voor het hart, betekent een zware inspanning een grote belasting. Vergeleken met de veranderingen die optreden tijdens fysieke belasting, is er bij mentale belasting nauwelijks sprake van een extra belasting van de circulatie. Er is een geringe polsversnelling en een geringe toename van de bloeddruk. De betekenis van het regelmatigere kloppen van het hart voor de belasting van het hart is in het geheel niet duidelijk. Toch kan het zijn, dat langdurige zware mentale belasting ook voor het circulatieapparaat belastend werkt. Een onderzoek met duurproeven zou dit duidelijk kunnen maken. Indien bevestigd werd, wat wij in een enkel onderzoek konden vinden, namelijk dat de bloeddruk stijgt bij langdurige mentale belasting, dan zou een basis gelegd kunnen worden voor verder epidemiologisch en psychosomatisch onderzoek. Een verband tussen langdurige mentale (over)belasting en het optreden van pathologische afwijkingen van het circulatoire systeem is op grond van de hier vermelde resultaten niet a priori uit te sluiten.

Voorlopig althans kunnen wij nog niet spreken van circulatoire belasting bij uitvoering van mentale taken, daarvoor zijn de gevonden veranderingen van het circulatieapparaat te gering.

Op dezelfde gronden is het spreken over respiratoire belasting bij mentaal belastende taken weinig zinvol.

Circulatoire veranderingen onderdeel van regelkring?

Tot nog toe zijn de gevonden veranderingen beschouwd als parameters. Ze werden gezien als gevolg van de veranderingen in de mate van informatieverwerking. Er is geen aandacht geschonken aan de vraag, of deze veranderingen noodzakelijk waren, met andere woorden of bij het niet optreden van deze veranderingen de taakuitvoering beïnvloed zou worden. Interessant in dit verband is een reeks onderzoeken verricht in het psychologisch laboratorium van prof. J. Paillard te Marseille. Tijdens het bepalen van reactietijden werd tevens het E.C.G. geregistreerd. Daarbij werd het moment bepaald, waarop de stimulus werd gegeven. Vervolgens werd bepaald op welke plaats in de hartcyclus dit moment was terug te brengen, dus bijvoorbeeld tijdens de R-top of T-top. Hierbij bleek, dat de reactietijd mede bepaald werd door het moment in de hartcyclus, waarop de stimulus gegeven werd (REQUIN 1964). Een zelfde verband kon aangetoond worden met kniepees- en achillespeesreflex (COQUERY en REQUIN 1964).

De Amerikaanse onderzoeker Forsyth deed een onderzoek bij apen. Hij vergeleek de activiteit bij het indrukken van een knop met de fase van de bloeddruk golf en vermeldt gelijksoortige resultaten als Requin bij mensen (FORSYTH 1966). De anatomische basis zou gevormd kunnen worden door afferente vezels, afkomstig van de pulmonale mechanoreceptoren, die niet alleen naar het vasomotorisch centrum, maar ook verder centraal naar de formatio reticularis opstijgen (FOLKOW c.s. 1965). Zij zouden een depressieve werking hebben.

Deze gegevens doen veronderstellen, dat er ook wat betreft de circulatoire veranderingen bij mentale belasting sprake is van een regelkring. Er kan gesproken worden van een terugkoppeling van het effect van de verhoogde corticale activiteit (verhoogde bloeddruk) naar het reticulair systeem en van hier naar de cortex.

Arousal en corticale activiteit

In dit stadium lijkt het voorbarig om een uitspraak te doen over de vraag of de gevonden verschijnselen alle direct veroorzaakt worden door de verhoogde corticale activiteit of een specifiek gevolg zijn van het veranderd niveau van arousal. Voor de vraag of de gevonden veranderingen bruikbaar zijn als parameter voor de mentale belasting is deze vraag niet van belang. Voor een beter begrip van het functioneren van de hersenen bij de informatie ver-

werking zou een antwoord wel interessant zijn. Een aspecifieke invloed via het reticulaire arousal system lijkt het meest waarschijnlijk. Een scherpere scheiding indien die al mogelijk is – dient tot stand te worden gebracht tussen arousalverhoging onder invloed van een verhoogde informatieverwerking per tijdseenheid en een arousalverhoging, die door andere invloeden tot stand is gekomen (hetgeen overigens voor het reticulaire systeem toch steeds ook een aanbod van informatie via nerveuze of humorale geleiding betekent). Bovendien is het tot nu toe alleen voor de informatie verwerking gelukt tot een goede kwantificering te komen, dit zal voor de affectieve invloeden veel moeilijker zijn.

Het vagus-sympathicus evenwicht

De gevonden veranderingen wijzen er op, dat er veranderingen tot stand zijn gekomen in de invloed van vagus en sympathicus op de onderzochte verschijnselen. Een kwantificering van deze verandering van de tonus van vagus en sympathicus is aan de hand van de verandering van polsfrequentie of bloeddruk niet mogelijk. Ook in de literatuur zijn vrijwel geen gegevens aanwezig over de wijze waarop in een bepaalde situatie dit evenwicht kwantitatief tot stand komt. Enig houvast hebben we aan de parameters, die vooral verband zouden houden met de tonus van één van deze twee elementen van het vagus-sympathicus evenwicht, namelijk dicrote top en sinusaritmie. De veranderingen van deze parameters zijn relatief groter dan de veranderingen van de andere parameters, zoals we eerder konden aantonen (hoofdstuk xiv). Dit kan echter geheel berusten op de eigenschappen van de gebruikte scoringsmethoden en behoeft nog niet te betekenen, dat het effect langs deze weg ook het grootst is. Bovendien is nog lang niet aangetoond, dat de veranderingen van de sinusaritmie, zij het gedeeltelijk, veroorzaakt zijn door verandering van de tonus van de vagus. Wel zijn er enkele aanwijzingen, dat er inderdaad een verandering van de tonus van de vagus gevonden zou kunnen worden en wel een, die in tegenstelling staat tot die bij de fysieke belasting. Er zou dus een toename van de tonus van de vagus optreden. De zij het geringe toename van de polsfrequentie kan, indien de tonus van de vagus werkelijk toeneemt, alleen tot stand komen bij toename van de tonus van de sympathicus. Deze opvatting wordt ondersteund door de gevonden verandering van de dicrote top, ook deze wijst op een toename van de invloed van de sympathicus.

Uit deze interpretatie van de gegevens komt de hypothese naar voren, dat zowel de tonus van de sympathicus als die van de vagus onder invloed van mentale belasting toeneemt. Het evenwicht tussen vagus en sympathicus wordt hierbij dan weinig verstoord, in tegenstelling met de fysieke belasting, die een toename van de tonus van de sympathicus en een vermindering van de tonus van de vagus veroorzaakt en het evenwicht dus wel verstoort.

Speculaties over de werkingsmechanismen

Bij dubbeltaakproeven blijkt, dat er bij een zware mentale belasting door de primaire taak een desintegratie optreedt van de secundaire taak (KALSBEEK 1967). Geeft men bijvoorbeeld een proefpersoon een taak met de binaire-keuzegenerator en laat men hem daarbij nog schrijven, dan zal bij toename van de snelheid van de binaire keuzegenerator de inhoud van wat hij schrijft steeds minder worden, terwijl de schrijfbewegingen gekenmerkt worden door minder nuances. De bewegingen worden grover. Men kan dit beschrijven als een vermindering van stuurimpulsen vanuit de centrale mechanismen en een ontremming van de bewegingen. Blijkbaar betekent een inbeslagneming van de capaciteit voor informatieverwerking een ontremming voor de lager gelegen corticale centra die voor de uitvoering van een secundaire taak nodig zijn. Men mag nu veronderstellen, dat niet alleen lagere corticale centra gestuurd worden door de hogere centra, welke sturing altijd gepaard gaat met een remming, maar dat een zelfde verband bestaat met de subcorticale centra. Bij inbeslagname van de corticale activiteit voor informatieverwerking zal dan een vermindering van deze sturing en een vermindering van remming optreden. Wordt hierbij ook het autonome of vegetatieve stelsel betrokken, dan zou dit betekenen, dat ook hier een verminderde remming, dus een verhoogde activiteit zou optreden. Het evenwicht zelf tussen parasympathische en sympathische invloeden wordt echter autonoom geregeld, hetgeen onder andere samenhangt met de energieproductie. Het evenwicht zou dus gehandhaafd worden, maar op een ander niveau van activiteit van sympathicus en parasympathicus.

Deze voorstelling van de werking der mechanismen bij de informatieverwerking is niet alleen slechts functioneel, maar bovendien zuiver speculatief. Zij kan alleen dienen als uitgangspunt voor verder onderzoek. Het aantrekkelijke van deze beschrijving is, dat zowel het gedrag, dat onder invloed staat van het centrale zenuw-

stelsel, als de veranderingen in het vegetatieve stelsel hier onder één noemer worden gebracht. Deze noemer is de corticale activiteit die samenhangt met de informatieverwerking en het is deze activiteit, die experimenteel beïnvloed volgens de verrichte onderzoeken aanleiding geeft tot de geconstateerde veranderingen.

De sinusaritmie

De samenhang van de sinusaritmie met respiratie, fysieke en mentale belasting en misschien nog vele andere processen, is zeer gecompliceerd. De toevallige vondst bij het onderzoek van de invloed van de mentale belasting op de sinusaritmie heeft geleid tot verdergaand onderzoek en beschouwingen, die hoofdzakelijk hebben geleerd, dat het een zeer gecompliceerd probleem is. Enkele hypothesen zijn gevormd, maar aan een toetsing is nauwelijks toegekomen. Een verder onderzoek zal moeten plaats vinden, waarbij vooral de regelmechanica een belangrijke bijdrage zou kunnen leveren. Ook de bepaling van de scoringsmethode hangt hier nauw mee samen. Aan een theoretische basis voor deze methode is nauwelijks gewerkt, de gebruikte methoden zijn alleen getoetst op bruikbaarheid in de onderhavige problematiek.

Een voortgezet onderzoek is niet alleen van belang voor het meten van de mentale belasting, maar kan ook het inzicht in het functioneren van het menselijk organisme, vooral in cybernetische zin, verdiepen.

Conclusies

Het is naar mijn mening verantwoord te zeggen, dat door het hier vermelde onderzoek meer inhoud is gegeven aan het begrip mentale belasting. Het blijkt mogelijk binnen het ontworpen schema van begrippen te komen tot een beoordeling van taken die mentaal belastend zijn. Dit kan gebeuren met behulp van een standaardtaak en van tijdens een taakuitvoering gevonden fysiologische verschijnselen. Hierbij heeft vooral de onderdrukking van de sinusaritmie zijn nut bewezen. Deze dient echter afgewogen te worden tegenover andere verschijnselen, zoals verandering van polsfrequentie en bloeddruk en ook die in het plethysmogram. Een toepassing van de gevonden gegevens in de industrie lijkt zeer wel mogelijk.

Het onderzoek naar de fysiologische mechanismen is grotendeels blijven steken in het formuleren van hypothesen. Op grond van de

gevonden resultaten was het wel mogelijk te speculeren over de samenhang tussen de corticale activiteit en de verschillende circulatoire en respiratoire mechanismen; daarbij werd een begin gemaakt met de bewijsvoering. De belangrijkste bijdrage van dit onderzoek naar de fysiologische mechanismen wordt gevormd door het feit, dat de wenselijkheid van verder onderzoek is aangetoond. Op basis van de hier gevormde hypothesen en de gevonden resultaten kan dit onderzoek echter meer gericht zijn op één bepaalde vraagstelling. De problematiek vooral rondom de sinusaritmie kan hierbij als een uitdaging worden beschouwd.

SAMENVATTING

Het hoofddoel van het onderzoek is te komen tot meetprocedures, waarmee het mogelijk is een meer gekwantificeerde beoordeling te geven van de mentale belasting van beroepshalve uitgevoerde taken, zoals in industrie, verkeer, ruimtevaart, etc.

In hoofdstuk I is uiteengezet hoe door de technische ontwikkeling dit soort taken steeds belangrijker wordt, terwijl door de sociale ontwikkelingen de positie van de mens in het arbeidsproces steeds meer erkenning vindt. Deze ontwikkelingen hebben er toe geleid, dat er een grotere bereidheid ontstaat om bij de vormgeving van taak en taakomstandigheden ook de bijdragen van bedrijfsgeneeskundig en bedrijfspsychologisch onderzoek als waardevol en noodzakelijk te erkennen. Noodzakelijk hiervoor is een gemeenschappelijk denken, waarin de bedrijfsgeneeskundige en psychologische verlangens gekwantificeerd naar voren kunnen komen. Door de Commissie Arbeidsgeneeskundig Onderzoek T.N.O. zijn opdrachten verstrekt om een studie te maken van de menselijke wetmatigheden die relevant zijn voor de taakuitvoering. Deze studie past in het algemeen ergonomische denken. Het hier vermelde onderzoek heeft zich grotendeels binnen het raam van deze opdracht bewogen.

In hoofdstuk II wordt uitgebreid ingegaan op het gangbare denkmodel voor de arbeidsbelasting, dat speciaal geldt voor de fysieke belasting bij dynamische spierinspanning. Dit schema past in het ergonomisch denken. In de ergonomie houdt men zich bezig met de aanpassing van de taak of taakomstandigheden aan de biologische capaciteiten van de mens. Deze aanpassing kan alleen goed tot stand komen bij een multi-disciplinaire samenwerking van arbeidsfysiologie, experimentele psychologie en technische wetenschappen. Gewezen is op de definities, zoals die gelden voor de verschillende aspecten van de fysieke belasting. Deze zijn geformuleerd door een commissie van de Cargo T.N.O. (CARGO 1965).

Een nadere uitwerking van deze definities werd nodig geacht om een dergelijk schema ook voor de mentale belasting te kunnen

hanteren. Hierbij werd dit schema vooral geplaatst tegenover de cybernetische inzichten. De noodzaak om de tijdsduur waarover een belasting moet worden geleverd bij de beoordeling te betrekken werd extra onderstreept.

De functionele of fysiologische belasting wordt gedefinieerd als de combinatie van fysieke en mentale verschijnselen, die optreden bij een fysieke belasting. De biologische grootheden, zoals polsfrequentie en zuurstofverbruik, kunnen gebruikt worden als parameters voor de mate van belasting.

In hoofdstuk III wordt de opbouw geschetst van een denkmodel voor de mentale belasting. Mentale belasting wordt daarbij vooral gezien in samenhang met de capaciteit voor informatieverwerking van het menselijk organisme. De centrale mechanismen voor informatieverwerking worden beschouwd gevormd te worden door identificatiemechanismen (input) en stuurmechanismen (output) en mede door het mechanisme voor overschakeling van input naar output: het centrale decisiekanaal. Hierbij wordt uitgegaan van de voorstelling van Welford, die dit centrale decisiekanaal beschrijft als 'a single channel', waarin slechts één overschakeling tegelijk kan plaats vinden (tourniquet-functie). Deze voorstellingswijze is zuiver functioneel, in hoeverre een anatomisch substraat kan worden aangewezen is voor de vraagstelling niet relevant.

De capaciteit tot informatieverwerking wordt allereerst bepaald door de beperkte capaciteit van het centrale decisiekanaal. Tot de mentale belasting zal allereerst het functioneren van het centrale kanaal bijdragen. Secundair zullen ook het functioneren van identificatiemechanismen bij codering van gecompliceerde signalen en het functioneren van stuurmechanismen bij uitvoering van gecompliceerde bewegingen belangrijk kunnen bijdragen aan de mentale belasting. Verder wordt gesproken van een norm voor de corticale activiteit die nodig is voor informatieverwerking. Een te groot aanbod van te verwerken informatie kan evenals een te gering aanbod leiden tot een bedreiging van de norm en zo tegenmaatregelen oproepen, die zich uiten in fysiologische veranderingen of in veranderingen van het gedrag. Het spontaan gekozen activiteitsniveau tijdens rust zal het meest met de norm overeenstemmen. Van mentale belasting is sprake, indien de norm voor de corticale activiteit bedreigd wordt. De volgende voorlopige definities worden voorgesteld:

Mentaal belastend zijn die taken, die een beroep doen op het informatieverwerkend vermogen van de mens.

De uitwendige belasting wordt gerepresenteerd door de taken en wordt gemeten in signalen/tijdseenheid, waarbij eventueel een correctie gemaakt moet worden voor gemaakte fouten.

De functionele of fysiologische belasting wordt gevormd door het totaal van de fysiologische veranderingen die nodig zijn om de geleverde informatieverwerking per tijdseenheid mogelijk te maken. Als parameters gelden de meetbare veranderingen van fysiologische verschijnselen, die correleren met de mate van belasting.

Het gedrag te onderscheiden in:

- a. het gedrag, voor zover direct samenhangend met de uitwendige belasting (de prestatie);
- b. het gedrag, voor zover niet primair bepaald door de uitwendige belasting.

De belastbaarheid of mentale capaciteit:

- a. de hoogste prestatie, die het individu bij een gegeven arbeidsvorm met behoud van reversibiliteit kan, respectievelijk mag leveren;
- b. de grootst mogelijke functionele belasting tengevolge van mentale belasting.

Hierbij kan onderscheid gemaakt worden tussen absolute belastbaarheid (de hoogst mogelijke prestatie die gedurende korte tijd, kan worden geleverd) en een relatieve belastbaarheid (de grootst mogelijke prestatie die gedurende een bepaalde arbeidstijd kan of mag worden volgehouden).

In hoofdstuk iv wordt besproken, hoe men kan komen tot een vertaling van deze theoretische begrippen in een proefopzet. Als model voor de uitwendige belasting wordt gebruik gemaakt van een binaire-keuzegenerator, waarmee een simpele taak kan worden gegeven. Deze taak bestaat uit een willekeurige opeenvolging van twee verschillende auditieve of visuele signalen, waarbij op elk signaal een vingertoets of voetpedaal (rechts of links) moet worden ingedrukt. Ook enkele andere taken worden besproken. Voor de functionele belasting worden als parameters gekozen circulatoire en respiratoire verschijnselen.

In hoofdstuk v worden de resultaten vermeld van het onderzoek naar de invloed van mentale belasting op het hartritme. Het hartritme werd geregistreerd met behulp van een cardi tachometer. Het zo geregistreerde cardi tachogram vormde de basis voor de bepaling van de hartfrequentie en van de onregelmatigheid van het hartritme: de sinusaritmie. Voor de sinusaritmie werd een

eenvoudige scoringsmethode beschreven. Gevonden werd, dat onder invloed van een toenemende mentale belasting zowel een toename van de polsfrequentie als een afname van de sinusaritmie optreedt.

In hoofdstuk VI worden de resultaten vermeld van het onderzoek naar de invloed van mentale belasting op systolische en diastolische bloeddruk. Beiden bleken tijdens mentaal belastende taken toe te nemen.

In hoofdstuk VII worden de resultaten vermeld van het onderzoek naar de invloed van mentale belasting op enkele respiratoire verschijnselen. Hierbij werd gebruik gemaakt van een spirograaf. Ademfrequentie en regelmatigheid van het adempatroon bleken toe te nemen onder invloed van mentale belasting; de toename van de ademfrequentie was groter naarmate de mentale belasting zwaarder was. Een verandering van het ademvolume kon niet worden aangetoond.

In hoofdstuk VIII worden enkele aanvullende experimenten beschreven. Onderdrukking van de sinusaritmie kon worden gevonden bij duurproeven, maar bleek bij een geringe belasting na enkele uren vrijwel opgeheven te zijn. Bij een duurproef met een grote mentale belasting bleef de sinusaritmie tot het eind onderdrukt. Tevens werd onder invloed van lawaai een onderdrukking van de sinusaritmie gevonden, die toenam bij een grotere intensiteit van het lawaai. Ook de invloed van de proefsituatie vertoonde zich in de resultaten van het besproken onderzoek, maar de invloed van mentale belasting op polsfrequentie en sinusaritmie werd niet gestoord. Een duidelijke toename van de polsfrequentie werd alleen gevonden bij die taken, waar sprake was van een geringe fysieke belasting.

In hoofdstuk IX komen enkele fysiologische aspecten van de sinusaritmie ter sprake. De ontstaanswijze van de sinusaritmie is zeer gecompliceerd. De invloed van de ademhaling (respiratoire aritmie) is zeer groot. Deze komt tot stand zowel door veranderingen van het longvolume als door de wisselende activiteit van het ademcentrum. De invloed van de respiratie op het hartritme komt tot stand via de vagus; de tonus van de vagus bepaalt mede de grootte van deze invloed. Een inspiratie veroorzaakt een hartversnelling, omdat de remmende invloed van de vagus vermindert. Een toe-

neming van de ademfrequentie heeft zowel invloed op de amplitude van de sinusaritmie als op de fase, waarop de excursies van de sinusaritmie de excursies van de longbewegingen volgen.

Als hypothese wordt naar voren gebracht, dat de invloed van de mentale belasting op de sinusaritmie tot stand komt zowel via de respiratie als ook door verandering van de tonus van de vagus. Aangegeven wordt hoe langs regelmechanische weg deze hypothese getoetst zou kunnen worden. Een experiment met gecombineerde fysieke en mentale belasting gaf wel een aanwijzing, dat de toename van de polsfrequentie, veroorzaakt door beide vormen van belasting afzonderlijk, bij de gecombineerde belasting bij elkaar opgeteld wordt. Voor de sinusaritmie kon geen verschil in onderdrukking aangetoond worden tussen de gecombineerde belasting en de fysieke belasting alleen.

Hoofdstuk x geeft enkele theoretische overwegingen om te komen tot een methode voor scoring van de sinusaritmie. Enkele methoden worden besproken.

Hoofdstuk xi geeft een afweging van de gevonden resultaten tegenover enkele in verschillende publikaties vermelde. Een duidelijke tegenstrijdigheid werd niet aangetroffen. Tevens werd een nieuwe vraagstelling geformuleerd om te komen tot een beter inzicht in de samenhang der gevonden veranderingen, speciaal met het oog op de veranderingen in het sympathische en parasympathische zenuwstelsel.

In hoofdstuk xii worden proefopstelling en wijzen van bewerking voor een nieuwe serie proeven uitvoerig besproken.

De resultaten van een nieuw onderzoek met polygrafische registratie worden vermeld in hoofdstuk xiii. Tussen mannelijke en vrouwelijke proefpersonen werd geen verschil gevonden in de invloed van mentale belasting op verschillende fysiologische verschijnselen. Als bevestiging van de vroegere resultaten kon aangetoond worden, dat een toename van mentale belasting gepaard gaat met een toename van polsfrequentie, bloeddruk en ademfrequentie en een onderdrukking van de sinusaritmie. Tevens werden er veranderingen gevonden in het plethysmogram, die wijzen op een toename van de vasoconstrictie onder invloed van mentale belasting. Vooral de relatieve veranderingen in sinusaritmie en plethysmogram (dicrote

top) zijn in vergelijking met de relatieve veranderingen van de andere onderzochte fysiologische verschijnselen belangrijk. Er werden aanwijzingen gevonden, dat bij invloed van mentale belasting een verband aanwezig is tussen de verandering van de polsfrequentie enerzijds en die van sinusaritmie, systolische bloeddruk, ademfrequentie en plethysmogram (dicrote top) anderzijds. Een dergelijk verband werd gevonden tussen sinusaritmie en plethysmogram (dicrote top), tussen ademfrequentie en systolische bloeddruk, en tussen systolische en diastolische bloeddruk. Een nieuwe methode om de sinusaritmie te scoren langs electronische weg bleek goed te voldoen.

In hoofdstuk xiv komt de samenhang ter sprake tussen enkele persoonlijkheidskenmerken en de interindividuele variaties van de fysiologische parameters die tijdens de proef werden gemeten, en wel tijdens de condities rust en mentale belasting bij 50 sign/min. Er werd een aanwijzing gevonden, dat er een verband bestaat tussen neurotische labiliteit, gemeten volgens de Amsterdamse Biografische Vragenlijst (A.B.V.) en de sinusaritmie, zowel in rust als wat betreft de invloed van mentale belasting op de sinusaritmie. Ook tussen neurotische labiliteit en plethysmogram (dicrote top) tijdens mentale belasting en eveneens tussen neurotische labiliteit en de maximale prestatie werd een correlatie gevonden. De extraversie zou correleren met de sinusaritmie tijdens mentale belasting.

In hoofdstuk xv wordt een eindbespreking gewijd aan de bereikte resultaten en verkregen inzichten. Geconcludeerd wordt, dat het begrip mentale belasting een bruikbaar uitgangspunt vormt voor een beoordeling van mentaal belastende taken in industrie, verkeer, etc. Deze beoordeling wordt mogelijk, als men gebruik maakt van de veranderingen van fysiologische verschijnselen, in het bijzonder van de sinusaritmie, die tijdens uitvoering van mentaal belastende taken optreden.

SUMMARY

The main object of the study was to develop measurement procedures that would promote better quantification of the mental load in work performed in industry, traffic, space research, etc.

Chapter I discusses the increasing importance of this kind of work in relation to modern technical developments; at the same time, social developments have led to an increasing realization of the position of the individual in the production process. As a consequence of these developments, there is a greater readiness to recognize the value of and need for the contribution that research of occupational medicine and occupational psychology can make in the designing of work and the conditions under which work is to be carried out. This requires a combined approach in which the requirements stipulated by the occupational physician and psychologist can be expressed in a quantified form. The Commissie voor Arbeidsgeneeskundig Onderzoek T.N.O. (Committee for Research in Occupational Medicine T.N.O.) has provided support for a series of studies on human phenomena relevant to the performance of work. This subject is consistent with general ergonomic thinking. The investigation reported here was carried out largely within the framework of this series of studies.

Chapter II discusses in detail the currently accepted model of the work load, which is valid for the physical load accompanying dynamic effort. This scheme is ergonomic in concept. Ergonomics is concerned with the adaptation of work or working conditions to the biological capacities of the individual. This adaptation can only be made successfully by a multidisciplinary collaboration between the occupational physiologist, the experimental psychologist, and the technician. Reference is made to the definitions valid for the various aspects of physical load formulated by a committee of Cargo T.N.O. (CARGO 1965).

These definitions are considered to require further working out for the application of such a scheme to the mental load. For this

purpose, the scheme is considered especially in relation to cybernetic insights. Extra emphasis is given to the necessity for including into the evaluation the duration of the period in which a load must be sustained.

The functional or physiological load is defined as the combination of physical and mental phenomena accompanying a physical load. Biological quantities such as pulse rate and oxygen consumption can be used as parameters of the degree of loading.

In Chapter III the structure of a model for the mental load is outlined. In this case, mental load is seen predominantly in relation to the capacity of the human organism for handling information. The central mechanism for this process is considered as consisting of identification mechanisms (input) and monitoring mechanisms (output) and also the mechanisms providing for switching from input to output: the central decision channel. This consideration is based on the representation given by Welford, who describes this central decision channel as 'a single channel' in which only one switch-over can be made at a time (tourniquet function). This representation is purely functional; the question if an anatomical substrate can be demonstrated is irrelevant to the problem.

The capacity for handling information is determined primarily by the limited capacity of the central decision channel. Secondly, the functioning of the identification mechanisms may also make an important contribution to the mental load with respect to the coding of complicated signals and the functioning of the monitoring mechanisms in carrying out complicated movements. Mention is also made of a norm for the cortical activity required for the handling of information. An excessive amount of information to be handled can, like too small an amount, lead to a disturbance of the norm and thus evoke countermeasures that are expressed in physiological changes or modifications of behaviour. The spontaneously chosen level of activity during rest will show the closest agreement with the norm. Mental load occurs when the norm for the cortical activity is threatened.

The following definitions are proposed:

Mental load is caused by work that makes demands on the individual's capacity to handle information.

The external load is represented by the work and is measured in signals/time unit, correction being made if necessary for errors committed.

The functional or physiological load consists of the total of the physiological changes required to accomplish the demanded handling of information per time unit. The parameters are the measurable changes in physiological phenomena correlating with the degree of loading.

The behaviour, to be distinguished as:

- a. the behaviour directly related to the external load (the performance);
- b. the behaviour not primarily determined by the external load.

The mental capacity:

- a. the best performance that the individual can or may deliver for a given form of work while preserving reversibility;
- b. the greatest possible functional load due to mental load.

Here, a distinction can be made between absolute capacity (the best possible performance that can be delivered over a short period) and a relative capacity (the best possible performance that can or may be sustained over a given working period).

Chapter IV discusses the way in which these theoretical concepts can be converted into experimental design. As a model for the external load, use is made of a binary choice generator with which a simple task can be assigned. This task consists of an arbitrary sequence of two different auditory or visual signals in response of which a finger key or foot pedal (right or left) must be pressed. Several other tasks are also discussed. The parameters chosen for the functional load are circulatory and respiratory phenomena.

Chapter V reports the results of the investigation into the influence of mental load on the cardiac rhythm. The heart beat is registered by a cardiometer. The cardiogram formed the basis for determinations of the heart rate and the irregularities of the cardiac rhythm, i.e. the sinus arrhythmia. A simple method for scoring sinus arrhythmia is described. Under the influence of an increasing mental load, an increase of the heart rate and a suppression of the sinus arrhythmia were found.

Chapter VI reports the results of the investigation into the influence of mental load on the systolic and diastolic blood pressure. Both increased during work giving a mental load.

Chapter VII reports the results of the investigation into the influence of mental load on several respiratory phenomena. For

this study a simple spirometer was used. The respiration rate and regularity of the breathing pattern increased under the influence of mental load; the increase in the respiration rate was greater the heavier the mental load. No change in tidal volume could be demonstrated.

In Chapter VIII several supplementary experiments are described. Suppression of the sinus arrhythmia was found in tests with long duration, but when the load was light, no suppression was found after some hours. In a duration test with a severe mental load, the sinus arrhythmia remained suppressed throughout the test. Suppression of the sinus arrhythmia was also found under the influence of noise, and this effect was intensified with increasing intensity of the noise. The influence of the experimental situation was also expressed in the results of this study, but the effect of mental load on pulse rate and sinus arrhythmia was not disturbed. A distinct increase in the heart rate was found only in association with work involving some degree of physical load.

In Chapter IX several physiological aspects of sinus arrhythmia are discussed. The genesis of the sinus arrhythmia is extremely complicated. The influence of breathing (respiratory arrhythmia) is very great. This arrhythmia is induced both by changes in the lung volume and the continuously changing activity of the respiratory centre. The influence of respiration on the cardiac rhythm occurs via the vagus nerve; the tone of the vagus is one of the contributory factors determining the degree of this influence. An inspiration causes a cardiac acceleration because the inhibitory influence of the vagus is reduced. An increase in the respiration rate influences both the amplitude of the sinus arrhythmia and the phase in which the excursions of the cardiogram follow the excursions of the pulmonary movements.

The hypothesis is put forward that the influence of the mental load on the sinus arrhythmia is realized via the respiration and the changes in the tone of the vagus. Indications are given for the testing of this hypothesis by cybernetic methods. An experiment with a combined physical and mental load provided an indication that the increase in the pulse rate caused by each load separately was cumulated when the two kinds of load were combined. For the sinus arrhythmia, no difference in suppression could be demonstrated between the combined load and the physical load alone.

Chapter x gives a comparison of the present results with those reported by various publications. No marked disagreement was found. In addition, a new formulation of the problem is presented to provide a better insight into the relationship between the observed changes, with special attention to the changes in the sympathetic and parasympathetic nervous system.

Chapter XII gives, for a new series of experiments a detailed discussion of an experimental design and methods for processing the results.

Chapter XIII reports the results of a new investigation using polygraphic registration. No differences were found between male and female subjects with respect to the influence of mental load on various physiological phenomena. In confirmation of the earlier results, it was demonstrated that an increase in the mental load is accompanied by an increase in the heart rate, blood pressure, and respiration rate, and a suppression of the sinus arrhythmia. Changes were also found in the plethysmogram, indicating an increase in vasoconstriction under the influence of mental load. The relative changes in the sinus arrhythmia and plethysmogram (dicotic top) are especially important in comparison with the relative changes in the other physiological phenomena investigated. Indications were found that with an influence from mental load there is a relationship between the changes in the heart rate on the one hand and, on the other hand, the changes in the sinus arrhythmia, systolic blood pressure, respiration rate, and the plethysmogram (dicotic top). A similar relationship was found between the sinus arrhythmia and the plethysmogram (dicotic top), between the respiration rate and the systolic blood pressure, and between the systolic and diastolic blood pressure. A new electronic method for scoring sinus arrhythmia was found to give satisfactory results.

Chapter XIV discusses the relationship between several personality characteristics and interindividual variations of the physiological parameters measured during rest and mental load at 50 sign/min. Indications were found that there is a relationship between neurotic lability, measured according to the Amsterdam Biographical Questionnaire, and sinus arrhythmia, both at rest and with respect to the influence of mental load on the sinus arrhythmia. A correlation was also found between neurotic lability and the plethysmogram (dicotic

top) during mental load, and also between neurotic lability and maximal performance. Extraversion shows correlation with sinus arrhythmia during mental load.

In Chapter xv a final discussion is devoted to the results obtained and the insights acquired. It is concluded that the concept 'mental load' constitutes a useful starting-point for the evaluation of work involving a mental load in industry, traffic, etc. Such evaluation becomes possible when use is made of the changes occurring in physiological phenomena, particularly of the sinus arrhythmia, accompanying work with a mental load.

LITERATUUR

- ANGELONE A. and N. A. COULTER jr. (1964), Respiratory sinus arrhythmia: a frequency dependent phenomenon. *J. Appl. Physiol.* 19, 479-482.
- ANREP G. V., W. PASCUAL, R. RÖSSLER (1936), Respiratory variations of the heartrate. *Proc. Royal Soc. London.* CXIX B, 191-230.
- BAART J., J. H. ETTEMA et J. W. H. KALSBECK (1964), L'allongement du temps de réaction en fonction de l'état de charge du plan de commande. *Actes du 2ème Congres d'Ergonomie.* Presses Universitaires de Bruxelles.
- BARTENWERFER H. (1957), Über die Auswirkungen einformiger Arbeitsvorgänge, Untersuchungen zum Monotonieproblem. Vorgelegt von H. Düker. *Sitzungsberichte der Gesellschaft zur Beförderung der gesamten Naturwissenschaften zu Marburg.* 80. Band, 1e Heft. Elwert Verlag Marburg.
- BARTENWERFER H. (1960)a, Beiträge zum Problem der psychischen Beanspruchung. West-deutscher Verlag Köln und Opladen.
1. Untersuchungen zu den Grundfragen und zur Erfassung der psychischen Beanspruchung in der Industrie. *Forschungsberichte des Landes Nordrhein-Westfalen*, nr. 808.
- BARTENWERFER H. (1960)b, Herzrhythmikmerkmale als Indikatoren psychischer Anspannung. *Psychol. Beiträge* iv, 7-25.
- BARTENWERFER H. (1960)c, Untersuchungen zum Monotonieproblem. *Zentr. bl. f. Arbeitswissenschaft* 14, 29 e.v.
- BARTENWERFER H. (1960)d, Untersuchung und Beurteilung der psychischen Beanspruchung. *Zbl. f. Arbeitswissenschaft* 14, 231 e.v.
- BARTENWERFER H. (1961), Neuere Ergebnisse zum Problem psychischer Beanspruchung und Ermüdung. *Zbl. f. Arbeitswissenschaft* 15, 121 e.v.
- BARTENWERFER H., L. KÖTTER und W. SICKEL (1963), Beiträge zum Problem der psychischen Beanspruchung. West-deutscher Verlag Köln und Opladen.
2. Verfahren zur graduellen Beurteilung der psychischen Beanspruchung in der Industrie. *Forschungsbericht des Landes Nordrhein-Westfalen*, nr. 1131.
- BASSAN L. (1966), Über die Aussagekraft der Herzschlagfrequenz als physiologische Meßgröße in der Leistungsphysiologie. *Int. Arch. f. Gewerbe-pathologie und Gewerbehygiene*, 22, 262-281.
- BENEKEN J. E. W. (1965), A mathematical approach to cardiovascular function. The uncontrolled human system. *Dissertatie Utrecht.*
- BENSON A. J., J. H. F. HUDDLESTON and J. M. ROLFE (1965), A psychophysiological study of compensatory tracking on a digital display. *Human factors* 7, 457-472.

- BERLYNE D. E. (1960), Conflict, arousal and curiosity. McGraw-Hill Book Cy. New York-London.
- BEST C. H. and N. B. TAYLOR (1961), The physiological basis of medical practice 7th ed. Williams and Wilkins Co., Baltimore.
- BINK B. (1959), Het lichamelijk prestatievermogen van cardiologische patiënten. Dissertatie Leiden.
- BIRKMAYER W. en G. PILLERI (1966), De reticulaire formatie van de hersenstam en haar betekenis voor het vegetatief-affectieve gedrag. Hoffmann-la Roche Co. Bazel.
- BONVALLET M. (1959), Les relations entre l'activité corticale et l'activité reticulaire.
Actualités neurophysiologiques Ière série, 158-182. Masson et Cie. Paris.
- BORNEMANN E. (1942), Untersuchungen über den Grad der geistigen Beanspruchung. Arbeitsphysiologie 12, 142-192.
- BOTER J., J. KUIPER (1965), Draadloze registratie van het electrocardiogram en van de hartslagfrequentie bij zich vrij bewegende personen. T.N.O.-nieuws 20, 833-835.
- BROADBENT D. E. (1958), Perception and communication. Pergamon Press, London.
- BROWN J. D. and E. C. POULTON (1961), Measuring the spare „mental capacity” of car drivers by a subsidiary task. Ergonomics 4, 35-40.
- BURGER G. C. E. (1959), De betekenis van kwantitatieve meting en functionele beoordeling van arbeidsbelasting en belastbaarheid voor de praktische bedrijfsarts. T. v. Soc. Geneesk. 37, 377-384.
- BURGER G. C. E. (1959), Arbeidsgeneeskundig onderzoek. Uitg. Gezondheidsorganisatie T.N.O., Den Haag.
- BURGER G. C. E. (1960), Ergonomics in occupational health programmes. Proc. XIII. Int. Congr. on Occup. Health New York 864-869.
- BURGER G. C. E. (1964), Permissible load and optimal adaptation. Ergonomics 7, 397-417.
- BURGER G. C. E. and J. R. DE JONG (1962), Aspects of ergonomic job analysis. Ergonomics 5, 185-201.
- BURGER G. C. E., L. H. WESSELING and H. C. BURGER (1961), Reactions of pulse rate and blood pressure in dynamic and static load. Lecture Annual Conference of the Ergonomics Research Society. Bristol, april 1961. Abstr. in: Ergonomics 4, 280.
- CANNON W. B., (1929), Organization for physiological homeostasis. Physiol. Rev. 9, 399-431.
- CARGO, Commissie Arbeidsgeneeskundig Onderzoek TNO (1965), Fysiologische methoden voor het vaststellen van belasting en belastbaarheid. Voorbereid door: Werkgroep Meetmethoden Belasting en Belastbaarheid. (Rapporteur F. H. Bonjer).
- CLYNES M. (1960), Respiratory sinus arrhythmia. J. Appl. Physiol. 15, 862-874.
- CLYNES M. (1960), Respiratory heart rate control. Automatic and remote control. Proc. Ist. Int. Congr. of the Int. Fed. of Automatic Control, Moscow, 664-673.
- COPPÉE G. (1961), Die Lärmbekämpfung in: Arbeitsphysiologische und arbeitspathologische Studien 517-544. Schriftenr. Arb. hyg. und Arb. med. nr. 1. Uitg. Europ. Gem. v. Kolen en Staal.

- COQUERY J. M. et J. REQUIN (1964), Influence du cycle cardiaque sur l'excitabilité reflexe medullaire chez l'homme. Comm. à la Société de Biologie de Marseille. Octobre 1964.
- CROSSMANN E. R. F. W. (1960), The information-capacity of the human motor-system in pursuit tracking. *Quart. J. Exp. Psychology* 12, 1-16.
- CUNNINGHAM D. J. C. and B. B. LLOYD (1963), The regulation of human respiration. *Proc. of the J. S. Haldane Centenary Symposium*. Blackwell, Oxford.
- DAVIES C. T. M. and E. A. HARRIS (1964), Heart rate during transition from rest to exercise, in relation to exercise tolerance. *J. Appl. Physiol.* 19, 857-862.
- DELL P. (1966), Reticular homeostasis and critical reactivity in: *Brain Mechanisms* 82-103. *Prog. in brain research* 1, Elsevier Amsterdam.
- DISTEL R., G. ELIOT (1961), Étude des irrégularités du rythme sinusal chez l'homme au repos. *J. de Physiol.* 53, 328.
- DOCTER R. F., J. W. KASWAN and C. Y. NAKUMARA (1964), Spontaneous heart rate and G. S. R. changes as related to motor performance. *Psychophysiology* 1, 73-78.
- DOCTER H. J., J. H. ETTEMA en L. H. WESSELING (1967), De nauwkeurigheid van de bepaling van de polsfrequentie. *T. v. Soc. Geneesk.* 45 (te publ.).
- DONARD D. E., S. E. MILBURN and J. T. SHEPHARD (1964), Effect of cardiac denervation on the maximal capacity for exercise in the racing greyhound. *J. Appl. Physiol.* 19, 849-852.
- DIJKSTRA C. en G. MULDER (1965), Een onderzoek naar de invloed van de sensorische input en S-R compatibiliteit, en naar de samenhang van perceptieve belasting en sinusaritmie. Intern rapport Psych. Lab. v. d. Universiteit van Amsterdam.
- E.G.K.S. (1961), Handleiding voor de praktijk van het spirografisch onderzoek der ventilatoire functie. Samengesteld op verzoek van de Commissie „Normalisatie van Ademhalingsproeven" van de Hoge Autoriteit van de Europese Gemeenschap voor Kolen en Staal. Reeks Arbeidshygiëne en arbeidsgeneeskunde, nr. 2.
- ETTEMA J. H. (1963), Reactograaf en polscurve. Intern rapport Coronel Laboratorium voor Arbeidshygiëne.
- ETTEMA J. H. (1965)a, Sinusaritmie: fysiologische aspecten. *T. v. Soc. Geneesk.* 43, 649-651.
- ETTEMA J. H. (1965)b, De scoring van de sinusaritmie. Jaarrapport 1965 Laboratorium voor Ergonomische Psychologie t.n.o.
- ETTEMA J. H. (1966), Limits of human performance and energy-production. *Int. Z. angew. Physiol. einschl. Arbeitsphysiol.* 22, 45-54.
- FOLKOW B., C. HEYMANS, E. NEIL (1965), Integrated aspects of cardiovascular regulation. *Handbook of physiology* sect. II circulation. Vol. III, 1787-1824. American Physiological Soc. Washington.
- FORSYTH R. P. (1966), Influence of blood pressure on patterns of voluntary behaviour. *Psychophysiology* 2, 98-102.
- GAZENKO O. G. (1962), Medical problems of manned space flight. *Space science reviews* 1 (1962-1963), 369-398.
- GILLESPIE R. D. (1924), The relative influence of mental and muscular work on the pulse-rate and blood-pressure. *The J. of Physiology* LVIII, 425-432.
- GRAF O., J. RUTENFRANZ und E. ULLICH (1965), Nervöse Belastung bei indus-

- trieller Arbeit unter Zeitdruck. Forschungsber. d. Landes Nordrhein-Westfalen nr. 1425. West-deutscher Verlag, Köln.
- GREEN H. D., C. E. RAPELA en M. C. CONRAD (1963), Resistance (conductance) and capacitance phenomena in terminal vascular beds. Handbook of physiology Sect. II Circulation Vol. II, 935-960. American Physiological Soc. Washington.
- HAIDER M. (1962), Experimentelle Untersuchungen über geistigen Beanspruchung durch Arbeitsleistungen. Int. Z. angew. Physiol. einschl. Arbeitsphysiol. 19, 241-251.
- HERMAN, L. M. (1965), Study of the single channel hypothesis and input regulation within a continuous simultaneous task situation. The quart. J. of Exp. Psychol. XVII, 37-46.
- HICK W. E. (1952), On the rate of gain of information. Quart. J. Exp. Psychol. 4, 11-26.
- HNATIOW M., P. J. LANG (1965), Learned stabilisation of cardiac rate. Psychophysiology 1, 330-336.
- I.L.O.-W.H.O. (1957), Third session of the joint I.L.O.-W.H.O. Committee on Occupational Health. Occup. Safety and Health VII, nr. 3, 1-10.
- JANSEN G. und P. Y. REY (1962), Der Einfluss der Bandbreite eines Geräusches auf die Stärke vegetativer Reaktionen. Int. Z. f. angew. Physiol. einschl. Arbeitsph. 19, 209-217.
- JONGE H. DE (1963), Inleiding tot de medische statistiek I. 2e dr. Verhandeling Ned. Inst. v. Praev. Geneesk. Leiden nr. XLI.
- KALSBECK J. W. H. (1964), On the measurement of deterioration in performance caused by distraction stress. Ergonomics 7, 187-195.
- KALSBECK J. W. H. (1965), Mesure objective de la surcharge mentale. Nouvelles application de la méthode des doubles tâches. Le trav. Humain XXVIII, 121-132.
- KALSBECK J. W. H. (1967), Mentale belasting, Theoretische en experimentele exploraties ter ontwikkeling van meetmethoden. Van Gorcum & Comp., Assen.
- KALSBECK J. W. H. en J. H. ETTEMA (1964), Physiological and psychological evaluation of distraction stress. Proc. 2nd Int. Ergonomic Congress Dortmund, 443-447.
- KALSBECK J. W. H. and R. N. SYKES (1967), Objective measurement of mental load. Proc. Symposium 'Attention and Performance' te Driebergen. Acta Psychologica 27, 253-261.
- KOGI K. (1966), Physiological load of manual control in relation to capacity limitations. Symp. Higher nervous functions and occup. health. Suppl. III. proc. XVeme congr. intern. de med. du travail Wien 19-24.9.1966, pag. 195-198.
- KUIPER J., P. VAN PROOYEN (1961), Een cardi tachometer. T.N.O.-nieuws 16, 321-323.
- LACEY J. I. and B. C. LACEY (1958), The relationship of resting autonomic activity to motor impulsivity. The Brain and Human Behaviour. Proc. Ass. f. Research in Nerv. and Mental Diseases XXXVI, 144-209. Williams and Wilkins, Baltimore.
- LEHMANN G. (1953), Praktische Arbeitsphysiologie. Thieme Verlag, Stuttgart.
- L.E.P. (1964), Jaarrapport Laboratorium voor Ergonomische Psychologie T.N.O. 1964.

- LEVY P. and P. J. LANG (1966), Activation, control and the spiral aftermovement. *J. of Personality and Social Psychology* (in druk).
- LOVATT EVANS C. (1956), *Principles of human physiology*, 12th ed. Churchill Ltd., London.
- MALMSTROM E. J., E. OPTON, R. S. LAZARUS (1965), Heart rate measurement and the correlation of indices of arousal. *Psychosomatic medicine* xxvii, 546-556.
- M.F.I. (1963), Short description of the cardiometer M.F.I.-T.N.O. type III. Rapport M/1963/7 Medisch-Fysisch Instituut T.N.O. te Utrecht.
- M.F.I. (1966), Onderzoek naar de functionele belasting in de bedrijfsgeneeskundige praktijk. Een meetschema, opgesteld door de 7-decembergroep. Medisch-Fysisch Instituut T.N.O.
- MICHON J. A. (1965), Timing, a yardstick of perceptual burden. Report IZF 1965-10 Inst. for perception R.V.O.-T.N.O.
- MICHON J. A. (1966), Tapping regularity as a measure of perceptual motor load. *Ergonomics* 9, 401-412.
- MILLER I. G. (1962), Adjusting to overloads of information. Disorders of communication. *Proc. of the Ass. for research nervous and mental diseases* 42, 87-100. Williams and Wilkinson, Baltimore.
- MONOD H., S. BOUISSET (1962), Utilisation d'un nouveau cardiofréquence-mètre chez l'homme au repos et au cours du travail musculaire. *Presse méd.* 70-31. 1529-1531.
- MORUZZI G., H. W. MAGOUN (1949), Brain stem reticular formation and the activation of the E.E.G. *E.E.G. Clin. Neurophysiol.* 1, 455-473.
- NIEUWMEIJER A.H. (1951), Enige beschouwingen over het vastleggen van een bloeddruknorm in Nederland. Dissertatie Amsterdam. Van Campen, Asd.
- OPTON JR. E., N. O. RANKIN and R. S. LAZARUS (1966), A simplified method of heart rate measurement. *Psychophysiology* 2, 87-97.
- PARIN V. V., R. M. BAYEVSKI and O. G. GAZENKO (1965), Heart and circulation under space conditions. *Acta cardiologica* xx, 105-129.
- PENAZ J. (1957), Oscillations de la fréquence cardiaque et du tonus vasomoteur au cours de respiration ralentie et accélérée. *J. de Physiol., Paris* 49, 346-349.
- PIERCE J. R., J. E. KARLIN (1957), Reading rates and the information rate of a human channel. *The Bell System Technical Journal* 36, 497-516.
- REQUIN J. (1964), Role de la périodicité cardiaque dans la latence d'une réponse motrice simple. *Commun. à la Société Française de Psychologie* mai 1964.
- RUSHMER R. F. (1961), *Cardiovascular dynamics*, 2ed. pag. 57. Saunders, London.
- RUTENFRANZ J. (1960), Über das Verhalten der Pulzfrequenz bei Arbeit unter Zeitdruck. *Int. Z. f. angew. Physiol. einschl. Arbeitsphysiol.* 18, 264-279.
- SANDERS A. F. (1963), The selective process in the functional visual field. R.V.O.-T.N.O., Soesterberg.
- SANDERS A. F., J. A. MICHON, W. J. M. LEVELT en J. P. VAN DER GEER (1963), Over perceptieve last en belastbaarheid. Eindverslag. R.V.O.-T.N.O. IZF 1963-7.
- SCHAEFER H. (1951), Das E.K.G.-theorie und Klinik. pg. 344. Springer-Berlin.
- SCHAEFER H., G. HAAS (1965), *Handbook of physiology* sect. 2. Circulation. vol. 1, 397. Am. Physiol. Soc. Washington.

- SCHOUTEN J. F., J. W. H. KALSBECK, F. F. LEOPOLD (1962), On the evaluation of perceptual and mental load. *Ergonomics* 5, 251.
- SIMBORG D. W., R. S. ROSS, K. B. LEWIS, R. H. SHEPARD (1966), The R-R-interval histogram. *JAMA* 197, 867-870.
- SKUBIC V., J. HILGENDORF (1964), Anticipatory, exercise and recovery heart rates of girls as affected by four running events. *J. Appl. Physiol.* 19, 853-856.
- SPEISMAN J. C., J. OSBORN, R. S. LAZARUS (1961), Cluster analyses of skin resistance and heart rate activity at rest and under stress. *Psychosom. med.* 23, 323-343.
- STEGEMAN J. (1963), Zum Mechanismus der Pulsfrequenzeinstellung durch den Stoffwechsel. *Pflügers Archiv* 276, 481-524.
- SYKES R. N. (1966), On the measurement of the heart rate curve and its relation to mental load. Intern rapport Laboratorium voor Ergonomische Psychologie T.N.O., Amsterdam.
- TERPOORTEN W. (1967), Apparatuur voor herhaalde bloeddrukmeting. *T. v. Soc. Geneesk.* 45, 32.
- TWEEL L. H. VAN DER, J. STRACKEE (1963), Fysische overwegingen bij de bloedcirculatie. *Ned. T. Natuurk.* 29 juli 1963.
- VALBRACHT J. (1960), I.P.O. ontwerpspecificatie nr. 9 Inst. v. Perceptie Onderzoek Eindhoven.
- WELFORD A. T. (1959), Evidence of a single channel decision mechanism limiting performance in a serial reaction task. *Quart. J. Exp. Psychology* 11, 193 e.v.
- WELFORD A. T. (1966), The ergonomic approach to social behaviour. *Ergonomics* 9, 357-369.
- WELFORD A. T., B. C. LACEY (1964), Computer identification and measurement of cardiac cyclic activity. *Psychophysiology* 1, 111-114.
- WESSELING L. H. (1967), Dissertatie Amsterdam (te publ.).
- WESSELING L. H., A. M. VAN BEEK (1966), Duploproeven bij ergometerfiets-experimenten. *T. v. Soc. Geneesk.* 44, 614-617.
- WIENER N. (1961), *Cybernetics*, 2nd ed. M.I.T.-Press, Cambridge Mass. USA and Wiley and Sons, New York.
- WIERSMA E. D. (1911), Bewustzijnstoestanden en polscurven. Voordracht gehouden in de wetenschappelijke vergadering der Ned. Ver. voor Psychiatrie en Neurologie op 12 dec. 1911. *Psychiatrische en Neurologische Bladen* xv, 449-522.
- WIERSMA E. D. (1913), Der Einfluss von Bewusstseinszuständen auf den Puls und auf die Atmung. *Ztschr. ges. Neurologie und Psychiatrie* 19, 1-24.
- WILDE G. T. S. (1963), Neurotische labiliteit gemeten volgens de vragenlijst-methode. F. v. Rossen, Amsterdam.
- WOODWORTH R. S. (1949), *Psychologie expérimentale* II, 766. Presses Universitaire de France, Paris.
- ZIELHUIS R. L. (1966), Arbeid als inspanning. *Medisch Contact* 21, 577.
- ZIELHUIS R. L. (1967), Theoretisch Denkraam voor hygienisch beleid. *T. v. Soc. Gen.* 45, 344-352.