

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**

**Faculdade de Medicina**

**Programa de Pós-Graduação em Ciências Pneumológicas**

**REANIMAÇÃO CARDIOPULMONAR EM AMBIENTE  
AEROESPACIAL**

**João de Carvalho Castro**

**Porto Alegre**

**2006**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**

**Faculdade de Medicina**

**Programa de Pós-Graduação em Ciências Pneumológicas**

**REANIMAÇÃO CARDIOPULMONAR EM AMBIENTE  
AEROESPACIAL**

**Autor: João de Carvalho Castro**

Professores Orientadores:

**Prof. Dr. José da Silva Moreira**

**Prof<sup>ª</sup>. Dra. Thais Russomano**

Tese submetida para obtenção do grau de Doutor  
do Programa de Pós-Graduação em Ciências  
Pneumológicas da Universidade Federal do Rio  
Grande do Sul

**PORTO ALEGRE  
RIO GRANDE DO SUL - BRASIL**

**2006**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação ( CIP )

**C355r Castro, João de Carvalho**  
**Reanimação cardiopulmonar em ambiente**  
**aeroespacial / João de Carvalho Castro. – Porto**  
**Alegre, 2006.**  
**71 f. : il.**

**Tese (Doutorado em Ciências Pneumológicas) –**  
**UFRGS, Fac. de Medicina.**  
**Orientação: Dr. José da Silva Moreira, Dr<sup>a</sup>. Thais**  
**Russomano.**

1. Medicina. 2. Medicina Aeroespacial. 3. Parada  
Cardíaca. 4. Ressuscitação Cardiopulmonar. 5.  
Microgravidade. I. Moreira, José da Silva. II. Russomano,  
Thais.

**CDD 616.12**

**Ficha Catalográfica elaborada por**  
**Vanessa Pinent**  
**CRB 10/1297**

### **III**

#### **DEDICATÓRIA**

À minha esposa, Rosirene;

Aos meus filhos, João Pedro e Antônia;

Aos meus pais, João e Enóe e, à minha irmã, Elizabeth;

## IV

### AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Moreira, pela oportunidade e orientação;

À Dra. Thais, um especial agradecimento à amiga e parceira de trabalho,

pela orientação e pelo exemplo de determinação;

Ao Prof. John Ernsting, uma referência ímpar;

À Fundação Ruben Berta.

**SUMÁRIO**

<b>DEDICATÓRIA</b>	III
<b>AGRADECIMENTOS</b>	IV
<b>SUMÁRIO</b>	V
<b>LISTA DE TABELAS</b>	VI
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	VIII
<b>ABREVIATURAS</b>	IX
<b>RESUMO</b>	X
<b>ABSTRACT</b>	XI
<b>INTRODUÇÃO</b>	1
<b>OBJETIVOS</b>	35
<b>MATERIAL E MÉTODOS</b>	36
<b>RESULTADOS – AMBIENTE AÉREO</b>	50
<b>DISCUSSÃO – AMBIENTE AÉREO</b>	51
<b>CONCLUSÕES – AMBIENTE AÉREO</b>	54
<b>RESULTADOS – AMBIENTE ESPACIAL</b>	55
<b>DISCUSSÃO – AMBIENTE ESPACIAL</b>	57
<b>CONCLUSÕES – AMBIENTE ESPACIAL</b>	61
<b>REFERÊNCIAS</b>	62
<b>ANEXOS</b>	71

## VI

### LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Gases respiratórios e sua relação com a altitude	11
Tabela 2 - Dados comparativos entre as diversas abordagens para RCP em microgravidade	61

## VII

### LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Corrente da Sobrevivência do adulto	3
Figura 2 – Sistema de captação do ar para pressurização e ventilação da cabine	9
Figura 3 – Elevador em queda livre, simula a microgravidade encontrada em órbita, indivíduo não diferencia as situações que são equivalentes, queda livre e flutuação em órbita	16
Figura 4 – Canhão de Newton	17
Figura 5 – A-300, configuração externa da aeronave	22
Figura 6 – A-300, configuração interna da aeronave	23
Figura 7 – A-300, área de testes, dimensões em milímetros	23
Figura 8 – A-300, área de testes (central), assentos para decolagem e pouso (extremidades). Cabine de comando na extremidade (à esquerda)	24
Figura 9 – Mapa da França. Área prevista para a realização dos vôos	25
Figura 10 – Perfil de vôo das parábolas	26
Figura 11 – Atitude de vôo no início da parábola, em ângulo de 47 graus em relação ao plano horizontal	27
Figura 12 – Seqüência de parábolas, numeradas na parte superior e precedidas de “#”, com tempo de duração em minutos, indicado abaixo das parábolas. Entre os seis grupos de parábolas existem números indicando intervalo em minutos	28
Figura 13 – Área de testes durante a microgravidade. A iluminação da cabine se mantém uniforme durante o vôo. Paredes laterais, superior e inferior acolchoadas	29
Figura 14 – Posicionamento para realização de compressões torácicas, massagem cardíaca, usual	30
Figura 15 – Dispositivo para restrição ou fixação da vítima em microgravidade (à esquerda). RCP após a fixação da vítima e socorrista (à direita)	31
Figura 16 – RCP com socorrista na posição vertical invertida, “Hand Stand”, existindo a necessidade de apoio dos pés do socorrista e fixação da vítima	32



Figura 17 – Manobra de Heimlich modificada “abraço de urso”(Reverse Bear Hug)	33
Figura 18 – Câmara hipobárica Aeroform, localizada na Base de Henlow, Inglaterra	38
Figura 19 – Interior da câmara hipobárica, compartimento maior. Disposição do manequim no solo da câmara; a. calibração de gases e volumes, b. RCP ao nível do mar (porta da câmara aberta)	40
Figura 20 – Exterior da câmara, local de passagem de cabos e sensores para interior da câmara sem alterar as condições de pressão estabelecidas. Visão parcial do espectrômetro, à esquerda	41
Figura 21 – RCP, na câmara hipobárica, realizada em altitude 8.000 pés (porta da câmara fechada). Ventilação boca-a-boca à esquerda e, compressões torácicas à direita	42
Figura 22 – RCP em microgravidade. Nova posição proposta pelo estudo, socorrista abraça o tronco da vítima com as pernas para obter apoio durante as compressões torácicas	43
Figura 23 – RCP em microgravidade. Disposição dos quatro pesquisadores durante a parábola	44
Figura 24 – Dois pesquisadores demonstrando durante uma parábola, flutuação, a forma de realização da ventilação boca-a-boca	44
Figura 25 – Preparação pré-vôo da área de trabalho no interior da cabine do A-300	45
Figura 26 – a. Três momentos da RCP em microgravidade: Hipergravidade, aguardando a flutuação (superior); Posicionamento do socorrista, em flutuação (centro); RCP sendo realizada (inferior). b. Parábola registrada com imagens da seqüência: Início da parábola, hipergravidade (superior); Microgravidade, flutuação (centro); Fim da parábola, hipergravidade (inferior)	46

## VIII

### ABREVIATURAS

- AEE – Agência Espacial Européia
- CCF – Certificado de Capacidade Física
- DEA – Desfibrilador Externo Automático
- DPOC – Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica
- EI – Estação Espacial Internacional
- EUA – Estados Unidos da América
- G – Gravidade, aceleração gravitacional
- HEPA – High Efficiency Particulate Air
- IFISAL – Instituto de Fisiologia Aeroespacial
- Km – Quilômetro
- MS – Morte Súbita
- mmHg – Milímetros de Mercúrio
- NASA – National Aeronautics and Space Administration
- PCR – Parada Cardiorrespiratória
- PCO<sub>2</sub> – Pressão de gás carbônico
- PO<sub>2</sub> – Pressão de Oxigênio
- RCP – Reanimação Cardiopulmonar
- SAV – Suporte Avançado à Vida
- SBV – Suporte Básico à Vida
- SO<sub>2</sub> – Saturação de Oxigênio
- UK – United Kingdom

### RESUMO

**Introdução:** Parada Cardiorrespiratória (PCR) é uma emergência médica, quando ocorrer fora do ambiente hospitalar, o imediato atendimento à vítima é vital. A imediata Reanimação Cardiopulmonar (RCP), no ambiente extra-hospitalar é muito importante. A denominação aeroespacial reúne ambiente aéreo (cabine de aeronaves pressurizadas, altitude) e, espacial (ambiente com microgravidade, flutuação). No ambiente aéreo, importa a condição hipobárica e a hipóxia resultante. Quanto ao ambiente espacial, importa a condição de microgravidade e a incapacidade de exercer força e peso, como na superfície terrestre. Estes, e outros aspectos da RCP aeroespacial, são abordados no presente estudo.

**Objetivos:** Ambiente aéreo: avaliar a qualidade do ar expirado, por um socorrista, durante RCP, em ambiente hipobárico, e, avaliar a suplementação de oxigênio para o socorrista, como forma de correção da mistura gasosa expirada, na altitude. Ambiente espacial: avaliar a eficácia de uma nova posição para RCP, por um só indivíduo, sem auxílio, na microgravidade.

**Materiais e Métodos:** Utilizou-se uma câmara hipobárica, para a simulação da altitude, no ambiente aéreo. A RCP foi avaliada ao nível do mar e na altitude de 8.000 pés. Vôos parabólicos foram utilizados para a simulação de microgravidade. Um manequim foi o modelo de PCR em ambos os ambientes. No ambiente aéreo, avaliou-se a oferta de oxigênio expirada (boca-a-boca), pelo socorrista à vítima. Em microgravidade foi avaliada a efetividade da posição estudada, abraço da vítima com as pernas e o uso das mesmas, como apoio para a RCP, através da profundidade (mm), e frequência (por minuto), das compressões torácicas e, da ventilação (volume de ar em mililitros).

**Resultados:** Pressão de oxigênio cai de  $\pm 108,3$  mmHg (nível do mar), para  $\pm 72,3$  mmHg (8.000 pés). Com suplementação o valor é  $\pm 108,0$  mmHg. RCP em microgravidade:  $\pm 41,3$  mm,  $\pm 80,2$  /min, (sem ventilação). Massagem + ventilação ( $\pm 44,0$  mm,  $\pm 68,3$  /min,  $\pm 491,0$  ml de ar).

**Conclusões:** Existe importante redução na oferta de oxigênio, à vítima de PCR, em altitude de 8.000 pés. Suplementação de oxigênio ao socorrista, 4 litros/minuto, por óculos nasal, pode corrigir esta redução. A posição proposta, para o ambiente espacial, deve ser considerada com uma possibilidade de RCP na microgravidade.

**Palavras-chave:** Reanimação Cardiopulmonar em ambiente extra-hospitalar; Parada cardiorrespiratória em vôo; Parada cardiorrespiratória em microgravidade.

**ABSTRACT**

**Introduction:** Cardiac arrest (CA) is a medical emergency, and when occurring outside the hospital environment, immediate victim's assistance is vital. Cardiopulmonary Resuscitation (CPR) at the extra-hospital environment is very important. Aerospace denomination joins an aerial environment (pressurized airplane cabins, altitude), and space (microgravity environment, floating). Within the aerial environment, hypobaric condition and resulting hypoxia do matter. Considering the space environment, microgravity condition and the inability to exert force and weight such as at the surface level, are important. Those and other aspects of aerospace CPR are approached in this present study.

**Objectives:** Aerial environment: To evaluate the quality of exhaled air from the practitioner, during CPR within a hypobaric environment, and to assess supplemental oxygen offer to the practitioner as a form of correcting the exhaled gas mixture at altitude. Space environment: To assess the efficacy of a new CPR position, for a sole, unassisted individual at microgravity.

**Material and Methods:** A hypobaric chamber for aerial environment altitude simulation was employed. CPR was assessed at sea level and at the altitude of 8,000 feet. Parabolic flights were employed for microgravity simulation. A CPR manikin was the model for both environments. At the aerial environment, exhaled (mouth-to-mouth) oxygen offer by the practitioner to the victim was assessed. In microgravity, the effectiveness of the studied position, which consisted of securing the victim with the legs and using them for CPR restraint, was evaluated by depth (millimeters), and frequency (per minute) of chest compressions, and ventilation (air volume in milliliters).

**Results:** Oxygen pressure falls from  $\pm 108.3$  mmHg (at sea level) to  $\pm 72.3$  mmHg (8,000 feet). With supplementation, the value is  $\pm 108.0$  mmHg. CPR in microgravity:  $\pm 41.3$  mm,  $\pm 80.2$ /minute (without ventilation). Massage + ventilation ( $\pm 44.0$  mm,  $\pm 68.3$ /minute,  $\pm 491.0$  ml of air).

**Conclusions:** There is an important reduction of oxygen offer to the CPR victim at the altitude of 8,000 feet. Oxygen supplementation to the medic assistant at 4 liters/minute through nasal cannulae may correct such reduction. The proposed position for the spatial environment should be considered as a possibility for CPR at microgravity.

**Key-words:** Cardiopulmonary Resuscitation in extra-hospital environment; Cardiac arrest in flight; Cardiac arrest in microgravity.

## INTRODUÇÃO

A ocorrência de uma parada cardiorrespiratória (PCR) é uma emergência médica e, se a vítima estiver em ambiente extra-hospitalar, as características deste ambiente e seus recursos podem ser decisivos para o sucesso das medidas de reanimação cardiopulmonar (RCP).

O uso de massagem cardíaca externa para gerar fluxo sanguíneo na ausência de atividade cardíaca intrínseca, de forma emergencial, foi descrito pela primeira vez em 1960 (1,2). Além deste registro, a ciência da RCP é recente, quando se consideram: primeira desfibrilação externa em 1956 e primeira ventilação boca-a-boca em 1958 (2).

A RCP não deve ser encarada como um único recurso ou ferramenta no atendimento à vítima de PCR e sim como um conjunto de avaliações e intervenções. Um dos desafios na ciência da reanimação é educar mais pessoas para agirem como socorristas ao testemunhar um evento, podendo, assim, atender inicialmente de forma adequada uma PCR (2,3,4,5).

A eficácia das manobras de RCP elevando as taxas de sobrevivência após uma PCR extra-hospitalar é demonstrada em vários estudos (6,7), bem como, entre as condições que favorecem uma melhor taxa de alta após o evento, está o pronto reconhecimento e atendimento à vítima por quem testemunhou a PCR (8). Segundo *Ewy* (9), as taxas de sobrevivência após uma PCR extra-hospitalar são baixas, apesar do aprimoramento das rotinas de atendimento e uso de desfibriladores externos automáticos (DEA), por fatores como: a baixa incidência de indivíduos que atuam prontamente como socorristas realizando RCP, tempo substancial sem compressões torácicas e ausência de resposta a desfibrilação inicial após prolongada fibrilação ventricular (9).

## 1 – Morte Súbita

Morte Súbita (MS) é a principal causa de óbito nos EUA e no Canadá. Cerca de 330.000 pessoas morrem ao ano em condição extra-hospitalar, incluindo os serviços de emergência. Destas, ao redor de 250.000 são mortes em condição extra-hospitalar. Incidência anual de MS nos Estados Unidos aproxima-se de 0,55 por 1000 habitantes (10).

A maioria das vítimas de MS apresenta fibrilação ventricular em algum momento de sua PCR. Existem evidências demonstrando que o sucesso no atendimento da PCR é maior quando a desfibrilação ocorre dentro dos primeiros 5 minutos. Considerando que o tempo necessário desde o chamado até a chegada do socorro é maior que 5 minutos, é importante que existam, no local, pessoas treinadas para o atendimento à PCR e com recursos para a utilização de DEA (10,11).

A RCP é importante antes e depois da desfibrilação. Quanto mais precoce se estabelecer a RCP, melhores as chances de sucesso e, após a desfibrilação, restabelecer a RCP é importante para manter o fluxo sanguíneo coronariano e cerebral, pois muitas vítimas apresentam assistolia por vários minutos após o choque e as manobras de RCP podem converter estes ritmos em ritmos de perfusão (10).

Mortes em adultos podem ser decorrentes de mecanismos diferentes da morte súbita, por exemplo, nos casos de asfixia mecânica, como no afogamento, ou uso de doses elevadas de drogas e/ou medicamentos. Nestes casos a importância da RCP também é comprovada (10).

## 2 – Corrente da Sobrevivência

A importância de ações programadas em relação ao atendimento da PCR, baseadas no tempo de desencadeamento, gerou a criação de uma figura para ilustrar estas ações e sua interdependência para o sucesso da RCP. Esta figura chama-se de Corrente da Sobrevivência (Figura 1), cujos elos são descritos abaixo (12):

- a) Acesso precoce – reconhecimento precoce da emergência e acionamento do serviço médico de emergência, local ou remoto (fone de chamada).
- b) RCP precoce – deve ser realizada por quem testemunhou o evento. A imediata RCP pode dobrar e até triplicar as chances de sobrevivência.
- c) Desfibrilação precoce – RCP associada à desfibrilação, dentro dos 3 a 5 minutos decorridos do início do quadro (PCR), podem gerar taxas de sobrevivência altas como 49 a 75%.
- d) Suporte Avançado à Vida (SAV) precoce – dando seqüência aos cuidados em pós-RCP.

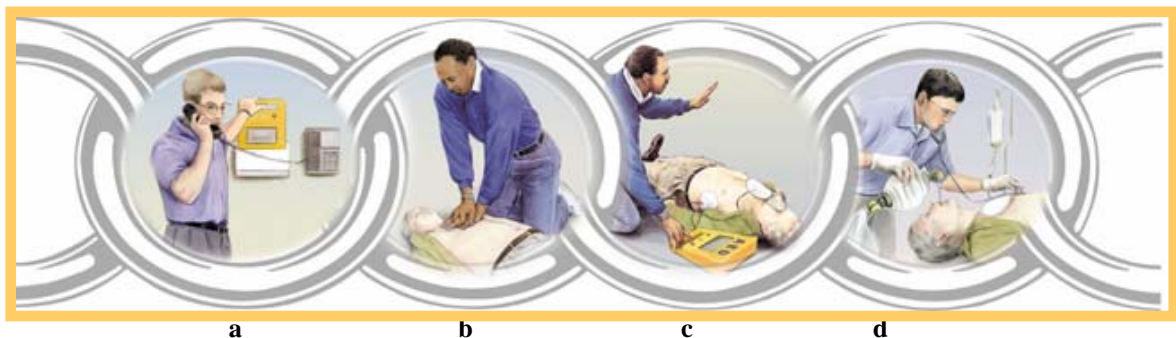


Figura 1 – Corrente da Sobrevivência do adulto (12).

Fonte: Circulation 2005;112(24 Supplement) p.IV-20.

O conceito de Suporte Básico à Vida (SBV) inclui o reconhecimento de uma parada cardiorrespiratória, acidente vascular encefálico e de obstrução das vias aéreas por corpo estranho; realização da RCP; e desfibrilação com DEA (12).

A pessoa que testemunhar a ocorrência deve estar habilitada a proceder aos três elos iniciais da corrente da sobrevivência.

No momento que existir o reconhecimento da situação como uma emergência e for ativado o sistema de atendimento, os cuidados de SBV e SAV deverão ser iniciados no local da emergência. O tempo necessário para este acesso pode variar de acordo com o local do evento e os recursos ali instalados. O que significa dizer que nos minutos iniciais após o evento estabelecido, as chances de sobrevivência estão nas mãos daquele que presenciou o fato.

As vítimas de PCR necessitam imediata RCP. A RCP disponibiliza um pequeno fluxo de sangue do coração ao cérebro, porém suficiente para manter a viabilidade deste órgão (9,12). A RCP vai prolongar as chances de sucesso na desfibrilação, nos casos aonde existir ritmo passível de choque (fibrilação ventricular e taquicardia ventricular) e permitirá fluxo sanguíneo coronariano para estabelecimento de um ritmo pós-choque viável (12).

A desfibrilação não faz com que o coração reinicie os batimentos e sim pode reorganizar a atividade elétrica do coração possibilitando a sustentação de outro ritmo diferente da fibrilação ventricular.

Socorristas leigos devem ser treinados a utilizar equipamentos computadorizados, desfibriladores externos automáticos (DEA), capazes de análise do ritmo da vítima e disparo de um choque nos casos de fibrilação ventricular e taquicardia ventricular rápida (sem pulso). Estes aparelhos possuem orientações que podem ser sonoras ou visuais para o socorrista. São muito específicos para orientar o choque sendo



que, não havendo indicação de choque e a vítima permanecendo em PCR, a orientação é manutenção da RCP (11,12).

Todas as ações do socorrista no local da PCR são tempo-dependentes, sendo que uma vez estabelecida a imediata RCP, o tempo “se estende”, ou seja, há maior chance de sucesso das medidas do SBV e SAV (12).

Programas de educação e treinamento no manejo da PCR por leigos, incluindo o acesso público à desfibrilação, aumentam a sobrevivência das vítimas e sua qualidade de vida pós-evento. Atualmente, existe a preocupação de treinamento e educação para atendimento de vítimas em locais públicos de maior ocorrência de morte súbita, como em aeroportos, aviões, cassinos e, também, o treinamento como socorrista inicial para policiais, visando a aumentar as taxas de sobrevivência destas vítimas (11,12,13).

### 3 – Ambiente Extra-hospitalar Aeroespacial

A denominação aeroespacial para o cenário de ocorrência de PCR em ambiente extra-hospitalar refere-se, neste estudo, a dois ambientes distintos: aéreo e espacial.

#### 3.1 – Ambiente aéreo

O ambiente aéreo é caracterizado pela ascensão na atmosfera e conseqüente redução da pressão barométrica. Logo, pode-se utilizar a denominação de ambiente hipobárico, o que é característico da altitude independente do vôo e encontrado em cabines de aeronaves pressurizadas (14). Neste ambiente, frente a uma emergência do

tipo PCR, pode-se estabelecer a mesma rotina de atendimento utilizada no SBV, porém, pouco se conhece sobre a qualidade destes recursos no ambiente hipobárico.

Segundo *O'Rourke* (13), cerca de 1.000 óbitos são contabilizados ao ano por PCR em aeronaves da aviação comercial em todo o mundo. Frente a esta realidade, companhias aéreas, em vários países, iniciaram programas de treinamento para atendimento a PCR e a utilização a bordo das aeronaves de desfibriladores externos automáticos (DEA) (13,15,16).

É importante considerar que uma aeronave necessitará de pelo menos 20 minutos para realizar um pouso alternado, se estiver em altitude cruzeiro, ou seja, caso não exista a bordo alguém para iniciar, tão logo possível, a RCP, por mais rápido que o pouso de emergência ocorra, será tarde demais para a vítima (13). Cada pouso alternado gera um custo alto para as empresas, cerca de 80 mil dólares, quando em vôos com aviões de grande porte, somente com questões relacionadas com a operação de vôo.

A ocorrência de uma PCR durante um vôo pode ser considerada como um evento significativo (13,16), sendo importante ressaltar que as ocorrências a bordo, em geral, tendem a aumentar com base nos seguintes pontos: a) aumento no número de passageiros transportados associado ao aumento na expectativa de vida dos indivíduos, b) a pré-existência de doenças (conhecidas ou não e, ativas ou não), e a conseqüente interação com o ambiente hipobárico da cabine (15,17). O número de vôos tem aumentado em todo o mundo. O desenvolvimento, da indústria da aviação, está possibilitando a projeção de uma estratégia, vôos mais longos e sem escalas, aumentando o tempo de exposição ao ambiente hipobárico e à imobilidade. Isto, potencialmente, elevará os riscos inerentes ao ambiente hipobárico de cabine.

### 3.1.1 – Ambiente de cabine

A pressurização da cabine de um avião visa dar conforto a bordo e preservar parâmetros fisiológicos do organismo em uma altitude onde o ser humano sem este recurso não sobreviveria. A Altitude de Cabine é decorrente de uma pressurização relativa, relação de 5:1, considerando a altitude na qual a aeronave está voando e o interior da cabine. Por exemplo, se a aeronave estiver voando a uma altitude de 35.000 pés o interior da cabine estará com níveis de pressão equivalentes a 7.000 pés. Na maioria das aeronaves utilizadas pela aviação comercial, quando estabilizadas em altitude de vôo cruzeiro, a cabine é mantida com níveis ao redor de 6.000 a 8.000 pés (14,18).

Existem razões para que o interior das cabines de aeronaves mantenha, em vôo, níveis de pressão inferiores aos encontrados ao nível do mar, dentre elas: a) a mistura de ar contida dentro da cabine possui massa e peso que devem ser contabilizados para o desempenho da aeronave, sendo assim, com menores níveis de pressão barométrica, menor massa de ar; b) a manutenção da pressão no interior da cabine ocorre através da entrada de ar pelos motores (turbinas) e sua pressurização demanda consumo de combustível, gera calor e necessita resfriamento, o que pode reduzir o desempenho da aeronave; c) para ser capaz de suportar um diferencial de pressão muito elevado (interno / externo), mantendo a cabine com níveis de pressão barométrica semelhante ao nível do mar, a estrutura da aeronave teria que ser mais reforçada e com isto mais pesada, redundando em maior consumo de combustível e limitações no transporte de passageiros e carga; d) além dos fatores anteriormente citados, o diferencial de pressão sendo muito elevado expõe os indivíduos no interior da cabine a um maior risco de doença descompressiva, caso haja perda súbita da pressão de cabine. (14,18).

Existem duas maneiras de manter a pressão no interior da aeronave. O método convencional, para a grande maioria das aeronaves comerciais disponíveis na atualidade, é o de captar o ar do ambiente externo, comprimi-lo e distribuí-lo no interior da cabine (Figura 2). Existe um sistema de válvulas que regula a pressão interna e elimina o ar pela cauda da aeronave. Há um contínuo fluxo de ar que ventila a cabine, sendo que a temperatura deste ambiente estará intimamente relacionada com a pressurização e ventilação da cabine. A compressão do ar gera calor, sendo assim, deve haver resfriamento do ar para possibilitar a ventilação da cabine. Esta operação demanda potência dos motores / turbinas e consumo de combustível. Para reduzir este consumo realiza-se a recirculação de parte do ar do interior da cabine, evitando a renovação total durante o voo. A recirculação ocorre através de um sistema de filtros de alto desempenho e eficácia (HEPA – high efficiency particulate air), permitindo recircular 50% do ar da cabine, sem prejuízo à qualidade do ar (18,19,20,21).

A outra maneira de manter a pressão no interior de uma cabine é transportar os gases dentro da aeronave ou espaçonave, o que é necessário em ambientes com o ar muito rarefeito (altitudes acima de 80.000 pés) ou em ambiente espacial, no vácuo. As naves e estações espaciais mantêm a pressurização de cabine em valores semelhantes ao nível do mar (18).

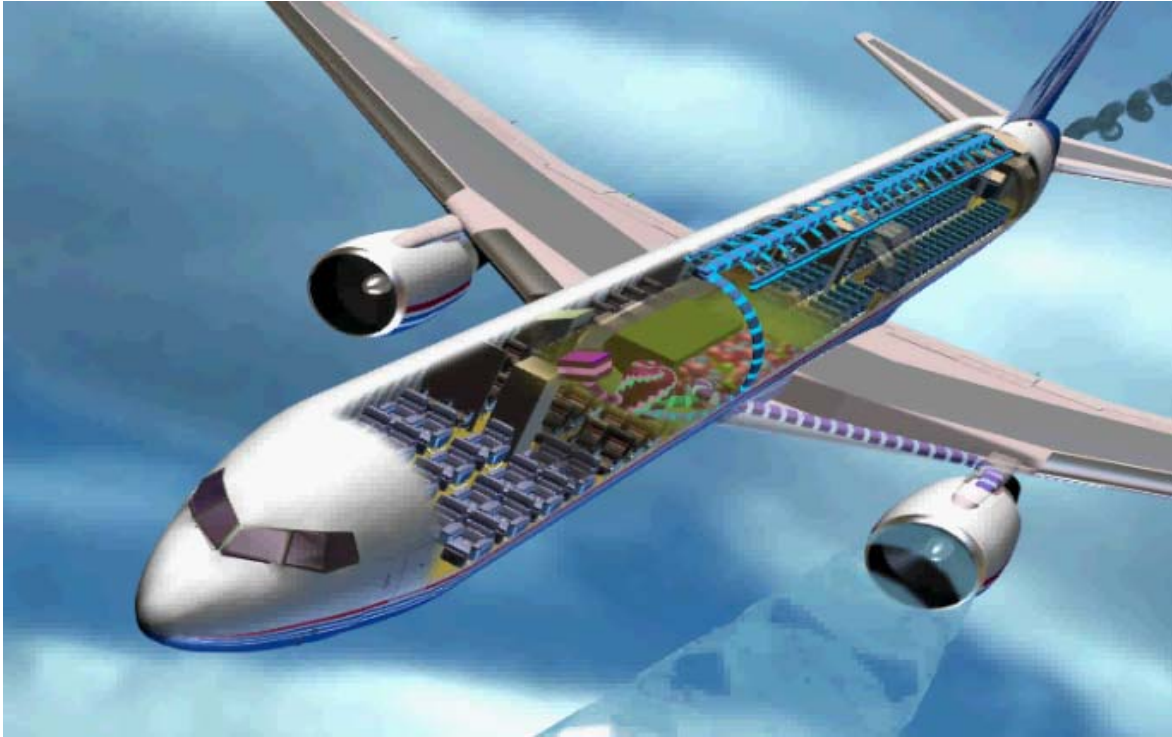


Figura 2 – Sistema de captação do ar para a pressurização e ventilação da cabine (20).

Fonte: Boeing. How the Environmental Control System Works on Boeing Airplanes. Commercial Airplanes. Disponível em: <<http://www.boeing.com/commercial/cabinair/environmentcontrol.html>>

A mistura gasosa disponível em voo é muito semelhante à encontrada em nossa atmosfera ao nível do mar, tendo como características adicionais ser um ar seco, com umidade relativa do ar variando entre 12 a 21%, e frio (17 a 20 graus Celsius), mantendo a mesma fração de oxigênio, nitrogênio e demais gases (14,18).

Ascender na atmosfera, elevação da altitude, ocasiona redução na pressão barométrica e não havendo modificação nas características da mistura gasosa, haverá conseqüente redução na oferta de oxigênio determinando hipóxia do tipo Hipóxica ou Hipobárica (14,18,22).

A pressurização da cabine deve ser avaliada como um processo dinâmico que visa atender a requisitos fisiológicos (18):

- a) requisitos que determinam à altitude máxima de cabine em vôo: hipóxia, doença descompressiva e a expansão dos gases do trato gastrintestinal.
- b) requisitos que determinam à taxa máxima de variação de pressão da cabine, durante a ascensão e o descenso da aeronave: a ventilação de cavidades como os seios paranasais e orelha média.
- c) requisitos relacionados com a qualidade do ar e seus efeitos sobre o bem-estar durante o vôo.

### 3.1.2 – Hipóxia de cabine

A altitude de cabine aceitável em uma aeronave, em que seus ocupantes respirem ar sem suplementação de oxigênio, é determinada considerando os efeitos da hipóxia sobre o desempenho dos tripulantes e o bem-estar dos passageiros. Em altitude maior que 10.000 a 12.000 pés, ocorre um significativo prejuízo no desempenho de tarefas usuais em vôo. Altitude de 8.000 pés, considerada a altitude máxima de cabine, pode ocasionar redução no tempo de reação dos indivíduos. (14,18,22).

Atualmente, a tendência é considerar a altitude de cabine segura entre 5.000 e 7.000 pés (18). Em seus novos projetos em desenvolvimento, a Boeing disponibiliza a informação que em suas novas aeronaves, o teto máximo (altitude) de cabine em vôo será de 6.000 pés. (23).

Indivíduos portadores de doenças cardíacas e respiratórias, em altitudes acima de 6000 pés, podem ficar incapazes de manter adequada oxigenação tecidual (14,18).

Na Tabela 1, são apresentados os valores dos gases respiratórios e suas variações em relação à altitude, em indivíduos normais respirando ar ambiente (sem suplementação de oxigênio). Ressalta-se a alteração significativa na oferta de oxigênio acima de 8.000 pés e a presença de hiperventilação com a elevação da altitude (queda na pressão parcial de gás carbônico) (24).

Tabela 1 – Gases respiratórios e sua relação com altitude

Altitude (m)	Altitude (pés)	Pressão (mmHg)	PO <sub>2</sub> ambiente (mmHg)	PAO <sub>2</sub> (mmHg)	PACO <sub>2</sub> (mmHg)	PH <sub>2</sub> O (mmHg)
0	0	759,97	159,21	103,0	40,0	47,0
610	2000	706,63	148,04	93,8	39,0	47,0
1219	4000	656,34	137,50	85,1	38,0	47,0
1829	6000	609,09	127,60	76,8	37,0	47,0
2438	8000	564,64	118,29	68,9	36,0	47,0
3048	10000	522,73	109,51	61,2	35,0	47,0
3658	12000	483,36	101,26	54,3	33,8	47,0

m = metros; mmHg = milímetros de Mercúrio; PO<sub>2</sub> = pressão de oxigênio; PAO<sub>2</sub> = pressão alveolar de oxigênio; PACO<sub>2</sub> = pressão alveolar de gás carbônico; PH<sub>2</sub>O = pressão do vapor d'água (24).

Fonte: DeHart RL, Davis JR (eds). *Fundamentals of Aerospace Medicine*. 3<sup>rd</sup> edition. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2002. p.34.

Para a maioria da população, voar em altitude de 8.000 pés por várias horas gera fadiga e pode ocasionar exacerbação de quadros clínicos que não ocorreriam em altitudes menores ou iguais a 6.000 pés (14,18).

As aeronaves possuem um sistema de suplementação de oxigênio para situações emergenciais de despressurização (25). Quando a altitude de cabine se eleva alcançando 10.000 pés, um alarme é acionado na cabine de comando. Se a altitude de cabine alcançar níveis de 14.300 a 15.000 pés, há acionamento do sistema de suplementação de oxigênio para os passageiros (26). Este sistema é constituído de máscaras que são encontradas em compartimentos acima dos assentos (25). Em algumas situações

especiais, como em vôos para a cidade de La Paz, na Bolívia, o limite da altitude de cabine é modificado por ocasião do pouso, pois o Aeroporto Internacional El Alto, encontra-se a 13.313 pés (4.058 m) (27), o que é muito próximo do nível para acionamento das máscaras e aciona o alarme da cabine de comando.

### 3.1.3 – Motivação para o estudo em ambiente aéreo ou hipobárico

Durante a realização de estudos nos quais voluntários eram avaliados quanto à sua capacidade mental em condições de hipóxia (28), com simulação de altitude de 6.000 e 8.000 pés, através da utilização de máscaras com misturas gasosas enriquecidas com nitrogênio, com conseqüente redução na pressão parcial de oxigênio, observou-se que a mistura expirada era pobre em oxigênio (principalmente em simulações de altitudes de 8.000 pés). Sendo assim, questionou-se: Qual seria a qualidade do ar expirado por um socorrista durante as manobras de reanimação cardiopulmonar utilizando o recurso da ventilação boca-boca ou boca-máscara à vítima de PCR em ambientes hipobáricos?

Este questionamento mostrou-se mobilizador ao considerar que o ambiente hipobárico das cabines de aeronaves comerciais é considerado um local de ocorrência de morte súbita (12,13,15,16) e sendo assim, formulou-se a hipótese de que em uma PCR, a bordo de uma aeronave, uma vítima atendida com base nos parâmetros do SBV, receberia durante a reanimação uma mistura muito pobre em oxigênio, através da ventilação boca-boca ou boca-máscara.

Foi realizado um estudo preliminar (29), que avaliou a concentração de oxigênio expirado, em altitudes simuladas de 6.000 e 8.000 pés, durante cinco minutos de



massagem cardíaca. Os resultados foram: médias da profundidade e frequência das compressões torácicas (n = 30), de 42,4 ( $\pm$  0,5) milímetros e 83,7 ( $\pm$  2,6) por minuto, respectivamente. As médias da pressão de oxigênio (PO<sub>2</sub>) e da saturação de oxigênio (SO<sub>2</sub>), durante cinco minutos de massagem cardíaca (n = 10), foram 102,7 ( $\pm$  1,4) mmHg e 93,8 ( $\pm$  0,6) %, ao nível do mar; 75,6 ( $\pm$  1,4) mmHg e 91,4 ( $\pm$  0,6) % a 6.000 pés; 67,7 ( $\pm$  1,4) mmHg e 89 ( $\pm$  0,7) %, a 8.000 pés. Foi demonstrado que, nas condições de altitude simulada, havia marcada redução na pressão de oxigênio oferecida à vítima, e, sugeria que o socorrista deveria receber suplementação de oxigênio em altitude de 8.000 pés, ambiente hipobárico.

A condição de Hipóxia Hipobárica também é encontrada em pessoas que estejam expostas à altitude, mesmo sem estarem a bordo de uma cabine pressurizada, como por exemplo, em vôos de aeronaves sem pressurização ou nas montanhas (14,22).

La Paz, na Bolívia, encontra-se a 11.811 pés de altitude (3600 m) (30) e o seu aeroporto, já citado anteriormente, está a 13.313 pés (4.058 m) (27), o que significa que existe marcada hipóxia hipobárica nestes locais. A Cidade do México, que está a 7.350 pés (2.240 m) (31), apresenta uma altitude semelhante a atual altitude máxima de cabine em vôo (14,18).

#### 3.1.4 – Estudos envolvendo hipóxia e altitude

Em estudos que envolvem hipóxia e altitude, pode-se realizar a simulação de altitude com alterações na mistura gasosa utilizada, sem alterar a pressão barométrica do ambiente, ou, modificando a pressão barométrica, sem alterar a mistura gasosa, através do uso de uma câmara hipobárica (32,33).

A simulação de altitude visando estudar a hipóxia, sem haver a variação da pressão barométrica ambiente, pode ser realizada através da utilização de misturas “hipóxicas”, ou seja, respirar uma mistura gasosa com redução do percentual de oxigênio. Estudos envolvendo hipóxia e simulação de altitudes, utilizando misturas gasosas com redução na pressão parcial de oxigênio são encontrados na literatura (28,29,32,34,35,36,37,38).

Para calcular a pressão parcial de oxigênio que corresponderá à altitude estudada, leva-se em conta o valor da pressão parcial de oxigênio ao nível do mar, que percentual da mistura gasosa corresponde ao oxigênio (20,9%) e, a partir dos valores da pressão barométrica da altitude desejada, o valor da pressão parcial de oxigênio neste nível. Com isto, pode-se calcular qual percentual de oxigênio na mistura corresponderá à altitude desejada. Com base nestes dados, utilizam-se misturas enriquecidas com nitrogênio, reduzindo a pressão parcial de oxigênio.

Para simular altitude, por exemplo, de 6.000 pés (609,09 mmHg) e 8.000 pés (564,64 mmHg), o percentual de oxigênio que, ao nível do mar, corresponderá a estas altitudes é de 16,8% e 15,6%, respectivamente. Indivíduos respirando estas misturas estarão, ao nível do mar, simulando a altitude desejada. Nestes estudos não são impostas ao organismo as outras condições inerentes ao ambiente hipobárico como, por exemplo, a expansão de gases contidos em cavidades.

Através de uma câmara hipobárica podem-se simular altitudes pela redução da pressão barométrica do ambiente. A temperatura dentro da câmara é controlada, entre 17 a 22°C, muito semelhante a encontrada nas cabines das aeronaves comerciais. A umidade do ar é determinada pelas condições do ambiente e pelo fluxo de ar (33,39).

### 3.2 – Ambiente Espacial

A Gravidade é a força que governa os movimentos no Universo. É a atração entre duas massas e se torna evidente quando uma das massas é muito maior, por exemplo, a Terra. Ela nos mantém no solo, mantém a órbita da Lua ao redor da Terra e a da Terra ao redor do Sol (40,41).

A condição de ausência da gravidade não ocorre quando se avalia a situação de uma nave espacial ou estação espacial em órbita e sim a microgravidade, que é a condição na qual temos a sensação de ausência de gravidade, mas estamos sob o efeito da aceleração gravitacional que nos mantém em órbita (40,42). A aceleração de um objeto em direção ao solo causada exclusivamente pela gravidade, junto à superfície da Terra, é chamada de gravidade normal ou 1 G. Esta aceleração é igual a  $9,81 \text{ m/seg}^2$  (41).

A microgravidade ocorre quando um objeto está em queda livre, ou seja, existe a ação da aceleração gravitacional, porém, se continuar em queda livre prolongada, este objeto estará caindo sem nunca cair. A situação que exemplifica a microgravidade por queda livre é a de um indivíduo no interior de um elevador que tem o seu cabo rompido e cai, em relação ao elevador existe a flutuação do indivíduo e sensação de inexistência do peso, semelhante à encontrada no espaço, em órbita (Figura 3).

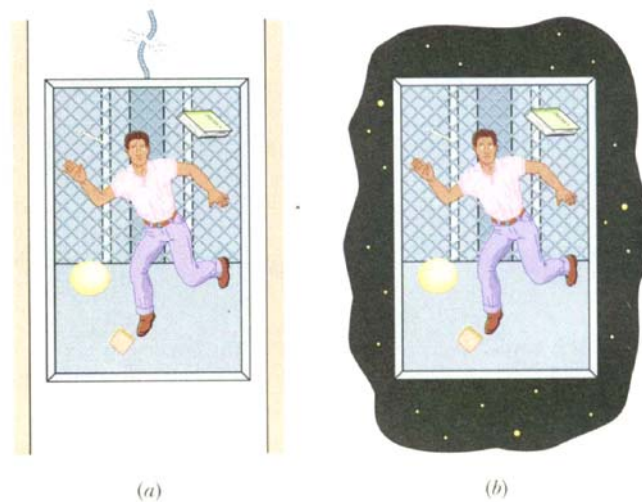


Figura 3 – Elevador em queda livre, simula a microgravidade encontrada em órbita, indivíduo não diferencia as situações que são equivalentes, queda livre e flutuação em órbita (42).

Fonte: Halliday D, Resnick R, Walker J. Fundamentals of Physics. 4th ed. New York: Wiley; 1993.v.1, p. 118.

Sir Isaac Newton, mais de 300 anos atrás, desenvolveu a teoria que, se um objeto fosse acelerado com uma força equivalente a aceleração gravitacional, este objeto permaneceria em queda livre sustentada, em órbita. Demonstrou sua teoria através de seu experimento imaginário chamado “canhão de Newton” (Figura 4). Um canhão seria colocado no ponto mais alto da mais elevada montanha. Iniciando-se os disparos com baixas velocidades, o projétil viajaria mais distante quanto maior fosse sua velocidade horizontal até cair no solo sob ação da força gravitacional. Contudo, se o projétil fosse disparado com uma velocidade tal que conseguisse completar uma volta ao redor do planeta, ele entraria em órbita e estaria caindo em direção ao centro de massa da Terra, sem nunca chocar-se com o solo (40,41,42).

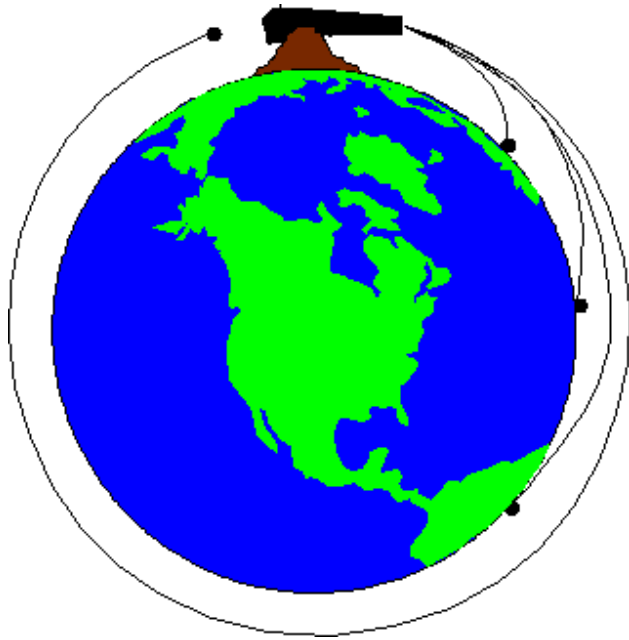


Figura 4 – Canhão de Newton (40).

Fonte: NASA – National Aeronautics and Space Administration [www.nasa.gov]. NASA – What is Microgravity? [acesso em Setembro 2006]. What is Microgravity? Disponível em: <[http://www.nasa.gov/centers/glenn/research/microgex\\_prt.htm](http://www.nasa.gov/centers/glenn/research/microgex_prt.htm)>

Esta é a condição que explica a manutenção em órbita de um objeto, ou seja, existe uma força resultante gravitacional que é próxima de zero, microgravidade, que mantém a trajetória da órbita e impede o desgarro do objeto para o espaço. Dentro de uma nave ou estação espacial, os objetos estão em contínua queda livre em órbita e estão “sem peso”. A massa dos objetos é a mesma, mas se colocados em uma balança o valor da medida será zero. O peso é a medida da força gravitacional sobre um objeto, conseqüentemente vai variar conforme a aceleração gravitacional, ou seja, na Lua com aceleração gravitacional menor em relação a terrestre, o peso é menor sem haver variação na massa do objeto.

Os objetos dentro de uma nave espacial em órbita aparentam estar flutuando e sem movimento, mas estão, na verdade, viajando na mesma velocidade orbital da nave, 28.000 km por hora (40). Esta é a velocidade suficiente para gerar uma força centrífuga

equivalente à força gravitacional do planeta, em uma determinada altitude (41). No caso das naves espaciais, a altitude orbital pode variar entre 192 a 576 km (40) e a velocidade deverá ser maior quanto menor a altitude, sendo que em vôos suborbitais a velocidade tangencial pode variar entre 28.000 a 42.000 km por hora e, conceitualmente, objetos podem estar em órbita em altitudes abaixo de 192 km, mas o atrito aerodinâmico com a atmosfera terrestre impede que isto aconteça (41).

Considera-se que, além da condição “queda livre”, existem duas outras situações onde pode ocorrer microgravidade. A primeira situação é encontrada ao se observar um corpo qualquer em um ponto hipotético do espaço cósmico, tão longe de qualquer corpo celeste, que os efeitos das forças gravitacionais entre ele e os outros astros seriam completamente desprezíveis. Assim, este corpo estaria livre de acelerações e manteria um estado de movimento natural. A segunda situação seria posicionar um corpo em pontos estratégicos entre dois corpos celestes, como, por exemplo, entre a Terra e a Lua. Nestes pontos, conhecidos como Pontos Lagrangianos, existe um equilíbrio entre as forças gravitacionais da Terra e da Lua, com cada uma anulando os efeitos da outra reciprocamente. Estes pontos foram previstos teoricamente no século XVIII pelo matemático francês Lagrange. O exemplo mais conhecido é o dos asteróides troianos, que, ocupando pontos lagrangianos entre dois corpos celestes, permanecem em equilíbrio relativo a ambos os astros (42,43).

### 3.2.1 – Simulação de Microgravidade

A Agência Espacial Européia (AEE) possui um programa com cinco plataformas de gravidade reduzida que são disponibilizadas para projetos que envolvam propósitos científicos, educacionais e comerciais (44). Estas cinco plataformas são:

- a) Torre de queda livre
- b) Vôos parabólicos
- c) Foguetes com sondas espaciais
- d) Cápsulas Fóton
- e) Estação Espacial Internacional

A torre de queda livre, semelhante a um elevador com seu cabo de tração rompido, oferece a sensação de ausência de peso de curta duração, sem condições para o desenvolvimento de estudos e pesquisas com este recurso. Esta forma de simulação também é utilizada em parques de diversão. Nas sondas espaciais e cápsulas Fóton, não há disponibilidade para pesquisas com seres humanos. A Estação Espacial Internacional (EEI), ambiente ideal, é de elevado custo para ser disponibilizado para as pesquisas preliminares. Os vôos parabólicos, utilizados no presente estudo, são, quando comparados a EEI, de baixo custo, sendo que oferecem a possibilidade de vivenciar a microgravidade, desenvolver estudos preliminares para posteriormente serem submetidos a missões espaciais prolongadas, testar equipamentos em preparação para as missões espaciais, realizar pesquisas envolvendo seres humanos e projetos educacionais (44).

### 3.2.2 – Vôos Parabólicos

O vôo parabólico é uma forma de simulação de microgravidade na qual se utiliza um avião, como os utilizados na aviação comercial, configurados especialmente para estes vôos. As manobras de um vôo parabólico geram períodos de queda livre, com a percepção de ausência de peso, com duração média de 20 segundos. A simulação de microgravidade obtida pelos vôos parabólicos já é bem conhecida e utilizada em projetos de pesquisa, bem como em situações de lazer e para a produção de películas cinematográficas, como nas cenas de flutuação do filme “Apolo 13” (40).

O avião executa uma série de manobras, chamadas parábolas e, quando há a sensação de ausência de peso, os pesquisadores estão aptos a realizar experimentos e obterem dados que de outra forma não seriam possíveis na Terra. A duração do período de microgravidade é de 20 segundos em cada parábola.

Em uma campanha de vôos parabólicos da AEE existe, caracteristicamente, uma série de três vôos, em três dias (um em cada dia separado), com 93 parábolas no total. Para cada parábola existem dois períodos de hipergravidade, ao redor de 1,8 vezes a força gravitacional (1,8 G), com duração de 20 segundos, cada. Estes períodos de hipergravidade ocorrem imediatamente antes e depois do período de microgravidade. Ressalta-se que os vôos parabólicos são a única forma suborbital de simulação de microgravidade, na qual é possível realizar estudos com seres humanos em condições de gravidade reduzida (44).

A aeronave utilizada pela AEE, desde 1997, é um Airbus A-300 “Zero G” que fica baseado no Aeroporto Bordeaux-Mérignac, na cidade de Bordeaux, França. Os vôos são operacionalizados por uma empresa francesa, a Novespace. O A-300 é o maior avião utilizado em vôos parabólicos na atualidade (44).

Principais características do A-300 (Figuras 5, 6, 7, 8):



- avião de duas turbinas,
- com aproximadamente 145 toneladas de massa,
- comprimento total de 54 metros,
- envergadura de 44 metros,
- 5,64 metros de diâmetro da fuselagem,
- volume total da cabine de 300 metros cúbicos,
- uma área de testes com 20 x 5 x 2,3 metros (largura, comprimento e altura),
- volume total da área de testes de 230 metros cúbicos,
- paredes internas da cabine de testes totalmente acolchoadas,
- interior iluminado por luzes de neon,
- capacidade para quarenta passageiros
- possui seis portas, somente duas são utilizadas, sendo que a porta utilizada para carregamento dos equipamentos é maior que as encontradas em aviões de passageiros.



Figura 5 – A-300, configuração externa da aeronave.

Fonte: Ceglia, E. European Users Guide to Low Gravity Platforms. UIC-ESA-UM-0001, Issue 2 Revision 0. Noordwijk: Erasmus User Centre and Communication Office, European Space Agency (ESA); 2005, p4-2.

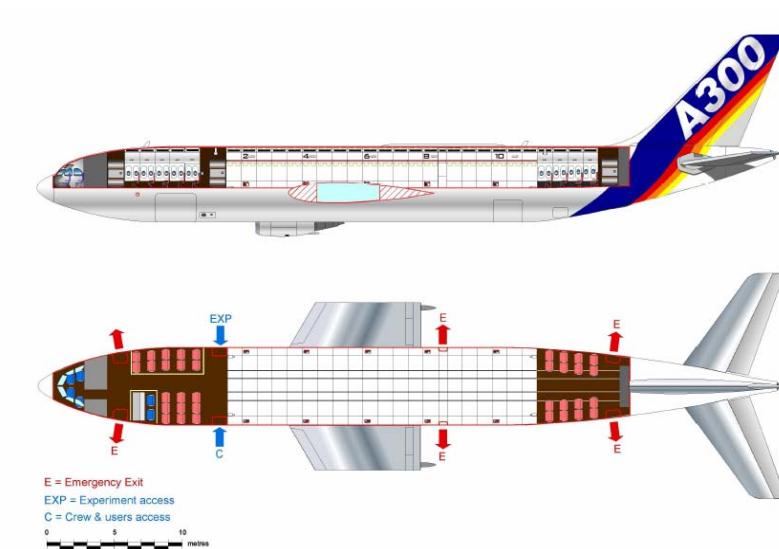


Figura 6 – A-300, configuração interna da aeronave. Portas para acesso das pessoas (C) e equipamentos (EXP). Assentos para decolagem e pouso (extremidades). Saídas de emergência (E). Área de testes (centro).

Fonte: Ceglia, E. European Users Guide to Low Gravity Platforms. UIC-ESA-UM-0001, Issue 2 Revision 0. Noordwijk: Erasmus User Centre and Communication Office, European Space Agency (ESA); 2005, p4-3.

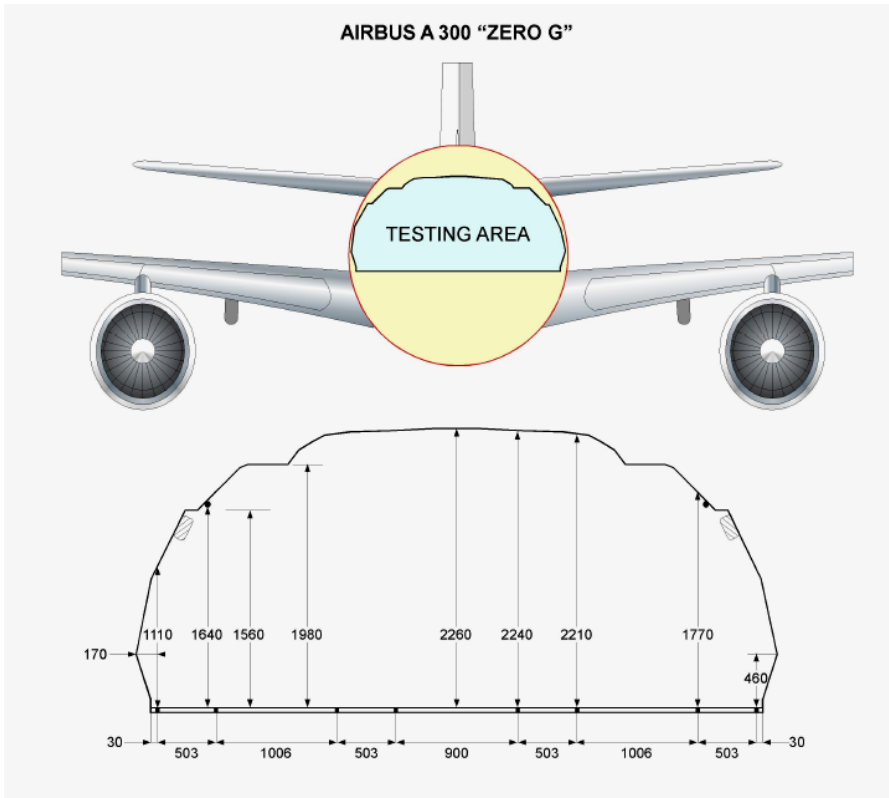


Figura 7 – A-300, área de testes, dimensões em milímetros.

Fonte: Ceglia, E. European Users Guide to Low Gravity Platforms. UIC-ESA-UM-0001, Issue 2 Revision 0. Noordwijk: Erasmus User Centre and Communication Office, European Space Agency (ESA); 2005, p4-4.



Figura 8 – A-300, área de testes (central), assentos para decolagem e pouso (extremidades). Cabine de comando na extremidade (à esquerda).

Fonte: Ceglia, E. European Users Guide to Low Gravity Platforms. UIC-ESA-UM-0001, Issue 2 Revision 0. Noordwijk: Erasmus User Centre and Communication Office, European Space Agency (ESA); 2005, p4-3.

Os vôos são realizados a partir do Aeroporto de Bordeaux-Mérignac, França, utilizando o espaço aéreo conforme demonstrado na Figura 9, sendo que esta mesma Figura, também indica as cidades com locais habilitados para serem aeroportos de apoio, frente a eventuais situações que necessitem pouso da aeronave de forma alternada, além de Bordeaux e Paris.

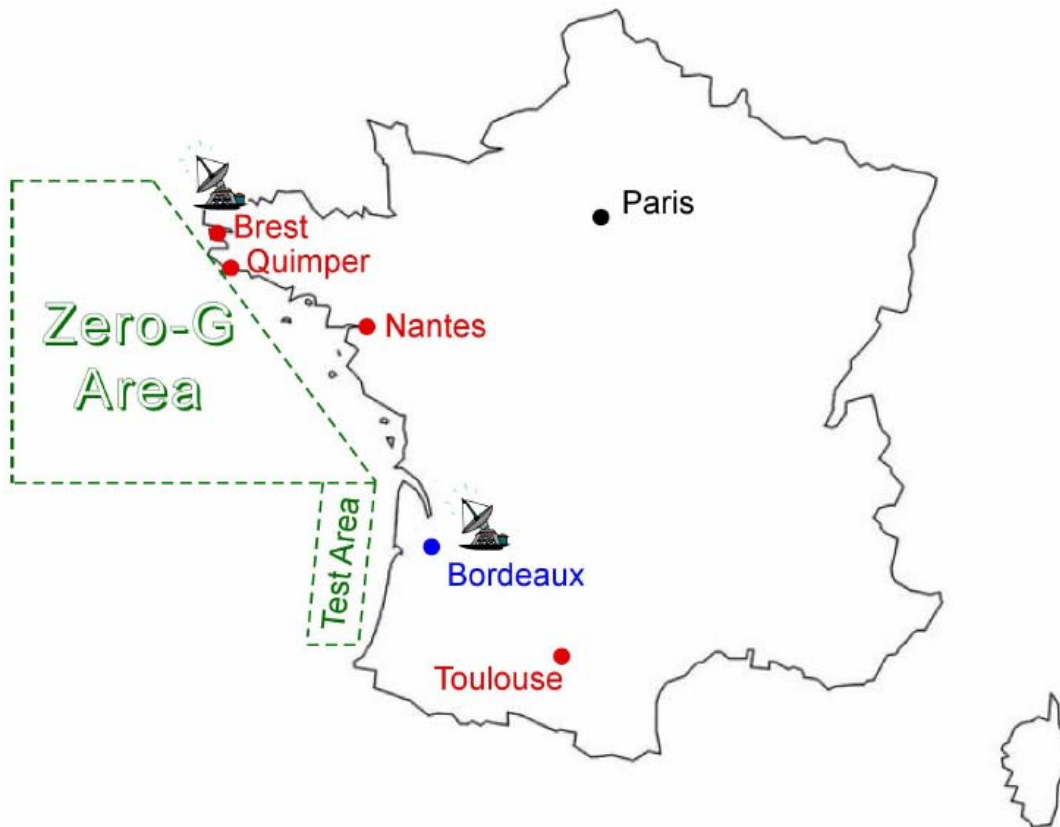


Figura 9 – Mapa da França. Área prevista para a realização dos vôos parabólicos (Zero-G Area). Cidade origem dos vôos (Bordeaux) e cidades com aeroportos de apoio (Brest, Quimper, Nantes, Toulouse).

Fonte: Ceglia, E. European Users Guide to Low Gravity Platforms. UIC-ESA-UM-0001, Issue 2 Revision 0. Noordwijk: Erasmus User Centre and Communication Office, European Space Agency (ESA); 2005, p4-5.

O A-300 executa, geralmente, 31 parábolas durante cada dia de vôo. Cada parábola possui um perfil semelhante, Figura 10, iniciando com a aeronave voando na horizontal, com altitude de 6.000 metros e velocidade de 810 km por hora. Nesta fase

do vôo a gravidade é de 1 G. Em um determinado ponto, o piloto direciona o avião para cima (“pull up”), em ângulo de 47 graus, e nesta fase existe a hipergravidade (até 1,8 G), com 20 segundos de duração.

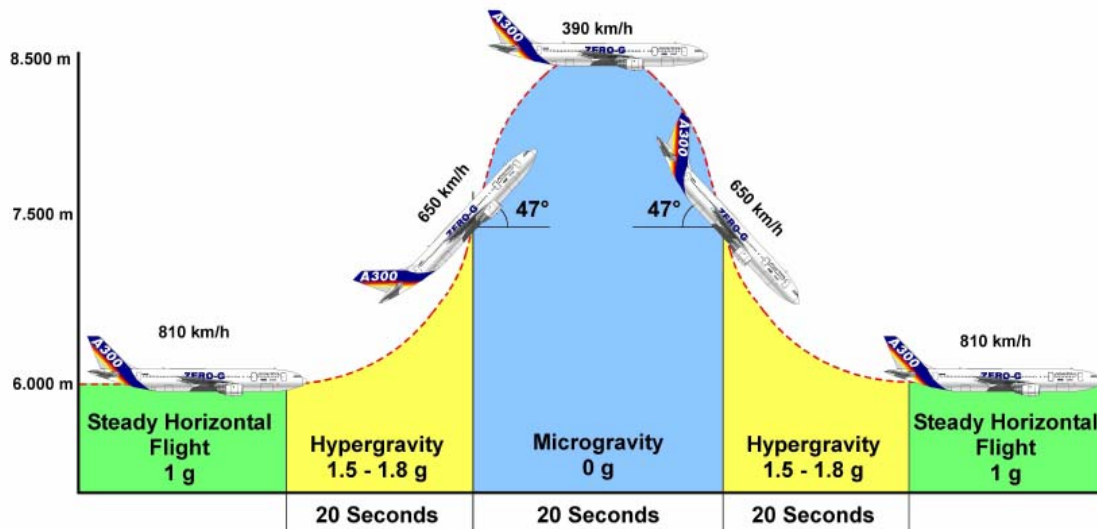


Figura 10 – Perfil de vôo das parábolas. Eixo “y” = altitude em metros (m), eixo “x” = tempo em segundos. Força G: na horizontal, precedendo a parábola (1g); Hipergravidade, início e fim da parábola (1,5 a 1,8g); e microgravidade, área central da parábola (0g).

Fonte: Ceglia, E. European Users Guide to Low Gravity Platforms. UIC-ESA-UM-0001, Issue 2 Revision 0. Noordwijk: Erasmus User Centre and Communication Office, European Space Agency (ESA); 2005, p4-6.

Enquanto a aeronave encontra-se nesta atitude de vôo (Figura 11), em ângulo e ascendendo, ao alcançar os 7.500 metros de altitude, ângulo de 47 graus em relação ao plano horizontal e com velocidade do ar de 650 km por hora, a potência dos motores é reduzida a um mínimo necessário para compensar o atrito com o ar. Neste ponto, a aeronave segue uma queda-livre com trajetória balística. O avião se desloca para cima e pra baixo, realizando um arco – parábola – gerando assim a simulação de

microgravidade. Todo o conteúdo do avião que estiver solto flutuará e os pilotos farão a aeronave se portar como uma “embalagem” do projétil atirado, acompanhando o movimento de queda livre.

O ponto mais elevado da parábola encontra-se aos 8.500 metros de altitude e, com uma velocidade reduzida para 390 km por hora.

Com a queda da aeronave, alcançando 7.500 metros de altitude, com um ângulo de 47 graus em relação ao plano horizontal, novamente em hipergravidade, há necessidade de recuperação do arco da parábola, com nivelamento da aeronave no plano horizontal, retornando aos 6.000 metros de altitude, e 1 G de força gravitacional.



Figura 11 – Atitude de vôo no início da parábola, em ângulo de 47 graus em relação ao plano horizontal.

Fonte: Novespace, in: [http://www.novespace.fr/VEnglish/Microgravity\\_a/microgravity.htm](http://www.novespace.fr/VEnglish/Microgravity_a/microgravity.htm).

A duração de cada parábola é de um minuto, havendo dois minutos de intervalo entre elas, voando no plano horizontal. A Figura 12 apresenta a seqüência de parábolas

em um dia de vôo e seus tempos, sendo que estão dispostas em seis grupos com cinco parábolas cada e entre os grupos existe um tempo de intervalo maior. A parábola “#0” que inicia o vôo é realizada para verificação dos acertos finais e como uma forma de preparação dos pesquisadores para a seqüência das 30 parábolas.

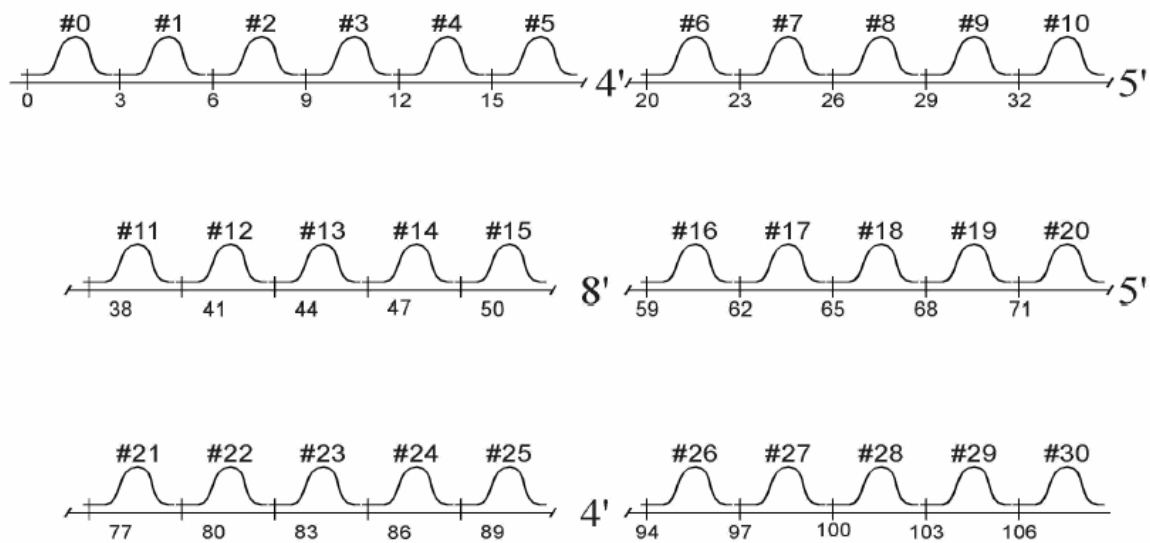


Figura 12 – Seqüência de parábolas, numeradas na parte superior e precedidas de “#”, com tempo de duração em minutos, indicado abaixo das parábolas. Entre os seis grupos de parábolas existem números indicando intervalo em minutos.

Fonte: Ceglia, E. European Users Guide to Low Gravity Platforms. UIC-ESA-UM-0001, Issue 2 Revision 0. Noordwijk: Erasmus User Centre and Communication Office, European Space Agency (ESA); 2005, p4-6.

O ambiente de cabine do A-300 tem pressão barométrica reduzida durante o vôo à semelhança dos vôos da aviação comercial, mantida estável durante todas as manobras em 79% da pressão barométrica ao nível do mar, correspondendo a 6.000 pés de altitude de cabine. A temperatura no interior da cabine é de 18 a 25 graus Celsius, e a

iluminação sendo uniforme e difusa, permite, além da realização dos estudos, fotografar e filmar os experimentos (Figura 13).



Figura 13 – Área de testes durante a microgravidade. A iluminação da cabine se mantém uniforme durante o voo. Paredes laterais, superior e inferior acolchoadas.

Fonte: Ceglia, E. European Users Guide to Low Gravity Platforms. UIC-ESA-UM-0001, Issue 2 Revision 0. Noordwijk: Erasmus User Centre and Communication Office, European Space Agency (ESA); 2005.



### 3.2.3 – Suporte Básico à Vida (SBV) em microgravidade

Uma das medidas preconizadas no SBV, frente ao evento PCR, é a realização de compressões torácicas – massagem cardíaca – para manter a circulação durante a RCP. Para realizar estas compressões o socorrista se posiciona ao lado da vítima, que estará deitada em decúbito dorsal e, com os braços estendidos, dispendo as mãos uma sobre a outra, apoiadas sobre a metade inferior do esterno, realizará compressões torácicas utilizando seu peso (10,12). Esta manobra não poderá ser estabelecida em um ambiente espacial, em microgravidade.



Figura 14 – Posicionamento para realização de compressões torácicas, massagem cardíaca, usual.

Fonte: Guidelines 2000 for cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care. Part. 3: Adult Basic Life Support. Circulation 2000;102(suppl I): I-43 (fig.22).

Segundo *Summers* (46), ao se considerar a possibilidade de RCP em ambiente de microgravidade, fica imediatamente evidente que, as usuais condições fisiológicas e os protocolos de SBV e SAV praticados na Terra podem ser irrelevantes (45).

A ocorrência de uma PCR em ambiente espacial gera uma incapacidade de se estabelecer o SBV de forma rápida e eficaz. Na ausência de gravidade, ao comprimir o tórax de forma usual, sem apoio ou fixação da vítima e do socorrista, a vítima e o socorrista se afastariam um do outro o que resultaria na interrupção do socorro, pois ambos estão flutuando.

Uma das formas de atendimento a PCR em microgravidade preconizada pela NASA é realizada através da restrição ou fixação da vítima, do socorrista e de todo o equipamento utilizado na RCP (46), o que demanda tempo até que se iniciem as compressões torácicas (Figura 15).



Figura 15 – Dispositivo para a restrição ou fixação da vítima em microgravidade (à esquerda). RCP após fixação da vítima e do socorrista.

Fonte: Johnson Space Center, National Aeronautics and Space Administration. In: <http://advlifesupport.jsc.nasa.gov/flight/index.html>.

Existe uma maneira de realizar as compressões torácicas fixando a vítima sem haver a fixação do socorrista, porém, para que isto seja possível, haverá uma condição dependente do local onde a PCR ocorra. Esta forma é possível pelo posicionamento do socorrista de forma vertical e invertida (Figura 16), conseguindo apoio com as pernas para poder realizar as compressões torácicas.



Figura 16 – RCP com socorrista na posição vertical invertida, “Hand Stand”, existindo a necessidade de apoio dos pés do socorrista e fixação da vítima.

Fonte: Jay GD, Lee P, Goldsmith H, Battat J, Maurer J, Suner S. CPR Effectiveness in Microgravity: comparison of three positions and a mechanical device. *Aviation, Space, and Environmental Medicine* 2003;74(11):1185 e, Johnson Space Center, National Aeronautics and Space Administration. In: <http://advlifesupport.jsc.nasa.gov/flight/index.html>.

Nas manobras anteriormente descritas, é necessário fixar a vítima o que demanda precioso tempo até o início das compressões torácicas (2 a 4 minutos), e, um segundo socorrista deve estar presente no local para realizar as ventilações (48).

Outra maneira criada para realizar compressões torácicas em microgravidade é abraçar a vítima abordando-a pelo dorso, colocando as mãos sobre o esterno e realizando as compressões, seria uma modificação da Manobra de Heimlich (ao invés de promover a compressão abdominal, realiza-se a compressão torácica) (48).



Figura 17 – Manobra de Heimlich modificada ou “abraço de urso” (Reverse Bear Hug).

Fonte: Johnson Space Center, National Aeronautics and Space Administration. In: <http://advlifefsupport.jsc.nasa.gov/flight/index.html>.

Um importante fato relacionado ao ambiente de microgravidade é que, independente da forma de RCP, o socorrista estará sujeito à fadiga por necessitar maior esforço muscular para as compressões torácicas na ausência de peso (46). Realizar RCP através do método de fixação da vítima e socorrista (Figura 15) gera fadiga rapidamente (48).

O manejo de emergências cardiovasculares a bordo da EEI pode incluir: monitorização eletrocardiográfica, desfibrilação, ventilação mecânica e praticamente todas as medidas de ressucitação previstas no SAV (48).

Mortes relacionadas ao ambiente espacial, decorridos 40 anos de atividades com mais de 400 astronautas e cosmonautas envolvidos, relacionam 21 fatalidades em cinco eventos (46).

Não existe relato, até o momento, de ocorrência de PCR em ambiente espacial, porém nos últimos anos, desde o início da conquista do espaço até a atualidade, vem ocorrendo mudanças no perfil dos astronautas a bordo de naves e estações espaciais. Inicialmente os astronautas eram jovens, selecionados por seus conhecimentos técnicos e por possuírem uma condição física excelente. Com o desenvolvimento dos meios de

transporte, subsistência e permanência no espaço, o perfil destes astronautas está se modificando, possibilitando que pessoas sem o condicionamento físico anteriormente exigido e com uma maior faixa etária alcancem o espaço (46).

Existe o relato de um episódio de taquicardia ventricular não sustentada durante período de longa estada em estação espacial, sem repercussões, assintomática, registrada em um protocolo de estudo de monitorização com Holter (eletrocardiograma dinâmico de 24 horas) (47).

As missões e viagens espaciais já foram consideradas áreas restritas das agências governamentais e, na atualidade, já existem empresas explorando o turismo espacial e considerando viável a permanência de indivíduos no espaço sem a seleção e a preparação que os astronautas realizam. Projetos incluindo o desenvolvimento de vôos comerciais utilizando o espaço suborbital estão sendo avaliados por fabricantes de aeronaves, sendo assim, poderão existir vôos comerciais nos quais passageiros comuns estariam expostos ao ambiente de microgravidade em um futuro próximo.

#### 3.2.4 – Motivação para o estudo em microgravidade

Sendo vitais os primeiros minutos da reanimação para o prognóstico da vítima, considerou-se como motivação para o desenvolvimento deste estudo, a necessidade de criarmos uma alternativa para estabelecer uma imediata e adequada reanimação, através

de compressão torácica e ventilação, suprindo a fase inicial do atendimento, até a fixação ideal possibilitando a realização dos cuidados de SAV. Para isto, está sendo proposta uma manobra de reanimação, até então não estudada, para o período inicial do atendimento, com base em uma posição alternativa para a abordagem da vítima por um socorrista (50), sem retardar o início das compressões torácicas.

## **OBJETIVOS**

### 1 – Ambiente Aéreo

1.1 – Avaliar a qualidade do ar expirado por um socorrista durante a realização de manobras de reanimação cardiopulmonar em ambiente aéreo, hipobárico.

1.2 – Avaliar a oferta de oxigênio suplementar ao socorrista como forma de correção da mistura oferecida à vítima de uma parada cardiorrespiratória em altitude - vôos comerciais.

### 2 – Ambiente Espacial

2.1 – Avaliar a eficácia de uma nova posição para realização de reanimação cardiopulmonar por um só indivíduo, sem auxílio de equipamentos, na microgravidade.

2.2 – Contribuir para o manejo de emergências médicas durante missões espaciais.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **1 – Ambiente Aéreo**

A composição e volume do ar expirado dentro do “pulmão” de um manequim por um socorrista realizando RCP com base no SBV, foram medidos em três situações distintas: ao nível do mar, em câmara hipobárica a 8.000 pés respirando ar e a 8.000 pés com suplementação de oxigênio.

A altitude de 8.000 pés foi escolhida por ser a altitude máxima de cabine em vôo nas aeronaves comerciais.

#### **1.1 – Manequim**

Foi utilizado um manequim modelo Resusci Anne SkillReporter, fabricado pela Laerdal Medical Ltd., Orpington, UK.

#### **1.2 – Câmara Hipobárica**

Para este estudo foi utilizada uma câmara hipobárica Aeroform (Poole, England), localizada na Base da Real Força Aérea em Henlow, UK.

A câmara tem o formato cilíndrico (Figura 18), com dois compartimentos possibilitando a realização de descompressão rápida. Suas características são:



- Diâmetro interno vertical de 2,087 metros.
- Compartimento maior com comprimento de 3,728 metros.
- Compartimento menor com comprimento de 1,789 metros.
- Oito assentos no compartimento maior e três no menor.
- Condicionamento do ar podendo variar a temperatura entre 10 e 30 graus Celsius, na altitude desejada.
- Máxima altitude de trabalho de 100.000 pés.



Figura 18 – Câmara hipobárica Aeroform, localizada na Base de Henlow, Inglaterra.

Fonte: Foto realizada no local da realização do estudo.

### 1.3 – Voluntários

Oito voluntários sadios realizaram a RCP nas três condições já descritas anteriormente, seis membros da Real Força Aérea, da Base de Henlow, e dois

pesquisadores. Todos participantes tinham experiência prévia na realização de manobras de RCP.

O protocolo de estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética do King's College de Londres e pelo Centro de Medicina de Aviação da Real Força Aérea, Henlow, sendo que cada voluntário assinou um termo de consentimento informado.

#### 1.4 – Aquisição dos dados

Para a determinação das concentrações de oxigênio e gás carbônico expirados, foi utilizado um espectrômetro de massa Airspec QP9000 (Biggin Hill, UK), posicionado fora da câmara hipobárica (Figura 20).

O volume do ar expirado dentro do “pulmão” do manequim foi avaliado por um fluxômetro Fleisch.

#### 1.5 – Protocolo

Cada voluntário realizou RCP, em situação de simulação de PCR com manequim, por três períodos distintos:

- a) Respirando ar ao nível do mar
- b) Respirando ar a 8.000 pés
- c) Respirando oxigênio suplementar a 8.000 pés (fluxo contínuo de 4 litros/minuto)

Cada um dos períodos de RCP durou 10 minutos e foram distribuídos de forma randomizada balanceada. Todos os períodos de RCP foram realizados com o manequim posicionado no solo do maior compartimento da câmara hipobárica (Figura 19).



Figura 19 – Interior da câmara hipobárica, compartimento maior. Disposição do manequim no solo da câmara; a. calibração de gases e volumes, b. RCP ao nível do mar (porta da câmara aberta).

Fonte: Foto realizada no local da realização do estudo.

Foi utilizada a mesma razão de ascensão e descenso da câmara, igual a 4.000 pés por minuto. Durante o desenvolvimento do estudo, incluindo a ascensão até 8.000 pés, um ou dois investigadores acompanhavam os voluntários no interior da câmara.

Os dados registrados foram:

- i) Concentração de oxigênio e gás carbônico no ar expirado para o manequim pela manobra de ventilação boca-a-boca, medidas pelo espectrômetro de massa.

- ii) Volume do ar expirado para o “pulmão” do manequim, através do fluxômetro Fleisch, posicionado na “traquéia” do manequim.

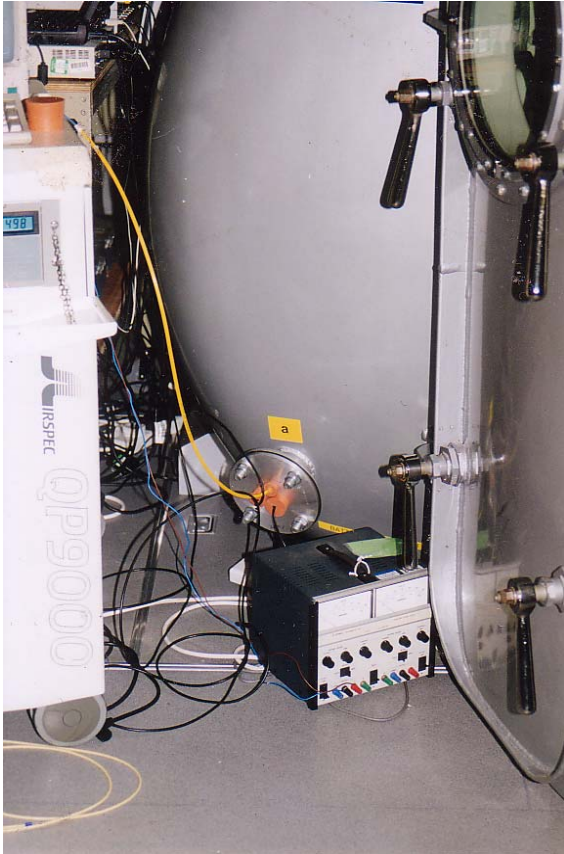


Figura 20 – Exterior da câmara, local de passagem de cabos e sensores para interior da câmara sem alterar as condições de pressão estabelecidas. Visão parcial do espectrômetro, à esquerda.

Fonte: Foto realizada no local da realização do estudo.



Figura 21 – RCP, na câmara hipobárica, realizada em altitude 8.000 pés (porta da câmara fechada).  
Ventilação boca-a-boca à esquerda e, compressões torácicas à direita.

Fonte: Foto realizada no local da realização do estudo.

## 2 – Ambiente Espacial

### 2.1 – RCP em microgravidade

A proposição deste estudo é que, um único socorrista, sem auxílio de equipamentos, possa iniciar o atendimento imediato de uma vítima em PCR através de uma nova posição para reanimação. Uma vez constatada a PCR, o socorrista que testemunhar o fato poderá abordar a vítima abraçando o tronco da mesma com as pernas (perna esquerda pelo ombro direito da vítima e, perna direita pela região tóraco-abdominal esquerda da vítima). Utilizando as pernas como apoio, o socorrista inicia as compressões torácicas, garantindo o restabelecimento do fluxo sanguíneo coronariano e cerebral (Figura 22 e 23).



Figura 22 – RCP em microgravidade. Nova posição proposta pelo estudo, socorrista abraça o tronco da vítima com as pernas para obter apoio durante as compressões torácicas.

Fonte: Foto realizada no local da realização do estudo.



Figura 23 – RCP em microgravidade. Disposição dos quatro pesquisadores durante a parábola.  
Fonte: Foto realizada no local da realização do estudo.

Para a realização das ventilações, o socorrista se inclina e executa a ventilação boca-a-boca (Figura 24), sem haver um desgarro do socorrista em relação à vítima.



Figura 24 – Dois pesquisadores demonstrando durante uma parábola, flutuação, a forma de realização da ventilação boca-a-boca.

Fonte: Foto realizada no local da realização do estudo.



Figura 25 – Preparação pré-vô da área de trabalho no interior da cabine do A-300.

Fonte: Fotos realizadas no local da realização do estudo.



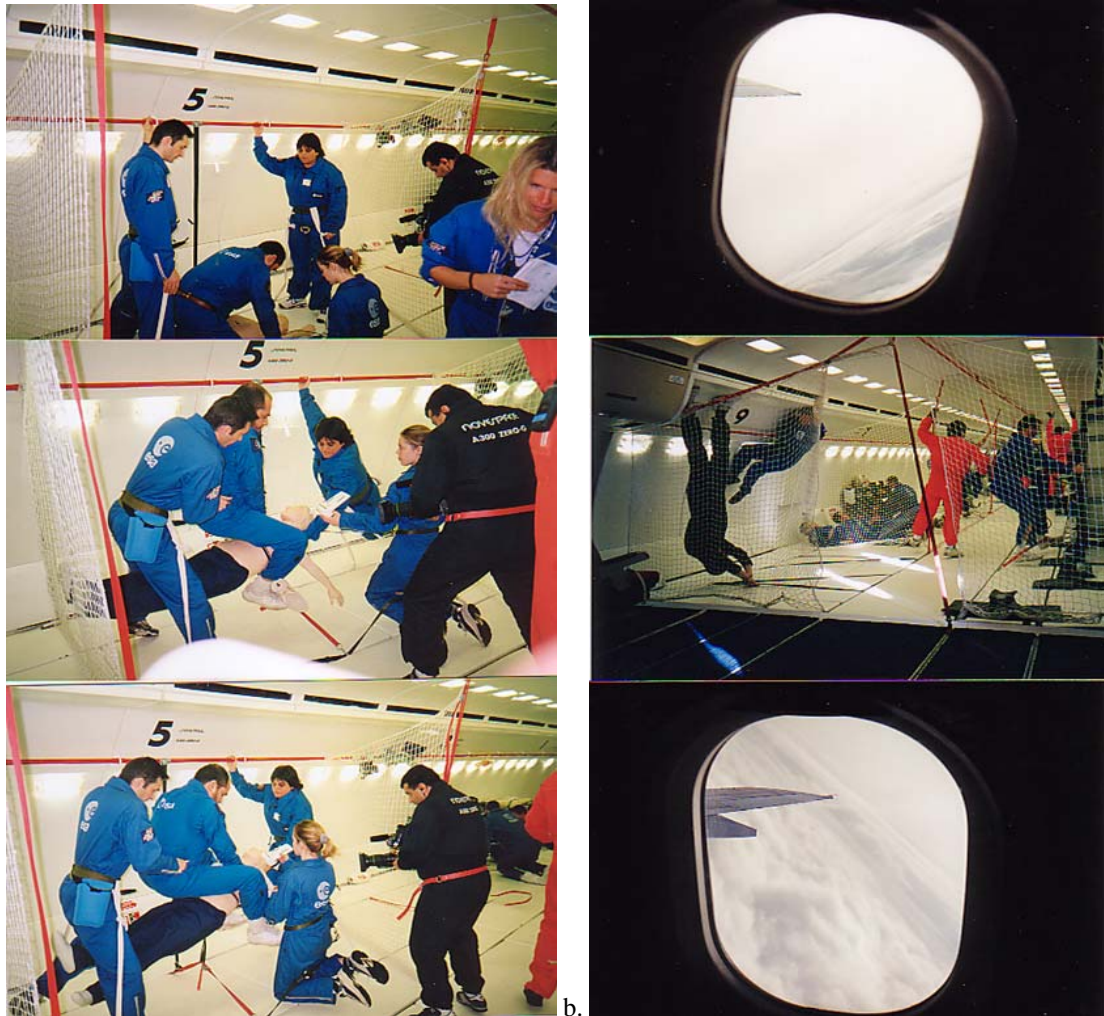


Figura 26 – a. Três momentos da RCP em microgravidade: Hipergravidade, aguardando a flutuação (superior); Posicionamento do socorrista, em flutuação (centro); RCP sendo realizada (inferior).  
 b. Parábola registrada com imagens da seqüência: Início da parábola, hipergravidade (superior); Microgravidade, flutuação (centro); Fim da parábola, hipergravidade (inferior).

Fonte: Fotos realizadas no local da realização do estudo.

## 2.2 – Investigadores

Durante a simulação de Microgravidade, através de vôos parabólicos, realizou-se uma avaliação das compressões torácicas e da ventilação (volume de ar corrente), em simulação de atendimento a uma vítima de PCR utilizando um manequim.

Quatro investigadores integravam a equipe. Três investigadores realizaram as manobras de RCP. A idade dos participantes variou de 32 a 41 anos, com altura entre 152 e 186 cm e o peso entre 52 e 100 kg. Todos os investigadores tinham experiência prévia na realização das manobras de RCP, sendo que previamente ao estudo em questão, participaram de treinamento em solo e em submersão (piscina).

O protocolo de estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética do King's College de Londres e pela Agência Espacial Européia. Cada investigador assinou um termo de consentimento informado e todos estavam certificados pelo JAA (Joint Aviation Authorities), para os britânicos ou pelo Ministério da Defesa (Aeronáutica), para os brasileiros. Esta certificação pré-vôo, através de exames (médico, laboratorial, imagem, audiometria e avaliação psicológica), é a mesma realizada para a obtenção do Certificado de Capacidade Física (CCF) de pilotos de II classe (Piloto Privado). Por exigência da Agência Espacial Européia, os investigadores realizaram treinamento fisiológico em câmara hipobárica.

O treinamento fisiológico, no Brasil, foi realizado no Instituto de Fisiologia Aeroespacial (IFISAL), da Aeronáutica, localizado na cidade de Marechal Hermes, Rio de Janeiro.

## 2.3 – Protocolo

O estudo foi desenvolvido durante a 29ª Campanha de Vôos Parabólicos da Agência Espacial Européia, realizada em Bordeaux, França. Esta Campanha compilava estudos da área médica e de educação.

Em cada um dos três dias de vôo, como descritos anteriormente, foram realizadas as manobras de RCP em microgravidade. Os quatro pesquisadores participaram do estudo, dois estabilizavam, durante a microgravidade, o manequim e o socorrista (terceiro), e o quarto controlava o monitor que demonstra a qualidade da compressão torácica, informando sobre a eficácia da manobra e garantindo seu registro.

A cada cinco parábolas, utilizando o intervalo maior de tempo entre as parábolas, já determinado previamente ao início dos vôos, as posições eram alternadas no intuito de variar o pesquisador realizando as manobras de RCP.

As compressões torácicas foram realizadas isoladamente, sem ventilação, no primeiro e na segunda metade do segundo dia de vôo. A combinação compressão + ventilação foi realizada na metade do segundo e no terceiro dia de vôo.

Antes e depois dos vôos, em condição de 1G, cada investigador realizou manobras de RCP em ambiente usual (superfície terrestre). Antes e depois dos vôos e durante a microgravidade, foram realizadas calibrações do manequim, utilizando um mecanismo com êmbolo, uma seringa de gás de volume conhecido e, calibrações do manequim quanto às compressões torácicas.

#### 2.4 – Características do manequim e sua utilização

Foi utilizado um manequim com cabeça, tronco e membros, modelo Resusci Anne SkillReporter, fabricado pela Laerdal Medical Ltd., Orpington, UK.

O volume das ventilações e a medida da compressão torácica para serem considerados adequados, foram baseados no programa informatizado (software) do manequim considerando as resoluções e recomendações do Conselho Europeu de Ressucitação (51). Os parâmetros considerados ideais, naquele momento, setembro de 2000, eram os seguintes: compressões torácicas com uma profundidade de 40 a 50 milímetros, 100 compressões por minuto e volume de ar corrente nas ventilações, de 400 a 600 mililitros.

O volume de ar injetado, através de seringa de gás, com volumes crescentes, de 100 em 100 mililitros, foi medido precisamente. O monitor do manequim demonstrava através de sinais luminosos, o volume de ar corrente apropriado. Este monitor gerava uma média impressa das medidas do volume de ar e indicava quantas ventilações eram efetivas. As medidas do volume de ar corrente do manequim foram realizadas através de um transdutor linear com aquisição de valores configurando uma média, considerando o peso da parede torácica do manequim em 1G (sem microgravidade). Durante a RCP em microgravidade e calibrações em 1G, foi utilizado um cinto de contenção, não elástico, ao redor do tórax, colocado 10 centímetros acima do apêndice xifóide, para evitar o distanciamento excessivo da parede torácica do manequim, durante os momentos sem o peso da parede torácica, em microgravidade, o que interferiria nas medidas pelo transdutor linear. O cinto foi ajustado para permitir a ventilação com os volumes adequados (400 a 600 mililitros) em situação de 1G e em microgravidade.

A resistência do tórax às compressões foi provida por uma mola de aço de 10 milímetros de diâmetro localizado no centro do tórax do manequim. A média medida das compressões torácicas foi adquirida por um segundo transdutor linear, sendo que a

profundidade de  $38 \pm 2,4$  milímetros foi conseguida com a aplicação de 400 N de força vertical.

## RESULTADOS – AMBIENTE AÉREO

As médias da pressão de oxigênio ( $PO_2$ ) medidas na “traquéia” do manequim, através do espectrômetro de massa, estão descritas abaixo:

- a)  $PO_2$  108,3 ( $\pm$  1,3) mmHg ao nível do mar,
- b)  $PO_2$  72,3 ( $\pm$  1,5) mmHg a 8.000 pés, socorrista respirando ar (sem suplementação de oxigênio) ( $p < 0.05$ ),
- c)  $PO_2$  108,0 ( $\pm$  3,5) mmHg a 8.000 pés, socorrista com suplementação de oxigênio, 4 litros por minuto, fluxo contínuo por óculos nasal.

As médias da pressão de gás carbônico ( $PCO_2$ ) igualmente medidas na “traquéia” do manequim, são:

- a)  $PCO_2$  37,6 ( $\pm$  0,9) mmHg ao nível do mar,
- b)  $PCO_2$  34,9 ( $\pm$  1,1) mmHg a 8.000 pés, socorrista respirando ar (sem suplementação de oxigênio),
- c)  $PCO_2$  36,2 ( $\pm$  1,2) mmHg a 8.000 pés, socorrista com suplementação de oxigênio, 4 litros por minuto, fluxo contínuo por óculos nasal.

O volume médio de cada ventilação oferecido à “vítima” (manequim), medido pelo fluxômetro colocado na “traquéia” do manequim, foi de 1,02 ( $\pm$  0,02) litros.

O tratamento estatístico foi através do Teste  $t$  pareado (significância  $\leq 0.05$ ).

## **DISCUSSÃO – AMBIENTE AÉREO**

O voo em cabine de uma aeronave pressurizada tem características que são hostis para os seres humanos, tanto para os tripulantes, como para os passageiros. Além da hipóxia hipobárica, características como, por exemplo, aerodilatação dos gases contidos em cavidades corporais, aceleração, ruídos e vibrações, imobilidade em vôos prolongados, ar de cabine seco e frio, tornam este ambiente propício para a ocorrência de situações médicas a bordo. Ressalta-se que cerca de 1.000 pessoas por ano, na aviação comercial mundial, falecem a bordo, isto significa dizer que, em média, a cada dois milhões de passageiros transportados ao ano, existe o registro de um óbito a bordo (13), ou seja, cerca de 1.000 óbitos em dois bilhões de bilhetes emitidos e assentos ocupados (média anual).

Ao avaliar emergências a bordo de aeronaves (15,17), a maioria delas, cerca de dois terços, pode ser manejada adequadamente pela tripulação (17). As situações mais complexas podem exigir a formulação da pergunta: “Por favor, há algum médico a bordo?”

Nos casos de PCR, o atendimento deve ser tão imediato que esta pergunta deve ser realizada já com as medidas de RCP em andamento, ou seja, a vítima deveria receber imediatamente, por quem presenciar a PCR, os cuidados de SBV e uso do DEA, quando disponível (11).

Este estudo, em ambiente hipobárico, avaliando a RCP, não possui dados comparativos para avaliação. O estudo preliminar, realizado no King’s College, Londres, em 2000 (29), demonstrou importante redução na oferta de oxigênio para uma vítima de PCR, avaliando o ar expirado, durante 5 minutos, em RCP. Neste estudo, foi utilizada a simulação de altitude com misturas gasosas enriquecidas com nitrogênio.

Simulou-se, assim, a redução na pressão barométrica que ocorre na altitude, ao reduzir-se a pressão parcial de oxigênio. Os resultados deste estudo preliminar demonstraram que a redução importante na oferta de oxigênio à vítima em PCR ocorria principalmente a 8.000 pés, quando comparados aos valores ao nível do mar e 6.000 pés.

A realização do presente estudo, em ambiente de hipobárico, torna mais real esta avaliação, pois a exposição em câmara hipobárica é a forma mais fiel de simular altitude.

Os oito participantes do estudo que realizaram a RCP não registraram nenhuma queixa ou desconforto, durante as manobras, independente da altitude. Como característica do ambiente hipobárico, a hipóxia está presente de forma silenciosa e não há, nestas situações, a percepção de desconforto respiratório.

Existem, na literatura, alguns registros de utilização da simulação de altitude, por misturas hipóxicas, bem como, através de câmaras hipobáricas. *Toff* (33) utilizou câmara hipobárica em altitudes de 8.000 pés, para avaliar o impacto deste ambiente, sobre a coagulação, fibrinólise, função plaquetária e ativação endotelial, com o objetivo de estudar as condições de cabine e suas relações com o tromboembolismo venoso. Não avaliou variáveis referentes aos gases arteriais ou composição da mistura gasosa inspirada ou expirada. *Dillard* (32) utilizou misturas hipóxicas e câmara hipobárica, para avaliação pré-vôo de pacientes com doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC), mas não avaliou, igualmente, a composição da mistura gasosa.

Os dois estudos citados (32,33) demonstram que a altitude impõe ao organismo, quando em limite máximo de cabine para vôo, 8.000 pés, marcada hipóxia. Para a maioria das pessoas em repouso e sentadas em uma poltrona durante um vôo, esta hipóxia não representa uma agressão importante. É comum, em viagens para cidades na altitude, a exemplo, para a Cidade do México, a pessoa suportar melhor o ambiente de



cabine, por 8 horas de vôo, que o ambiente da altitude (semelhante aos 8.000 pés de cabine). Isto se deve, provavelmente, ao fato de estarem, dentro do avião, em repouso.

Avaliando os dados disponíveis neste estudo e nos demais, a altitude de 8.000 pés um limite muito tênue para pessoas que possuam alguma doença, que possa ser exacerbada pela exposição à hipóxia. Ou seja, estes indivíduos podem estar em risco na altitude. Considerando-se o fato de estarem hipóxicos, frente a uma PCR nestas condições, a ventilação a eles oferecida, sem suplementação de oxigênio, será válida?

A avaliação dos dados permite que se continue investigando se, em altitude de cabine de 8.000 pés, poder-se-á estabelecer um ambiente desfavorável para o sucesso de uma RCP, com ventilação boca-a-boca, sem suplementação de oxigênio.

A tendência de parte da indústria aeronáutica (23) em considerar em seus projetos futuros 6.000 pés como a altitude máxima de cabine em vôo, pode auxiliar a reduzir os problemas médicos a bordo e, caso ocorra uma PCR, a RCP será praticada com melhor disponibilidade de oxigênio para ambos, socorrista e vítima.

## **CONCLUSÕES – AMBIENTE AÉREO**

A altitude de 8.000 pés reduz de forma importante a pressão de oxigênio expirada pelo socorrista que é oferecida à vítima de PCR nestas condições. A oferta de oxigênio suplementar ao socorrista, por óculos nasal, pode corrigir a composição hipóxica do ar expirado para os pulmões da vítima e, talvez, possa estar melhorando o desempenho do socorrista.

## RESULTADOS – AMBIENTE ESPACIAL

Devido às características dos vôos parabólicos e suas dificuldades, os dados originados pela RCP em microgravidade foram obtidos a partir de três dos quatro investigadores, realizando compressões torácicas isoladas, sem ventilações. Para os dados relacionados à RCP com compressões e ventilações, somente dois dos quatro investigadores originaram registros.

Dados referentes às compressões torácicas e ventilações sem microgravidade (1 G):

- profundidade média de 43,6 ( $\pm$  0,59) milímetros,
- variação de 40,4 a 47,1 milímetros,
- frequência de 97,1 ( $\pm$  3,0) compressões por minuto,
  - “n” de 225,
- volume de ar corrente de 507,6 ( $\pm$  11,5) mililitros,
- variação de 423 a 570 mililitros
  - “n” de 30.

Dados referentes às compressões torácicas isoladas, em microgravidade:

- profundidade média de 41,3 ( $\pm$  1,03) milímetros,
- variação de 27,6 a 51,2 milímetros,
- frequência de 80,2 ( $\pm$  3,4) compressões por minuto ( $p < 0.05$ , em relação ao 1 G),
  - “n” de 672.

Dados referentes às compressões torácicas e ventilações em microgravidade:

- profundidade média de 44,0 ( $\pm$  4,99) milímetros,
- variação de 37,6 a 49,5 milímetros,

- frequência de 68,3 ( $\pm$  17,0) compressões por minuto ( $p < 0.05$ , em relação ao 1 G),

- “n” de 100,

- volume de ar corrente de 491,0 ( $\pm$  50,4) mililitros,

- variação de 284 a 891 mililitros

- “n” de 32.

O tratamento estatístico utilizado foi o Teste  $t$  de duas amostras, com intervalo de confiança de  $p < 0.05$ .

## **DISCUSSÃO – AMBIENTE ESPACIAL**

No ambiente espacial, caracterizado pela sensação de ausência de peso e flutuação, é improvável que se consiga realizar os cuidados de SBV perfeitamente. Porém quando ocorrer uma PCR neste ambiente, as chances de sucesso das manobras de RCP e demais cuidados envolvidos na fase básica do socorro, incluindo a desfibrilação com DEA, estarão intimamente ligadas ao tempo decorrido para o início das compressões torácicas. Uma vez reconhecida a PCR todas as ações envolvidas no socorro à vítima são tempo-dependente e isto não se modifica com a microgravidade.

Em situação usual, terrestre, com a disponibilidade para acesso a todos os elos da Corrente da Sobrevivência (12), as taxas de sobrevivência a uma PCR em ambiente extra-hospitalar continuam inaceitavelmente baixas (9). Comparando a sobrevivência de vítimas de PCR em ambiente extra-hospitalar entre serviços de emergência com recursos semelhantes, havendo diferença entre o tempo de deslocamento dos recursos de SBV adequado e SAV até o local do evento, encontra-se maior taxa de sobrevivência nas comunidades onde os recursos estão mais próximos (9,52). A presença de um socorrista que inicie a RCP imediatamente depois de testemunhar a PCR eleva as chances de sobrevivência, tornando claro que, onde o tempo para início das compressões torácicas é menor a sobrevivência tende a ser maior (9,52,53).

O termo “Ressucitação Cardiocerebral”, proposto como uma abordagem alternativa para o avanço na ciência da reanimação, agrega a imagem de ressucitação cardíaca e cerebral com a proposição de restabelecer imediatamente à vítima de PCR, um fluxo sanguíneo coronariano e cerebral (52). A proposta leva em conta alguns dados referentes ao atendimento extra-hospitalar da PCR como responsáveis pela baixa e estagnada taxa de sobrevivência encontrada atualmente (9,52,53,54). Entre os

problemas identificados destacam-se a ausência de RCP por um socorrista que testemunhou a PCR e a complexidade das orientações referentes ao SBV para leigos (52).

As modificações nas rotinas de RCP propostas em 2005 pela *American Heart Association* contemplam a abordagem diferenciada da PCR até então. As mudanças mais significativas foram as de simplificar as instruções da RCP, aumentar o número de compressões por minuto e reduzir as interrupções durante as compressões torácicas (55). Como exemplo, atualmente orienta-se a eliminação da necessidade do socorrista leigo buscar sinais de circulação antes de começar as compressões torácicas, visando não retardar o restabelecimento do fluxo sanguíneo coronariano e cerebral. Bem como, a relação entre compressões e ventilações ficar estabelecida em 30:2, faz com que as interrupções das compressões sejam menos significativas. As compressões devem ser vigorosas e frequentes (frequência de 100 compressões por minuto). O conceito de dar prioridade à desfibrilação, “primeiro o choque”, passa atualmente pela orientação de antes do uso do desfibrilador, prover à vítima de uma PCR não-testemunhada, cerca de cinco ciclos de compressão/ventilação (30:2), demandando aproximadamente 2 minutos de RCP para então proceder ao choque. Não há mais a recomendação para avaliar a presença de pulso imediatamente após o choque, sendo a orientação atual, restabelecer a RCP iniciando pelas compressões torácicas, por 2 minutos para então verificar o pulso. A orientação que havendo um ritmo passível de cardioversão, uma série de até três choques deveria ser realizada para então restabelecer a RCP, foi modificada. Após cada choque deverá ser restabelecida a RCP e isto implica em modificar inclusive as orientações programadas nos DEA.

As considerações dispostas até aqui fazem pensar que em ambiente espacial, distante do recurso remoto e dependente somente dos ali instalados, o imediato início de compressões torácicas pelo socorrista que presenciar a PCR será decisivo.

Com base nesta avaliação, a nova posição para RCP em microgravidade é um recurso que poderá suprir esta demanda de tempo para início das compressões, podendo ser imediatamente iniciado o socorro, por um único socorrista, desprovido de qualquer equipamento e em qualquer cenário. A partir deste início, os demais recursos e outras condições para o atendimento, incluindo desfibrilação, podem ser acionados sem prejuízo à vítima.

O tempo disponível para a realização da RCP em microgravidade, através dos vôos parabólicos, é muito reduzido, 20 segundos por parábola. Não se consegue avaliar, em vôos parabólicos, a efetividade da RCP por este método ou, por qualquer outro método, quando o parâmetro a ser avaliado seja qualidade da manobra por tempo mais prolongado. Isto é importante, pois, um dado chama a atenção, exercer a RCP sem gravidade é muito cansativo (49,50). Nos vôos parabólicos, parte do cansaço e fadiga percebidos deve-se ao fato que, para cada período de microgravidade, existem dois períodos de hipergravidade que exigem dos participantes do vôo uma adaptação, por cerca de 40 segundos a cada parábola, a quase o dobro do peso corporal.

Comparando os dados obtidos com os dados de outras pesquisas realizadas (48), avaliando a efetividade de RCP em situação semelhante de microgravidade (Tabela 2), igualmente em vôos parabólicos, avaliamos como válida a nova posição proposta.

Tabela 2 – Dados comparativos entre as diversas abordagens para RCP em microgravidade

	<i>Nova Posição proposta</i>	<i>Hand Stand</i>	<i>Rev. Bear Hug</i>	<i>ERC 98 Guidelines</i>
Profundidade (mm)	41,3 ± 1,03	40,1 ± 0,51	36,8 ± 0,64	40 – 50
Frequência (cpm)	80,2 ± 3,4	98,3 ± 6,3	89,3 ± 4,1	~100
VAC (ml)	491 ± 50,4	-	-	400 - 600

mm = milímetros; cpm = compressões por minuto; VAC = volume de ar corrente; Hand Stand = socorrista na posição vertical invertida; Rev. Bear Hug = Manobra de Heimlich modificada ou “abraço de urso”; ERC 98 Guidelines = Diretrizes do European Resuscitation Council, 1998.

Fonte: Dados compilados a partir de fontes diversas: Nova Posição proposta (50), Hand Stand e Rev. Bear Hug (48), e, ERC 98 Guidelines (51).

Foi apresentado neste estudo um conjunto de dados reduzido, em parte pela dificuldade de levar um estudo para o ambiente de microgravidade, pois, mesmo a campanha de vôos sendo um custo muito menor quando comparado a levar um estudo para a EEI (órbita), o custo é alto. Segundo a AEE, cada campanha de vôos parabólicos tem um custo operacional aproximado de meio milhão de dólares. O grupo de pesquisadores era reduzido, e dois deles nunca haviam vivenciado a microgravidade, o que demandou tempo dos vôos para o aprendizado desta mudança ambiental.

Além do disposto até aqui, um parâmetro que modifica na caracterização de uma potencial vítima de PCR é que, sem haver microgravidade, a perda de consciência e conseqüente queda ou pelo menos a mudança da posição do corpo relacionada a perda do tônus muscular, sinaliza a emergência. Na microgravidade este parâmetro se modifica, a identificação de uma vítima não passa pelo fato de encontrá-la caída.



## **CONCLUSÕES – AMBIENTE ESPACIAL**

Os resultados da avaliação de uma Nova Posição para a RCP em microgravidade sugerem que a abordagem por um único socorrista à vítima de PCR deve ser considerada possível.

A importância da modalidade proposta está no fato que o atendimento pode ser iniciado imediatamente após a identificação da PCR, sem necessitar recurso adicional além do treinamento do socorrista. Salienta-se que esta abordagem poderá ser realizada independente do local da ocorrência, não necessitando pontos de apoio, sistemas de restrição ou fixação.

Estudos futuros certamente serão necessários para validar este modelo, possibilitando a avaliação de uma amostra maior de dados. Limitações para a realização desta forma de RCP podem ocorrer por haver desproporção na relação de tamanho entre a vítima e socorrista (dados antropométricos), além de quesitos como a capacidade física do socorrista, a fadiga imposta e condições de treinamento para esta modalidade.

## REFERÊNCIAS

1. Kouwenhoven WB, Judge JR, Knickerbocker GG. Closed chest cardiac massage. JAMA 1960;173:1064-1067.
2. Paraskos JA. History of CPR and the role of the national conference. Annals of Emergency Medicine 1993;22(pt2):275-280.
3. Gedds LA. Cardiopulmonary resuscitation development. IEEE Engineering in medicine and biology magazine 2005:110-113.
4. Stapleton ER. Basic Life Support Cardiopulmonary Resuscitation. Emergency Cardiovascular Care 2002;20(1):1-12.
5. Kern KB. Cardiopulmonary resuscitation without ventilation. Critical Care Medicine 2000;28(11 Supplement):N186-N189.
6. Cummins RO, Eisenberg MS, Hallstrom AP, Litwin PE. Survival of out-of-hospital cardiac arrest with early initiation of cardiopulmonary resuscitation. Am J Emerg Med 1985;3(2):114-119.
7. Ritter G, Wolfe RA, Goldstein S, Landis JR, Vasu CM, Acheson A, et al. The effect of bystander CPR on survival of out-of-hospital cardiac arrest victims. Am Heart J 1985;110(5):932-937.

8. Guerot E, Diehl JL, Rezqui MN, Labrousse J. Long-term survival after extra-hospital cardiac arrest. *Presse Medicale* 1996;25(31):1430-1434.
9. Ewy GA, Kern KB, Sanders AB, Newburn D, Valenzuela TD, Clark L, et al. Cardiocerebral resuscitation for cardiac arrest. *American Journal of Medicine* 2006;119(1):6-9.
10. 2005 American Heart Association Guidelines for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care. Part 3: Overview of CPR. *Circulation* 2005;112(24 Supplement):IV-12-IV-18.
11. Becker LMA, Eisenberg M, Fahrenbruch C, Cobb L. Public locations of cardiac arrest: implications for public access defibrillation. *Circulation* 1998;97(21):2106-2109.
12. 2005 American Heart Association Guidelines for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care. Part 4: Adult Basic Life Support. *Circulation* 2005;112(24 Supplement):IV-19-IV-34.
13. O’rourke MF, Donaldson E, Gedds JS. An airline cardiac arrest program. *Circulation* 1997;96(9):2849-2853.
14. DeHart RL. Health issues of air travel. *Annu. Rev. Public Health* 2003;24:133-151.

15. Goodwin T. In-flight medical emergencies: an overview. *British Medical Journal* 2000;321:1338-1341.
  
16. Castro JC. Ressucitação Cardiopulmonar (RCP) em aeronaves. Paineis do XII Congresso Brasileiro de Medicina Intensiva; 2006 Abril, 28 – Maio,02; Recife, Brasil. Programa do XII Congresso Brasileiro de Medicina Intensiva.
  
17. Dowdall N. “Is there a doctor on the aircraft?” Top 10 in-flight medical emergencies. *British Medical Journal* 2000;321:1336-1337.
  
18. Macmillan AJF. The pressure cabin. In: Ernsting J, Nicholson AN, Rainford DJ (eds). *Aviation Medicine*. Third edition. Oxford: Butterworth Heinmann; 1999. p.112-127.
  
19. Boeing [www.boeing.com]. Cabin Air Quality. [acesso em Setembro 2006]. Commercial Airplanes. Disponível em: <<http://www.boeing.com/commercial/cabinair/environmentfacts.html#airquality>>
  
20. Boeing [www.boeing.com]. How the Environmental Control System Works on Boeing Airplanes. [acesso em Setembro 2006]. Commercial Airplanes. Disponível em: <<http://www.boeing.com/commercial/cabinair/environmentcontrol.html>>

21. Rayman RB. Cabin air quality: an overview. *Aviation, Space, and Environmental Medicine* 2002;73(3):211-215
22. Harding RM, Gradwell DP. Hypoxia and hyperventilation. In: Ernsting J, Nicholson AN, Rainford DJ (eds). *Aviation Medicine*. Third edition. Oxford: Butterworth Heinmann; 1999. p.43-58.
23. Boeing [www.boeing.com]. Boeing 7E7 Offers Preferred Cabin Environment, Study Finds. [acesso em Setembro 2006]. News Release. Disponível em: <[http://www.boeing.com/news/releases/2004/q3/nr\\_040719i.html](http://www.boeing.com/news/releases/2004/q3/nr_040719i.html)>
24. Pickard JS. The Atmosphere and Respiration. In: DeHart RL, Davis JR (eds). *Fundamentals of Aerospace Medicine*. 3<sup>rd</sup> edition. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2002. p.19-38.
25. Harding RM, Gradwell DP. Oxygen equipment and pressure clothing. In: Ernsting J, Nicholson AN, Rainford DJ (eds). *Aviation Medicine*. 3<sup>rd</sup> edition. Oxford: Butterworth Heinmann; 1999. p.77-111.
26. Boeing. Pressurization Introduction. *Boeing Maintenance Training Manual*. Seattle; 1985.
27. Wikipedia [www.wikipedia.org]. El Alto International Airport. [acesso em Setembro 2006]. Disponível em: <[http://en.wikipedia.org/wiki/El\\_Alto\\_International\\_Airport](http://en.wikipedia.org/wiki/El_Alto_International_Airport)>

28. Castro JC, Moreira JS, Russomano T. The effects of 6° head-down tilt (HDT) with and without hypoxia on mental performance. Meeting 15 of the 48<sup>th</sup> ICASM – International Academy of Aviation and Space Medicine; 2000 Sep 17-21; Rio de Janeiro, Brasil. 48<sup>th</sup> ICASM Scientific Program 200:69.
29. Castro JC, Russomano T, Ernsting J. The quality of expired air during cardiac massage at simulated altitudes. Meeting of Aerospace Medical Association. 72nd Annual Scientific Meeting, Reno, Nevada, EUA, 6-10 may 2001 Scientific Program.
30. Wikipedia [www.wikipedia.org]. La Paz. [acesso em Setembro 2006].  
Disponível em: <[http://en.wikipedia.org/wiki/La\\_Paz](http://en.wikipedia.org/wiki/La_Paz)>
31. Wikipedia [www.wikipedia.org]. México City. [acesso Setembro 2006].  
Disponível em: <[http://en.wikipedia.org/wiki/Mexico\\_city](http://en.wikipedia.org/wiki/Mexico_city)>
32. Dillard TA, Moores LK, Bilello KL, Phillips YY. The Preflight Evaluation: A comparison of the hypoxia inhalation test with hypobaric exposure. Chest 1995;107(2):352-357.
33. Toff WD, Jones CI, Ford I, Pearse RJ, Watson HG, Watt SJ, et al. Effect of hypobaric hypoxia, simulating conditions during log-haul air travel, on coagulation, fibrinolysis, platelet function, and endothelial activation. JAMA 2006;295(19):2251-2261.

34. Mortazavi A, Eisenberg MJ, Langleben D, Ernst P, Schiff RL. Altitude-related hypoxia: Risk assessment and management for passengers on commercial aircraft. *Aviation, Space, and Environmental Medicine* 2003;74(9):922-927.
35. Russomano T. The effects of 3 hours of 6° head down tilt with and without hypoxia and light exercise on lung function [Thesis]. London, UK: University of London, King's College; 1998.
36. Russomano T, Doxey S, Ernsting J. Arterialized ear lobe blood samples for arterial blood gas tensions with and without hypoxia during 6° head down tilt. *Aviation, Space, and Environmental Medicine* 1997;68:192.
37. Russomano T, Ernsting J. The arterialized ear lobe blood samples for blood gas tensions – a technique for medical emergencies in microgravity. IAF Proceedings, 47<sup>th</sup> Congress;07-11 october 1996; Beijing, China. Paris, France: IAF; 1996.
38. Russomano T, Evetts SN, Castro J, Santos MA, Gavillon J, Azevedo DFG, et al. A device for sampling arterialized earlobe blood in austere environments. *Aviation, Space, and Environmental Medicine* 2006;77(4):453-455.
39. Aeroform [www.aeroform.co.uk]. Two compartment Chamber. Vacuum Reservoir for Rapid decompression. [acesso em Setembro 2006]. Hypobaric Chambers. Disponível em: <<http://www.aeroform.co.uk/hypobar3.htm>>

40. National Aeronautics and Space Administration [www.nasa.gov]. NASA – What is Microgravity? [acesso em Setembro 2006]. What is Microgravity? Disponível em: <[http://www.nasa.gov/centers/glenn/research/microgex\\_prt.htm](http://www.nasa.gov/centers/glenn/research/microgex_prt.htm)>
41. Locke JP. Space Environments. In: DeHart RL, Davis JR (eds). Fundamentals of Aerospace Medicine. 3<sup>rd</sup> edition. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2002. p.245-270.
42. Coelho RP. Desenvolvimento de centrífugas para experimentos em hipergravidade [Dissertação de Mestrado]. Porto Alegre: Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul; 2005.
43. Halliday D, Resnick R, Walker J. Fundamentals of Physics. 4th ed. New York: Wiley; 1993.v.1, p. 118.
44. Ceglia, E. European Users Guide to Low Gravity Platforms. UIC-ESA-UM-0001, Issue 2 Revision 0. Noordwijk: Erasmus User Centre and Communication Office, European Space Agency (ESA); 2005.
45. Guidelines 2000 for cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care. Part. 3: Adult Basic Life Support. Circulation 2000;102(suppl I): I-43 (fig.22).
46. Summers RL, Johnston SL, Marshburn TH, Williams DR. Emergencies in Space. Annals of Emergency Medicine 2005;46(2):177-184.



47. Fritsch-Yelle JM, Leuenberger UA, D'Anunno DS, Rossum AC, Brown TE, Wood ML, et al. An Episode of ventricular tachycardia during long-duration spaceflight. *The American Journal of Cardiology* 1998;81:1391-1392.
48. Jay GD, Lee P, Goldsmith H, Battat J, Maurer J, Suner S. CPR Effectiveness in Microgravity: comparison of three positions and a mechanical device. *Aviation, Space, and Environmental Medicine* 2003;74(11):1183-1189.
49. Johnston SL, Campbell MR, Billica RD, Gilmore SM. Cardiopulmonary resuscitation in Microgravity: Efficacy in the swine during parabolic flight. *Aviation, Space, and Environmental Medicine* 2004;75(6):546-550.
50. Evetts SN, Evetts LM, Russomano T, Castro JC, Ernsting J. Basic Life Support in Microgravity: Evaluation of a novel method during parabolic flight. *Aviation, Space, and Environmental Medicine* 2005;76(5):506-510.
51. Handley AJ, Bahr J, Baskett P, Bossaert L, Chamberlain D, Dick W, et al. The 1998 European Resuscitation Council guidelines for adult single rescuer basic life support: A statement from the Working Group on Basic Life Support, and approved by the executive committee of the European Resuscitation Council. *Resuscitation* 1998;37(2):67-80.
52. Kern KB, Valenzuela TD, Clark LL, Berg RA, Hilwig RW, Berg MD, et al. An alternative approach to advancing resuscitation science. *Resuscitation* 2005;64:261-268.

53. Ewy GA. Cardiocerebral Resuscitation, The New Cardiopulmonary Resuscitation. *Circulation* 2005;111:2134-2142.
  
54. Kellum MJ, Kennedy KW, Ewy GA. Cardiocerebral Resuscitation Improves Survival of Patients with Out-of-Hospital Cardiac Arrest. *The American Journal of Medicine* 2006;119:335-340.
  
55. 2005 American Heart Association Guidelines for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care. Part 1: Introduction. *Circulation* 2005;112(24 Supplement):IV-1-IV-5.

## **ANEXOS**

ANEXO 1 – Evetts SN, Evetts LM, Russomano T, Castro JC, Ernsting J. Basic Life Support in Microgravity: Evaluation of a novel method during parabolic flight. *Aviation, Space, and Environmental Medicine* 2005;76(5):506-510.

ANEXO 2 – Russomano T, Evetts SN, Castro J, Santos MA, Gavillon J, Azevedo DFG, et al. A device for sampling arterialized earlobe blood in austere environments. *Aviation, Space, and Environmental Medicine* 2006;77(4):453-455.

## Basic Life Support in Microgravity: Evaluation of a Novel Method During Parabolic Flight

SIMON N. EVETTS, LISA M. EVETTS, THAIS RUSSOMANO,  
JOÃO C. CASTRO, AND JOHN ERNSTING

EVETTS SN, EVETTS LM, RUSSOMANO T, CASTRO JC, ERNSTING J. *Basic life support in microgravity: evaluation of a novel method during parabolic flight.* *Aviat Space Environ Med* 2005; 76:506-10.

**Background:** If a cardiac arrest occurs in microgravity, the aim of current emergency procedures is to treat the patient using a medical restraint system within 2 min. The patient may require treatment while medical equipment is being deployed. The capability for one person, unaided, to successfully perform cardiopulmonary resuscitation (CPR) is, therefore, of paramount importance. A new technique has been developed whereby the practitioner encircles the thorax of the patient with his/her legs to restrain the patient to allow CPR to be performed in microgravity. **Method:** Two investigators performed both this method (during parabolic microgravity) and traditional CPR (at +1 Gz) on an instrumented CPR mannequin. The mannequin was modified to ensure accurate chest compression and ventilation measurements during microgravity. **Results:** The mean ( $\pm$  SE) depth and rate of chest compression were  $44.0 \pm 4.99$  mm and  $68.3 \pm 17.0$  compressions  $\cdot$  min<sup>-1</sup>, respectively. Although the mean microgravity rate of compression proved significantly less ( $p < 0.05$ ) than the +1 Gz mean ( $97.1 \pm 3.4$  compressions  $\cdot$  min<sup>-1</sup>), chest compression depth did not differ ( $p > 0.05$ ) from +1 Gz measures ( $43.6 \pm 0.59$  mm). The mean ( $\pm$  SE) microgravity tidal volume (Vt) was  $491 \pm 50.4$  ml, which also did not differ ( $p > 0.05$ ) from +1 Gz values ( $507.6 \pm 11.5$  ml). **Discussion.** Although difficulties in performing this method during parabolic flight primarily affected compression rate, it may be possible to conduct basic life support using this technique in any microgravity environment.

**Keywords:** CPR in microgravity, cardiac arrest in space, medical emergency in space, parabolic flight.

THE EUROPEAN Resuscitation Council basic life support (BLS) guidelines highlight that failure of the circulation for 3 to 4 min will lead to cerebral damage and that delay, even within this time frame, will lessen the chances of a successful outcome (5). Since modern cardiopulmonary resuscitation (CPR) was introduced in the 1960s, its use in different environments throughout the world has led to thousands of lives being saved (3,4,11).

Although the likelihood of a dangerous cardiac event occurring in space at present is rare, the possibility exists. For reasons such as payload or mission expertise and experimental requirement, some individuals are being accepted for space missions at ages and with health standards that could have precluded their selection in the past. With greater age, less stringent health requirements, longer-duration missions, and increased physical labor due to a rise in orbital extra-vehicular activity, the risk of an acute, life threatening condition occurring in space has increased.

In recent years work has been undertaken to develop

methods of basic and advanced life support (ALS) in microgravity (2,8). Protocols have been examined that could be used for trauma management in conjunction with the Crew Medical Restraint System and a medical workstation designed for the International Space Station (ISS) (2,8,10). At present it is estimated that the time between the occurrence of cardiac arrest and the performance of ALS on a secured patient is 2 to 4 min (Hamilton DR. Personal communication; 9 Sept 2004.). The rate of decline of a patient who has suffered cardiac arrest is dependent among other things on the immediate initiation of CPR and the provision and adequacy of such prior to the return of spontaneous circulation, should this be achieved (5).

Although several methods of performing BLS in microgravity, i.e., single-person CPR without the aid of equipment, have been examined, technical limitations preclude these methods from being appropriate in all space environments. A new method of performing CPR, currently termed the Evetts-Russomano (ER) method, has, therefore, been developed with a view to providing a simple, effective means of performing BLS in any microgravity environment (Fig. 1).

The ER method entails the practitioner placing his/her left leg over the right shoulder of the patient so that the left foot is behind and across the patient's back. The practitioner's right leg is placed around the patient's back under the left arm so that the practitioner's right foot is in the region of the patient's inter-scapula area. Ideally the practitioner's ankles are crossed to provide a degree of mechanical stability, thus reducing the amount of muscular effort required to maintain the legs in this position. In this manner the practitioner can assess cardiopulmonary status and apply chest compression against the sternum countered by the force exerted by his/her legs when the knees are flexed.

From the Human Physiology Department, King's College, London, UK.

This manuscript was received for review in July 2004. It was accepted for publication in February 2004.

Address reprint requests to: Simon N. Evetts, Ph.D., Physiology Division, Kings College London, Henrietta Raphael House, Guy's Campus, London Bridge, London SE1 1UL, UK; snevetts@btopenworld.com.

Reprint & Copyright © by Aerospace Medical Association, Alexandria, VA.



Fig. 1. Adoption of the Evetts-Russomano (ER) position for the performance of CPR during parabolic flight.

Mouth-to-mouth ventilation is performed by the practitioner leaning forward and sliding slightly back and to the left.

The purpose of this pilot study was to examine the feasibility and to some degree the efficacy of using ER CPR in microgravity. To this end, European Space Agency (ESA) sponsored parabolic flights were used to provide periods of microgravity and an adapted CPR mannequin was used to measure tidal volume ( $V_T$ ) and chest compression rate and depth.

## METHODS

### Subjects

During microgravity, chest compression measures were obtained from three investigators and chest compression and  $V_T$  (full CPR) measurements were obtained from two investigators. Investigator age ranged from 32 to 41 yr, with height between 152 and 186 cm and weight between 52 and 100 kg. All investigators were experienced in the performance of CPR and had undertaken preliminary training on a mannequin during ground-based and water submersion trials. The study protocol was approved by the King's College London Research Ethics Committee and the ESA Advisory Board for People Protection in Biomedical Research. Each investigator provided written informed consent before participating and successfully completed a Joint Aviation Authorities Class II preflight physical examination in addition to hypobaric environment familiarization.

### Protocol

The ESA 'ZeroG' Airbus was used during a campaign of three flights, with each flight comprising approximately 30 parabolas. A mean of 22 s of microgravity was provided during parabolas. Four investigators were used during the experimentation, two to stabilize the mannequin and practitioner, one to monitor the displays, and one to perform CPR. The roles were rotated between sets of five parabolas to allow different

individuals to perform CPR. Chest compressions were undertaken in isolation during the first and half of the second flight, whereas combined ventilation and chest compression was performed during half of the second and all of the third flight. Pre- and postflight +1 G<sub>z</sub> baseline measures were performed by each investigator using the standard 1-G technique. Pre-, postflight, and microgravity calibrations of mannequin ventilation measurements were undertaken using a gas syringe. Pre- and postflight chest compression calibrations were also performed.

### CPR Mannequin Characteristics and Function

A standard full-body CPR mannequin (Resusci Anne SkillReporter, Laerdal Medical Ltd., Orpington, UK) was used throughout the study. The volume and chest compression distance considered appropriate for effective CPR was pre-programmed in the mannequin software to comply with European Resuscitation Council recommendations (5) extant at the time ( $V_T$  of 400 to 600 ml, chest compression depth and rate of 40 to 50 mm and 100 compressions  $\cdot$  min<sup>-1</sup>). Preliminary assessments of the function of the mannequin at +1 G<sub>z</sub> showed acceptable reliability and validity for volume and compression measurements when in the supine position and when prone with the addition of an adjustable chest strap.

The volume of air injected into the mannequin was accurately measured by means of a 100-ml incremental gas syringe. The mannequin indicated an appropriate  $V_T$  by means of a light display. The record printout provided a measure of volume and indicated how many ventilations in a series were effective. Mannequin  $V_T$  measurements were achieved by means of a linear transducer, normally fully compressed by the weight of the anterior chest wall, which extended as the chest wall was lifted from the transducer by the inflation of the 'lung.' When in the prone position or during microgravity, a 10-cm wide, non-compliant strap was fixed around the chest of the mannequin at a position 10 cm above the xiphoid process to reduce the unloading of the linear transducer by the removal of the weight of the anterior chest wall. The belt was pulled tight and the mannequin ventilated with known volumes of air from the calibrated gas syringe. The belt was adjusted until the mannequin accurately recorded  $V_T$  measurements between 400 ml and 600 ml at 1 G<sub>z</sub> and 0 G<sub>z</sub>, at which point it was assumed to be calibrated. This procedure was carried out during exposures to microgravity preceding and succeeding CPR trials.

Resistance to chest compression was provided by a 10-mm diameter steel spring located centrally in the thorax of the mannequin. Chest compression distance was measured by means of a second linear transducer. A mean compression depth of  $38 \pm 2.4$  mm was produced by the application of 400 N vertical force.

### Data Analysis

The data derived from the Laerdal mannequin provided mean  $V_T \pm$  SD and mean chest compression depths and rate ( $\pm$  SD). Two-sample *t*-tests, assuming

TABLE I. MANNEQUIN CHEST COMPRESSION AND VENTILATION AT +1 Gz AND IN MICROGRAVITY (MEAN  $\pm$  SE).

Measure	+1 Gz	Microgravity	
		Chest Compression Alone	Chest Compression and Ventilation
<b>Chest Compressions</b>			
Depth (mm)	43.6 $\pm$ 0.59	41.3 $\pm$ 1.03	44.0 $\pm$ 4.99
Range (mm)	40.4–47.1	27.6–51.2	37.6–49.5
Rate (compressions $\cdot$ min <sup>-1</sup> )	97.1 $\pm$ 3.0	80.2 $\pm$ 3.4*	68.3 $\pm$ 17.0*
n	225	672	100
<b>Tidal Volume</b>			
Volume (ml)	507.6 $\pm$ 11.5		491 $\pm$ 50.4
Range (ml)	423–570		284–891
n	30		32

\*Significantly different to 1-G control at  $p < 0.05$ .  
+1 Gz = mean of pre- + postflight measures.

unequal variance and a two-tailed outcome, were used to examine differences (confidence interval of  $p < 0.05$ ) between the +1 Gz and microgravity means.

## RESULTS

Due to parabolic flight-related difficulties only three of the four investigators were able to act as subjects for chest compressions and only two of these were able to perform mouth-to-mouth ventilation. The only significant difference ( $p < 0.05$ ) between +1 Gz and microgravity values was for rate of compression (Table I). Although means of the variables obtained in +1 Gz and microgravity were very similar, minimum and maximum values and standard errors clearly show that during microgravity the variations of chest compression depths and ventilation volumes were greater than at +1 Gz (Table I).

Ventilation calibrations during microgravity showed that the mean differences between mannequin and syringe volume measures ( $n = 12$ ) for 400, 500, and 600 ml were  $62.5 \pm 26.3$  ml,  $37.5 \pm 22.2$  ml, and  $2.5 \pm 34.0$  ml, respectively (the mean difference over all volumes was  $34.2 \pm 36.0$  ml).

## DISCUSSION

It is unlikely that perfect BLS can be performed in the absence of gravity. In fact, the difficulty in providing the patient with suitable intensive care in the short term, or the impossibility of such for exploration-class missions, begs the question of whether there is any point in providing BLS in space at all. Certainly many scenarios (possibly the majority) can be envisioned in which even with perfect BLS, the patient will not survive. There will be, however, some situations in which the timely provision of BLS immediately prior to the application of ALS procedures will make the difference between life and death. The relative success of the CPR method examined in this study suggests that it may be more appropriate than procedures currently available in many future space scenarios and should, therefore, undergo empirical examination with a view to providing the spacefarer with the most effective procedures possible.

Current methods comprise those requiring straps or fastenings to counter microgravity, those requiring

equipment to aid CPR, and two methods in which BLS is feasible (2,8,9). The methods requiring equipment or the use of fastenings to secure patient or rescuer cannot be used on the immediate occurrence of cardiac arrest, i.e., they need time to implement and will not be employable in all future space vehicles because of differing dimensions and equipment availability.

The development of a method by which one person can assess the need for and effectively perform BLS in microgravity, therefore, is required to provide a complete microgravity CPR procedure from arrest to defibrillation. Of the two potential techniques reported to date, the most successful appears to be the handstand maneuver (HS) in which the rescuer places his/her feet on the space module 'ceiling,' and his/her hands on the chest of the patient on the 'floor,' in order to perform closed chest compressions primarily through leg extension (8,9). Jay and colleagues were able to successfully perform chest compressions on an instrumented mannequin using the HS maneuver (mean depth and rate of  $4.01 \pm 0.51$  cm and  $98.3 \pm 6.3$  compressions  $\cdot$  min<sup>-1</sup>); however, they pointed out that one of their eight investigators was too short to use the method, highlighting the limitation space module size imposes on its use. Furthermore, difficulties in obtaining the required chest compression depth have been experienced when the rescuer's feet have been placed on an overly flexible surface. Providing a suitable environment exists, however, the HS method appears to offer the astronaut rescuator an effective tool for BLS.

The second reported method of performing BLS in microgravity has been termed the 'reverse bear-hug' (RBH) or modified Heimlich maneuver (2,8). This method requires the rescuer to perform closed chest compressions while behind the patient (rescuer chest to patient back) by clasping the hands over the patient's chest above the xiphoid process and compressing the sternum by flexing the biceps (2,8). Although a respectable mean chest compression depth of  $3.68 \pm 0.51$  cm has been recorded, a mean rate of compression of  $89.3 \pm 4.1$  compressions  $\cdot$  min<sup>-1</sup> proved to be less than the recommended rate (8). The RBH also has inherent difficulties in the provision of mouth-to-mouth ventilation during BLS because of the need for the rescuer to

move from behind to the front of the patient or rotate the patient's head.

Providing enough personnel are present, CPR must be performed during the 2 to 4 min required to prepare to administer ALS for a realistic possibility of patient recovery to exist. Furthermore, in the future, when space habitats differ in size and equipment, the availability of a method of performing free-floating CPR which is not dependent on equipment use and habitat shape offers an absolute baseline for BLS not currently available.

Ideally CPR should be effective for the duration of the time required to prepare ALS (several minutes). Unfortunately, even some experienced practitioners performing CPR at 1 G are unable to maintain a high degree of effectiveness over this duration. During an investigation of the CPR capabilities of medical staff at 1 G, Hightower and colleagues (7) found that the percentage of successful chest compressions fell from 93% in the first minute to 31% during the fourth minute of continuous CPR. Although these results are probably an extreme example of how CPR effectiveness is impaired over time, it can be expected that in the absence of the gravity vector the performance of CPR over 4 min will be considerably more difficult than at 1 G.

Both the HS and RBH methods reported by Jay et al. (8) were experimented within parabolic flight. It may be possible, therefore, that in the less turbulent orbital microgravity environment, higher rates of compression could be attained for all techniques. The dependence of the RBH method on arm strength/endurance, however, casts doubt on the viability of this method for durations in excess of 1 min. The principal detracting factor with regards to using this method, though, is the difficulty in providing mouth-to-mouth ventilation. It is likely that the magnitude of the move in position required of the rescuer would significantly reduce the rate of chest compression delivery. In comparison, the ER method allows the rescuer to apply mouth-to-mouth ventilation quickly and easily by simply sliding the hips backwards and slightly to the left by a matter of 20 cm or so. In the present study, CPR performance proved difficult primarily due to the variable acceleration forces experienced during parabolic flight. Thus, mean chest compression rate was up to 30% ( $p < 0.05$ ) less than that measured at 1 G, and although the mean compression depth and tidal volume were not significantly different from those of 1 G (-5% and -3% respectively), the variance in microgravity was up to three times greater.

Some of the reasons for the variance in the chest compression and ventilation results from the present study follow. The positive and negative acceleration forces preceding each period of relative microgravity delayed the successful adoption of the ER position at the start of each period of microgravity. The short duration of microgravity (normally 20 to 24 s) meant that on occasions a large percentage of the microgravity phase of a parabola was required to adopt the position (these delays were not recorded). In these cases little or no data were obtained. As a direct result of the need to adopt the ER position quickly due to the brevity of the microgravity exposure, it is likely that on occasions the

investigators conducted CPR using a less than perfect position. These occasions probably resulted in more difficult performance of chest compressions and ventilations than would otherwise be the case. Furthermore, at times even when an effective position was achieved quickly, CPR performance was adversely affected by the unfamiliarity of the microgravity environment. This was principally the case for one of the 'first time flyers' in the team, who on occasions when finding himself rotating away from horizontal, instinctively attempted to hold on to supports, thus rendering CPR ineffective.

Current European Resuscitation Council BLS recommendations state that a  $V_T$  of 700 to 1000 ml, chest compression depth of 40–50 mm, and chest compression rates in excess of  $100 \cdot \text{min}^{-1}$  are required for successful CPR (5,6). At the time of the study, the mean  $V_T$  measured was within the then extant European guideline recommendations of 400 to 600 ml. The mannequin used was calibrated to show successful ventilation when such was achieved. Subjectively the performance of mouth-to-mouth ventilation was not difficult, leading the authors to conclude that greater  $V_T$  could have been achieved to meet the new guidelines. With regards to the significantly lower rate of chest compressions achieved during microgravity, the difficulty in adopting and maintaining the ER position during the short duration of the parabolas for the reasons already mentioned greatly reduced the frequency of compressions. It can be expected that use of this position in the less disruptive orbital microgravity by practitioners with experience of the microgravity environment would allow a greater rate of compression and thus potentially achieve the recommended 100 compressions  $\cdot \text{min}^{-1}$ .

Although the characteristics of, and modifications to, the Laerdal SkillReporter mannequin used in the present study were such that the degree of confidence for the prediction of CPR efficacy on humans was acceptable (1,12), it is accepted that limitations do exist with regards to predicting the effectiveness of CPR on humans in microgravity from data derived from mannequin measurements.

## CONCLUSION

The results of this pilot study suggest that effective single-person CPR in orbital microgravity may be possible irrespective of habitat dimensions and without the aid of specialized equipment. Further research is clearly needed, however, to ascertain the validity of using ER CPR in orbit. Future studies will need to employ sample sizes large enough for appropriate statistical analysis. In particular work needs to be conducted to ascertain the relationship between rescuer strength, anthropometry, training experience and CPR performance, and the degree of fatigue elicited by performing this form of CPR over longer durations of microgravity.

## ACKNOWLEDGMENTS

We thank ESA, NOVESPACE, King's College London, the Microgravity Laboratory/IPCT-PUCRS, and Laredal Medical for their support in the undertaking of this study. We further acknowledge Fundação Ruben Berta/Varig for the financial assistance provided to

## CPR IN MICROGRAVITY—EVETTS ET AL.

enable the study to take place and thank Professor Luiz Glock, Head of Medical Research Methodology at the Health Science Graduate Course, PUCRS, for acting as consultant statistician.

### REFERENCES

1. Baubin MA, Gilly H, Posch A, et al. Compression characteristics of CPR manikins. *Resuscitation* 1995; 30:117-26.
2. Billica R, Gosbee J, Krupa D. Evaluation of cardiopulmonary resuscitation techniques in microgravity. Houston, TX: Johnson Space Center; 1990. NASA KC-135 Flight Report N91-32789.
3. Cummins R, Eisenberg M, Hallstrom A, et al. Survival of out-of-hospital cardiac arrest with early initiation of cardiopulmonary resuscitation. *Am J Emerg Med* 1985; 3:114-9.
4. Eisenberg M, Horwood B, Cummins R, et al. Cardiac arrest and resuscitation: a tale of 29 cities. *Ann Emerg Med* 1990; 19:179-86.
5. Handley AJ, Bahr J, Baskett P, et al. The 1998 European Resuscitation Council guidelines for adult single rescuer basic life support. *Resuscitation* 1998; 37:67-80.
6. Handley AJ, Monsieurs KG, Bossaert LL. European Resuscitation Council 2000 guidelines for adult basic life support. *Resuscitation* 2001; 48:199-205.
7. Hightower D, Homas SH, Stone CK, et al. Decay in quality of closed-chest compressions over time. *Resuscitation* 1996; 31: 86-7.
8. Jay GD, Lee P, Goldsmith H, et al. CPR effectiveness in microgravity: comparison of three positions and a mechanical device. *Aviat Space Environ Med* 2003; 74:1183-9.
9. Johnston SL, Campbell MR, Billica R, et al. Cardiopulmonary resuscitation in microgravity: efficacy in the swine during parabolic flight. *Aviat Space Environ Med* 2004; 75:546-50.
10. Kirkpatrick AW, Campbell AR, Novinkov OL, et al. Blunt trauma and operative care in microgravity: a review of microgravity physiology and surgical investigations with implications for critical care and operative treatment in space. *J Am Coll Surg* 1997; 184:308-9.
11. Ritter G, Wolfe R, Goldstein S, et al. The effect of bystander CPR on survival of out-of-hospital cardiac arrest victims. *Am Heart J* 1985; 110:932-7.
12. Tsitlik JE, Weisfeldt ML, Chandra N, et al. Elastic properties of the human chest during cardiopulmonary resuscitation. *Critical Care Medicine* 1983; 1:685-92.

Delivered by Ingenta to:  
Aerospace Medical Association  
IP : 201.15.138.210  
Mon, 12 May 2008 13:12:39



## A Device for Sampling Arterialized Earlobe Blood in Austere Environments

THAIS RUSSOMANO, SIMON N. EVETTS, JOAO CASTRO, MARLISE A. DOS SANTOS, JORGE GAVILLON, DARIO F. G. AZEVEDO, JOHN WHITTLE, EDWARD COATS, AND JOHN ERNSTING

RUSSOMANO T, EVETTS SN, CASTRO J, DOS SANTOS MA, GAVILLON J, AZEVEDO DFG, WHITTLE J, COATS E, ERNSTING J. *A device for sampling arterialized earlobe blood in austere environments. Aviat Space Environ Med* 2006; 77:453-5.

**Introduction:** There is currently no effective method of measuring arterial blood gas tensions in austere environments such as in space or at high altitude. An alternative to direct arterial measurement is the sampling of arterialized earlobe blood, an accurate technique that has been in use in clinical medicine and physiology for more than 50 yr. We, therefore, developed an earlobe arterialized blood (EAB) collector for practical use in extreme environments. **Methods:** The results from the EAB collector were compared with simultaneous samples of blood drawn from the radial artery. Six healthy subjects breathed a gas mixture of 12.8% O<sub>2</sub> in N<sub>2</sub> during 15 min of 8° head-down tilt. The blood samples were analyzed immediately. **Results:** The mean differences in Po<sub>2</sub> between arterialized earlobe and radial artery samples were  $0.25 \pm 1.25$  mmHg for Po<sub>2</sub> and  $1.0 \pm 0.75$  mmHg for Pco<sub>2</sub>; neither difference was significant. There was no difference between the pH values obtained by the two techniques. **Conclusion:** This study suggests that arterialized blood sampled from the earlobe using the EAB collector may provide sufficiently accurate measurements of the Po<sub>2</sub>, Pco<sub>2</sub>, and pH of arterial blood for clinical or research use in extreme environments.

**Keywords:** arterial blood gas, arterIALIZATION, hypoxia, head-down tilt, austere environments.

THE MEASUREMENT OF gas tensions in arterial blood has been a central concern in medical practice and physiological studies for many decades (1,2,7). It would also be helpful to be able to measure blood gas tensions accurately in extreme environments, for example during the long-duration manned space missions planned to occur in the next decade. However, traditional direct sampling of arterial blood is unsuitable for use in many austere environments due to the risk of blood contamination, the high degree of skill required, and the risk, albeit low, of serious complications.

Unfortunately, measurements of O<sub>2</sub> saturation by surface oximetry are not considered comprehensive or accurate enough for detailed research or clinical practice (8). Lacking a direct method to access arterial blood, investigators in extreme environments often derive values for blood gas tensions from measurements of the end-tidal partial pressures of O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub>. The provision of a more accurate technique would enable users to confirm physiological findings with greater accuracy and to manage clinical emergencies more appropriately, resulting in increased safety.

The use of arterialized earlobe blood for measuring gas tensions was developed by Lilienthal & Riley in 1944 and since then has been available as a substitute for arterial puncture in clinical medicine and physiological research (6). Its accuracy has been demonstrated in numerous studies under hypoxic (12) and exercise conditions (10) and also in disease states such as chronic lung disease and acute respiratory distress (1,5,7,9). The technique makes use of the fact that capillary blood taken from an incision in an arterialized earlobe originates from the arterioles and thus has the composition of arterial blood. Earlobe blood collection has many potential advantages. In contrast to radial artery sampling, blood collection from the hyperemic earlobe is virtually painless and offers a reduced risk of infection and hemorrhage. We describe here an earlobe arterialized blood (EAB) collector that allows such sampling by non-medical personnel without discomfort to the subject or danger of blood escaping into the environment.

### METHODS

#### *The EAB Collector*

A device for sampling arterialized capillary blood from the hyperemic earlobe was developed by the Microgravity Laboratory IPCT/PUCRS, Brazil, in conjunction with King's College London, UK. Engineering tests on early models of the EAB collector led to the development of the test device and the associated technique described here. The final prototype has the following features and characteristics: length, 115 mm; diameter,

From the Microgravity Laboratory/PUCRS, Porto Alegre, Brazil (T. Russomano, J. Castro, M. A. dos Santos, J. Gavillon, D. F. G. Azevedo); Thames Valley University, Slough, UK (S. N. Evetts); King's College London, London, UK (J. Whittle, J. Ernsting); and St. George's Hospital, London, UK (E. Coats).

This manuscript was received for review in July 2004. It was accepted for publication in December 2005.

Address reprint requests to: Thais Russomano, M.D., M.Sc., Ph.D., PUCRS, IPCT Prédio 30 sala 306, Laboratório de Microgravidade, Av. Ipiranga, 6681, Porto Alegre RS 90619-900, Brazil; trussomano@hotmail.com.

Reprint & Copyright © by Aerospace Medical Association, Alexandria, VA.

25 mm; and mass, 42 g. The earlobe is held against the end of the collector by the clip mounted on the device. A spring mounted ophthalmic cutting blade produces a slicing incision 2–4 mm deep and 3 mm long in the earlobe of the subject. The depth of the incision is adjustable between 2 and 5 mm. The incision is guided by a cam mechanism, which ensures precision and reproducibility of action.

Two heparinized capillary tubes contained in modules within the device are easily, precisely, and immediately opposed in turn to the incision in the ear, thus ensuring anaerobic blood collection. The seal and structure of the device between the tubes and the ear are such that blood is guided into the capillary tube, decreasing the possibility of contamination of the fabric of the device with blood. Ports in the side of the capillary module allow air to escape as the blood flows along the capillary, ensuring an even flow of blood. The device is very easy to dismantle and clean. The capillary tube and blade modules are simple to replace. The modules are pre-prepared with new sterile blades and capillary tubes.

#### Subjects

Six healthy volunteers ages 24 to 74 yr were recruited from the staff and postgraduate students of the Physiology Division, King's College London, to participate in this study. The protocols of the preliminary and main studies were approved in advance by the King's College London Research Ethics Committee. Each subject provided written informed consent before participating.

#### Protocol

We used 8° head-down tilt (HDT) in combination with hypoxia equivalent to breathing air at 16,000 ft to examine two environmental conditions simultaneously (11). Simultaneous samples of arterial blood and arterialized blood were taken from the radial artery and the earlobe, respectively, after 15 min of breathing a 12.8% O<sub>2</sub> mixture (equivalent to breathing air at 12,000 ft) through a mouthpiece while in the 8° HDT position. The earlobe was rendered hyperemic by the application of a rubefacient cream containing 1% methyl nicotinate (Algipan, Wyeth Laboratories, Taplow, UK). The cream was massaged into the earlobe for a period of 5 min. The skin was then cleaned using an alcohol swab, dried with sterile gauze, and the EAB collector attached to the earlobe. An incision was made in the earlobe and sam-

TABLE II. LIMITS OF AGREEMENT OF THE DIFFERENCES IN PO<sub>2</sub>, PCO<sub>2</sub>, AND pH VALUES BETWEEN THE ARTERIALIZED EARLOBE (ac) AND THE RADIAL ARTERY (a) BLOOD SAMPLES (n = 6).

	Pac-aO <sub>2</sub> mmHg	Pac-aCO <sub>2</sub> mmHg	pH ac-a
Mean (± SD)	0.25 (1.25)	-1 (0.75)	0 (0.0025)
Mean +2 SD	2.75	0.5	0.005
Mean -2 SD	-2.25	-2.5	-0.005

ples of blood were collected in the two capillary tubes of the EAB collector simultaneous with the drawing of a 2-ml sample of blood from the radial artery into a syringe lubricated with heparin solution (5000 IU · ml<sup>-1</sup>). The subject's arm was supported on a rigid table. The PO<sub>2</sub>, PCO<sub>2</sub>, and pH of the blood samples were determined immediately in a blood gas analyzer (Ciba Corning 238 pH/Blood Gas Analyser, Ciba Corning Diagnostics Ltd, Halstead, Essex, UK).

#### RESULTS

Blood gas results for arterial and arterialized samples are presented in Tables I and II. The mean difference in PO<sub>2</sub>, PCO<sub>2</sub>, and pH between the samples of arterialized capillary blood and arterial blood were 0.25 ± 1.25 mmHg, 1.0 ± 0.75 mmHg, and zero, respectively. These differences were not significant.

#### DISCUSSION

The EAB Collector produced very encouraging results when compared directly with the "gold standard" method of direct arterial sampling. A mean ± SE PO<sub>2</sub> difference of 0.25 ± 1.25 mmHg between arterial and arterialized capillary values can be considered suitable for the purposes of clinical practice and physiological research. Similar conclusions can be drawn from PCO<sub>2</sub> and pH values obtained from the same blood samples. It is accepted, however, that the small number of subjects (n = 6) used in this study provides insufficient statistical power for conclusive results, and thus a general inference cannot be made at this stage. The results shown, however, are certainly of a caliber to warrant further investigation using this device, both in terrestrial and microgravity environments. Very few difficulties were encountered with collection during this study. The most common problem proved to be the presence of air bubbles in the capillary tubes, which rendered a few blood gas readings unusable. The final prototype of this device addresses this problem by inclusion of a more efficient tube module venting system, which ensures collection of a continuous column of blood. The results of this study proved on a par with those of previous work; for example, the differences found between arterialized capillary and arterial blood samples have ranged between -0.72 ± 1.67 and 2.09 ± 2.48 mmHg for PO<sub>2</sub> measurements and between 0.65 ± 1.2 and 1.05 ± 1.6 mmHg for PCO<sub>2</sub> measurements (5,6,13).

Subject comfort should also be taken into account when considering any method of blood analysis. Pitkin (9) and Eaton (3) both found that the taking of earlobe

TABLE I. BLOOD GAS DATA FOR SIMULTANEOUS RADIAL ARTERY AND ARTERIALIZED EARLOBE BLOOD SAMPLES COLLECTED USING THE EAB COLLECTOR (N = 6).

	Radial Artery Mean ± SD (range)	Arterialized Earlobe Mean ± SD (range)
pH	7.43 ± 0.02 (7.4–7.46)	7.43 ± 0.02 (7.4–7.46)
PO <sub>2</sub> (mmHg)	42.1 ± 3.66 (38–47)	42.9 ± 3.88 (37–50)
PCO <sub>2</sub> (mmHg)	34.1 ± 1.88 (31–37)	33.12 ± 2.38 (29–37)
SaO <sub>2</sub> (%)	79 ± 3.85 (75–84.5)	79.9 ± 3.29 (74–85.6)

EAB = earlobe arterialized blood.

arterialized blood samples was viewed as preferable to the taking of radial arterial blood by most subjects in their studies. Although no quantitative measurements of subject discomfort were taken in the present study, feedback from the subjects supported these findings.

No significant differences were observed between arterial blood sampled at the wrist and the arterialized capillary samples from the earlobe while in the HDT position, which was chosen to mimic the venous congestion of the head in microgravity. This strengthens the premise that venous congestion in the head has no effect on blood gas tensions of arterial capillary blood collected from the earlobe, thus supporting the potential use of this device in the microgravity environment.

This is a preliminary study that has purposely not addressed technical issues relating to the future production, commercialization, and use of the EAB collector. However, several aspects relating to constraints imposed by expeditionary work in extreme environments, i.e., size and weight, were considered important and, therefore, addressed. It is a simple device to operate and requires very low technical skill, which is invaluable for training purposes and also for operational use. Once approved and licensed for medical use, it will be disposable and can be stored for long periods in support of long-duration expeditions.

#### Conclusion

The results of this study suggest that the EAB collector is a promising prospect for further development. Further research is required, however, to demonstrate that it can be used to effectively collect blood from subjects in microgravity. Beyond this, larger studies are needed to fully validate the device against the gold standard, radial artery puncture, under varying degrees of hypoxia and venous congestion of the head. Should the findings of such research confirm those of the present study, the EAB collector would provide a minimally invasive, easily used method of measuring arterial blood gas tensions for use in space and in many terrestrial and aviation environments.

#### ACKNOWLEDGMENTS

We thank King's College London and Microgravity Laboratory/IPCT-PUCRS for their support in the undertaking of this study. We further acknowledge the IPCT/PUCRS technician Mario Vian for his technical contribution and thank Professor Luiz Glock, Head of Medical Research Methodology at the Health Science Graduate Course, PUCRS, for acting as consultant statistician.

#### REFERENCES

1. Barry PW, Mason NP, Collier D. Sampling for analyzing blood gas pressures. Mount Everest study supports use of capillary samples. *Br J Med* 1995; 310:1072.
2. British Thoracic Society. BTS guidelines for the management of chronic obstructive pulmonary disease. *Thorax* 1997; 52(Suppl. 5):S1-28.
3. Eaton T, Rudkin S, Garrett JE. The clinical utility of arterialized earlobe capillary blood in the assessment of patients for long-term oxygen therapy. *Respir Med* 2001; 95:655-60.
4. Godfrey S, Wosniak ER, Courtenay ERJ, et al. Ear lobe samples for blood gas analysis at rest and during exercise. *Br J Dis Chest* 1971; 65:68-72.
5. Langlands JHM, Wallace WFM. Small blood samples from earlobe punctures. *Lancet* 1965; 14:315-7.
6. Lilienthal JL, Riley RL. On the determination of arterial oxygen saturations from samples of 'capillary blood.' *J Clin Invest* 1944; 23:904-6.
7. McIntyre J, Norman JN, Smith G. Use of capillary blood in measurement of arterial PO<sub>2</sub>. *Br J Med* 1968; 3:640-3.
8. Perkins G, McAuley D, Giles S, et al. Do changes in pulse oximeter oxygen saturation predict equivalent changes in arterial oxygen saturation? *Crit Care* 2003; 7:R67.
9. Pitkin A, Roberts C, Wedzicha J. Arterialised earlobe blood gas analysis: an underused technique. *Thorax* 1994; 49:364-6.
10. Russomano T. The effects of 3 hours of 6° head down tilt with and without hypoxia and light exercise on lung function [Thesis]. London, UK: University of London, King's College; 1998.
11. Russomano T, Doxey S, Ernsting J. Arterialized ear lobe blood samples for arterial blood gas tensions with and without hypoxia during 6° head-down tilt. *Aviat Space Environ Med* 1997; 68:192.
12. Russomano T, Ernsting J. The arterialized ear lobe blood samples for blood gas tensions - a technique for medical emergencies in microgravity. IAF Proceedings, 47th Congress, 07-11 October 1996; Beijing, China. Paris, France: IAF; 1996.
13. Spiro S, Dowdeswell IRG. Arterialized ear lobe blood samples for blood gas tensions. *Br J Dis Chest* 1976; 70:263-8.