

# **Prosjektoppgave**

## **Bruk av supplerende oksygen ved akutt innsettende høyde**



**Ingrid Hokstad**

**2011**

## **Abstract**

**Background:** All over the world, people are increasingly spending time at high altitude for scientific, military, personal or commercial reasons. When otherwise healthy individuals are exposed to altitude without acclimatization, certain physiological reactions occur, ranging from light headache, dyspnea, nausea and subjective discomfort, to life threatening diseases such as cerebral or pulmonary edema. The medical problems associated with ascent to altitude, are mainly caused by lack of oxygen in the inspired air.

**Method:** The material is based on literature searches based on a selection of articles from PubMed and Cochrane Library, using the terms “Supplemental oxygen” AND “Altitude”.

**Results:** Use of supplemental oxygen during acute exposure of high altitude can prevent the damaging effects caused by the hypoxia that occurs in these environments. Supplemental oxygen improves exercise performance, arterial oxygen saturation, sleep quality, general well-being, mental performance, and work-efficiency. However, potential disadvantages concerning the use of oxygen needs to be considered when planning a stay at high altitude. Regarding the effects of supplemental oxygen in exposure of acute altitude, more research is needed to establish further knowledge on the subject.

## Ordliste og forkortelser

$O_2$ : Oksygen

*Hypoksi*: generell oksygenmangel, tilstand med for lav oksygentilførsel til kroppens vev

$SaO_2$ : Oksygenmetning i arterielt blod; den andelen hemoglobinmolekyler som er bundet til oksygen.

*Apne*: Respirasjonsstans, oftest kortvarig, og her i oppgaven omtalt i forbindelse med søvn; søvnapne.

*Hypopne*: periode på minst 10 sekunder hvor luftstrømmen inn og ut av nese/munn er redusert med minst 50 %.

*AHI-index*: det totale antall apneer og hypopneer på én times søvn.

*Slagvolum*: Mengden blod hjertet pumper ut ved hvert slag.

*Hjerteminuttvolum*: Mengden blod hjertet pumper ut i løpet av et minutt. Bestemmes av slagvolum og pulsfrekvens.

$pO_2$ : Partialtrykk av oksygen, det vil si den delen av trykket i en gass-/væskeblanding som utgjøres av oksygen.

*kPa*: kilopascal; Gasstrykk i atmosfæreluft, trykk av enkeltgasser i gassblandinger og trykk av gasser oppløst i væske angis i Nord-Europa oftest i kilopascal, i USA og mange andre land i mm Hg eller torr.  $1 \text{ kPa} = 7,5 \text{ mm Hg}$

*KOLS*: Kronisk obstruktiv lungesykdom

(Kilder: 18, 19, 24)

## **Innledning**

Denne oppgaven har som hovedmål å undersøke om det er vitenskapelig grunnlag for å benytte supplerende oksygen ved akutt eksponering for høyde hos friske, uakklimaliserte mennesker.

Bakgrunnen for valget av problemstilling tar utgangspunkt i problematikken som oppstår når uakklimaliserte soldater ved hjelp av helikopter blir satt inn i høyder på 3500-5000 meter. Det har vært mye diskusjon rundt bruk av oksygen og/eller medikamenter i slike situasjoner, uten at endelige retningslinjer foreligger. I den forbindelse har jeg ønsket å se på hva som skjer i kroppen ved en akutt høydeeksponering for slike høyder, og hvordan oksygen eventuelt kan påvirke disse fysiske responsene som finner sted når uakklimaliserte personer plutselig utsettes for høyder på 3500-5000 meter; hvilket defineres som "very high altitude" ut i fra gjeldende konsensus.

For å oppnå dette, vil oppgaven innledningsvis forsøke å si litt generelt om hva begrepet "høyde" innebærer, og hvilke generelle effekter høyde har på menneskekroppen. Videre vil den komme inn på utviklingen av faget høydemedisin, og da spesielt bruken av supplerende oksygen, i et historisk perspektiv, samt kort belyse noen av de patofysiologiske forandringene som kan finne sted dersom man ikke tar sine forholdsregler når man oppholder seg i høyden. Dessuten vil oppgaven kort berøre det praktiske rundt bruk av supplerende oksygen i høyden.

Selvfølgelig presenteres fremfor alt en oversikt over hva som finnes av forskning innen oppgaven sentrale problemstilling; nemlig bruk av supplerende oksygen ved akutt innsettende høyde. Hovedfokuset blir å se på hvordan akutt eksponering for høyde på rundt 3500-5000 meter virker på friske mennesker, og hvordan disse virkningene kan påvirkes ved bruk av supplerende oksygen.

I en verden hvor mennesker som bor i lavlandet i økende grad reiser til høyereliggende områder, det være seg for arbeidsmessige, militære, kommersielle, vitenskapelige, eller personlige grunner, vil det være nyttig å ha kunnskap om effekten av akutt høyde, og hvordan man på en best mulig måte kan motvirke eventuelle negative/uheldige fysiske virkninger av å oppholde seg i høyden (4).

I tillegg vil kunnskap om kroppens respons på akutt høyde kunne gi en økt forståelse av menneskets respons på hypoksi i forbindelse med pulmonale og kardiovaskulære sykdommer, da høyde rent fysiologisk i all hovedsak representerer en hypoksisk tilstand (20).

Søker man i en medisinvitenskapelig database etter forskning innen høydemedisin, finner man tallrike artikler om effekten av langvarige opphold i høyden; hvordan kroppen tilpasser seg via de fysiologiske mekanismene som man kan samle i begrepet ”akklimatisering”. Man finner det samme fokuset i mange av bøkene som finnes om fjell- og høydemedisin, men når det gjelder akutt innsettende høyde, er litteraturen noe mer sparsom, og man må gjerne lete innen ”flymedisin” (aviation medicine), militær forskning, eller studier utført i kommersiell hensikt, som ser på erfaringer fra høytliggende mineområder og lignende.

### **Høyde per definisjon**

Ordet ”høyde” kan kanskje fremstå som et noe diffust begrep. Det engelske ordet ”altitude” er noe mer presist, i det det hovedsakelig defineres som ”høyde over havnivå”, men heller ikke her har man noen presis konsensus om hva som i et medisinsk og fysiologisk perspektiv er å regne som ”høy høyde” i faget høydemedisin.

- Ward, Milledge og West beskriver i sin lærebok (20) innen høydemedisin denne mangelen på presis definisjon av hva ”high altitude” innebefatter, men foreslår 3000 m.o.h. som et utgangspunkt. Dette er en høyde de fleste friske mennesker kan tolerere relativt godt, men forfatterne påpeker at det er betydelige individuelle variasjoner i høydeteranse.
  
- Gjeldende konsensus for klassifisering av ulike høyder inndeles i:
  1. High altitude – 1500-3500 meter.
  2. Very high altitude – 3500-5500 meter.
  3. Extreme altitude – over 5500 meter (12).
  
- I det japanske og det amerikanske flyvåpenet tillates flyvning opp til 10 000 feet (3048 meter) uten supplerende oksygen og/eller trykkabin, (13) mens Squires & Buskirk er samstemte med Mazzeo i sin påstand om at en signifikant reduksjon i SaO<sub>2</sub>, og dermed en målbar indikasjon på hypoksi, finner sted ved ca 3000 meter (10).

Høyde over havet vil altså hovedsaklig ikke påvirke friske mennesker i vesentlig grad før man når nivåer på rundt 2500-3000 meter.

### **Høydemedisin og bruk av oksygen – historisk utvikling.**

Fagfeltet høydemedisin har i løpet av det siste århundret gått fra rapporterte observasjoner om ubehag og hodepine i luftballonger på slutten av 1800-tallet, til et levende, internasjonalt forskningsmiljø, og en verden der både kommersielle foretak og mannen i gata kan oppholde seg i noen av verdens høyeste områder, ved hjelp av avansert kunnskap og utstyr.

Allerede i 1874 eksperimenterte den franske vitenskapsmannen Paul Bert med å utsette seg selv for et barometrisk trykk tilsvarende det man finner på toppen av Mount Everest (33 kPa), samtidig som han observerte egen puls og fysiske reaksjoner. Ved å tilføre seg selv oksygen i trykkammeret, registrerte han at pulsen sank, og at kvalmen, som hadde oppstått i det lave trykket, forsvant (8).

Inspirert av Bert, og fascinasjonen for høye fjell, holdt kjemikeren Alexander Kellas i 1916 et foredrag for "The Royal Geographical Society" om mulighetene for å bestige Mt Everest ved hjelp av oksygen. Han konkluderte her med at:

*"Mt Everest could be ascended by a man of excellent physical and mental constitution in first rate training, without adventitious aids if the physical difficulties of the mountain are not too great, and with the use of oxygen even if the mountain may be classed as difficult from the climbing point of view."*

I 1920 dro den samme Kellas til Himalaya for å forske videre på effekten av supplerende oksygen i høyden. Tross sin tro på oksygenets positive innvirkning, fant Kellas her ut at vekten av oksygensylindrene gjorde at oppstigningen i fjellet faktisk gikk saktere *med* oksygen enn uten.

Kellas døde like etter denne ekspedisjonen, men to andre fjellvandrere, George Finch og Georg Dreyer, nådde i 1922 ved hjelp av et portabelt, åpent oksygentilførselssystem som veide 10 kg, høyere enn noen andre før dem; 8175 meter.

I årene som fulgte, ble oksygentilførselssystemene stadig forbedret med hensyn til vekt og funksjon. Med andre verdenskrig kom ny teknologi og utbedringer av oksygenmasker til bruk

ved flyvning, og i 1952 demonstrerte fysikeren Griffith Pugh for første gang at klatrere kunne forsere avstander i høyden fortere med enn uten oksygen.

I 1953 klarte endelig Sir Edmund Hillary og Tenzing Norgay å bestige Mt Everest ved hjelp av supplerende oksygen. Ekspedisjonslederen, John Hunt, uttalte senere:

*”But for oxygen, without the much improved equipment which we were given, we should certainly not have got to the top.”*

Forskningen innen høydemedisin gjorde stadige fremskritt de neste tiårene, blant annet stimulert av det første OL som fant sted mer enn 2240 meter over havet, i Mexico City i 1968.

I 1971 konstruerte Dr. Duane Blume ved University of California et oksygensystem med pulsdosering, som skulle brukes i en ekspedisjon til Mount Everest. Dette systemet sparte vekt, og hindret sløsing av oksygen, og er senere blitt videreutviklet og forbedret til dagens oksygentilførselssystemer.

Selv om denne oppgaven fokuserer på effekten av bruk av supplerende oksygen i høyden, fortjener også Reinhold Messner og Peter Habeler en liten notis i denne sammenheng; de besteg i 1978 som de første i verden Mount Everest *uten* oksygen.

### **Medisinske og fysiologiske effekter av høyde.**

Det barometriske trykket i våre omgivelser faller med økende høyde over havnivå (20). Partialtrykket av oksygen utgjør 21 % av det barometriske trykket, og vil reduseres med økende høyde. Derimot vil prosentandelen av oksygen til enhver tid være 21 %, uavhengig av hvilken høyde man befinner seg i. De fleste fysiologiske effektene man ser hos mennesker som oppholder seg i høyden, skyldes hypoksi, altså for lavt oksygeninnhold i blodet/kroppen, som følge av den reduserte oksygenfraksjonen i inspirert luft.

Andre faktorer som kan vanskeliggjøre opphold i høyden er kulde, dehydrering og solstråling.

En situasjon med akutt eksponering for høyde; altså akutt hypoksi, vil medføre både kardiovaskulære, pulmonale, hematologiske og endokrine forandringer (20):

- Respirasjonsfrekvensen øker.
- Hjertefrekvens og minuttvolum øker.

- Blodtrykket stiger
- Hypoksi induserer dessuten pulmonal vasokonstriksjon, med påfølgende økt trykk i lungekretsløpet.
- Søvnkvaliteten forringes; perioder med apne/hypopne øker, man sover ofte færre timer pr natt, og subjektiv følelse av å være utvilt reduseres.
- Fysisk yteevne reduseres.
- Mentale ferdigheter svekkes. Dette gjelder for eksempel, oppmerksomhet, korttidsminne, beslutningsevne og synssensitivitet.

Utover disse akutte, normale fysiologiske responsene på høyde, kan man også utvikle mer alvorlige sykdomsbilder. Dette kan blant annet skyldes at oppstigningen er for rask, akklimatiseringen utilstrekkelig, eller oppholdet i høyden vedvarer lengre enn hva kroppens kompensasjonsmekanismer kan håndtere.

De tre mest sentrale variantene av slik høydesyke er:

#### AMS (Acute mountain sickness).

Dette er den mest vanlige formen for sykdom forårsaket av hypoksien som inntreffer i høyden, og defineres som hodepine kombinert med minst ett av følgende symptomer:

- Kvalme
- Oppkast
- Anoreksi
- Svimmelhet
- Søvnvansker
- Utmattelse ved oppstigning eller opphold i store høyder.

AMS behandles eventuelt med hvile, eller å unngå videre oppstigning, eller medikamentelt med acetazolamid, antiemetika, og/eller ibuprofen. Ved alvorlige tilfeller anbefales nedstigning og oksygentilførsel.

#### Høydelungeødem/HAPE (High altitude pulmonary edema)



Dette er en sjeldnere, og mer alvorlig, tilstand enn AMS. De fleste som dør av høyderelatert sykdom, dør på grunn av HAPE. Den karakteriseres av:

- Akkumulering av væske i lungene
- Dyspnè
- Hoste, i blant med skummende, rødlig ekspektorat.

Uten behandling kan tilstanden gi cyanose, alvorlige pusteproblemer, og i verste fall føre til døden. Nedstigning og ekstra tilførsel av oksygen er hovedbehandlingen. Når det gjelder medisinsk behandling er Nifedipin førstevalg, eventuelt med tillegg av Dexamethason og/eller Acetazolamid er også aktuelt.

#### Høydehjerneødem/HACE (High altitude cerebral edema)

HACE er en svært alvorlig tilstand, og karakteriseres hovedsakelig av en kraftig forsterkning av hodepine. I tillegg kan man finne disse symptomene:

- Uttalt kvalme og oppkast
- Trunkal ataksi med ustø gange og nedsatt balanse
- Mental forvirring
- Synsforstyrrelser
- Motoriske forandringer
- Hallusinasjoner
- Lysskyhet
- Kramper
- Nedsatt bevissthet.

Den sentrale behandlingen ved HACE er å få pasienten ned fra høyden, supplementert med hyperbar oksygenbehandling og Dexamethason.

Hvis høydeoppholdet vedvarer, ser man en økning blant annet i antall røde blodlegemer, diurese, og angiogenese; kroppen tilpasser seg den hypoksiske tilstanden i en prosess kalt

*akklimatisering*. Da denne prosjektoppgaven omhandler akutt innsettende høyde, blir disse prosessene ikke nærmere beskrevet her.

### **Tilførsel av oksygen i høyden**

Å tilføre oksygen til noen som befinner seg i en hypoksisk tilstand øker alveolær  $pO_2$ , og altså tilbudet av oksygen tilgjengelig for blodet i lungene.  $SaO_2$  vil følgelig øke, og dette reduserer effektene av hypoksi.

Supplerende oksygen kan tilføres enten ved å oksygenberike romluften i en bygning, eller ved hjelp av systemer som tilfører den enkelte oksygen via et nesekateter, ansiktsmaske, eller lignende.

Det førstnevnte prinsippet kan oppnås både ved hjelp av å øke trykket i et rom, altså skape en hyperbar atmosfære, med dertil høyere partialtrykk av oksygen, eller ved bruk av oksygenkonsentratorer. Disse fjerner nitrogen fra luften, og øker på den måten konsentrasjonen av oksygen i romluften. Begge disse løsningene, og da i nyere tid særlig oksygenkonsentratorer, brukes på flere høytliggende arbeidsplasser (4,5). De benyttes ofte der arbeidere sover og/eller har mulighet til å arbeide eller hvile innendørs.

Når det gjelder portable oksygensystemer med nesekateter eller maske, kan disse igjen grovt deles inn i to hovedtyper:

#### Åpne systemer ("open circuit system")

Her blir pustegass pustet inn fra systemet og utåndet til omgivelsene. Disse apparatene kan være designet slik at de frigjør oksygen/pustegass kontinuerlig, eller de kan være såkalte "demand system" (pulsdoseringssystem), som registrerer inspirasjon, og frigir gass bare i begynnelsen av en innåndingssyklus. Slik kan man spare både vekt på utstyret og mengde oksygen som forbrukes.

#### Lukkede systemer ("closed circuit system", eller "rebreathers").

Disse gjenbraker utåndet gass. Resirkuleringen av pustegass reduserer volumet på gass som må medbringes, og gjør disse løsningene til lette enheter med mindre forbruk av oksygen enn et åpent system.

Lukkede systemer utnytter at utåndingsluft vanligvis inneholder mer gass enn det som kroppen metaboliserer. ”Rebreatheren” er konstruert til å utnytte den brukbare delen av utåndingsluften på ny som innåndingsluft.

## Metode

Oppgaven er utført som en litteraturstudie, med søk i de medisinskvitenskaplige databasene PubMed (MedLine) og Cochrane Library.

Søkebegrepet som ble brukt, var ”Supplemental oxygen AND Altitude”. Studier med tittel eller abstrakt som var relevant for oppgaven ble inkludert; altså artikler der friske mennesker har benyttet oksygen etter en akutt eksponering for høyde.

Senere ble det også gjort tilleggssøk på frasene ”acute exposure AND altitude”, samt ”oxygen toxicity”.

Videre ble også en del av de mest relevante referansene i de aktuelle artiklene søkt opp og inkludert i oppgaven.

Det er ikke gjort begrensninger i forhold til å kun inkludere randomiserte kontrollerte forsøk, eller når det gjelder antall deltagere i de aktuelle studiene. Årsaken til dette ligger i problemstillingens natur; å studere menneskers akutte respons på høyde, sammen med effekten av oksygen, gir ikke spesielt store materialer å forholde seg til. Slike forsøk krever ofte både betydelige økonomiske ressurser, god kunnskap, og avansert utstyr; det er ikke gjort i en håndvending å føre et stort antall mennesker opp i flere tusen meters høyde. Dessuten vil registrering av data under slike forhold kunne by på ekstra utfordringer både i egenskap av utfordrende vær/klima, manglende infrastruktur/bygninger, transport av utstyr og nødvendigheten av å ta medisinske forholdsregler i fall deltagere blir syke på grunn av høydeoppholdet.

Studier som kun omhandlet akklimatiserte personer ble ikke inkludert, da problemstillingen innebærer at det er effekten av akutt høydeeksponering som skal vurderes.

Videre har jeg ikke tatt med studier som kun ser på effekten av høyde/hypoksi *uten* tilførsel av supplerende oksygen. Et unntak er innledningen, der jeg beskriver noen av de generelle effektene som høyde har på kroppen. Å sette en slik begrensning kan kanskje diskuteres; effektene av akutt høyde skyldes jo nettopp en akutt reduksjon i tilgjengelig oksygen, og det vil jo således være svært logisk å tenke seg at effekten av å tilføre oksygen i slike tilfeller vil være å oppheve de virkningene man har fått av høyden/hypoksien. Jeg har likevel valgt å konsentrere meg om artikler der det faktisk har blitt gitt supplerende oksygen, fremfor å basere meg på sannsynlige sammenhenger.

Noen av de inkluderte artiklene er utført ved å simulere høyde; det vil si ved å senke fraksjonen av oksygen i luften som deltagerne befinner seg i. Hovedsakelig skulle da betingelsene bli like, men man kan ikke utelukke at andre faktorer spiller inn på resultatet, og resulterer i ulike utslag i en situasjon med akutt, reell høyde, versus simulerte, hypoksiske omgivelser.

Artikler som er publisert før 1980, er ikke inkludert.

## Resultater

Bruk av supplerende oksygen under opphold i høyden, eventuelt under simulert høyde, har vist å gi følgende resultater:

- Økt fysisk yteevne.

Et av de viktigste argumentene for å benytte supplerende oksygen i høyden, er at det øker den fysiske kapasiteten (1,4,5,8,9,13,14).

Ved roing i en simulert høyde på 2300 meter, fant Peltonen i 1995 at fysisk ytelse i hyperoksi (62,2 % O<sub>2</sub>), ga en signifikant reduksjon i tid brukt på å ro 2500 meter, og økt maksimalt oksygenopptak.

Peltonen demonstrerte i 1995 dessuten hvordan både slagvolum, hjerteminuttvolum, ytelse i watt og maksimalt oksygenopptak økte ved innånding av 32 % O<sub>2</sub> hos seks idrettsutøvere som gjorde progressive tester på ergometersykkel, sammenlignet med når utøverne pustet henholdsvis 15 og 21 % O<sub>2</sub>.

Peltonen rapporterer i en annen studie fra 2001 at både maksimalt oksygenopptak og maksimalt hjerteminuttvolum økte i hyperoksi (O<sub>2</sub> 32 %), og sank i hypoksi (O<sub>2</sub> 15 %). Det påpekes i artikkelen at tidligere forsøk ikke har funnet redusert maksimalt hjerteminuttvolum i hypoksiske omgivelser, og foreslår forklaringer på dette.

Flere artikler konkluderer med økt maksimalt oksygenopptak i høyden ved bruk av supplerende oksygen (7,9,10,14). Peltonen fastslår i sin artikkel at hyperoksi forbedrer generell fysisk yteevne, og viser til tre tidligere studier som trekker samme slutning. Randall et al. demonstrerer det samme i et forsøk hvor det administreres hyperoksiske gassblandinger med henholdsvis 26 og 60 % oksygen til utøvere som driver intervalltrening i 18-1900 meters høyde; begge oksygenkonsentrasjonene blir funnet å gi en signifikant økning i oksygenopptak, og påfølgende økt fysisk prestasjonsevne.

- Bedre søvnkvalitet

Det er kjent at uakklimaliserte personer som kommer til høytliggende områder, ofte får problemer med innsovning, hyppig oppvåkning, ubehagelige drømmer, og at de ikke føler seg uthvilt om morgenen (4,5,11). West beskriver i sin artikkel fra

2002 randomiserte, dobbelt-blindede forsøk, som viser at tilførsel av oksygen under søvn (ved hjelp av O<sub>2</sub>-beriket romluft), ga færre episoder med apne/hypopne, en opplevelse av bedre søvn, samt reduserte symptomer på AMS. Windsor fant i 1995 at tilførsel av oksygen under søvn, administrert via nesekateter på et såkalt demand-system, ga høyere SaO<sub>2</sub>, redusert tidevolum og minuttvolum, samt et fall i AHI-index hos en uakklimatisert person som tilbrakte tre netter på 5700 meter. Oksygendosene var på henholdsvis 16,7ml/sek, 33,3 ml/sek og 50 ml/sek, i tillegg til kontroll på 0 ml/sek.

- Redusert forekomst av AMS, HAPE og HACE

Supplerende oksygen kan bidra til å senke risikoen for at personer som utsettes for akutt høyde rammes av ulike former for høydesyke.

I tillegg til at oksygen er av de kjente og veletablerte behandlingene for de tre tilstandene nevnt ovenfor, har også observasjoner av arbeidere på Mauna Kea (4215 meter) og California White Mountain Research Station (3800 meter) vist at forekomsten av AMS synker når det brukes supplerende oksygen (4,5).

- Oksygensaturasjonen øker.

Det er veletablert at SaO<sub>2</sub> øker med tilførsel av oksygen i høyden. Årsaken til hypoksi i høyden hovedsakelig skyldes redusert pO<sub>2</sub> i luften som inhaleres.

Uansett er det blant artiklene som er inkludert i denne litteraturstudien, mange som har funnet at SaO<sub>2</sub> øker med tilførsel av oksygen; både i hvile, under moderat og hard fysisk aktivitet, og under søvn. Effekten er funnet fra 1524 meter og høyere, og ved oksygentilførsel både fra portable systemer og romberikning med O<sub>2</sub> (4,11).

- Bedre nevropsykologisk funksjon

West rapporterte i en randomisert, dobbelt-blindet studie fra 2002 at hos personer som ble utsatt for akutt, simulert høyde tilsvarende 5000 meter, med scoring av mentale ferdigheter før og etter tilførsel av oksygen, ble 6 av 16 parametre, deriblant reaksjonstid og cerebellare koordinasjonstester ("hand-eye coordination"), signifikant forbedret med supplerende oksygen. For andre kognitive ferdigheter, fant man ingen signifikante forskjeller (4,5).

- Økt følelse av subjektivt velvære

Bruk av supplerende oksygen har vist å redusere subjektivt ubehag ved akutt høydeeksponering (1,2,4). West sin forskning fra 1996 på pendling til arbeidsplasser i høyden (ca 4-5000 meter), samt Forster og Jimenez sine resultater fra Mauna Kea Observatory på Hawaii og mineområder i Chile, viser en økt rapportering av subjektivt velvære hos arbeidstakere som fikk supplerende oksygen mens de var på jobb i høyden i forhold til dem som ikke fikk tilført ekstra oksygen.

Mindre irritasjon blant arbeidstakere, bedre motoriske ferdigheter, og en følelse av å kunne tenke klarere, ble også rapportert i en ikke-vitenskapelig observasjon etter to års drift av California Institute of Technology sitt observatorium på 5050 meter (4).



## Diskusjon

Bruk av supplerende oksygen ved akutt eksponering for høyde synes å ha positive effekter på fysisk yteevne, søvnkvalitet, arteriell oksygenmetning, subjektivt velvære, og kognitive ferdigheter. I tillegg reduseres forekomsten av høyderelatert sykdom, slik som AMS, HAPE og HACE.

Resultatene er best dokumentert når det gjelder fysisk yteevne, søvnkvalitet, SaO<sub>2</sub>, og redusert forekomst av sykdom; for de andre sammenhengene som er nevnt, er det vitenskapelige grunnlaget trolig fortsatt for sparsomt til å trekke sikre konklusjoner.

West viser i sin oversiktsartikkel fra 1995 (4) hvordan både Barash, McElroy, og Luks et al. har demonstrert signifikante forbedringer i søvnkvalitet i randomiserte, dobbelt-blindede studier, med henholdsvis 12,24 og 18 deltagere, som alle ble utsatt for akutt høydeeksponering (3800, 3800 og 2100 meter). I en studie som Windsor publiserte i 1996 om "Supplemental oxygen and sleep at altitude", bekrefter den de samme funnene som nevnes i West sin artikkel (11). Dataene er signifikante, men da forsøket kun inkluderer en person, kan ikke denne studien alene si noe sikkert om søvnkvalitet og oksygenbruk, kun bidra til å styrke verdien av tidligere funn.

Når det gjelder fysisk yteevne, målt i parametre som økt oksygenopptak, raskere tid på standardiserte tester, høyere effekt i watt, og så videre, synes dokumentasjonen av supplerende oksygens positive virkning å være god. Det er imidlertid få studier som er aktuelle for den konkrete problemstillingen i denne oppgaven; enten fordi forsøkene med supplerende oksygen er utført på folk som bor i høyden (og dermed ikke tilfredsstillende kravet til "akutt innsettende høyde"), eller fordi man bare har sammenlignet ytelse i høyden med ytelse i normoksi, og altså ikke utført forsøk med supplerende oksygen. Av slike studier fant jeg flere nyere artikler, blant annet av Wilber og Morris (25). De viser i sitt arbeid at også personer som har oppholdt seg i høyden over måneder eller år, også får økt sin fysiske yteevne ved bruk av supplerende oksygen, men siden disse studiene ikke tilfredsstillende inkluderingskriteriene for denne oppgaven, er de ikke inkludert i resultatoversikten.

Det er i tillegg flere holdepunkter for at bruk av supplerende oksygen i høyden skjerper konsentrasjonsevnen, og reduserer risikoen for menneskelige feil. Når det gjelder akutt hypoksi i forhold til nevropsykologisk funksjon, påpeker West (4) i en kommentar til de få

sikre funnene på dette området noen av vanskelighetene rundt det å skulle måle kognitive ferdigheter i høyden: Selv om man på arbeidssteder som Mauna Kea (4215 meter) og i Silver Hut (5800 meter) ekspedisjonen i 1960-61 fastslo gjennom ikke-systematiske observasjoner at konsentrasjonsevnen blir nedsatt i høyden, at matematiske ferdigheter blir dårligere, og at det gjøres feil som arbeiderne ikke oppdager før de er kommet ned igjen i lavlandet, så har man hatt problemer med å verifisere dette i systematiske studier, der folk vet at de er i en testsituasjon, og (kanskje) konsentrerer seg ekstra mye når de gjennomfører de aktuelle oppgavene. Effekter som nedsatt oppmerksomhet og svekket beslutningsdyktighet er heller ikke nødvendigvis lette å kvantifisere. Det finnes for øvrig en del eldre studier fra før 1980, som ser på effekten av hypoksi i forhold til kognitiv funksjon, men ingen av disse benytter supplerende oksygen i forsøkene sine, og er derfor ikke inkludert her.

Bruken av oksygen vil imidlertid trolig bare bli mer aktuell fremover. En høyaktuell arena når det gjelder bruk av supplerende oksygen, og kunnskap om høydemedisin generelt, er i militære settinger. Mange av dagens viktigste internasjonale konfliktområder omfatter høytliggende fjellandskap. For eksempel har både Afghanistan, Irak, og Pakistan fjellkjeder med topper på over 5000 meter (24). Også i sivile sammenhenger kan militære tropper behøve kompetanse innen operasjoner i høyden; etter det kraftige jordskjelvet i provinsen Qinghai i Kina i april 2010, rapporterte kinesisk presse etterpå at høydesyke hos de militære troppene representerte et problem blant dem som ble sendt inn for å evakuere skadde/innesperrede personer (23).

I tillegg reiser vi stadig mer; antallet eventyrlystne mennesker som vil bestige høye fjell øker – fra 2000-2004 var det like mange som besteg Mt Everest som i de tyve forutgående årene fra 1979-1999 (21). Som nevnt tidligere i oppgaven har også stadig flere kommersielle selskaper startet opp minedrift og forskningsbaser i høytliggende områder (4). Den økte forekomsten av KOLS, sammen med økt levealder, bidrar også til et behov for økt kunnskap rundt bruken av supplerende oksygen i forbindelse med hypoksi. West foreslår at også for eksempel skidestinasjoner og lignende reisemål kan ha nytte av den nye teknologien innen oksygentilførsel; aktører i reiselivet kan på den måten muligens tilrettelegge for dem som sliter med søvnkvaliteten, eller andre ting, ved opphold i høyden

## Hva kan tale i mot bruk av supplerende oksygen?

Eventuelle ulemper må også tas med i vurderingen når det gjelder bruk av supplerende oksygen i høyden.

Oksygen kan ved feil bruk ha en toksisk virkning. Når det gjelder toksisiteten tilknyttet oksygen, er dette først og fremst aktuelt i forbindelse med oksygentilførsel ved økt barometertrykk, for eksempel under dykking eller i overtrykkskammer (15,16,17).

Oksygenforgiftning kan gi skader i sentralnervesystemet, lungene og på netthinnen, men man regner med at partialtrykket av oksygen må være minst 30 kPa for at lungeforandringer skal kunne inntreffe, og 160 kPa for at hjernen skal påvirkes. I høyden, hvor det uansett er snakk om hypobar hypoksi, altså hypoksi i omgivelser med lavere trykk enn det man finner i atmosfæren ved havnivå, vil oksygen i de dosene som er aktuelle i praksis ikke gi fare for toksiske effekter.

Andre aktuelle momenter å ta med i overveielser er de økonomiske kostnadene til ekstra oksygen, spesielt portable systemer, og det faktum at de representerer en ekstra utfordring i forhold til transport (11). Videre må man huske på at forhøyede oksygenkonsentrasjoner kan representere en potensiell brannfare; dette gjelder særlig ved oksygenberiket romluft med bruk av oksygenkonsentratorer (4,5). NFPA (National Fire Protection Association) i USA tilrår i slike tilfeller å holde den prosentvise oksygenkonsentrasjonen i luften under  $23.45/TP_{\text{atmos}}$ .  $TP_{\text{atmos}}$  er her det totale barometriske trykket, uttrykt som en fraksjon av barometrisk trykk ved havnivå.

West fastslår videre i sin artikkel fra 1996 at det ikke er holdepunkter for å tro at det å bruke supplerende oksygen ”av og på” i perioder kan være skadelig.

Det finnes lite forskning på bruk av supplerende oksygen ved akutt innsettende høyde/simulert hypoksi. De studiene som finnes, er ofte utført med få deltagere, eller gjelder mennesker som lider av hypoksi på grunn av sykdom. Imidlertid finnes en god del forskning på selve effektene av hypoksi, oksygentilførsel til akklimatiserte personer, og en stadig økende mengde studier utført på mennesker som lider av hypoksi grunnet KOLS, en sykdom som stadig øker i forekomst (22). Hvis man sammenholder resultatene innen disse forskningsområdene, kan man resonnerer seg frem til mange hypoteser for hvordan supplerende oksygen virker i en situasjon med akutt høydepåvirkning, og overføringsverdien

kan sannsynligvis i mange sammenhenger være nyttig, men antallet studier som faktisk har undersøkt problemstillingen konkret, er altså heller lavt.

## **Konklusjon**

Ut i fra forskningen som foreligger på dette fagområdet, synes det å være et godt kunnskapsgrunnlag for å hevde at bruk av supplerende oksygen ved akutt eksponering for høyde har positive effekter på fysisk yteevne, subjektivt velvære, søvnkvalitet, arteriell oksygenmetning, og kognitive ferdigheter. I tillegg reduseres forekomsten av høyderelatert sykdom, slik som AMS, HAPE og HACE.

Militært personell, arbeidere på høytliggende lokalisasjoner, eller andre som utsettes for høyder på 3500 – 5000 meter uten forutgående akklimatisering, kan redusere eller unngå de potensielle negative virkningene på grunn av hypoksi dersom supplerende oksygen benyttes.

Partialtrykket av oksygen i luften synker med økende høyde, og skaper hypoksi i menneskekroppen. Dette gir påfølgende fysiologiske forandringer, og kan i verste fall føre til sykdom og død.

Supplerende oksygen kan tilføres enten ved å oksygenberike de rommene/bygningene man befinner seg i, eller ved hjelp av mer og mindre portable systemer, som tilfører oksygen via en pustemaske eller nesekateter.

Bruk av oksygen i høyden har imidlertid også potensielle ulemper som må vurderes. Som for all annen teknologi, må man også her ta høyde for at oksygentilførselssystemene kan rammes av tekniske feil, og at menneskelige feil kan ødelegge eller redusere effekten av utstyret. For eksempel kan oksygenapparater med pulsdoseringssystem være utsatt for å fryse i lave temperaturer, og dette er nødvendig å ta med i betraktningen når man planlegger opphold i høyden.

Det foreligger imidlertid relativt få store, systematiske studier på dette feltet, og mer forskning er nødvendig for å styrke kunnskapen rundt bruk av supplerende oksygen under akutt høydeeksponering.

## **Kilder**

1. Forster, P.J.G., "Health and Work at High Altitude: A Study at the Mauna Kea Observatories", *PASP*, 96, 478-487, 1984
2. Jimenez, D., "High Altitude Intermittent Chronic Exposure: Andean Miners", in Sutton, J.R. et al, ed, *Hypoxia and the Brain*, pub. Queen City Printers, Burlington, VT, 284-291, 1995.
3. McFarland, R.A., "Psychophysiological Implications of Life at Altitude and Including the Role of Oxygen in the Process of Aging", in Yousef, M.K. et al, ed, *Physiological Adaptations*, pub. Academic Press, New York, Chap. 11, 157-182, 1972.
4. West, J.B., *Commuting to High Altitude: Value of Oxygen Enrichment of Room Air*. *High Altitude Medicine & Biology*, Vol 3, 223-235, 2002.
5. P. J. Napier and J. B. West, "Medical and physiological considerations for a high-altitude MMA site", MMA Memo No 162, NRAO, <http://www.tuc.nrao.edu/mma/memos/abstracts/abs162.html>, 1996
6. Burtcher M., "Effects of acute altitude exposure: which altitude can be tolerated", *Wien Med Wochenschr.* 2010 Jul;160(13-14):362-71. Review.
7. John B. West. *High Altitude Medicine & Biology*. June 2002, 3(2): 223-235. doi:10.1089/15270290260131948.

8. Windsor JS, McMorrow RC, Rodway GW, "Oxygen on Everest: The Development of Modern Open-Circuit Systems for Mountaineers.", *Aviation Space and Environmental Med* 2008;79:799-804.
9. Peltonen, J. E., Rantamki, J., Niittymki, S. P. T., Sweins, K., Viitasalo, J. T. and Rusko, H. K. (1995). Effects of oxygen fraction in inspired air on rowing performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 27, 573–579
10. Mazzeo RS (2008). "Physiological responses to exercise at altitude: an update".*Sports Med* 38, 1–8.
11. Jeremy S. Windsor, George W. Rodway. "Supplemental Oxygen and Sleep at Altitude", *High Altitude Medicine & Biology*. Winter 2006, 7(4): 307-311. doi:10.1089/ham.2006.7.307.
12. Paralikar SJ, Paralikar JH. High-altitude medicine. *Indian J Occup Environ Med* 2010;14:6-12
13. Nishi S., "Effects of altitude-related hypoxia on aircrews in aircraft with unpressurized cabins", *Journal Article, Research Support, Non-U.S. Gov't, Mil Med* 2011 Jan; 176(1):79-83.
14. Peltonen, J. E., Tikkanen, H. O. and Rusko, H. K. (2001). Cardiorespiratory responses to exercise in acute hypoxia, hyperoxia and normoxia. *Eur. J. Appl. Physiol.* 85, 82–88
15. Jackson, R.M. (1985). Pulmonary oxygen toxicity. *Chest*88 (6): 900–905.

16. Bitterman, H. (2009). Bench-to-bedside review: oxygen as a drug. *Critical Care* 13 (1): 205.
17. Clark, John M.; Lambertsen, Christian J. (1970). "Pulmonary oxygen tolerance in man and derivation of pulmonary oxygen tolerance curves". IFEM Report No. 1-70
18. Øyri A. Norsk medisinsk ordbok. ISBN 82-521-6088-3, 7. utg. Det Norske Samlaget, 2003.
19. Oxford Advanced Learners. ISBN 0-19-431141-4, 1989. 4nd ed. Oxford University Press
20. Ward MP, Milledge JS, West JB, *High Altitude Medicine and Physiology*, ISBN 0-340-75980-1, 3rd ed, 2000, Arnold Publishers, s 22-23, 33, 43-49.
21. <http://www.everesthistory.com/everestsummits/summitsbyyear.htm>
22. Folkehelseinstituttet:  
[http://www.fhi.no/eway/default.aspx?pid=233&trg=MainLeft\\_5670&MainArea\\_5661=5670:0:15,3102:1:0:0:::0:0&MainLeft\\_5670=5544:55604::1:5675:2:::0:0](http://www.fhi.no/eway/default.aspx?pid=233&trg=MainLeft_5670&MainArea_5661=5670:0:15,3102:1:0:0:::0:0&MainLeft_5670=5544:55604::1:5675:2:::0:0)
23. <http://www.aftenposten.no/nyheter/uriks/article3608362.ece>
24. Store Norske Leksikon [www.snl.no](http://www.snl.no)
25. Wilber RL, Holm PL, Morris DM, Dallam GM, Callan SD. "Effect of F(I)O(2) on physiological responses and cycling performance at moderate altitude"  
*Med Sci Sports Exerc.* 2003 Jul;35(7):1153-9.