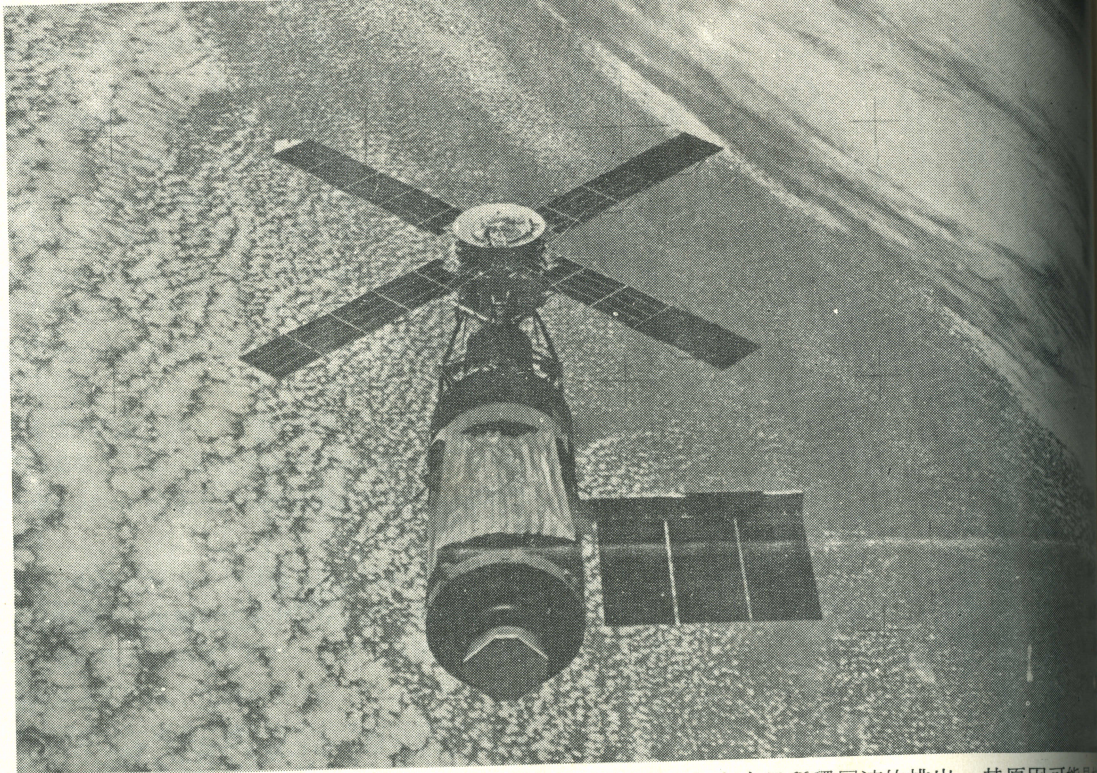


太空醫學的幾個課題

陳禮平



前言

太空醫學 (Space medicine) 是從航空醫學 (Aviation medicine) 發展而來的一門新興科學。自從人類踏進太空時代，太空探險便與每一門自然科學建立密切的關係，醫學自然也包括在內。以前航空醫學大致上包括缺氧、加速、紫外線和低溫等因素對人體的影響，現在的太空醫學已進而為應付多方面複雜的、長期性的生理和心理上的問題，使人類在太空險惡的環境裏得以安然生存。這裏簡略地介紹太空醫學其中的幾個課題。

無重狀態 (Weightlessness)

人類一直是生活在地心引力的影響之下。在無重狀態時，人體便會出現如下數種生理變化。例如：太空人都有體重減輕、血濃縮 (Hemoconcentration) 和脫水的現象。這是由於太空衣的通風系統失效所常常引起的過

熱，加上大量稀釋尿液的排出。其原因可能是素 (ADH) 分泌的長期受抑制所使然。一九六八年地球飛行的猴子 Bonnie 的主要死因便是血液循環質的吸收量、情緒與溫度等因素都可引起，但無重狀態時的靜液壓消失所產生的體液成份容易忽視的。

無重狀態帶來的另一生理變化是在太空的直位性低血壓 (Postflight orthostatic hypotension)，與交感神經活性的減低有關。直位性低血壓立時的心率加快和收縮壓減低所顯示出來，展現雙腳有不尋常的靜脈充血。這類變化和長時間浸在水中的效果相同，由此可見直位性低血壓的關係。

第三種變化是肌肉的氮與骨的鈣質的損失。從事太空飛行後所進行的 X 光檢查顯示相當嚴重的疏松症 (Osteoporosis)。不過這些與無重狀態有待進一步的研究。



太空探險是艱巨的任務，太空人隨時要應付種種突然而來的變化，既勞心也勞力，所以必須保持充足的營養，而這又需要一個妥善計劃好的食物配給。從歷次太空飛行所得到的經驗，知道在無重狀態下工作需要較少的能量。在「太陽神」飛行任務中每人每日所吸取的熱量為2300至2500 卡路里（calories），在「太空實驗室」則為2000至2800 卡路里不等。由於各人工作不同，所以所配給的熱量也不同。過多的食物會令太空人發胖，這在空間狹小的太空船裏是不容許的。事實上，從事太空飛行的太空人每有體重減輕的情形發生，所以食物的質與量都要繼續研究改良，以盡量適合太空人的需求。早期的太空食物不太吸引人，包括裝在鋁管如牙膏狀的半流體和隨處飄揚的碎屑。現在的太空餐比較多彩多姿，有預先煮好的食物，也有新鮮的；有脫水達百分之八十的，也有祇脫水百分之二十的。太空人進食的心情也受到關注。湯匙和碗的採用使太空人可享受更自然的太空餐。食物的色、香、味已能夠用冰乾（Freeze-drying）的製作方法來保留：冰凍的食物在真空中受熱使冰昇華，留下不受液體水影響的食物。這樣可以令到太空人像在地球上進餐一樣。

生理時鐘 (Physiological clock)

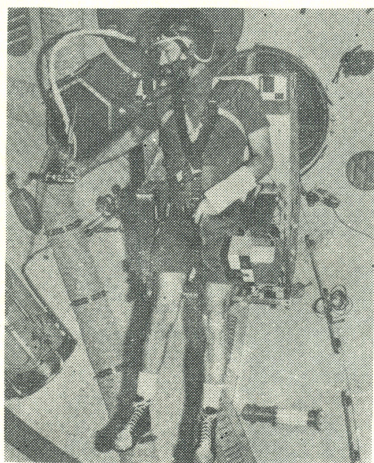
地球的自轉造成晝夜的循環。在白晝，天空光亮，氣溫較高；在夜間，天空祇有黯淡的星光和月光，氣溫下降。晝夜的循環在生物體內造成了一個內部節奏。一般人生理上的晝夜循環也就是醒與睡的循環，亦即活動和休息的循環。在夜裏，人體需要休息來恢復疲勞，呼

吸緩慢而淺，氧的消耗量隨著減少，心率減慢，血壓下降，體溫和代謝率也下降，表皮電阻上升，胃腸道蠕動增加，肌腱反射減低，血液成份的比例與肝、腎和內分泌腺的活動以至細胞分裂的節奏都有日夜的差別。大概來說，交感神經系統支配日間的活動，副交感神經系統則作用於夜間。現代快速的旅行已大為影響人體內的生理時鐘，在數小時之內，超音速飛行可把中午變為深夜，早晨變成黃昏，但是體內的各種生理變化却不能一下子適應過來，有時候需要數天乃至數星期的時間來適應新環境。在環繞地球的太空飛行中，晝夜的變更更為快速，兩小時左右便經歷了一晝一夜。在長途太空飛行時，太空船連續不斷受到陽光照射，只有白晝，沒有黑夜，太空人底生理時鐘的調節更為重要。

心理影響

太空探險固然有它緊張刺激的時候，但也有枯燥單調的一面。因此太空人必須飽受訓練，保持良好的心理狀態，以應付任何突發的事故。

太空人在離開地球後，便有一種被孤立的感覺，亟需人際接觸，此時無線電聯絡不單是技術上需要，同時也是心理上所需要的，特別是在緊急的情況之下，使太空人與地面指揮中心有共度患難的感覺。長期孤獨會引起焦慮，但受影響的程度則隨各人的性格而異。由於過度空間會使孤獨更難忍受，因此太空人保持忙碌可緩和孤獨的程度。現在的太空船已不祇一名太空人，各成員彼此的性格能否相容便成爲一個新的問題，尤其是在太空船這麼細小的空間裏生活在一起，更容易引起磨擦。不過太空飛行任務中的共同目標和安危相關是維繫各隊員的一股向心力。此外，避免挑選性格孤僻的太空人也



是很重要的。將來的太空船不祇有船員，還會裝載乘客，屆時又會產生新的問題。長期與外隔絕也會引起時間觀念和警覺能力的喪失。當星際旅行需時數以年計時，冬眠或許是一個解決的辦法，正如科學幻想小說「二零零一年太空探險」所敘述的一樣。這是一種用低溫降低代謝速率和減慢衰老過程的方法。

視覺、聽覺、觸覺、壓覺和本體感受覺(Proprioception)等提供了一個參考依據，使我們能覺察身體在空間的定位和運動。但在太空失去引力和視覺的倚賴時，內耳感受器的刺激會造成身體活動的錯覺。飛行員在飛機盲目飛行時也有同樣的情形發生。當然，儀器可補助或甚至代替人的判斷力，但在極度恐懼或焦慮時，幻覺可能完全左右人的判斷力。雖然這種情形尙未有報導，但仍須注意維持太空人的警覺能力。在月球上雖然因為沒有大氣層和水蒸汽，所以物體光暗非常分明，但這種情形比較不容易引起幻覺而容易適應。在某一個實驗裏面，實驗者在不能動彈、失去聽覺、觸覺及祇能看見暗淡的光線的環境之下祇費數小時便出現幻覺。幸而在真正的太空飛行時，太空人必須常常執行任務，例如檢查儀器、進行科學研究等，可以保持身體活動。

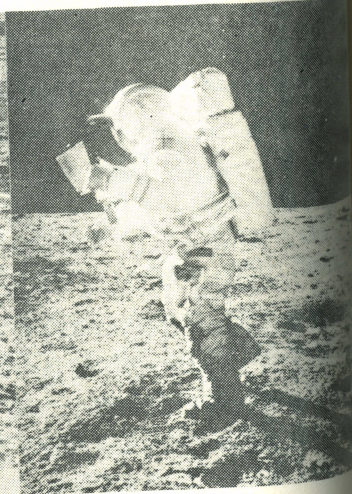


輻射

太空飛行所碰到的高能量輻射線有好幾個來源：(一)、太陽及星河發射出的宇宙射線；(二)、北極光等磁場；(三)、地球磁場所含的高能量粒子；(四)、太空船的高壓電子設備。因為人類生活在大氣層保護之下，人體本身並無生理上的防衛機轉來抵抗輻射的傷害。輻射線引起的急性疾病會出現嘔吐、貧血、噁心等。慢性的疾病則有不育、癌症、白血病、染色體突變、皮膚受損等。雖然輻射線照射對人體的影響很嚴重，但須加以適當的保護即可防止。精確地預測輻射性(Solar flares)的爆發也有幫助。

加速

從新聞圖片常常看到太空人在太空艙裏面是失重的，這是因為把體軸與加速度的方向垂直時能夠承受大的加速度，可達八至十二個g（重力加速度）。美國歷次太空飛行重返大氣層時，太空人都忍受了很大的加速度。雖然人類可抵受幾倍於平時習慣的加速度，但循環系統仍然很容易受到傷害，特別是肺循環。在十個g的加速度時，血液便會好像溶解的鉛一般，血液回流減弱，心臟負荷加重，大腦缺氧，感測作用也改變。現行的三節火箭方法可以把一次大的加速度分成三個小的加速度，使太空人在火箭發射時受一點。另一方面，開倒車的辦法可以使太空船在重返地球時的加速度減少；浸在水中也能夠有效地緩和對身體的作用。



人造氣層 (Artificial atmosphere -)

因為太空沒有大氣層，所以太空船內須要維持一個人造氣層，以供太空人所需。空氣中各氣體成份的選擇也很費腦筋。純氧在技術上很方便，但星星之火即可使整個太空艙焚燬。太陽神一號的慘劇使三個優秀的太空人立即喪生，也使美國的太空探險計劃延遲了一段時間。在太空船的空氣供應裏加入惰性氣體正可防止這種悲劇的發生。在各種惰性氣體中，氦比氮為佳。因為氦比氮輕，在水的溶解度較低，在脂肪中更低，擴散率則較為高些，但漏氣時也更快速。氦的導熱性是氮的五倍，所以加強了熱的交換。人生活在氦中有一個有趣的效應就是聲調會改變，男高音會變成女中音或女低音。

正常空氣裏的氧分壓是 159 mmHg，但由於技術上與生物代謝的關係，會出現缺氧 (Hypoxia) 或氧過多 (Hyperoxia) 的問題。缺氧首先影響視力：辨色力和夜間視力都降低，這是因為視網膜的氧供應不足。智能方面的影響也很大，肌肉運動顯得笨拙，而且不能分辨錯誤，或能辨別錯誤而不能加以校正。更嚴重的時候會有痙攣和昏迷出現。當開始缺氧時，化學感受器的刺激機轉 (Chemoreceptor stimulatory mechanism) 使呼吸速率增加，心率也隨而加速，注入動脈的血量也多些。可是這些都是對休息狀態而言，如果在缺氧狀態下工作則會有不良後果，因為紅血球增多症 (Polyglobulia) 提高血液的黏性，增加心臟的負荷。因此人造氣層裏的氧分壓不可以低於 145 mmHg。

氧壓過高同樣不適合人類。當純氧的氧壓超過 400 mmHg 時，呼吸率和心率都降低，腦、眼與心臟的動脈收縮，循環中的血紅素減少。長期氧過多時，嘔吐、胃痛、噁心和支氣管炎會跟著出現。太空船裏最適中的氧壓是在 145 到 380 mmHg 之間。

碳酸過低症 (Hypocapnia) 是換氣過度所引起的。動脈血中的碳酸氣分壓降到 25 mmHg 時便會有震顫和不明確的動作，這在航空醫學上稱為「心理運動性能 (Psychomotor performance) 的降低」。肺泡內碳酸氣分壓跌破 20 mmHg 時更會有痙攣或甚至失去意識。不過在碳酸量降低時，人體內調節血液酸鹼度的系統便起作用，維持恆定性 (Homeostasis)。

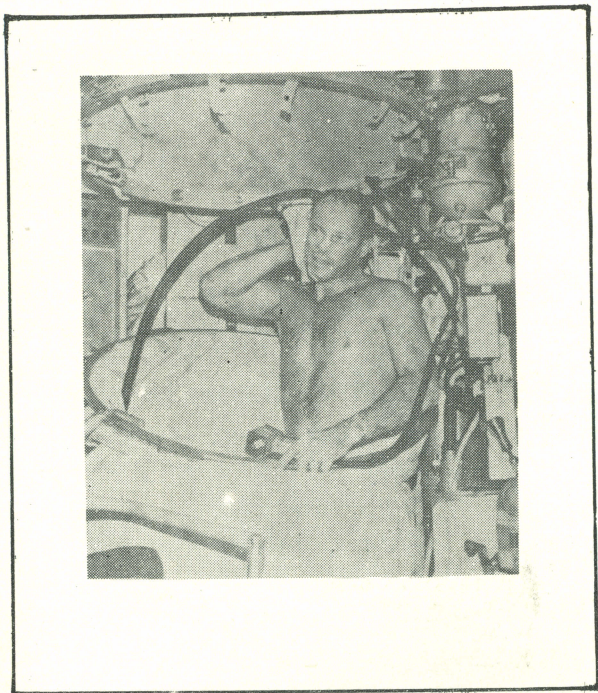
體內積聚過多碳酸氣時，呼吸系統、循環系統及腎臟各調節機轉便會降低碳酸氣的量。當超過人體的容忍限度時便會產生碳酸過多症 (Hypercapnia)，症狀包



括呼吸困難、嗜眠及半昏迷等。

除了上述氣壓變化影響太空船內人造氣層的舒適程度外，人體排出的甲烷、乙醯乙酸 (Acetoacetic acid)、氫和硫化氫等亦會使太空船難以居住。此外，失重狀態下漂浮的塵埃也添加一些麻煩。這些塵埃有食物碎屑、水粒、煙氣、潤滑劑顆粒和膠粒等。在太空船上這些塵埃是用各種過濾的方法消除的，但因為沒有重量的關係，這方法也較為複雜一點。附在塵埃上的微生物很可能對人體有害，則用熱力、紫外線或臭氧加以殺滅。

肺和皮膚放出的水汽在密封的太空船裏很快便會達到飽和點。雖然人還可工作，但蒸散作用受阻使人感到不舒服。人造氣層的濕度可用物理或化學方法降低，獲得的水份還可再利用。



溫度變化

溫度適中是最理想不過的，體能和智能都可以發揮最大效率。但在不同階段的旅程當中，太空船是暴露在不同的熱源下。在發射前，地面溫度受陽光、濕度及風速等影響；穿越大氣層時空氣磨擦產生逾攝氏一千度的高溫；在外太空，太空船受到太陽直接或間接的照射；再者，太空人本身也不斷放出熱量。人體對熱的忍耐力是和排熱的能力有關的。皮膚溫度達到攝氏四十五度時便有灼傷的感覺，體內熱量繼續聚積而不能散發時，心率便會增加，循環系統也會崩潰。絕緣體可有效地隔絕外來的溫度影響，從而太空工程師們得以從心所欲地選擇太空船內的溫度。小心調整吸收熱與反射熱的表面積的比例亦可以建立一個熱的平衡。

藥物的利用

太空飛行的藥物利用是多方面的。震盪和轉動引致的疾病可以用多種藥物來克服，例如 Dramamine、Lergigan、Benadryl 和 Bonamine 等。這些藥物都是抗膽激素導性 (Anticholinergic) 的。利用藥物比改造太空船便宜得多。精神神經安定劑 (Tranquilizers) 作用於腦幹及脊髓，可以考慮用來保持低的代謝率，以適應長途飛行。興奮劑 (Excitants) 則可協助應付危急的情況。將來還可能會製成能夠抵抗輻射的藥物。

結語

醫學一直為保護人類、維持健康而努力。當代來臨時，醫學便面對一個新的挑戰——探討太空生活的適應能力和需要，為太空人提供安全的健康。太空醫學與工程學的結合決定了太空船，使太空人能夠順利往返太空。在征服太空的艱難人類發揮了高度的智慧和合作精神，埋頭苦幹，很多科技上的難題，不但使人類揭開宇宙的神秘科學研究的應用也對我們的日常生活作出寶貴的參考資料：

- (1) NASA: NASA Facts: Food for Space.
- (2) McGraw-Hill Encyclopedia of Space, 1968.
- (3) M. R. Sharpe: Living in Space, 1969.
- (4) E. E. Selkurt: Physiology, 1966.
- (5) McGraw-Hill Yearbook of Science and Technology, 1975.

(本文圖片由美國太空總署提供，謹此誌謝。)

