

# Kort introduksjon i flymedisin

Versjon 1.

Sist oppdatert 3. november 2016

## Innholdsfortegnelse

---

Hva er flymedisin? .....	2
Jordens atmosfære .....	2
Lufttrykk og Boyles lov.....	3
Barotraumer .....	3
Luftgasser og Daltons lov .....	3
Alveolær pO <sub>2</sub> .....	4
Henryloven .....	5
Oksyhemoglobins dissosiasjonskurve .....	5
Menneskets ytelser i et hypobart miljø.....	5
Akselerasjon og G-krefter.....	6
Vibrasjon.....	7
Den menneskelige faktor .....	7
Sanseillusjoner.....	8
Fatigue .....	9
Farmakologi .....	9
Hva er en flylege? .....	10
Anbefalte lærebøker i flymedisin.....	10

## Hva er flymedisin?

---

Flymedisin er et bredt fag som befatter seg med menneskets reaksjon, funksjon og tilpasning til unormale eller ekstreme miljøfaktorer man eksponeres for i luftfart, sivilt eller militært. Dette inkluderer menneskelig ytelse, toleranse og helsepåvirkning under lavt atmosfærisk trykk, stråling, vibrasjon og akselerasjon/G-krefter. Andre sentrale fagområder innen flymedisin er seleksjonsmedisin, sanseapparatet, baromedisin og trykkfallsyke, forebyggende medisin, reisemedisin og hygiene, fysikk, fysiologi og psykologi. Den internasjonale betegnelsen for flymedisin er aerospace medicine, hvilket henspiller på at faget også inkluderer romfartsmedisin.

## Jordens atmosfære

---

Jordens atmosfære er et resultat av tyngdekraften, og jo lengre unna jordens overflate man befinner seg desto tynnere er luften. Grensen mellom atmosfæren og verdensrommet er ikke definitiv, men ofte benyttes 100 km som en praktisk definisjon av denne overgangen. Man har likevel delt atmosfæren inn i fire lag, hvor de to ytterste lagene strekker seg lenger ut enn 100km og dermed ut i verdensrommet:

ATMOSFÆRELAG	HØYDE OVER HAVET	STIKKORD
Exosfæren	700 – 10.000km	Satelitter i bane.
Termosfæren	80 – 700km	ISS.
Mesosfæren	50 – 80km	Kaldeste sted i atmosfæren.
Stratosfæren	12 – 50km	Jet-fly. Armstrongs grense.
Troposfæren	0 – 12km	Propell-fly.

Exosfæren er det ytterste laget og kjennetegnes av ekstremt lav tetthet av luftmolekyler. Satelitter som kretser rundt Jordkloden befinner seg normalt i dette laget.

Termosfæren består også av så få gassmolekyler at disse kan bevege seg opptil flere kilometer uten å treffe på hverandre. I motsetning til stratosfæren kjennetegnes dette laget av økende temperatur. Selv om temperaturen kan komme opp i 1500°C vil ikke et menneske kunne kjenne denne varmen grunnet det ekstremt lave trykket. Laget er helt fri for vanndamp. Den internasjonale romstasjonen (ISS) befinner seg i dette laget, mellom 320 og 380km høyde.

Mesosfæren strekker seg fra stratopausen på ca.50km og opp til termosfæren på ca.80km. Ettersom temperaturen i lavere atmosfærelag faller med stigende høyde er dette det kaldeste stedet på Jorden med temperatur på rundt -85°C.

Stratosfæren er det nest nederste laget i atmosfæren og strekker seg fra 12km til ca.50km. Trykket i øverste del av stratosfæren er ca. 1 promille av trykket ved havoverflaten. Stratosfæren inneholder ozonlaget, hvilket blant annet absorberer UV stråler fra solen. Dette medfører en temperaturstigning i øverste del av stratosfæren til rundt 0 °C, mens nederste del av stratosfæren har en typisk temperatur på rundt -60 °C. Stratosfæren er det høyeste laget som kan nås med normale trafikkfly. Armstrongs grense (Armstrong limit) ligger også i stratosfæren. Dette er den høyden hvor lufttrykket er så lavt at vannets kokepunkt tilsvarer kroppstemperaturen på 37°C. Denne grensen ligger på rundt 19km høyde, hvor atmosfæretrykket er ca.0,0618 atm (6,3 kPa eller 47 mmHg). Ved opphold over Armstrongs grense er man avhengig av trykkdrakt for å overleve. Uten dette vil væsker på overflaten av kroppen og i lungene begynne å koke.

Troposfæren er det laveste laget i atmosfæren og strekker seg fra Jordens overflate og opp til en gjennomsnittlig høyde på ca.12km (ca.9km over polene og 17km over ekvator). Ca.80 % av massen til Jordens atmosfære befinner

seg i dette laget, og det er i dette laget de fleste værphenomenene finner sted. Størstedelen av konvensjonell flyging foregår i dette laget.

## Lufttrykk og Boyles lov

---

Atmosfæretrykket er kraft per areal som utøves av vekten til luften i den overliggende atmosfæren. I gjennomsnitt har en tynn søyle av luft med et tverrsnitt på en kvadratcentimeter og målt i nivå med havoverflaten en masse på litt over 1kg. Dette tilsvarer en masse på hele 10 tonn per kvadratmeter. Menneskene som lever på Jordens overflate har imidlertid et indre trykk som normalt står i balanse med det utvendige lufttrykket slik at man vanligvis ikke merker atmosfæretrykket. Dersom det omgivende lufttrykket endrer seg fort eller endrer seg til et nivå som kroppen ikke er akklimatisert til vil imidlertid mennesket merke direkte eller indirekte konsekvenser av dette.

Ved økende høyde avtar atmosfæretrykket, og på ca.5.000 meters høyde er trykket halvert.

Boyles lov sier at trykk ganger volum for en bestemt gassmengde er konstant når temperaturen er konstant. Dette tilsvarer at volumet til en luftlomme under ideelle forhold og konstant temperatur er indirekte proporsjonalt med lufttrykket. Med andre ord vil en lukket luftlomme vanligvis ekspandere under oppstigning til større høyder, f.eks. 20 % økning ved 8.000 fot eller dobling ved 18.000 fot.

Det må også tas i betraktning at luftlommer i kroppen normalt er mettet av vanndamp i konstant temperatur, slik at volumet til luftlommene normalt endrer seg litt mer enn for eksempel tilsvarende luftlomme i en ballong.

## Barotraumer

---

Ved hurtig endring i det omgivende atmosfæretrykket kan det oppstå såkalte barotraumer hvor endringer av volumet til kroppens luftlommer utøver en mekanisk påvirkning av kroppen. Forutsetningen for en slik skade er at trykket i de luft-fylte rommene i kroppen ikke blir utliknet med det omgivende trykket.

Et eksempel er øresmerter under landing grunnet undertrykk i mellomøret som ikke lar seg utlikne via en trang øretrompet. Bihule-skvis er sjeldnere, men kan også oppstå ved rask trykkendring og redusert evne til utlikning grunnet tett nese/bihulegang.

Økt tarmgass i magen ved oppstigning er et annet eksempel. Det er normalt ikke et problem hos friske flygere, men risikoen kan reduseres ved å unngå diett rik på frukt/grønnsaker og kullsyreholdig drikke. Man bør ikke planlegge flyging dersom man har pågående magesmerter.

Dersom flygeren har gjennomgått nylig kirurgi i ansiktsskjelettet eller kraniet kan det fanges små luftlommer på innsiden av kraniet som ved oppstigningen utvides og kan medføre mekanisk påvirkning eller irritasjon av hjernen.

Ved trykkforskjeller mellom venstre og høyre mellomøre (f.eks. grunnet forkjølelse) kan dette påvirke det indre øret forskjellig på hver side slik at det oppstå akutt svimmelhet og kvalme (alternobar vertigo).

Trykkendringer i gasslommer bak tannfyllinger, i tannrotsbetennelse med fri gass eller økt vevstrykk kan det oppstå sterke tannmerter.

## Luftgasser og Daltons lov

---

Tørr luft består av ca.78% nitrogen og 21% oksygen i tillegg til mindre mengder av andre gasser. I tillegg består luften av varierende mengde vanndamp, typisk rundt 1% i havnivå.

Daltons lov sier at det totale trykket i en gassblanding er lik summen av partialtrykket fra de gassene som er i blandingen. Partialtrykket er det trykket en enkelt gass utøver dersom det var den eneste gassen i et volum. Dersom den tørre luften har et totaltrykk på 100 kPa vil partialtrykket til oksygen være 21 kPa, og dersom lufttrykket

halveres til 50 kPa vil også partialtrykket til oksygen halveres til 10,5kPa. Dersom sammensetningen i luften endres vil imidlertid dette også påvirke partialtrykket. For eksempel vil økt andel vanndamp i luften medføre at partialtrykket til de andre atmosfæriske gassene minker tilsvarende.

## Alveolær $pO_2$

---

### Alveolær $pO_2$ på havnivå

I tørr luft på havnivå er atmosfærisk trykk normalt ca. 760 mmHg. Partialtrykket til oksygen, nitrogen og karbondioksid vil da være henholdsvis:

$$\begin{aligned} pO_2 \text{ (atmosfære havnivå)} &= 0,21 \times 760 \text{ mmHg} = \text{ca. } 160 \text{ mmHg} \\ pN_2 \text{ (atmosfære havnivå)} &= 0,78 \times 760 \text{ mmHg} = \text{ca. } 593 \text{ mmHg} \\ pCO_2 \text{ (atmosfære havnivå)} &= 0,0004 \times 760 \text{ mmHg} = \text{ca. } 0,3 \text{ mmHg} \end{aligned}$$

Man skal være oppmerksom på at partialtrykket til oksygen er lavere i alveoleluften enn i atmosfæren. Når vi puster trekker vi den atmosfæriske luften inn i luftveiene hvor den blir hurtig mettet med vanndamp og varmet til kroppstemperatur. Vanndamp i kroppstemperatur har et konstant trykk på rundt 47 mmHg, uavhengig av det barometriske trykket. Dette medfører at summen av partialtrykket til gassene ikke lenger tilsvarer det barometriske trykket, men det barometriske trykket minus trykket til vanndampen. Det teoretiske oksygentrykket i luftveiene ved barometrisk trykk på 760 mmHg kan derfor tilnærmes med følgende formel:

$$\begin{aligned} pO_2 \text{ (luftveier)} &= (\text{Barometrisk trykk} - \text{trykk vanndamp}) \times 0,21 \\ &= (760 \text{ mmHg} - 47 \text{ mmHg}) \times 0,21 \\ &= 150 \text{ mmHg} \end{aligned}$$

På bakgrunn av gassutvekslingen mellom alveoleluften og blodet vil imidlertid  $pO_2$  reduseres ytterligere og  $pCO_2$  økes, slik at beregningen av oksygentrykket i alveolene med samtidig  $pCO_2$  på 40 mmHg blir:

$$\begin{aligned} pO_2 \text{ (alveole)} &= pO_2 \text{ (luftveier)} - pCO_2 \text{ (alveole)} \\ &= 150 \text{ mmHg} - 40 \text{ mmHg} \\ &= 110 \text{ mmHg} \end{aligned}$$

Trykket til gassene i alveolene påvirkes også av andre faktorer, inkludert ventilasjonsraten, metabolsk rate og lokale ventilasjon/perfusjon forhold i lungene.

### Alveolær $pO_2$ på 3.500 meters høyde

Når vi beveger oss opp i høyden vil det atmosfæriske trykket falle, og normalt vil partialtrykket til hver av gassene endres i samme grad. I en høyde på 3.500 meter eller 11.500 fot har det atmosfæriske trykket falt til rundt 500 mmHg, og oksygentrykket er tilsvarende redusert til:

$$pO_2 \text{ (atmosfære 11.500')} = 0,21 \times 500 \text{ mmHg} = \text{ca. } 105 \text{ mmHg.}$$

Dersom vi forutsetter uendret ventilasjon og metabolsk rate kan det teoretiske oksygentrykket i luftveiene og alveolene tilnærmes ut i fra samme formler som brukt for havnivå:

$$\begin{aligned} pO_2 \text{ (luftveier)} &= (\text{Barometrisk trykk} - \text{trykk vanndamp}) \times 0,21 \\ &= (500 \text{ mmHg} - 47 \text{ mmHg}) \times 0,21 \\ &= 95 \text{ mmHg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} pO_2 \text{ (alveole)} &= pO_2 \text{ (luftveier)} - pCO_2 \text{ (alveole)} \\ &= 95 \text{ mmHg} - 40 \text{ mmHg} \\ &= 55 \text{ mmHg} \end{aligned}$$

Denne utregningen viser at oksygentrykket i alveolene er halvert selv om oksygentrykket i atmosfæren kun er redusert med en tredjedel under oppstigning fra havnivå til 3.500 meters høyde.

Ved hypoksi vil imidlertid ventilasjonsraten normalt økes, og økt ventilasjon vil videre medføre lavere alveolær  $p\text{CO}_2$  og høyere  $p\text{O}_2$ . Denne kompensatoriske mekanismen opptrer normalt ved akutt eksponering for høyder over 3.000 meter.

## Henryloven

---

Henryloven eller Henrys lov sier at gassmengden som løses i en væske ved en bestemt temperatur er proporsjonal med partialtrykket til gassen over væsken. Det er denne effekten som forklarer hvorfor kullsyren i brusflasken bruser ut idet korken åpnes (trykket avtar da i gassen over væsken, slik at den oppløste gassen går over i gassform). Ved en hurtig og signifikant reduksjon i det omgivende trykket kan tilsvarende oppstå i den oppløste nitrogengassen i kroppen, hvilket medfører dykkersyke. Dette er i de fleste tilfeller ikke et problem for en flyger som ikke har dykket det siste døgnet.

Henrys lov gjelder også for oppløst oksygen ( $p\text{O}_2$ ) i blodet, hvilket er proporsjonal med oksygentrykket i alveolene. Oksygenmetningen av hemoglobinet påvirkes imidlertid av flere forhold og kan estimeres ut i fra oksyhemoglobinet dissosiasjonskurve. På bakgrunn av denne kurven holder oksygenmetningen seg normalt over 90 % ved høyder under 3.000 meter, men deretter avtar metningen stadig hurtigere ved økende høyde.

## Oksyhemoglobinet dissosiasjonskurve

---

Forholdet mellom hemoglobinet oksygenmetning ( $s\text{O}_2$ ) og gasstrykket av oksygen i blodet ( $p\text{O}_2$ ) beskrives av oksyhemoglobinet dissosiasjonskurve. Denne kurven er S-formet eller sigmoid, hvor  $p\text{O}_2$  er beskrevet langs første akse og  $s\text{O}_2$  langs andre akse. En jevn reduksjon i  $p\text{O}_2$  vil initialt medføre langsom reduksjon i  $s\text{O}_2$ , men etter hvert som man beveger seg til venstre på dissosiasjonskurven vil metningsfallet bli stadig raskere og større for tilsvarende reduksjon i  $p\text{O}_2$ .

Normal metning ved pust av luft på havnivå er  $s\text{O}_2$  98 %, mens pusting av 100 % oksygen på havnivå medfører  $s\text{O}_2$  100 %. Dersom  $p\text{O}_2$  i alveolene er redusert med 35 % fra 100 mmHg på bakken til 65 mmHg i normal kabinhøyde vil  $s\text{O}_2$  hos friske personer typisk være redusert med kun 4-6 % til rundt 93 %. Dersom  $s\text{O}_2$  allerede er redusert på havnivå vil imidlertid fallet i  $s\text{O}_2$  i kabinhøyde være høyere ettersom man da allerede ligger lenger til venstre på dissosiasjonskurven. Dette medfører at en person med  $s\text{O}_2$  på 91 % på bakken kan ende opp med  $s\text{O}_2$  under 80 % i normal kabinhøyde.

Kurvens posisjon påvirkes også av andre faktorer, inkludert blodets pH, temperatur og  $p\text{CO}_2$ . Ved høyreforskyvning av kurven vil  $s\text{O}_2$  bli lavere for en gitt  $p\text{O}_2$ , mens  $s\text{O}_2$  er høyere for en gitt  $p\text{O}_2$  ved venstreforskyvning av dissosiasjonskurven.

## Menneskets ytelser i et hypobart miljø

---

Menneskekroppen yter sitt beste i havnivå, hvor atmosfæretrykket er ca. 101 kPa, og hvor partialtrykket til oksygen er ca 21.1 kPa. Ved økende høyde vil reduksjon i arteriell  $p\text{O}_2$  normalt påvirke reseptorene til carotis- og aortalegemene, slik at respirasjonsfrekvens øker (hyperventilasjon). Dette kan kompensere for  $p\text{O}_2$  fallet til en viss grad, men samtidig vil det bidra til uønsket effekter av respiratorisk alkalose. Manglende kompensatorisk hyperventilasjon kan ses ved inadekvat respons fra carotisleget, lungesykdom eller nyresykdom.

Kognitive og psykomotoriske ferdigheter er vist å være lett redusert hos enkelte allerede fra ca. 5-8.000 fot, men det er store individuelle forskjeller. Ved økende høyde avtar ferdighetene ytterligere, og ved lufttrykk tilsvarende 12-15.000 fot (3.700-4.500 meter) er evnen til å holde en jevn fart, høyde og retning normalt redusert med 10-30%.

Persepsjon påvirkes også av et hypobart miljø. Mørkesynet er redusert allerede i 5000 fot (1500 meter), og ved økende hypoksi i større høyder blir synsfeltet innskrenket. Hørselsdiskriminasjon er også redusert ved moderat

hypoksi. Selv om en hypoksiske flyger opplever disse symptomene vil hypoksi også kunne medføre en falsk følelse av trygghet slik at flygeren tror at alt er normalt.

Ved langvarig opphold i store høyder (f.eks. høyfjellet) vil kroppen til en viss grad akklimatisere seg til det reduserte trykket over dager og uker. En av forutsetningene for dette er utskillelse av bikarbonat i nyrene hvilket kompenserer den respiratoriske alkalosen. I tillegg reduseres blant annet laktatproduksjon og plasmavolum, mens det normalt oppstår en økning i blant annet hematokrit, myoglobin, pulmonalt arteriestrykk, kapillærtetthet i muskelvev, mitokondrier og nivå av 2,3-DPG.

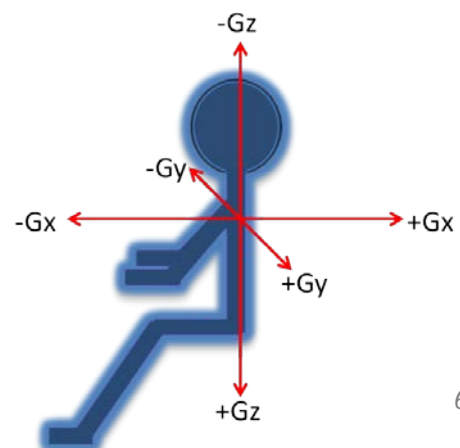
## Akselerasjon og G-krefter

G-krefter er en måleenhet for akselerasjon og brukes for å angi hvilken belastning flygeren utsettes for ved en kraftig manøver. 1G tilsvarer tyngdekraften, slik at 5G tilsvarer altså at man utsettes for fem ganger tyngdekraften. For en person på 70kg tilsvarer 5G at personen skulle veie 350kg på jordens overflate i stillestående tilstand.

G-krefter kan virke langs ulike akser (Gx, Gy og Gz) med ulike effekter på menneskekroppen:

Terminologi	Beskrivelse av retning	Effekt
<b>+Gz</b>	Vertikal. Fra hode til føtter/setet	Ekstremiteter føles tyngre (umulig å reise seg ved +2,5Gz). Indre organer presses ned. Økt avstand fra hjertet til hjerne. Vanskeligere å puste. Blodet presses ned i underekstremiteter, redusert blodtilførsel til hjernen. Redusert nevrokognitiv funksjon og synsfunksjon. Ofte tiltrer tap av fargesyn («greyout») ved +2 til +4Gz, blackout ved +3 til +5Gz og bevissthetstap (G-LOC) ved +5 til +6 Gz.
<b>-Gz</b>	Vertikal. Fra føtter/ setet til hodet	Innvollene presses oppover. Bevegelsessyke. Blod presses kranialt med fare for «blood pooling» i synsapparat og hjernen. Hodepine. Evt «red-out» ved mer enn -2Gz. Bradykardi. Tap av bevissthet ved ca.-4Gz, fare for hjertestans ved -4 til -5Gz. Ruptur av små blodkar (spesielt i øyne).
<b>+Gx</b>	Transversell, forfra og bakover	Lette respirasjonsvansker starter ved ca +3Gx og øker med økende Gx. 75% reduksjon i vitalkapasitet ved +5Gx. Brystsmerter ved over +5x. Økt trykk i høyre forkammer til hjertet (ca.20mmHg ved +5Gx), arytmie ved over +6Gx.
<b>-Gx</b>	Transversell, bakfra og fremover	Blod forskyves til hodet og ekstremiteter, kan medføre petekkiale blødninger i ekstremiteter eller ansikt. Respiratorisk påvirkning. Netthinneblødning.
<b>+Gy</b>	Lateral. Fra høyre til venstre	Som regel mindre problem med Gy, sjelden mer enn 2G. Effekten på hodets mobilitet og risiko for nakkeskade bør vurderes. Risiko for desorientering. Mer enn 3Gz kan ha stor påvirkning på lungefunksjon grunnet vekten av mediastinum mot den ene lungene.
<b>-Gy</b>	Lateral. Fra venstre til høyre	

Vanligvis er Gz-kreftene den største utfordringen i flyging ettersom hjernen er veldig sensitiv for hypoksi. Reserveperioden for tap av hjernefunksjon etter tap av cerebral blodtilførsel er normalt 3-6 sekunder.



### Noen forhold som kan redusere toleransen for +Gz:

- Varmebelastning
- Dehydrering
- Infeksjon
- Alkohol/bakrus
- Tretthet/søvnmangel
- Lavt blodsukker
- Hyperventilasjon
- Lav alder
- Stor høydeforskjell mellom hjerte og hjerne

Ved hurtig innsettende G-krefter (høy «G onset rate») vil G-toleransen være lavere. En økning på +1Gz per sekund medfører normalt bevissthetstap innen 3-6 sekunder (hvilket tilsvarer reserveperioden til nevronene i hjernen).

Etter normalisering av G-krefter vil ofte symptomene vedvare i noen sekunder, og etter kort episode med G-LOC (G-induced loss of consciousness) vil det ofte gå 15-30 sekunder før normalt funksjonsnivå er gjenopprettet. Dette kan under flyging være for lang tid til å unngå kollisjon.

En flyger er mer disponert for uheldige effekter av +Gz i de første 5-15 sekunder etter eksponering for -Gz. Dette betegnes ofte som «push pull» effekten og tilskrives blant annet at -Gz medfører redusert hjerterefreknens og cerebral vasokonstriksjon (som ledd i hjernens autoregulering) og latenstiden til ny fysiologisk respons på en endring i G påvirkning.

## Vibrasjon

Forplantning av vibrasjoner gjennom menneskekroppen kan resultere i en rekke fysiologiske og psykologiske effekter, for eksempel redusert synsskarphet, forstyrret nevromuskulær kontroll og fatigue. Den vestibulo-okulære refleksjonen bidrar til kompensatoriske øyebevegelser og kan opprettholde synsskarpheten ved vibrasjon opp til et visst nivå, dette setter imidlertid krav til intakt vestibularisfunksjon.

Ved helkroppsvibrasjon inntreer det normalt en økning i metabolsk rate tilsvarende moderat fysisk trening. Det kan også oppstå økt respirasjonsfrekvens som med tendens til hypokapni, hvilket antas å være mediert via strekkreseptorer i lungene. I tillegg kan ulike vibrasjoner medføre en oscillerende luftstrøm som kan interferere med fysiologisk gassutveksling i lungene. Denne effekten er normalt størst ved Gz-vibrasjon med frekvens på 3-4 Hz, hvilket korresponderer med frekvensen til resonansnivået for indre organer.

## Den menneskelige faktor

Det blir ofte referert til at over 75 % av alle ulykker eller nestenulykker i moderne luftfart er forårsaket av menneskelige faktorer, og denne andelen har økt etter hvert som flyteknologien har blitt mer avansert og effektivitetskravene har blitt høyere. Det er derfor viktig at prosedyrer, teknologi og andre arbeidsforhold tilpasses menneskets forutsetninger for persepsjon og handling. Selv ved innbygging av fysiske sikkerhetsbarrierer kan det oppstå feil grunnet høy tillit til sikkerhetsbarrieren og medfølgende svekket mental beredskap.

Den menneskelige faktor er avgjørende for sikkerhetsnivået i ulike former for sikkerhetskritiske operasjoner. Dette inkluderer ikke bare luftfarten, men også andre arenaer som operasjonsstuen på sykehuset, dykkeroppdrag, petroleumsvirksomheten, ekspedisjoner og under militære operasjoner. En fellesnevner for disse er krav til både kompetanse og god kommunikasjon mellom ulike mennesker i et samarbeidende team. Granskning av hendelser og ulykker i luftfarten har vist at en stor andel skyldes helt eller delvis en svikt i kommunikasjonen mellom



besetningsmedlemmene. Som et resultat av dette er det vanlig å trene på å optimalisere kommunikasjonen mellom medlemmene (Crew Resource Management).

Menneskets persepsjon og forståelse av det operative miljøet og situasjonen (situational awareness) påvirkes imidlertid også av andre forhold, inkludert kultur, stressfaktorer, helse, kapasitet, søvn og fatigue. Det er gjennomført undersøkelser som viser at mange mennesker har en tendens til å undervurdere hvordan tretthet eller personlige problemer påvirker evnen til å fungere effektivt i krisesituasjoner. En god sikkerhetskultur er derfor også avhengig av en individuell forståelse av menneskelige faktorer, felles holdninger til feilbarlighet og åpenhet rundt uønskede hendelser. Organisering og ledelse har også betydning for sikkerhetskultur, og i enkelte studier vises det til at bratte hierarkier og autoritær ledelse har hindret sikkerhetsforbedringer ved at besetningen ikke har våget å melde fra om kritikkverdige forhold.

Evnen til å håndtere stress vil normalt bestå av toleranse for både akutte, krevende situasjoner og for kumulativt stress over tid. På den ene side er det vist at eksponering for kroniske belastninger over tid kan ha negativ påvirkning på psykisk og somatisk helse, noe som medfører ytterligere økt risiko for feilvurderinger. På den andre siden er det også vist at erfaringer fra belastende og ekstreme operasjoner i flere tilfeller kan medføre økt mestringsevne. I løpet av de siste tiårene har det blitt gjennomført stor forskningsaktivitet som har banet vei for betydelig økt kunnskap om krisehåndtering, seleksjon, trening og oppfølging av personell som opererer under ekstreme, miljømessige forhold.

## Sanseillusjoner

---

Hjernen mottar og integrerer impulser fra vestibularis apparatet, det somatosensoriske systemet og synsapparatet for å orientere seg og innhente informasjon om bevegelse i tre dimensjoner. Under flyging kan sanseinformasjonen fra ulike systemer komme i konflikt med hverandre eller være misvisende, og dette kan medføre desorientering eller sanseillusjon. Et eksempel er at kroppen ikke kan skille mellom akselerasjonskrefter forårsaket av Jordens gravitasjon og de G-kreftene som er forårsaket av manøvrering av flyet, slik at flygeren kan få en ukorrekt opplevelse av orientering og bevegelse i forhold til bakken. Sanseillusjoner er vist å spille en signifikant rolle i mange flyulykker, spesielt innen militær flyging og privatflyging.

Her følger noen eksempler på sanseillusjoner som er godt beskrevet i flymedisinsk litteratur:

- Somatogyrisk illusjon: Misvisende rotasjonsfølelse som kan opptre etter en lang svingmanøver (angulær akselerasjon eller deselerasjon) og i mangel av eksterne visuelle referanser. Illusjonen er forårsaket av vestibularisapparatets semisirkulære kanaler. Det finnes ulike former for somatogyriske illusjoner, hvorav to godt beskrevne eksempler er:
  - «Leans»: ved plutselig overgang til flyging rett fram etter en lengre og slak sving kan flygeren få feil inntrykk av å svinge motsatt vei, med fare for å foreta en feilkorrigerende tilbake inn i svingen. Den samme illusjonen kan oppstå i det vertikale planet.
  - Coriolis effekt: Hodebevegelse under en lengre varende svingmanøver kan indusere en opplevelse av at flyet akselererer i en helt annen akse, med fare for at piloten «retter opp» flyet i en feil retning. Dette innebærer altså simultan stimulering av 2 semisirkulære kanaler. Piloten kan raskt bli desorientert og miste kontroll over flyet.
- Okulogyrisk: okulær komponent av somatogyrisk illusjon. Under en svingmanøver kan piloten ha et stasjonært inntrykk av bakken, mens panelet i flyet kan påvirkes av vestibulo-okulær refleks og bære preg av å bevege seg relativt ift piloten og i samme retning (og samme plan) som flyet svinger.
- Somatogravisk illusjon: Forårsaket av effekten lineær akselerasjon/deselerasjon eller endring i G-krefter har på vestibularisapparatets utriculus eller sacculus. Lineær akselerasjon har samme effekt på otolittene som å tilte hodet bakover, dette kan altså skape en illusjon av at nesen på flyet rettes oppover under akselerasjon med fare for at piloten kjører nesen ned. Hurtig deselerasjon kan ha motsatt effekt.

- Okulogravisk illusjon: okulær komponent av somatogravisk illusjon
- Falsk horisont: Mørke, tåke, skyer, lysfenomener som aurora borealis eller andre lysmønstre på bakken kan medføre vanskeligheter med å identifisere korrekt horisont langs bakken eller medføre et feilaktig inntrykk av horisonten. Flygeren kan da stå i fare for å manøvrere flyet i feil retning.
- Autokinesis: dersom referansepunkter ikke finnes (f.eks. i mørke omgivelser) vil et ellers stasjonært stillestående lyst punkt gi et feilaktig inntrykk av å være i bevegelse. Årsaken til fenomenet er ikke helt avklart.
- Flicker effect / flimmer-effekt: helikopterets bevegende rotorblader skaper en flimring som er vist å kunne fremprovosere epileptiske anfall hos disponerte personer. Dette gjelder spesielt ved frekvens av flimring på mellom 5 og 20Hz. Det er imidlertid kun 5% av epileptikere som affiseres av foto-indusert epilepsi, slik at risikoen er ikke veldig høy. Andre kan også påvirkes av flimmer-effekt med distraksjon, hodepine, kvalme eller svimmelhet.
- Alternobar vertigo: Asymmetrisk trykkutlikning til mellomøret kan gi en asymmetrisk påvirkning av det indre øret og føre til vertigo. Denne er oftest kortvarig og av rotatorisk karakter.

Manglende erfaring eller kunnskap om sanseillusjoner, ugunstige værforhold, plutselige hodebevegelser under flyging, sykdommer, medisiner, alkohol, fatigue, søvnmangel og hypoksi kan øke risikoen for desorientering eller sanseillusjoner.

## Fatigue

---

Litt forenklet kan fatigue beskrives som en tilstand hvor en person har redusert kapasitet til mental og/eller fysisk aktivitet. Et eksempel er de fysiske og psykiske konsekvensene som opptrer ved tretthet og utmattelse. Mer konkret kan dette gi seg utslag i blant annet redusert beslutningsevne, dårligere hukommelse, økt reaksjonshastighet og redusert oppmerksomhet. Disse er alle viktige faktorer for å ivareta flysikkerheten.

Fatigue kan inntreffe etter forutsigbare forhold som lang arbeidstid, kryssing av tidssoner, akkumulert søvnmangel over lenger tid og flyging om natten. I tillegg påvirkes konsentrasjon og årvåkenhet av forhold som ikke kan reguleres i arbeidstidsbestemmelser, for eksempel dårlig søvnkvalitet, fysiske eller psykiske plager, konflikter på jobben eller stressfylte forhold på hjemmebanen.

## Farmakologi

---

Det er vist at kroppens eliminering eller reaksjon på ulike legemidler eller andre substanser kan påvirkes av hypobar hypoksi. For eksempel elimineres koffein hurtigere enn normalt. Mange medikamenter er heller ikke testet under slike betingelser, slik at høydebetinget endringer i farmakodynamikken ofte er vanskelig å forutsi.

En flygers reaksjon på legemidler kan også endre G-toleransen og toleransen for hypoksi. Alfa-blokkere er et eksempel på medikamenter som normalt ikke skal brukes av flygere med bakgrunn i risiko for ortostatisk hypotensjon og synkope under flyging som involverer økt G-krefter. Sederende eller beroligende medikamenter kan gjøre flygeren mer utsatt for hypoksi og redusere dømmekraft, koordinasjon, våkenhet eller synsfunksjon. Enkelte stimulerende medikamenter kan medføre angst eller humørsvingninger med påvirkning av flysikkerheten. Det er ikke alltid intuitivt for flygeren hvilke medikamenter som kan påvirke flysikkerheten, slik at oppstart av et nytt medikament eller endret dosering medfører en plikt til å søke flymedisinsk råd før flygeren gjenopptar flygingen. Selv enkelte antibiotika kan gi bivirkninger som balanseforstyrrelser eller redusert hørsel og bør ikke brukes under eller i forkant av flyging. Ofte vil det likevel være den bakenforliggende tilstanden eller sykdommen som har størst betydning for den helsemessige skikketheten.

Ved oppstart av et nytt medikament eller ved doseøkning bør flygeren avstå fra flyging inntil man har utelukket bivirkninger som kan medføre redusert flysikkerhet.

## Hva er en flylege?

---

Betegnelsen flylege brukes for en lege med spesialutdanning innen flymedisin. I enkelte land har flylege blitt opprettet som en egen godkjent legespesialitet, enten som en isolert spesialitet (for eksempel i USA og England) eller som en sub-spesialitet med forutsetning av at legen også har en hovedspesialitet i bunn (for eksempel i Singapore). I disse landene omtales en flylege som flight surgeon, aviation medicine physician eller aerospace physician.

I EU/EØS-land brukes betegnelsen aeromedical examiner (AME) for en som utfører undersøkelser og seleksjonsmedisinske vurderinger av sivilt flygende personell og flygeledere.

I Norge har man brukt fellesbetegnelsen flylege for følgende tre kategorier;

- Militær flylege som arbeider i Forsvaret og har rett til å bære militær flylege-ving. Kravet er minimum 2 års flymedisinsk arbeidserfaring, grunnkurs i flymedisin og internasjonal flymedisinsk videreutdanning. De fleste tar videreutdanningen på et halvt år i England eller i USA. Det er ikke krav om annen medisinsk spesialitet. Militære flyleger arbeider blant annet med sertifisering og flyoperativt arbeidsmiljø for flygende personell i Forsvaret.
- Sivil flylege eller aeromedical examiner (AME) som gjennomfører undersøkelser og seleksjonsmedisinske vurderinger av yrkespiloter, privatpiloter og flygeledere. Minstekravene for å bli utnevnt AME inkluderer blant annet en godkjent medisinsk spesialistutdanning i tillegg til videreutdanning innen flymedisin som varierer avhengig av hvilken klasse legeattester man er godkjent for. Kravene for AME er mer utfyllende beskrevet senere. Klasse 2 AME kan utstede klasse 2 og LAPL legeattest, samt legeattest for AFIS/HFIS og kabinpersonell. Klasse 1 AME kan i tillegg forlenge eller fornye legeattest klasse 1 og klasse 3. Førstegangsutstedelse av klasse 1 og klasse 3 legeattest kan bare gjøres av en flylege ved et flymedisinsk senter.
- Dedikerte flymedisinere med større faglig fordypning i flymedisin og med større bredde av flymedisinske arbeidsoppgaver, for eksempel på et flymedisinsk senter (som Flymedisinsk institutt) eller i luftfartsmyndighetene (Flymedisinsk seksjon av Luftfartstilsynet). En dedikert flymedisinere jobber i hovedsak med flymedisin og kan blant annet bidra med forskning og fagutvikling, administrasjon, tilsyn og som «bakvakt» eller rådgiver overfor andre flyleger. Ved sistnevnte funksjon benyttes også betegnelsen flyoverlege.

## Anbefalte lærebøker i flymedisin

---

- Ernsting's Aviation and Space Medicine, fifth edition. 2015. Editor: David Gradwell. Ca. 900 sider.
- Principles and Practice of Aviation Medicine. 2009. Editor: Claus Curdt-Christiansen. Ca. 800 sider.



**Luftfartstilsynet**  
CIVIL AVIATION AUTHORITY - NORWAY



**Luftfartstilsynet**  
Sjøgata 45-47  
8006 BODØ

**Postadresse:**  
Postboks 243  
8001 BODØ