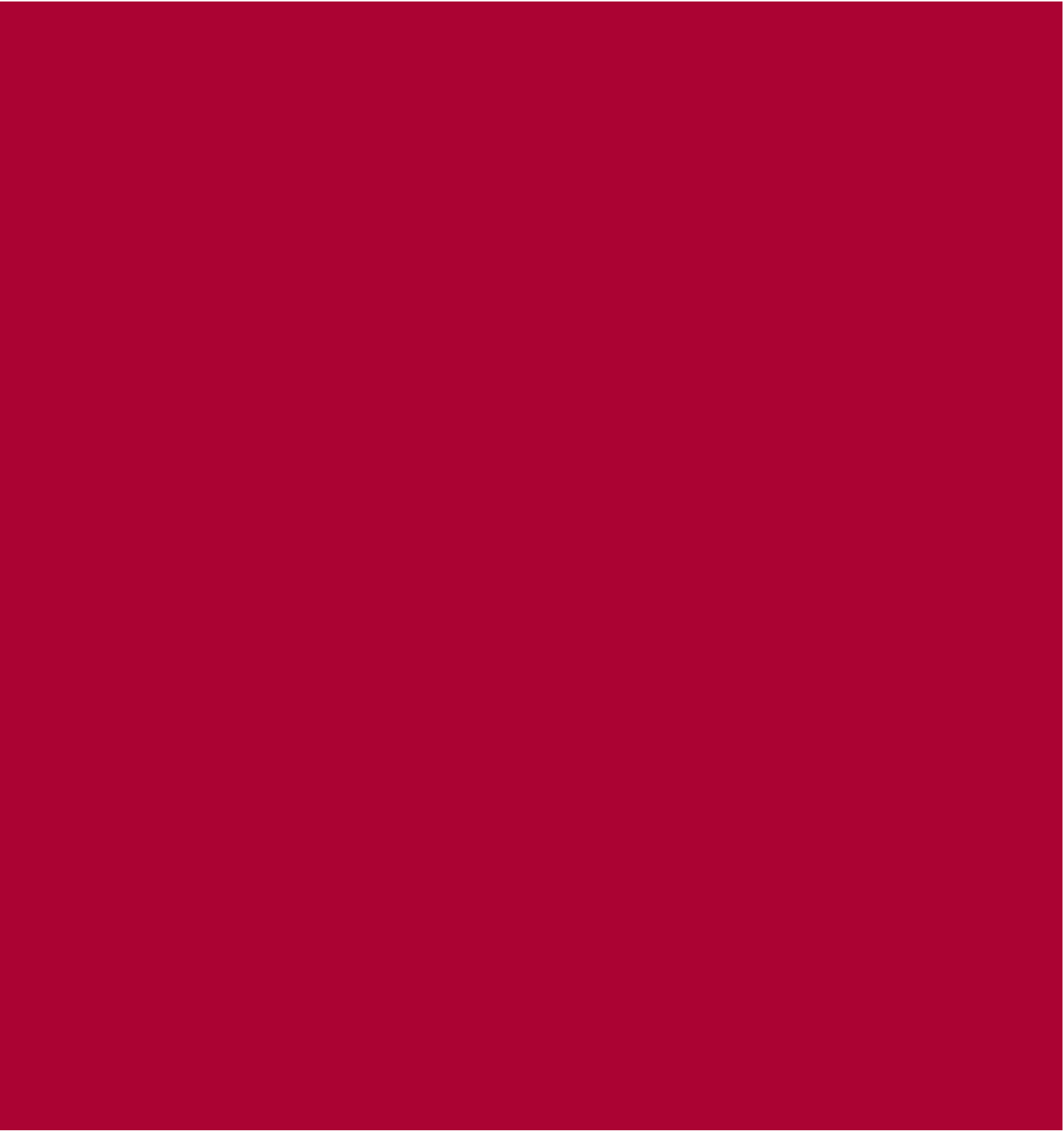




Rörelsesjuka och spatial desorientering: Slutrapport

ARNE TRIBUKAIT, OLA EIKEN



FOI är en huvudsakligen uppdragsfinansierad myndighet under Försvarsdepartementet. Kärnverksamheten är forskning, metod- och teknikutveckling till nytta för försvar och säkerhet. Organisationen har cirka 1350 anställda varav ungefär 950 är forskare. Detta gör organisationen till Sveriges största forskningsinstitut. FOI ger kunderna tillgång till ledande expertis inom ett stort antal tillämpningsområden såsom säkerhetspolitiska studier och analyser inom försvar och säkerhet, bedömningen av olika typer av hot, system för ledning och hantering av kriser, skydd mot hantering av farliga ämnen, IT-säkerhet och nya sensorers möjligheter.



FOI
Totalförsvarets forskningsinstitut
NBC-skydd
901 82 Umeå

Tel: 090-10 66 00
Fax: 090-10 68 00

www.foi.se

FOI-R--1845--SE Användarrapport
ISSN 1650-1942 December 2005

NBC-skydd

Arne Tribukait, Ola Eiken

Rörelsesjuka och spatial desorientering: Slutrapport

Utgivare FOI - Totalförsvarets forskningsinstitut NBC-skydd 901 82 Umeå Författarnas adress: NBC-skydd, Försvarsmedicin Berzelius väg 13 Karolinska Institutet 171 77 Stockholm	Rapportnummer, ISRN FOI-R--1845--SE	Klassificering Användarrapport
	Forskningsområde 8. Människa och teknik	
	Månad, år December 2005	Projektnummer E4455
	Delområde 81 MSI med fysiologi	
	Delområde 2	
Författare/redaktör Arne Tribukait Ola Eiken	Projektledare Ola Eiken	
	Godkänd av Åke Sellström	
	Uppdragsgivare/kundbeteckning Försvarsmakten	
	Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig Ola Eiken	
Rapportens titel Rörelsesjuka och spatial desorientering: Slutrapport.		
Sammanfattning Rapporten redovisar en sammanfattning av resultat från tolv försöksserier, utförda på friska försökspersoner, inom projektet "Rörelsesjuka och spatial desorientering", vars övergripande målsättning har varit att öka kunskapen om konsekvenser av rörelsesjuka samt mekanismer bakom spatial desorientering. Projektet har innefattat två problemområden, "Effekt av rörelsesjuka på autonoma funktioner" respektive "Spatial desorientering".		
Nyckelord Autonom dysfunktion, bågångar, otoliter, rumslig desorientering, spatial orientering, vestibularisorgan, åksjuka		
Övriga bibliografiska uppgifter	Språk Svenska	
ISSN 1650-1942	Antal sidor: 19 s.	
Distribution enligt missiv	Pris: Enligt prislista	

Issuing organization FOI – Swedish Defence Research Agency NBC Defence SE-901 82 Umeå The authors postal address: NBC-skydd, Försvarsmedicin Berzelius väg 13 Karolinska Institutet 171 77 Stockholm	Report number, ISRN FOI-R--1845--SE	Report type User report
	Programme Areas 8. Human Systems	
	Month year December 2005	Project no. E4455
	Subcategories 81 Human Factors and Physiology	
	Subcategories 2	
Author/s (editor/s) Arne Tribukait Ola Eiken	Project manager Ola Eiken	
	Approved by Åke Sellström	
	Sponsoring agency Swedish Armed Forces	
	Scientifically and technically responsible Ola Eiken	
Report title (In translation) Motion sickness and spatial disorientation: Final report.		
Abstract The report concludes results from twelve series of experiments, performed in healthy test subjects, within the project "Motion sickness and spatial disorientation". The general aim was to increase our knowledge as regards consequences of motion sickness and mechanisms underlying spatial disorientation. The project includes two lines of research "Effects of motion sickness on autonomic functions" and "Mechanisms underlying spatial disorientation."		
Keywords Autonomic dysfunction, motion illness, otoliths, spatial illusions, spatial orientation, semicircular canals, vestibular organ		
Further bibliographic information	Language Swedish	
ISSN 1650-1942	Pages 19 p.	
		Price acc. to pricelist

Föreliggande slutrapport sammanfattar resultat som framkommit inom projektet "Rörelsesjuka och spatial desorientering", vars övergripande målsättning har varit att öka kunskapen om konsekvenser av rörelsesjuka samt om mekanismer bakom spatial desorientering. Projektet har således innefattat två problemområden "Effekter av rörelsesjuka på autonoma funktioner" respektive "Spatial desorientering" vilka redovisas nedan.

EFFEKTER AV RÖRELSESJUKA PÅ AUTONOMA FUNKTIONER

INLEDNING

Bakgrund

Rörelsesjuka uppstår då intryck från synen och balansorganets två komponenter förser hjärnan med motstridiga uppgifter om kroppens rörelse eller position i förhållande till omgivningen. Det vanligaste är att rörelsesjuka framkallas då man färdas i båt, flyg, bil eller tåg, men den kan även uppstå i stillasittande, exempelvis då man via datorskärm el. dyl. får en falsk förnimmelse av rörelse. Med den ökande användningen av datorskärmar vid framförandet av flygplan, båtar och landbaserade fordon måste det antas att rörelsesjuka kommer att utgöra ett tilltagande problem inom Försvarsmakten.

Det är välkänt att rörelsesjuka framkallar omställningar i autonoma nervsystemets styrning av flera kroppsliga funktioner (Money, *Physiol. Rev.* 50: 1-39, 1970., Yates et al., *Brain Res. Bull.* 47: 395-406, 1998). Exempelvis uppvisar en rörelsesjuk individ ofta hudblekhet, kallsvettning och förlångsammad hjärtrytm. Det är även välkänt att de subjektiva besvär som kännetecknar rörelsesjuka kan bestå lång tid (timmar) efter det att rörelsesjuka-provokationen upphört. Emellertid är konsekvenserna av den störning av autonoma nervsystemets balans som rörelsesjuka framkallar förvånansvärt bristfälligt kartlagda.

Syfte

Syftet med de experimentserier som redovisas i föreliggande rapport var att studera hur rörelsesjuka inverkar på ett antal fysiologiska funktioner som måste antas vara av stor betydelse i militära sammanhang.

Frågeställningar

Påverkar rörelsesjuka:

- Cirkulationsregleringen vid exposition för förhöjd G-belastning, och därmed förmågan att tolerera hög G-belastning (G-tolerans) och ortostatisk belastning?
- Cirkulationsreglering i samband med ihållande statiskt arbete?
- Cirkulations- och temperaturreglering, och därmed risken för nedkylning (hypotermi), i samband med exposition för kyla?
- Cirkulations- och temperaturreglering, och därmed risken för värmeslag, i samband med värmebelastning?
- Cirkulations- och temperaturreglering eller prestationsförmåga i samband med maximalt aerobt arbete?
- Skjutprecision med handeldvapen?

Nedanstående slutsatser och generella diskussion baserar sig på ett flertal experimentserier vilka redovisas i korthet längre fram i rapporten.

SLUTSATSER

- Rörelsesjuka kan, genom att reducera tonus i perifera resistanskärl, framkalla en sänkning av artärtrycket, vilken är tillräckligt stor för att påtagligt nedsätta individens förmåga att tolerera förhöjd G-belastning i huvud-fot-riktning och även förmågan att tolerera upprätt kroppsläge. Detta torde ha betydelse för piloter som flyger högprestanda-flygplan.
- Rörelsesjuka dämpar den artärtrycksstegring som framkallas av ihållande statiskt benmuskulärbete vilket talar för att rörelsesjukans G-toleranssänkande inverkan (se ovan) kvarstår även i samband med upprepade anti-G-anspänningsmanövrer.
- Rörelsesjuka ökar risken för hypotermi genom att hämma såväl kroppens autonoma värmekonserverande mekanismer (perifer vasokonstriktion) som dess autonoma värmeproduktion (höttring).
- Rörelsesjuka tycks ej påverka autonom temperaturreglering under måttligt värmebelastning.
- Rörelsesjuka reducerar artärtrycks- och rektaltemperatursvar under arbete vilket sannolikt kan hänföras till omfördelning av cirkulerande blodvolym från arbetande muskler till hud. Blodomfördelningen är inte tillräckligt omfattande för att påverka arbetsförmågan i samband med kortvarigt maximalt arbete. Detta utesluter dock inte att rörelsesjuka kan hämma prestationsförmågan i situationer där konkurrensen mellan hud och arbetande muskler om cirkulerande blodvolym är mer påtaglig, som vid långvarigt arbete i varm omgivning.
- Det fanns ett samband mellan försämrad skjutprestation och upplevda symptom på rörelsesjuka. Resultaten är ej helt entydiga men inger misstanke om att rörelsesjuka nedsätter skjutprestation.

ÖVERGRIPANDE DISKUSSION

Resultaten visar entydigt att rörelsesjuka kan inverka menligt på ett flertal kroppsliga egenskaper, vilka kan antas ha stor betydelse i militära sammanhang. Exempelvis är det uppenbart att nedsatt förmåga att tolerera förhöjd G-belastning kan utgöra en fara för piloter som flyger högprestanda-flygplan. Likaledes är det uppenbart att en person som hamnar i nödsituation efter en olycka befinner sig i ett betydligt mer utsatt läge om han/hon p.g.a. rörelsesjuka är predisponerad att utveckla hypotermi.

Ett annat genomgående resultat var att effekterna av rörelsesjuka tycks kvarstå i flera timmar efter det att rörelsesjukesprovokationen avbrutits.

Att rörelsesjuka framkallar omställning i autonoma nervsystemets balans, med ett ökat inslag av den parasympatiska i förhållande till den sympatiska komponenten, förefaller ligga till grund för flera av de påvisade förändringarna av kroppsliga funktioner. Omställningen leder bl.a. till dilatation av perifera resistanskärl, vilket tycks vara av central betydelse för rörelsesjukesbetingade förändringar av förmågan att tolerera hög G-belastning, upprätt kroppsläge, kyla m.m. Den reducerade förmågan till konstriktion av perifera resistanskärl kvarstår även i situationer vilka normalt framkallar ett mycket starkt sympatiskt

nervpåslag, med markerad vasokonstriktion som följd, som exempelvis hårt fysiskt arbete och långvarig nedsänkning i kallt vatten..

Med tanke på storlek av, och varaktighet hos, de rörelsesjukebetingade förändringarna av kroppsliga funktioner får det anses angeläget att undersöka i vad mån anti-rörelsesjukemedikamenter kan motverka sådana förändringar. Man kan inte utgå från att så är fallet eftersom den neurofysiologiska bakgrunden till att rörelsesjuka framkallar omställning i autonoma nervsystemets balans är oklar.

SAMMANFATTNING AV GENOMFÖRDA EXPERIMENT

Ovanstående slutsatser och generella diskussion baserar sig på sex experimentserier vilka sammfattas nedan (1-6). Resultaten har redovisats mer i detalj i tidigare rapporter och publikationer (**I-VI** se publikationslista nedan).

1) Inverkan av rörelsesjuka på G-tolerans (III)

Rörelsesjuka är ett välkänt problem i flygsammanhang och kan uppträda hos piloter i samband med exposition för höga G-krafter i huvud-fot-riktning. Då rörelsesjuka kan påverka funktioner som styrs av kroppens autonoma nervsystem, inklusive cirkulationssystemets reglering, antog vi att rörelsesjuka kan interferera med hjärt-kärlsvar vid hög G-belastning respektive vid ortostatisk belastning, och därvid nedsätta individens G-tolerans och ortostatiska tolerans.

Metoder. Serie 1. G-tolerans och hjärt-kärlsvar vid förhöjd G-belastning undersöktes hos 9 försökspersoner (fp) under två olika betingelser. Under rörelsesjukebetingelsen exponerades fp för ett rörelsesjukeprovocerande stimuli bestående i upprepade hastiga förändringar av G-belastningen samtidigt med en serie huvudrörelser. Under kontrollbetingelsen exponerades fp för samma totala G-belastning men utan rörelsesjukeprovokation. Medelartärtryck mättes och som markör för perifer vaskulär resistans registrerades skillnaden i hudtemperatur mellan underarm och fingerblomma ($\Delta T_{\text{underarm-finger}}$). Serie 2. Ortostatsisk tolerans och hjärt-kärlsvar undersöktes hos 6 fp under ett 10 min "stå-test" på tippbräda, före och efter en rörelsesjukeprovokation bestående av rotation på en rotationsstol i kombination med en serie huvudrörelser.

Resultat. Serie 1. Rörelsesjukeprovokationen reducerade ($p < 0.01$) G-toleransen vid långsam G-ökning (Gradual Onset Rate; GOR) från 5.1 ± 1.0 G (medel $\pm$ standardavvikelse) till 4.6 ± 0.9 G. Kontrollbetingelsen påverkade inte G-toleransen under GOR. Även Rapid Onset Rate G-toleransen var lägre ($p < 0.01$) under rörelsesjukebetingelsen (2.9 ± 0.5 G) än under kontrollbetingelsen (3.4 ± 0.3 G). Rörelsesjukeprovokationen reducerade medelartärtrycket med 10-12 mm Hg och $\Delta T_{\text{underarm-finger}}$ med 4.2 ± 4.1 °C ($p < 0.05$). Under kontrollbetingelsen påverkades varken medelartärtryck eller $\Delta T_{\text{underarm-finger}}$. Serie 2. Såväl hjärtfrekvens- som pulstryckssvar under stå-testet var lägre efter än före rörelsesjukeprovokationen.

Slutsatser. Rörelsesjuka nedsätter tonus i perifera resistanskärl till den grad att det medför en reduktion av artärtrycket vilken är tillräckligt stor för att påtagligt nedsätta individens förmåga att tolerera förhöjd G-belastning i huvud-fot-riktning och även förmågan att tolerera upprätt kroppsläge. Detta torde ha betydelse för piloter som flyger högprestandafluggplan.

2) Inverkan av rörelsesjuka på cirkulationsreglering vid ihållande statiskt arbete (I)

Det har tidigare påvisats att rörelsesjuka reducerar förmågan att motstå hög G-belastning i huvud-fot-riktning hos en individ i vila, vilket sannolikt beror på en sänkning av vilo-artärtrycket. I samband med operationell flygning av högprestanda-plan utför piloten ofta ihållande eller upprepade muskelanspanningsmanövrer (Anti-G Straining Maneuvers; AGSM), under vilka muskelkemoryflexen bidrar till att höja artärtrycket. Syftet var att undersöka om den rörelsesjukeinducerade dämpningen av artärtrycksvaret motverkas av den artärtryckshöjande effekten av muskelkemoryflexen.

Metoder. Muskelkemoryflexen undersöktes hos 10 friska individer under ihållande (90 s) isometrisk kontraktion av knäextensorerna före och efter en rörelsesjukeprovokation.

Resultat. Muskelkontraktionen ökade ($p < 0.001$) medelartärtrycket och hjärtfrekvensen med 37 ± 20 mmHg respektive 26 ± 17 slag/min. Rörelsesjuka reducerade ($p < 0.05$) medelartärtrycket

både i vila och under isometriskt arbete med 11-13 mmHg. Likaledes reducerade ($p < 0.01$) rörelsesjuka hjärtfrekvensen i vila såväl som under arbete med 9-12 slag/min.

Slutsatser. Rörelsesjuka reducerar artärtrycket även i samband med stark stimulering av muskelkemoreflexen, vilket kan tala för att dess G-toleranssänkande inverkan kvarstår även i samband med upprepade AGSM.

3) Inverkan av rörelsesjuka på cirkulations- och temperaturreglering vid kallvatten-immersion (IV, VI)

I en tidigare undersökning har vi funnit att rörelsesjuka påskyndar kroppens nedkylning vid immersion i 28-gradigt vatten, vilket kunde hänföras till en dämpning av köldbetingad perifer vasokonstriktion (Mekjavic et al., J. Physiol. 535: 619-623, 2001). Avsikten med föreliggande studie var att undersöka om en mer uttalad köldb belastning övervinner den rörelsesjukebetingade effekten på perifer vasokonstriktion och därmed på nedkylningshastighet.

Metoder. Elva friska försökspersoner (fp) genomgick immersion (till halsnivå) i 15-gradigt vatten under två betingelser. I kontrollbetingelsen följde immersion direkt på registrering av baslinjevärden. I rörelsesjukebetingelsen föregicks immersionen av en rörelsesjukeprovokation varvid fp roterades med stegvis ökande hastighet i rotationsstol under det att han utförde en serie huvudrörelser. Under immersion i rörelsesjukebetingelsen exponerades fp kontinuerligt för ett optokinetiskt stimulus (roterande trumma). Medelhudtemperatur, rektaltemperatur, skillnaden i hudtemperatur mellan underarm och fingerblomma ($\Delta T_{\text{underarm-finger}}$, ett index på perifer vasotonus), syreupptag och hjärtfrekvens mättes kontinuerligt. Fp skattade grad av rörelsesjuka och upplevd temperatur med 5-min mellanrum.

Resultat. I rörelsesjukebetingelsen sjönk rektaltemperaturen betydligt snabbare (33%, $p < 0.01$). Rörelsesjuka dämpade ($p < 0.01$) även immersionssvar för $\Delta T_{\text{underarm-finger}}$ och syreupptag.

Slutsatser. Rörelsesjuka predisponerar för hypotermi genom att hämma såväl kroppens autonoma värmekonserverande mekanismer som dess autonoma värmeproduktion.

4) Inverkan av rörelsesjuka på temperaturreglering under värmebelastning

I tidigare studier har vi funnit att rörelsesjuka interfererar med kroppens autonoma cirkulations- och temperaturreglering i samband med olika typer av fysisk belastning i form av exposition för kyla, exposition för förhöjd G-belastning och ihållande statiskt arbete. Avsikten med föreliggande studie var att undersöka om rörelsesjuka även interfererar med temperaturreglering under värmebelastning.

Metoder. Åtta friska försökspersoner (fp) genomgick vid två separata tillfällen värmebelastning. Vid bägge tillfällena satt fp under 90 min innesluten (förutom huvudet och höger arm) i en låda som kontinuerligt genomströmmades med varm, torr luft (55°C, 10% relativ fuktighet). I kontrollbetingelsen följde värmebelastningen direkt på registrering av baslinjevärden. I rörelsesjukebetingelsen föregicks värmebelastningen av en rörelsesjukeprovokation varvid fp roterades med stegvis ökande hastighet i rotationsstol under det att han utförde en serie huvudrörelser. Medelhudtemperatur, rektaltemperatur, skillnaden i hudtemperatur mellan underarm och fingerblomma ($\Delta T_{\text{underarm-finger}}$, ett index på perifer vasotonus) och svettsekretion mättes kontinuerligt. Med jämna mellanrum skattade fp grad av rörelsesjuka och upplevd temperatur.

Resultat. Förutom vad gäller upplevd rörelsesjuka skilde sig de två betingelserna ej för någon av mätvariablerna.

Slutsats. Rörelsesjuka tycks ej påverka autonom temperaturreglering under måttlig värmebelastning.

5) Inverkan av rörelsesjuka på cirkulations- och temperaturreglering under maximalt aerobt arbete (V)

Under fysiskt arbete stiger hjärtfrekvens och artärtryck till följd av omställningar i autonoma nervsystemet (minskat parasympatiskt och ökat sympatiskt nervutflöde). Långvarigt arbete innebär i regel ett ökat behov av värmeavgivning på grund av stigande djup kroppstemperatur, vilket ofta resulterar i en "konkurrens" mellan hud och arbetande muskler om cirkulerande blodvolym. Eftersom rörelsesjuka reducerar artärtrycket till följd av perifer vasodilatation var syftet att undersöka om rörelsesjuka även påverkar cirkulations- och temperaturreglering under dynamiskt benmuskelarbete.

Metoder. Tio friska försökspersoner (fp) undersöktes under två olika betingelser. Vid bägge tillfällena utförde fp arbete på ergometercykel, med stegvis ökande belastningen till utmattning. I rörelsesjukebetingelsen föregicks cykelarbetet av en rörelsesjukeprovokation varvid fp roterades med stegvis ökande hastighet i rotationsstol under det att han utförde en serie huvudrörelser. Medelhudtemperatur, rektaltemperatur, skillnaden i hudtemperatur mellan underarm och fingerblomma ($\Delta T_{\text{underarm-finger}}$, ett index på perifer vasotonus), syreupptag, artärtryck och hjärtfrekvens mättes kontinuerligt. Med 1-min intervall skattade fp grad av rörelsesjuka och upplevd ansträngning.

Resultat. Rörelsesjuka resulterade i lägre rektal temperatur, hudtemperatur, hjärtfrekvens och systoliskt artärtryck vid varje given arbetsbelastning ($p < 0.05$), medan den arbetsbetingade perifera vasokonstriktionen tenderade att dämpas av rörelsesjuka ($p = 0.09$). Rörelsesjuka påverkade inte maximalt syreupptag eller arbetskapacitet.

Slutsatser. Rörelsesjuka reducerar artärtrycks- och rektaltemperatursvar under arbete vilket sannolikt kan hänföras till omfördelning av cirkulerande blodvolym från arbetande muskler till hud. Blodomfördelningen är inte tillräckligt omfattande för att påverka arbetsförmågan i samband med kortvarigt maximalt arbete, vilket dock inte utesluter att rörelsesjuka kan hämma prestationsförmågan i situationer där konkurrensen mellan hud och arbetande muskler för cirkulerande blodvolym är mer påtaglig, som vid långvarigt arbete i varm omgivning.

6) Inverkan av rörelsesjuka på skjutprestation (II)

I syfte att studera skjutprecision under påverkan av upplevd åksjuka, med hjälp av subjektiva skattningar genomfördes en fältstudie med upprepad mätning.

Metoder. Skjutprestationen hos 22 värnpliktiga soldater, med begränsad erfarenhet av PBV 401 studerades efter två köromgångar i varierande terräng. Den upplevda rörelsesjukan skattades genom självskattningsformulär efter båda transporter. Prestation mättes med hjälp av en akustisk registrering vid skjutbanan och med hjälp av instruktörer på plats.

Resultat och slutsatser. Hypotesen bekräftades genom att upplevd rörelsesjuka gav upphov till försämrad prestationsförmåga. En Varimax faktoranalys delade in de skattade parametrarna i tre faktorer, där den andra korrelerade signifikant med skjutprestation och visade därmed på ett samband mellan försämrad skjutprestation och upplevda symptom. De två baseline skjutningarna korrelerade likaså med faktor två, och visade på att prestationsförmågan också försämrades mellan de två transport- och skjutstillfällena. Studien bekräftar behovet av att studera rörelsesjuka och dess påverkan på prestationsförmågan med hjälp av objektiva prestationsmått som ett komplement till subjektiva självskattningar.

PUBLIKATIONSLISTA

I) Eiken O., R. Kölegård & I. Mekjavic. Effects of motion sickness on the exercise pressor-response FOI-R—1101—SE. 2003.

II) Dahlman J., S. Nählinder, T. Falkmer. Perceived motion sickness and targeting performance. FOI-R—1735—SE. 2005.

III) Eiken O., M.J. Tipton, R. Kölegård, B. Lindborg & I.B. Mekjavic. Motion sickness decreases arterial pressure and therefore acceleration tolerance. *Aviat Space Environ. Med.* 76: 541-546, 2005.

IV) Nobel G., O. Eiken, A. Tribukait, R. Kölegård & I.B. Mekjavic. Motion sickness predispose individuals to accidental hypothermia. *Aviat. Space Environ. Med.* 76: 293. 2005.

V) Nobel G., O. Eiken, R. Kölegård, A. Tribukait & I.B. Mekjavic. The effect of motion sickness on cardiovascular and thermoregulatory responses during exercise. *Aviat. Space Environ. Med.* (Abstract, accepterat för publikation)

VI) Nobel G., O. Eiken, A. Tribukait, R. Kölegård & I.B. Mekjavic. Motion sickness increases the risk of accidental hypothermia. *Eur. J. Appl. Physiol.* (Artikel, accepterad för publikation).

SPATIAL DESORIENTERING

INLEDNING

Bakgrund

Spatial desorientering (rumsliga sinnesvillor) är den viktigaste enskilda förklaringsfaktorn för haverier vid flygning. Spatial desorientering uppkommer eftersom innerörats balansorgan (vestibularisapparaten) inte kan ge adekvat information om vissa rörelsemönster och förändringar i tyngdkraftens storlek. Balansorganet omfattar två olika receptorsystem: bågångarna, som uppfattar huvudvridningar, och otolitorganen, som känner av linjära accelerationer och huvudets position i tyngdkraftsfältet. Klassificeringen av rumsliga sinnesvillor brukar följa denna indelning. Man talar således om bågångsrelaterade sinnesvillor, såsom leans och Coriolisillusionen, och otolitrelaterade, exempelvis G-excess-illusionen.

Hur bågångar och otolitorgan samspelar vid utvecklingen av dessa illusioner är emellertid ofullständigt känt. Vidare har man saknat information om inter-individuella skillnader ifråga om dels mentala strategier för bedömning av exempelvis vad som är horisontellt, dels det relativa beroendet av bågångs- respektive otolit-information i situationer där dessa båda receptorsystem inte ger samstämmiga budskap till hjärnan.

Kunskaper om dessa förhållanden torde vara väsentliga för adekvat utbildning om spatial desorientering, för utformning av träningsrutiner (eventuellt baserade på individuella särdrag) samt när det gäller att i dynamisk flygsimulator återskapa desorienterande situationer utan att simulatorträningen medför felinlärning.

En förutsättning för närmare analys av hur den rumsliga orienteringsförmågan beror av information från balansorganets olika delar är kvantitativa data om hur försökspersoner bedömer den egna positionen relativt yttervärlden. I vissa sammanhang, exempelvis klinisk diagnostik av störningar i balanssinnet, används ibland en visuell indikator – en justerbar linje – för att få ett mått på försökspersonens eller patientens subjektiva upplevelse av orientering i roll- (frontal-) planet. En annan viktig förutsättning är tillgången till gondolcentrifug, med vilken man i viss mån kan efterlikna de komplexa stimulusmönster som vid flygning orsakar rumsliga sinnesvillor.

Syfte

Syftet med de studier som redovisas i föreliggande rapport var att närmare klarlägga hur den rumsliga orienteringsförmågan påverkas när balanssinnet utsätts för vissa komplexa stimulusmönster som är vanligt förekommande vid flygning.

Frågeställningar

- Hur påverkas uppfattningen av vad som är horisontellt vid ett stimulusmönster likt det som uppkommer när man går in i en koordinerad (doserad) sväng? Förekommer olika individbundna strategier för bedömningen av vad som är horisontellt i situationer som är ovanliga för balanssinnet? Kan, i så fall, den enskilda individen fås att byta strategi?
- Hur påverkas uppfattningen om vad som är i ögonhöjd, respektive förmågan att bedöma riktningar relativt huvudet (egocentriskt), efter en hastig ökning av G-vektorn från 1g till 2G?

- Vilken betydelse har G-talet för grad och varaktighet av bäggångseffekter på uppfattningen av vad som är horisontellt?
- Hur inverkar huvudrörelser i yaw-planet (det egna horisontalplanet) i samband med koordinerad kurvtagning på bedömningen av roll-position?
- Vilken är betydelsen av olika bäggångsstimuli för bedömningen av vad som är horisontellt i samband med koordinerad kurvtagning?
- Hur kan olika bäggångsstimuli inverka på uppfattningen av vad som är i ögonhöjd?

SLUTSATSER

- Vid bedömningen av vad som är horisontellt kan man välja mellan tre skilda strategier, vilka, i en stimulussituation som liknar inträdet i en koordinerad sväng, leder till helt olika resultat. Även bortsett från detta kan en grupp individer, som i 1g-omgivning ter sig som homogena, uppvisa betydande skillnader i situationer som är ovanliga för balanssinnet. Skillnaderna mellan individer är ej betingade av slumpen. Genom träning kan man utveckla en viss förmåga att med ledning av tyngdkänslan bedöma graden av lutning relativt yttervärlden.
- Efter en snabb ökning av G-talet i centrifug utvecklas den s.k. G-excessillusionen med en mycket stor tidskonstant. Utvecklingen av G-excessillusionen är således ingen direkt återspeglning av otolitstimuleringen. Ökning av G-vektorns storlek påverkar inte bara förmågan att avgöra vad som är i ögonhöjd utan även förmågan att bedöma riktningar relativt huvudet.
- Vid konflikter mellan bäggångar och otolitorgan har intensiteten i otolitstimuleringen anmärkningsvärt liten inverkan på grad och varaktighet av bäggångsinducerade förnimmelser av lutning.
- Huvudvridning i yaw-planet kan, i samband med koordinerad kurvtagning, medföra en förnimmelse av positionsändring i roll-planet. Varaktigheten för denna lutningsförnimmelse är betydligt större än vad som kunde förväntas utifrån vad som är känt om hur bäggångssvaret avklingar under pågående rotation.
- Förnimmelsen av lutning efter acceleration med näsan i färdriktningen orsakas inte av någon enskild komponent i stimuleringen av bäggångarna utan är beroende av ett specifikt mönster för hur stimuluskomponenterna i yaw, pitch och roll varierar med tiden.
- Utvecklingen av G-excessillusionen påverkas inte av bäggångsstimulering genom vinkelhastighet. Hos enstaka individer kan dock bäggångsstimulering genom positionsändring ha en betydande inverkan.

ÖVERGRIPANDE DISKUSSION

Inter-individuella skillnader

Normala individer kan reagera mycket olika på komplex stimulering av balanssinnet. Detta gäller orientering i såväl roll-planet som pitch-planet. Tre frågor är här av särskilt intresse:

(i) Egocentriska och allocentriska strategier för orientering

Varje bedömning av läge och rörelse fordrar ett referenssystem. En individ som utgår från den egna kroppens koordinatsystem orienterar sig egocentriskt. Att däremot referera till yttervärldens "fixa" koordinatsystem innebär en allocentrisk strategi. De flesta försökspersoner hade redan efter en första erfarenhet av försöksbetingelserna, med påföljande diskussion om de båda alternativen, inte några svårigheter att skilja mellan dessa. Enstaka observationer talar dock för att det i samband med psykisk stress kan förekomma en tendens att orientera sig egocentriskt.

(ii) Det relativa beroendet av information från bågångar och otolitorgan

I den statiska 1g-omgivningen ger bågångar och otolitorgan ofta samstämmiga budskap till hjärnan. Denna redundans i informationen från de två receptorsystemen innebär att den enskilda individen kan tänkas utveckla en preferens för den ena eller andra informationstypen utan att detta avslöjar sig i vardagliga sammanhang. Men i stimulussituationer där bågångar och otolitorgan ger motstridiga budskap till hjärnan blir utfallet i hög grad beroende av vilken information individen prioriterar. Vid inträdet i en koordinerad sväng uppfattar bågångarna positionsändringen i roll medan otolitorganen ständigt signalerar att huvudet är upprätt. Individer som i högre grad är beroende av otolitinformation kan därför tänkas göra större underskattningar av flygmaskinens lutning relativt jordytan.

(iii) Betydelsen av konstitutionella drag respektive inläring

Mot bakgrund av den stora inter-individuella variabiliteten var skillnaderna mellan test och re-test anmärkningsvärt små. Detta talar för att avvägningen mellan bågångs- och otolitinformation vid sensoriska konflikter inte är slumpmässig utan uttryck för stabila men individuella funktioner i nervsystemet. Huruvida det relativa beroendet av bågångs- och otolitinformation är ett konstitutionellt drag eller kan modifieras genom inläring är oklart. Våra data från motorcyklister talar dock för att träning och erfarenhet kan vara av stor betydelse för utvecklingen av alternativa strategier för rumslig orientering. Kännedom om den enskilda individs sätt att uppfatta komplex och desorienterande stimulering av balanssinnet kan tänkas vara av värde i samband med utbildning och träning av piloter.

Förmågan att tolka komplexa bågångsstimuli

Bågångsstimuleringen vid acceleration eller deceleration i gondolcentrifug kan delas upp i tre komponenter, rotation i yaw, pitch och roll. Dessutom kan man göra en distinktion mellan stimulering genom vinkelhastighet och stimulering genom positionsändring. Vid acceleration med näsan i färdriktningen får hjärnan två slag av bågångsinformation om lutning i rollplanet, dels (i) mönstret för hur angulär hastighetsstimulering övergår från yaw till nära pitch, dels (ii) ett stimulus som är direkt relaterat till gondolens positionsändring i roll. Förhållandena mellan dessa stimuli och försökspersonens bedömning av det egna läget relativt horisontalplanet är mycket komplicerade. Mätningar av den subjektiva visuella horisontalen (SVH) i den dynamiska flygsimulatoren visar att förmågan att uppfatta lutning i rollplanet, när försökspersonen sitter vänd i färdriktningen, fr.a. beror på (i). Mätningar av den subjektiva visuella ögonhöjden (SVEL) visar dock att uppfattningen av position i pitchplanet är känslig för positionsändring (ii) men att den inte påverkas av bågångsstimulering genom vinkelhastighet. Dessa fynd antyder att det inte finns något enkelt recept för hur man i flygsimulator genom bågångsstimulering kan påverka förmågan att uppfatta position.

Samspelet mellan båggångar och otolitorgan vid komplexa stimuli

Båggångsrelaterade och otolitrelaterade sinnesvillor diskuteras ofta som om de utgjorde två från varandra avgränsade grupper. Emellertid är de båda receptorsystemen nära kopplade till varandra inte bara anatomiskt och neurofysiologiskt utan även därigenom att stimulering av det ena ofta beledsagas av stimulering av det andra. Båggångsstimulering genom rotation medför centrifugalkrafter som verkar på otolitorganen, och ändring av G-vektorns riktning eller storlek är ofta förknippad med rotation eller rörelse utefter krökt bana. De aktuella undersökningarna visar att båggångsstimulering kan ha stor inverkan på utvecklingen av en illusion som anses otolitrelaterad. Dessutom synes det inte vara möjligt att undertrycka en båggångsinducerad förnimmelse av lutning genom att öka intensiteten i ett motstridigt otolitstimulus; det fanns rentav en tendens till mer långvariga båggångseffekter när G-vektorn var större.

Balanssystemets minne för positionsändringar

Det är en vida spridd dogm att båggångseffekter avtar med en tidskonstant på 10-15 sekunder. Vid rotation med konstant vinkelhastighet har således karusellkänslan och nystagmus (kompensatoriska ögonrörelser) avklingat helt efter 30-60 sekunder. Våra undersökningar visar dock att effekter av båggångsstimulering på förnimmelsen av position kan vara betydligt långvarigare; tidskonstanten är ofta 1-3 minuter. Uppenbarligen finns ett särskilt minne för båggångsinformation om positionsändringar. Denna minnesfunktion är tveeggad; å ena sidan kan den hämma utvecklingen av otolitillusioner, å andra sidan får vissa båggångsillusioner ökad varaktighet.

PRAKTISK BETYDELSE

Studier av spatial orientering

För undersökning av hur stimulering av balansorganets olika delar orsakar rumsliga felbedömningar är metoden att använda visuella indikatorer i gondolcentrifug eller dynamisk flygsimulator mycket väl lämpad.

Inter-individuell variabilitet

Friska individer kan reagera mycket olika på ett och samma desorienterande stimulus. Kunskaper om denna inter-individuella variabilitet bör förmedlas i undervisningen om spatial desorientering. Mätning av SVH i gondolcentrifug/dynamisk flygsimulator är en tänkbar metod för screening av exempelvis det relativa beroendet av båggångs- och otolitinformation. Insikt om individuella särdrag kan ha betydelse för den enskilda pilotens möjligheter att lära sig undvika rumsliga felbedömningar.

Möjligheter till träning

De inter-individuella skillnaderna antyder även några punkter på vilka träning kan ha betydelse. Dessa är: (i) valet av referensram (egocentrisk eller allocentrisk orientering), (ii) det relativa beroendet av båggångs- och otolitinformation, (iii) effekten av ökad tyngdkänsla.

Simulering av desorienterande situationer

Den bestämda radien och rotationsriktningen hos en centrifug gör det omöjligt att åstadkomma i mekaniskt hänseende perfekta simuleringar av desorienterande flygsituationer. I simulator blir det exempelvis väsentliga skillnader mellan höger- och vänstersvängar. Experimenten i den dynamiska flygsimulatoren (5, 6 nedan) visar att effekten av ett givet båggångsstimulus på horisontaluppfattningen är beroende av ett sammanhang där flera komponenter ingår. Då

inte hela sammanhanget av en flygsituation kan återskapas blir det därför osäkert vad som kan tränas i simulator utan risk för felinläring. Mätning av SVH eller SVEL i centrifug eller dynamisk flygsimulator är en möjlighet att dokumentera effekterna av olika träningsmetoder.

SAMMANFATTNING AV GENOMFÖRDA EXPERIMENT

Hur olika stimuli av balanssinnet – kombinationer av rotation och ökat G-tal – inverkar på orientering i roll och pitch har studerats kvantitativt med hjälp av visuella indikatorer. Resultaten redovisas närmare i ett antal tidigare rapporter (**I-X**, se publikationslista). Den experimentella verksamheten har varit förlagd till humancentrifugen vid Karolinska Institutet, Stockholm, och den Dynamiska Flygsimulatorn på Malmslätt, Linköping.

Kort beskrivning av centrifugerna

För såväl centrifugen vid Karolinska Institutet som den dynamiska flygsimulatorn (DFS) på Malmslätt är rotationsriktningen moturs, uppifrån sett. Gondolen har i de aktuella försöken varit frisvängande, d.v.s. alltid hängt i riktning med den resulterande G-vektorn (inklination 60 grader åt vänster vid 2G). Vid experimenten i KI-centrifugen har försökspersonen alltid suttit vänd med näsan i färdriktningen. Vid försöken i DFS har försökspersonen suttit vänd i de fyra huvudriktningarna framåt, bakåt, centripetalt (mot centrifugens centrum) och centrifugalt.

Mätning av den subjektiva visuella horisontalen (SVH) eller vertikalen (SVV)

Rakt framför försökspersonen, i ögonhöjd, finns en tunn ribba av lysdioder. Ribban är monterad på en axel, som sammanfaller med försökspersonens visuella axel, och dess läge i roll- (frontal-) planet kan justeras av både försökspersonen och försöksledaren. Den är kopplad till en vinkelgivare. Varje gång diodribban tänds skall försökspersonen, medelst två knappar på en fjärrkontroll, ställa in den så att han eller hon upplever den som horisontell (SVH) eller vertikal (SVV). Efter varje inställning signalerar försökspersonen med en tredje knapp varvid ribban slocknar och dess lutning relativt tyngdkraftsfältet (gondolens horisontal- eller vertikallplan) registreras. När den på nytt tänds har den av försöksledaren vridits till ett annat läge. Gondolen är helt mörklagd vid försöken.

Mätning av den subjektiva visuella ögonhöjden (SVEL)

Rakt framför försökspersonen, på en skärm, kan projiceras en liten röd ljuspunkt från en laserpenna vid sidan av försökspersonen. Laserpennan är kopplad till en axel som sammanfaller med en tänkt linje mellan försökspersonens ögon. Pennans riktning i pitchplanet registreras med hjälp av en vinkelgivare. Varje gång ljuspunkten dyker upp på skärmen skall försökspersonen, medelst två knappar på en fjärrkontroll, ställa in den så att han eller hon upplever att den är i ögonhöjd. Efter varje inställning signalerar försökspersonen med en tredje knapp varvid laserpennan slocknar och dess lutning relativt horisontalplanet registreras. När den på nytt tänds har den av försöksledaren vridits till ett annat läge. Gondolen är helt mörklagd vid försöken.

Lutningar av SVH höger-nedåt betecknas som positiva. Avvikelse i SVEL nedåt betecknas som negativa. För både SVH och SVEL har genom anpassning av en exponentialfunktion

fastställts initial avvikelse (avvikelsen omedelbart efter att G-platån uppnåtts), asymptotisk avvikelse samt tidskonstanten för förändringar i SVH eller SVEL.

Nedan sammanfattas metoder, resultat och slutsatser för sex olika försök (1-6).

1. Inter-individuella skillnader i uppfattningen av vad som är horisontellt (SVH) eller vertikalt (SVV) efter ökning av tyngdkraften från 1g till 2G i gondolcentrifug (I, IV)

Metod: Tretton friska försökspersoner fick medelst en justerbar ljuslinje i mörker ange sin föreställning om vad som är horisontellt (SVH). Mätningar gjordes dels vid 1g, dels under en 10-minutersperiod efter acceleration (6 sekunder) av centrifugen till 2G (gondolinklination 60°). Försökspersonerna hade inför första centrifugeringen endast fått instruktionen att ställa in linjen så att den såg ut att vara horisontell; de hade inte informerats om den möjliga valsituationen mellan ett kroppseget referenssystem (egocentrisk strategi) och ett referenssystem fixt i förhållande till yttervärlden (allocentrisk strategi). Under, eller omedelbart efter, första centrifugeringen inhämtades muntliga uppgifter från försökspersonerna om vilket referenssystem de använt. Därefter gjordes ytterligare centrifugeringar för att fastställa initiala avvikelser och tidsförlopp för både den egocentriska och allocentriska strategin. Vid ett senare tillfälle gjordes, för att bekräfta de principiella fynden, mätningar av SVV hos fem av försökspersonerna.

Resultat: Vid 1g var avvikelserna från den verkliga horisontalen små: $m = -0.6^\circ$, $1SD = 1.1^\circ$, $n = 13$. Efter acceleration till 2G uppvisade gruppen en stor inter-individuell variabilitet. Tre av försökspersonerna refererade spontant till yttervärlden; två av dessa uppvisade en initial lutning av SVH på c:a 30 grader höger-nedåt, d.v.s. i en riktning som var kompensatorisk för gondolens inklination; för den tredje var den initiala SVH-lutningen endast 2° . Sex av försökspersonerna refererade spontant till den egna kroppens koordinatsystem. För dessa var SVH-lutningen av motsatt riktning ($5-30^\circ$ vänster-nedåt). Fyra personer var ambivalenta. Vid upprepad testning var de flesta försökspersonerna kapabla att skilja mellan de två möjligheterna. Intressant var att tre personer, som följt den egocentriska strategin vid första centrifugeringen, uppvisade mycket stora avvikelser ($40-60^\circ$), som dessutom inte tenderade att minska med tiden, när de ombads följa den allocentriska strategin. Dessa personer var motorcykelåkare. En av dem uppgav att hans upplevelse av lutning härledde sig från den ökade tyngdkänslan och att han vid motorcykelåkning i kurvor lärt sig att matcha tyngdkänslan med det visuella intrycket av lutning. Upprepade centrifugeringar av personer med stora skillnader i graden av initial SVH-lutning visade att den inter-individuella variabiliteten inte är slumpmässig. Mätningar av SVV bekräftade att den egocentriska och allocentriska strategin leder till motsatta resultat.

Slutsatser: Vid bedömningen av vad som är horisontellt kan man välja mellan tre skilda strategier, vilka, i en stimulussituation som liknar inträdet i en koordinerad sväng, leder till helt olika resultat. Även bortsett från detta kan en grupp individer, som i 1g-omgivning ter sig som homogen, uppvisa betydande skillnader i situationer som är ovanliga för balanssinnet. Genom träning kan man utveckla en viss förmåga att med ledning av tyngdkänslan bedöma graden av lutning relativt yttervärlden.

2. Den subjektiva visuella ögonhöjden och förmågan att bedöma riktningar relativt huvudet vid statisk lutning i 1g-omgivning samt vid ökning av tyngdkraften från 1g till 2G i gondolcentrifug (I, VI, X)

Metod: Elva friska försökspersoner fick medelst den justerbara laserpunkten ange vad de upplevde som i jämnhöjd med ögonen (SVEL). Mätningar gjordes dels vid 1g, dels under en 10-minutersperiod efter acceleration (på 6 sekunder) av centrifugen till 2G. Mot slutet av 2G-

plåtån fick försökspersonerna även justera ljuspunkten så att de upplevde att den befanns sig på en linje som gick "rakt ut från ansiktet" (SSFF). I ett senare kontrollförsök med 6 individer gjordes mätningar av både SVEL och SSFF i 1g-omgivning, dels vid upprätt position, dels vid bakåtlutning 30 grader.

Resultat: Vid 1g var avvikelserna från den verkliga ögonhöjden små: $m=-1.8^\circ$, $1SD=1.9^\circ$, $n=11$. Det initiala värdet efter acceleration till 2G var $-6.4^\circ \pm 5.2^\circ$. Därefter sjönk SVEL mot en asymptot på $-24.8^\circ \pm 5.4^\circ$. Tidskonstanten varierade mellan 60 och 1000 sekunder (medel=260s, median=147s). Ökning av tyngdkraften påverkade även SSFF, som sjönk till $-12.7^\circ \pm 3.9^\circ$. Kontrollförsöket i 1g-omgivning visade att SVEL och SSFF sammanföll vid upprätt position ($-0.4^\circ \pm 4.1^\circ$ respektive $-0.8^\circ \pm 6.7^\circ$). Vid bakåtlutning sammanföll SVEL med den verkliga ögonhöjden ($-0.6^\circ \pm 5.9^\circ$) och SSFF var oförändrad i förhållande till försökspersonens huvud ($+30.4^\circ \pm 8.6^\circ$).

Slutsatser: Efter en snabb ökning av G-talet utvecklas den s.k. G-excessillusionen med en mycket stor tidskonstant. Utvecklingen av G-excessillusionen är alltså ingen direkt återspeglning av otolitstimuleringen. Ökning av G-vektorns storlek påverkar inte bara förmågan att avgöra vad som är i ögonhöjd utan även förmågan att bedöma riktningar relativt huvudet.

3. G-talets inverkan på den subjektiva visuella horisontalen vid gondolcentrifugering (II, VIII)

Serie 1: 1.1G-2.5G

Metod: 13 friska försökspersoner fick medelst ljuslinjen ange vad de upplevde som horisontellt (enligt den allocentriska strategin), dels vid 1g, dels efter acceleration från 1g till tre olika G-nivåer: 1.1G, 1.7G och 2.5G, med varaktigheten 6 minuter. Varje försöksperson testades vid två tillfällen (olika dagar), första gången med G-nivåerna i stigande ordning, andra gången med G-nivåerna i fallande ordning. Mellan G-expositionerna fick försökspersonerna vila i minst 20 minuter.

Resultat: Den initiala SVH-lutningen var $16.2^\circ \pm 7.0^\circ$ (1.1G), $24.2^\circ \pm 10.2^\circ$ (1.7G), $27.1^\circ \pm 13.9^\circ$ (2.5G). Den relativa förnimmelsen av lutning, beräknad som kvoten mellan dessa värden och gondolens inklinations, var 0.65 ± 0.28 (1.1G), 0.45 ± 0.19 (1.7G), 0.41 ± 0.21 (2.5G). Tidskonstanten för exponentiellt avtagande av SVH-lutningen var: 61 ± 31 s (1.1G), 84 ± 36 s (1.7G), 89 ± 42 s (2.5G).

Serie 2: 2.5G och 4.5G

Metod: Som för serie 1 men försökspersonerna testades endast vid ett tillfälle. De var utrustade med anti-G-byxor.

Resultat: Den initiala SVH-lutningen var $27.6^\circ \pm 14.6^\circ$ (2.5G), $31.2^\circ \pm 18.8^\circ$ (4.5G). Den relativa förnimmelsen av lutning, beräknad som kvoten mellan dessa värden och gondolens inklinations, var 0.42 ± 0.22 (2.5G), 0.40 ± 0.24 (4.5G). Tidskonstanten för exponentiellt avtagande av SVH-lutningen var: 67 ± 49 s (2.5G), 101 ± 73 s (4.5G).

Fem av försökspersonerna deltog i både serie 1 och serie 2. För 2.5G-nivån varierade den initiala SVH-lutningen mellan 11 och 52 grader. Emellertid var skillnaden för varje individ mellan de båda serierna endast några få grader.

Slutsatser: Vid konflikter mellan båggångar och otolitorgan har intensiteten i otolitstimuleringen anmärkningsvärt liten inverkan på grad och varaktighet av båggångsinducerade förnimmelser av lutning. Stora skillnader mellan individer är ej betingade av slumpen.

4. Effekter på den subjektiva visuella horisontalen av huvudvridning i yaw-planet vid gondolcentrifugering (Coriolisstimulering)(II, IX)

Metod: Tio friska försökspersoner fick under centrifugering (2.5G) ange vad de upplevde som horisontellt (den allocentriska SVH) före och efter huvudvridningar i det egna horisontal- (yaw-) planet. Hos fem av försökspersonerna studerades även effekterna på förnimmelsen av det egna huvudets transversal- (yaw-) plan (den egocentriska SVH). Huvudvridningar från 20 grader höger till 20 grader vänster och omvänt gjordes med hjälp av en motordriven hjälm. Vridningshastigheten var 30 grader/sekund.

Resultat: Den initiala lutningen av den allocentriska SVH var $-13.5^\circ \pm 10.7^\circ$ efter huvudvridning från vänster till höger och $+11.1^\circ \pm 10.2^\circ$ efter vridning från höger till vänster. Den initiala lutningen av den egocentriska SVH var $+31.8^\circ \pm 15.6^\circ$ efter vridning från vänster till höger och $-21.1^\circ \pm 10.8^\circ$ efter vridning från höger till vänster. För både den allocentriska och den egocentriska SVH minskade lutningen exponentiellt med en tidskonstant på i genomsnitt 60-80 sekunder.

Slutsatser: Huvudvridning i yaw-planet kan, i samband med koordinerad kurvtagning, medföra en förnimmelse av positionsändring i roll-planet. Varaktigheten för denna lutningsförnimmelse är betydligt större än vad som kunde förväntas utifrån vad som är känt om hur båg-gångssvaret avklingar under pågående rotation.

5. Betydelsen av olika båg-gångsstimuli för uppfattningen om roll-position i dynamisk flygsimulator (III, V)

Metod: Åtta friska försökspersoner angav den allocentriska SVH vid 1g samt vid centrifugering (2G i 5 minuter) sittande med näsan i färdriktningen (F), näsan bakåt (B), näsan inåt centrifugens centrum (I) samt näsan utåt periferin (U).

Resultat: Efter acceleration till 2G var det initiala värdet på SVH i hög grad beroende av försökspersonens position. För positionerna F och B var riktningen för SVH-lutningen kompensatorisk till gondolens inklinationsvinkel. Lutningen var signifikant större för position F ($+20.9^\circ \pm 8.4^\circ$) än för position B ($-6.9^\circ \pm 10.5^\circ$). För positionerna I och U gav gruppen ingen entydig bild: $+6.4^\circ \pm 10.7^\circ$ respektive $+2.1^\circ \pm 4.8^\circ$. Efter inbromsning sågs mycket små avvikelser från det verkliga horisontalplanet.

Slutsatser: Förnimmelsen av lutning efter acceleration med näsan i färdriktningen orsakas inte av någon enskild komponent i stimuleringen av båg-gångarna utan är beroende av ett specifikt mönster för hur stimuluskomponenterna i yaw, pitch och roll varierar med tiden.

6. Betydelsen av olika båg-gångsstimuli för utvecklingen av G-excessillusionen i dynamisk flygsimulator (VII)

Metod: Åtta friska försökspersoner angav den subjektiva ögonhöjden (SVEL) vid 1g samt vid centrifugering (2G i 5 minuter) sittande med näsan i färdriktningen (F), näsan bakåt (B), näsan inåt centrifugens centrum (I) samt näsan utåt periferin (U).

Resultat: På 2G-platån sågs en sänkning av SVEL, vilken initialt var liten men som ökade med en tidskonstant på 90 ± 30 sekunder mot en asymptot på $-22.0^\circ \pm 6.9^\circ$ (medelvärde och 1SD för alla positioner). Den initiala avvikelsen var signifikant mindre för position I ($+2.0^\circ \pm 14.6^\circ$) än för position U ($-14.5^\circ \pm 10.4^\circ$). Det var ingen skillnad mellan positionerna F ($-5.6^\circ \pm 4.8^\circ$) och B ($-4.0^\circ \pm 4.5^\circ$). Särskilt för positionerna I och U var det stora skillnader mellan individerna; för två av dem hade båg-gångsinformation om positionsändring i pitch stor inverkan på SVEL. Initialt efter deceleration till 1g var det alltså en signifikant sänkning av SVEL ($-13.5^\circ \pm 7.9^\circ$), vilken minskade med en tidskonstant på 100 ± 46 sekunder.

Slutsatser: Utvecklingen av G-excessillusionen påverkas inte av båg-gångsstimulering genom vinkelhastighet. Hos enskilda individer kan dock båg-gångsstimulering genom positionsändring ha en betydande inverkan.

PUBLIKATIONSLISTA

- I.** Vestibulära mekanismer för spatial desorientering. A. Tribukait, O. Eiken. FOI-R—0270—SE, 2001.
- II.** Kvantitativa undersökningar av spatial desorientering vid gondolcentrifugering. A. Tribukait, O. Eiken. FOI-R—0747—SE
- III.** Betydelsen av bågångsstimulering för förmågan att avgöra vad som är horisontellt vid koordinerad kurvtagning. A. Tribukait, O. Eiken. FOI-R—1221—SE.
- IV.** Tribukait A, Eiken O. Perception of the Head Transversal Plane and the Subjective Horizontal during Gondola Centrifugation. *Percept Psychophys* 2005; 67:369-382.
- V.** Tribukait A, Eiken O. Semicircular canal contribution to the perception of roll tilt during gondola centrifugation. *Aviat Space Env Med* 2005; 76:940-946.
- VI.** Tribukait A, Eiken O. On the role of otoliths and semicircular canals in spatial orientation: Dynamics of the visually perceived eye level during gondola centrifugation. *Percept Psychophys* 2005; 67:1242-1251.
- VII.** Tribukait A, Eiken O. Semicircular canal influence on the visually perceived eye level during gondola centrifugation. *Aviat Space Env Med* (Artikel, accepterad för publikation).
- VIII.** Tribukait A, Eiken O. Influence of the G level on the perception of roll tilt during gondola centrifugation. (submitted)
- IX.** Tribukait A, Eiken O. Changes in the perceived head transversal plane and the subjective visual horizontal induced by Coriolis stimulation during gondola centrifugation. *J Vest Res* (submitted).
- X.** Tribukait A, Eiken O. The human sense of the head's polarity is influenced by changes in the magnitude of gravity. *Brain and Cognition* (submitted).