

EFFEKTEN AV LYSFORHOLD, VIBRASJON OG HYPOKSI PÅ  
KONTRASTSYNET, RELATERT TIL HELIKOPTEROPERASJONER

Birgitte Bjørland



Eksperimentoppgave v/ Flymedisinsk institutt

UNIVERSITETET I OSLO

2013

# THE EFFECT OF ILLUMINATION, VIBRATION AND HYPOXIA RELATED TO HELICOPTER OPERATIONS ON CONTRAST SENSITIVITY

© Birgitte Bjørland

2013

Effekten av lysforhold, vibrasjon og hypoksi på kontrastsynet, relatert til helikopteroperasjoner.

Birgitte Bjørland

<http://www.duo.uio.no/>

# Sammendrag

## **The effect of illumination, vibration and hypoxia (related to helicopter operations) on Contrast sensitivity**

**Purpose:** Contrast sensitivity (CS) is important for our everyday and working vision, and it is affected by lumination. Pilots are dependent on a precise and strong visual acuity. Helicopter pilots are exposed to the combination of height and vibration, and operate under different light settings. The effect of mild hypoxia and vibration in combination on CS under different levels of light is not known. This study aims to explore this relationship.

**Methods:** CS was measured on 16 healthy subjects with a visual acuity of minimum 1.0 (20/20), under five different light settings (0.02, 0.12, 0.22, 1.5 and 54.0 lux). Each test person underwent four CS-tests, where they were randomized to four different combinations of height (10 000 feet) and vibration. The experiments were performed in a hypobaric altitude chamber with a vibration platform providing whole body vibration in the z-axis with a frequency of 17Hz with amplitude  $1\text{ms}^{-2}$ . The sum of the score value from the 5 different frequencies of the CS test was calculated, and a general linear model (GLM) procedure was carried out to identify the effect of the different factors. All test persons were included in the study.

**Results:** Mean SpO<sub>2</sub> at 10 000 feet was 91%. The effect of the different light settings in incremental order with scotopic (0.02 lux) as reference was 153.7 for 0.12 lux, 177.8 for 0.22 lux and 336.2 for photopic conditions (54 lux),  $p < 0.001$ . Vibration gave a significant negative effect of -22.8,  $p = 0.031$  and hypoxia at this level was not found important ( $p = 0.14$ ).

**Conclusion:** Vibrations equal to a typical helicopter negatively affects contrast sensitivity to a certain extent and in magnitude corresponds to the difference in illumination levels from 0.22 to 0.12 lux.

# Innledning

Kontrastsensitivitet (CS) er en av flere delfunksjoner som er avgjørende for synet. Vanlige synstester som Snellens tavle (som måler visus), gir liten opplysning om kontrastsynet da dette er sorte, skarpt avgrensede bokstaver på hvit bakgrunn som gir høy kontrast.

Kontrastsynstester tester øyets evne til å oppfatte diffust avgrensede nyanser, slik mye av omgivelsene rundt oss fremstår. Det er derfor interessant å undersøke nærmere hvilke forhold som påvirker CS. Med denne studien ønsket vi å studere effektene av hypoksi og vibrasjon på CS under mesopiske og fotopiske forhold. Dette er av relevans for flere yrkesgrupper, blant annet flygere, sjøfolk og navigatører.

Synsfunksjonen omfatter ulike komponenter som visus, kontrastsensitivitet, fargesyn og det perifere synsfeltet. Visus er betegnelsen på synsstyrken, fargesynet gjør oss i stand til å skille mellom et stort antall fargenyanser og synsfeltet er det perifere synet, utenom skarpsynet. Kontrastsensitiviteten er evnen til å skille mellom ulike grader av lys og mørke. Kontrast er forskjellen mellom lys og mørke, og er matematisk definert ved  $c = (L_{max} - L_{min}) / (L_{max} + L_{min})$ . (1)

Denne evnen kan variere betydelig, også blant individer med normalt visus. Lysforholdene er av betydning, så vel som ukorrigert myopi og ulike okulære sykdommer som for eksempel katarakt. (2)

Det finnes flere måter å teste CS. Bruk av sinusbølger presentert med ulik spatial frekvens (antall ganger den rette bølgen repeteres innenfor et synsfelt) ble utviklet til en klinisk test på 1980-tallet (3). Denne typen test kan brukes til å undersøke CS ved ulike lysforhold. Få bølger/sykluser over en spesifisert synsvinkel defineres å ha en lav spatial frekvens. Motsatt dersom det er mange bølger/sykluser over den samme synsvinkelen. Det menneskelige øyet oppfatter best frekvenser på 6 cycles per degree (cpd) (4).

Hypoksi og vibrasjon er påkjenninger kroppen kan bli utsatt for i ulike miljø. Hypoksi i arbeidssammenheng er mest aktuelt for flygende personell, astronauter, ekstreme fjellguider og visse konservatorer. Barometrisk trykk avtar ved økende høyde over havet, og dermed skjer det også et proporsjonalt fall i det atmosfæriske oksygentrykket, som alltid utgjør i underkant av 21% av det totale barometriske trykket. Ved 0 moh. er det barometriske trykket 760 mmHg, og PO<sub>2</sub> i luften er 159 mmHg. De tilsvarende tallene er 523 og 110 ved 3048 moh. (10 000 fot) (5).

Vibrasjon forekommer i flere yrkesgrupper. Den hyppigste yrkesskaden forårsaket av vibrasjon er hånd-arm vibrasjonssyndrom (HAVS), og forekommer ved bruk av håndholdt vibrerende verktøy, som trykkluftbor, slagdrill og motorsag. Utsatte yrkesgrupper er bilmekanikere, bilopprettere, billakkerere, bygningsarbeidere, steinslipearbeidere, metallslipearbeidere, skogsarbeidere, anleggsdykkere m.m. Studier tyder på at vibrasjoner fra håndholdt verktøy kan gi perifer nerveskade, men man kjenner ikke patomekanismen i sin helhet.

Ved helkroppsvibrasjon, whole-body vibration (WBV), ser man på vibrasjonen som en vektor, med tre mulige retninger (i x-, y- og z-aksen (der alle aksene står vinkelrett på hverandre, med z-aksen pekende oppover)) med kroppens origo som referansepunkt. Vibrasjonen karakteriseres ved akselerasjon (m/s<sup>2</sup>) og frekvens (Hz). Helkroppsvibrasjon er en relevant problemstilling ved betjening av maskiner, hvor operatøren befinner seg på eller i

maskinen. Aktuelle yrkesgrupper er sjåførere av tunge kjøretøy som traktor og anleggsmaskiner, samt av transportkjøretøy som buss, tog, fly, helikopter, skip og snøscooter (6).

Den isolerte effekten av lysforhold, hypoksi og vibrasjon på CS er tidligere beskrevet (7, 12-13). Lysforhold har stor betydning for CS, med betydelig redusert CS ved mesopiske (skumring) og skotopiske (mørke) forhold, sammenliknet med fotopiske (dagslys).

Connolly og Barbur (7) undersøkte effekten av ulike oksygennivåer i blodet på kontrastsynet, ved bruk av Contrast Acuity Assessment test, under fotopiske og mesopiske forhold. De brukte pustegass (14,1% og 100% O<sub>2</sub>) for å oppnå forskjellige nivåer av oksygenmetning, SpO<sub>2</sub>. De fant at hypoksi (gjennomsnittlig SpO<sub>2</sub> = 91%) reduserte CS, spesielt under mesopiske forhold. Hyperoksi økte CS, men kun ved det mørkeste mesopiske forhold (0,1 cd · m<sup>-2</sup>). De konkluderte med at å puste ekstra oksygen øker CS i det midt-mesopiske området, og at det bør anbefales for flygere som flyr over 10 000 fot under mesopiske forhold hvor det kreves optimalt syn.

Vibrasjon er undersøkt i forhold til synsfunksjon tidligere og det er påvist en sammenheng der vibrasjon reduserer synskvaliteten. Temaet er komplisert og sammenhengen er avhengig av både frekvens, amplitude og lysforhold (8). Studien "Binocular contrast sensitivity during hypoxia and whole-body vibration" (upubliserte data) utført ved Flymedisinsk institutt (FMI), testet effekten av vibrasjon på CS ved ulike høyder under fotopiske forhold (30-40 lux). Der bidro verken vibrasjon eller hypoksi til en signifikant forskjell i CS, men CS sumscore var jevnt over lavere under påvirkning av helkroppsvibrasjon.

Tidligere studier har undersøkt effekten av hypoksi og vibrasjon på CS alene eller i kombinasjon, men ikke begge i kombinasjon med ulike lysforhold. Denne studien er derfor et videre arbeid med å kartlegge hvordan omgivelsene påvirker CS, og da spesielt miljøet rundt en helikopterflyging.

Hovedmålet med denne studien er å studere effekten av hypoksi og vibrasjon på CS under mesopiske og fotopiske forhold i et tilsvarende miljø som er aktuelt for helikopterbesetning.

# Metode

Studien ble utført ved Flymedisinsk institutt (FMI) i Oslo, Norge. Datainnsamlingen ble gjennomført i løpet av august 2011. Forsøksprotokollen var på forhånd godkjent av REK, og forsøkspersonene ble informert individuelt og samtykke ble undertegnet før deltakelse. Forsøket var en randomisert cross-over studie, og ble utført i lavtrykkammer på 16 forsøkspersoner randomisert til 4 ulike testprofiler. Alle testpersonene var friske personer over 18 år, uten øyesykdommer eller trykkutligningsproblemer. Alle testpersonene ble inkludert i forsøket.

Testpersonene ble undersøkt av øyelege i forkant av forsøket, og alle hadde ukorrigert eller korrigeret binokulært visus på minimum 1.0 (20/20). I forkant ble også forsøkspersonenes kontrastsyn testet under standardiserte omstendigheter med Optec 6500/FACT av en tekniker. Dette for å ha en grunnoppfatning av testpersonenes kontrastsyn og en referanse ved eventuelle store avvik i prestasjon.

Lavtrykkskammeret ved FMI består av ett treningskammer og ett reservoarkammer med to vakuumpumper som produserer undertrykk. Dette gjør det mulig å simulere ulike høydenivåer, med endret oksygentrykk i kammeret som en av konsekvensene. Pumpene og kammeret er konstruert for høyder inntil 100 000 fot (30.480 m) der trykket er 11 hPa, det vil si 1/100 av normalt lufttrykk ved havflatenivå. (9)

Det ble utført CS-tester i fem ulike lysforhold, for hver av fire ulike og randomiserte kombinasjoner av høyde (og dermed oksygenmetning i blodet) og vibrasjon (Tab. 1).

Testkombinasjoner		VIBRASJON	
		nei	ja
HYPOKSI	nei	A	B
	ja	C	D

Tab. 1 De ulike kombinasjonene av vibrasjon og hypoksi gir de fire forskjellige testkombinasjonene.

Rekkefølgen av de ulike eksponeringene av hypoksi og vibrasjon er angitt av de ulike testprofilene (w-z) (Tab. 2).

Testprofiler	Testkombinasjoner			
	A	B	C	D
w	1	2	3	4
x	3	4	1	2
y	2	1	4	3
z	4	3	2	1

Tab. 2 Angir rekkefølgen av testkombinasjoner i de ulike testprofilene.

Av praktiske hensyn satte testkombinasjonenes rekkefølge alltid A og B sammen og C og D sammen, for at forsøkspersonene ikke skulle veksle mer enn en gang mellom 2000 fot og 10 000 fot.

### *Vibrasjonsbelastning*

Testpersonene satt i en høyrygget stol med fotstøtte montert oppå en vibrasjonsplattform (LDS Model 725 LIN-E-AIR, Ling Dynamic Systems Ltd, England). De fikk instruksjon om å sitte med rett rygg og nakke. Vibrasjonen hadde en frekvens på 17Hz i z-aksen med en amplitude  $1\text{ms}^{-2}$ . Forsøkspersonen ble vibrert sammenhengende i ca. 15 minutter på hver høyde, inkludert vibrasjonsadaptasjonstid og kontrastsynstesting. Vibrasjonsbelastningen ble verifisert ved hjelp av et akselerometer som forsøkspersonen satt på.

### *Hypoksi*

For å frembringe hypoksi, ble trykket i kammeret holdt tilsvarende 10 000 fot (3048 meter). SpO<sub>2</sub> og puls ble målt non-invasivt med pulsoxymeter på venstre hånds 4. finger.

2000 fot ble definert som bakkenivå, for å unngå dag-til-dag svingninger i det barometriske trykket.

### *Lysforholdene*

De ulike lysforholdene varierte fra skotopisk til fotopisk og var på 0.02, 0.12, 0.22, 1.5 og 54.0 lux (navngitt fra 0 til 4). De ble skapt ved å utføre testen i mørkt kammer med ulike kombinasjoner av filtre med ulik transmisjon foran testskjermen, og i lyst kammer. Filtrene hadde transmisjon på 6% og 13%, og ble brukt i kombinasjon og alene i mørkt kammer ved de tre første lysforholdene, med økende transmisjonsprosent. Ved de to siste lysforholdene ble det ikke brukt filter, og kammeret var henholdsvis mørkt og med belysning. Lys like ved testpersonens øyne ble koplet ut, for å unngå såkalt glare.

Hvert lysforhold ble målt med Easy View digital light-meter, modell EA30 i testkombinasjon A ved hver av de 16 forsøkene, og gjennomsnittsmålingene er som anført i lysforholdene over. Verdiene angitt over er basert på målinger utført ved testpersonens øyne, og angir den mengde lys som er tilgjengelig for øynene.

Avstanden fra testpersonens øyne til testskjermen var 2,7 meter. Testskjermen hang i øyehøyde for testpersonen, og tilnærmet loddrett.

### *Forsøksprosedyre*

Før hver testkombinasjon hadde forsøkspersonen 20 minutter mørkesynsadaptasjon. 10 minutter med bind for øynene, 10 minutter i helt mørkt rom for å unngå trykk på øynene og dermed eventuell nedsatt prestasjon.

Kontrastsynet ble så testet binokulært ved bruk av Tomey TCP 2000 19" LCD projector, som presenterer sinusbølger i rutenett ved 5 ulike frekvenser: 1.5, 3, 6, 12 og 18 cycles per degree (cpd). Forsøkspersonen så på skjermen og anga retningen på gråsorte og hvite streker. De ble oppfordret til å svare raskt, men hadde ingen tidsbegrensning. Svaralternativene var "høyre", "venstre", "rett opp" eller "vet ikke".

Forsøkspersonene utførte en test per lysforhold ved hver av de fire ulike testkombinasjonene (A, B, C og D i Fig. 1). Mørkesynsadaptasjon og testing ved hver av kombinasjonene tok i overkant av 30 minutter, og gav en total forsøksstid på ca. 2 timer per testperson.

Det ble underveis i forsøket registrert SpO<sub>2</sub> og puls, og pupillstørrelse ble målt i lysforhold tilsvarende lysforhold 0 og 3.

### *Statistiske analyser*

Deskriptive data ble fremskaffet med Excel. For å studere effekten av de ulike variablene (lys, hypoksi og vibrasjon) på CS nærmere, ble det gjennomført en general linear model (GLM) regresjonsanalyse ved bruk av R statistisk programvare.

P-verdi under 0,05 ble definert som signifikant.





# Resultat

Deltakernes alder var fra 20 til 35 år, med en gjennomsnittsalder på 25,88 år. Det var flere kvinner enn menn som deltok i studien (Fig. 1).

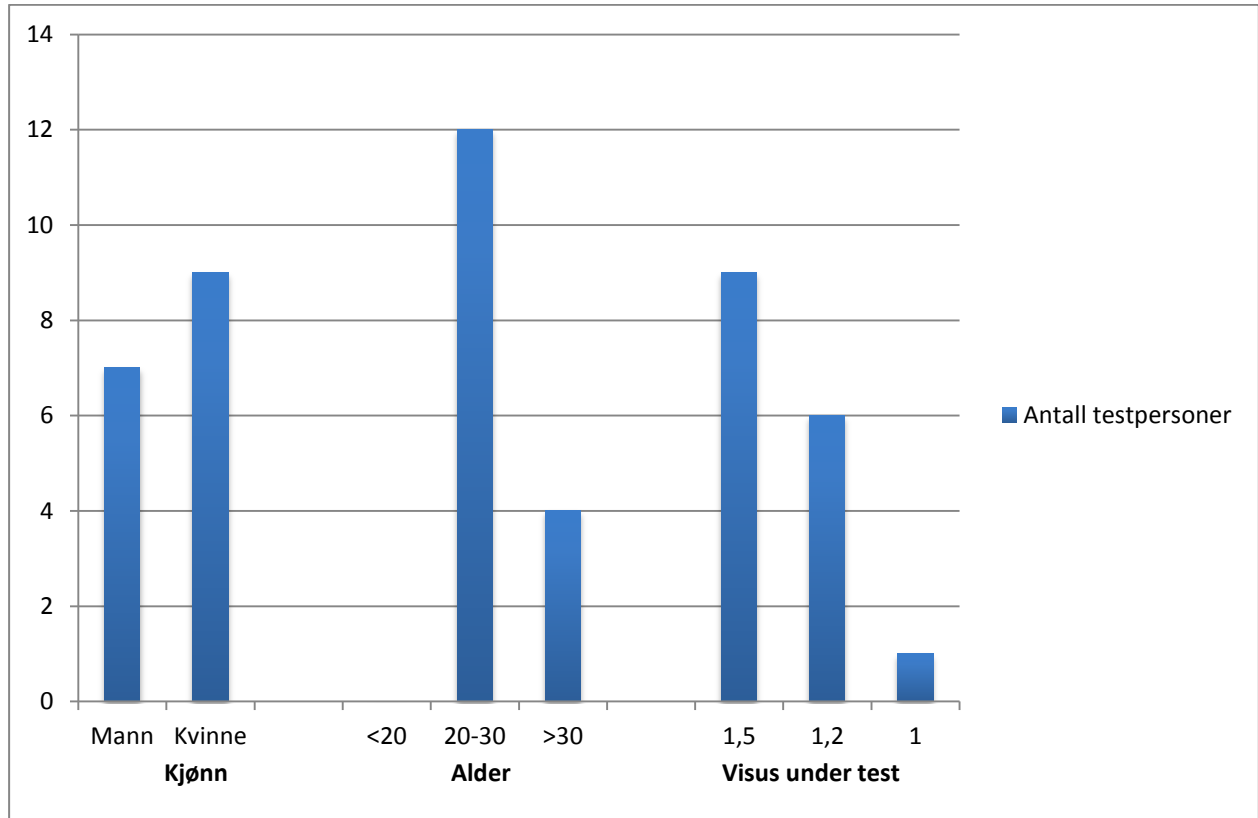


Fig. 1 viser grunnleggende informasjon om testpersonene.

Tre av forsøkspersonene hadde kontaktlinser under forsøket, og én benyttet briller. Gjennomsnittlig  $SpO_2$  hos forsøkspersonene ved 10 000 fot var 91%, og ved 2000 fot 97%. Gjennomsnittspuls var 64 i testkombinasjon A, 65 i B og 69 i C og D. Pupillstørrelsen målt i lysforhold 0 og 3 (henholdsvis 0,02 og 1,5 lux) var gjennomsnittlig 6,14mm og 5,29mm for høyre øye og 5,88mm og 5,66mm for venstre øye.

Figur 2 viser gjennomsnittsscore for alle testkombinasjonene (A-D) under de mørkeste (lysforhold 0) og lyseste (lysforhold 4) lysforholdene. Her vises dermed effekten av både lys, hypoksi og vibrasjon. Effekten av lysforholdene er ved inspeksjon av grafen tydelig, da CS sumscore (resultatverdi for hver enkelt frekvens summert) for alle testkombinasjoner utført under lysforhold 4 ligger godt over sumscore for testkombinasjonene utført ved lysforhold 0. Vi ser at testkombinasjon A (med fravær av hypoksi og vibrasjon) i de høyere frekvensene ligger noe høyere enn de tre andre kombinasjonene.

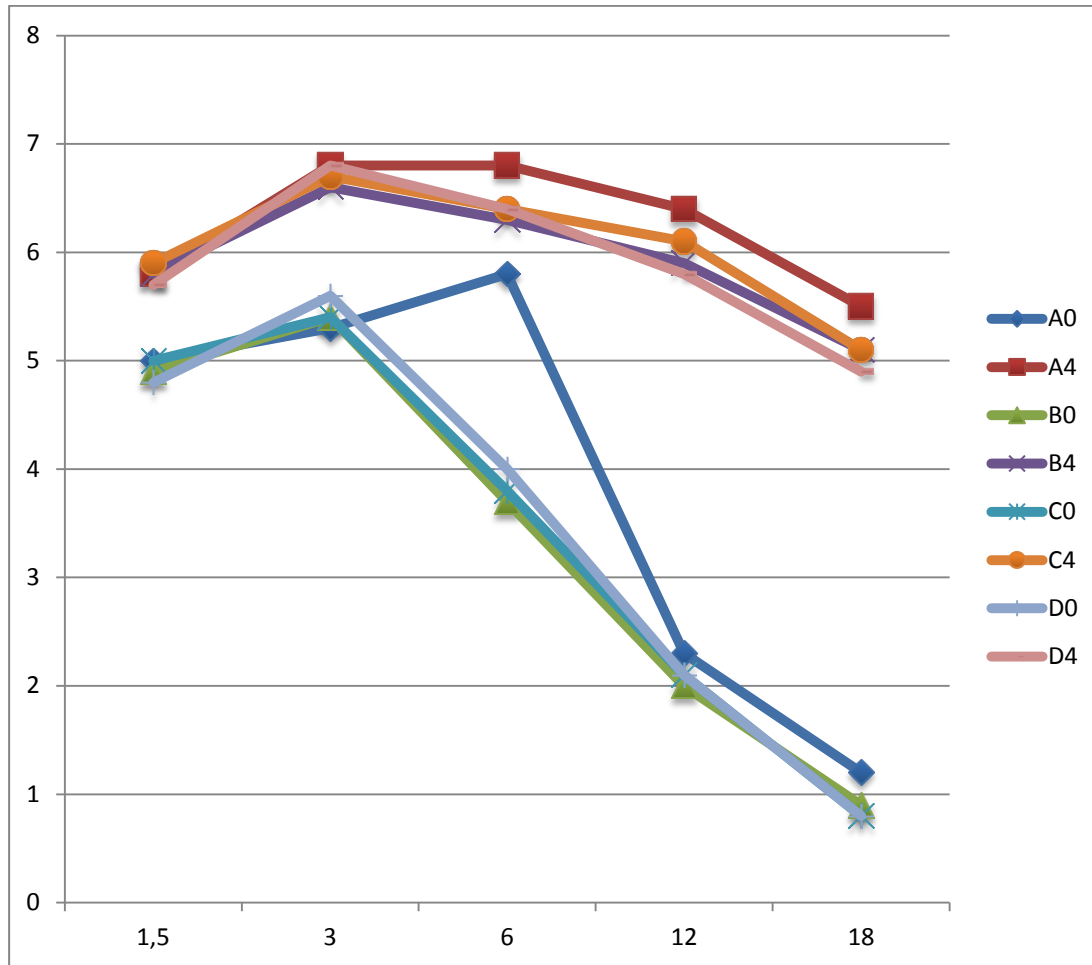


Fig. 2 Effekt av lysforhold, hypoksi og vibrasjon på CS. Bokstavene beskriver testkombinasjonene, der A er uten hypoksi og vibrasjon, B er med vibrasjon, C er med hypoksi og D er med både hypoksi og vibrasjon. Tallene beskriver lysforholdene, der 0 er testens mørkeste lysforhold med 0,02 lux, og 4 er det lyseste, med 54 lux.

Resultater fra GLM analysen viste at lysforholdene gav den sterkeste effekten på CS sumscore, mens vibrasjon hadde en beskjeden men signifikant effekt (Tab. 3).

CS sumscore		
	Koeffisient	P-verdi
Intercept	176,3	
Illuminans		<0.001
Skotopisk	0.02 lx	Ref
Mesopisk 1	0.12 lx	153,7
Mesopisk 2	0.22 lx	177,8
Mesopisk 3	1.5 lx	317,6
Fotopisk	54 lx	336,2
Vibrasjon		0,031
Nei		Ref
Ja		-22,8
Mild hypoksi		0,14
Nei		Ref
Ja		-15,6

Tab. 3 Effekten av illuminans, vibrasjon og hypoksi på CS sumscore (GLM).

# Diskusjon

Vi kunne i vår studie påvise at lysforhold er den variabelen som påvirker kontrastsyn i størst grad og langt mer enn hva helkroppsvibrasjon gjør. Vi fant ingen signifikant sammenheng mellom CS og mild hypoksi tilsvarende 10 000 fots høyde.

At lysforholdene hadde størst betydning for CS, var ikke uventet. Stavene i retina aktiveres under mørke lysforhold, mens tappene som gir farge- og skarpsyn, krevder mer lys for optimal funksjon. Tappene har en rask mørkesynsadaptasjon, men når sitt maksimale potensiale etter ca. 10 min i totalt mørke. Stavene derimot kan øke lyssensitiviteten i opp mot en time, og etter ca. 20 min adaptasjonstid er de om lag 6000 ganger så sensitive for lys (10). Nedsatt CS ved redusert lys har lenge vært kjent, og ble blant andre undersøkt av Smith (11) i 1972. I studien undersøkes blant annet spatial modulation transfer function (SMTF) som er et mål på CS, ved ulike verdier av skotopisk Td (Troland =  $\text{cd m}^{-2}$  x pupilleareal i  $\text{mm}^2$ ), som er et mål på retinal illuminans. Han fant redusert CS under mesopiske forhold, ved ulike spatialfrekvenser.

For vibrasjon påviste vi at det er en betydningsfull sammenheng med CS, dog svakere enn for lysforholdene. Det forrige FMI forsøket (upublisert) påviste ikke denne sammenhengen, noe som kan forklares med at forsøket da foregikk under fotopiske forhold.

I vår studie foregikk både vibrasjon og testretning i vertikalplanet, og det er naturlig å spørre seg om vi ville fått større utslag dersom vi hadde rotert CS-testen, eller utsatt forsøkspersonene for vibrasjon i flere plan slik situasjonen er i et reelt helikoptermiljø. Tidligere forskning tyder på dette. Griefahn et.al (12) utførte et forsøk der testpersonene ble utsatt for helkroppsvibrasjon i horisontal- og vertikalplanet, samt to kombinasjoner av disse, og utførte blant annet CS-tester under fotopiske forhold. Vibrasjonen hadde en frekvens på 5 Hz og en amplitude på  $1,2 \text{ ms}^{-2}$ . De benyttet både vertikalt og horisontalt rettede CS-tester, med kun én frekvens på henholdsvis 13.3 cpd og 10,3 cpd. De fant en signifikant effekt ( $p < 0,001$ ) av vibrasjon på CS ved horisontal testretning, under påvirkning av vertikal helkroppsvibrasjon. De fant ingen signifikant effekt på CS ved vertikal CS-testretning, og lateral vibrasjon bidro ikke til redusert CS uansett testretning.

Når det gjelder hypoksi kunne vi ikke demonstrere effekt på CS. Connolly og Barbur (7) på sin side fant dette under mesopiske forhold, til tross for at de hadde tilsvarende hypoksi grad som i vår studie. Om denne forskjellen skyldes bruk av pustegass versus lavtrykkammer eller andre forhold, vites ikke. Fra tidligere studier kan det se ut til at økende grad av hypoksi medfører økende effekt på CS. Det er mulig effekten av hypoksi kunne vært mer tydelig, dersom vi hadde utsatt testpersonene for enda lavere trykk. Vi valgte dog å ikke gjøre dette, da det sjelden er relevant i forhold til helikopterflyginger som var målsettingen å studere i denne sammenheng.

Ulike CS-tester har ulik grad av sensitivitet og spesifisitet. Optec 6500 har vist høy sensitivitet, og er bedre enn fjern-/veggtester av CS for å oppdage små avvik og endringer (13). Grunnen til at vi i forsøket benyttet skjermbasert CS-test og ikke Optec 6500/FACT, er muligheten til å utføre forsøket i trykkammer med vibrasjonsplattform. Dette gir høyest grad av sammenliknbarhet med en reell helikopterflyging.

Testpersonene utførte i alt 20 CS-tester. Grad av både læring og uttrøtting kan ha påvirket den enkeltes prestasjoner. Eventuelle slike effekter har neppe påvirket resultatet på gruppenivå, da forsøkspersonene var randomisert til ulike testprofiler.

Alle intervensjonsstudier bør helst blindes, dobbelt om mulig. Det var i vår studie ikke mulig å få til, grunnet sikkerhet i forhold til trykkendring og den åpenbare vibreringen fra vibrasjonsplattformen.

Vårt materiale er basert på 16 testpersoner. Dette er en relativt liten testpopulasjon, og resultatene blir dermed i større grad avhengig av den enkeltes prestasjoner. Det lave antallet testpersoner kan være en mulig årsak til at vi ikke kunne påvise sammenheng mellom hypoksi og CS.

Forsøket er utført under nøye kontrollerte forhold, med bruk av et lavtrykkskammer som er gullstandard (hypobar hypoksi). Vi hadde dermed muligheten til å skape et miljø, som realistisk simulerer de faktiske forhold ved helikopterflyginger. Samtidig var omgivelsene trygge, med overvåkning av fysiologiske parametere og god instruksjon til forsøkspersonene.

Vi har demonstrert at vibrasjon typisk for helikopterflyging svakt negativt påvirker CS. Vi har foreløpig ikke nok kunnskap til å konkludere med hvilken betydning dette har for operasjonell gjennomføring og sikkerhet. Men våre funn gir grunnlag for å si at kontrastsynet blir redusert ved forhold som ved helikopterflyging både under fotopiske og mesopiske lysforhold, og at det derfor er grunn til ekstra årvåkenhet og kanskje berettiget med ytterligere forskning på feltet.

# Litteraturliste

1. Contrastsensitivity.net (Internett). Walnut Creek, CA, USA: Vision Sciences Research Corporation, 2002 (Regelmessig oppdatert, sitert februar 2013). Tilgjengelig fra: <http://www.contrastsensitivity.net/swg.html>
2. Fahmy P, Hamann S, Larsen M, Sjølie A K. Praktisk oftalmologi. 2. utgave. Gads Forlag; 2009
3. Ginsburg AP. A new contrast sensitivity vision test chart. Am J Optom Physiol Opt (1984); 61:403-407.
4. Haugom B, Strand T-E. Sine wave mesopic contrast sensitivity – Defining the normal range in a young population. Først publisert online 16. desember 2011, Acta Ophthalmologica Mars 2013; 91(2): 176-182
5. Guyton AC, Hall JE. Aviation, High-Altitude, and Space Physiology. I: Guyton AC, Hall JE. Textbook of Medical Physiology. 11. utgave. Elsevier Saunders; 2006. S. 537-540.
6. Amv.legehandboka.no (Internett) Norge: Norsk arbeidsmedisinsk forening (sist endret 22.08.2012, sitert februar 2013). Tilgjengelig fra: <http://amv.legehandboka.no/>
7. Connolly DM, Barbur JL. Low contrast acuity at photopic and mesopic luminance under mild hypoxia, normoxia, and hyperoxia. Aviat Space Environ Med (2009); 80(11): 933-940.
8. Griffin MJ. Handbook of human vibration. London. Elsevier Academic Press; 1990
9. Flymed.no (Internett) Norge: Flymedisinsk institutt. (sitert februar 2013). Tilgjengelig fra: <https://www.flymed.no/index.php?action=page&article=501023388&node=103>
10. Guyton AC, Hall JE. The Eye: II. Receptor and Neural Function of the Retina. I: Guyton AC, Hall JE. Textbook of Medical Physiology. 11. utgave. Elsevier Saunders; 2006. S. 631-632.

11. Smith RA, Jr. Luminance-dependent changes in visual contrast sensitivity. *J Physiol* (Internett). 1973 April (Sisert februar 2013); 230(1): 115–135. Tilgjengelig fra: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1350389/pdf/jphysiol00965-0139.pdf>
12. B. Griefahn, P. Bröde & W. Jaschinski. Contrast thresholds and fixation disparity during 5-Hz sinusoidal single- and dual-axis (vertical and lateral) whole-body vibration, *Ergonomics* (Internett) 2000 (sisert februar 2013); 43:3, 317-332. Tilgjengelig fra: <http://dx.doi.org/10.1080/001401300184431>
13. Hong, Y T, Kim, S W, Kim, E K, Kim T-I. Contrast sensitivity measurement with 2 contrast sensitivity tests in normal eyes and eyes with cataract. *J Cataract Refract Surg* 2010; 36:547-552.

Upublisert materiale:

- Haugom B, Koefoed V, Strand T-E, Wagstaff, AS. Binocular contrast sensitivity during hypoxia and whole-body vibration. (2013)