

航空醫學入門

蔡翹編著

華東醫務生活社出版



版權所有★不准翻印

航 空 醫 學 入 門

編 著 蔡 翹
出 版 華 東 醫 務 生 活 社
總 經 售 新 華 書 店 華 東 總 分 店
印 刷 中 國 科 學 公 司

一九五一年九月上海初版

1—5,000

定 價 人 民 幣 3,500元

序

這本小書原是向某軍區衛生幹部演講的稿子，他們的醫學理論基礎很差，大部份沒有讀過正規醫學院的生理學，所以只能給它們談談一般性的航空生理常識。作者本人對於航空生理亦非專長，所以所演講的材料大多是由 Armstrong 氏的航空醫學摘錄出來，自己沒有實際和很好的經驗。不過因為國內尚沒有這樣的書，所以就是很淺近，或者在推廣和普及上亦有用處，因此把它印成一小冊子，希望專家或有飛行經驗者予以指教。

張震澤先生為我作筆記和抄寫，我願在此表示謝意。

目 錄

第一章	高空中的氣體交換	(1)
第二章	高空中氧缺乏的補償反應	(10)
第三章	高空病	(14)
第四章	氣壓低落的機械影響	(23)
第五章	高空氣栓病	(29)
第六章	加減速度的影響	(35)
第七章	高空飛行時其他可以影響身體的因素	(41)
第八章	飛行員的保健問題	(47)

第一章 高空中的氣體交換

大氣壓和各氣體的分壓

關於高空對人體的影響，大概可以從兩方面討論：一方面是因為高空空氣稀薄，缺乏氧氣所引起的種種病狀；另一方面是因為空氣稀薄，機械地對人體的損害。至於飛機的擺動及加減速度的影響，那是屬於另一問題，以後再講。

要瞭解氧氣的缺乏，首先要知道空氣中氧氣的含量。在海平面上，一個大氣壓等於 760 托的水銀柱（也有人叫做汞柱），這是大氣壓空氣中各種氣體總和的壓力，因為在空氣中有 79% 的氮 (N_2)，有 20.96% 的氧 (O_2) 和 0.04% 的二氧化碳 (CO_2)，另外尚有其他稀少的氣體（如氫、氖、氬、及氦等），這些稀少氣體的含量很微而且沒有重要的作用，所以可把牠併入氮氣一項。因此，我們只說空氣中有三種氣體，即氧、氮、二氧化碳。每一種氣體都有牠的壓力，合起來即是所謂大氣壓。每一種氣體的壓力叫做分壓。例如：氧的分壓是 760 的 20.96%，也就是 159.296 托的水銀柱（通常用 mm. Hg. 代表），氮的分壓是 760 的 79%，也就是 600.4 mm. Hg.，二氧化碳的分壓是 760 的 0.04%，也就是 0.304 mm. Hg.。

此外，空氣中尚含有水汽，水汽的壓力隨溫度、氣候、和地理等情況而改變。通常在海平面時水汽壓是 5.7 mm. Hg.。在人體內，因為體溫等關係，呼出空氣的水汽壓可以達到 47 mm. Hg.。

氣壓與高度的關係

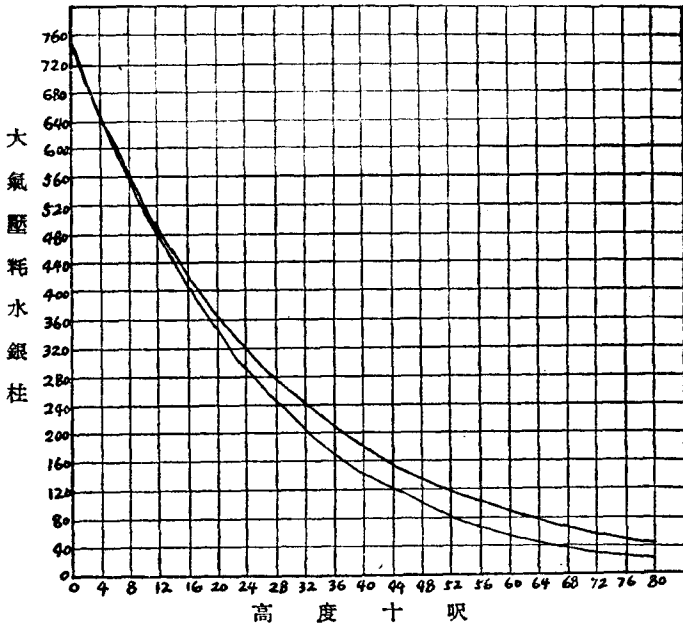
在海平面時氣壓是 760 mm. Hg.，但是假若高度不同，大氣壓的

數值也就改變。例如在海拔4000呎（意思是說距離海平面4000呎的上空），大氣壓是 656.4 mm. Hg.，在20000呎時是 349.2 mm. Hg.，在36000呎時只有170.4 mm. Hg.。我們可以看出，愈上高空，大氣壓的數值就愈小。大氣壓既然降低，其中各種氣體的分壓也隨之降低。關於氣壓與高度的關係，我們可以由下面表一和圖一中查出。

表一 氣壓與高度的關係

高度 (呎)	氣壓 (耗水 銀柱)	高度 (呎)	氣壓 (耗水 銀柱)	高度 (呎)	氣壓 (耗水 銀柱)	高度 (呎)	氣壓 (耗水 銀柱)
0	760	21,000	334.8	41,000	134.2	61,000	51.6
1,000	733	22,000	320.8	42,000	127.9	62,000	49.2
2,000	706.6	23,000	307.4	43,000	122	63,000	46.9
3,000	681	24,000	294.4	44,000	116.3	64,000	44.7
4,000	656.4	25,000	282	45,000	110.9	65,000	42.6
5,000	632.4	26,000	269.8	46,000	105.7	66,000	40.7
6,000	609	27,000	258.2	47,000	100.8	67,000	39.8
7,000	586.4	28,000	246.8	48,000	96	68,000	37
8,000	564.4	29,000	236	49,000	91.6	69,000	35.2
9,000	543.2	30,000	225.6	50,000	87.3	70,000	33.6
10,000	522.6	31,000	215.4	51,000	83.2	71,000	32
11,000	502.6	32,000	205.8	52,000	79.3	72,000	30.5
12,000	483.2	33,000	196.4	53,000	75.6	73,000	29.1
13,000	474.6	34,000	187.4	54,000	72.1	74,000	27.7
14,000	446.4	35,000	178.7	55,000	68.8	75,000	26.5
15,000	428.8	36,000	170.4	56,000	65.5	76,000	25.2
16,000	411.8	37,000	162.4	57,000	62.5	77,000	24
17,000	395.4	38,000	154.8	58,000	59.6	78,000	22.9
18,000	397.4	39,000	147.6	59,000	56.6	79,000	21.9
19,000	364	40,000	140.7	60,000	54.1	80,000	20.8
20,000	349.2						

圖一 氣壓與高度的關係曲綫；兩綫係由兩種算法得來



我們也可以利用表一或圖一，由氣壓的高低來查出高度。如我們在上空時發現大氣壓降到 522.6 mm. Hg.，那麼我們就可以知道高度是10000呎。如果氣壓降到 349.2 mm. Hg.，高度就是 20000呎。如果氣壓降到100.8 mm. Hg.，高度就是47000呎。總之，無論到達什麼高度，只要由氣壓表或氣壓計查出當時的大氣壓，就可以由表一查出高度。

身體氣體交換的原理

我們呼吸的時候，吸氣時空氣進入肺中，呼氣時空氣由肺中排

出。吸入和排出的空氣的成份是不一致的。吸入的空氣，其中氧氣的含量較多，二氧化碳很少，呼出的空氣，其中氧的含量較少，二氧化碳較多，因為在肺內實行了氣體的交換。在肺中的空氣稱為肺泡氣。關於吸氣及呼氣中空氣成份的改變詳見表二。

表二 呼吸時氣體的分壓及其百分比

	O ₂		CO ₂		N ₂		H ₂ O		總數	
	%	分壓	%	分壓	%	分壓	%	分壓	%	大氣壓
吸氣	20.79	158	.031	0.3	78.43	596	0.66	5—7	100	760
呼氣	15.26	116	4.21	32	74.34	565	6.62	47	100	760
肺泡氣	13.15	100	5.26	40	75.4	573	6.62	47	100	760

因為吸入和呼出的空氣的成份有了改變，所以其中氣體的分壓也就有了改變。例如：呼出空氣中氧的分壓是 116 mm. Hg.，二氧化碳的分壓是 32，氮氣的分壓是 565，水汽的分壓是 47，(數值參閱上表)。呼出的空氣中水汽較多，氮氣減少，氧氣也減少，二氧化碳則增加。氧氣減少的原因是因為它跑到血液中去。氮氣的減少是不是也被身體吸收了？不是的，氮氣進出身體的分量是相等的，其百分比的減少是因為氧的減少比二氧化碳的增加來得多，同時又因水汽壓的增加的緣故。

再談談呼出的氣體是否代表了肺內的空氣呢？也不是的，因為肺在身體之內，和體外的聯絡是有一段距離的。氣體要在肺泡內才能交換氧和二氧化碳，在鼻、喉、氣管、支氣管、小支氣管等處是不能交換的。這一段距離既然沒有氣體交換的作用，所以叫做死區。呼吸時死區存留着的空氣也隨之進出身體。例如：在呼氣時，一部份空氣由肺泡排出來，同時其中也混有一部份空氣是由死區排出來的，因此，

呼出的氣體並不能代表肺內空氣的成份。死區的空氣接近外界的空氣，吸氣後其成份接近外界空氣的成份，呼氣後其成份接近肺泡氣的成份。這一個死區，在解剖學上看來，約有 150 公升的容積，但是生理上的死區，因為呼吸空氣的流動有快慢，支氣管及小支氣管的大小亦有伸縮，和解剖學上的數值是稍有出入的。

肺泡氣的空氣和血液之間祇隔兩層薄膜，一層是毛細血管壁，一層是肺膜，這兩層膜都是可以讓氣體通過的，所以與血液能實行氣體交換的作用。氧氣進入血液，二氧化碳由血中排出。這種氣體的交換完全是由於物理作用。根據氣體定律，凡是分壓高的氣體要向分壓低的地方跑去，這是一個確定的原理。肺泡內空氣中各種氣體的分壓是和靜脈血內各種氣體的分壓不同的，因此肺泡氣中的氧氣到靜脈血中去，靜脈血中的二氧化碳到肺泡氣中來。關於肺泡氣和靜脈血中各種氣體的分壓和百分比詳見表三。

表三 肺泡氣，靜脈血，及組織中氣體的分壓及其百分比

	O ₂		CO ₂		N ₂		H ₂ O		總數	
	%	分壓	%	分壓	%	分壓	%	分壓	%	大氣壓
肺泡氣 (動脈血)	13.15	100	5.26	40	75.4	573	6.62	47	100	760
靜脈血	5.66	40	6.52	46	81.16	573	6.66	47	100	706
*組織	4.28	或 30-	7.14	或 50+	81.85	573	6.71	47	100	700

* 組織中氧分壓為30,或較30為少；二氧化碳分壓為50,或較50為多。

由上表可以看出，在肺泡氣中氧的分壓高，所以氧跑到靜脈血中去。靜脈血中二氧化碳分壓高，所以靜脈血中的二氧化碳跑到肺泡氣中來。這樣可以使血液由肺回到左心耳時，氧氣分壓由40 mm.Hg.

升到 100 mm. Hg.，而二氧化碳分壓由 46 mm. Hg. 降到 40 mm. Hg.。
 • 這是氣體在肺內交換的大概情形。

高空氣壓與肺泡氣的關係

前面已經提過，大氣壓因高度的不同而改變，所以在不同的高度中，肺泡氣的壓力自亦不同。例如：因上升很高，大氣壓降至 87 mm. Hg. 時，那時肺內水汽的分壓大約是 47 mm. Hg.，肺泡氣內二氧化碳分壓如果是 30 mm. Hg. 的話，只此兩種氣體分壓已經達到 77 mm. Hg.，所以很少的氧氣能到肺去，這樣是不行的。

我們如何由大氣壓來計算肺泡氣呢？很簡單，只要將大氣壓減去水汽壓，再乘氧的百分比成份就成。

(1) 例如大氣壓是 760 mm. Hg. 時，空氣中

$$\text{氧的分壓} = 760 \times \frac{20.96}{100} = 159 \text{ mm. Hg.}$$

但是肺泡氣的氧分壓，須先把大氣壓減去肺內水汽壓，同時又因為氧氣被吸收，氧的成份減少，所以

$$\text{肺泡氣氧分壓} = 760 - 47 \times \frac{14.5}{100} = 103 \text{ mm. Hg.}$$

$$\text{肺泡氣二氧化碳分壓} = 760 - 47 \times \frac{5.5}{100} = 39 \text{ mm. Hg.}$$

(2) 又例如上升至 5000 呎的高度，大氣壓降低至 632.4 mm. Hg.，那時空氣中

$$\text{氧的分壓} = 632.4 \times \frac{20.96}{100} = 132.6 \text{ mm. Hg.}$$

$$\text{但在肺泡氣內氧的分壓} = 632.4 - 47 \times \frac{14.5}{100} = 84.9 \text{ mm. Hg.}$$

(3) 又若上升至 15000 呎的高度，大氣壓更降低為 428.8 mm. Hg.

，那時空氣內

$$\text{氧的分壓} = 428.8 \times \frac{20.96}{100} = 90.05 \text{ mm. Hg.}$$

$$\text{在肺泡氣內氧的分壓} = 428.8 - 47 \times \frac{12.3}{100} = 52.7 \text{ mm. Hg.}$$

總之，肺泡氣內氧的分壓可以下面公式來計算：

$$\text{肺泡氣氧分壓} = (\text{大氣壓} - \text{水汽壓}) \times \text{氧的成份}$$

在高空時如果用95%O₂及5%CO₂混合來呼吸，肺泡氣氧的分壓就得用下式計算：

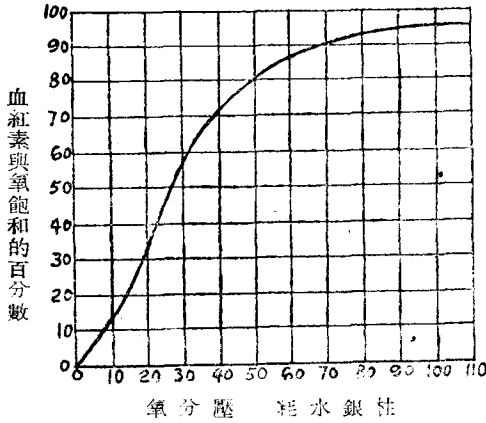
$$\begin{aligned} \text{肺泡氣O}_2\text{分壓} &= \text{大氣壓} \times \frac{95}{100} - (\text{水汽壓} + \text{CO}_2\text{分壓}) \\ &= \text{大氣壓} \times 0.95 - (47 + 40) \end{aligned}$$

肺泡氣內氧分壓高時，血液中氧氣的飽和度也高（所謂飽和度就是指在血液中已經含有最大量之氧，通常若在100噸血中含有20噸的氧，即稱為完全飽和，也就是百分之百的飽和）。肺泡氣內氧的分壓低時，血液中氧氣的飽和度也低。例如氧氣的分壓是100 mm. Hg.時，氧氣的飽和度可以達到98%，若是氧氣的分壓降到80 mm. Hg.，氧氣的飽和度只有93%。若是在15000呎的高空，而不用純氧呼吸，肺泡氣中氧的分壓降到52.7 mm. Hg.時，氧氣的飽和度就只有81%了。這些都可以由動脈血的氧離曲線上查出來。

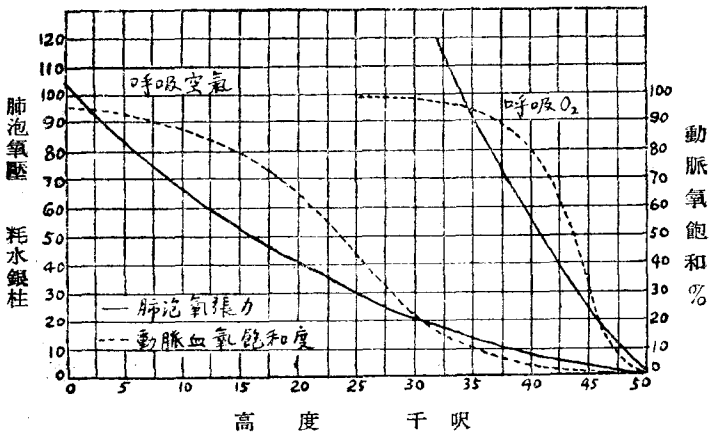
圖二表示血液氧的飽和度和氧分壓的關係，叫做氧離曲線，它指出在什麼氧分壓，氧氣就有多少離開血液。

由這個圖，我們可以想一想在肺中和在組織中的情形；在肺中，肺泡氣的氧的分壓是100 mm. Hg.，比較是高的，就是比靜脈血中的氧分壓高（參閱表三），所以氧氣跑到血裏去，把靜脈血完全充滿氧氣，結果靜脈血變為動脈血，有98%的氧的飽和度。動脈血流到其他器官和組織時，因組織本身不斷需要氧氣，用來氧化養料，以供給身

圖二 動脈血氧離曲線



圖三 高度與肺泡氣壓和血中 O_2 飽和度的關係；左邊兩曲綫係呼吸空氣得來，右邊兩曲綫係呼吸純氧氣得來



體能力，所以氧氣很少，氧分壓低（表三），結果血中氧氣跑到組織去（氧離現象），而其飽和度亦就降低了。

圖三表示高度和肺泡氣氧分壓的關係，同時並表示高度與血液氧飽和度的關係。由於這個圖，我們更可直接看出高度與氧飽和度的關係了。同時用空氣呼吸和用純氧呼吸的情形，亦在這個圖表示。

由於上述幾點，我們可以認識到高度和氣壓的關係，氣壓和氧的分壓的關係，肺泡氣氧分壓和血液中氧的飽和度的關係，及氧氣飽和度和氧氣在體內交換的關係。

呼 吸 純 氧

在近代飛行，通常在 10000 呎時即要帶氧氣呼吸。許多國家尚規定在 8000 呎時即須使用氧氣，在這個時候不用純氧，雖亦不致發生危險，但為維持正常的工作效率及避免可能的危險起見，應早些作準備，因為如果等到主觀的感覺病狀發生時才吸用氧氣，有時就不免慌亂，引起意外事故了。在 12000 呎時應用氧氣可以增加工作效率。在 30000 呎高度，氧的飽和度為 20%（見圖三），如仍不用純氧，身體就不能支持了。在 35000 呎以下，呼吸純氧是可以補救氧的缺乏的，但倘若在 35000 呎以上的高度，就是呼吸純氧也是不夠的（見圖三）。所謂純氧，普通都是 95% 的氧加入 5% 的二氧化碳。因為二氧化碳對於身體是一種刺激，它可以刺激呼吸，所以雖然二氧化碳太多時對身體有礙，但是在用氧氣呼吸時，二氧化碳仍是很重要的。但若高度在 50000 呎時，即或使用純氧呼吸，也是無濟於事的，因為大氣壓已降至很低，只是水汽壓和肺內二氧化碳的分壓之總和就已經超過大氣壓，所以氧的分壓等於零，氧的飽和度亦是等於零（見圖三）。

第二章 高空中氧缺乏的補償反應

(1)過度通氣——氧氣分壓和血液中氧氣的飽和度降低了，呼吸很快就發生變化，這因頸動脈體和主動脈體受氧氣缺乏的刺激，發生衝動，興奮延腦的吸氣中樞，而使呼吸加深，結果雖然可使空氣進入肺內較多，而肺泡中的氧氣的分壓亦可稍稍增加，因而補償了氧氣的缺乏，但是同時因為二氧化碳排出也較多，結果呼吸缺乏刺激，致呼吸暫時停止或變慢，成為變態的呼吸而呈間歇情況。這種呼吸變慢或停止的結果，使血液中二氧化碳逐漸積聚，到了某一程度又引起呼吸。這樣一度的急速呼吸，隨以一度的呼吸停息，在高空缺氧時常常發生，叫做陳施氏呼吸。（此種呼吸也可在其他種種病理狀況中發生，為Cheyne和Stokes兩氏所發現，故名。）

(2)循環加速——另外一種補償反應是在氧氣缺乏剛開始時，脈搏增加，但以後又行恢復。這種脈搏加速的原因尚未完全明瞭。

(3)波氏現象——因為二氧化碳呼出過多，血液中的二氧化碳減少至正常以下，這樣更可使氧氣與紅血球之血紅素結合得很緊密，不容易由血液中跑到組織中去，而使身體組織中更缺乏氧氣。如此互為因果，使缺氧情況更行嚴重。關於這種現象，可以由血液在不同的二氧化碳分壓中的氧離曲綫表示出來（圖四）。此為Bohr氏所發現，故名波氏現象。

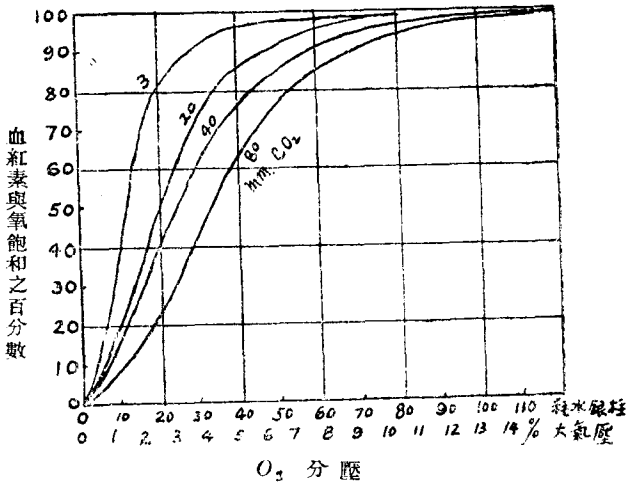
飛行中影響氧氣缺乏的因素

在飛行中，氧氣缺乏的程度是受以下各種因素所影響的。

(一)高度問題

(1)在8000—12000呎的高空必須用95%的氧氣和5%的二氧化碳

圖四 血液在不同的二氧化碳分壓中的氧離曲線



呼吸。

(2)在35000呎以上，用95%的氧氣和5%的二氧化碳呼吸還是不夠，所以要用壓縮室的裝備。所謂壓縮室者，即在飛機中設有與外界完全隔離之房間，此種裝備應密不漏氣，然後用壓縮空氣的機器打進空氣，使裏頭的氣壓與海面的大氣壓相等。這樣才能維持飛行人員的正常呼吸及氣體交換。

(二)上升速度

普通民航飛機每分鐘約上升300—500呎，軍用飛機每分鐘上升500—1000呎不等。但上升速度最快不能超過每分鐘5000呎。

上升速度與高度忍受性的關係可以表四說明。普通上升愈快，神經系統受害愈大，上升愈慢，循環系統愈覺吃力。試拿對於缺氧的忍

受性來講，以每分鐘上升 500 呎為最好。所謂高度忍受性者，即表示到達某一高度時，即行暈倒；到達的高度愈高，忍受性亦愈高。

表四 上升速度與高度忍受性的關係

上升速度 (呎/分)	高度忍受性(呎)
100	30915
1000	37235
5000	39045
10000	40300
30000	45175

(三) 停留時間

由上表可以見到，上升之速度愈慢，則高度忍受性愈低，因為需要到達的時間比較長的緣故。這聯繫到另一問題，即時間問題。忍受性和停留在高空的時間很有關係，如在 25000 呎的高度，停留 24 分鐘可沒有影響，以後則呼吸變慢變深，25 分鐘以後呼吸幾乎停止，到 28 分鐘時呼吸全停。至於脈搏，24 分鐘以後變慢，並且變成不規則，25 分鐘後變快而弱，28 分鐘時則弱到幾乎停止，到 29 分鐘時脈搏全停。致死的原因是因為不能呼吸，即延腦的呼吸中樞失去作用。呼吸停止後仍有短時期的心跳，在這種情形下，就是施行人工呼吸或氧氣呼吸，亦是無效。

(四) 個別差異

一般來講，對於缺氧的反應，年齡、體格、肺活量，和不呼吸的耐性的時間之長短似乎沒有關係。（所謂不呼吸的耐性是指用意志硬不作呼吸，等到忍不下去，這一段不呼吸時間代表不呼吸耐性）。

惟下列因素與個別的身體和精神情況是有關係的：

(1) 當時身體活動的情況——身體活動愈多，氧氣的消耗也愈多，所以缺氧愈甚。

(2) 健康情況——其中以循環系的健康情況最為重要。再如一時的傷風、失眠、疲倦、過多的飲酒或絕食等亦均有影響。

(3) 情感——神經質的人不宜於高空飛行。

(4) 疾病——如患心臟病、貧血病、肺炎、及氣喘等均不宜上升高空。