



Jämförelse mellan piloter och oerfarna försökspersoner avseende spatial orientering under centrifugering

ARNE TRIBUKAIT, MIKAEL GRÖNKVIST OCH 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 1000 anställda varav ungefär 800 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, bedömning av olika typer av hot, system för ledning och hantering av kriser, skydd mot och hantering av farliga ämnen, IT-säkerhet och nya sensorers möjligheter.



FOI
Totalförsvarets forskningsinstitut
CBRN-skydd och säkerhet
901 82 Umeå

Tel: 090-10 66 00
Fax: 090-10 68 01

www.foi.se

FOI-R--2665--SE Vetenskaplig rapport **CBRN-skydd och säkerhet**
ISSN 1650-1942 December 2008

Arne Tribukait, Mikael Grönkvist och Ola Eiken

Jämförelse mellan piloter och oerfarna försökspersoner avseende spatial orientering under centrifugering

Titel	Jämförelse mellan piloter och oerfarna försökspersoner avseende spatial orientering under centrifugering
Title	Comparison of pilots and naïve subjects regarding spatial orientation during centrifugation
Rapportnr/Report no	FOI-R--2665--SE
Rapporttyp Report Type	Vetenskaplig rapport Scientific report
Sidor/Pages	28 p
Månad/Month	December
Utgivningsår/Year	2008
ISSN	ISSN 1650-1942
Kund/Customer	Försvarsmakten/Swedish Armed Forces
Forskningsområde Programme area	8. Människa och teknik 8. Human Systems
Delområde Subcategory	81 Fysiologi 81 Physiology
Projektnr/Project no	E 4463
Godkänd av/Approved by	Anders Norqvist
FOI, Totalförsvarets Forskningsinstitut	FOI , Swedish Defence Research Agency
Avdelningen för CBRN-skydd och säkerhet	CBRN Defence and Security
901 82 Umeå	SE-901 82 Umeå

Sammanfattning

Stridspiloter (str) och oerfarna försökspersoner (fp) har jämförts avseende förmåga att avgöra vad som är horisontellt vid gondolcentrifugering.

Metod: Åtta fp och nio str angav, med hjälp av en justerbar ljuslinje, sin subjektiva visuella horisont (SVH) vid 1 g samt vid centrifugering (2G under 5 min) med näsan i färdriktningen (F) och bakåt (B). Avvikelser från det gravitoinertiala horisontalplanet registrerades.

Resultat: Vid 1 g var avvikelserna små för såväl str som fp. Efter acceleration till 2G i position F var det initiala SVH-medelvärdet 29.1 grader hos str och 20.9 grader hos fp. Efter 5 min centrifugering hade SVH minskat till 1.8 grader hos fp men var relativt oförändrad (24.9 grader) hos str. Även i position B var SVH-svaret olika mellan str och fp, med initiala SVH-värden om -17.8 respektive -6.9. Efter 5 min centrifugering i position B var SVH -25.5 hos str och 0.3 hos fp.

Slutsats: Str uppvisar påtagligt annorlunda förmåga än fp vad gäller att avgöra vad som är horisontellt under centrifugering. Framför allt bibehåller str men ej fp en förmåga att förändra roll-positionen under minst 5 min efter att positionen förändrats. Betydelsen av denna förvärvade förmåga för spatial orientering under flygning återstår att undersöka.

Nyckelord: Balanssinne, Båggångar, Dynamisk flygsimulator, Flygerfarenhet, Gondolcentrifugering, Otoliter, Piloter, Subjektiva visuella horisontalen

Summary

Fighter pilots (pil) and naïve subjects (sub) were compared regarding their perception of the horizontal during gondola centrifugation.

Methods: Eight sub and nine pil adjusted a narrow luminous line so that it was perceived as horizontal (subjective visual horizontal; SVH) at 1g and during centrifugation (2G for 5 min) heading forwards (F) and backwards (B). Deflections from the horizontal plane with respect to the gravito-inertial vector were registered.

Results: At 1 g the SVH tilt was minute both for pil and sub. Following acceleration to 2G facing F the mean SVH was 29.1 degrees for pil and 20.9 degrees for sub. After 5 min centrifugation the SVH tilt had declined to 1.8 degrees for sub but showed little change for pil (24.9 degrees). Also in the B position the SVH response differed between pil and sub with initial SVH tilts of -17.8 and -6.9, respectively. After 5 min of B centrifugation SVH was -25.5 for pil and 0.3 for sub.

Conclusions: Perception of horizontal during centrifugation differs markedly between pil and sub. In particular, pil but not sub maintain a perception of change in the roll position for at least 5 minutes following such change. The significance of this acquired capacity for spatial orientation during flying remains to be established.

Keywords: Dynamic flight simulator, Gondola centrifugation, Otolith, Pilots, Spatial orientation, Semicircular canals, Spatial disorientation, Subjective visual horizontal, Vestibular system

Innehållsförteckning

<i>Bakgrund</i>	7
<i>Material och Metoder</i>	12
<i>Resultat</i>	14
<i>Diskussion</i>	23
<i>Referenser</i>	27

Bakgrund

Spatial orientering

Spatial orientering är förmågan att bedöma position och rörelse hos objekt relativt ett referenssystem. Som objekt kan tänkas den egna kroppen, en kroppsdel eller föremål i omgivningen. En individ som utgår från den egna kroppens koordinatsystem orienterar sig egocentriskt. Att däremot referera till yttervärldens ”fixa” koordinatsystem innebär en allocentrisk strategi (Mast et al. 1999, Holdstock et al. 2000, Menzel et al. 2000). Ett specialfall av spatial orientering är föreställningen om vad som är horisontellt eller vertikalt. Information om horisontalplanet och tyngdkraftens riktning engagerar fr.a. tre sinnen: synen, kroppens djupa känsel samt balanssinnet (Young 1984, Previc 2004, Lackner and DiZio 2005).

Betydelsen av syn och känsel

Synsinnet har en tendens att ständigt söka efter referensramar och ledtrådar om vart tyngdkraften pekar. Vi har sedan barnsben anpassat oss till att många strukturer i vår visuella omgivning, såsom träd och husväggar, har ett specifikt förhållande till tyngdkraften. Att åsynen av sådana strukturer har inverkan för balansen är uppenbart för den som kommer in i ett rum där allting lutar.

Somatosensoriken, med receptorer för tryck och dragning (proprioceptorer) i hud, muskler, leder och inre organ, bidrar till upplevelse om hur kroppen är orienterad relativt tyngdkraften. Vad däremot gäller förmågan att med synen bedöma orienteringen hos föremål i omgivningen har somatosensoriken, till skillnad från balanssinnet, mycket litet inflytande (Mittelstaedt 1995).

Balanssinnet

Balansorganet i innerörat omfattar två olika receptorsystem; bågångarna, som reagerar på huvudvridningar, och otolitorganen, som uppfattar linjära accelerationer och huvudets position i förhållande till tyngdkraftens riktning.

En bågång är, grovt talat, ett cirkulärt vätskefyllt rör utrustat med en svängdörrliknande mekanism av hårceller som uppfattar de vätskeförskjutningar som uppkommer i samband med huvudvridningar (Guedry 1974, Goldberg och Fernandez 1984, Young 1984, Baloh 1989). Varje balansorgan har två vertikala bågångar, vilka bildar vinklar på ungefär 45 grader mot huvudets symmetriplan, samt en horisontell bågång (Blanks et al. 1975). Detta tredimensionella arrangemang gör det möjligt att uppfatta huvudvridningar i alla tänkbara riktningar.

Ett otolitorgan kan betraktas som ett skikt av hårceller vars sinneshår är inbäddade i en förskjutbar gelatinös membran. I membranen finns

kalkkristaller, otokonier, vars densitet är högre än densiteten av den omgivande vätskan. På varje sida finns hos människa två otolitorgan, utriculus och sacculus. Utriculus' sinnesepitel lutar framåt-uppåt ungefär 30 grader i förhållande till huvudets horisontalplan (Corvera et al. 1958). Epitelet i sacculus är vertikalt orienterat, ungefär parallellt med huvudets symmetriplan (Lindeman 1969). Otolitorganens hårceller stimuleras av gravitations- och tröghetsbetingade förskjutningar av otokoniemembranen (Breuer 1875, von Holst 1950, Schöne 1964, Fernandez et al. 1972).

Otolitorganen signalerar ständigt om huvudets position i tyngdkraftsfältet (Breuer 1875, von Holst 1950, Schöne 1964, Fernandez et al. 1972). Vid huvudlutning, i synnerhet när visuella referenser saknas, spelar de en dominerande roll när det gäller att bedöma vad som är horisontellt och vertikalt (Mittelstaedt och Fricke 1988, Mittelstaedt 1991, Curthoys et al. 1991). Ett dilemma är den fysikaliska likheten mellan gravitation och tröghet – ur otolitorganens synvinkel är en linjär acceleration åt ena hållet ekvivalent med en huvudlutning åt det andra. Tack vare ett samspel mellan otolitorganen och bågångarna, som enbart reagerar på rotationer, har dock hjärnan ofta möjlighet att avgöra om variationer i signalen från otolitorganen beror på linjära accelerationer eller på förändringar i huvudets position i tyngdkraftsfältet. (Guedry 1974, Young 1984, Baloh 1989).

När vi rör oss för egen maskin i en upplyst omgivning bidrar dessa olika sinnesfunktioner till en instinktiv föreställning om vad som är horisontellt och vertikalt samt till att vi reflexmässigt håller balansen. Välbekanta rörelsemönster eller situationer ger upphov till bestämda kombinationer av sinnesintryck och kan därigenom identifieras. I många situationer uppkommer en överlappning (redundans), dvs. signaler av olika sinnesmodalitet ger ett och samma budskap till hjärnan; lägger man, exempelvis, huvudet på sned i 1g-omgivning får hjärnan samstämmig information om detta via synen, via ledsinnet i halsen samt från balansorganen. När visuell information saknas, samt i situationer där man måste reagera snabbt, har information från balansorganen mycket stor betydelse, bl. a. genom reflexer och påverkan på koordination. Sinnesinformation som rör spatial orientering blir dock i allmänhet inte medvetandegjord och dess inflytande på uppfattningen om horisontalplanet – och på balansering och manövrering – är därför i hög grad bortom viljans kontroll.

Spatial desorientering

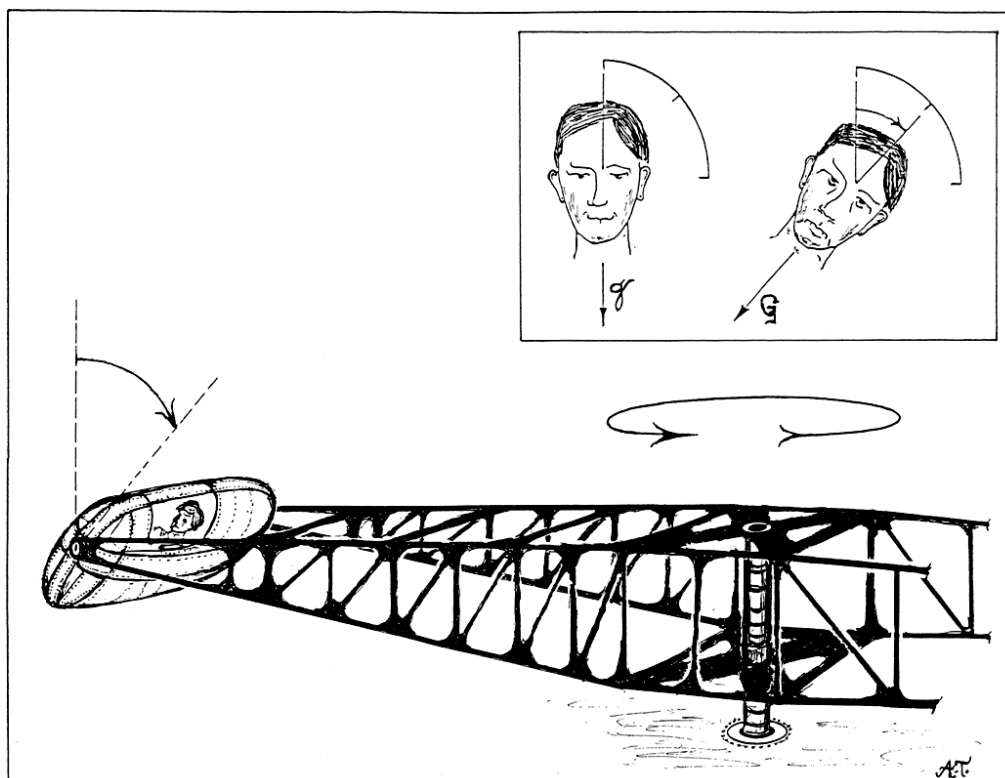
Vid flygning saknas ofta den yttre visuella referensram som bl.a. anger vart tyngdkraften pekar. I sådana situationer förlitar man sig, instinktivt, i högre grad på balanssinnet. Detta sjätte sinne har dock under årmiljoner anpassats för i naturen ändamålsenliga rörelser som organismen åstadkommer på egen hand i det tyngdkraftsfält som råder vid jordytan. De komplexa rörelsemönster och förändringar i den resulterande tyngdkraftens storlek som är vanliga vid flygning är svåra att med balanssinnet uppfatta korrekt. Dessutom uppkommer

ofta åksjukeframkallande konflikter mellan synen och balanssinnet samt mellan otolitorganen och bågångarna (Reason 1978, Yardley 1992, Benson 1999a). Rumsuppfattningens grundläggande funktion i människans medvetande, och det reflexmässiga i den posturala kontrollen (balansering eller manövrering), har konsekvensen att det kan vara mycket svårt att med hjälp av intellektet – och visuella instrument – undertrycka falska intryck från balanssinnet. I situationer med psykisk stress eller små marginaler kan detta innebära direkt livsfara för piloten. Rumsliga sinnesvillor vid flygning brukar grovt indelas i visuella och vestibulära (med anknytning till balansorganet). De vestibulära villorna kan relateras till bågångarna, såsom leans och Coriolisillusionen, eller otolitorganen, exempelvis G-excess-illusionen (Benson 1999b).

Gondolcentrifugering, simulering av flygsituationer

Vissa stimulusförhållanden som är vanliga vid flygning kan även åstadkommas med hjälp av en s.k. gondolcentrifug. Denna har en vertikal huvudaxel förbunden med en horisontell arm i vars ände gondolen är upphängd (se Figur 1). Upphängningen är tangentiell så att gondolen alltid hänger i riktning med den resulterande G-vektorn (resultanten av jordens tyngdkraft och centrifugalkraften). Vid 2G är denna roll-inklination 60 grader.

En försöksperson som åker gondolcentrifug befinner sig i princip hela tiden i en koordinerad eller ”ren” kurvtagning (McGrath et al. 1995, Guedry och Oman 1990). Eftersom den resulterande G-vektorns projektion i roll-planet alltid är parallell med huvudets och kroppens längdaxel kan otolitorganen inte uppfatta de förändringar i roll-position som uppkommer när centrifugens varvtal ökar eller minskar. Detsamma gäller för det somatosensoriska systemet; tryckreceptorer i huden, liksom gravitationssensoriet i buken (Mittelstaedt 1996), reagerar på linjära accelerationer men ej på angulära. Till skillnad från otolitsystemet har dock bågångssystemet de mekaniska förutsättningarna för att vid acceleration av centrifugen uppfatta förändringen i roll-position. Härigenom uppstår en konflikt mellan otolitorganen, som kontinuerligt signalerar för upprätt huvudposition, och bågångarna, som uppfattar en positionsändring (McGrath et al. 1995, Guedry och Oman 1990, Tribukait och Eiken 2005a). Hur hjärnan hanterar denna konflikt anses avgörande för försökspersonens upplevelse av lutning efter acceleration av centrifugen (Tribukait och Eiken 2005a). En underskattning av gondolens lutning relativt jordytan kan bero på att information från otolitorganen prioriteras; en påtaglig lutningsupplevelse kan vara uttryck för bågångsberoende.



Figur 1. Enkel gondolcentrifug. Gondolen hänger i den resulterande G -vektorns riktning (vektorsumman av centrifugalkraften och jordens tyngdkraft).

Den subjektiva visuella horisontalen, SVH

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 många studier av spatial orientering i roll-planet har man använt en kort ljuslinje i ögonhöjd framför försökspersonen. Linjen kan via fjärrkontroll vridas kring den visuella axeln. Försökspersonens uppgift är att i mörker med hjälp av denna visuella indikator ange vad han eller hon upplever som omgivningens horisont. Vinkeln relativt det verkliga horisontalplanet registreras. Om alltså försökspersonen har en förmåga att själv luta kommer graden av denna lutningsupplevelse att återspeglas i inställningarna av ljuslinjen. Detta mått på spatial orientering i roll-planet kallas den subjektiva visuella horisontalen (SVH) och det har visats bero främst av information från innerörats balansorgan (Mittelstaedt och Friske 1988, Mittelstaedt 1991). Friska försökspersoner har förmågan att i upprätt kroppsposition med hög precision ställa in ljuslinjen med en avvikelse av mindre än 2.5 grader från det verkliga horisontalplanet (Curthoys et al. 1991, Tribukait et al. 1996). Tack vare otolitorganen kan en individ som lutar måttligt åt sidan i tyngdkraftsfältet alltså ställa in ljuslinjen så att den är horisontell (Curthoys et al. 1991, Tribukait et al. 1996). En större lutning av SVH innebär att balanssinnet inte ger korrekt information om tyngdkraftens riktning.

Tidigare studier och fynd

I en serie experiment i centrifugen på Karolinska Institutet och i den dynamiska flygsimulatore på Malmslätt har vi med hjälp av visuella indikatorer registrerat hur olika stimuli för balanssinnet påverkar den rumsliga orienteringen när visuella referensramar saknas¹.

Försökspersoner utan nämnvärd erfarenhet av att manövrera ett flygplan eller en motorcykel har initialt efter en snabb acceleration av centrifugen en lutningsupplevelse som motsvarar c:a 30 procent av gondolens lutning (Tribukait och Eiken 2005a, b, 2006). Vid 2G, då gondolens inklination är 60 grader, innebär detta en felbedömning på c:a 40 grader. När centrifugen roterar med konstant varvtal avklingar lutningsupplevelsen exponentiellt med en tidskonstant på c:a 1 minut. Genom att anpassa en exponentialfunktion får man värden på den initiala lutningsförnimmelsen, tidskonstanten samt det gränsvärde mot vilket lutningsförnimmelsen planar av med tiden (Figur 2).

Det har visat sig att normala individer utan flygerfarenhet kan reagera mycket olika på komplex stimulering av balanssinnet (Tribukait och Eiken 2005a, 2006). Lutningsupplevelsen efter acceleration av centrifugen kan variera från några få grader till över 40 grader. Dessa skillnader beror ej på slumpen eller osäkerhet i mätproceduren, vilket framgån vid upprepade tester. 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. Data från enstaka personer med stor erfarenhet av att köra motorcykel inger misstanke om att träning och erfarenhet kan vara av betydelse för förmågan att uppfatta lutning vid centrifugering.

Studiens syfte

Syftet med föreliggande studie var att undersöka om flygerfarenhet kan påverka förmågan att uppfatta lutning i roll-planet efter acceleration i gondolcentrifug. Detta är ett led i ett större projekt som syftar till att utreda möjligheterna att genom träning i simulator förbättra orienteringsförmågan vid flygning. I Linköpings dynamiska flygsimulator testades dels en grupp försökspersoner utan erfarenhet av att manövrera flygplan eller motorcykel, dels en grupp erfarna stridsflygare.

¹ Se bl.a. följande FOI-rapporter: FOI-R--0270--SE 2001, FOI-R--0747--SE 2002, FOI-R--1221--SE 2004, FOI-R--1845--SE 2005, FOI-R--2179--SE 2006, FOI-R--2427--SE 2007.

Material och Metoder

I experimenten deltog åtta friska icke-flygare (Nr 1-8), 2 kvinnor och 6 män i åldrarna 25-45 år, samt nio stridspiloter (Str 1-9), samtliga män. Försökspersonerna hade ingen anamnes på störningar i balanssinnet.

Centrifugering

Vid experimenten användes Försvarmaktens centrifug på Malmslätt, den s.k. Dynamiska Flygsimulatoren (DFS). Dess radie är 9.5 meter och rotationsriktningen är moturs, uppifrån sett. Den hade programmerats för att helt efterlikna en centrifug med frisvängande tangentiellt upphängd gondol. Härigenom kom försökspersonen att ständigt sitta med sin vertikal- (z-)axel parallell med den resulterande G-vektorns (geometriska summan av jordens tyngdkraft och centrifugalkraften) projektion i rollplanet. Försökspersonen fixerades med säkerhetsbälten i en stol vars ryggstöd lutade bakåt 35 grader. Med en huvudhållare fixerades huvudet så att en tänkt linje mellan yttre hörselgången och ögonhålans nedre kant lutade framåt-uppåt 10 grader. Försökspersonen observerades med en videokamera känslig för infrarött ljus. Han eller hon kunde fritt kommunicera med försöksledaren via ett högtalarsystem.

Centrifugens acceleration var 7.54 grader/s^2 . Vinkelhastigheten vid 2G är $75.4 \text{ grader/sekund}$. Efter en 2G-platå på 5 minuter bromsades centrifugen med 7.54 grader/s^2 .

Mätning av SVH

Rakt framför försökspersonen, i ögonhöjd på 80 centimeters avstånd, fanns en smal ribba av lysdioder som upptog en synvinkel på c:a 6 grader. Ribban var via en utväxling kopplad till en lågvolts likströmsmotor och kunde vridas av försökspersonen, så ock av försöksledaren, kring den naso-occipitala (visuella) axeln. Dess rollposition registrerades med hjälp av en vinkelgivare med en noggrannhet på 0.1 grader. Varje gång ribban tändes skulle försökspersonen med hjälp av två tryckknappar på en fjärrkontroll justera den så att den sammanföll med hans eller hennes spontana föreställning om yttervärldens horisont. Efter varje inställning signalerade försökspersonen med en tredje knapp; ribban sloknade då och dess lutning registrerades. När den på nytt tändes hade den av försöksledaren vridits till ett annat läge. Bortsett från ribban var gondolen helt mörklad.

Försökspersonerna instruerades noga att med hjälp av ljuslinjen ange var de *spontant*, dvs. utan funderingar, uppfattade att horisonten låg. Vi förklarade att vi ville studera basala fysiologiska funktioner, inte tankeförmåga.

Försökspersonerna gjordes även uppmärksamma på att man i princip kan föreställa sig två horisonter, den ena relaterad till yttervärlden, den andra till den egna kroppens koordinatsystem. Försökspersonens uppgift var att ange vad

han/hon upplevde som en yttre horisont, inte den horisont som sammanhänger med kroppens koordinatsystem; om försökspersonen hade en känsla av att själv luta skulle han/hon med hjälp av ljuslinjen ange det horisontalplan i förhållande till vilket han/hon upplevde sig luta.

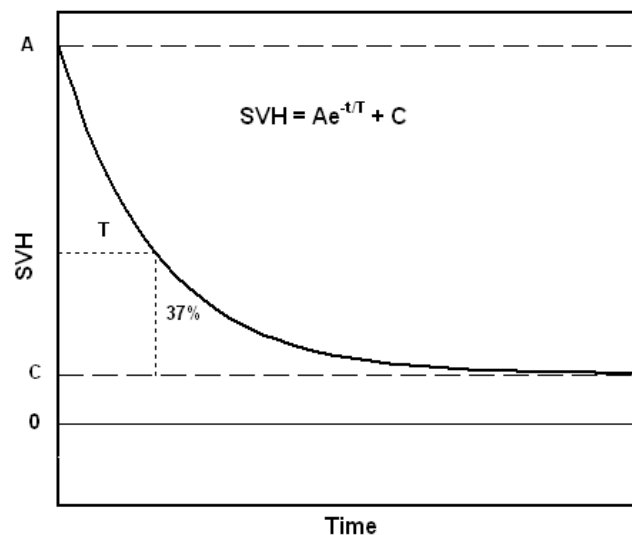
Försöksordning

Försökspersonerna gjorde två åkturen, ena gången sittande med näsan i färdriktningen (Position Framåt), andra gången med näsan bakåt (Position Bakåt), ordningen för dessa turer varierades mellan försökspersonerna. Före första centrifugeringen fick försökspersonen göra 8 inställningar av ljuslinjen. Under pausen mellan åkturerna öppnades gondolen och försökspersonen fick vila i upplyst omgivning minst 10 minuter. Under denna paus vreds stolen med försökspersonen till det andra läget. I pausen, inför nästa centrifugering, gjorde försökspersonen 4 inställningar av ljuslinjen.

Behandling av data

Lutning av SVH höger-nedåt (medurs, från försökspersonen sett) betecknas som positiv, lutning vänster-nedåt som negativ. För varje individ beräknades SVH vid 1g som medelvärdet av alla data inhämtade inför centrifugering, dvs. 8 inställningar gjorda före första åkturen samt 4 inställningar gjorda inför den andra turen.

Genom att med minsta-kvadrat-metoden till mätdata anpassa exponentialfunktionen $SVH = Ae^{-t/T} + C$ får man värden på den initiala lutningsförmimelsen ($A+C$), tidskonstanten (T) samt det gränsvärde (C) mot vilket lutningsförmimelsen planar av med tiden (t) (se Figur 2).



Figur 2.

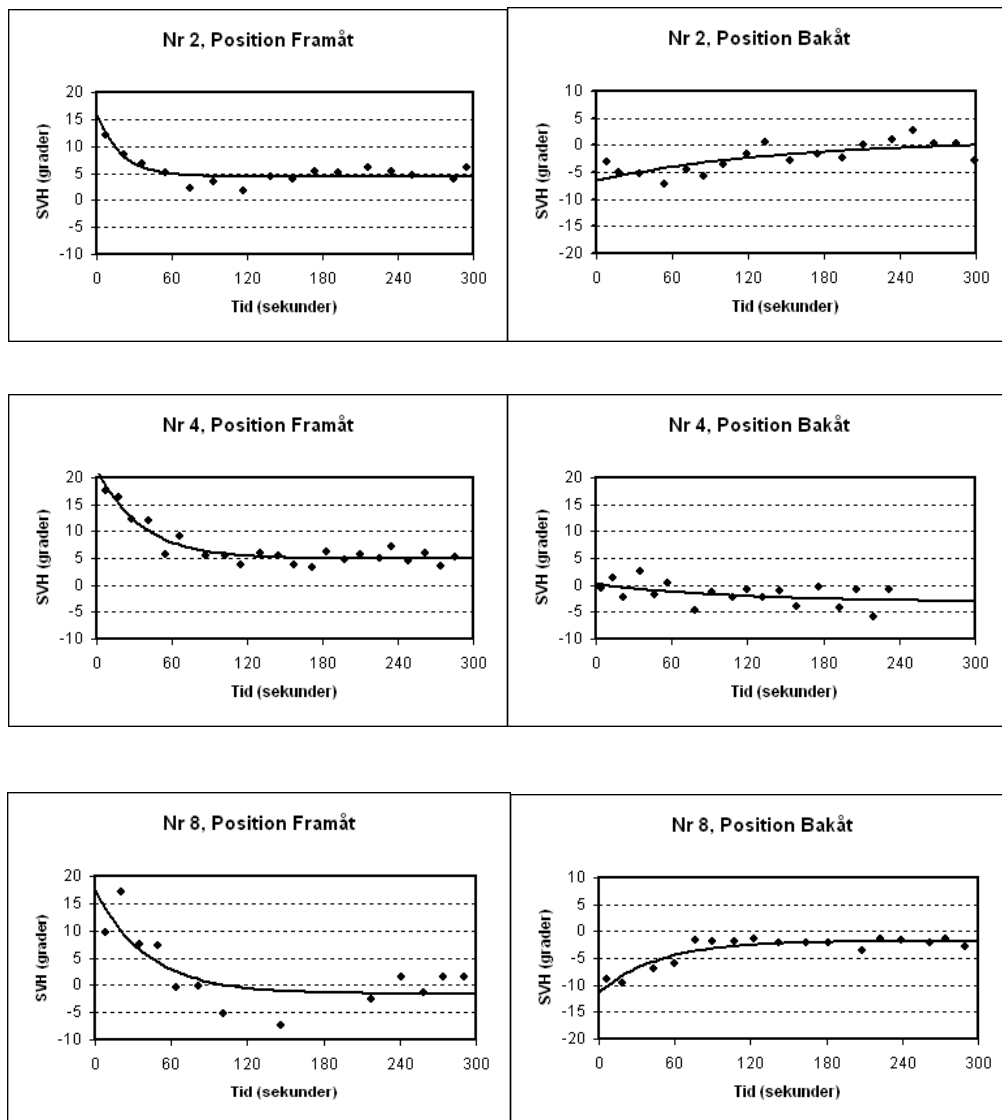
Resultat

Icke-piloter

För 7 av de 8 försökspersonerna avvek SVH vid 1g mindre än 2.5 grader från den sanna horisontalen. En individ (nr 7) hade SVH = -3.6 grader. För gruppen som helhet var SVH = $-1.09^\circ \pm 1.31^\circ$ (medelvärde ± 1 standardavvikelse), -1.02° (median), $n = 8$.

När försökspersonen satt med näsan i färdriktningen orsakade acceleration av centrifugen en avsevärd lutning av SVH nedåt höger (sett ur försökspersonens synvinkel). Under centrifugeringen minskade denna lutning och SVH var mot slutet av registreringsperioden i de flesta fall nära gondolens horisontalplan. Acceleration med näsan bakåt medförde en lutning åt vänster som var väsentligt mindre. Försökspersonerna rapporterade genomgående att förmiddelsen av lutning efter acceleration var mer påtaglig när de satt med näsan i färdriktningen än när de åkte baklänges.

Figur 3 visar data och kurvanpassningar för tre individer. Tabell 1 visar resultatet av kurvanpassning för alla icke-piloter. Den initiala lutningen för SVH i position Framåt var $20.9^\circ \pm 8.4^\circ$ (medelvärde ± 1 standardavvikelse), 18.9° (median), $n = 8$. För position Bakåt var den initiala lutningen $-6.9^\circ \pm 10.5^\circ$ (medelvärde ± 1 standardavvikelse), -5.2° (median), $n = 8$. Skillnaden mellan dessa medelvärden är signifikant även om endast *graden* av lutning (absolutbeloppen), och ej skillnaden i riktning, betraktas; parat t-test, $p < 0.001$, $n = 8$. Tidskonstanten, T, för position Framåt var $54 \pm 34s$ (medelvärde ± 1 standardavvikelse), $44s$ (median), $n = 8$. För position Bakåt var tidskonstanten $101 \pm 47s$ (medelvärde ± 1 standardavvikelse), $111s$ (median), $n = 7$. Skillnaden var ej statistiskt signifikant (parat t-test, $p = 0.13$, $n = 7$).



Figur 3. Förändringar i SVH efter acceleration till 2G med näsan framåt respektive bakåt för tre icke-piloter. Varje punkt representerar en inställning av ljuslinjen. Kurvorna representerar bäst passande exponentialfunktioner

Piloter

För 8 av de 9 piloterna avvek SVH vid 1g mindre än 2.5 grader från den sanna horisontalen. En individ (Str 1) hade SVH = -3.5 grader. För gruppen som helhet var SVH = $-0.2^\circ \pm 1.4^\circ$ (medelvärde \pm 1 standardavvikelse), 0.1° (median), $n = 9$.

I båda positionerna uppvisade flera av piloterna kompensatoriska lutningar av SVH som var betydligt större än hos någon av icke-piloterna. Därtill fanns i de flesta fall ingen tendens för SVH-lutningen att minska med tiden.

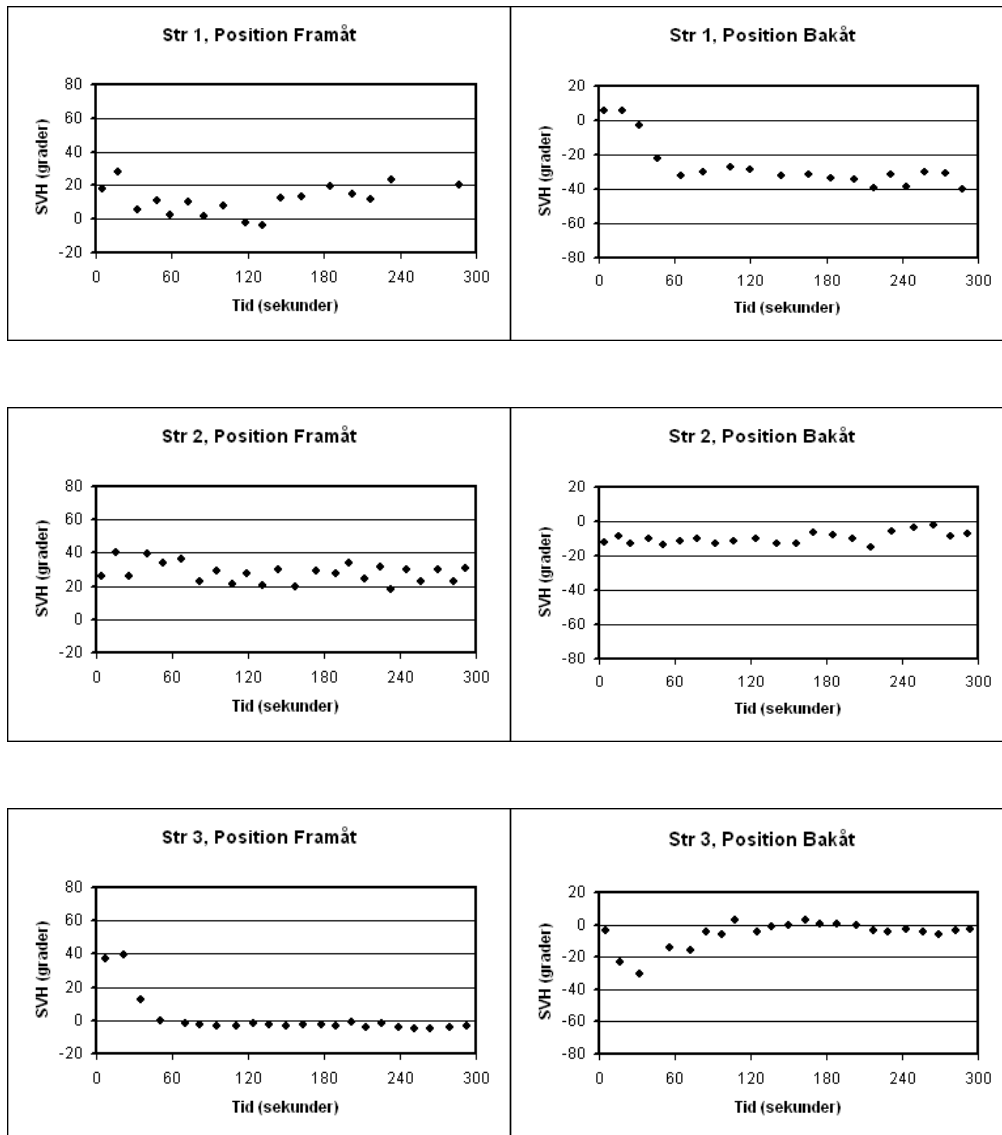
Figur 4a-c visar individuella diagram för samtliga 9 piloter. Endast en av piloterna (Str 3) uppvisade ett mönster av samma typ som icke-piloterna.

Det är uppenbarligen inte adekvat att anpassa en exponentialfunktion till dessa data. För att kunna anställa en jämförelse mellan piloter och icke-piloter har för varje pilot beräknats ett medelvärde för tre tidsintervall: första minuten, sista minuten, samt för hela registreringsperioden. Resultaten visas i Tabell 2.

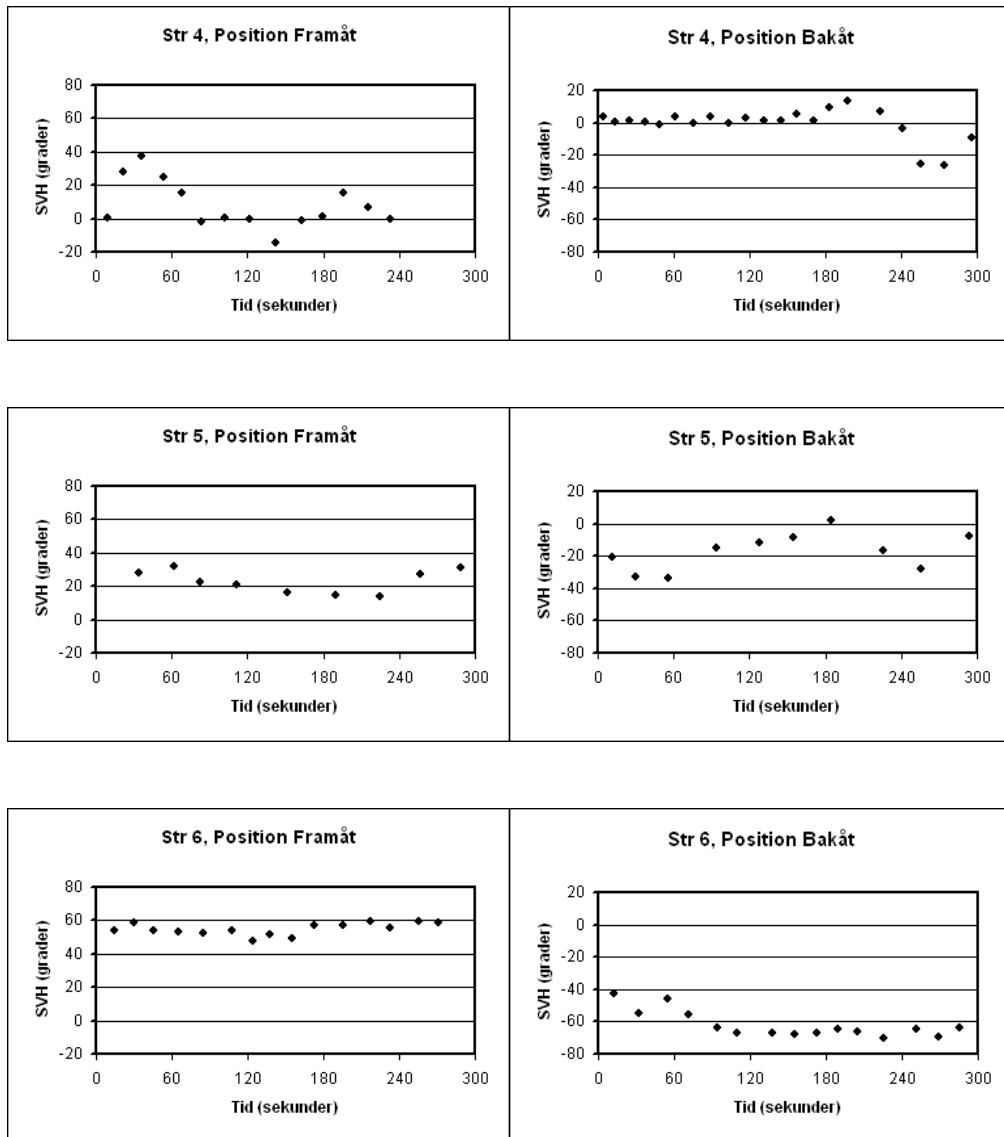
Piloter med stor SVH-lutning i position Framåt tenderade att ha stor avvikelse även i position Bakåt (linjär regression, $r = 0.86$, $p < 0.01$, $n = 9$). Figur 5 visar individuella medelvärden (för hela registreringsperioden) för position framåt plottade mot värdena för position Bakåt.

För position Framåt var det i början av registreringsperioden ingen signifikant skillnad mellan icke-piloterna (initiala avvikelsen) och piloterna (första minuten) (oparat t-test, $p = 0.16$). Mot slutet av registreringsperioden (asymptoten för icke-piloter respektive sista minuten för piloterna) var emellertid skillnaden signifikant (oparat t-test, $p < 0.05$).

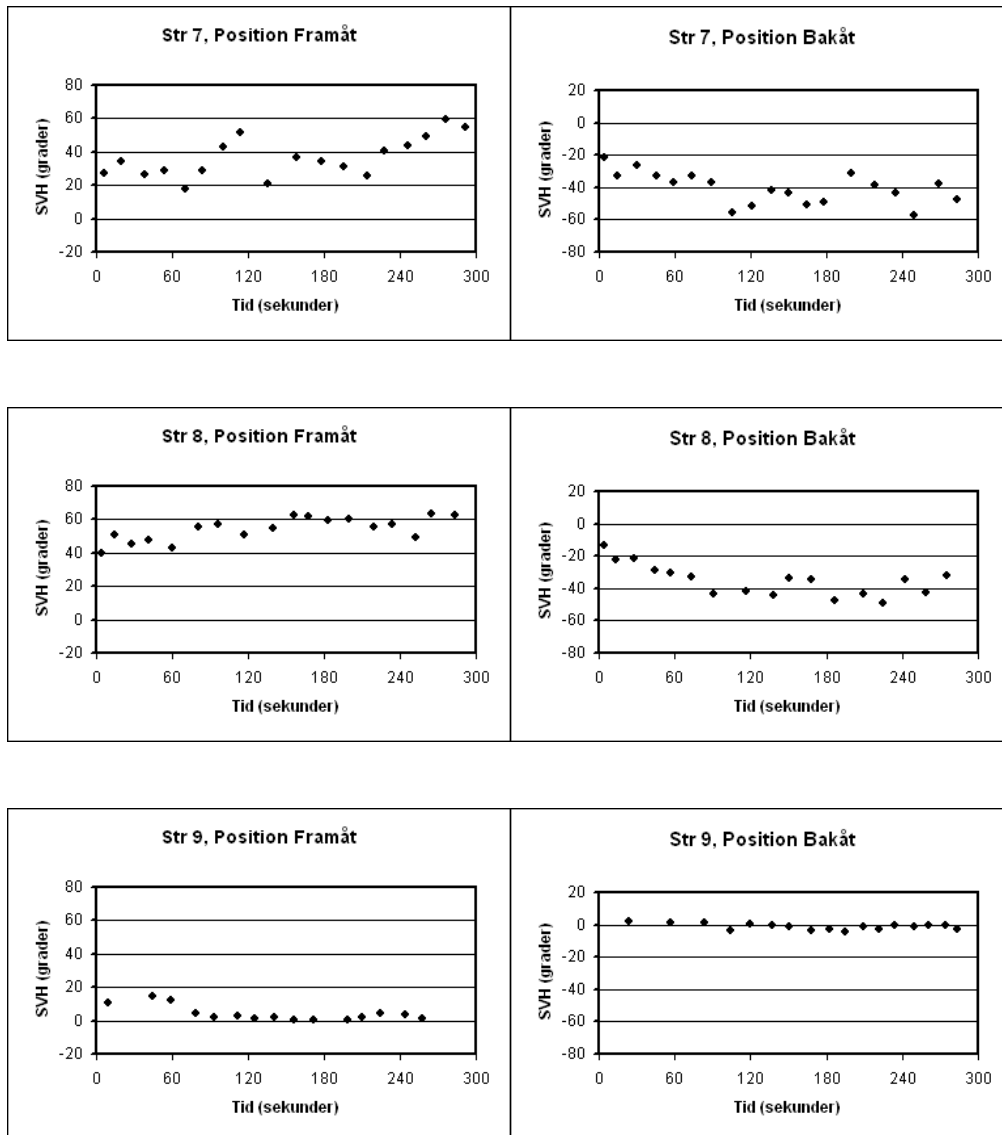
Mönstret var likartat för position Bakåt; det var ingen signifikant skillnad mellan grupperna i början av registreringsperioden (oparat t-test, $p = 0.12$) men mot slutet var skillnaden signifikant (oparat t-test, $p < 0.01$). Figur 6a-b illustrerar ytterligare skillnaderna mellan piloter och icke-piloter.



Figur 4a. Förändringar i SVH efter acceleration till 2G med näsan framåt respektive bakåt för Str 1-3. Varje punkt representerar en inställning av ljuslinjen.



Figur 4b. Förändringar i SVH efter acceleration till 2G med näsan framåt respektive bakåt för Str 4-6. Varje punkt representerar en inställning av ljuslinjen.



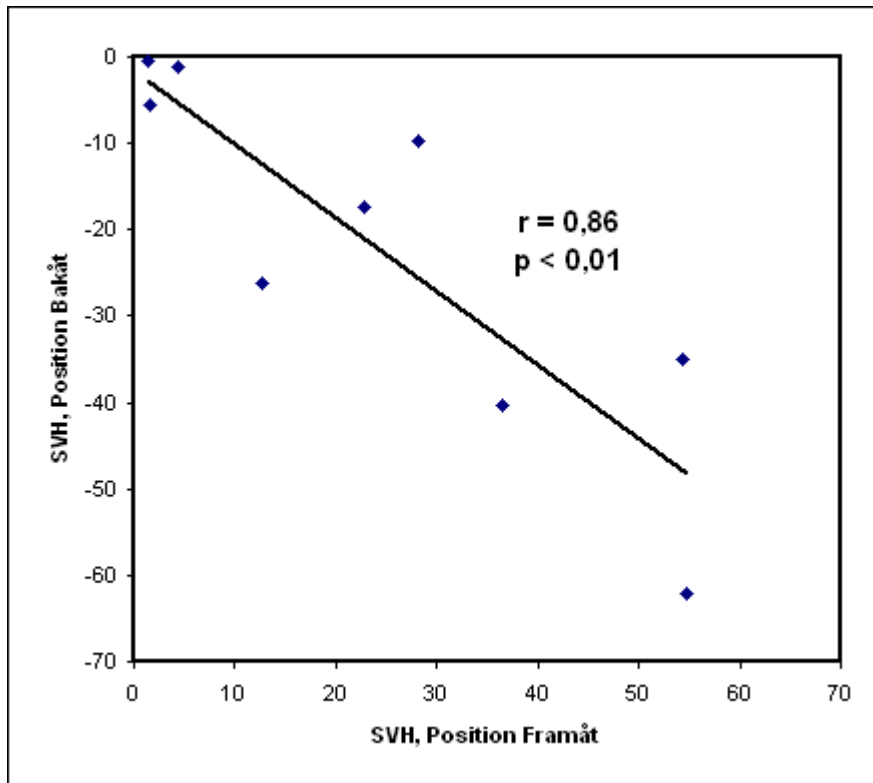
Figur 4c. Förändringar i SVH efter acceleration till 2G med näsan framåt respektive bakåt för Str 7-9. Varje punkt representerar en inställning av ljuslinjen.

Icke-pilot Nr	SVH vid 1g (°)	Position Framåt (kurvanpassning)			Position Bakåt (kurvanpassning)		
		Initial lutning (°)	Asymptot (°)	Tidskonstant (s)	Initial lutning (°)	Asymptot (°)	Tidskonstant (s)
1	0,3	14,3	5,4	48	0,3	1,6	-
2	-0,7	16,7	5,1	19	-5,8	1,6	143
3	0,3	19,2	1,4	46	-7,1	-0,5	59
4	-0,2	21,7	5,1	36	0,6	-3,0	111
5	-1,5	15,3	0,8	125	2,0	6,1	59
6	-2,0	20,9	-1,6	37	-4,7	0,0	167
7	-3,6	40,6	-1,4	83	-30,6	-1,4	125
8	-1,3	18,6	-0,3	42	-10,1	-0,5	46
Medel	-1,1	20,9	1,8	54	-6,9	0,3	101
Median	-1,0	18,9	1,1	44	-5,2	-0,2	111
S.D.	1,3	8,4	3,0	34	10,5	2,7	47

Tabell 1. Resultat av kurvanpassning för varje enskild icke-pilot. I ett fall (Nr 1, position Bakåt) där avvikelserna från det gravitoinertiala horisontalplanet var små i förhållande till spridningen har tidskonstanten för exponentiellt avtagande ej kunnat bestämmas. Den initiala SVH-lutningen har då beräknats som medelvärdet av de två första datapunkterna och asymptoten som medelvärdet för alla datapunkter under den femte (sista) minuten. Initialavvikelser och asymptoter (fet stil) kan jämföras med de medelvärden som för piloterna beräknats för första och sista minuten.

Strids- pilot	SVH vid 1g (°)	Position Framåt (medelvärden)			Position Bakåt (medelvärden)		
		Första minuten (°)	I sista minuten (°)	Hela perioden (°)	Första minuten (°)	I sista minuten (°)	Hela perioden (°)
Str							
1	-3,5	12,8	22,1	12,7	-3,4	-34,8	-26,3
2	0,1	33,1	27,3	28,1	-11,3	-5,4	-9,7
3	-1,0	22,3	-4,2	1,5	-18,0	-4,0	-5,6
4	0,8	22,8	-22,2	1,4	1,1	-16,2	-0,5
5	0,6	28,3	29,9	22,9	-29,3	-17,8	-17,3
6	-0,6	55,5	59,0	54,8	-47,8	-66,0	-62,1
7	1,4	29,3	51,9	36,4	-30,1	-47,8	-40,4
8	0,0	45,2	58,4	54,3	-23,2	-36,6	-35,1
9	0,5	12,6	2,2	4,3	1,4	-1,1	-1,1
Medel	-0,2	29,1	24,9	24,0	-17,8	-25,5	-22,0
Median	0,1	28,3	27,3	22,9	-18,0	-17,8	-17,3
S.D.	1,4	14,1	28,8	21,1	16,5	22,2	20,8

Tabell 2. För varje pilot har medelvärden beräknats för tre tidsintervall. Gruppmedelvärdena för första och sista minuten (fetstil) kan jämföras med de initial-avvikelse och asymptoter som för icke-piloterna erhållits genom kurvanpassning.



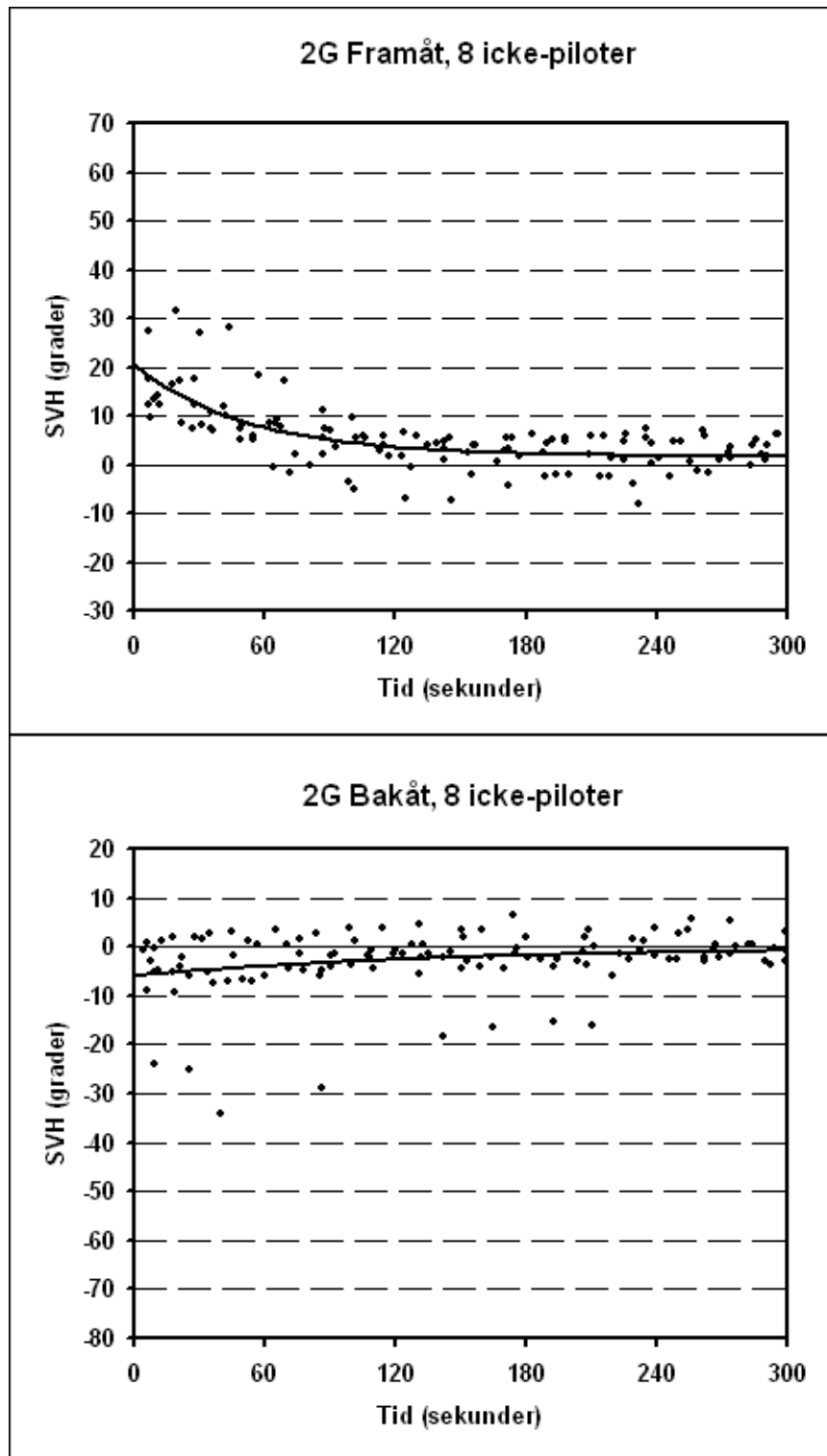
Figur 5. Förhållandet mellan SVH i position Framåt och SVH i position Bakåt hos piloterna. Varje punkt representerar en individ och dennes genomsnittliga SVH-värden för hela registreringsperioden.

Diskussion

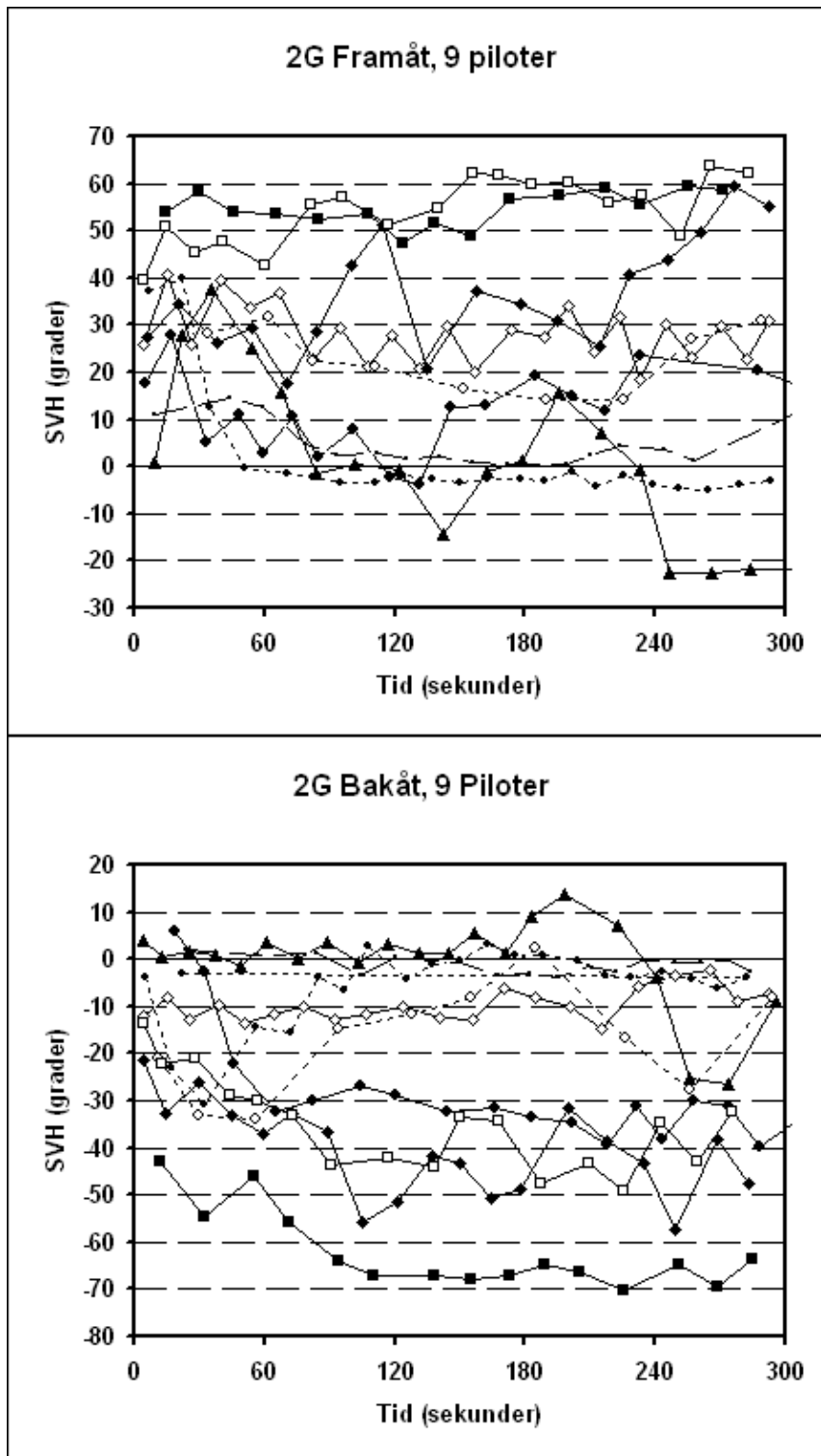
I enlighet med resultaten av en rad tidigare studier uppvisade icke-piloterna, när de satt vända i färdriktningen, en initial SVH-lutning på i genomsnitt c:a 30 procent av gondolens inklinations. SVH-lutningen avklingade exponentiellt och mot slutet av registreringsperioden (5 minuter) sammanföll SVH med gondolens horisontalplan. När icke-piloterna satt med ryggen i färdriktningen erford de nästan ingen lutningskänsla och SVH-lutningen var betydligt mindre än när de satt med näsan i färdriktningen. I båda positionerna var lutningen av SVH till sin riktning kompensatorisk i förhållande till gondolens inklinations, dvs. försökspersonerna förnam att gondolen ändrade läge men de underskattade kraftigt dess lutning relativt jordytan.

Hos piloterna sågs ett helt annat mönster. Några av dem uppvisade en lutning av SVH som nästan helt kompenenserade för gondolens inklinations. Detta mönster har vi aldrig sett hos någon oerfaren försöksperson (dvs. som saknar erfarenhet av att manövrera ett flygplan eller en motorcykel). De flesta piloter uppvisade en betydande lutning av SVH även när de satt med ryggen i färdriktningen. Dessutom fanns hos piloterna i regel ingen tendens för SVH-lutningen att avklinga under registreringsperioden. Endast en av piloterna uppvisade ett mönster som liknade icke-piloternas. Denne pilot var, liksom de övriga, mycket erfaren, men han hade inte flugit under året före experimentet. För alla de övriga i gruppen av piloter var tidsintervallet mellan senast genomförda flygpass och experimentet som längst några veckor.

Det råder alltså inget tvivel om att flygerfarenhet kan påverka förmågan att uppfatta lutning vid centrifugering och att en så grundläggande perceptionspsykologisk funktion som den subjektiva horisontalen kan modifieras genom träning. När det gäller mekanismerna för träningseffekter kan man spekulera om två komponenter, förmågan att uppfatta graden av positionsändring samt förmågan att minnas positionsändringen. Det mest genomgående draget i gruppen av piloter var att SVH-lutningen inte avklingade under registreringsperioden. Flera av piloterna uppgav att de tack vare den ökade tyngdkänslan i kroppen insåg att de låg i en doserad sväng; tyngdkänslan vidmakthöll ett minne av upplevelsen av gondolens positionsändring vid acceleration av centrifugen. Vad beträffar den anmärkningsvärt stora lutning av SVH som uppvisades av flera av piloterna kan man spekulera om huruvida denna är en inlärningseffekt betingad av att det vestibulära intrycket i samband kurvtagning vid flygning ofta beledsagas av visuell kontakt med yttervärldens horisont. Upprepade synintryck av horisontens läge skulle kunna leda till en optimering av hjärnans tolkning av signaler från balansorganen.



Figur 6a. Samtliga mätpunkter för gruppen av icke-piloter (enskilda individer har ej markerats).



Figur 6b. Samtliga mätpunkter för gruppen av piloter. Varje individ representeras av en och samma symbol i de båda diagrammen.

I gruppen av icke-piloter sågs, liksom i tidigare studier, en betydande inter-individuell variation. Det är väl belagt att denna inte är en konsekvens av slump eller dålig mätnoggrannhet. Vi har frågat oss om dessa skillnader mellan individer har att göra med konstitutionella (medfödda) särdrag eller om de kan vara betingade av erfarenhet. Pilotgruppen uppvisade en mycket stor inter-individuell variation. Korrelationen mellan data från de två positionerna (dvs. Framåt och Bakåt) påvisar att denna variation inte är slumpmässig. Man kan rimligen anta att piloterna, de flesta med mer än tusen timmars flygerfarenhet, alla haft mycket likartade erfarenheter av koordinerad kurvtagning. Det är därför inte otänkbart att de stora skillnaderna i SVH-lutning inom pilotgruppen hänger samman med konstitutionella skillnader i hur balanssystemet anpassar sig till nya stimulusmönster.

Praktisk betydelse

Det faktum att flygerfarenhet inverkar på förmågan att lutning under centrifugering i DFS har två konsekvenser av möjlig praktisk betydelse. 1. Att flygerfarenhet påverkar orienteringsförmågan i centrifug talar för att träning i centrifugbaserad simulator kan inverka på spatial orientering vid flygning. 2. Mätning av SVH i gondolcentrifug kan vara en metod för utvärdering av träning av piloter i SD-simulator.

Referenser

- Baloh RW (1989) Vestibulo-ocular, cervico-ocular, and visuo-ocular reflexes. *Bull Soc Belge Ophthalmol* 237, 35-66.
- Benson AJ (1999a). Motion sickness. In: Ernsting J, Nicholson AN, Rainford DJ, eds. *Aviation medicine*. Oxford: Butterworth.
- Benson AJ (1999b). Spatial disorientation – common illusions. In: Ernsting J, Nicholson AN, Rainford DJ, eds. *Aviation medicine*. Oxford: Butterworth.
- Blanks RH, Curthoys IS, Markham CH (1975). Planar relationships of the semicircular canals in man. *Acta Otolaryngol* 80, 185-196.
- Breuer J (1875). Beiträge zur Lehre von statischen Sinne (Gleichgewichtsorgan, Vestibularapparat des Ohrlabyrinths). *Med Jb d KK Österr States* 87-156.
- Corvera J, Hallpike CS, Schuster EHJ (1958). A new method for the reconstructions of the human macular planes. *Acta Otolaryngol* 49: 4-16.
- Curthoys IS, Dai MJ, Halmagyi GM (1991). Human ocular torsion position before and after unilateral vestibular neurectomy. *Exp Brain Res* 85, 218-225.
- Fernandez C, Goldberg JM, Abend WK (1972), Response to static tilts of peripheral neurons innervating otolith organs of the squirrel monkey. *J Neurophysiol* 35,978-987.
- Goldberg JM, Fernandez C (1984) The vestibular system. In: Geiger SR, ed. *Handbook of physiology III/1*. Bethesda, Maryland: Am Physiol Soc.
- Guedry FE (1974). Psychophysics of vestibular sensation. In: Kornhuber HH, ed. *Handbook of sensory physiology VI/2*. Berlin: Springer Verlag.
- Guedry FE, Oman CM (1990). Vestibular stimulation during a simple centrifuge run. *NAMRL* 1353; Pensacola.
- Holdstock JS, Mayes AR, Cezayirli E, Isaac CL, Aggleton JP, Roberts N (2000). A comparison of egocentric and allocentric spatial memory in a patient with selective hippocampal damage. *Neuropsychologia* 38,410-425.
- Von Holst E (1950). Die Arbeitsweise des Statolithenapparates beim Fischen. *Z Vergl Physiol* 32:60-120.
- Lackner JR, DiZio P (2005). Vestibular, proprioceptive, and haptic contributions to spatial orientation. *Annu Rev Psychol*, 56:115-47.
- Lindeman HH (1969). Studies on the morphology of the sensory regions of the vestibular apparatus. Berlin: Springer Verlag.
- Mast F, Kosslyn SM, Berthoz A (1999). Visual mental imagery interferes with allocentric orientation judgements. *NeuroReport* 10, 3549-3553.
- McGrath BJ, Guedry FE, Oman CM, Rupert AH (1995). Vestibulo-ocular response of human subjects in a pivoting support system during 3 Gz centrifuge stimulation. *J Vest Res* 5, 331-347.
- Menzel R, Brandt R, Gumpert A, Komischke B, Kunze J (2000). Two spatial memories for honeybee navigation. *Proc R Soc Lond B* 267, 961-968.
- Mittelstaedt H (1991). The role of the otoliths in the perception of the orientation of self and world to vertical. *Zool Jb Physiol* 95,419-425.

- Mittelstaedt H, Fricke E (1988). The relative effect of saccular and somatosensory information on spatial perception and control. *Adv Oto-Rhino-Laryngol* 42, 24-30.
- Mittelstaedt H (1995). New diagnostic tests for the function of utricles, saccules and somatic graviceptors. *Acta Otolaryngol* 520 (Suppl):188-93.
- Mittelstaedt H (1996). Somatic graviception. *Biol Psychol* 42,53-74.
- Previc FH (2004). Spatial disorientation in aviation: Historical background, concepts, and terminology. I: Previc FH, Ercoline WR, utg. *Spatial disorientation in aviation. Progress in astronautics and aeronautics, vol 203.* Virginia: American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc, ss. 1-36.
- Reason JT (1978). Motion sickness and adaptation: a neural mis-match model. *J Roy Soc Med* 71, 819-829.
- Schöne H (1964). On the role of gravity in human spatial orientation. *Aerospace Med* 35,764-772.
- Tribukait A, Bergenius J, Brantberg K (1996). The subjective visual horizontal for different body tilts in the roll plane: characterization of normal subjects. *Brain Res Bull* 40, 375-383.
- Tribukait A, Eiken O (2005a). Perception of the Head Transversal Plane and the Subjective Horizontal during Gondola Centrifugation. *Percept Psychophys* 2005; 67:369-382.
- Tribukait A, Eiken O (2005b). Semicircular canal contribution to the perception of roll tilt during gondola centrifugation. *Aviat Space Env Med* 76:940-946.
- Tribukait A, Eiken O (2006). Roll-tilt perception during gondola centrifugation: influence of steady-state acceleration (G) level. *Aviat Space Environ Med* 77:695-703.
- Yardley L (1992). Motion sickness and perception: A reappraisal of the sensory conflict approach. *Br J Psychol* 83,449-471.
- Young LR (1984). Perception of the body in space: mechanisms. I: Geiger SR, utg. *Handbook of physiology III/1.* Bethesda, Maryland: American Physiological Society, ss. 1023-1066.