
Ingen måneferd uten romfartsmedisin

KRONIKK

TERJE SÆHLE

tse@caa.no

Terje Sæhle er ph.d., spesialist i nevrokirurgi, og er fly- og romfartsmedisiner. Han er chairman i European Space Agency Medical Board og assisterende sjeflege for de sivile luftfartsmyndighetene i Norge.

Forfatteren har fylt ut ICMJE-skjema og oppgir ingen interessekonflikter.

Månelandingen og senere romfarter ville ikke vært mulig uten medisinsk kompetanse og kjennskap til hvordan astronautene kan beskyttes fra de ekstreme forholdene i verdensrommet.



Illustrasjon: Ingunn Dybendal / illustratorene.no

Etter Apollo-programmet og månelandingen har det kun vært ubemannede fartøy på månen, men det har likevel aldri vært større aktivitet innen menneskelig romfart enn i dag. Den internasjonale romstasjonen (ISS) har vært kontinuerlig bemannet de siste 20 årene, og varigheten av romferdene har økt fra timers varighet tidlig i 1960-årene til over seks måneder lange ekspedisjoner. Den amerikanske (NASA) og den europeiske romfartsorganisasjonen (ESA) planlegger å returnere til månen innen få år og har planer om å sende mennesker til Mars i løpet av 2030-årene. Et økende antall kommersielle romfartsaktører har vokst frem det siste tiåret [\(1\)](#), og flere av disse har visjoner om romturisme i stor skala.

Romfartshistorien ville ikke vært mulig uten romfartsmedisinsk kompetanse og kunnskap om hvordan astronautene kan beskyttes fra de ekstreme påkjenningene de blir utsatt for [\(2\)](#). Etter hvert som romferdene varer lenger og større avstander tilbakelegges, følger det med ytterligere medisinske utfordringer, både for å holde astronautene i live og for å sikre god helse og optimal ytelse. Profesjonelle astronauter har gjennomgått en betydelig medisinsk og psykologisk seleksjonsprosess, men helsekravene for de fleste romturister vil bli betraktelig lavere. De helsemessige konsekvensene av eventuell romturisme er usikre, men at det i så fall vil kreve romfartsmedisinsk kompetanse, er udiskutabelt. Denne artikkelen har som mål å gi et kort innblikk i romfartsmedisin som fagfelt og de viktigste medisinske utfordringene innen romfart.

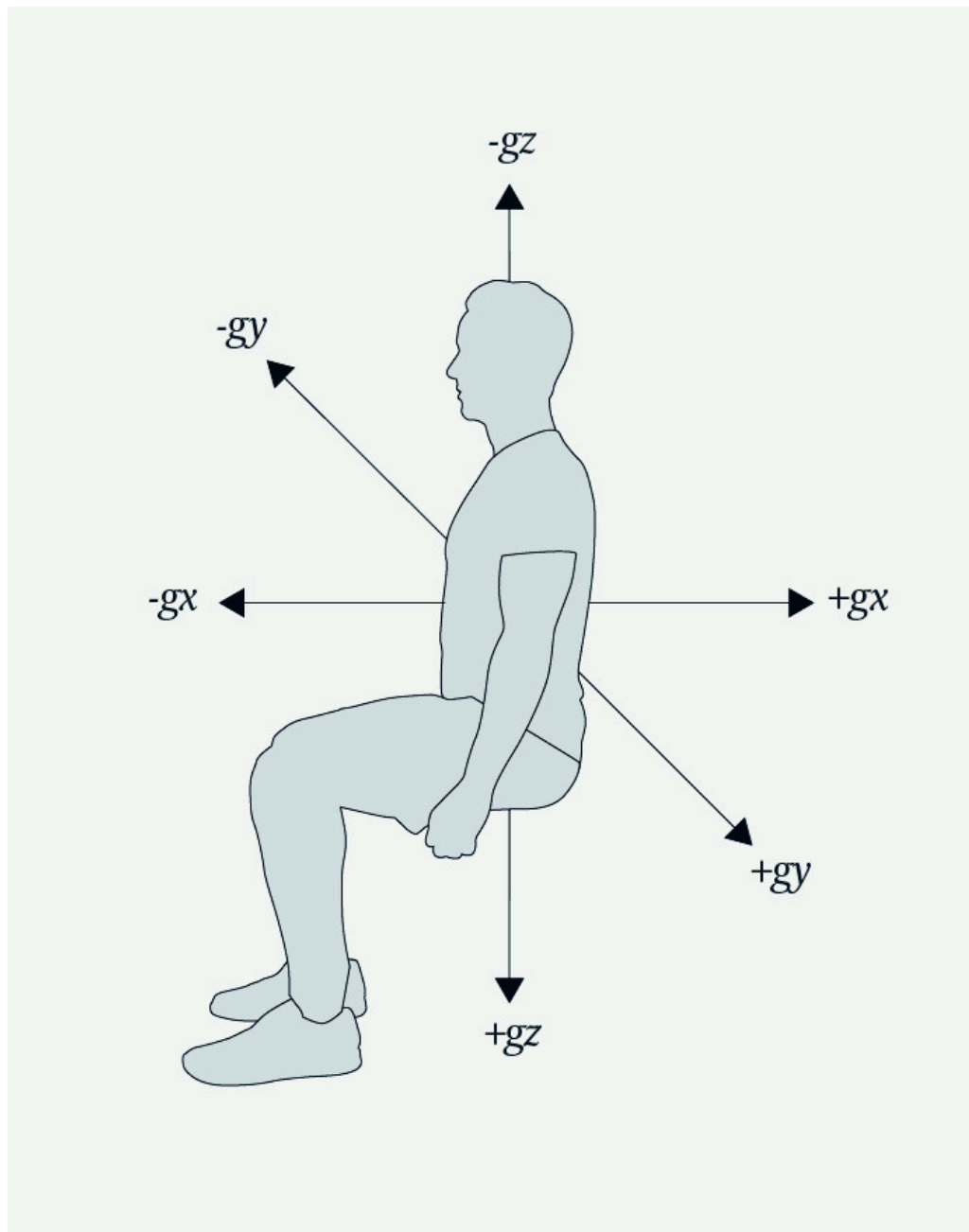
Romfartsmedisin som spesialitet

Romfartsmedisin er et spesialisert, men samtidig bredt fagfelt. Det inkluderer alle medisinske forhold som bidrar til både sikkerhet og optimal ytelse innen menneskelig romfart. I flere land har helsemyndighetene anerkjent fly- og romfartsmedisin som en selvstendig medisinsk spesialitet [\(3\)](#). Omfang og normert tid for spesialistutdannelse innen fly- og romfartsmedisin tilsvarer de fleste andre medisinske spesialiteter, for eksempel seks år i England [\(3\)](#). Romfartsmedisin er imidlertid kjent som et kompetitivt fagområde med få stillinger [\(4\)](#), og de fleste romfartsmedisinere innehar derfor andre medisinske spesialiteter i tillegg.

Akselerasjon og vibrasjon

Under oppskytning og landing blir astronauten eksponert for akselerasjon og vibrasjon. G-krefter er egentlig ikke en fysisk kraft, men en konsekvens av treghet (inertia) ved akselerasjon eller deselerasjon. Anatomiske og fysiologiske effekter avhenger av størrelsen og retningen på g-kreftene i tillegg til forhold hos individet [\(2, 5\)](#) (figur 1). De vertikale gz-kreftene virker i kroppens lengdeakse og påvirker blodforsyningen til hjernen. Dette utgjør normalt den største utfordringen, ettersom hjernen er sensitiv for både anemisk hypoksi (ved +gz) og stagnasjonshypoksi (ved -gz). Dersom det er mulig, vil man

plassere astronauten i en posisjon som minimaliserer akselerasjon langs gz-aksen. Etter langvarig opphold i vektløshet reduseres toleransen ytterligere overfor gz-krefter.



Figur 1 Ulike g-krefter. $+gz$ virker i retning fra hodet mot setet, mens $-gz$ virker fra setet mot hodet. $+gx$ virker i retning forfra og bakover, og $-gx$ virker fremover. Gy-kreftene virker lateralt mot venstre ($+gy$) eller høyre ($-gy$). Figuren er gjentegnet ut ifra artikkelforfatterens kompendium i flymedisin (5).

Vibrasjon kan også forplantes gjennom kroppen og medføre fysiologiske eller psykologiske effekter, inkludert redusert synsskarphet eller forstyrret nevromuskulær kontroll ([2](#)). Dette er forhold som må tas hensyn til ved konstruksjon av romfartøy og rakettoppskyting.

Mikrogravitasjon og vektløshet

Vektløshet betyr ikke fravær av gravitasjonspåvirkning, men fravær av assosierte g-krefter [\(2\)](#). Den internasjonale romstasjonen går i bane rundt jorden i ca. 400 km høyde med en hastighet på nesten 30 000 km/t. Gravitasjonskreftene i denne høyden er nesten 90 % av gravitasjonskreftene på Jordens overflate, men astronautene opplever likevel vektløshet ettersom de befinner seg i fritt fall. Mange foretrekker betegnelsen mikrogravitasjon, da vektløsheten ikke er komplett. I lav jordbane vil blant annet forhold som egenbevegelser og variasjoner i jordgravitasjon medføre g-belastninger på mikronivå.

Nesten alle organsystemer i kroppen gjennomgår fysiologiske og anatomiske forandringer i vektløshet [\(2\)](#), [\(6–8\)](#). De normale hydrostatiske trykkgradientene i kroppen opphører, hvilket medfører omfordeling av blodvolum og interstitiell vevsvæske. De sekundære konsekvensene er signifikante. Vektløshet assosieres også med betydelige nevrosensoriske effekter, kardiovaskulære og pulmonale forandringer, atrofi av skjelettvev og muskulatur samt immunologiske endringer.

Ved gjennomgang av romfartsmedisinsk litteratur vil man se et skille i data av nyere dato sammenliknet med studier datert før 2009 [\(2, 6\)](#). Dette skyldes til dels innføringen av intensivt treningsregime på den internasjonale romstasjonen. Siden 2009 har astronauter også resirkulert vann fra egen urin, hvilket har hatt stor betydning for å sikre adekvat hydrering på romstasjonen.

I løpet av det siste tiåret har det vært stort fokus på cerebrovaskulære endringer, intrakranielt trykk, omfordeling av cerebrospinalvæske og forstyrrelser i cerebral venøs drenasje under romfart [\(7\)](#). Bakgrunnen for dette er funn av visusforandringer, avflatet øyeeple ved MR-undersøkelser, papilleødem, hevelse i nervus opticus og funn av lett forhøyet spinaltrykk i etterkant av langvarig opphold i rommet.

Lavt atmosfærisk trykk

Jordens atmosfære blir tynnere desto høyere opp man befinner seg. Dersom planeten vår sammenliknes med en fotball, kan den delen av atmosfæren som er i stand til å opprettholde menneskelig liv, sammenliknes med tykkelsen på et strøk maling over fotballen.

Oksygenmangel er ikke den eneste konsekvensen av lavt atmosfærisk trykk. På ca. 19 km høyde ligger Armstrong-grensen, hvor lufttrykket er så lavt at vannets kokepunkt tilsvarer kroppstemperaturen på 37 °C. Uten trykkdrakt vil det oppstå gassbobler i kroppsvæsken, også kjent som ebullisme [\(2\)](#). Det blir ofte hevdet at blodet begynner å koke i denne høyden, men dette er ikke helt korrekt, da det intravasale blodtrykket også bidrar til å bevare blodets væskeform. Væsker på kroppens overflate og i lungene vil imidlertid begynne å koke, og etter hvert som trykket faller ytterligere, vil det dannes gassbobler i underhuden. Dersom man eksponeres for tilnærmet vakuum, vil det også kunne dannes gassbobler i de store samlevenene, hvor det intravasale trykket er lavt.

«Det er bred enighet om at minst én av astronautene må være lege med relevant akuttmedisinsk kompetanse»

Utenfor romstasjonen er det nesten vakuum. Under romvandring (extravehicular activity, EVA) er astronauten derfor avhengig av en romdrakt med tilstrekkelig trykk til å motvirke både ebullisme og hypoksi. For høyt trykk vil imidlertid medføre immobilitet. En typisk EVA-drakt har derfor et trykk som tilsvarer rundt en tredjedel av normalt atmosfærisk trykk, men den er mettet med oksygen. For å unngå trykkfallsyke må astronauten gradvis akklimatiseres til det lave trykket i romdrakten. Det kreves derfor mange timers forberedelse før en romvandring.

Temperaturer og stråling

Temperaturen utenfor romstasjonen varierer fra -157°C i skyggen til $+121^{\circ}\text{C}$ i lyset (2). Grunnet nesten fravær av luftmolekyler vil det i praksis ikke foreligge noen grad av konduksjon (varmeledning) eller konveksjon (varmestrømning). Man vil derfor ikke umiddelbart kjenne de ekstreme temperaturene. Varmeoverføring vil likevel skje ved elektromagnetisk stråling, slik at temperaturene kan by på medisinske utfordringer. Overoppheting er det hyppigste problemet under romvandring, og EVA-drakten er derfor utstyrt med avkjølende væske som sirkulerer i små rør inntil huden (2).

Kosmisk eller galaktisk stråling består av svært energirike partikler fra utsiden av solsystemet. Jordens atmosfære og magnetisme vil i all hovedsak beskytte livet på bakken, men ved opphold på månen eller under reise til Mars utgjør kosmisk stråling en av de største medisinske utfordringene (2). Astronauter eksponeres også for solvind, en strøm av ioniserende partikler som slenges ut fra solen. Et spesielt bekymringsverdig fenomen er eksplosive solstormer med ekstra energirik stråling. Disse kan ha store konsekvenser og er vanskeligere å predikere.

Van Allen-beltene består av elektrisk ladede partikler som er fanget av Jordens magnetfelt. Dette geomagnetiske fenomenet beskytter livet på Jorden, men ved romferder utenfor lav jordbane vil det bli nødvendig å krysse beltene hvor man eksponeres for høydosestråling.

I henhold til strålevernforskriften er grenseverdien for akkumulert stråling for allmennheten på $1\text{ mSv}/\text{år}$, mens dosegrensen for yrkeseksponerte er satt til $20\text{ mSv}/\text{år}$. Til sammenlikning vil en astronaut på ISS normalt bli eksponert for $80\text{--}160\text{ mSv}$ i løpet av et seks måneders langt opphold på romstasjonen (2). Forventet akkumulert dose for en tre år lang ekspedisjon til Mars og tilbake er rundt $1\,000\text{ mSv}$.

Psykologiske stressorer

Isolasjon og avstand fra jorden kan utgjøre en psykologisk utfordring under langvarige romferder (9, 10). Sosiale konflikter eller manglende samarbeidsevne kan ha store konsekvenser, og det settes derfor høye krav til personlige egenskaper hos astronautene. Under fremtidige ekspedisjoner til Mars vil mannskapet leve tett på hverandre i rundt tre år.

Dagens romferder innebærer intensive arbeidsdager, hvilket kan bidra til utmattelse/fatigue. Dette kan påvirke prestasjonsevnen og sikkerheten, og romfartsmedisin har fokus på tiltak som kan motvirke utmattelse og optimalisere den menneskelige ytelsen (2). Astronauten kan også påvirkes av forstyrrelser i den biologiske cirkadiane rytmen. Romstasjonen bruker rundt 90 minutter rundt Jorden, slik at astronautene ombord opplever 16 solnedganger hver dag.

Akuttmedisinsk beredskap

Ved akuttmedisinske hendelser kan det bli behov for telemedisinsk assistanse fra Jorden (2). I slike tilfeller bør spesialisten på bakken inneha romfartsmedisinsk kompetanse, inkludert innsikt i de fysiologiske og anatomiske endringene som astronautene gjennomgår i vektløshet. Det er også bekreftet gjennom flere studier at farmakokinetiske og farmakodynamiske egenskaper til mange medikamenter er annerledes i rommet (11), og man kan ikke nødvendigvis benytte samme prinsipper og doser som på Jorden. Dersom hendelsen er svært alvorlig, kan astronauten evakueres fra den internasjonale romfartstasjonen til Jorden med Sojus-fartøyet.

Under fremtidens romferder til månen og etter hvert Mars vil det settes høyere krav til mannskapets medisinske autonomi, og det er bred enighet om at minst én av astronautene må være lege med relevant akuttmedisinsk kompetanse. Man vil ikke lenger ha samme mulighet for evakuering til Jorden, og under ekspedisjoner på Mars vil enveiskommunikasjon med Jorden innebære en forsinkelse på 3–22 minutter (2).

Prehospital håndtering av akuttmedisinske hendelser i et ekstremt og isolert miljø skiller seg fra et moderne og godt utstyrt sykehus. Ekstremmedisin har det siste tiåret vokst frem som et selvstendig medisinsk fagfelt, og internasjonalt finnes det i dag flere muligheter for leger som ønsker å videreutdanne seg innen dette faget (12). Det arrangeres også årlig konferanse i ekstremmedisin i Oslo, i regi av Forsvaret og Flymedisinsk institutt.

Veien videre

Romfartsmedisin beskrives ofte som et kompetitivt fagområde med få tilgjengelige stillinger internasjonalt. Dagens planer om langvarig romferd utenfor lav jordbane samt fremveksten av kommersiell romfart vil by på muligheter for flere leger med interesse for dette innovative og spennende fagområdet. For de mest eventyrlystne vil det også være mulig å søke på neste opptak av astronauter. Forrige seleksjon av europeiske astronauter var i 2009, hvor den europeiske romfartsorganisasjonen valgte ut seks kandidater blant ca. 10 000 søkere. Det vil sannsynligvis gjennomføres opptak av nye astronauter i 2020/21 dersom dette støttes politisk og økonomisk av medlemslandene. Det internasjonale miljøet innen romfartsmedisin byr også på dedikerte kollegaer med bakgrunn fra ulike medisinske spesialiteter og en kultur som integrerer akademiske ambisjoner med interesse for ekstremt miljø og ekspedisjoner på jorden eller bortenfor.

LITTERATUR

1. Stepanek J, Blue RS, Parazynski S. Space medicine in the era of civilian spaceflight. *N Engl J Med* 2019; 380: 1053–60. [PubMed][CrossRef]
2. Barratt M, Pool S. red. Principles of clinical medicine for space flight. New York, NY: Springer, 2011.
3. General Medical Council. Aviation and space medicine curriculum. <https://www.gmc-uk.org/education/standards-guidance-and-curricula/curricula/aviation-and-space-medicine-curriculum> Lest 14.10.2019.
4. Diamandis L. How to become a space doctor: Expert career insights into space medicine. (Diverse Medical Careers). Eurekadoc Publishing, 2016.
5. Luftfartstilsynet. Kort introduksjon i flymedisin. <https://luftfartstilsynet.no/globalassets/dokumenter/flymedisin/kort-introduksjon-i-flymedisin.pdf> Lest 21.10.2019.
6. Tanaka K, Nishimura N, Kawai Y. Adaptation to microgravity, deconditioning, and countermeasures. *J Physiol Sci* 2017; 67: 271–81. [PubMed][CrossRef]
7. Lee AG, Mader TH, Gibson CR et al. Space flight-associated neuro-ocular syndrome (SANS). *Eye (Lond)* 2018; 32: 1164–7. [PubMed][CrossRef]
8. Shen M, Frishman WH. Effects of spaceflight on cardiovascular physiology and health. *Cardiol Rev* 2019; 27: 122–6. [PubMed][CrossRef]
9. Doarn CR, Polk JD, Shepanek M. Health challenges including behavioral problems in long-duration spaceflight. *Neurol India* 2019; 67: S190–5. [PubMed][CrossRef]

10. Pagel JI, Choukèr A. Effects of isolation and confinement on humans-implications for manned space explorations. *J Appl Physiol* (1985) 2016; 120: 1449–57. [PubMed][CrossRef]
 11. Blue RS, Bayuse TM, Daniels VR et al. Supplying a pharmacy for NASA exploration spaceflight: challenges and current understanding. *NPJ Microgravity* 2019; 5: 14. [PubMed][CrossRef]
 12. University of Exeter. MSc Extreme Medicine.
<https://www.exeter.ac.uk/postgraduate/taught/medicine/extrememedicine/msc/> Lest 14.10.2019.
-

Publisert: 9. desember 2019. Tidsskr Nor Legeforen. DOI: 10.4045/tidsskr.19.0509
Mottatt 11.8.2019, første revisjon innsendt 30.8.2019, godkjent 23.10.2019.
Opphavsrett: © Tidsskriftet 2026 Lastet ned fra tidsskriftet.no 15. februar 2026.