

Artigo originariamente publicado na  
Revista Médica da Aeronáutica, número 2, junho de 1949

## DESCOMPRESSÃO EXPLOSIVA E TOLERÂNCIA HUMANA (\*)

**FERNANDO RODRIGUES DOS SANTOS**  
Capitão Médico da Aeronáutica

U. S. Naval School of Aviation Medicine  
Naval Air Station  
Do Hosp. Central da Aer., D. F.

### EXIGÊNCIAS FISIOLÓGICAS PARA O VÔO DE ALTITUDE ELEVADA E TOLERÂNCIA HUMANA

A necessidade da utilização do oxigênio pela tripulação de um avião é bem conhecida, porém breve recapitulação será feita, antes de atingirmos a finalidade dêste artigo, que consistirá, em discutir e avaliar a descompressão explosiva e seus perigos.

Em tôdas as altitudes o ar é composto, aproximadamente, de:

20,93% de oxigênio  
74,04% de nitrogênio  
.03% de gás carbônico

Êsses gases do ar atmosférico para alcançarem os tecidos do corpo, através os alvéolos pulmonares, estão na dependência de sua pressão e não pròpriamente de suas percentagens.

Com o aumento da altitude, a pressão barométrica diminue e em consequência a pressão parcial de cada um dos gases. Para calcular a pressão do ar no alvéolo (ou a pressão parcial do oxigênio alveolar) é necessário deduzir a pressão do vapor d'água que êste ar absorve quando atinge a extremidade da árvore bronco-pulmonar. De acôrdo com os conhecimentos atuais, podemos estabelecer as seguintes considerações a respeito da tolerância humana, na dependência particular do ar respirado em diferentes condições:

(\*) — Recebido para publicação em março de 1949. — Trabalho apresentado à Escola de Medicina da Aviação da Marinha dos Estados Unidos da América do Norte, Pensacola, Flórida, 1948.

1) — Do nível do mar até à altitude de 10.000 pés o valor da pressão parcial do oxigênio, satura adequadamente o sangue quando o ar é respirado;

2) — Se o indivíduo ultrapassa a altitude de 10.000 pés, respirando ar, a falta de oxigênio (proporcional à altitude considerada), resultará em graus elevados de anoxia, com diminuição da eficiência física e mental. Este síndrome, caracterizado, inicialmente, por uma perda progressiva de julgamento e eficiência de pilotagem é agravado, num tempo relativamente curto, por um estado de colapso e de inconsciência, que sobrem em altitudes aproximadas de 18.000 à 20.000 pés.

Em virtude dessas temíveis conseqüências foi estabelecido, que o oxigênio suplementar, deve ser usado acima de 10.000 pés, durante os vôos diurnos, e acima de 5.000 pés nos vôos noturnos, se bem que o equipamento de oxigênio da maioria dos aviões de caça, seja utilizado como rotina durante a noite, desde a decolagem. O desenvolvimento dos sistemas de oxigênio de "demand" e de pressão foi baseado na exigência de suprir de oxigênio a tripulação dos aviões sujeita a trabalho moderado ou pesado em altitude elevada e, dêsse modo, vencer as dificuldades encontradas no espaço. Contudo, a cabine de pressão dos modernos aviões reduziu, em certo grau, a importância desta exigência, principalmente em tempo de paz.

3) — O vôo a 35.000 pés será praticamente seguro, por longo espaço de tempo, se o equipamento de oxigênio de "demand" é utilizado e desde que não haja vasamento da máscara, pois êle aumenta a quantidade de oxigênio na mistura respirada à medida que a altitude se eleva. Dêste modo, compensa proporcionalmente, a deficiência dêste elemento no ar, em graus diversos e de acôrdo com a altitude considerada. Desta maneira, quando 100% de oxigênio é respirado a 35.000 ou 40.000 pés, o sangue, e conseqüentemente os tecidos, obtêm a mesma quantidade de oxigênio que obteriam se o ar fôsse respirado, respectivamente, ao nível do mar ou à 10.000 pés de altura.

4) — Em altitudes superiores a 40.000 pés, o decréscimo da pressão atmosférica e a associada redução da pressão parcial do oxigênio, são demasiadamente acentuadas, para a tolerância do homem; os tecidos não recebem o oxigênio, em quantidade adequada, para preencher o seu indispensável papel, mesmo quando é respirado sob a taxa de 100%, através o tipo usual de máscara, de modo que o colapso se verifica à altitude de 42.000 ou 43.000 pés. Assim, êste método de fornecer oxigênio ao indivíduo, não pode ser considerado satisfatório, como meio de garantir a sobrevivência em tais

condições. Assim sendo, o único recurso para vencer esta dificuldade, mantendo normal a saturação do oxigênio no sangue, pelo aumento da pressão parcial d'êste elemento no ar alveolar, consiste em elevar a pressão do oxigênio respirado nos vôos em altitude superior a 35.000 pés; desta maneira é necessário utilizar um dos métodos já disponíveis de elevar a pressão do meio ambiente do oxigênio inalante.

A) — O método mais prático para solucionar êste problema da altitude, em aviões que não possuem cabine de pressão é, o da utilização do equipamento de oxigênio fornecido sob pressão. O regulador de oxigênio de "demand" de pressão positiva e a máscara de oxigênio do tipo de 13 ou 14 permitem fãcilmente respirar 100% de oxigênio contra uma pressão positiva equivalente a 10 polegadas d'água e manter o sangue adequadamente saturado de oxigênio. Com êste método o "teto" de oxigênio utilizável de 40.000 pés passa a ser de 43.000 pés. Desta maneira cêrca de 8.000 pés de útil segurança são avançados, se compararmos o limite de sua perfeita utilização com os outros métodos citados anteriormente. Com o sistema de "demand" de pressão, o oxigênio é forçado a penetrar na árvore bronco-alveolar quando a bôca está aberta, devendo, além do mais, ser lembrado, que êste equipamento apenas aumenta a pressão parcial do oxigênio no ar alveolar, de modo que o indivíduo ainda estará sujeito ao aeroembolismo e à expansão gasosa; contudo, êle assegura uma saturação da oxi-hemoglobina satisfatória em altitudes, onde o equipamento standard de oxigênio de "demand" seria inadequado e insuficiente. O limite superior para a utilização adequada da respiração sob pressão, sem mostrar, prãticamente, anoxia, foi estabelecido a altitude de 42.000 pés com 6 polegadas de pressão d'água; todavia, em condições de emergência pode ser dada uma limitada proteção à altitude de 50.000 pés com 12 polegadas de pressão d'água.

Quando se atinge uma altitude de cêrca de 61.000 pés ou superior, a pressão atmosférica se encontra reduzida a 50 mms de mercúrio ou menos. Como esta pressão é, aproximadamente, igual à constante do vapor d'água no ar alveolar, é evidente que nenhum gás, mesmo se respirado sob a concentração de 100% será absorvido pelo sangue. Quanto maior a altitude, maior a proporção do vapor d'água no alvéolo, em relação aos demais gases, de modo que se torna cada vez menor o espaço para o oxigênio alcançar o sangue pulmonar. Se por um lado, êste sistema de oxigênio sob pressão, pode manter o indivíduo em boas condições físicas e psíquicas, até o "teto" de 43.000 pés, por outro, deve ser

lembrado, que a perda da consciência será certa e repentina, se o equipamento de oxigênio falhar em altitude tão elevada.

Presentemente, é uma exigência, de um modo geral aceita, que todo moderno avião militar capaz de voar acima de 25.000 pés deva possuir cabine de pressão.

B) — Como vimos todo vôo de altitude superior a 43.000 pés, requer um meio que forneça alguma forma de pressão, de maneira que a pressão parcial do oxigênio possa se tornar, comparativamente maior e suficiente para assegurar uma adequada saturação da hemoglobina. A eficiência de um avião no espaço não pode ser maior do que a do indivíduo que o pilota e, por esta razão, há alguns anos que o objetivo das inúmeras experimentações tem sido o de prover ao avião um meio artificial de ar, sendo a cabine de pressão a idéia comum que se concretizou, por ser o método mais satisfatório de todos os que foram observados. Com o advento da cabine de pressão, há a manutenção de uma pressão constante de ar no interior da cabine, hermêticamente fechada, independente das diferenças de altitude, o que representa, provavelmente, a maior das contribuições para a eficiência do piloto em altitude elevada. A compressão da cabine é realizada pela penetração forçada de ar no seu interior de modo mais rápido do que, a que pode escapar. Embora a cabine de pressão constitua a condição ideal, ainda assim, podemos estabelecer algumas vantagens e desvantagens:

a) — **Vantagens:**

1) — Em altitude elevada o vôo pode ser realizado sem o emprêgo do equipamento de oxigênio e em altitudes superiores a 40.000 pés, somente é necessário utilizar o equipamento comum de oxigênio de "demand". Pela manutenção de uma simulada altitude, no interior da cabine, inferior a 10.000 pés, num avião cuja altitude não é extremamente elevada, ela permite o vôo sem o uso suplementar do oxigênio; desta forma elimina completamente a necessidade da contínua utilização de uma máscara de oxigênio, o que forçosamente acarreta desconforto, fadiga e restrição de movimentos, principalmente nas missões de longa duração.

2) — Mantendo o interior da cabine, com uma simulada altitude equivalente a menos de 30.000 pés, ela previne, o aparecimento do aeroembolismo, diminue a incidência das alterações dos seios para-nasais e a distensão gastro-intestinal, com a resultante sensação dolorosa que freqüentemente acompanha as extremas diferenças de altitude; conseqüentemente, o indivíduo não é exposto, sob essas condições, aos efeitos da grande queda da pressão barométrica, como sóe ocorrer fora da cabine nos vôos de altitude elevada.

3) — O aquecimento resultante da compressão de ar, provê, uma excelente fonte de calor na proteção da tripulação contra o frio. Além do contrôlo da temperatura e umidade deve ser objeto de consideração o fornecimento de uma boa ventilação para a perfeita remoção do monóxido de carbono, anidrido carbônico e de odores em geral. Se tôdas essas condições se encontram presentes, bem como, a redução do ruído e das vibrações no interior da cabine, o avião pode constituir um dos melhores meios e ambientes para a evacuação aérea de doentes e feridos.

Estas vantagens, contribuindo para o confôrto e segurança de tôda tripulação, inegavelmente, pelas melhores condições existentes, aumentam a eficiência e o rendimento de trabalho.

b) — **Desvantagens:**

1) — Um equipamento suplementar deve ser mantido.

2) — O tamanho e o pêso da cabine de pressão do avião são ligeiramente aumentados, devido ao refôrço estrutural da construção, destinada a resistir às diferenças de pressão. Os detalhes estruturais de um avião portador de uma cabine de pressão, representam novos problemas para testar a capacidade dos engenheiros aeronáuticos.

3) — Tôda tripulação ou passageiros de um avião provido de cabine de pressão, está exposta aos efeitos da descompressão explosiva. Êste problema se reveste de tão grande importância, que da mesma maneira que o engenheiro, ao projetar uma cabine de pressão para um determinado tipo de avião, deve sempre considerar a possibilidade de uma súbita descompressão e de seus efeitos sôbre o avião em sua totalidade, fornecendo tôda proteção possível, de modo, a prevenir o comprometimento da integridade estrutural, também, o médico de aviação deve manter, uma cuidadosa observação sôbre todos os vários fatos que podem ocorrer na descompressão explosiva, a fim de impedir, da melhor forma possível, as suas conseqüências sôbre a tripulação ou passageiros do avião utilizado.

**Descompressão explosiva:**

O principal perigo, da utilização da cabine de pressão de um avião, é o efeito da rápida queda da pressão da cabine sôbre a tripulação ou passageiros. A queda repentina da pressão diferencial, entre a pressão do interior da cabine é a externa, que corresponde a altitude verdadeira do avião, pode resultar, não sômente, em tempo de guerra pela perfuração da cabine pelo fogo da artilharia inimiga, como tam-

bém, em tempo de paz, por imperfeição da construção do compartimento em referência. (Exemplo: pane de porta, de janela, etc.).

Este problema, que levantou a questão da tolerância humana, tem sido devidamente estudado por inúmeros experimentadores. Foi assim decidido, que toda velocidade de descompressão que ocorre durante um regime ascensional maior do que 5.000 pés por minuto, deve ser considerado como descompressão explosiva. É oportuno apresentar a seguir, a terminologia usada no estudo do assunto que tratamos a fim de facilitar a compreensão do mesmo:

- 1) — Ascensão explosiva; rápida ascensão para uma elevada altitude;
- 2) — Descompressão explosiva: violenta queda da pressão;
- 3) — Descensão explosiva: rápida descida;
- 4) — Recompressão explosiva: violento aumento da pressão.

Quando se processa a descompressão explosiva os principais efeitos são: variação de pressão e a falta de oxigênio. Dessa maneira, duas condições se desenvolvem simultaneamente:

- 1) — Resultante da rápida queda da pressão, pode surgir:
  - a) aeroembolismo;
  - b) expansão dos gases internos das vísceras ôcas;
  - c) alterações do ouvido médio e seios para-nasais.
- 2) — Em conexão com a repentina deficiência do oxigênio:  
— anoxia aguda.

Conseqüentemente, os possíveis perigos associados com a descompressão explosiva, são:

- a) aeroembolismo;
- b) distensão abdominal;
- c) alterações do ouvido e seios;
- d) anoxia aguda; etc.

A) — **Aeroembolismo:** é causado, pela difusão do nitrogênio de maneira tão rápida, que não há tempo para que se produza um perfeito equilíbrio entre os gases dos tecidos e os do ar ambiente, de modo que se verifica a formação, nos tecidos, de bolhas gasosas, que causam as mais diversas manifestações. De acôrdo com os conhecimentos atuais, o aeroembolismo, sob a forma de "bends" ou "chokes", e, algumas vezes, com sintomas dermo-epidêrmicos e neurológicos, raramente ocorre em altitude inferior a 25.000 pés. Entretanto, torna-se relativamente importante a medida que aumenta a altitude acima de 30.000 pés. Dessa forma, se o indivíduo permanecer em altitude elevada, após a descompressão explosiva, o aeroembolismo poderá ocorrer prontamente.

Baseado num grande número de dados experimentais é possível asseverar que após uma hora de exposição a 30.000 pés, 1 indivíduo em 10, provavelmente será incapacitado; a 40.000 pés, 1 em 4 e, acima de 40.000 pés somente um número muito reduzido de indivíduos poderá permanecer mais de 20 minutos sem apresentar "bends", pois a probabilidade aumenta de 9 em 10. Outros dados demonstram, que a incidência do aeroembolismo aumenta com o exercício executado durante o vôo real ou simulado na câmara de baixa pressão e que a freqüência é muito reduzida se o indivíduo respirar 100% de oxigênio uma hora antes e durante o vôo.

De um modo geral, a incidência e a rapidez do aparecimento dos sintomas de aeroembolismo, são consideradas proporcionais à velocidade de ascensão. Quanto menor fôr o tempo disponível para permitir a progressiva desaturação do nitrogênio durante uma ascensão rápida, menor será a quantidade desse gás que poderá ser transportado pelo sangue e ser eliminado rapidamente em suficiente proporção, de maneira que a formação de bôlhas gasosas toma lugar em diferentes tecidos.

A grande velocidade de ascensão, associada com a descompressão explosiva, teòricamente, deveria aumentar a susceptibilidade para o aparecimento do "bends". Contudo, contrário à expectativa geral e baseado, praticamente, seja em dados experimentais ou no curso de descompressão explosiva acidental, a observação desse síndrome não é tão freqüente como se supunha, mesmo nas provas realizadas sem o uso do equipamento de oxigênio quando a descompressão é provocada até a altitude de 30.000 pés.

A verificação de uma descompressão explosiva numa altitude de 40.000 pés determina uma modificação de pressão de quase três vézes e meia para um; julgava-se, dessa forma, que uma diferença desta magnitude, ocorrendo de modo tão rápido fôsse suficiente para condicionar uma incidência do aeroembolismo relativamente, elevada.

De acôrdo com a opinião de um cientista alemão, a descompressão explosiva não é perigosa para um indivíduo desde que não haja obstáculo à passagem do ar e se o oxigênio é usado durante a descompressão. A máxima descompressão utilizada por êsse cientista, em suas experiências, foi da altitude de 20.000 a 56.000 pés em 1/5 de segundo. Além disso o mesmo autor asseverou ter observado a localização do aeroembolismo no cérebro, associado com sintomas hemiplégicos, num indivíduo cuja glote tinha sido mantida fechada; baseado em suas observações sugere que a tripulação dos aviões, exposta a descompressão explosiva, deve fazer todo esforço possível para manter as passagens de ar abertas, respirando

superficialmente, durante todo o tempo, e, devendo permanecer sossegado e inalando oxigênio quando há possibilidade de ocorrer a descompressão explosiva. Em animais submetidos à experiência com a glote fechada, durante o tempo da descompressão explosiva, o mesmo autor germânico, assinalou a presença de ar na carótida. Em caso de se verificar a descompressão explosiva em altitude superior a 40.000 pés, o indivíduo pode ser afetado pelo "bends", durante os cinco minutos seguintes de permanência na referida altitude, porém, mesmo nesta situação, êle é capaz de conduzir com pouca dificuldade o seu avião, para altitudes mais inferiores e de maior segurança de vôo.

Há quatro fatores físicos na descompressão explosiva:

- 1) Volume de cabine de pressão;
- 2) Dimensões de orifício ou abertura explosiva;
- 3) Pressão diferencial;
- 4) Altitude de vôo.

Êstes fatores determinam a velocidade e a magnitude da descompressão. **O tempo de descompressão**, que termina com o equilíbrio das duas diferentes pressões e desempenham um importante papel nos efeitos da rápida descompressão sobre o homem, depende dos seguintes fatores:

1) — **Volume da cabine de pressão**, cuja referência é feita em pés cúbicos, com o um termo quantitativo.

2) — **Dimensões do orifício ou abertura explosiva**, através da qual se processa a queda de pressão da cabine e a medida é referida em polegadas de diâmetro.

Êsses dois fatores representam os elementos que modificam os limites máximos de segurança para a expansão dos gases internos.

3) — **Pressão diferencial** é expressa em libras por polegada quadrada, de modo que as cabines de pressão são avaliadas de acôrdo com o número de libras por polegada quadrada de pressão diferencial que elas mantêm.

Êsses três fatores representam em princípio os elementos que regulam o tempo ou duração da descompressão.

4) — **Altitude de vôo** é medida em pés e correspondente à altitude em que a descompressão tem lugar.

Outro efeito da descompressão explosiva e também resultante da rápida queda da pressão, constitue a expansão dos gases internos.

b) — **Expansão dos gases internos** — Os fatores mais importantes associados com a súbita descompressão, são:

- 1) A relativa expansão dos gases internos nos órgãos cavitários;
- 2) O tempo ou duração da descompressão.

A tolerância para a descompressão explosiva, de um modo geral, é função desses dois fatores.

A acentuada queda da pressão determina a expansão dos gases internos. O grau de descompressão explosiva que o indivíduo pode suportar, com segurança, é determinado tanto pela magnitude, como pela velocidade de expansão dos gases internos. A descompressão explosiva, embora bem tolerada sob certas condições, como se verifica nos aviões de bombardeio, pode se apresentar perigosa como sóe ocorrer nos aviões de caça, nos quais o tempo de descompressão muitas vezes alcança valores extremos.

Consideraremos no nosso estudo os seguintes órgãos ôcos: o estômago, intestino e os pulmões. A relativa expansão dos gases internos, resultante da descompressão explosiva, é uma simples função do nível da pressão da cabine em relação à pressão diferencial e a altitude em que a descompressão ocorre, regulam a magnitude da expansão dos gases internos.

Durante as habituais ascensões em vôo, a expansão do ar nos pulmões nunca dá lugar a uma apreciável pressão, porque a traquéia constitui uma passagem adequada para o perfeito equilíbrio gasoso; no **tubo gastro-intestinal**, o excesso de volume de gás é geralmente expedido, antes que a pressão determine uma acentuada distensão. No caso da descompressão súbita, foi demonstrado, que é geralmente bem tolerada uma relativa expansão dos gases internos de 2.3, conforme pode se verificar na descompressão de 28.000 pés para 40.000 pés de altitude. A tolerância também é mais ou menos perfeita para uma relativa expansão dos gases internos de 4.0, como pode ser observada numa descompressão de 0,15 de segundo. Para os vôos até à altitude de 40.000 pés, com a cabine de pressão equivalente à altitude de 10.000 pés, a relativa expansão dos gases internos, não assume considerável importância, porém, à medida que a altitude de vôo se aproxima de 63.000 pés, este fator torna-se infinitamente grande.

A velocidade de descompressão, constitui todavia um fator importante na tolerância humana no que se refere à expansão dos gases internos. Há um potencial perigo, quando a velocidade de expansão se aproxima à da descompressão súbita, embora seja experimentada somente uma pequena expansão. O efeito da descompressão explosiva sobre o indivíduo, não pode ser apenas determinada pela velocidade de expansão. Quando a velocidade de expansão é grande, o tempo é insuficiente para que os gases expandidos possam, escapar através à traquéia, ou serem expelidos do tubo gastro-intestinal, de modo que o real valor da expansão torna-se um fator adicional.

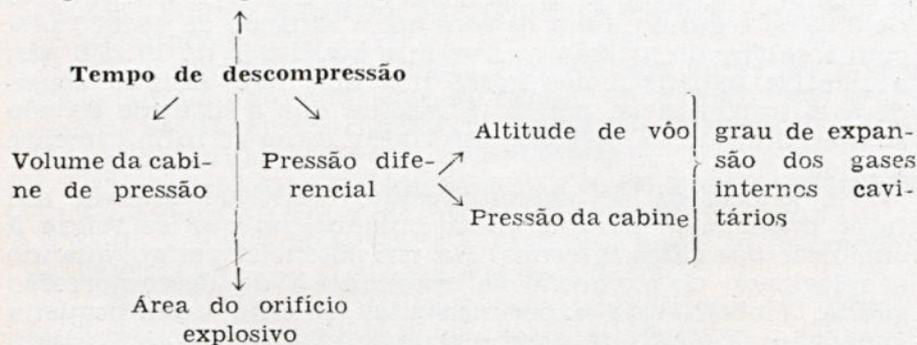
O tempo de descompressão é, essencialmente, uma função do tamanho do orifício explosivo, determinado por uma das causas, já citadas, em relação ao volume de cabine de pressão propriamente dita. Em outras palavras, o tempo de descompressão, além de ser uma função da pressão diferencial entre a da cabine e a da altitude de vôo, é proporcional ao volume da cabine e inversamente proporcional à área do orifício explosivo.

O volume da cabine de pressão, o tamanho do orifício explosivo e a pressão diferencial, regulam o tempo ou duração da descompressão. Se o tempo é medido acuradamente e a pressão diferencial é conhecida, a velocidade de descompressão pode ser determinada em libras por polegada quadrada por segundo. Quanto menor o volume da cabine de pressão ou quanto maior o tamanho do orifício explosivo, menor será o tempo de descompressão. O perigo da descompressão explosiva, pode assim, ser maior ou menor, desde que se aumente ou diminua, experimentalmente, a área do orifício explosivo.

A pressão diferencial e a altitude de vôo, regulam o grau de expansão dos gases internos cavitários; de acôrdo, com êsses dados e com o tempo de descompressão, podemos determinar a velocidade de expansão.

Quando os outros fatores são constantes, o tempo de descompressão torna-se maior com o aumento da pressão diferencial; neste caso, a velocidade de descompressão e de expansão são também aumentadas.

Perigo da descompressão explosiva



De acôrdo com o que já foi referido, podemos afirmar que as piores condições, para a ocorrência de um descompressão explosiva, seriam:

- a) na cabine de menor volume;
- b) na altitude de vôo mais elevada;

c) na cabine de pressão equivalente à altitude mais baixa.

O engenheiro de aviação pode avaliar, com razoável segurança, o perigo da descompressão explosiva em face de qualquer tipo de comprometimento estrutural do avião, baseando-se no tempo de descompressão, na relativa expansão dos gases internos para a pressão existente na cabine, na altitude de vôo e no volume da cabine.

Devido ao relativo tamanho da área ocupada pelo volume da cabine no avião de caça (cabine de 50 pés cúbicos), o máximo admissível para a relativa expansão dos gases internos, é a de 2,3 nas zonas de combate. Como os aviões de bombardeio médio, apresentam o volume da cabine de cerca de 250 pés cúbicos, e os de bombardeio pesado de 1.000 pés cúbicos, aproximadamente, foi estabelecido o valor de 4.0 para a relativa expansão dos gases internos. A relativa expansão dos gases internos dos órgãos ôcos, causada pela impossibilidade de serem eliminados com a mesma rapidez com que o fazem os do ambiente ou da cabine durante a descompressão. A relação da expansão dos gases intestinais é expressa pela seguinte fórmula:

$$B1 - 47$$

---

$$B2 - 47$$

B1 — pressão inicial em milímetros de mercúrio;  
B2 — pressão final em milímetros de mercúrio.

Numa descompressão explosiva a 30.000 pés, os gases intestinais, se expedem cerca de 3 vezes, e a 40.000 pés, 4,5 vezes, aproximadamente. No momento da descompressão, o indivíduo, experimenta, ao nível do torax e abdomen, uma sensação de plenitude, em consequência da expansão dos gases. Quando o grau de descompressão é grande, a expansão dos gases, no interior das vísceras ôcas, determina uma certa distensão, que é responsável pela sensação de desconforto e, algumas vezes de dor. Alguns indivíduos podem ter uma sensação dolorosa localizada ao nível da região superior do abdomen, provavelmente, provocada pela distensão das inserções do diafragma. Na maioria das vezes, os indivíduos se queixam de dor moderada ou de uma acentuada sensação de tensão abdominal. Seria natural julgar que uma sensação dolorosa mais intensa fôsse despertada nos indivíduos portadores de excessiva quantidade de gases no tubo digestivo. Contudo, baseado em estudos radiológicos, não há correlação, entre a

incidência da dor, que pode ser experimentada na região umbilical, e a quantidade de gases existentes no tubo gastro intestinal.

A expansão dos gases internos abdominais, determina o aumento da circunferência do abdomen. De acôrdo, com o grau de expansão dos gases internos, o diafragma pode ser comprimido para cima, de modo que o coração se apresenta desviado para uma posição diagonal, que teria, segundo alguns autores, um efeito sôbre o seu mecanismo regulador. Entretanto, os electrocardiogramas registrados, durante inúmeras experiências realizadas, não revelaram nenhuma alteração do mecanismo regulador da função cardíaca. Se a expansão dos gases internos é lenta, êles podem ser eliminados através dos orifícios naturais, ou redistribuídos, antes da pressão atingir um limite perigoso. Se o grau de expansão dos gases intestinais, assim como, o dos pulmões, é pequeno, a víscera ôca pode sofrer uma certa distensão a fim de fazer o espaço para êles; contudo, é possível que se processe a ruptura da víscera ôca, desde que a expansão dos gases internos seja grande e demasiadamente rápida para permitir que num curto espaço de tempo, se efetue o equilíbrio de pressões. Durante as experiências de descompressão explosiva verifica-se a saída precipitada de ar do modelo de cabine do avião para o interior da câmara de baixa pressão, até que a pressão se torne igual à da altitude simulada de vôo; ao mesmo tempo, o indivíduo submetido à experiência, sente o ar ser expulsado, violentamente, através a bôca e nariz, ou a necessidade de uma respiração mais rápida. Algumas vêzes, ocorre um estímulo do reflexo da tosse, provavelmente, devido a uma irritação dos nervos pulmonares; o indivíduo apresenta tosse ou esternutação, enquanto o ar é expulso com violência pela bôca e nariz. Da mesma forma que o abdômen, há a ampliação do torax, que se expande, rapidamente, em consequência da pronta expansão dos gases no interior da árvore pulmonar. Êstes gases são expelidos dos pulmões com pequena resistência; nesta circunstância, a capacidade pulmonar pode ser apenas duplicada antes de exceder a expansão fisiológica. Em outras palavras, se pela expansão ocorrida, o volume de ar não é maior do que o dôbro, as sensações subjetivas não são notadas, mesmo no caso da velocidade de expansão ser extremamente grande. Isto é explicado pelo fato de que os pulmões podem duplicar, fâcilmente, a sua capacidade fisiológica sem exagerado esforço. A maior sensação provém da violenta saída de ar do tratus respiratório, quando se processa a queda da pressão externa. Imediatamente após a descompressão explosiva, o ritmo respiratório se apresenta acelerado, provável-

mente, devido à diminuição do volume dos pulmões, em consequência da pressão exercida pelo diafragma. O aumento da frequência dos movimentos respiratórios é associada com a modificação da circunferência abdominal. Embora a amplitude dos movimentos respiratórios, não seja suficientemente grande para determinar uma alteração quantitativa do volume respiratório, a diminuição da amplitude inicial, mostra a restrição dos movimentos respiratórios em consequência da elevação do diafragma. Se a expansão dos gases corresponde a várias vezes o seu original volume, o comportamento dos pulmões representa o fator limitante da tolerância humana, na descompressão explosiva que se processe de modo extremamente rápido.

#### **Alterações do ouvido médio e dos seios para-nasais:**

Nas inúmeras descompressões explosivas, realizadas de modo rápido e sob condições simuladas de vôo, não foi registrado nenhum caso de rutura de membrana timpânica, nem de alterações ou sintomas auditivos e dos seios para-nasais, diferindo assim, do tipo ou grau dos casos resultantes de ascensões menos rápidas, conforme são comumente observados nas normais ascensões dos aviões. Durante uma ascensão, em vôo normal, o tubo de Eustachio abre e fecha, em pequenos intervalos, dando um estalido característico e causando um certo desconforto; na descompressão explosiva, porém, ao contrário do que se poderia pensar, é de observação freqüente, o indivíduo não perceber o equilíbrio de pressão se processar no ouvido médio, em virtude da predominância de outras sensações e também, provavelmente, porque quando os tubos de Eustachio se abrem, para dar passagem à saída de ar, permanecem abertos durante todo o processo de equilíbrio de pressão. Assim, podemos afirmar que o desconforto de origem auditiva é menor nas ascensões mais rápidas do que nas mais lentas. Em consequência deste fato a aero-otite média ou as sérias alterações auditivas, decorrentes da perfuração do tímpano pelo insuficiente equilíbrio de pressão do ar no interior do ouvido médio, são provavelmente causadas pela rápida descida (descensão explosiva), da altitude em que se processou a descompressão explosiva na cabine de pressão do avião e não pela descompressão propriamente dita.

Logo após uma descompressão explosiva experimentada sem o oxigênio ser utilizado, o ritmo cardíaco começa a se acelerar e somente atinge o seu máximo valor 40 segundos depois do início da ascensão explosiva; isto prova que a única causa deste sintoma é o efeito da deficiência de oxigênio.

**Anoxia:**

Em conexão com a súbita deficiência de oxigênio, esta condição é evidente e de grande importância, dependendo do tempo de permanência na altitude elevada após a descompressão explosiva.

Inúmeras experiências têm demonstrado que o período médio de consciência útil, quando o uso do oxigênio é descontinuado ou há uma súbita queda da pressão parcial do oxigênio para o nível existente a 30.000 pés de altitude, é de 1 minuto aproximadamente; a 35.000 pés é de cerca de meio minuto e a 40.000 pés o estado de coma pode ocorrer em quase 45 segundos. A causa do rápido aparecimento das manifestações de anoxia, depende da seqüência inversa da pressão do oxigênio, dando resultado, a passagem do oxigênio do sangue para o alvéolo e deste para o exterior, seguida pela desaturação da hemoglobina. Por conseguinte, é aconselhável sustentar a respiração, como um recurso para retardar a eliminação do oxigênio proveniente do sangue. De acordo com as idéias de Strughold, a quantidade de oxigênio que permanece nos tecidos e no sangue, provê um certo tempo denominado "tempo de reserva". Esta quantidade de oxigênio não somente é consumido pelo organismo, como também é rapidamente eliminado através os pulmões com o aumento do ritmo respiratório. Quanto mais elevada é a altitude considerada, menor é o tempo de aparecimento dos primeiros efeitos causados pela falta do oxigênio. Além disso, na ocorrência de uma descompressão explosiva sem que o oxigênio seja usado, a duração do tempo, que precede os efeitos da anoxia, será maior ou menor, dependendo das condições em que o indivíduo se apresenta, isto é, se inativo ou realizando alguma modalidade de exercício, respectivamente. Dessa forma, o grau de anoxia que irá se desenvolver, após a descompressão explosiva, variará, essencialmente, de acordo com o tempo de permanência na altitude final. Evidentemente, se o sistema de oxigênio de "demand" sob pressão está sendo utilizado e a descompressão explosiva se processa numa altitude de 50.000 pés, ao nível da qual o indivíduo é mantido, os efeitos da anoxia irão se manifestar mais rapidamente no caso de ser o exercício uma das condições da experiência do que se o indivíduo permanecer imóvel. Este fator é importante ser conhecido, pois dá uma orientação sobre o modo pelo qual o piloto pode se salvar, mais facilmente, nessas circunstâncias, quando o oxigênio não é disponível ou não pode ser utilizado em altitude elevada. A velocidade de descida para alcançar uma altitude mais baixa e mais segura, associada com o mínimo de movimento do indivíduo, compreendem os dois meios que podem contri-

buir para a sobrevivência de uma descompressão explosiva ocorrida em altitude elevada. Conseqüentemente, o indivíduo pode escapar da descompressão explosiva, porém, sofrer os efeitos da recompressão explosiva (rutura do tímpano, aercotite média, etc.). Estas experiências foram realizadas, para evidenciar os resultados da mudança rápida de pressão, seja associada ou não, com a falta de oxigênio. Os testes feitos sem a utilização do oxigênio, demonstraram que a falta deste elemento, constitue o fator mais decisivo e que a sua deficiência, durante a descompressão explosiva, produz um aumento da frequência cardíaca e respiratória. Como a descompressão explosiva em altitude elevada, pode facilmente determinar, a anoxia aguda, este perigo pode ser prevenido pela instalação de uma buzina de alarme, que soa automaticamente, quando a pressão da cabine cai abaixo do nível de segurança, conforme é visto no avião B-29. Além disso, foi sugerido que a tripulação deve ser treinada, a fim de suster a respiração em tal contingência e que o equipamento de oxigênio deve estar sempre disponível durante todo o tempo de vôo sob pressão para o uso imediato pelo pessoal de bordo em todos os seus postos. Deste modo, a fim de permitir a continuação do vôo numa altitude ainda elevada, após a queda da pressão da cabine, o avião deve ser equipado com o sistema de oxigênio de "demand" ou de pressão, assim como, com o cilindro de oxigênio destinado a ser usado no salto de paraquedas; este pequeno cilindro pode ser utilizado, como uma fonte de suprimento de oxigênio em situação de emergência, quando o principal suprimento de oxigênio do avião se mostra ineficaz, ou quando o avião se apresenta incapaz para o vôo; êle pode permitir com segurança, a descida com a paraqueda da altitude de 46.000 pés para 10.000 ou 20.000 pés de altitude, fornecendo adequada quantidade de oxigênio durante todo o tempo. A super fortaleza voadora (B-29) foi equipada com um novo tipo de sistema de oxigênio que fornece uma dupla fonte de suprimento para cada posto da tripulação, de modo que se um dos cilindros é atingido pela artilharia inimiga, o sistema prove imediatamente o seu desligamento automático, bem como, o equilíbrio do restante suprimento de oxigênio para o pessoal de bordo.

#### **Outros sintomas:**

A não ser discreta fadiga, nenhum efeito geral tem sido observado. Embora, momentaneamente atordoado, o indivíduo sempre permanece consciente, mesmo quando submetido a uma violenta descompressão explosiva. Dessa maneira, se a pressão da cabine de um avião sofre uma queda súbita, o

pilôto pode colocar a máscara de oxigênio e descer com o seu avião para uma altitude mais segura. Algumas vezes, após a descompressão explosiva o indivíduo queixa-se de uma sensação de vertigem pouco intensa.

Ainda é mencionada entre os perigos da descompressão explosiva, a sensação de medo, que inicialmente, representava um considerável obstáculo psicológico para a aceitação da cabine de pressão. Este receio de um novo e desconhecido risco, como a existência de uma imperfeição estrutural, podia prejudicar a moral e a confiança da tripulação; entretanto serviu, como um grande fator, durante o período inicial, o conhecimento adquirido pela ocorrência de vários acidentes de descompressão explosiva, sem conseqüências evidentes para a tripulação. Além disso, a influência exercida pelos médicos de aviação, que podiam orientar a verdade, baseados na experiência adquirida com os testes realizados na câmara de baixa pressão, muito contribuiu para dissipar o medo e resistir contra o desenvolvimento de tal manifestação em altitude, assim como, impedir qualquer noção errônea que prevalecia entre o pessoal de vôo.

#### **Pressões diferenciais recomendadas:**

De acordo com o que referimos anteriormente, o vôo em altitude elevada, apresenta novos problemas para o médico de aviação, no que se relaciona aos cuidados do homem no avião, e também, para o engenheiro aeronáutico que deve estabelecer as exigências estruturais para a cabine estanque, sujeita a pressões diferenciais. Em março de 1943, foi iniciado o estudo deste problema: determinar as exigências para a cabine de pressão dos aviões de bombardeio e de caça, a fim de reduzir ao mínimo grau o perigo da descompressão explosiva. Dessa forma foi feita a seguinte recomendação: 1) que a cabine estanque dos aviões de bombardeio deve possuir uma pressão diferencial equivalente a 6.55 libras por polegada quadrada, de modo a possibilitar uma altitude de vôo à 35.000 pés sem o uso do oxigênio; 2) que a cabine dos aviões de caça, com uma pressão diferencial de 2.55 libras por polegada quadrada, permita ascensões até 50.000 pés e mantenha a quota da cabine de 30.000 pés, a fim de evitar o nível do aeroembolismo. Este critério de estabelecer as pressões diferenciais, com a finalidade de diminuir os riscos na eventualidade de uma descompressão explosiva, presentemente é julgado satisfatório para os atuais aviões militares e comerciais.

De acordo com o volume da cabine, o "Aeromedical Laboratory" estabeleceu os seguintes tipos:

1) Tipo pequeno: para cabine de 200 pés cúbicos de volume ou menor, o nível de pressão é de 2.3 libras por polegada quadrada;

2) Tipo médio: para cabine de 200 a 1.000 pés cúbicos de volume, o nível de pressão é de 4.0 libras por polegada quadrada;

3) Tipo grande: para cabine de 1.000 pés cúbicos de volume ou maior, o nível de pressão é de 6.0 libras por polegada quadrada.

Sob o ponto de vista geral, há três tipos de cabine estante nos aviões militares:

1) A cabine mantém uma pressão equivalente a uma altitude inferior a 10.000 pés. Neste tipo, a tripulação do avião necessita utilizar o equipamento de oxigênio exceto em situação de emergência.

Este é o caso da super fortaleza voadora B-29, cuja cabine de pressão automaticamente torna-se eficaz a 8.000 pés e a maior pressão diferencial de 6.75 libras por polegada quadrada, permite o nível de pressão da cabine equivalente a 8.000 pés de altitude numa real altitude de vôo de 30.000 pés; acima desta altitude de vôo a máxima pressão diferencial é mantida, de modo que a 35.000 pés de altitude o nível de pressão da cabine disponível corresponde a 10000 pés; a 40.000 pés de altitude o nível de pressão da cabine equivale a 12.000 pés. Quando esta pressão diferencial é conservada não é necessário utilizar a máscara de oxigênio até a altitude de vôo de 35.000 pés, porém o equipamento de oxigênio deve estar acessível para ser usado na possibilidade de uma descompressão explosiva.

No avião B-50 encontra-se instalado o mesmo regulador, que possibilita, entretanto, a seleção de qualquer altitude na cabine, desde o nível do mar até à máxima pressão diferencial de 6.75 libras por polegada quadrada. Conseqüentemente, a pressão equivalente ao nível do mar pode ser mantida no interior da cabine até à altitude de vôo de 15.000 pés e a pressão correspondente a 8.000 pés de altitude na cabine, e ainda disponível na altitude de vôo de 30.000 pés.

2) A cabine mantém uma pressão equivalente a uma altitude inferior a 30.000 pés, em cujo nível o aeroembolismo é de incidência muito pequena e de perigo insignificante. Este é o caso que corresponde a todos os aviões de caça, como o P-80 e certos tipos de aviões como os de reconhecimento fotográfico e de bombardeio. Foi recomendada a pressão diferencial de 2.75 libras por polegada quadrada pela possibilidade de ser encontrada a ação inimiga. O equipamento de oxigênio é essencial, pois a pressão diferencial em referência, não dispensa a sua utilização. Assim, num vôo de quota superior a

20.000 pés, o piloto deve usar a máscara de oxigênio continuamente, ou mesmo, desde a decolagem. Quando o sistema convencional de oxigênio de "demand" é usado, num vôo de 40.000 a 50.000 pés de altitude é necessário que a pressão da cabine seja limitada, a fim de prevenir a anoxia; assim, uma pequena pressão diferencial, de 1.0 a 1.5 libras por polegada quadrada, impede o aparecimento da anoxia nesta altitude de vôo. Nestas condições, portanto, o equipamento de oxigênio de "demand" sob pressão deverá ser utilizado desde que haja a queda da pressão diferencial. Este equipamento deve por conseguinte estar disponível em todos os vôos de quota superior a 40.000 pés, podendo ser usado como equipamento de oxigênio de "demand" ordinário, enquanto é mantida a pressão no interior da cabine.

3) A cabine suporta uma pressão equivalente a uma altitude inferior ao teto de oxigênio de 40.000 pés. Este é o caso que corresponde, presentemente, ao avião supersônico XS-1 em fase experimental.

De acôrdo com o tipo de contrôle da cabine de pressão, podemos distinguir:

1) **Cabine de contrôle isobárico** — na qual a cabine estanke suporta um constante nível de pressão em diferentes altitudes de vôo; a utilização dêste tipo é limitada a altitude correspondente à máxima pressão diferencial que pode ser tolerada pela estrutura da cabine.

2) **Cabine de contrôle diferencial** — na qual a cabine de pressão mantém uma pressão diferencial (conforme já foi referido anteriormente, de 6.55 libras por polegada quadrada para os aviões de bombardeio pesado e de 2.75 libras por polegada quadrada para os aviões de caça), que embora seja fixada pela resistência estrutural da cabine, pode ser empregada para alcançar uma altitude de vôo mais elevada da que pode ser conseguida com o contrôle isobárico.

3) **Cabine de contrôle relativo** — na qual a cabine estanke mantém constante relação com a pressão equivalente à altitude de vôo e esta relação é determinada pela taxa de compressão dos compressores da cabine.

Durante a última guerra mundial, foram desenvolvidos pela Fôrça Aérea Germânica, vários projetos de cabine estanques sendo que um dêles era destinado a manter a cabine com o nível de altitude de 10.000 pés e com a pressão diferencial de 10.11 libras por polegada quadrada a qual era reduzida para 6.75, quando o avião sobrevoava as zonas de operações.

Na regulação da pressão da cabine a taxa da redução de pressão não deve exceder de uma libra por polegada quadrada por segundo; do mesmo modo o regime de aumento de

pressão não deve ser maior do que uma libra por polegada quadrada por minuto no avião militar, ou de 0.15 libras por polegada quadrada por minuto no avião comercial o que corresponde a uma variação de altitude de 300 pés por minuto. A velocidade de descida em pés por minuto, equivalente a determinada taxa de aumento de pressão é uma função da altitude. A pressão da cabine é obtida por meio de compressores mecânicos especiais, controlados para suprir uma constante massa de ar no interior da cabine do avião. Estes compressores são acionados por dois meios:

1) — Pela engrenagem com o principal grupo motor-propulsor que oferece um melhor controle da pressão da cabine, independente da potência do motor do avião; este método, contudo, tem a desvantagem de exigir, para uma determinada capacidade, um peso maior.

2) — Pelo tubo-compressor em conexão com o motor; este meio requer menor peso, porém, compromete uma perda maior da potência do motor, com grande exigência de ventilação.

A fim de avaliar a tolerância do aviador à descompressão explosiva, foram realizados vários e significativos testes, utilizando modelos de cabine de avião em tamanho natural, colocados no interior da câmara de baixa pressão, sob diversas condições, dentre as quais:

1) Variando o tamanho do orifício explosivo e o tempo de descompressão;

2) Variando a pressão diferencial;

3) Variando a altitude;

4) Variando o volume da cabine, etc.

Estas experiências têm sido realizadas associadas ou não com o oxigênio, utilizando os sistemas de "demand" ou de pressão, medindo-se, cuidadosamente, o tempo e a velocidade de descompressão, assim como, o tempo de permanência numa determinada altitude após a descompressão explosiva a velocidade de descida num vôo simulado, etc. A capacidade vital dos pulmões, antes e depois da descompressão explosiva, a radioscopia, o electrocardiograma, bem como, o ritmo respiratório, a expansão abdominal e torácica, etc., e também, os sinais e sintomas subjetivos acusados pelos indivíduos submetidos às experiências, têm sido acuradamente registrados.

Esses trabalhos experimentais, têm demonstrado, que não há grande perigo com as dificuldades fisiológicas encontradas na descompressão explosiva de uma cabine estanque que mantenha uma pressão diferencial nos limites já estabelecidos, conforme o tipo de avião considerado. Assim podemos acrescentar, que a diferença, entre poucos segundos em rela-

ção ao tempo de decompressão explosiva, é de grande importância no aparecimento e também no grau dos efeitos provocados por este procedimento, porém eles têm sido bem tolerados pela maioria dos pilotos. Mesmo quando a decompressão explosiva é realizada numa velocidade extremamente rápida, como a verificada da altitude de 8.000 para 35.000 pés em menos do que 0.1 de segundo é tolerado com pequena dificuldade. Este teste pode ser feito, provocando-se a perfuração súbita da tela que veda a comunicação entre o modelo da cabine do avião em tamanho natural e o interior da câmara de baixa pressão perfuração esta, muito maior do que qualquer outra já observada em combate.

Contudo há um desconforto físico considerável, juntamente, com uma violenta rajada de vento através a abertura explosiva e também pelo túnel de comunicação dos aviões de bombardeio. Assim a decompressão explosiva, está associada com um sério perigo, representado pela possibilidade do pessoal, estacionando próximo à abertura explosiva, ser arrematado do avião através da janela, porta, cúpola de pontaria ou de observação astronômica, no caso de completa pane de uma destas partes do avião. Igualmente o indivíduo pode ser projetado através do túnel de comunicação, quando se encontra em seu interior, na ocasião da imprevista decompressão explosiva. Esta possibilidade criou outros problemas que foram resolvidos pelos engenheiros de aviação nas subsequentes modificações dos projetos feitos para evitar este sério acidente. Assim, também é recomendado o uso permanente do cinto de segurança por todo pessoal de bordo, inclusive o observador que viaja perto da cúpola de pontaria e na posição de observação astronômica do avião com cabine estanque.

Além disso, a decompressão explosiva se acompanha em geral, de uma cerração por todo o interior do avião, que felizmente é de duração efêmera. Entretanto, quando isto ocorre na ocasião da decompressão explosiva, é muito penoso e desconcertante para o piloto e tripulação, porque determina uma menor visibilidade no momento em que todo esforço está sendo feito para conseguir o controle desta imprevista situação, e juntamente com o fator emocional, sem dúvida, pode contribuir para a sensação de medo até a situação ser completamente dominada.

#### **CONCLUSÕES:**

De acordo com o estudo precedente, os principais problemas encontrados com o advento da cabine estanque, têm sido satisfatoriamente resolvido, após cuidadoso estudo e consideração pelo engenheiro aeronáutico e médico de aviação, num

trabalho de conjunto, cada qual em seu mistér, o primeiro, introduzindo modificações técnicas, a fim de aperfeiçoar as características do avião em face da altitude, e o último, se encarregando do máximo de segurança e conforto do piloto, tripulantes ou passageiros no vôo militar e comercial em altas quotas.

Êstes fatos explicam, evidentemente, o aperfeiçoamento alcançado, no que se refere, à segurança mecânica do avião pròpriamente dito, e aos métodos e meios de eliminar ou neutralizar aquêles efeitos de uma deletéria natureza, a fim de suplantar as condições adversas encontradas pelo homem, quando exposto a uma altitude elevada.

Tôdas as fases do projeto, construção, performance, manutenção, e operação de um tipo de avião, têm sido influenciadas de maneira marcante, pelas considerações de segurança. O resultado dêste procedimento tem concorrido, indubitavelmente, para vencer o espaço, tanto quanto possível, tornando cada vez menos crítico sobreviver a medida que a altitude é aumentada, e conseqüentemente, contribuindo para a realização do vôo em elevadas quotas e para a tolerância humana. Desta forma, o fator fundamental-homem, componente dessas máquinas voadoras, e destinado a viver em sua vida normal à superfície da terra, está se projetando, cada vez mais distante no rarefeito ar da atmosfera, utilizando, com bom julgamento, tôda soma de conhecimentos adquiridos, criados pelo tempo e experiência, e aumentando o progresso da indústria aeronáutica e da medicina de aviação.

#### B I B L I O G R A F I A

- 1) Aero Medical Aspects of the B-29, Air Surgeon's Bulletin, december, 1944.
- 2) Armstrong, Harry C. — Principles and Practice of Aviation Medicine, 1943.
- 3) Clamann, Hans Georges — Explosive Decompression Tests on Human Subjects Without Oxygen, march, 1946.
- 4) Drury, D. R. — Blast Injuries and Explosive Decompression, december, 1942.
- 5) Explosive Decompression — Air Surgeon's Bulletin, october, 1944.
- 6) Explosive Decompression — Air Surgeon's Bulletin, november, 1945.
- 7) Explosive Decompression, As Summury and Evolation for Aircraft Designers — Aero Medical Laboratory, july, 1945.
- 8) Gemmill, Chalmers L. — Physiology in Aviation, 1943.
- 9) Gressly, Donald W. and Meakin L. W. — Explosive Decompression, Effects on Human Subjects, april, 1943.
- 10) Hitchcock, Fred A. — Explosive Decompression and Bends, june, 1943 and october, 1943.

- 11) Humann Factors in Aircraft Design. — Air Surgeon's Bulletin, September, 1945.
- 12) Jensen, Raymond W. — Regulation of Cabin Pressure, august, 1947.
- 13) Kendriks, E. J. — Cabin Pressurization in Military Aircraft, august, 1947.
- 14) Linforth, R. L. — Cabin Air Conditioning, Pressurization and Oxygen System, august, 1947.
- 15) Notes on Physiology in Aviation Medicine. — Technical Manual 8-30 — War Department, october, 1940.
- 16) Physiology of Flight. — A. A. F. Manual 25-2, march, 1945.
- 17) Physiological Aspects of Flying — Technical Manual 1-705 War Department, september, 1945.
- 18) Sweeney, Henry M. — Explosive Decompression — Human Subjects, december, 1943.
- 19) Sweeney, Henry M. — Firing Tests on Pressurized Airplanes, december, 1943.
- 20) Showalter, N. D. — High Altitude Flight Test Procedures, august, 1947.

