

## STAND VAN ZAKEN

# Dokter, mag ik de ruimte in?

## Vliegmedische overwegingen bij de commerciële ruimtevaart

Marck H.T.M. Haerkens, Ries Simons en André Kuipers

- Binnen een paar jaar zullen de eerste commerciële bedrijven passagiers op suborbitale vluchten naar de grens met de ruimte brengen.
- Medische gegevens over het effect van ruimtereizen op mensen zijn voornamelijk afkomstig van professionele astronauten. De gevolgen van suborbitale vluchten voor de gezondheid van ongetrainde passagiers zijn nog zeer beperkt onderzocht.
- De lage luchtdruk en lage zuurstofspanning op grote hoogte kunnen opgevangen worden met een drukcabine of drukpak.
- De snelle veranderingen in  $g$ -krachten stellen hoge eisen aan de cardiovasculaire adaptatiemechanismen. Ook kunnen gewichtloosheid en  $g$ -krachten leiden tot bewegingsziekte.
- Trillingen en lawaai tijdens de vlucht kunnen de communicatie tussen passagiers en bemanning bemoeilijken. Ook mag de psychologische impact van een ruimtevlucht niet onderschat worden.
- Er zijn nog geen wettelijke keuringseisen voor commerciële suborbitale vluchten, maar het lijkt gerechtvaardigd voorwaarden te stellen aan de gezondheid van de passagiers.

De eerste tickets voor vluchten naar de ruimte zijn al verkocht. Binnenkort, waarschijnlijk al in 2012, starten de eerste commerciële bedrijven met het uitvoeren van suborbitale en orbitale vluchten, in de volksmond 'ruimtevluchten' genoemd.

De grens van de ruimte is arbitrair. Er zijn vliegtechnische, juridische en natuurkundige definities. De Amerikaanse luchtmacht gebruikt om vliegtechnische redenen een hoogte van 100 km, de 'von Kármán-lijn', als hoogtegrens, omdat daarboven straalmotoren niet meer buikbaar zijn vanwege de ijle lucht en raketaandrijving noodzakelijk wordt.

Volgens een Nederlands wetsartikel is een vlucht pas ruimtevaart als er langer buiten de dampkring verbleven wordt, zoals in een baan om de aarde ('orbit'). Om in orbit te blijven moet je op meer dan 200 km hoogte vliegen, met snelheden van 28.000 km/h. Bovendien heb je een hitteschild nodig voor de terugkeer. Toeristische orbitale vluchten zijn op korte termijn dus niet te verwachten.

Voor een fysisch daarentegen begint de ruimte pas op 700 km hoogte, waar luchtmoleculen niet meer botsen. Bij de geplande commerciële suborbitale vluchten vliegt men met hoge snelheid naar hoogten rond de 100 km, om na maximaal 30 min gewichtsloosheid op het hoogste punt in een zweefvlucht weer op aarde te landen. Er wordt gevlogen met kleine ruimtevaartuigen, waarin 1 tot 6 passagiers kunnen worden meegenomen. Deze passagiers zullen soms ook een 'ruimtepak' (drukpak) moe-

*Wings of Care, 's-Hertogenbosch.*

*Drs. M.H.T.M. Haerkens, chirurg-vlieger.*

*TNO Human Factors Institute, afd. Lucht- en ruimtevaartgeneeskunde, Soesterberg.*

*Drs. R. Simons, arts lucht- en ruimtevaart.*

*ESA, Noordwijk.*

*Drs. A. Kuipers, arts-astronaut.*

*Contactpersoon: drs. M.H.T.M. Haerkens  
(info@wingsofcare.nl).*

ten dragen, net als in een spaceshuttle of Soyuz-raket. Wat zijn de consequenties voor een patiënt die een dergelijke vlucht ambieert?

## LUCHT- EN RUIMTEVAARTFYSIOLOGIE

Passagiers in een verkeersvliegtuig bevinden zich in een veilig transportmiddel. Er wordt er gevlogen tot op hoogtes van 13 km, in een omgeving waar de atmosfeer buiten de cabine met recht extreem genoemd kan worden, met temperaturen van minus 40-50°C en een zeer lage luchtdruk en partiële zuurstofspanning. De mens zal zonder bescherming in deze omstandigheden niet kunnen overleven. Toch heeft de luchtvaart in het algemeen geen nadelige gevolgen voor de gezondheid.

De fysiologische effecten van een verkeersvlucht op grote hoogte zijn niet te verwaarlozen en dit geldt in versterkte mate voor suborbitale ruimtevluchten. Een aantal effecten laten we de revue passeren.

**Luchtdruk** Naarmate de hoogte toeneemt, vermindert de atmosferische druk. Bij verminderende druk hebben gassen de eigenschap in volume toe te nemen ( $P \times V$  is constant bij gelijke temperatuur). Omdat in verkeersvliegtuigen een druk in de cabine gehandhaafd wordt die overeenkomt met de luchtdruk op een hoogte van 1800-2400 m (druk: 81,2-75,2 kPa), hebben gezonde mensen aan boord geen problemen. Toch zijn er zelfs tijdens gewone verkeersvluchten al merkbare effecten door uitzetting van gassen in luchthoudende lichaamsholtes als middenoor, sinus, maag en darmen.<sup>1,2</sup> Dit kan resulteren in pijn, disfunctie en orgaanschade en kan bij iemand die recent is geopereerd tot gevaarlijke situaties leiden.

Ook in ruimtevaartuigen zal de omgevingsdruk zoveel mogelijk worden genormaliseerd door toepassing van een drukcabine of het gebruik van drukpakken.

**Partiële zuurstofspanning** Zoals gezegd neemt de totale luchtdruk af met toenemende hoogte. Volgens de wet van Dalton (de totale gasdruk is gelijk aan de som der partiële gasdrukken) zal door de afnemende luchtdruk de partiële zuurstofspanning evenredig afnemen. Hierdoor daalt de alveolaire zuurstofconcentratie en dreigt de zuurstofsaturatie van het bloed af te nemen. Tot op een hoogte van 3000 m zijn gezonde personen in het algemeen in staat om via respiratoire en circulatoire compensatiemechanismen de weefsels in voldoende mate van zuurstof te voorzien. Boven deze hoogte neemt de zuurstofsaturatie van het bloed snel af.

Ook om deze reden is bij suborbitale vluchten een drukcabine of drukpak noodzakelijk, maar dit kan niet alle problemen voorkomen. Bij patiënten met een gecompromitteerd zuurstoftransport – door emfyseem, anemie of een hemodynamisch belangrijke shunt – of een kritische zuurstofbehoefte – bijvoorbeeld patiënten met angina

pectoris of koorts – kunnen de fysiologische compensatiemechanismen onvoldoende blijken.

**Gravitatiekrachten (g-krachten)** In de lucht- en ruimtevaart worden de krachten die op het lichaam werken vaak uitgedrukt in  $g$ , de valversnelling door de zwaartekracht; deze bedraagt circa 9,8 m/s<sup>2</sup>.  $g$ -krachten treden op ten gevolge van versnellingen of vertragingen in verschillende richtingen ( $g_x$ ,  $g_y$ ,  $g_z$ ). Tijdens vluchten met een verkeersvliegtuig zal de resulterende kracht meestal in craniocaudale richting op de reiziger inwerken ( $g_z$ ) en niet uitstijgen boven een comfortabele 1,5 maal de zwaartekracht.

Bij een vlucht naar de ruimte zal door de sterke raketmotoren initieel een versnelling tot 1,5  $g$  merkbaar zijn, gevolgd door enkele minuten van gewichtsloosheid (0  $g$ ). Bij de terugkeer naar de aarde zal de snelle overgang van gewichtsloosheid naar 2-4,5  $g_z$  door afremming in de dampkring flinke eisen stellen aan de cardiovasculaire adaptatiemechanismen. Gedurende  $g_z$ -belasting zal de bloedkolom in zowel het arteriële systeem als het veneuze systeem zich naar caudaal verplaatsen. Hierdoor neemt de perfusie in de bovenste lichaamshelft af, en zal er ophoping van bloed in de onderste extremiteiten optreden. Bij gewichtsloosheid gebeurt het omgekeerde. De hemodynamische situatie van een cardiovasculair of pulmonaal instabiele patiënt kan dus door zowel  $g$ -belasting als gewichtsloosheid verslechteren.

Gravitatiekrachten hebben ook hun effect op het evenwichtsorgaan. Gewichtsloosheid en  $g$ -belasting kunnen bewegingsziekte en braken veroorzaken, met kans op aspiratie in de gesloten helm van een drukpak.

**Trillingen en lawaai** De trillingen die tijdens een suborbitale vlucht kunnen ontstaan vormen een belasting voor bemanning, passagiers en apparatuur. Ook lawaai kan het reiscomfort verminderen en soms zelfs de communicatie met de passagiers bemoeilijken. Beide factoren kunnen tot onzekerheid of spanning bij de passagier leiden. Een gedegen voorbereiding en een goede intercom zijn daarom essentieel.

### WAARIN VERSCHILT EEN SUBORBITALE VLUCHT VAN EEN RUIMTEVLUCHT?

De invloeden die op een lichaam inwerken tijdens langdurige, orbitale ruimtevluchten zijn:  $g$ -krachten, veranderingen in luchttemperatuur, -kwaliteit, -druk en -vochtigheid, gewichtsloosheid, ioniserende en niet-ioniserende straling, lawaai en trillingen. Ook de sociologische en psychologische invloeden zijn niet te onderschatten.

Onderzoek heeft uitgewezen dat ruimtevaart hierdoor vele effecten op het lichaam kan hebben: hoofdwaartse translocatie van lichaamsvloeistoffen, cardiovasculaire veranderingen, verhoogde intra-oculaire- en hersendruk, hypoxie, decompressie, evenwichtsstoornissen, (ruimte-)

bewegingsziekte, hoofdpijn, verminderde urineproductie, verhoogde calciumexcretie (nierstenen), verlies van bot- en spierweefsel, rugpijn, maligniteiten, verminderd lichamelijk en emotioneel welzijn en gedrags- en prestatieveranderingen.

Bij de initieel geplande commerciële ruimtevluchten zal men slechts kortdurend worden blootgesteld aan gewichtsloosheid. Het is daarom de vraag of alle bovengenoemde effecten relevant zullen zijn voor deze korte vluchten. Het meest merkbaar voor de suborbitale reizigers zullen de effecten zijn van gewichtsloosheid, *g*-krachten, veranderingen in luchtdruk en -vochtigheid, straling, lawaai en trillingen. Ook de psychologische impact van de spectaculaire vlucht in een zeer krachtig toestel naar de grens van de ruimte mag niet worden onderschat.<sup>3</sup>

## KEURINGEN

Vliegeniers mogen om begrijpelijke redenen geen toestel besturen wanneer hun gezondheidstoestand dit niet toelaat. Dit is vastgelegd in internationale regelgeving, net als de verplichte periodieke medische keuring.

Voor passagiers van lijnvluchten zijn de effecten van de omstandigheden aan boord inmiddels bij de meeste medici wel bekend.<sup>1,2</sup> Een medische keuring is niet vereist, al kunnen passagiers met aandoeningen waarbij zuurstofgebrek of uitzetting van gashoudende lichaamsdelen een risico vormen, in de problemen komen.

De weinige passagiers die een vlucht achterin een jachtvliegtuig als de F-16 van de Koninklijke Luchtmacht mogen meemaken, krijgen al duidelijk meer fysieke indrukken mee, zoals sterkere luchtdrukverschillen, snel wisselende *g*-krachten en desoriëntatie. Hiervoor is een 'meevliegkeuring' inclusief lichamelijk onderzoek door een vliegerarts (dit is een arts met aanvullende opleiding luchtvaartgeneeskunde conform de Europese standaard 'Aero Medical Examiner') verplicht; deze gaat op indicatie vergezeld van aanvullend onderzoek.<sup>4</sup>

Maar hoe dient men om te gaan met de passagiers die een vlucht naar de ruimte ambiëren? Deze ruimtepassagiers hoeven vanzelfsprekend niet te voldoen aan de zeer strenge eisen die voor professionele astronauten gelden en die goed beschreven zijn door Tom Wolfe in *The Right Stuff*.<sup>5</sup> Een wettelijk kader ontbreekt. Toch lijkt het gerechtvaardigd om voorwaarden te stellen aan hun gezondheid. Maar wat zijn redelijke eisen? Als de eisen te streng worden gesteld dan geeft dat een beperking van de potentiële klantengroep met duidelijke zakelijke nadelen. Maar bij te lage of geen eisen neemt het risico op incidenten met gezondheidsschade of zelfs overlijden van reizigers toe, wat door negatieve beeldvorming eveneens de ontwikkeling van de commerciële ruimtevaart zal benadelen.

Er dient dus een inschatting plaats te vinden of de medische voorgeschiedenis van een passagier een extra risico zou kunnen vormen tijdens de vlucht naar de ruimte. Een inschatting voor een suborbitale vlucht kan plaatsvinden middels een goede vragenlijst,<sup>6</sup> al leert de ervaring in de beroepsvlucht- en ruimtevaart dat de sterke wens bij een kandidaat-astronaut of -vlieger om aan de selectie-eisen te voldoen er soms toe kan leiden dat medische informatie onvolledig blijft. Op indicatie kan een gerichte anamnese en lichamelijk onderzoek met aanvullend onderzoek (ecg, röntgenfoto van de thorax, laboratoriumonderzoek) uitkomst bieden. In de anamnese zijn verder factoren als leeftijd en psychologie van belang:

**Leeftijd** Op dit moment zijn de beschikbare data voornamelijk afkomstig van astronauten met leeftijden variërend tussen de 25-60 jaar. Al zal een deel van de commerciële passagiers naar verwachting een nog hogere leeftijd hebben, een leeftijdsgrens ligt niet in de rede. John Glenn vloog op zijn 77e met de spaceshuttle en menig privévlieger van 70-80 jaar is in staat een versnelling van vele *g*'s te doorstaan. Er bestaat dan ook nog geen regelgeving met leeftijdsgrenzen voor de commerciële ruimtevaart.

**Psychologie** In een suborbitaal vliegtuig stappen is iets totaal anders dan een vlucht in een lijntoestel meemaken en kan voor gevoelens van onrust zorgen bij de passagier. Het dragen van een drukpak kan de overweldigende ervaring voor een onvoorbereide reiziger versterken en claustrofobische gevoelens luxeren. De psychische impact van de raketvlucht naar de grens van de dampkring kan mogelijk worden gedoseerd door een goed voorbereidingstraject waar bijvoorbeeld een trip in een mensencentrifuge of een aerobaticsvlucht in een hoogvermogen vliegtuig een nuttig en vermakelijk deel van uit kunnen maken. Dit zal de kosten verhogen, maar kan mogelijk ook commercieel worden benut als 'adventure experience'.

**Richtlijnen** Een referentiekader voor medische eisen is moeilijk te geven. Astronauten die kritische taken verrichten moeten aan zeer strenge selectie-eisen voldoen en zijn geen dus doorsnede van de algemene bevolking.<sup>7</sup> En omdat de korte commerciële vluchten buiten de dampkring nog maar met een klein aantal, zeer gezonde mensen zijn uitgevoerd, zijn de effecten voor mensen met chronische aandoeningen nog niet geïnventariseerd. Omdat ook de effecten van gewichtsloosheid op preëxistente afwijkingen nog grotendeels onbekend zijn, is een betrouwbare individuele risicoanalyse van een vlucht nog niet goed te maken.

Toch zijn er wel enkele richtlijnen te geven met betrekking tot aandoeningen of behandelingen die een gevaar kunnen vormen voor de eigen veiligheid of die van bemanning, andere passagiers of de vluchtuitvoering.

## LEERPUNTEN

- Vanaf 2013 zullen commerciële suborbitale ruimtevluchten plaatsvinden.
- Er zijn veel data over de effecten van langdurige ruimtevluchten bij gezonde, geselecteerde astronauten, maar nog weinig data over de effecten van korte suborbitale ruimtevluchten op ongetrainde reizigers.
- Bij passagiers van suborbitale ruimtevluchten moet rekening gehouden worden met de invloed van gravitatiekrachten en veranderingen in luchtdruk, maar ook met de psychologische impact.
- Bepaalde medische diagnoses en recente operaties vormen een contra-indicatie voor een vlucht buiten de dampkring.

Naar onze mening is voorzichtigheid geboden bij:

- onstabiel hartlijden of longlijden;
- predispositie voor glaucoom;
- predispositie voor hersenbloedingen of epileptische insulten;
- recent ernstig trauma of grote operatie;
- ernstige psychiatrische stoornis of gedragsstoornis, claustrofobie, drugsgebruik;
- zwangerschap;
- ernstige anemie.

Onderzoek zal vanaf de start van de commerciële vluchten essentieel zijn. De data die voort zullen komen uit de eerste commerciële suborbitale vluchten zullen veel toevoegen aan de mogelijkheden om vooraf het individuele

risico in te schatten en eventueel medische incidenten aan boord te behandelen. Het belang van effectieve samenwerking tussen de operators, medische instanties en de overheid kan nauwelijks worden overschat.

## CONCLUSIE

Er zullen zich binnenkort zeker potentiële ruimtetoeristen bij artsen melden met de vraag of het medisch verantwoord is om een ruimtetrip te maken. Ook is het te verwachten dat medisch advies over de passagiers zal worden gevraagd door de uitvoerder van de commerciële vluchten.

Wij benadrukken dat op het uitbrengen van dergelijke adviezen in Nederland de Wet op de geneeskunde behandelingsovereenkomst (WGBO) van toepassing is. Het is daarom belangrijk dat de betrokken medici voldoende lucht- en ruimtevaartgeneeskundige kennis bezitten om tot een gefundeerd advies te komen. Om dit te faciliteren zou een nationaal kenniscentrum nuttig kunnen zijn.

Belangenconflict: geen gemeld. Financiële ondersteuning: geen gemeld.

Aanvaard op 20 juli 2011

Citeer als: Ned Tijdschr Geneeskd. 2011;155:A3904

[➤ Meer op www.ntvg.nl/klinischepraktijk](http://www.ntvg.nl/klinischepraktijk)

## LITERATUUR

- 1 Haerkens M, Eijk R, Biert J. Luchttransport voor traumateams en patiënten. Ned Tijdschr Traumatol. 2001;9:130-4.
- 2 Simons M. Repatriëring van patiënten per vliegtuig: bezint eer ge begint. Ned Tijdschr Geneeskd. 1996;140:1944-7.
- 3 Jennings RT, Murphy DM, Aunon SM, Moon RE. Medical qualification of a commercial spaceflight participant: not your average astronaut. Aviat Space Environ Med. 2006;77:475-84.
- 4 Keuringsformulier Meevliegkeuring, WB 660. Soesterberg: Koninklijke Luchtmacht, Centrum voor Mens en Luchtvaart; z.j.
- 5 Wolfe T. The Right stuff. New York: Bantam Books; 1979.
- 6 Antuñano MJ, Baisden DL, Davis J, et al. Guidance for medical screening of commercial aerospace passengers. DOT/FAA/AM-06/1. Washington: Federal Aviation Administration; 2006.
- 7 Aerospace Medical Association Commercial Spaceflight Working Group. Position paper: suborbital commercial spaceflight crewmember medical issues. Aviat Space Environ Med. 2011;82:475-84.