

Catecholaminen en hartfrequentie als parameters van werkbelasting

A. Grade¹

Summary

Renal excretion of catecholamines and cardiac frequency are investigated as practical parameters of mental stress in the training of aircraft pilots. Results in a flight-simulator are compared with those in a real instruction flight. Renal excretion of catecholamines in our situation proved to be the more practical parameter of both.

Results confirm the theory that norepinephrine is associated with mental stress and epinephrine with emotional stress. Pilots who passed the final test in their education showed different values, compared with their colleagues who failed. Contrary to some other investigations, a ratio epinephrine/norepinephrine of approximately 1, or even more, proved not always to be incapacitating.

Samenvatting

Dit onderzoek beoordeelt de praktische waarde van catecholaminen, bepaald uit urine, en hartfrequentie als parameters van werkbelasting, gedefinieerd als mentale en emotionele belasting. Voor dit doel is een groep kandidaat-piloten onderzocht, die vergelijkbare vliegopdrachten uitvoerden in een Frasca 141 vlucht-simulator en in een Slingsby lestoestel. In deze groep proefperso- nen is de excretie van adrenaline en noradrenaline gemeten in combinatie met registratie van de hartfrequentie.

De parameters toonden een significant grotere mentale en emotionele belasting tijdens de simulator-vlucht in vergelijking met de vlucht in het lestoestel. De meting van de catecholaminen-excretie bleek in deze setting beter uitvoerbaar en betrouwbaar, en daarmee van grotere praktische waarde, dan registratie van de hartfrequentie. De meetgegevens waren in overeenstemming met de theorie die noradrenaline associeert met mentale belasting en adrenaline met emotionele belasting. Kandidaat-piloten die de test succesvol afsloten, reageerden fysiologisch verschillend van degenen die de test niet haalden. Een aantal van de adrenaline/noradrenaline ratio's die het getal 1 benaderden of overschreden, bleken niet incapaciterend te zijn, in tegenstelling tot sommige artikelen in de literatuur.

Inleiding

Verskillende onderzoeken hebben fysiologische parameters, gedragskenmerken en secundaire taken onderzocht om mentale, emotionele en fysieke werkbelasting te bepalen [3-8, 12-15, 22-25]. Recente ontwikkelingen richten zich op de catecholaminen adrenaline en noradrenaline als parameters van gecumuleerde belasting [10, 11, 12] en op cortisol en hartfrequentie als parameters van momentane belasting [1, 2, 9, 16-20]. Deze psycho-fysiologische parameters geven informatie over de relatie tussen sympatische en parasympatische activiteit van het zenuwstelsel bij blootstelling aan werkbelasting.

Fysiologische reactie op belasting kan als volgt worden beschreven. De snelste reactie (onder 300 msec) is die van de parasympatische nervus vagus. Na een latentie-periode van 2-3 seconden, treedt de nerveuze sympatische reactie op, gevolgd door de hormonale sympatische actie in de vorm van adrenaline en noradrenaline. De catecholaminen leiden onder andere tot vrijmaking van brandstof door mobilisatie van vrije vetzuren en glucose. Het cardiovasculaire reactie-patroon is een analoge combinatie van nerveuze en hormonale invloeden. Adrenaline verhoogt de contractiliteit van het hart via beta-1-receptoren in de ventrikel. Noradrenaline medieert de sympatische stimu-

latie van de sinusknop. Adrenaline geeft vasodilatatie via beta-2-receptoren in de spieren en noradrenaline geeft vasoconstrictie via alfa-receptoren in huid, maag-darmkanaal en nieren.

Cortisol wordt geproduceerd indien de belasting langdurig is, maar met name indien geen adaptatie aan die belasting plaatvindt. Cortisol verhoogt de sensitiviteit van de receptoren voor catecholaminen. Deze eigenschap is vergelijkbaar met de hormonale sympatische actie. Aan de andere kant heeft cortisol een dempende eigenschap vergelijkbaar met de parasympatische nervus vagus.

Ten slotte is de psychologische status van het organisme van belang in de reactie op belasting. Dierexperimenteel onderzoek heeft aangetoond dat belasting met adaptatie aan die belasting het sympatische systeem activeert. Echter, belasting zonder adaptatie (geen controle over de situatie, gevoelens van hopeloosheid) geeft tevens activatie van cortisol en mogelijk de nervus vagus.

Volgens de theorie van Krahenbuhl en Svensson wordt adrenaline secretie met name gestimuleerd door emotionele belasting (angst, woede) en noradrenaline secretie door mentale en fysieke werkbelasting [10, 11, 21]. Mills geeft de hypothese weer dat personen die op belasting reageren met hoge adrenaline en noradrenaline niveaus in het algemeen beter presteren in termen van accuraatheid, snelheid en duur, dan personen die reageren met lage niveaus [12]. Literatuurgegevens van Hale, Krahenbuhl en Svensson geven aan dat belasting incapaciterend lijkt te worden wanneer de adrenaline/noradrenaline ratio het getal 1 benadert [5, 11, 21]. Persistierende of frequent verhoogde niveaus van adrenaline en noradrenaline zijn geassocieerd met de etiologie van cardiovasculaire ziekten. Dit wordt onder andere gemedieerd door de mobilisatie van vrije vetzuren en glucose [21].

1. De auteur Ank Grade was ten tijde van het onderzoek werkzaam bij het Ministerie van Defensie als stralingsarts. Het onderzoek is uitgevoerd vanuit de Afdeling Bedrijfs- en Luchtvaartgeneeskunde / Sous-Chef Geneeskundige Zaken Koninklijke Luchtmacht in samenwerking met de Afdeling Gedragwetenschappen Koninklijke Luchtmacht. Momenteel werkt auteur bij de BGD Grift en Linge als bedrijfsarts, stralingsarts.

Dit onderzoek beoordeelt de praktische waarde, wat betreft uitvoerbaarheid en betrouwbaarheid, van catecholaminen zoals bepaald uit urine en hartfrequentie als parameters van werkbelasting, gedefinieerd als mentale en emotionele belasting. Voor dit doel is een groep kandidaat-piloten onderzocht, die vergelijkbare vliegopdrachten uitvoerden in een Frasca 141 vlucht-simulator en in een Slingsby lestoestel. In deze groep proefpersonen is de excretie van adrenaline en noradrenaline gemeten in combinatie met registratie van de hartfrequentie. De mentale en emotionele belasting tijdens deze vluchten is op basis van deze parameters vergeleken, correlaties tussen de parameters zijn berekend, en ten slotte de resultaten zijn gespiegeld tegen de eerder beschreven theorieën.

Methodes

Experimentele opzet

Een groep kandidaat-piloten is onderzocht die vergelijkbare vliegopdrachten uitvoerden in een Frasca 141 vlucht-simulator en in een Slingsby lestoestel. D.w.z., elke kandidaat voerde een aantal vluchten uit in de simulator, waarna, indien de simulator-testen waren behaald, de vluchten in het lestoestel plaatsvonden. In deze groep proefpersonen is de excretie van adrenaline en noradrenaline gemeten in combinatie met registratie van de hartfrequentie.

De metingen zijn uitgevoerd bij iedere kandidaat tijdens een vlucht in de simulator en tijdens een vergelijkbare vlucht in het lestoestel. Deze vluchten waren vergelijkbaar wat betreft vliegopdrachten, duur (1 uur), zogenaamd 'novelty-effect' (minimaal) en fysieke belasting (licht).

Metingen zijn eveneens uitgevoerd gedurende het uur voorafgaande aan de vluchten. Deze perioden waren eveneens vergelijkbaar wat betreft mentale en fysieke activiteit (rust) en opname van voedingsmiddelen (gestandaardiseerd, zie onder Procedure). Deze metingen representeerden uitgangswaarden, inclusief de individuele momenten in het circadiane ritme.

Op deze wijze was elk individu zijn eigen maatstaf: individuele meetgegevens tijdens belasting in simulator of lestoestel in vergelijking tot individuele uitgangswaarden.

Proefpersonen

Een aantal van 48 kandidaat-piloten zijn betrokken in het onderzoek. Uiteindelijk voerden 21 kandidaten beide testseries (simulator en lestoestel) uit. De anderen waren afgevallen in de simulator-testen. Alle proefpersonen waren mannen. De gemiddelde leeftijd was 19 jaar met een spreiding van 17-24 jaar.

Procedure

Na aankomst op locatie, ledigden de proefpersonen hun blaas. Deze urine is niet verzameld. Hierna volgde 1 uur tot aan de vlucht (simulator of lestoestel). In deze periode werden de kandidaten verzocht om ruim te drinken teneinde voldoende urine-productie te garanderen.

Koffie, thee, cola en sigaretten waren niet toegestaan in verband met het effect op catecholamine-secretie.

Direct voorafgaande aan de vlucht (uitgangswaarde) en onmiddellijk na de vlucht (meetgegevens gecumuleerde belasting), ledigden de proefpersonen hun blaas opnieuw. Deze urine is geanalyseerd.

De hartfrequentie is gemeten gedurende het uur voorafgaande aan de vlucht (uitgangswaarden) en tijdens de vlucht (meetgegevens momentane belasting).

Parameters

Catecholaminen

De waarden van adrenaline en noradrenaline in de verza-

melde urine zijn uitgedrukt in concentraties ten opzichte van de kreatinine-concentratie, namelijk in nmol/mmol kreatinine.

Hiermee wordt gecorrigeerd voor eventuele verschillen in renale klaring en volume van de urine-monsters. Van ieder urine-monster is derhalve een reageerbuis afgenomen voor catecholaminen-bepaling alsmede een reageerbuis voor kreatinine-bepaling. De urine voor catecholaminen-analyse werd gestabiliseerd door toevoeging van glutathion en EGTA (Titriplex VI), verlaging van de pH tot 2, en tenslotte door invriezen. De catecholamine-concentratie werd bepaald met behulp van de COMT (catechol-O-methyl-transferase) reactie, waarin adrenaline en norrenaline worden omgezet in radioactief gelabeld metanephrine en normetanephrine respectievelijk. De validiteit en reabiliteit van stabilisatie en analyse zijn bewaakt met interne controle's.

Hartfrequentie

De hartfrequentie is geregistreerd met behulp van de Polar Electro Sport Tester PE 3000. De meetset bestaat uit twee delen. Het eerste gedeelte is een eenheid met elektroden welke met een band om de borstkas is bevestigd, de hartfrequentie registreert en deze met behulp van een elektromagnetische golf uitzendt naar het tweede deel van de set, namelijk de ontvanger met een geheugen in de vorm van een polshorloge. Het polshorloge bevat eveneens de bediening van de meetset. In zowel de simulator als het lestoestel dienen de zender en ontvanger van de meetset zodanig te worden gepositioneerd, dat geen interferentie optreedt van of door de elektromagnetische velden van de elektronische apparatuur in het toestel (simulator-computer, communicatie-apparatuur in het lestoestel).

Statistiek

In de analyses van de catecholaminen zijn de volgende variabelen opgenomen: de test-methoden simulator versus lestoestel en de meetgegevens tijdens belasting in vergelijking met de uitgangswaarden.

Bij de analyses van de hartfrequentie is daarnaast de variabele tijd betrokken, waarmee eventuele tijdseffecten zoals bijvoorbeeld anticipatie zijn onderzocht.

Hiertoe zijn de registraties van de hartfrequentie verdeeld in perioden van 10 minuten, berekend vanaf de laatst geregistreerde minuut. De eerste 5 geregistreerde minuten zijn buiten beschouwing gelaten aangezien de standaardisatie van deze perioden niet kan worden gegarandeerd. Indien minder dan 35 minuten waren geregistreerd, is de betreffende registratie niet onderzocht op eventuele tijdseffecten.

De vergelijking van belasting in simulator en lestoestel is berekend door middel van multi-variate analysis of variance. Correlaties zijn bepaald tussen adrenaline en noradrenaline excretie, tussen catecholaminen-excretie en hartfrequentie, en tussen analyse resultaten en resultaten van psychologische voorselectie. De relatie tussen analyse resultaten en test resultaten is onderzocht door middel van T-testen.

Ten gevolge van elektromagnetische interferentie zijn een aantal hartfrequentie-registraties verloren gegaan. Deze zijn in de statistische verwerking aangemerkt als zogenaamde 'missing values' en zijn buiten beschouwing gelaten bij berekeningen van onder andere gemiddelden.

Per analyse is een evaluatie uitgevoerd met betrekking tot de bruikbaarheid van de registratie op basis van het aantal registratie-punten.

Geen van de urine-bepalingen was onbetrouwbaar (bijvoorbeeld met betrekking tot het volume van het urine-monster) of is om andere redenen verloren gegaan.

Onderzoeksresultaten

Veranderingen in niveaus van adrenaline en noradrenaline

De concentraties van adrenaline en noradrenaline zoals gemeten tijdens de vluchten waren significant hoger dan de uitgangswaarden zoals gemeten tijdens het gestandaardiseerde uur voorafgaande aan de vluchten. De concentraties gemeten tijdens de simulator-vlucht waren significant hoger dan tijdens de vlucht in het lestoestel. De stijging in concentratie was significant groter tijdens de simulator-vlucht dan tijdens de vlucht in het lestoestel. Tabel 1 geeft de concentratie-niveaus weer en figuur 1 toont het patroon grafisch.

Tabel 1: Gemiddelde concentraties van adrenaline en noradrenaline in nmol/mmol kreatinine

Meet-periode	adrenaline			noradrenaline		
	GEM.	S.D.	N	GEM.	S.D.	N
SIM V	17.09	6.85	20	28.57	8.96	20
SIM T	43.90	28.45	20	53.08	28.23	20
FLY V	10.75	3.82	20	23.22	7.64	20
FLY T	25.36	10.64	20	33.54	13.29	20

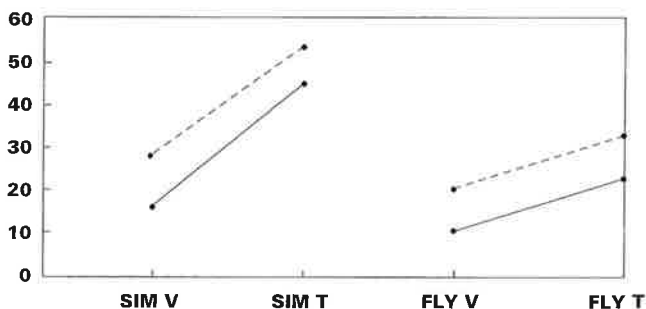
Legenda:

SIM V = meetgegevens 1 uur voorafgaande aan simulator-vlucht
 FLY T = meetgegevens tijdens de vlucht in het lestoestel

Veranderingen in hartfrequentie

De apparatuur waarmee de hartfrequentie werd geregistreerd bleek nogal gevoelig voor interferentie. De interferentie van externe electromagnetische velden stoorde de transmissie van de geregistreeerde hartfrequentie naar de ontvanger van de meetset, ondanks zorgvuldige positionering van de zender en ontvanger van de meetset teneinde deze interferentie te voorkomen. Ten gevolge hiervan zijn een aantal meetgegevens verloren gegaan. Per analyse is een evaluatie uitgevoerd met betrekking tot de bruikbaarheid van de registratie op basis van het aantal registratiepunten. Registraties van slechts 8 kandidaten konden worden gebruikt voor alle analyses. Deze gegevens zijn weergegeven in tabel 2 en figuur 2. Analyses waarvoor meerdere registraties konden worden gebruikt (maximum n=44) zijn eveneens uitgevoerd. Deze resultaten bleken niet te verschillen van de resultaten in tabel 2. De registraties van de hartfrequentie toonden geen significant verschil tussen de simulator-vlucht en de vlucht in het lestoestel. De gemiddelde hartfrequentie tijdens de

Figuur 1. Gemiddelde concentraties van adrenaline en noradrenaline in nmol/mmol kreatinine als functie van de meet-periode



LEGENDA: → ADR → NORADR

SIM V = meetgegevens 1 uur voorafgaande aan de simulator-vlucht
 FLY T = meetgegevens tijdens de vlucht in het lestoestel

Tabel 2: Gemiddelde hartfrequentie in slagen per minuut

Meet-Periode	Hartfrequentie		
	GEM.	S.D.	N
SIM V1	79.78	12.03	8
SIM V2	82.51	15.74	8
SIM V3	88.63	9.00	8
SIM T1	104.26	18.42	8
SIM T2	105.01	16.44	8
SIM T3	106.06	15.21	8
FLY V1	91.36	12.22	8
FLY V2	85.58	11.81	8
FLY V3	83.58	9.84	8
FLY T1	106.87	18.98	8
FLY T2	97.80	18.76	8
FLY T3	94.35	16.48	8

Legenda:

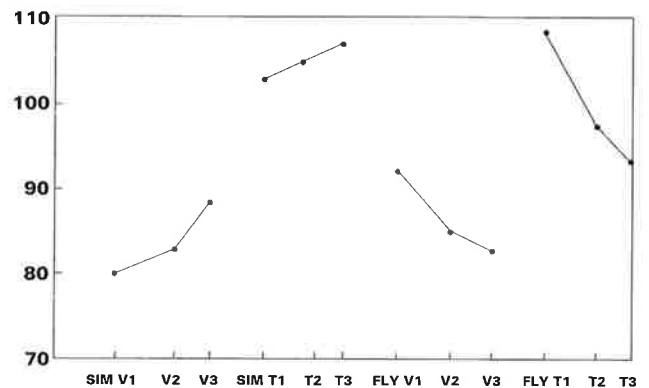
SIM V1 = meetgegevens in de 1e 10 minuten van het uur voorafgaande aan simulator-vlucht
 FLY T3 = meetgegevens in de 3e 10 minuten tijdens de vlucht in het lestoestel

vluchten was significant hoger dan tijdens het gestandaardiseerde uur voorafgaande aan de vluchten. Als parameter van belasting, gaf de hartfrequentie-registratie aan dat de belasting opgelegd door de simulator-vlucht continu toenam vanaf de eerste metingen vooraf tot aan de laatste metingen tijdens de simulator-vlucht. De hartfrequentie als parameter van belasting toonde een duidelijk vlakker verloop van belasting opgelegd door de vlucht in het lestoestel. Het verschil tussen de eerste metingen vooraf tot aan de laatste metingen tijdens de vluchten was kleiner bij vlucht in het lestoestel. Als parameter van belasting toonde de hartfrequentie zelfs een afname van belasting in de perioden vooraf en tijdens de vlucht in het lestoestel. De laatste metingen voorafgaande aan de simulator-vlucht toonden een significant hogere gemiddelde hartfrequentie, hetgeen verklaard kan worden door een anticipatie-effect. Bij de vlucht in het lestoestel is dit niet geconstateerd.

Correlatie tussen adrenaline en noradrenaline excretie

Deze correlatie is inherent aan de endocrien-metabole relatie tussen de catecholaminen en was bijna uniform significant.

Figuur 2. Gemiddelde hartfrequentie in slagen per minuut als functie van de meet-periode ingedeeld in perioden van 10 minuten



LEGENDA: SIM V1 = meetgegevens in de 1e 10 minuten van het uur voorafgaande aan simulator-vlucht
 FLY T3 = meetgegevens in de 3e 10 minuten tijdens de vlucht in het lestoestel

Correlatie tussen de hartfrequentie en de catecholaminen excretie

Bij berekening van deze correlatie in de gehele groep van kandidaat-piloten, werden negatieve correlaties gevonden in de metingen voorafgaande aan de simulator-vlucht tussen adrenaline (significant) en noradrenaline enerzijds en hartfrequentie anderzijds. Dat wil zeggen, hoe hoger de adrenaline en noradrenaline concentraties, des te lager de hartfrequentie. In de metingen tijdens de simulator-vlucht zijn geen significante correlaties gevonden. Bij de metingen voorafgaande aan de vlucht in het lestoestel, was de correlatie tussen adrenaline en hartfrequentie significant positief. De metingen tijdens vlucht in het lestoestel toonden significant positieve correlaties tussen adrenaline en noradrenaline enerzijds en hartfrequentie anderzijds.

Bij herberekening van de simulator-vlucht correlaties voor kandidaten die de test hadden behaald versus kandidaten die de test niet hadden behaald, was de negatieve correlatie in de succesvolle groep duidelijk afgenomen. In deze groep verdween de negatieve correlatie geheel voor noradrenaline.

Correlatie tussen analyse resultaten en resultaten van psychologische voorselectie

De resultaten van de psychologische voorselectie geven een indicatie van de geschiktheid van de kandidaat-piloot. Significante correlaties zijn gevonden met adrenaline in de metingen voorafgaande aan de simulator-vlucht en de vlucht in het lestoestel en met zowel adrenaline als noradrenaline in de metingen tijdens de simulator-vlucht. Dat wil zeggen, hoe geschikter een kandidaat werd bevonden in de psychologische voorselectie, des te hoger was de gemeten catecholaminen excretie. Geen significante correlatie is gevonden in de metingen tijdens de vlucht in het lestoestel. Dit kan worden verklaard door een lager inspanningsniveau vanwege een lagere belasting en/of een selectie-effect (selectie van de besten na de simulator-test).

De hartfrequentie-gegevens toonden geen correlatie met gegevens uit de psychologische voorselectie voor de gehele groep kandidaten in de simulator-vlucht. Herberekend voor de groepen die de test wel of niet hadden behaald, werd een significant negatieve correlatie gevonden in de metingen voorafgaande aan de simulator-vlucht voor de groep die de test niet behaalde. Dat wil zeggen, hoe geschikter een kandidaat werd bevonden in de psychologische voorselectie, des te lager was de gemiddelde hartfrequentie. Dat is niet wat men zou verwachten op basis van de actie van de catecholaminen, maar analoog aan de eerder vastgestelde dissociatie bij de berekening van de correlatie tussen hartfrequentie en catecholaminen excretie.

Relatie tussen analyse resultaten en test resultaten

De catecholaminen-concentraties verschilden niet tussen kandidaten die de simulator- of lestoestel-testen wel of niet behaalden. De gemiddelde hartfrequentie verschilden niet tussen kandidaten die de simulator-test wel of niet behaalden. Echter de gemiddelde hartfrequentie van kandidaten die de lestoestel-test behaalden was significant hoger. De gegevens zijn weergegeven in tabel 3.

Adrenaline/noradrenaline ratio's die het getal 1 benaderen of overschrijden

Een adrenaline/noradrenaline ratio $\geq 0,95$ werd diverse malen gevonden, zie tabel 4. Bij één kandidaat is dit geconstateerd onder alle vier de condities, nl. de perioden vooraf en tijdens de simulator-vlucht en de vlucht in het lestoestel. Deze kandidaat bereikte de hoge ratio van 1,59 in de meting voorafgaande aan de simulator-vlucht. De

Tabel 3: Relatie tussen analyse resultaten (gemiddelde hartfrequentie in slagen per minuut) en test resultaten (test wel of niet behaald)

Meet Periode	Hartfrequentie in FLY +			Hartfrequentie in FLY -		
	GEM.	S.D.	N	GEM.	S.D.	N
FLY V1	92.69	12.86	8	89.27	9.08	6
FLY V2	88.19	10.71	8	84.00	8.78	6
FLY V3	92.68	11.95	8	83.65	8.34	6
FLY T1	111.34	23.79	6	109.68	14.62	7
FLY T2	105.43	22.03	6	97.07	15.66	7
FLY T3	99.91	18.28	6	94.90	16.29	7

Legenda:

FLY + = test in het lestoestel behaald

FLY - = test in het lestoestel niet behaald

FLY V1 = meetgegevens in de 1e 10 minuten van het uur voorafgaande aan de vlucht in het lestoestel

FLY T3 = meetgegevens in de 3e 10 minuten tijdens de vlucht in het lestoestel

ratio benaderde 1 het meest frequent in de metingen tijdens de testen. Een relatie met de hartfrequentie is niet gevonden. Het percentage kandidaten in de groep met ratio's $\geq 0,95$ dat de testen niet behaalde is groter dan verwacht op basis van het percentage dat de testen niet behaalde in de totale groep. Dit gegeven is echter gebaseerd op een gering aantal getallen.

Bespreking

Dit onderzoek beoordeelt de praktische waarde van catecholaminen, bepaald uit urine, en hartfrequentie als parameters van werkbelasting, gedefinieerd als mentale en emotionele belasting. Voor dit doel is een groep kandidaat-piloten onderzocht, die vergelijkbare vliegopdrachten uitvoerden in een Frasca 141 vlucht-simulator en in een Slingsby lestoestel. In deze groep proefpersonen is de excretie van adrenaline en noradrenaline gemeten in combinatie met registratie van de hartfrequentie. Een aantal van 48 kandidaat-piloten zijn betrokken in het onderzoek. Uiteindelijk voerden 21 kandidaten beide test-

Tabel 4: Adrenaline/noradrenaline ratio's $\geq 0,95$

Kandidaat Nummer	Adrenaline / noradrenaline ratio			
	SIM V (N = 46)	SIM T (N = 46)	FLY V (N = 20)	FLY T (N = 20)
1		1.01		
2		1.02		
3		1.14		
4				1.03
5		1.46		
6				0.98
7		0.96		
8		1.14		
9	1.14			
10	0.98	1.07		
11		1.02		
12		1.02	1.07	1.13
13	1.59	1.37	1.10	1.22

Legenda:

SIM V = meetgegevens 1 uur voorafgaande aan simulator-vlucht

FLY T = meetgegevens tijdens de vlucht in het lestoestel

series (simulator en lestoestel) uit. De anderen waren afgefallen in de simulator-testen.

Het meten van catecholaminen in de urine bleek een praktische, betrouwbare en weinig belastende methode te zijn ter bepaling van gecumuleerde belasting, met de mogelijkheid tot het onderscheiden van mentale en emotionele belasting. Het registreren van de hartfrequentie ter bepaling van momentane belasting zoals uitgevoerd met behulp van de Polar Electro Sport Tester PE 3000, bleek als methode nogal gevoelig te zijn voor interferentie, hetgeen resulteerde in verlies van een aantal registraties.

Vergelijking van belasting opgelegd door simulator en lestoestel met behulp van de parameters catecholaminen en hartfrequentie

Zowel adrenaline als noradrenaline concentraties waren significant hoger gedurende de simulator-vlucht dan tijdens de vlucht in het lestoestel. Ook de stijging in concentratie was significant groter tijdens de simulator-vlucht dan tijdens de vlucht in het lestoestel. De literatuur brengt met enige voorzichtigheid noradrenaline in verband met mentale belasting en adrenaline met emotionele belasting [10, 11, 21]. Volgens deze theorie zouden zowel de mentale als de emotionele belasting opgelegd door de Frasca 141 simulator significant groter zijn dan zoals opgelegd door het Slingsby lestoestel. De hartfrequentie-registraties gaven geen significant verschil weer tussen de vluchten, waarschijnlijk ten gevolge van een onvoldoende aantal bruikbare registraties. Zij toonden wel aan dat de belasting tijdens de simulator-vlucht continu toenam, terwijl de belasting in het lestoestel een vlakker verloop liet zien en zelfs afnam in de meet-perioden vooraf en tijdens de vlucht. Voorafgaande aan de simulator-vlucht werd een anticipatie-effect vastgesteld.

De vliegopdrachten tijdens de simulator-vlucht en de vlucht in het lestoestel waren vergelijkbaar. Het verschil in mentale en emotionele belasting kan samenhangen met de volgende factoren: het verschil tussen het vliegen op instrumenten in de simulator versus visueel vliegen in het lestoestel (mentaal en emotioneel verschil); de test-omgeving (emotioneel aspect); de simulator-vlucht ging vooraf aan de vlucht in het lestoestel, zodat een trainingseffect een rol (mentaal) kan hebben gespeeld of het test-karakter van de simulator kan hebben gedomineerd over het test-karakter van de vlucht in het lestoestel (emotioneel effect).

Bepaling van uitgangswaarden

De metingen in het uur voorafgaande aan de vluchten reflecteerden geen metabole rustwaarden. Zij representeerden echter wel vergelijkbare uitgangswaarden voor alle proefpersonen, met inbegrip van het effect van het circadiane ritme. De meetgegevens waren hiermee in overeenstemming, aangezien de concentraties van adrenaline en noradrenaline en de hartfrequentie in de meet-perioden voorafgaande aan de vluchten significant lager waren dan in de meetperioden tijdens de vluchten. Dit gegeven draagt bij aan de praktische waarde van deze parameters, zoals onderwerp van studie.

Noradrenaline gecorreleerd met mentale belasting, adrenaline met emotionele belasting?

Steun voor deze theorie van Krahnentbuhl en Svensson [10, 11, 21] is gevonden in de correlatie zoals berekend tussen analyse resultaten en resultaten van psychologische voorselectie. Het was opvallend dat een significante correlatie tussen voorselectie en adrenaline is gevonden in de metingen voorafgaande aan simulator-vlucht en vlucht in het lestoestel, meet-perioden waarin wel emotionele maar nog geen mentale belasting optrad (met uitzonde-

ring van anticipatie), terwijl een significante correlatie met zowel adrenaline als noradrenaline is gevonden in de metingen tijdens de simulator-vlucht, een meetperiode waarin emotionele en mentale belasting is opgelegd.

Verschillen in fysiologische reactie op belasting tussen kandidaten

De kandidaten die in de psychologische voorselectie waren gekenschetst als 'meest geschikt', toonden de sterkste fysiologische reactie op belasting in termen van catecholaminen excretie en hartfrequentie. Dit is in overeenstemming met de theorie van Mills [12] die stelt dat personen die op belasting reageren met hoge adrenaline en noradrenaline niveaus in het algemeen beter presteren in termen van accuraatheid, snelheid en duur, dan personen die reageren met lage niveaus. De vraag is wat de prijs blijkt van deze inspanning, aangezien persisterende of frequent verhoogde niveaus van adrenaline en noradrenaline geassocieerd zijn met de etiologie van cardiovasculaire ziekten [21].

Een tweede verschil in fysiologische reactie op belasting is aangetoond. In zowel de correlatie tussen catecholaminen en hartfrequentie als tussen analyse resultaten en psychologische voorselectie, trad een dissociatie op tussen de catecholaminen secretie en de hartfrequentie bij de kandidaten die de test niet haalden. Dit kan worden verklaard door de dempende actie van de nervus vagus op de hartfrequentie [13]. Het is mogelijk dat de nervus vagus wordt geactiveerd door een situatie waarin belasting optreedt zonder dat adaptatie aan die belasting volgt. Deze theorie kan worden getest door in een volgend onderzoek de bloeddruk te meten.

Onder invloed van de nervus vagus, zal een lage hartfrequentie in combinatie met een hoge tensie worden aangetoond. De invloed van de nervus vagus kan eveneens worden geanalyseerd door middel van spectraal-analyse van de hartfrequentie.

Adrenaline/noradrenaline ratio's die het getal 1 benaderen of overschrijden

Literatuurgegevens van Hale, Krahnentbuhl en Svensson geven aan dat belasting incapaciterend lijkt te worden wanneer de adrenaline/noradrenaline ratio het getal 1 benadert [5, 11, 21]. Een ratio van $\geq 0,95$ is aangetoond in 19 urine-monsters, met een maximum van 1,59. Het percentage kandidaten in deze groep dat de testen niet behaalde is groter dan verwacht op basis van het percentage dat de testen niet behaalde in de totale groep. Een aantal kandidaten met hoge ratio's behaalde de testen echter wel. In hun geval was de sterke reactie gekoppeld aan een goed prestatie-niveau en derhalve niet incapaciterend [12]. Het is mogelijk dat de drempel voor incapacitatie hoger ligt of dat een bijkomende factor een rol speelt (psychologische status, cortisol, nervus vagus).

Literatuur

- [1] Billings, C.E., Gerke, R.J. et al. (1973). Stress and strain in student helicopter pilots. *Aerospace Medicine* 44, 1031-1035.
- [2] Blix, A.S., Stromme, S.B. et al. (1974). Additional heart rate - an indicator of psychological activation. *Aerospace Medicine* 45, 1219-1222.
- [3] Bricton, C.A. (1977). Methods to assess pilot workload and other temporal indicators of pilot performance effectiveness. Advisory Group for Aerospace Research & Development AGARD CP-217 B9.1-7.
- [4] Goerres, H.P. (1977). Subjective stress assessment as a criterion for measuring the psychophysical workload on pilots. Advisory Group for Aerospace Research & Development AGARD CP-217 B11.1-9.
- [5] Hale, H.P., Ellis, J.P. et al. (1965). Endocrine and metabolic changes during a 12-hour simulated flight. *Aerospace Medicine* 36, 717-719.

- [6] Hale, H.P., Anderson, C.A. et al. (1968). Endocrine-metabolic effects of unusually long or frequent flying missions in C-130E or C-135B aircraft. *Aerospace Medicine* 39, 561-570.
- [7] Hale, H.P., Hartman, B.O. (1973). Physiologic cost of prolonged double-crew flights in C-5 aircraft. *Aerospace Medicine* 44, 999-1008.
- [8] Hale, H.P., McNee, R.C. et al. (1974). Endocrine-metabolic indices of aircrew workload: an analysis across studies. Advisory Group for Aerospace Research & Development AGARD CP-146 A10.1-6.
- [9] Kakimoto, Y., Nakamura, A. et al. (1988). Crew workload in JASDF C-1 transport flights: change in heart rate and salivary cortisol. *Aviation Space & Environmental Medicine* 59, 511-516.
- [10] Krahnenuhl, G.S., Marett, J.T. (1977). Catecholamine excretion in T-37 flight training. *Aviation Space & Environmental Medicine* 48, 405-408.
- [11] Krahnenuhl, G.S., Constable, S.H. et al. (1980). Catecholamine excretion in A-10 pilots. *Aviation Space & Environmental Medicine* 51, 661-664.
- [12] Mills, F.J. (1985). The endocrinology of stress. *Aviation Space & Environmental Medicine* 56, 642-650.
- [13] Nicholson, A.N., Hill, L.E. et al. (1970). Activity of the nervous system during the let-down, approach, and landing: a study of short duration high workload in pilots. *Aerospace Medicine* 41, 436-446.
- [14] North, R.A. (1977). Task components and demands as factors in dual-task performance. University of Illinois - Aviation Research Laboratory, Report ARL-77-2/AFOSR-77-2.
- [15] Ogden, G.D., Levine, J.M. et al. (1979). Measurement of workload by secondary tasks. *Human Factors* 21, 529-548.
- [16] Roman, J. (1965). Flight research program: risk and responsibility as factors affecting heart rate in test pilots. *Aerospace Medicine* 36, 518-523.
- [17] Roman, J., Older H. et al. (1967). Flight research program: medical monitoring of navy carrier pilots in combat. *Aerospace Medicine* 38, 133-139.
- [18] Roscoe, A.H. (1976). Use of pilot heart rate measurement in flight evaluation. *Aviation Space & Environmental Medicine* 47, 86-90.
- [19] Roscoe, A.H. (1978). Stress and workload in pilots. *Aviation Space & Environmental Medicine* 49, 630-636.
- [20] Ruffell Smith, H.P. (1967). Heart rate of pilots flying aircraft on scheduled airline routes. *Aerospace Medicine* 38, 1117-1119.
- [21] Svensson, S., Angelborg, M. et al. (1988). Military flight experience and sympatho-adrenal activity. *Aviation Space & Environmental Medicine* 59, 411-416.
- [22] Wegmann, H.M. (1977). Endocrine-metabolic cost of piloting F-104 G aircraft. Advisory Group for Aerospace Research & Development AGARD CP-217 B8.1-4.
- [23] Wierwille, W.W. (1979). Physiological measures of aircrew mental workload. *Human Factors* 21, 575-593.
- [24] Willeges, R.C., Wierwille, W.W. (1979). Behavioral measures of aircrew mental workload. *Human Factors* 21, 549-574.
- [25] Wisner, A. (1973). Electro-physiological measures for tasks of low energy expenditure. In: Singleton, W.T., Fox, J.G. et al. (1973). *Measurement of man at work*. Taylor and Francis, London 61-73. ■