

Inverterad arbetsställning

– studie över medicinska risker

Denna rapport ingår i Räddningsverkets serie av forsknings- och utvecklingsrapporter. I serien ingår rapporter skrivna av såväl externa författare som av verkets anställda. Rapporterna kan vara kunskapssammanställningar, idéskrifter eller av karaktären tillämpad forskning. Rapporten redovisar inte alltid Räddningsverkets ståndpunkt i innehåll och förslag.

Inverterad arbetsställning

-studie över medicinska risker

Bertil Månsson, konsultläkare, Räddningsverket

Jan Castenfors, doc klin.fys, Universitetssjukhuset MAS

Ingar Bergstrand, leg läk ögonklin, Universitetssjukhuset MAS

Per Wolmer, professor klin.fys, Univeritetssjukhuset MAS

Kajsa Olsson, leg läk klin.fys, Univeritetssjukhuset MAS

Konsultläkargruppen, Räddningsverket



Räddningsverkets kontaktperson:

Tom Thörn, Enheten för skadebegränsande verksamhet, telefon 054-13 52 78

Förord

Rapporten skrivs på uppdrag av Räddningsverket, Karlstad, för att undersöka om arbetsinsatser i 180 graders värme inverkerat kroppsläge eventuellt kan vara förknippade med några medicinska risker.

Rapporten är föranledd av en förfrågan från Räddningstjänsten i Skövde huruvida arbetsinsatser i 180 grader inverkerat kroppsläge eventuellt skulle kunna vara förknippade med några medicinska risker.

Rapporten grundar sig på undersökningar gjorda vid Räddningsverkets skola i Revinge.

Undersökningarna har kunnat genomföras tack vare ett tillmötesgående samarbete från personal och ledning vid Avdelningen för Klinisk Fysiologi och Ögonkliniken vid Universitetssjukhuset i Malmö samt Anestesikliniken vid Universitetssjukhuset i Lund. Dessutom har välvilliga brandmän ställt sin tid och kropp till undersökarnas disposition.

Innehållsförteckning

Abstract.....	7
Methods and materials.....	7
Results.....	7
Sammanfattning.....	9
Material och metoder.....	9
Resultat.....	9
Bakgrund/Inledning.....	11
Syfte.....	12
Förutsättning.....	13
Sex-minuterstest.....	14
Material.....	14
Metod.....	14
Omgång 1.....	15
Omgång 2.....	15
Omgång 3.....	16
Omgång 4.....	17
Resultat.....	18
Allmänna iakttagelser	18
EKG.....	18
Syrgassaturation.....	18
Ögonbottenfotografering.....	18
Ögats arteriella blodflöde.....	19
Bulbprotrusion.....	19
Synskärpa.....	19
Ekocardiografi.....	19
Spirometri.....	19
Finmotorisk förmåga.....	19
Femton-minuterstest.....	21
Material.....	21
Metod.....	21
Omgång 1.....	21
Omgång 2.....	22
Omgång 3.....	23
Resultat.....	24
Puls.....	24
Blodtryck.....	24
Hjärtats dimensioner.....	24
Hjärtats funktioner.....	24
Halsartär (a carotis)	24

Halsven (v jugularis).....	24
Vitalkapacitet (VC).....	26
Tidal volume.....	26
Andningsfrekvens.....	26
Minutventilation.....	26
Residualvolym (RC).....	26
Funktionell residualvolym (FRC).....	26
Dead space.....	26
Blodgaser.....	26
Intraockulärt tryck.....	27
Bulbprotrusion.....	27
Ögonbottenfoto.....	27
Synskärpa.....	28
Blodtryck.....	28
Finmotor.....	28
Diskussion.....	29
Slutsatser.....	32
Litteraturförteckning.....	33

Abstract

Sometimes rescue personal will be forced to operate in an inverted position to save people or animals from narrow funnels. This abnormal body position causes a change in the pressures within the body tissues and may affect the blood circulation, the respiration and other physiological processes in the body. This can result in different medical complications and in the end possibly threaten the health of the operating rescue personal.

Methods and materials

In order to evaluate the risk on the body of inverted bodyposition we have on ten healthy male firemen 25 – 45 years of age studied the medical effects after 6 and 15 minutes 180 degrees inversion of the body position on haemodynamic parameters as heart rate, blood pressure, EKG, UKG, eg. left ventricular dimensions and functions, blood flow and dimensions of the carotic artery, and respiratory parameters as ventilation rate, tidal volumes ventilation/minute, FEV1, airway- alveolar and physiological dead space, concentration of O² and CO² in blood samples, expiratory CO² concentration. Eye parameters as intraocular pressure, ocular bulb protrusion, visus, diameters of retinal veins, blood flow in the central retinal and ophthalmic arteries were also tested. Finally the fine motor ability was tested.

Results

We found a significant rise of the blood pressure, but there was no measurable effects on the heart rate, the diameters or blood flow parameters of the left ventricle or the carotic artery.

There was no significant changes concerning breathing rate, tidal volume, total lung capacity, airway or alveolar or physiological dead space, ventilation/min, or FEV1. Nor were there any significant effects on expiratory CO²-koncentration or on the blood levels of O² or CO².

The intra ocular pressure doubled immediately after inversion and the bulb protrusion rised significantly. We also found an elevated arterial retinal blood flow. The diameters of the retinal veins were rised 9,8 % (p<0,001). However the visual capacity was not influenced.

The manual adaptations test showed an elongation of used time from 51,3+-8,1 sec to 78,8+-20,8 sec (p<0,001) in the inverted position.

All parameters were essentially normalized 10 minutes after returned to upright position.

These results indicates that although there are different important physiolo-

gical effects of an inverted body position, it is of no harm to an young, not over weighted, healthy fireman to work in an up-side-down position for fifteen minutes.

Key word: *Inverted body position, medical effects*

Sammanfattning

Räddningstjänstens personal kan ibland i samband med räddningsinsatser av personer/djur som fastnat i trånga schakt tvingas arbeta hängande upp och ner för att kunna fästa en lyftanordning till den drabbade. Denna inverterade kroppsställning innebär förändrade tryckförhållanden i vävnaderna speciellt inom den övre kroppshalvan, och därmed ändrade förhållanden för andnings- och cirkulationsorganen. Dessa ändrade betingelser kan innebära negativa funktionsförändringar och eventuellt också risk för organskador.

Material och metoder

För att skapa en bedömningsgrund för de eventuella risker det kan medföra att arbeta i ett inverterat kropps läge har vi, på tio friska brandmän, 25 – 45 år gamla studerat effekterna av den inverterade kroppsställningen under 6 och 15 minuter på haemodynamiska parametrar som hjärtfrekvens, blodtryck, EKG, UKG dvs vänster hjärtkammars dimensioner och funktioner, blodflöde och diameter hos a. carotis. Lungfunktionen studerades som andningsfrekvens, andningsvolym, ventilation/min, FEV1, luftvägs- alveolärt- och fysiologiskt dead space, expiratorisk CO² konc., blodkonc av O² och CO², och ögonfunktionen studerades som intraockulärt tryck, ögonbulbens protrusion, synförmågan, blodflödet i a. centralis retinae och i a. oftalmica, ögonbottens vendiameter. Slutligen studerades den finmotoriska arbetsförmågan.

Resultat

Vi fann en signifikant stegring av blodtrycket, men ingen effekt på hjärtfrekvens, vänster kammars dimensioner eller funktionsparametrar och inte heller på diameter eller flödes hastighet i a. carotis.

Andningsfrekvens, andningsvolym, total lungkapacitet, ventilation/min, dead space, FEV1, expiratoriskt CO², liksom PaO² och PaCO² uppvisade inte några signifikanta förändringar.

Det intraockulära trycket dubblerades omedelbart efter inverteringen och bulbprotrusionen ändrades signifikant ($p < 0,0001$). Likaledes steg flödesparametrarna i de retinala venerna signifikant och vendiameteren i ögonbotten vidgades 9,8% ($p < 0,001$).

Synförmågan påverkades ej.

Den finmotoriska kapaciteten försämrades markant ($p < 0,001$).

Alla parametrar hade väsentligen normaliserats efter 10 minuters vila. Dessa resultat tillåter oss att konstatera att trots de betydande fysiologiska

effekter som framkommer vid invertering av kroppsläget, kan det inte anses kontraindicerat för en frisk icke överviktig ung brandman att arbeta 15 minuter hängande upp-och-ner.

Nyckelord: *Inverterad arbetsställning, medicinska effekter.*

Bakgrund/Inledning

Räddningstjänstens personal kan ibland i samband med räddningsinsatser av personer/djur som fastnat i trånga schakt tvingas arbeta hängande upp och ner för att kunna fästa en lyftanordning till den drabbade.

Denna inverterade kroppsställning kan innebära förändrade tryckförhållanden för de inre organen, spec. inom den övre kroppshalvan. Som en följd härav bedöms förutsättningarna för blodcirkulationen ändras.

Dessa ändrade betingelser kan innebära negativa konsekvenser för de utsatta organens funktioner såväl som risk för organskador.

Då inverterade arbetsställningar förekommer inom räddningstjänstens ordinarie verksamhet och då utbildning genomförs för denna arbetsform är det angeläget att kartlägga de medicinska risker som denna arbetsställning kan medföra.

Den inledningsvisa litteratursökningen via Medline databas, visade förekomst av ett flertal studier av cardiella och lungfysiologiska effekter vid 6 – 80 graders "head down tilt" under timmar till dygns observationstid (1, 2, 3, 10 och 12). Man har även under korta observationstider 2 - 5 min genomfört studier i 180 graders invertering och även då undersökt effekterna på ögonens tryck och cirkulation (4, 7 och 8). Man har vidare gjort studier på olika försöksdjur, (16 och 17). Dock saknas relevanta studier för en konklusiv riskanalys beträffande 15 minuters arbete i 180 grader inverterat kroppsläge.

Följande institutioner har vidare muntligen kontaktats, likaledes utan att klargörande information har kunnat erhållas:

- Arbetsmiljöinstitutet
- Flygvapnet, Flygmedicinsk Centrum
- Marinen, Navalmedicinskt Centrum
- Fysiologiska Institutionen vid Lunds Universitet
- Yrkesmedicinska Kliniken vid Lunds Universitet
- Yrkesinspektionen
- Previa företagshälsovård Lund

Syfte

Projektet avser att belysa effekten på de fysiologiska förhållandena inom respirationsorganen, cirkulationsorganen, synorganen samt på den finmotoriska arbetsförmågan och allmänbefinnandet, som den inverterade arbetsställningens förändrade tryckförhållanden under femton minuter förorsakar, samt utifrån dessa resultat göra en medicinsk riskbedömning.

Målsättningen med projektet är sålunda att undersökningsresultaten ska kunna bistå med nödvändig kunskap om de medicinska risker som kan förekomma. Därigenom skapas en grund för utformandet av rimliga säkerhetsföreskrifter för de aktuella räddningsuppdragen, såväl som för den utbildning som är nödvändig.

Förutsättning

De aktuella arbetsinsatserna, vilka givit upphov till denna studie, kan utsträcka sig i tiden till ca 10 – 15 minuter, varför målsättningen varit att undersöka de fysiologiska skeendena under 15 minuter.

Då kunskapen om risktagandet initialt varit begränsad, belutades att genomföra studien i två steg; först under 6 minuters, och om denna studies resultat så tillät, göra om studien under 15 minuter.

Etiska Nämndens vid Lunds Universitet godkännande har inhämtats för projektets genomförande i två steg enligt ovan.

Testerna redovisas separat som ”6-minuters-test” resp ”15-minuters-test”.

Sex-minuterstest

Material

Tio friska frivilliga brandmän med en genomsnittlig ålder på 35,5 år och genomsnittlig längd respektive vikt av 180 cm och 81,5 kg.

Metod

Inför, och i anslutning till, första testillfället genomgick försökspersonen en allmän läkarundersökning inkluderande hälsoanamnes, kliniskt status och vilo-EKG.

Testerna i ”sex-minuter – försöket” omfattade registrering av:

Puls, blodtryck, EKG, ekocardiografi (-studier av vänster kammars systoliska funktion och studier av klaffplansrörligheten – blodflödes hast), syrgasmättnad i blodet, max utandning/1 sek (FEV1), synförmåga, trycket i ögats kammare (IOP), protrusion av ögonbulben, blodflödes hastighet i ögonbottnartärer, vendiameter i ögonbotten, finmekanisk arbetsförmåga samt allmäntillstånd, subjektiva och objektiva observationer.

Testerna fördelades på fyra sex – minuters omgångar. Den första omgången genomfördes separat, medan de övriga gjordes i följd enligt nedan.

Varje test utfördes dels i vila (liggande alt. sittande), dels en eller flera gånger i 180 graders inverterat kroppsläge samt slutligen ytterligare en gång efter 10 minuters vila.

Viloperiod mellan testomgångarna: 20 minuter.

Testerna utfördes inomhus i 21 grader rumstemperatur, och ca 60 % luftfuktighet.

Den inverterade kroppsställningen arrangerades genom att försökspersonen försågs med madrasserade vristhylsor av hårdplast försedd med en låsbar knäppanordning. Framtill fanns en kraftig metallkrok fästad (bild 1). Hylsorna krokades fast till en lyftanordning, driven av en steglös elektrisk winch med betryggande lyftkraft. Härigenom kunde försökspersonen i 180 graders inverterat kroppsläge utan svårighet anpassas till försöksutrustningens positionskrav.



Bild 1. Vristfästen vid upphängning.

Omgång 1

Blodtryck, EKG, puls, blodets syresättning.

Inledningsvis sedvanlig läkarundersökning.

Blodtryck i höger arm, 12 cm manchett (Korotkov-ljud), korrelerat till hjärthöjd.

Vilo-EKG med sedvanliga bröst- och extremitetsavledningar, 6-kanalig skrivare, (Cardisuny OX 600 AX).

Blodets syrgasmättnad registrerades via en dopplersensor på vänster pekfinger.

De studerade parametrarna registrerades i liggande vila, efter 1, 3 samt 6 min. i 180 graders inverterat läge samt ånyo efter 10 min liggande vila.

Omgång 2

Blodtryck, puls samt ekocardiografisk hjärtundersökning.

Läkarundersökning.

Blodtryck höger arm, korrelerat till hjärthöjd.

Pulsregistrering och EKG övervakning via bröstkablar (motsvarande avl 1)

Ekocardiografi (UKG)

- vänster ventrikels diametrar i systole resp diastole
- flödet över mitralisklaffarna

- flödet i aorta ascendens
 - diameter å vänster cava sup (diameter på övre hålvenen)
- Tidsåtgång för UKG-undersökningen ca 120 sek. (HP Sonos 2500)

Registrering i liggande viloläge, och under 4:e–5:e testminuten i inverterat läge.

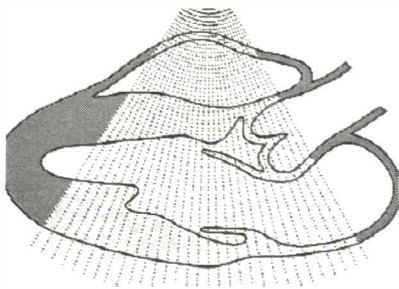


Bild 2. Ekocardiografisk genomskärning av hjärtats sagittalplan.

Omgång 3

Blodtryck, puls, tryckmätning i ögats kammarvätska, protrution av ögonbulben, mätning av ögonbottenvenernas diameter samt registrering av synskärpan.

Höger ögas pupill dilaterades med Tropicamidroppar och allm. ögonbottenundersökning utfördes för att utesluta patologiska förändringar.

Inför tryckmätningen gavs en droppe ytanestesi (oxybupokain 0,4%) i höger öga.

Trycket i kammarvätskan mättes med en portabel kontakt-tonometer (Bio-raid Tonopen XL).

Ögonbulbens protrution mättes enl Hertels teknik.

Ögonbottenfoto togs med Topocon TC 50 kamera. Mätningen av vendiameter på ögonbottenfoto utfördes maskerat.

Synskärpan bestämdes med hjälp av sedvanlig syntavla på 5 m avstånd.

Mätningarna utfördes i sittande, efter 6 min inverterat läge samt åter efter 10 min vila i sittande.

Omgång 4

Blodtryck, puls, blodflödeshastighet i ögonartärer, andningsfunktionsmätning och test av den finmotoriska kapaciteten.

Flödeshastigheten i ögats retrobulbära kärl (a.ophthalmica resp a.centralis retinae) registrerades med färgdopplertechnik (Acuson). Tidsåtgång 90-120 sek.

Andningsfunktionen mättes som forcerad expiratorisk kapacitet (FEV1) via sedvanlig spirometri.

Den finmotoriska förmågan mättes genom att försökspersonen på tid fick sammanfoga 10 fingängade skruvar av varierande storlek med passande muttrar.

Registreringarna gjordes i sittande, i inverterad ställning, varvid skruvtestet gjordes efter 4 minuter, blodflödesmätningen under 5:e-6:e testminuten följt av FEV1-undersökningen. Det hela upprepades efter 10 minuters vila i sittande enl. ovan.

För att undvika inlärningseffekt gjordes ”skruvtestet” växelvis först i sittande resp i inverterat läge”.

Puls och blodtryck korrelerat till hjärtlöjd registrerades.

Statistiska analyser enligt parat t-test enl Wilcoxon samt Friedman anova och Kendall concordance coeff.

Resultat

Allmänna iakttagelser

Samtliga testade upplevde initialt en spänningsvärk i ansikte-panna. Samtliga uppvisade en lätt till måttlig konjunktivit, och i ett fall noterades petechier i pannan. Den initiala spänningskänslan i pannan förvärrades inte under försökets gång. Samtliga uppgav att hörseln initialt påverkades; det lät "som om man stoppat huvudet i en tunna". Efter en stund, 1-2 min, återkom normal ljudupplevelse.

Synen rapporterades i två fall som övergående suddig. En person angav "bättre syn" i inverterat läge.

Ingen uppgav huvudvärk eller bröstsmärtor.

Undersökningspersonalen tyckte sig notera att flera testpersoners röstläge förändrades mot ett högre tonläge.

I ett fall, en överviktig person (BMI =33), noterades en suspekt sublaxation i en höftled, med smärta och rörelseinskränkning vid nedtagningen.

En person tvingades bryta p g a en vagal blodtryckreaktion i samband med ögontryckmätningen.

EKG

En lätt vänsterförskjutning av el-axeln noterades, men i övrigt inga EKG-mässiga förändringar i inverterat kroppsläge.

Syrgassaturation

Inget värde understeg 98% vare sig i vila eller i inverterat kroppsläge.

Ögonbottenfotografering

Diametern på den temporala uppåtgående retinalvenen uppmätt enligt bild 3, har i inverterat läge ökat från 428+-58 till 469+-52 mikrometer. Detta utgör en vidgning motsvarande 9,6%, vilket innebär en förändring med 5-%ig signifikansnivå. Ingen påvisbar förändring av diametern av a centralis retinae.

Ögats arteriella blodflöde

Under inverteringen ökade blodflödet i a. centralis retinae och a. oftalmica signifikant.

Bulbprotrusion

Ögonbulben trycktes ut vid invertering av kroppsläget mätt enl Hertel från $14,6 \pm 2,8$ till $18,3 \pm 2,3$ mm, vilket är en signifikant förändring.

Synskärpa

Synen förblev opåverkad av de ändrade tryckförhållandena.

Ekocardiografi

Hjärtats dimensioner och funktion påverkades, som framgår ur tabell 1, inte signifikant av det förändrade kroppsläget.

Spirometri

Andningskapaciteten mätt som forcerad expiratorisk kapacitet visade en nedgång från $5,2 \pm 0,5$ l till $4,8 \pm 0,4$ l i inverterat läge, en ej säkerställd förändring.

Finmotorisk förmåga

Det fordrades $36,4 \pm 3,1$ sek att korrekt sätta samman tio skruvar-muttrar i sittande ställning, medan tiden i inverterat läge uppmättes till $47,3 \pm 7$ sek, vilket innebär en förändring med 5%-ig signifikans.

Undersökning	sort	medelv.ligg.	SD	medelv. Invert.	SD	signifikans	
HR	Hjärtfrekvens	slag/min	67,7	7,3	73,6	14	ns
SBT	systol blodtryck	mmHg	127,5	7,9	142,5	10,9	<0,05
DBT	diastol blodtryck	mmHg	75,5	5	92,5	9,8	<0,01
Väks	Vä kammare diam systol	mm	56,7	4,5	53,6	4,1	ns
Väkd	Vä kammare diam diastol	mm	34,7	2,9	32,8	3,7	ns
Lad	Vä förmak diam diastol	mm	37,3	3,8	37,7	2,8	ns
FS	(Vkd-Vks)/Väkd	%	38,9	3,3	39,3	4	ns
Klrl	Klaffplansrörlighet	mm	15,3	1,1	16,4	1,9	ns
EF	ejektionsfraktion	%	75,5	5,3	82	9,5	ns
VTI	Vä kammare utfl.integral	cm	18	1,4	16,3	2,3	ns

Tabell 1. Effekt av inverterat kroppsläge under 6 minuter på hjärtfrekvens, blodtryck, hjärtdimensionersamt vänster kammares systoliska och diastoliska funktionsparametrar.

Undersökning	sort	medelv ligg/sitt	SD	medelv inv 6 min	SD	sign
Intraoc.tryck IOP	mm Hg	17,8	3,5	31,3	4,9	<0,01
Bulbprotrutionmm	14,6	2,8	18,3	2,3	<0,01	
<i>Flödesh a centr ret</i>						
Max hast i systole	cm/s	7,9	1,8	12,1	3,1	<0,01
Slut hast i diast	cm/s	2,2	0,6	6,1	2	<0,01
Resistiva index	0,72	0,07	0,5	0,1	<0,01	
<i>Flödesh i a ofthalm</i>						
Max hast i systole	cm/s	31,1	10,2	29,1	7,6	ns
Max hast i diast	cm/s	3,8	1,1	6,7	2,6	<0,01
Resistiva index	0,87	0,47	0,77	0,1	<0,01	
Vena temp diam	a enh	4,28	0,58	4,69	0,5	<0,05
Synskärpa	antal fel	1	0	1	0	ns

Tabell 2. Effekt av inverterat kroppsläge under 6 minuter på ögats intraokulära tryck, ögonbulbens protrusion, ögats artäriella och venösa blodflödesförhållanden samt synförmågan

Femton-minuterstestet

Material

Nio friska frivilliga brandmän i ålder 27,7 \pm 4.3 år, av längd 182,8 \pm 5,6 cm och vägande 79.6 \pm 5,8 kg.

Metod

Inledningsvis allmän läkarundersökning för att utesluta indisponerande tillstånd av infektiös eller annan natur. Testerna i denna försöksserie omfattade i likhet med sexminutersserien, registrering av puls, blodtryck, ekokardiografi, hjärtats dimensioner samt dess blodflödesförhållanden, halskärlets diametrar och blodflöden, ögats intraokullära tryck, ögats retinalvensdiametrar, Ögats retinalartärdiameter, ögonbulbens protrusion, synskärpa, andningsorganens volymer och funktioner, expiratorisk CO² koncentration, arteriell konc. av O² resp CO², finmekanisk förmåga samt det allmänna välbefinnandet. EKG följdes under UKG mätningarna som en singelavledning.

Försöksserien genomfördes i tre femtonminutersomgångar, varvid cirkulationsorganen undersöktes i den första, andningsorganen i den andra samt ögonparametrarna och finmotoriken i den tredje.

Den första och andra femtonminutersomgången gjordes i följd med 20 minuters mellanliggande vila. Den tredje omgången genomfördes vid ett separat tillfälle. Varje omgång inleddes med registrering av aktuella parametrar, varefter försökspersonen på tidigare beskrivet sätt inverterades 180 grader. Förnyade mätningar gjordes i tidig fas av inverteringen såväl som under slutminuterna. Vissa mätningar upprepades slutligen ånyo efter 10 minuters vila.

Omgång 1

Blodtrycket mättes med manchett på höger överarm med armen i hjärtnivå. Hjärtfrekvensen mättes med bröstelektroder. Hjärtats systoliska funktion studerades via ultraljud-dopplerteknik, varvid gjordes mätningar av hjärtats vänster-kammars förkortningsfraktion och klaffplanets rörlighet. Den senare parametern mättes från apikal projektion; två mätningar i 4-kammarbild och två mätningar i 2-kammarbild. Medeltalet av de fyra mätningarna angavs som klaffplansrörlighet. Förkortningsfraktionen beräknades, p g a det ändrade anatomiska hjärtläget då försökspersonen hängde upp och ned, från vänster kammars systoliska resp. diastoliska diametrar (nedanför klaffplanet) med en 2-D mätning i hjärtats sagittalplan, (se bild 2).

Med ultraljuds-duplexteknik mättes även halspulsåderns dimensioner, blodflöde och blodflödets maxhastighet. Också halsvenerna studerades.

Omgång 2

Höger a.radialis valdes för blodprovstagning avseende PaO^2 , PaCO^2 och PH. Vävnaden runt artären infiltrerades med ca 2 ml 0,5 % Xylocain varefter en venflonkanyl (diam. 0,80 mm) placerades intraarteriellt. Ur denna hämtades 5 ml blod för analys före, efter 1 min och 12 min i inverterat läge och åter efter 10 min vila.

Flera aspekter av lungornas funktion mättes i liggande och i inverterad kroppsställning. Statiska lungvolymerna mättes med hjälp av gasspädningsteknik. (Jaeger Masterscreen PFT). De statiska lungvolymerna avser vitalkapaciteten (VC), vilken utgör volymen av det maximala andetaget, residualvolymen (RV), vilken utgör volymen kvarvarande luft i lungorna efter en maximal utandning, den funktionella residualkapaciteten (FRC), vilken utgör volymen luft i lungorna efter en normal utandning samt den totala lungkapaciteten (TLC), vilken utgör volymen luft i lungorna efter en maximal inandning. Vid studier av dessa parametrar andas försökspersonen genom ett munstycke från en spirometer som innehåller 10% heliumgas. Denna gas är svårlöslig och tas inte upp i kroppen. Däremot fördelas den i hela lungvolymen då man andas i spirometern. Med kännedom om koncentrationen av helium i systemet före och efter någon minuts andning i spirometern kan dessa lungvolymerna beräknas.

Flödesmotståndet i luftrören mättes med oscillationsteknik. Denna teknik innebär att man under vanlig andning applicerar små tryckvariationer i det munstycke varur försökspersonen andas. Tryckvariationerna genereras via en högtalare. De förändringar i tryck och flöde under andningscykeln som de externa tryckvariationerna ger upphov till mätes och analyseras. På detta sätt kan det aktuella motståndet i luftrören beräknas.

Endast en del av den luft som andas in i ett andetag når lungblåsorna, där utbytet av syrgas och koldioxid sker. Resten av andetaget stannar i luftrören och de övre luftvägarna. Denna del av andetaget kallas det skadliga rummet (dead space). Detta utgör vid normal viloandning till ca 25% av andetaget. Dead space mättes genom analys av utsköljningen koldioxid under normal andning. Försökspersonen andas via ett munstycke i en mätutrustning som mäter utandad volym och koncentration av koldioxid i den utandade luften. Koncentrationen av koldioxid i utandningsluften relateras till den samtidigt mätta koncentrationen av koldioxid i artärblod. Man kan då beräkna den andel av den utandade volymen som inte deltagit i eliminationen av koldioxid, dvs dead space.

Mätningarna som tog ca 120-180 sek i anspråk gjordes i liggande, under 1:-3:e resp under 13:-15:e försöksminuten.

Omgång 3

Höger öga valdes för tryckmätning, mätning av bulbprotrusion samt ögonbottenfoto, medan synskärpan registrerades från vänster öga.

Före studiestart gavs en droppe tropikamid i höger öga för att erhålla dilatation av pupillen, och ögat undersöktes med ophthalmoskopi för att utesluta patologi i ögonbotten.

Ögontrycket (IOP) undersöktes i liggande och sittande före inverteringen. Därefter registrerades IOP vid 3 tillfällen, omedelbart efter invertering, efter ca 6 min och i slutminuten.

För registreringen användes en portabel kontakt –tonometer (Bioraid Tonopen XL). Inför tryckmätningen gavs en droppe ytanestesi (Oxybupokain 0,4%) i höger öga.

Bulbprotrusionen uppmättes med Hertels exoftalmometer och ögonbottenfoto togs med Topcon TC 50 kamera. Dessa undersökningar genomfördes sittande, i början och slutet av inverteringen och upprepades igen efter 10 minuters vila. Mätning av vendiameter utfördes maskerat från ögonbottenfotografierna.

Synskärpa avlästes på 5-meterstavla sittande, inverterat och åter i sittande kroppsläge.

Blodtrycket uppmätt och korrelerat till hjärtlöjd monitorerades genomgående.

Resultat

Puls

Jämfört med horisontalläge erhöles i inverterst kroppsläge en ej signifikant tendens till lägre hjärtfrekvens, vilken ej tilltar under 15 minuter i hängande kroppsläge.

Blodtryck

En signifikant ökning av det systoliska och diastoliska blodtrycket erhöles.

Hjärtats dimensioner

Ingen signifikant påverkan på vänster kammars diameter noterades vare sig i systole eller diastole.

Hjärtats funktioner

Ingen signifikant skillnad uppmättes avseende förändring i klaffplansrörlighet eller förkortningsfraktion.

Halsartär (a carotis)

Varken diameter, blodflöde eller blodflödets maxhastighet påverkades signifikant.

Halsven (v jugularis)

Uppmätt diameter ökade med mer än 100%, men inga standardiserade mätningar kunde genomföras p g a kärlens komprimerbarhet.

Mätvärdena framgår av tabell 3

Undersökning	Sort	medelv ligg. 0-2 min	medelv invert. 13-15 min	sign
Hjärtfrekvens 63,4+-11,4	slag/min ns	70,2+-10,3	64,0+-11,8	ns
Syst. Blodtryck 138+-7	mm Hg 0,004	125+-18,5	144+-10	0,01
Diast. Blodtryck 93+-7,5	mm Hg 0,004	79+-9,5	91+-10	0,02
Vä kammardiam. 51,5+-6,7	mm Ns	52,4+-2,7	51,4+-5,9	ns
Förkortn.fraktion 25,7+-5,2	% Ns	30,3+-2,2	26,6+-5,0	ns
Klaffplansrörl. 16,0+-1,9	mm Ns	16,5+-2,4	15,4+-1,4	ns
A carotis diam 0,063+-0,05	cm Ns	0,63+-0,05	0,64+-0,06	ns
-"- mean flow 41+-7,9	cm/sek Ns	38+-5,9	43+-8,9	ns
-"- flöde 0,71+-0,09	l/min Ns	0,67+-0,10	0,80+-0,2	ns

Tabell 3. Hjärtfrekvens, systoliskt och diastoliskt blodtryck, hjärtats dimensioner och flödesförhållanden samt halspulsåderns diameter och flöde under vila och i inverterat kroppsläge.

Vitalkapacitet (VC)

I liggande erhöles en lungvolym som var oförändrad jämfört med den i inverterat kroppsläge, 5,22 resp. 5,23 liter.

Tidal volume

Andetagens volym ökade från 1112 \pm 660 ml i vila till 1245 \pm 871 ml efter 12 min invertering. Förändringen är inte signifikant, ($p=0.45$)

Andningsfrekvens

Antalet andetag per minut ändras ej signifikant. I vila var frekvensen 12,7/min och i inverteringens slutfas 12,3/min, ($p=0,59$).

Minutventilation

Man noterade en viss men ej säkerställd ökning från 11,8 \pm 3,3 l i vila till 13,3 \pm 2,8 l efter 2 min invertering till slutligen 12,9 \pm 4,7 l i slutminuten ($p=0,23$).

Residualvolym (RC)

Mätningarna av denna parameter gav p g a tekniska problem, (drifting), inte bearbetningsbara resultat.

Funktionell residualvolym (FRC)

Denna parameter ökade något, från 2,4 l till 2,8 l, vid invertering. Ökningen dock ej signifikant ($p=0.085$).

Dead space

Studierna av dead space innefattade tre olika mått; alveolärt ds, airway ds och fysiologiskt ds. Alla antyder en viss ökning då försökspersonen vänds 180 grader, men värdena är ej signifikant säkerställda ($p_{alv}=0,09$, $p_{airw}=0.5$ och $p_{fysiol}=0,06$).

Blodgaser

Syrgastensionen ändrades inte under försöket, 13.3 \pm 1,0 mmHg före och 13,3 \pm 0,6 mm Hg efter 15 minuters invertering. Koldioxidtensionen uppvisade en antydd sänkning från 5,4 \pm 0,5 mmHg före till 5,0 \pm 0,9 efter 15 minuters invertering och PH – värdet uppmättes före till 7,42 \pm 0.02 och efter 15 minuter inverterat läge till 7,44 \pm 0,03

Intraockulärt tryck

Medel IOP före invertering i liggande var 18,0 mmHG. I sittande sjönk trycket signifikant till 15,7 mmHg ($p=0,003$).

Vid 180 graders kroppsinvetering fann vi en momentan signifikant IOP stegring till medel-IOP 34,6 mm Hg ($p<0,0001$).

Efter den initiala tryckökningen fann vi ingen ytterligare förändring av IOP; efter 6 minuter låg trycket på 34,3 mm Hg och efter 15 minuter var det 34,4 mm Hg.

Vid återgång till liggande sjönk medel IOP direkt (efter 1 minut) till 24,2 mm Hg, vilket dock var signifikant högre än utgångs IOP i liggande ($p=0,003$).

Se bild 3.

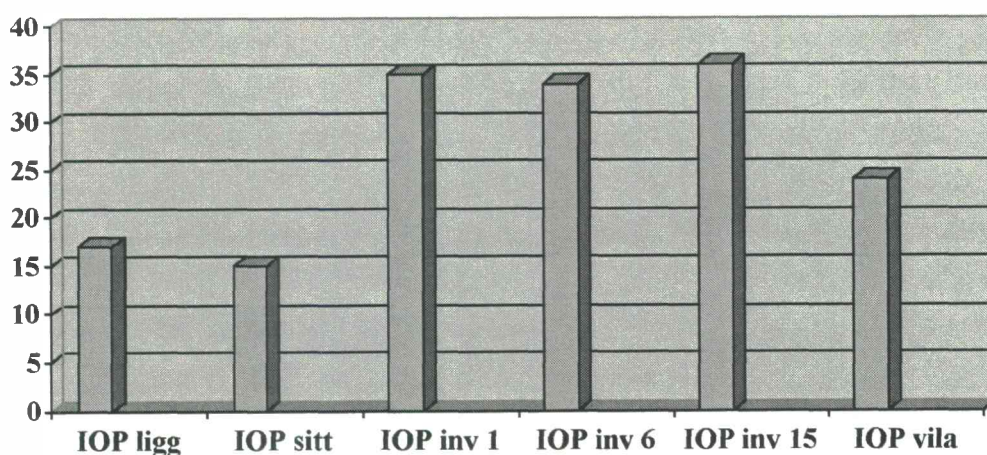


Bild 3. Intraockulära trycket i liggande, sittande och inverterat kroppsläge.

Bulbprotrusion

Medelvärde av bulbprotrusionen mätt enligt Hertel i sittande var 13,7 \pm 1,4 mm. Vid inverterat kroppsläge fann vi en signifikant momentan ökning till 15,9 \pm 1,2 mm ($p<0,001$). Denna ökning tilltog sedan något dock ej signifikant till 16,5 \pm 1,4 mm ($p=0,16$) i slutet av inverteringen. Efter återgång till sittande minskade protrusionen signifikant till 14,7 \pm 1,3 mm ($p=0,0018$). Dock var bulbprotrusionen signifikant större i sittande efter inverteringen än före ($p=0,015$).

Ögonbottenfoto

I inverterat kroppsläge fann vi en signifikant ökad vendiameter på ögonbottenfoto, mest uttalad i tidig inverteringsfas 9,8% ($p<0,001$). I sittande efter invertering återtog blodkärnen sin utgångsdiameter. Vi fann också en tendens till minskad artärdiameter vid inverterat kroppsläge, denna förändring var dock ej signifikant ($p=0,23$). Se fig 5.

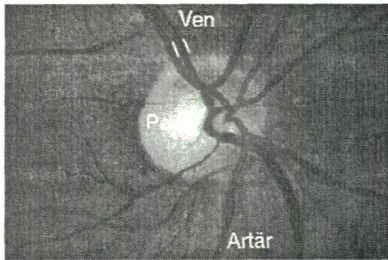


Bild 4. Ögonbottenfoto.

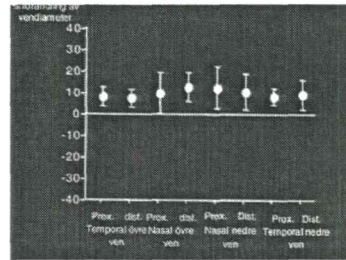


Bild 5. Ökning av retinalvaskulär diameter.

Synskärpa

I medeltal fann vi visus 0,97 i sittande före invertering och synskärpan påverkades inte signifikant under inverteringen ($p=0,16$).

Blodtryck

Medelblodtrycket (MAP) var i liggande $91,5 \pm 6,9$ mm Hg, sjönk något i sittande dock ej signifikant till $88,0 \pm 7,5$ mm Hg. I inverterat kroppsläge steg MAP momentant till $98,3 \pm 7,0$ mm Hg ($p < 0,0001$), och låg sedan kvar på denna nivå. Efter återgång till liggande sjönk MAP till $93,7 \pm 6,5$ mm Hg och ytterligare något till $89,8 \pm 7,9$ mm Hg i sittande.

Finmotor

Fyra personer genomförde skruvtestet först i inverterat kroppsläge och därefter i sittande, medan fem personer gjorde testet i omvänd ordning. Det tog i sittande $51,3 \pm 8,1$ sek att montera samman tio fingängade skruvar med passande muttrar, medan det åtgick $78,7 \pm 20,8$ sek i inverterat läge, således signifikant långsammare ($p=0,0007$).



Bild 6. Test av finmotorik.

Diskussion

I den föreliggande undersökningen har studerats effekten av det inverterade kroppsläget på olika fysiologiska skeenden under 6 och 15 minuters exponering.

Då kroppen inverteras 180 grader antages bukens organ pressa mot och i viss mån komprimera lungvävnaden. Vidare förs blod från ben och bukorgan mot brösthålan och huvudet. Dessa förhållanden har i tidigare studier visats påverka lungornas och hjärtats funktioner (1, 2, 3, 10, och 12). Man har också visat att den ökade blodmängden i hals-huvudregionen har inverkan på de haemodynamiska förhållandena främst extracraniellt (4, 7 och 8), men ev också intracraniellt (5, 13 och 15). Flertalet studier har gjorts enligt försöksmodeller där försökspersonen under 1-5 minuter tippats med huvudet i olika gradtal under horisontalplanet (6 – 80 grader), medan ögonstudierna (4, 7 och 8) och djurstudierna (16 och 17) är gjorda i 180 graders invertering.

Man har i djurstudier (16), försökt klarlägga den ultimata risken med att invertera kroppsläget, varvid man visar att döden, för kaniners vidkommande, inträder efter 17–44 tim och att den sannolika dödsorsaken beror på kvävning orsakad av utmattning av andningsmuskulaturen. Man har i en långtidsstudie med råttor som försöksdjur under 14 dygn konstaterat att den perifera kärlresistansen minskade med 37%, cardiac index ökade med 65% samtidigt som medelblodtrycket inte ändrades. Lokala blodflödesmätningar visade att blodflödet i hjärnan ökade 63% och i frambenen med 215 %. Man visade också att en råttor kan överleva hängande upp och ner i 14 dygn och att de uppmätta flödesförändringarna återgick till utgångsnivån efter 24 timmars i horisontalläge.

I föreliggande sex minuters studie på människa, visar vi att det systoliska och diastoliska blodtrycket stiger utan samtidig påverkan på hjärtfrekvens eller vä hjärtkammarers funktion. Detta talar för att hjärtats minutvolym är väsentligen oförändrad och att blodtrycksstegringen beror på en ökad perifer resistans. Dessa observationer har vi nu visat gälla även under den 15 minuter långa observationstiden. Till förklaringen av denna haemodynamiska stabilitet i inverterat hjärtläge kan bidra att maximala optimala haemodynamiska förhållanden föreligger i horisontalläge. Katkov et al (13) finner vid head down 20 grader också en ökning av det systoliska blodtrycket men även en ökning av hjärtfrekvensen och cardiac output, något som inte framkommer vid 180 graders invertering i vår studie. Heckmann et al (15) finner däremot att 80 graders invertering under 60 sekunder signifikant sänker hjärtfrekvensen men inte påverkar medelblodtrycket. De finner också med transcutan mätteknik, en oförändrad CO₂ koncentration i blodet.

I en studie av Loeppky et al (1) visas att 20 minuter i 30 graders invertering orsakar en 6%-ig sänkning av flödet i a carotis, något som motsäges av våra fynd. Man redvisar också en ökning av CO² koncentrationen i utandningsluften under den första minuten liksom en ökning av minutventilationen och tidalvolymen. Våra resultat är ej direkt jämförbara med detta, då de responderar till 15 minuters invertering i 180 grader. Att vi inte finner några förändringar kan bero på att autoregulatoriska mekanismer involverats vid den mer uttalade inverteringen.

I 6-min-studien bedöms andningsfunktionen enbart utifrån den forcerade expiratoriska förmågan (FEV1), vilken ej visar på någon signifikant förändring. Under 15-min-studien gör vi en mera ingående värdering av lungfunktionen, varvid studeras de ändrade tryckförhållandenas inverkan på lungornas volymer, funktion samt effekt på blodets syresättning. Resultaten visar inte någon signifikant effekt på någon av dessa parametrar. Den förväntade ökningen av det skadliga rummet ses ej. Detta talar för att andningsmuskulaturen även under en måttligt lång period förmår motverka bukorganens lungvävskomprimerande kraft.

Det intraockulära trycket fördubblas och den huvudsakliga ökningen inträffar omedelbart efter inverteringen. Denna observation korresponderar väl med de fynd som Friberg et al och Le Marr et al rapporterar (4, 7 och 8). Under resterande 15 minuter ökar trycket endast marginellt. Detta tolkas som att de vid inverteringen ändrade tryckförhållandena leder till ett omedelbart stastillsånd på vensidan vilket orsakar ett avflödes hinder och därmed ett ökat tryck.

Detta överensstämmer väl med ögonbottenfotograferingen som visar på en venös stasbild, även den mest uttalad i tidigt inverteringskedde. Av ögonbottenfotona framkommer även en antydd minskning av den arteriella kärldvidden vid inverteringen, något som överensstämmer med dopplermätningar som nyligen gjorts av Heckmann et al (15).

Protrusionen av ögonbulben utvecklas något långsammare liksom återgången till utgångsstatus, vilket kan bero på att den bakomliggande mekanismen skulle kunna vara bildandet av ett retrobulbärt ödem. Denna teori sammanfaller med de fynd som Caprihan et al (5) beskriver i sin undersökning där man med MR-teknik har studerat vävnadsvätskornas fördelning vid 13 graders "head down tilt". Han beskriver där fynd som kan tyda på att vätska lämnar blodbanan introculärt som exudat och sålunda kan ge upphov till ett retrobulbärt ödem.

I sexminuterstestet noteras en ökning av flödes hastigheten i de retrobulbära artärerna samtidigt som resistivt index, ett mått på den perifera vaskulära resistansen minskar. En möjlig förklaring till detta fenomen skulle kunna vara att dessa flödesförändringar utgör en extracraniell shuntmekanism för

det cerebrala blodflödet. Zhang et al har emellertid i en färsk studie, maj 2000, (6) visat att under de 5 första sekunderna under invertering men ökar resistans index för att därefter återgå till utgångsvärdet. Synskärpan förblir dock opåverkad av tryck- och flödesförändringarna.

Den finmotoriska arbetsförmågan, studerad som ett enkelt monteringstest, visar en lätt men dock signifikant försämring efter 15 minuters invertering. Denna förändring kan möjligen ha ett samband med den muskullära sympatiska nervaktiviteten, vilken Nagaya et al (11) i sin studie har visat sjunker 31 % efter 10 minuters invertering i 30 grader.

De allmänna observationer som noterades angående conjunctivit och hudrodnad i huvud-halsregion överensstämmer med vad Friberg et al rapporterar (4 och 8).

Det bör påpekas att stor kroppsvikt utsätter, med vår upphängningsmetod, höfter och knäleder för stora påfrestningar. I våra försök noterade vi en suspekt sublaxation i en höftled hos en överviktig brandman.

Slutsatser

1. Under femton minuter i inverterat kroppsläge har konstaterats:
 - a. det systoliska och diastoliska blodtrycket stiger
 - b. hjärtats dimensioner och funktion förändras ej
 - c. andningsorganens volymer och funktioner påverkas ej
 - d. blodets syresättning påverkas ej
 - e. det intraockulära trycket stiger
 - f. diametern på ögonbottens vener ökar
 - g. ögonbulbens protrusion ökar
 - h. synskärpan är oförändrad
 - i. conjuntivit konstateras hos alla
 - j. den finmotoriska förmågan avtar
 - k. hos överviktiga kan höftledsluxation ske

2. De konstaterade förändringarna normaliseras väsentligen efter 10 minuters vila. Inga bestående men har kunnat konstateras.

3. Femton minuters inverterat kroppsläge kan hos allmänt friska, icke överviktiga män, yngre än 45 år, icke anses vara behäftat med någon allvarlig medicinsk risk.

Litteraturförteckning

1. Loeppky JA, Hirshfield DW, Eldridge MW
The effects of head-down tilt on carotic blood flow and pulmonary gas exchange.
Aviat Space Environ Med 1987 Jul;58 (7): 637-44
2. Soubrian C, Harant I, de Glisezinski I, Beauville M, Crampes F
Riviere D Garrigues M
Cardio-respiratory changes during the onset of head-down tilt
Aviat Space Environ Med 1996 Jul; 67 (7): 648-53
3. Powers SK, Stewart MK, Landry G
Ventilatory and gas exchange dynamics in response to head-down tilt with and without venous occlusion.
Aviat Space Environ Med 1988 Mar;59 (3): 239-45
4. Friberg TR, Sanborn G, Weinreb RN
Intraocular and episcleral venous pressure increase during inverted posture
Am J Ophthalmol 1987 Apr 15; 103 (4): 523-6
5. Caprihan A, Sanders JA, Cheng HA, Loeppky JA
Effect of head-down tilt on brain water distribution.
Eur J Appl Physiol 1999 Mar;79 (4): 367-73
6. Zhang WX, Zhan CL, Geng XU, Lu X, Yan GD, Chu X
Cerebral blood flow velocity by transcranial Doppler during a vertical-rotating table simulation of the push-pull effect.
Aviat Space Environ Med 2000 May;71 (5): 485-8
7. Le Marr JD, Golding LA, Adler JG
Intraocular pressure response to inversion.
Am J Optom Physiol Opt 1984 Nov;61 (11): 679-82
8. Friberg TR, Weinreb RN
Ocular manifestations of gravity inversion
JAMA 1985 Mar 22-29; 253(12): 1755-7
9. Cunningham DA, Petrella RJ, Paterson DH, Nichol PM
Comparison of cardiovascular response to passive tilt in young and elderly men
Can J Physiol Pharmacol 1988 Nov;66 (11): 1425-32
10. ten Harkel AD, Beck L, Karemaker JM
Influence of posture and prolonged head-down tilt on cardiovascular reflexes.
Acta physiol Scand Suppl 1992;604:77-82

11. Nagaya K, Wada F, Nakamitsu S, Sagawa S, Shiraki K
Responses of circulatory system and muscle sympathetic nerve activity to head-down tilt in humans.
Am J Physiol 1995 May;268(5 Pt 2):R1289-94
12. Sloan RP, De Meersman RE, Shapiro PA, Bagiella E, Chernikova D, Kuhl JP, Zion AS, Paik M, Myers MM
Blood pressure variability responses to tilt are buffered by cardiac autonomic control.
Am J Physiol 1997 Sep;273(3 Pt 2): H 1427-31
13. Katkov VE, Chestukhin VV, Lapteva RI, Yakovleva VA, Mikhailov VM, Zybin OK, Utkin Vn
Central and cerebral hemodynamics and metabolism of the healthy man during headdown tilting.
Aviat Space Environ Med 1979 Feb;50 (2): 147-53
14. Fu Q, Sugiyama Y, Kamiya A, Mano T
A comparison of autonomic responses in humans induced by two simulation models of weightlessness: lower body positive pressure and 6 degrees head-down tilt
J Auton Nerv Syst 2000 Apr 12;80(1-2): 101-7
15. Heckmann JG, Hilz MJ, Hagler H, Muck-Weymann M, Neundorfer B
Transcranial Doppler sonography during acute 80 degrees head-down tilt (HDT) for the assessment of cerebral autoregulation in humans.
Neurol Res 1999 Jul;21(5):457-62
16. Uchigasaki S, Takahashi H, Suzuki T
An experimental study of death in a reverse suspension.
Am J Forensic Med Pathol 1999 Jun;20(2):116-9
17. Somody L, Fagette S, Blanc S, Gharib C, Gauquelin-koch G
Regional blood flow I conscious rats after head down suspension.
Eur J Appl Physiol Occup Physiol 1998 Sep;78(4):296-302



Räddningsverkets bibliotek
Karlstad



26152002526

Räddningsverket, 651 80 Karlstad
054-13 50 00, telefax 054-13 56 05

Beställningsnummer P21-373/01. Telefax 054-13 56 05, t
ISBN 91-7253-106-1



Ps: oh

Inventerad