

ONDERDRUKKING VAN DE ONREGELMATIGHEID VAN DE HARTSLAG ALS EEN OBJECTIEVE MAAT VOOR DE MENTALE INZET

J. W. H. KALSBECK *, psych. drs
en J. H. ETTEMA **, arts
te Amsterdam

Inleiding

Het is bij het beoordelen van het gedrag van de medemens dikwijls van essentieel belang om te weten of deze zich inderdaad mentaal heeft ingezet bij de uitvoering van zijn taak. Klaagt bijv. een werknemer dat zijn taak te zwaar is, dan kan dit waar zijn. Het is echter ook mogelijk dat hij bang is om zich in te spannen. De mate van lichamelijke inspanning kan blijken uit de maatregelen om in een verhoogd zuurstofverbruik te voorzien, zoals versnelde bloedsomloop, toename van hart- en ademhalingsfrequentie e.d. Bij mentale inspanning bespeurt men echter geen neiging tot hijgen of versneld kloppen van het hart, indien er tenminste geen emotionele reacties een rol spelen.

Verscheidene onderzoekers (Bartenwerfer 1963, Blatt 1961) vonden bij experimenten over grote aantallen proefpersonen wel in *statistische zin* een stijging van de polsfrequentie bij mentale inspanning van 1 à 2 slagen per minuut. Deze stijging is echter niet te gebruiken als maat voor kleine groepen of individuele gevallen, omdat dit binnen de fysiologische fluctuaties van de individuele polsfrequentie ligt.

Niet alleen bij klachten over te zwaar werk is het meten van de mentale inzet van belang. Ook na het verbeteren van werkmethoden zou men graag de winst voor de taakuitvoerder willen meten. Bij nadere beschouwing zijn er zelfs vele situaties in het dagelijks leven, waarin men graag objectieve informatie zou willen hebben over de mate van de mentale inzet. Zo verwijt de rechter een automobilist onachtzaamheid terwijl hem — zijns inziens — geen schuld treft, omdat „hij wél opgelet heeft”. Leraren beweren van hun leerlingen dat ze beter zouden kunnen „als ze hun best deden”. Psychologen vragen zich soms af of een bepaalde patiënt werkelijk zo'n laag I.Q. heeft of dat hij bij de beantwoording van de vragen „er met de pet naar gegooit heeft”. Een chef kan zich afvragen of het schijnbare gebrek aan toewijding en

In diverse experimenten wordt aangetoond, dat het patroon van de hartslag, dat vrij onregelmatig is in rust (sinusaritmie), regelmatig wordt naarmate de hoeveelheid informatieverwerking per tijdseenheid toeneemt. De onregelmatigheid van het hartslagpatroon bleek ook te differentiëren tussen luisteren en horen, evenals tussen verschillende intensiteiten van industrieel lawaai.

Aan de hand van de beschreven experimenten wordt nagegaan in hoeverre langs deze weg objectief onderscheid gemaakt kan worden tussen preoccupatie en zorgen enerzijds en emotionaaliteit anderzijds.

Uitgaande van de grote spreiding wordt geargumenteed dat de sinusaritmie meer een directe functie zou zijn van de relatieve grootte van de reservecapaciteit dan van de absolute hoeveelheid informatieverwerking per tijdseenheid.

accuratesse van een van zijn ondergeschikten misschien veroorzaakt wordt door het feit, dat een groot gedeelte van diens mentale capaciteit in beslag genomen wordt door zorgen of toebereidingen, waarvoor hij niet wil uitkomen. Politieagenten of psychiateren kunnen geïnteresseerd zijn in de vraag of er bij ogenschijnlijke openheid in werkelijkheid een scherp berekenend spel wordt gespeeld.

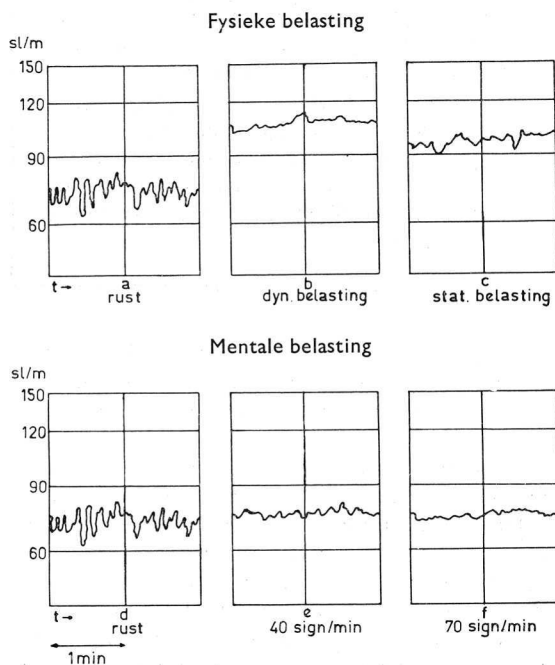
In deze en in vele andere situaties zou men graag willen weten wat er zich in de *hersenen* van de medemens afspeelt. De electro-encephalografie registreert er wel iets van, maar de duiding is moeilijk, de techniek gecompliceerd en bezwaarlijk. Het meten van de huidweerstand, zoals dit geschiedt bij zg. leugendetectors is volgens recent onderzoek beduidend minder betrouwbaar dan men eerst wel aannam. In de bovenomschreven situaties is het ook niet zozeer van belang wát er zich afspeelt binnen het brein. Het is meer de vraag naar de *mate* van psychische activiteit in het algemeen of van wat men globaal zou kunnen noemen: *de mentale inzet*.

* Laboratorium voor Ergonomische Psychologie T.N.O., Jan Swammerdam Instituut, Amsterdam

** Coronel Laboratorium voor Arbeidshygiëne van de Universiteit van Amsterdam, Jan Swammerdam Instituut, Amsterdam

Onderzoek naar regelmatigheid van hartslagpatroon als maat

Het patroon van de opeenvolgende hartslagen bij een gezond mens in *rust* is *on*regelmatig. Binnen een minuut kunnen fluctuaties overeenkomend met 10 à 20 slagen/min voorkomen (*Figuur 1a*). Deze onregelmatigheid, voor een deel samenhangend met het in- en uitademingspatroon, staat in de medische literatuur bekend onder de naam sinusaritmie*. Bij een continue registratie van alle opeenvolgende hartslagen tijdens lichamelijke inspanning ziet men dat niet alleen de frequentie toeneemt, maar ook dat met deze stijging de onregelmatigheid van de rustwaarden in toenemende mate wordt onderdrukt**. *Figuur 1b* en *1c* geven een voorbeeld van een registratie tijdens dynamische en statische in-



Figuur 1. Voorbeeld van een cardi tachogram van dezelfde proefpersoon tijdens:

- a en d: rustig zitten (s.a. 13 volgens beschreven scoringsmethode)
- b lopen op tredmolen 6 km/uur
- c gestrekt houden r. arm, 6de en 7de min
- e tonentaak, 40 sign/min (s.a. 1.5)
- f idem, 70 sign/min (s.a. 0.5)

* In het hierna volgende artikel van J. H. Ettema wordt nader ingegaan op de fysiologische aspecten van de sinusaritmie

spanning (verg. Monod en Bouisset 1962). Deze manier van registreren heeft echter het bezwaar, dat het niveau van een vlakke geregistreerde lijn moet worden vergeleken met de fluctuerende van de rustwaarde. Aanvankelijk was slechts de vraag of men niet hieraan tegemoet zou kunnen komen door tijdens de rust *niet-energetische* arbeid te laten verrichten. Achteruit laten tellen met sprongen van drie bleek de rustlijn af te vlakken *zonder* dat de frequentie toenam. Een tweede vraag lag nu voor de hand: zou de *mate* van mentale inspanning ook tot uitdrukking komen in het naar verhouding regelmatigere worden van de registratielijne? Om dit na te gaan moet men beschikken over taken, die op te doseren wijze een appèl doen op de mentale capaciteit.

Van de mentale capaciteit wordt gesproken naar analogie van het energetisch vermogen. Er wordt niet de intellectuele begaafdheid bedoeld. Een vorm van een dergelijke mentale capaciteit is de capaciteit, die uitgedrukt kan worden in *informatieverwerking per tijdseenheid*. Informatieverwerking per tijdseenheid kan op eenvoudige en gemakkelijk controleerbare wijze aan een proefpersoon worden opgelegd met behulp van een binaire-keuze-generator.

Bij onze experimenten werd gebruik gemaakt van een vereenvoudigde uitvoering van een binaire-keuze-generator zoals deze ontwikkeld is door het I.P.O. (I.P.O.-rapport no. 9). Een hoge en een lage toon worden per koptelefoon aan de proefpersoon in een toevalsopeenvolging aangeboden. Deze moet hierop antwoorden met het intrappen van een rechter en een linker pedaal. De tonen zijn gemakkelijk waar te nemen en verschillen duidelijk. In plaats van twee tonen kunnen ook twee lampjes aanflitsen en in plaats van de pedalen kunnen toetsen worden gebruikt. Het aantal goed beantwoorde binaire keuzen vormt de *last* of uitwendige belasting. Door de snelheid van opeenvolging te variëren wordt deze last vergroot of verkleind over een range van saai-gemakkelijk-inspannend-zeer inspannend-overladend. Bij grote snelheid bleek de sinusaritmie geheel te kunnen verdwijnen *zonder dat er een stijging van de hartfrequentie optreedt* (*Figuur 1e* en *1f*).

** Bij deze proeven werd gebruik gemaakt van een cardi tachometer zoals deze is ontworpen op het Medisch-Fysisch Instituut T.N.O. en in de handel wordt gebracht door de Firma Rood

In twee proefseries met binaire keuzen werd dit nader onderzocht. In een eerste serie met 6 proefpersonen werd de invloed nagegaan van het beantwoorden van 45 en 70 lichtsignalen per minuut in een opgelegd tempo. In een tweede serie met 30 proefpersonen werd de invloed van snelheden der tonen overeenkomend met 60 en 80 % van het individuele maximum nagegaan. Onder individueel maximum werd verstaan het aantal binaire keuzen dat gedurende een minuut beantwoord kan worden zonder fouten te maken.

Om de onregelmatigheid van verschillende patronen met elkaar te kunnen vergelijken werd een eenvoudige scoringsmethode toegepast. Op het gezicht wordt een lijn getrokken door de gemiddelde frequentie met twee tolerantie lijnen op een afstand overeenkomend met drie slagen per minuut. Alle overschrijdingen van deze lijnen worden opgeteld. Hetzelfde geschiedt met overschrijdingen van tolerantie lijnen op afstanden overeenkomend met zes en negen slagen per minuut.

De gevonden aantallen overschrijdingen worden per minuut opgeteld en vormen onze *onregelmatigheidsscore*. De onregelmatigheidsscores van de proefcondities worden vergeleken met de score behaald tijdens drie minuten rust voorafgaand aan iedere conditie. Als gemiddelde rustwaarde tijdens onze proeven vonden wij een polsfrequentie van 75 (s.d. 9.6) en een sinusaritmie, berekend volgens beschreven scoringsmethode van 11 (s.d. 8.5) ($n = 85$).

In *Tabel 1* zijn de resultaten van de twee proefseries met de binaire keuzen vermeld. Deze zijn uitgedrukt in percentages van de voorafgaande

Tabel 1. Invloed van mentale taken op polsfrequentie en sinusaritmie

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

conditie	rust	lichtsignalen		tonen-taak	
	R	45/min I	70/min II	60% indiv. max. III	80% indiv. max. IV
aantal proefpersonen		6		30	
polsfrequentie	100	106 (12)	106 (14.5)	104 (9)	106 (9.4)
sinusaritmie	100	47 (21.1)	15 (19)	60 (25)	45 (30)

significanties (rangtekentoets, eenzijdig)

polsfrequentie: III > R ($\rho < .025$); IV > R en IV > III ($\rho < .005$)

sinusaritmie: I < R en II < R ($\rho < .025$); II < I ($\rho < .05$); III < R; IV < R en IV < III ($\rho < .005$)

Tabel 2. 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 s.d.

conditie	rust	horen	luisteren
	R	I	II
aantal proefpersonen		21	
polsfrequentie	100	101 (3.2)	102 (6.7)
sinusaritmie	100	86 (23)	51 (24)

significanties (rangtekentoets, eenzijdig)

sinusaritmie: I < R ($\rho < .01$); II < R en II < I ($\rho < .005$)

rustwaarden. Men ziet dat inderdaad de sinusaritmie onderdrukt wordt *naar de mate* waarin de uitwendige last toeneemt.

In een derde proefserie met 21 proefpersonen werd nagegaan of op deze wijze objectief onderscheid gemaakt kon worden tussen alleen maar horen en luisteren. Bij het voorlezen van een Spaanse tekst kreeg de proefpersoon eerst de instructie, dat hij niet behoefde te luisteren, maar „het gewoon langs zich heen mocht laten gaan”. Daarna werd de tweede helft van het verhaal voorgelezen, maar nu werd de proefpersoon opdracht gegeven het aantal malen, dat het lidwoord „los” voorkwam te tellen. Het interessante van deze proefopstelling is, dat de aandachtsinstelling van de proefpersoon het *enige* is, dat in de situatie verandert, daar de fysieke omgeving en stimulering in beide gevallen identiek zijn, terwijl in beide situaties geen fysieke taak wordt vervuld door de proefpersoon.

In *Tabel 2* vindt men de resultaten. Hieruit blijkt dat het onderscheid tussen horen en luisteren zeer significant tot uitdrukking komt in de sinusaritmie ($p < 0.005$).

In een vierde proefserie met 12 proefpersonen werd de invloed van lawaai op de sinusaritmie nagegaan. In een pilot-onderzoek bleek een witte ruis niet zo'n duidelijke invloed te hebben als geregistreerd fabriekslawaai. Daarom werd de proefserie gedaan met deze laatste vorm van lawaai. Gebruikt werd de registratie van het lawaai uit een ponserij, dat gereproduceerd werd met een sterkte van 80 dB en 90 dB. De mate van onver-

wachtheid van de veranderingen in de geluidsterkte is groot: het is lawaai, waarin veel „gebeurt”. In informatie-theoretische zin is de informatiewaarde dus groter dan die van een witte ruis. In *Tabel 3* ziet men, dat dit soort lawaai een invloed heeft op de sinusaritmie overeenkomend met die van een tamelijk inspannende aandachtstaak. Dit is een gegeven dat zeker waard is in verder onderzoek nader uitgewerkt te worden. Tevens blijkt industrieel lawaai van 80 dB en 90 dB te differentiëren (*Tabel 3*). Bij dit soort proeven wordt de proefpersoon eerst vertrouwd gemaakt met het horen van het lawaai om de invloed van schrikreacties e.d. te verkleinen.

Bij proeven om de invloed van licht na te gaan werden de condities vergeleken met rust *met gesloten ogen*. Een klein verschil werd gevonden tussen deze rustwaarde en de waarde van rust met open ogen. Verschillende lichtsterkten (150 en 3500 lux) bleken onderling niet te differentiëren (*Tabel 4*). Het is trouwens niet zeker dat het kleine verschil tussen ogen dicht en open te wijten is aan de invloed van het licht. Wanneer men de ogen opent neemt daarmee in een normale omgeving vanzelf de spontane informatie-opname toe.

De resultaten van deze vijf proefseries bevestigen voorlopig de hypothese, dat de sinusaritmie progressief wordt onderdrukt bij *toename van de informatieverwerkende hersenactiviteit per tijdseenheid*. Omgekeerd kan nu uit de mate van sinusaritmie-onderdrukking een schatting gemaakt worden over de mentale last van een taak. Om een indruk te krijgen of men op deze wijze inderdaad

Tabel 3. 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 s.d.

conditie	rust	industrieel lawaai	
	R	80 db I	90 db II
aantal proefpersonen	12		
polsfrequentie	100	99 (2.2)	98 (4)
sinusaritmie	100	58 (25.1)	43 (18.4)

significanties (rangtekentoets, eenzijdig)
sinusaritmie: I < R, II < R, II < I ($p < .005$)

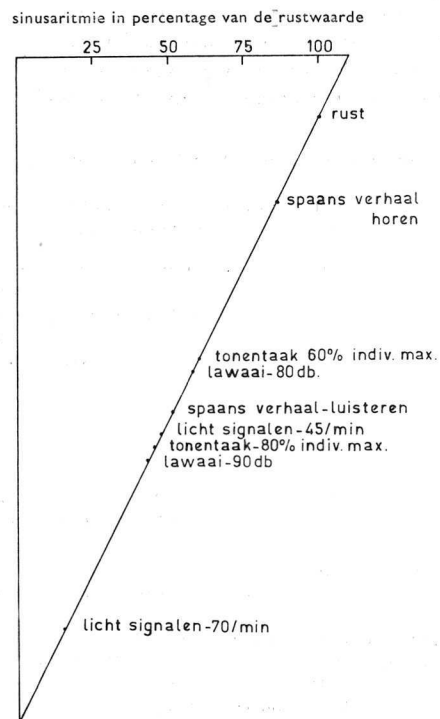
Tabel 4. Invloed van licht op polsfrequentie en sinusaritmie

Gegeven zijn per conditie de gemiddelden van de percentages van de waarden tijdens rust en met gesloten ogen. Tussen haakjes de s.d.

conditie	gesloten ogen I	open ogen	
		150 lux II	3500 lux III
aantal proefpersonen	16		
polsfrequentie	100	99 (1.7)	99 (2.9)
sinusaritmie	100	80 (30.4)	77 (28.5)

significanties (rangtekentoets, eenzijdig)
sinusaritmie: II < I, III < I ($p < .005$)

erin slaagt taken op een rangorde-schaal van mentale belasting te plaatsen, is de gemiddelde sinusaritmie-onderdrukking *per taak* uitgerekend, gebruik makend van *alle* scores van de diverse groepen in de besproken proefseries. *Figuur 2* geeft het resultaat hiervan, waarbij de taken zijn gerang-



Figuur 2. Mentale taken gerangschikt naar onderdrukking van de sinusaritmie

schikt op een hypothetische lijn van onderdrukking van sinusaritmie. Deze rangorde toont geen evidente anomalieën.

In *duurproeven* met binaire keuze bleek, dat indien de last of uitwendige belasting kleiner was dan $1/3$ van het individuele maximum er bij een taak die 4 uur duurde geen effect werd gevonden, behalve in het eerste halfuur. Dit zou erop kunnen wijzen dat plm. 20 binaire keuzen per minuut een soort steady-state zou betekenen. De bloeddruk vertoonde echter wel een kleine stijging. Men ziet dat men bij de mentale belasting — evenals bij de fysieke — niet uitsluitend op veranderingen van één parameter moet afgaan.

Discussie

In hoeverre sinusaritmie-onderdrukking een symptoom is van *functionele belasting* blijft vooralsnog een vraag.

Het mag op het eerste gezicht verwonderen dat bij toenemende inspanning de hartslag regelmatig wordt, immers bij de uitvoering van taken beschouwt men dikwijls de onregelmatigheid van de prestatie als een vermoeidheidssymptoom. Bezieet men het hart echter als een regelsysteem waarop vele invloeden uitgeoefend worden, dan is het duidelijk dat naarmate er minder streng wordt bijgeregeld, de onregelmatigheid toeneemt. De wegen waarlangs dit bijregelen kan geschieden worden in het hierna volgende artikel van E t t e m a nagegaan.

Bij de hier behandelde vormen van stress bestaat de last of inwendige belasting uit informatieverwerking per tijdseenheid. Deze dient als mentale stress onderscheiden te worden van de meer bekende emotionele stress die dikwijls wel gepaard gaat met een toename der hartfrequentie, terwijl de invloed op de sinusaritmie niet zo systematisch is als bij de eerstgenoemde.

Spontane informatieverwerkende hersenactiviteit zonder directe input kan men preoccupatie noemen. Zorgen en tobberijen kunnen dus op tweeërlei wijze een stress voor het hersensysteem betekenen:

- 1 als preoccupatie, die hersenactiviteit bindt en daardoor minder capaciteit beschikbaar laat voor de uitvoering van de beroepstaak of de aanpassing aan de omgeving;
- 2 door de ermee gepaard gaande emotionele reacties die, zoals iedereen dagelijks ervaart, eveneens de informatieverwerkende capaciteit reduceert.

Preoccupatie en emotionaliteit behoeven echter niet altijd samen te gaan. Indien men in de toestand van gereduceerde mentale capaciteit toch zijn beroepstaak e.d. op het normale niveau wil uitvoeren, dan spreekt het vanzelf dat dit een grotere stress voor het systeem betekent. Men zou kunnen zeggen dat de normale reservefactor niet meer wordt aangehouden.

Dat normaliter wel een constante reservefactor wordt aangehouden zou kunnen blijken uit het feit dat in onze experimenten *alleen* wanneer de informatieverwerking in opgelegd tempo moet geschieden en *na* een strenge voortraining om fouten te vermijden, er een grotere sinusaritmie-onderdrukking wordt gevonden dan 60 %. Spontane motivatie, bijv. wanneer er in een hoek van de proefruimte wordt gefluisterd, kan — zij het voor korte tijd — wel een totale onderdrukking te weeg brengen.

De onderdrukking van de sinusaritmie varieert dus met de hoeveelheid informatieverwerking per tijdseenheid. In hoeverre speelt echter de individuele variatie in belastbaarheid een rol? Indien deze variatie groot is, zal men zich voor kunnen stellen, dat dezelfde hoeveelheid informatieverwerking door de één gemakkelijker verwerkt kan worden, terwijl de ander al zijn reservecapaciteit moet aanspreken ook zonder dat hij uit andere hoofde geïmprecueerd is. De vrij grote standaardafwijkingen schijnen inderdaad in deze richting te wijzen. De onderdrukking van de sinusaritmie lijkt dus meer afhankelijk van de grootte van de reservecapaciteit dan van de objectieve hoeveelheid informatieverwerking per tijdseenheid.

Summary

From observed or registered behaviour one often can conclude only about a man's abilities, aims and ambitions, without failure, if the amount of mental effort he put in it is known.

Numerous experiments are related showing that the normal irregular heart rate pattern during rest (sinus arrhythmia) becomes more regular as a function of the amount of information handling per time unit.

A simple scoring method is put forward. The scored regularity of heart rate patterns was found to differentiate also highly significantly between listening and hearing as well as between different intensities of industrial noise.

It is argued that states of emotion and of preoccupation could be distinguished objectively by looking at the sinus-arrhythmia. The importance of the interindividual dispersion however could mean that the sinus arrhythmia is more a function of the individual reserve-capacity than of the absolute amount of information handling per time unit.

Literatuur

- Bartenwerfer, H., L. Kötter, W. Sickel, Beiträge zum Problem der psychischen Beanspruchung II. Forschungsber.d. Landes Nordrhein-Westf. Nr. 1131 (1963) Köln u. Opladen
- Blatt, Sidney J., Patterns of cardiac arousal during complex mental activity. J. abn. soc. Psych. 63 (1961) 272
- Kalsbeek, J. W. H., Jaarrapport T.N.O. 1963
- Kalsbeek, J. W. H., Jaarrapport T.N.O. 1964
- Kalsbeek, J. W. H., J. H. Ettema, Continuous recording of heart rate and the measurement of perceptual load. Ergonomics 6 (1963) 306
- Kalsbeek, J. W. H., J. H. Ettema, Physiologische begeleidingsverschijnselen van psychische belasting. Voordracht gehouden op de 4de vergadering van Nederlandse Vereniging voor Ergonomie (1964)
- Kalsbeek, J. W. H., J. H. Ettema, Physiological and psychological evaluation of distraction stress. Communication at the 2nd Intern. Ergonomics Conference, Dortmund sept. 1964. Ergonomics 8 (1965)
- Monod, H., S. Bouisset, Utilisation d'un nouveau cardio-fréquencemètre chez l'homme au repos et au cours du travail musculaire. Presse méd. 70-31 (1962) 1529