

eertijds zo gesmade 'vroedvrouwenbloeddruk' prevaleert boven de 'ronde getallen' die de dokter prefereerde.⁶

De diastolische druk wordt afgelezen op het punt waarop de laatste toon is gehoord (Korotkoff fase V). Dus niet: het moment waarop de tonen plotseling omfloerst worden (Korotkoff fase IV) en ook niet het moment waarop men een latere (ontbrekende) toon zou verwachten.⁸ Bij kinderen en zwangere vrouwen en enkele uitzonderlijke categorieën patiënten met spontane vaattonen is men genoodzaakt het omfloersen ('muffling') van de tonen (fase IV) te noteren als diastolische waarde, uiteraard met vermelding van dit feit. Na de laatste toon wordt de manchet rap ontledigd ter voorbereiding op de volgende meting. Per zitting worden ten minste twee, en bij voorkeur drie auscultatorische metingen verricht, die afzonderlijk genoteerd worden.

CONCLUSIE

De orthodoxe indirecte bloeddrukmeting door middel van de kwikmanometer is vooralsnog onvervangbaar. Een professioneel gebruik van dit apparaat strekt zich uit

van voorzorgen (onderhoud) tot toepassing (procedure en nauwkeurigheid van aflezing).

LITERATUUR

- 1 Gezondheidsraad. Advies inzake Hypertensie. 's-Gravenhage: Staatsuitgeverij, 1983: 107-19.
- 2 Dunning AJ. Over de indirecte bloeddrukmeting. Ned Tijdschr Geneesk 1983; 127: 2147-8.
- 3 Anonymus. 1986 Guidelines for the treatment of mild hypertension: memorandum from a WHO/ISH meeting. Bull WHO 1986; 64: 31-5.
- 4 O'Brien E, O'Malley K. In: ABC of hypertension. London: British Medical Association 1987: 1-19.
- 5 Anonymus. Recommendations of human blood pressure determination by sphygmomanometers. Dallas: American Heart Association, 1987.
- 6 Anonymus. The 1988 report of the Joint National Committee on Detection, Evaluation, and Treatment of High Blood Pressure. Arch Intern Med 1988; 148: 1023-38.
- 7 Tift CP. Are the days of the sphygmomanometers past? Arch Intern Med 1988; 148: 518-9.
- 9 Frohlich ED. Recommendations for blood pressure determination by sphygmomanometers. Ann Intern Med 1988; 109: 612-3.

Aanvaard op 9 januari 1989

Capita selecta

Versnellingen in de luchtvaart

J. R. KROL

INLEIDING

Moderne vliegtuigen, vooral militaire jachtvliegtuigen, kunnen in korte tijd hoge snelheden bereiken en bij hoge snelheden manoeuvreren. Dit betekent, dat de inzittenden aan hoge versnellingen worden blootgesteld. Reeds tijdens de Tweede Wereldoorlog werden de problemen van hoge versnellingen duidelijk. Zo kwam het regelmatig voor dat piloten een 'blackout' kregen tijdens het optrekken uit een duikvlucht. Onderzoek van een aantal mysterieuze ongevallen tijdens nachtelijke vluchten bracht het effect van versnellingen op oriëntatie aan het licht, waarbij de noodzaak van goede vlieginstrumenten bleek. Onder normale omstandigheden is de zwaartekracht de enige versnelling die continu op het menselijk lichaam inwerkt. De mens is goed geadapteerd aan deze versnelling. Ondanks zijn rechtopgaande houding heeft de mens geen problemen met het bewaren van zijn evenwicht en met handhaving van de cerebrale doorbloeding. De zwaartekracht is altijd gericht naar het middelpunt van de aarde en is een belangrijk hulpmiddel bij het vaststellen van de positie van het lichaam ten opzichte van de aarde. Deze vorm van oriëntatie is vooral belangrijk bij het ontbreken van visuele referenties.

De grootte van de versnelling van de zwaartekracht is

Zie ook het artikel op bl. 395.

constant en bedraagt $9,8 \text{ m/s}^2$. Deze gravitatie-constante wordt aangeduid met de kleine letter 'g'. Elke andere versnelling die het lichaam ondergaat, wordt aangeduid met de hoofdletter 'G'. Hierbij is G het quotiënt van de ondergaane versnelling en de versnelling van de zwaartekracht. Onder normale omstandigheden is $G = 1$. Bij $2 G$ ondervinden we een versnelling van $2 \times 9,8 \text{ m/s}^2$, het gewicht van het lichaam is tweemaal zo groot geworden. De effecten van versnellingen op diverse functies van het lichaam zijn afhankelijk van de grootte, de richting en de duur van de versnelling.¹

SOORTEN VERSNELLINGEN

Tijdens vliegen kunnen drie soorten versnellingen ontstaan:²

– Lineaire versnellingen. Daarbij doet zich een verandering in snelheid voor, zonder verandering in richting. Voorbeelden hiervan met duidelijke invloed op het lichaam zijn een katapultstart, het inschakelen van de naverbrander in een straalvliegtuig, afremming door remkabels of remparachute. Hierbij kan door prikkeling van het vestibulaire apparaat een overdreven sensatie van stijgen of dalen optreden (desoriëntatie). Langdurige lineaire versnellingen treden op tijdens de lancering en

Nationaal Lucht- en Ruimtevaart Geneeskundig Centrum, Kampweg 3, 3769 DE Soesterberg.
J.R.Krol, internist.

de terugkeer van een ruimteschip. Kortdurende doch hoge lineaire versnellingen (vertragingen) ontstaan tijdens crashes, gebruik van een schietstoel en ontplooiing van een parachute. Het lichaam kan, goed beschermd door bijvoorbeeld veiligheidsgordels, hoge lineaire versnellingen of vertragingen van korte duur doorstaan. Getallen tot 40 *G* worden hierbij genoemd. Het gebruik van een schietstoel kan een versnelling geven van 25 *G*, de afremming door een opengaande parachute kan 8 *G* bedragen. Veelal bepaalt de sterkte van skeletstructuren eventuele lichamelijke schade. In het algemeen worden versnellingen loodrecht op de lengte-as van het lichaam beter verdragen dan die evenwijdig daaraan.

– Radiaire versnellingen. Deze ontstaan indien de bewegingsrichting verandert zonder verandering in snelheid. Dit is een van de meest voorkomende versnellingen in de luchtvaart. Bij het vliegen van een bocht of een 'loop', of een deel daarvan, treden deze versnellingen met hun centrifugale krachten op. De centrifugale kracht bij het vliegen van een circulair patroon kan berekend worden met de vergelijking

$$F = \frac{m \cdot v^2}{r},$$

waarbij *F* = centrifugale kracht, *m* = massa, *v* = omtreksnelheid, *r* = straal, of de hoeveelheid *G* die hierbij ondervonden wordt met:

$$G = \frac{v^2}{g \cdot r}.$$

Met moderne vliegtuigen is het mogelijk lange tijd waarden van 8 tot 10 *G* te bereiken. Radiaire versnellingen zijn vooral van belang door hun effect op het cardiovasculaire en pulmonale systeem.

– Angulaire versnellingen. Hierbij bestaan gelijktijdig optredende veranderingen in snelheid en richting. Een voorbeeld is de zogenaamde tolvlucht of 'spin'. Deze versnellingen hebben vooral een sterke invloed op het vestibulaire systeem, waardoor desoriëntatie en luchtziekte optreden.

DE RICHTING VAN DE VERSNELLING

Voor het beoordelen van de effecten van versnelling is het belangrijk te weten in welke richting deze plaatsvindt. De richting wordt daarbij gerelateerd aan een assenstelsel door het lichaam.³

– De x-as loopt in voor-achterwaartse richting. Een versnelling in voorwaartse richting gaat gepaard met +*G*_x. Een versnelling in achterwaartse richting met –*G*_x.

– De y-as loopt in zijwaartse richting. Een versnelling naar rechts gaat gepaard met +*G*_y, naar links met –*G*_y.

– De z-as loopt in de hoofd-voetrichting. Een versnelling in de richting van het hoofd gaat gepaard met +*G*_z, in de richting van de voeten met –*G*_z.

De effecten van versnellingen gepaard gaande met +*G*_z zullen nu verder worden besproken, behalve de invloed op oriëntatie, waaraan een aparte beschouwing gewijd zou kunnen worden.

EFFECTEN VAN VERSNELLINGEN IN DE RICHTING VAN HET HOOFD

Elke versnelling waarvan een component in de richting van het hoofd loopt, levert +*G*_z op. Dit gebeurt bijvoorbeeld tijdens de lancering van een ruimteschip, indien de inzittenden niet volledig plat liggen. Verder bij het vliegen van bochten of het optrekken uit een duikvlucht. In luchtvaartkringen wordt dit 'G-trekken' genoemd. De inzittende voelen zich zwaarder worden en in hun stoel gedrukt. Bij toenemende +*G*_z-belasting treden in het algemeen de volgende verschijnselen op:¹

– Toename van het gewicht van het lichaam met uitzakken van weke delen, hetgeen zichtbaar is aan het vervormen van het gelaat.

– Opstaan wordt moeilijker en is vanaf ongeveer +3 *G*_z niet meer mogelijk.

– Vanaf +3 *G*_z wordt het bewegen van de ledematen steeds moeilijker.

– Er treden visusveranderingen op. Het kleurensien verdwijnt ('grey-out') en de perifere gezichtsvelden vallen uit ('kokerzien').

– Rond +4,5 *G*_z ontstaat een volledig visusverlies, de zogenaamde black-out.

– Hierna treedt bewusteloosheid op, waarbij convulsies kunnen voorkomen.

De circulatie en versnelling in de richting van het hoofd.

De veranderingen in visus en bewustzijn zijn een gevolg van een afname van de bloedvoorziening van retina en hersenen.¹ Indien men compensatiemechanismen buiten beschouwing laat, bestaat het effect van +*G*_z uit een versterking van de hydrostatische effecten van de normale zwaartekracht.

De druk uitgeoefend door een kolom vloeistof (bloed) is afhankelijk van de hoogte van de kolom, de soortelijke massa en de versnelling die ze ondergaat. Verandering in de druk heeft effect op de inhoud van de bloedvaten, afhankelijk van de transmurale druk, de mate waarin een vat kan uitzetten en de beschikbare hoeveelheid bloed om het vat te vullen. Onder invloed van +*G*_z zal beneden het niveau van het hart de transmurale druk toenemen en veneuze 'pooling' optreden met een verminderde terugvloed van bloed naar het hart. Boven het niveau van het hart vermindert de bloeddruk en de bloedstroom en kunnen venen volledig collaberen. Indien de gemiddelde bloeddruk onder normale omstandigheden in de A. femoralis 140 mmHg en op cerebraal niveau 75 mmHg bedraagt, kan men bij +4,5 *G*_z waarden verwachten van respectievelijk 300 mmHg en 0 mmHg. Verlies van bewustzijn is dan onvermijdelijk.

Elke toename van 1 *G*_z veroorzaakt op ooghoogte een bloeddrukverlies van ongeveer 22 mmHg. Uitgaande van een oogboldruk van circa 20 mmHg wil dit zeggen dat de doorbloeding van de retina op een 1 *G*_z lager niveau, dus eerder dan de cerebrale doorbloeding, wordt verstoord. Visusstoornissen (grey-out en black-out) gaan dan ook bij toenemende +*G*_z-belasting vooraf aan het verlies van bewustzijn.

Tijdens het begin van het ondergaan van +*G*_z zal de bloeddruk op het niveau van het hart gaan dalen ten gevolge van afname van de perifere vaatweerstand door

toename van de transmurale druk en afname van de veneuze terugvloed door pooling. Blijft echter de +Gz-belasting voortduren, dan treedt na 6 tot 12 seconden compensatie op via het baroreceptorsysteem. Het gevolg is een vasoconstrictie en een tachycardie met een verbetering van de veneuze terugvloed en een weer toenemend hartminuutvolume. Er blijft echter een duidelijke pooling bestaan en het hartminuutvolume bereikt niet meer het oorspronkelijke niveau (bij +4 Gz 20% lager dan bij +1 Gz). Ten gevolge van de verhoogde transmurale druk treedt tevens oedeemvorming op (verkleining van het circulerende volume), hetgeen bij +4,5 Gz aanvankelijk 200 ml per minuut bedraagt.

Op cerebraal niveau zijn enkele beschermende mechanismen werkzaam. Tijdens +Gz-belasting neemt intracranieel de liquordruk af, waardoor ondanks de verminderde druk bloedvaten langer open blijven. Verder treedt een actieve dilatatie van de cerebrale arteriolen op. Als laatste is er het 'sifoneffect' van de grote halsvenen, waardoor bij waarden tot +4,5 Gz een drukverschil van 50 tot 60 mmHg wordt gehandhaafd tussen arteriële en veneuze kant van de cerebrale circulatie. Uiteindelijk zullen de halsvenen collaberen, waardoor de sifon onderbroken wordt, de cerebrale doorbloeding stopt en bewusteloosheid volgt.

De long en versnelling in de richting van het hoofd. Positieve Gz-belastingen doen het diafragma en de buikinhoud dalen, waardoor de functionele residuale capaciteit van de long toeneemt en uiteindelijk de vitale capaciteit afneemt. De ventilatie-perfusie-verschillen in de long nemen toe, de regionale verschillen zoals ze bij een staande persoon aanwezig zijn, worden geaccentueerd. Door toename van het gewicht van het longweefsel kunnen lagere delen worden gecompriëerd, waarbij distaal gelegen luchtwegen worden afgesloten en alveoli niet langer aan de ventilatie deelnemen.

De invloed van +Gz op de longcirculatie is relatief groot door de lage drukken in het systeem. Bij toenemende +Gz-belasting daalt het niveau in de bovenste longhelft waar de druk 0 mmHg bedraagt met 1 tot 2 cm per +Gz. Bij +4-+5 Gz is de gemiddelde druk in de A. pulmonalis in de gehele bovenste longhelft gedaald tot 0 mmHg. In lager gelegen longweefsel neemt de doorbloeding weer toe; ze neemt weer af in de laagst gelegen delen (waarschijnlijk door toename van de interstitiële druk).

De toename van het geventileerde en niet-doorbloede deel in de longtop vergroot de ventilatoire dode ruimte. De doorbloede doch niet geventileerde alveoli in de basale delen van de long vormen een rechts-links-shunt. Vooral dit laatste verschijnsel heeft een belangrijke invloed op de zuurstofsaturatie van het bloed. Bij +5 Gz bedraagt de arteriële zuurstofsaturatie circa 85%. Voorts bestaat er een kans op het ontstaan van atelectasen in de laag gelegen gecompriëerde delen van de long, vooral als bijvoorbeeld op grote hoogte 100% zuurstof wordt geademd.²

Overige effecten van versnelling in de richting van het hoofd. Behalve beschreven circulatoire en pulmonale problemen kunnen tijdens een hoge +Gz-belasting de

volgende aandoeningen optreden: huidbloedinkjes, scrotaal hematoom, supraventriculaire en ventriculaire hartritmestoornissen en compressiefracturen en wervels.¹

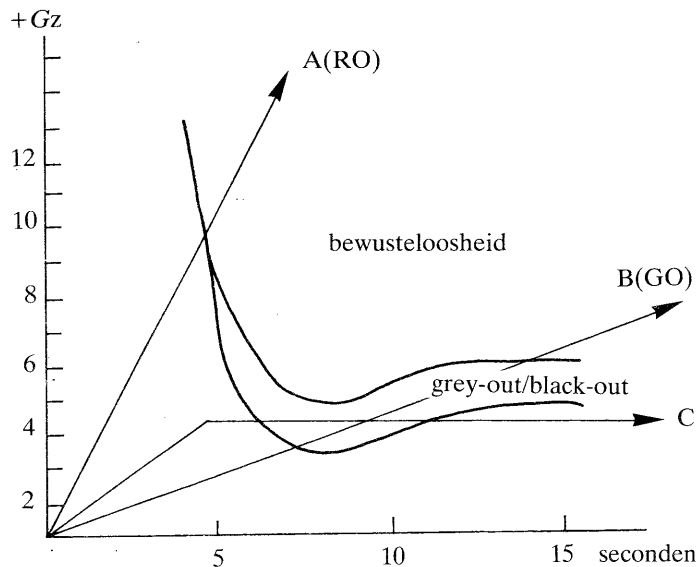
TOLERANTIE VOOR VERSNELLINGEN IN DE RICHTING VAN HET HOOFD

Het meest bedreigende verschijnsel bij het ondergaan van +Gz-belasting is de bewusteloosheid. Grey-out en black-out zouden dan als waarschuwing kunnen gelden voor de komende bewusteloosheid. Het moment van ontstaan en de tijdsduur van deze verschijnselen is echter sterk afhankelijk van de snelheid waarmee de +Gz-belasting wordt opgebouwd en de uiteindelijk bereikte +Gz-waarde. Uit proeven verricht met een 'mensencentrifuge' kon de curve weergegeven in de figuur geconstrueerd worden.

Uit deze curve blijkt, dat een snel en lang genoeg opgevoerde +Gz-belasting (lijn A, RO = rapid onset) vrijwel onmiddellijk bewusteloosheid tot gevolg heeft. Een geleidelijk opgebouwde +Gz-belasting (lijn B, GO = gradual onset) geeft eerst gedurende langere tijd symptomen grey-out en black-out, gevolgd door bewusteloosheid. Het herstel van de knik in de curve na 10 tot 15 seconden geeft het gebied aan waar de baroreceptorreflex effectief wordt. Lijn C, met een snelle +Gz-opbouw naar +4 Gz, heeft derhalve grey-out of black-out tot gevolg, welke verschijnselen na enige tijd weer verdwijnen.²

BESCHERMING TEGEN VERSNELLINGEN IN DE RICHTING VAN HET HOOFD

Er bestaat een aantal methoden om de 'G-tolerantie' te verhogen. Hiermee is het mogelijk grey-out, black-out en bewusteloosheid te verschuiven naar een hoger G-niveau.⁴ Een belangrijk hulpmiddel is de 'G-broek'.



Curve van de tolerantie van versnellingen in de richting van het hoofd (+Gz). De curve toont het moment van verandering in visus en bewustzijn, afhankelijk van de snelheid van G-opbouw, het G-niveau en de duur van de G-belasting. (RO: rapid onset, GO: gradual onset).

Deze broek bevat een aantal opblaasbare compartimenten rond de kuitspieren, de spieren van het bovenbeen en ter hoogte van de buik. De *G*-broek is via een 'G-klep' op een persluchtsysteem aangesloten. Deze klep regelt afhankelijk van het +*Gz*-niveau de druk in de compartimenten van de broek. Het effect is een leegknijpen van vaten en het tegengaan van pooling.

Verder past de piloot de zogenaamde 'straining' toe. Hierbij spant hij zijn spieren en verhoogt hij zijn intrathoracale druk door afwisselend te ventileren en te persen. Andere methoden blijven hier verder buiten beschouwing.

Het totale resultaat van deze 'G-protectie' is een aanzienlijke verbetering van de tolerantie. *Gz*-belastingen tot circa +9 *Gz* kunnen zo gedurende enige tijd verdragen worden.

RISICO'S VAN VERSNELLINGEN VOOR PASSAGIERS

Aan boord van een passagiersvliegtuig zult u niet aan *G*-waarden van enige betekenis worden blootgesteld. Het zal wat betreft *G*-belasting geen extra risico opleveren voor patiënten met hart- of vaatziekten of longziekten. Aan boord van een sportvliegtuig zijn, meestal kortdurende, hogere *G*-belastingen mogelijk, indien bepaalde kunstvluchten worden uitgevoerd. Overigens kan ook een vliegtuig door *G* overbelast worden, waardoor mechanische schade ontstaat of zelfs delen afbreken. Tijdens vluchten met bemande ruimteschepen worden meestal geen hoge *G*-waarden bereikt. Bovendien bevinden de astronauten zich dan in een houding waarbij de +*Gz*-vector klein is. Hoge +*Gz*-niveaus

komen met name voor in de militaire vliegerij. Met sommige jachtvliegtuigen kan zonder structurele schade aan het vliegtuig continu + 9 *Gz* of meer worden 'getrokken'.

Het is mogelijk hoge +*Gz*-waarden onder gecontroleerde omstandigheden en met medische bewaking op te wekken door middel van een mensencentrifuge. Een dergelijke centrifuge bevindt zich in het Nationaal Lucht- en Ruimtevaart Geneeskundig Centrum. De centrifuge kan gebruikt worden voor het testen van apparatuur, het trainen en medisch beoordelen van piloten, het verrichten van (vlieg)fysiologisch onderzoek.^{3,5} Pooling van bloed kan verder nog worden opgewekt door middel van de eveneens aanwezige lower body negative pressure-box. Voorts is, hoewel hier niet aan de orde, hoogtesimulatie mogelijk in hypobare caissons.

LITERATUUR

- 1 Sharp GR, Ernsting J. The effects of long duration acceleration. In: Dhenin G, Ernsting J, eds. Aviation medicine. London: Tri-Med Books, 1978: 208-49.
- 2 Environmental Tectonics Corporation (ETC). The third annual conference on aviation physiology. Sustained acceleration forces in aviation. Southampton, PA, USA: ETC, 1984.
- 3 Voge VM. Acceleration forces on the human subject. Aviat Space Environ Med 1980;51: 970-80.
- 4 Wood EH. Development of methods for preventing of acceleration induced blackout and unconsciousness in world war II fighter pilots. Limitations: present and future. Physiologist 1987; 30 (Suppl): 27-30.
- 5 Whinnery JE, Gondek MR. Medical evaluation of G-sensitive aircrewmembers. Aviat Space Environ Med 1978; 49: 1009-13.

Aanvaard op 7 maart 1988

Medische aspecten van de ruimtevaart

J. H. A. DAMBRINK, W. WIELING, J. M. KAREMAKER, J. R. KROL EN W. J. OOSTERVELD

De mens heeft maar weinig mogelijkheden om zich aan te passen aan ongebruikelijke levensomstandigheden. Luchtdruk, zuurstofgehalte van de lucht en omgevings-temperatuur moeten binnen relatief nauwe grenzen blijven. Het verblijf van de mens, als landdier, in de ruimte is pas mogelijk geworden, sinds er technische voorzieningen zijn waarmee een microklimaat wordt gecreëerd dat de aardse situatie zo goed mogelijk benadert. Wanneer

Zie ook het artikel op bl. 392.

een ruimtevaartuig in een baan om de aarde cirkelt met hoge snelheid, ontstaat een middelpuntvliedende kracht die de zwaartekracht vrijwel nivelleert. Deze situatie wordt micrograviteit genoemd.^{1,2} In een ruimtevaartuig zijn de klimatologische omstandigheden volledig beheersbaar, de zwaartekracht onttrekt zich echter aan elke bruikbare vorm van simulatie. Het ontbreken van de zwaartekracht heeft bij de mens belangrijke effecten op het evenwichtstelsel, het motorische systeem, de mineralstofwisseling en het cardiovasculaire stelsel.

Bij langdurig verblijf in de ruimte in een kleine geïsoleerde omgeving, spelen voedings- en sanitaire aspecten, psychische effecten en de gevolgen van kosmische straling in toenemende mate een rol.¹⁻³ In dit artikel worden de voornaamste gevolgen van een verblijf in de ruimte beschreven.

J. H. A. Dambrink, vliegerarts en huisarts, Br. Halbertsmastraat 21, 8802 ZW Franeker,.

Academisch Medisch Centrum, Amsterdam.

Afd. Inwendige Geneeskunde: dr. W. Wieling, internist.

Afd. Keel-, Neus- en Oorheelkunde: prof. dr. W. J. Oosterveld, KNO-arts.

Universiteit van Amsterdam, Fysiologisch Laboratorium, Amsterdam.

Dr. J. M. Karemaker, fysioloog.

Stichting Nationaal Lucht- en Ruimtevaart Geneeskundig Centrum, Soesterberg.

J. R. Krol, internist.

Correspondentie-adres: J. H. A. Dambrink.