

# 暗適應與

# 夜視力訓練

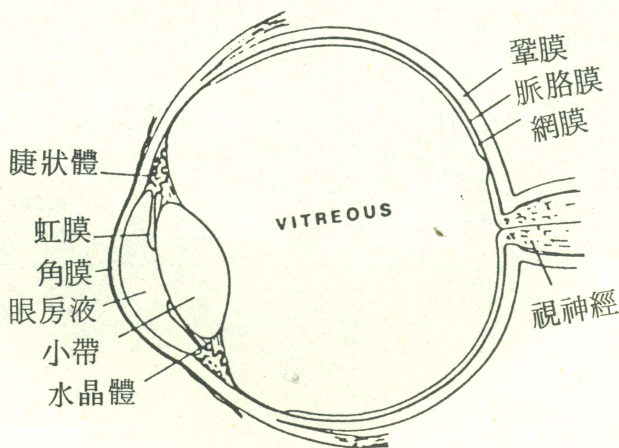
溫德生

## 一、前言

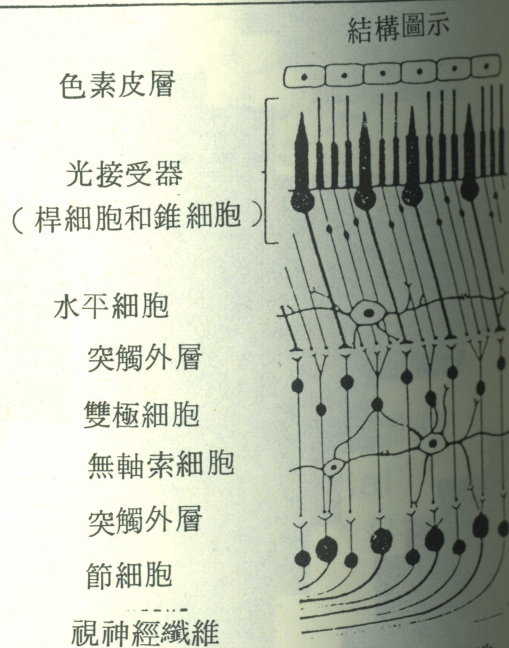
在人類的各種感覺器官中，對飛行最重要的是眼睛，無論是目視飛行或儀表飛行，良好的視力可使飛行員能直接或間接地察覺飛機的位置與外界環境，因此敏銳的縱深視力、色覺、夜視力是飛行員不可或缺的感官能力。然而，明晰的晝間視力並不意味著必也兼具敏銳的暗視力，此由於眼睛的解剖生理限制，暗視力需要技巧的運用，以及可能遭遇的視錯覺，這些因素使得夜間飛行複雜而困難。儘管如此，倘能瞭解低照度環境對生理的影響，從訓練中體認適應的對策，自可克服視力的缺陷。

## 二、眼睛解剖生理及生代學

視網膜是視覺的接受器，包括兩種感光細胞，即錐細胞（Cone cell）和桿細胞（Rod cell），此兩者再與雙極細胞（Bipolar cell）、節細胞（Ganglion cell）依次相連而形成視神經，將光的刺激轉變成為電視的刺激，傳送到大腦枕葉皮層的視覺中樞。（圖1，2）



圖一：人類眼睛的解剖構造



圖二：視網膜橫切面之各部分構造

這兩種細胞的分佈並不均勻，而是錐細胞聚集在視網膜的正中凹（Fovea），桿細胞則分散在其外圍，由於眼球的本能反射動作，往往會自動地轉向，使影像或光源落在正中凹上，是以錐細胞用於白晝或人工照明情形下的視物，此外，細胞內因含有色素質（Chromopsin），可對紅（ $570\text{ m}\mu$ ）、綠（ $540\text{ m}\mu$ ）、藍（ $440\text{ m}\mu$ ）三原色及其互補色產生反應，故亦可辨色。然而，每一錐細胞僅有一條視神經纖維與之相連（1：1），微弱的光線不足以激起其神經衝動，產生視覺，除非移動眼球，使物體投影到周邊的桿細胞上，後者因許多個細胞聯接在同一條視神經纖維（7：1），此興奮性的總合（Summation）結果，始能在光線晦黯微弱的情況下察見物體。其實，與夜視力關係最密切的乃桿細胞內的視紫紅質（Rhodopsin），此種化學物質是氧化型維生素A，即視黃醛（Retinene），與視紫蛋白（Opsin）結合而成者，即使在弱光下亦易於分解，產生光化學反應且使視神經興奮。惟因視神經與桿細胞為多突觸聯會（Polysynaptic），且分佈較稀疏，是以解像閾值（Resolvable Threshold）較差，不若單突觸聯會（Monosynaptic），分佈較密集的錐細胞，具有較佳的能力辨識相互分離的不同物體。總括而言，錐細胞主司晝間視覺和色覺，對弱光的敏銳度較差，但解像力較佳；而桿細胞主司暗視覺，但缺乏色覺，解像力不佳，惟對弱光能產生滿意的反應。

### 三、暗適應的機轉和輔助方法：

當吾人由白晝的街道進入黝黯的電影院，或夜晚自燦亮的室內離去，此時將經驗到暫時失去視覺，而後逐漸又能看清周遭環境，此現象謂之暗適應（Dark Adaptation）。正常的眼睛通常需歷經35～45分鐘以達到充分的暗適應，其過程包括生理性的適應（瞳孔擴張允許較多光線的入射），以及化學物質的再生，兩者可使眼睛的敏銳度增強十萬倍。

如前述，桿細胞中含有視紫紅質，當處於亮光的環境，這些物質即分解殆盡，亦即被光線所「漂白」，故初入黑暗區域，短期間內無法發揮桿細胞的暗視力功能。但經過約三十分鐘後，已分解的視紫紅質將再生，遂能在暗處視物。由此可知，視紫紅質的含量決定暗適應的快慢，如果能設法減少白晝強光的刺激，貯存足量的視紫紅質，則將增加暗適應的速度，這點對夜間執行空勤任務的飛行員極其重要。由於桿細胞對波長大於 $640\text{ mn}$ 的光線較不敏感，故配戴紅色鏡片的護目鏡，於暗適應訓練室或夜間飛行待命室內僅以紅光照明，皆可避免意外暴露於強光致喪失視紫蛋白的困擾，亦能在幾分鐘內迅速獲得暗視覺能力。飛機座艙內的儀表板以紅光照明，除了有上述優點外，更可避免在空域中被敵機覺察的可能。此外，夜晚利用周邊視力（Off-center vision）搜索目標，儘量使影像投落在桿細胞上，亦可增進暗視覺的效能。

### 四、強光效應，弱光下物體之呈色，及視錯覺：

在暗處所獲得的暗適應，祇需五秒鐘的重見亮光，即告消失殆盡，因此無論是閃光（Flash）或強光（Glare）皆會損害此種適應力。

紅色和藍綠色物體或被紅、藍綠光照射的物體，在照明度減弱時，並不能維持相等的可見度，其中以波長較短的藍、綠光呈現的輪廓較清晰（此指物體的形象而非指顏色），蓋因錐細胞的感光波長範圍為 $440\text{ m}\mu\sim 700\text{ m}\mu$ （涵蓋紅光），而桿細胞的範圍則在 $390$

$m\mu \sim 650 m\mu$  (不涵蓋紅光)，所以，夜間以周邊視力視物，藍綠色的物體較紅色的物體易被發現。

在黑暗中若凝視一靜止光源過久，則這光源看起來似乎正在移動，此現象謂之為光源自行移動 (Visual Autokinesis)。夜航的飛行員若凝注前方長機的尾燈，此時亦會遭遇這種錯覺，很可能使他向前加速，甚至會造成兩機相撞。

## 五、影響暗適應之因素：

暗視覺的適應端視眼睛的生理功能是否正常，飛行中所遭遇到的生理壓力、人為自加壓力、以及身體的狀況等，皆會影響暗適應的能力，茲分述如下：

1. 缺氧——視網膜是人體最需要氧氣器官，亦即對缺氧的耐受性最低。當暴露於高空環境，暗適應所需的時間隨缺氧的程度而延長，例如在 12,000 feet，暗視力僅為海平面之二分之一，因此，夜航時若高度超過 5,000 feet，必須使用 100% 的純氧。

2. 重力加速度——視網膜動脈的血壓必須高於正常眼內壓 (21 mm Hg)，纔能供應充足的血流量，而此壓力為全身血壓和心腦間靜水壓的差。由於 +Gz 增加了靜水壓，使得灌注網膜血管所需之淨壓力減少，致有血流量不足不虞，因此氧氣和營養物質的攜運量發生問題，不僅降低了暗視覺的適應力，甚至會導致灰視 (3~4 + Gz) 和黑視 (> 4.5 + Gz)。

3. 一氧化碳——由於一氧化碳與血紅素的結合力為氧氣的 250 倍，對耐高力和暗視覺的影響將顯而易見，例如吸三根香煙的人，體內血紅素之 CO 飽和度達到 4%，生理高度相當於 8,000 feet。

4. 維生素 A——富含維生素 A 的食物，例如蛋類、牛油、乾酪、杏、桃、胡蘿蔔、南瓜、菠菜、豌豆、魚肝油、動物的肝臟等 (後二者含量最多)，是夜視力所必需的視紫紅質之主要來源，若缺乏這種維生素將會導致夜盲症或暗適應困難。

## 六、夜視力訓練與有關裝備：

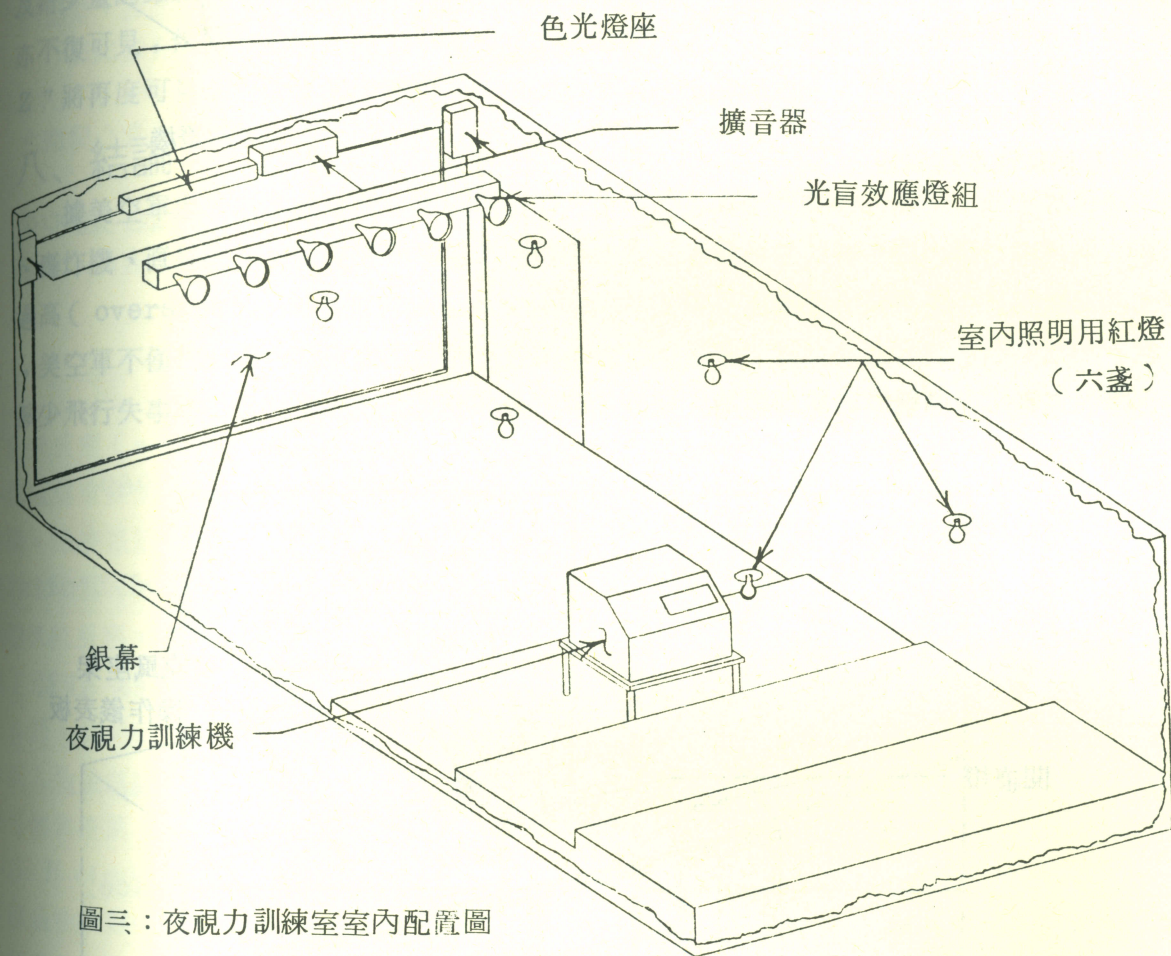
由於全天候戰鬥機的發展，夜視力訓練逐漸被世界各航空先進國家所重視。夜視力訓練機 (Night vision trainer) 除了使受訓人員認識有關夜視力的問題，同時亦教導他們如何善用自己的感官，有效地目視，以克服生理上的限制。由於這種訓練裝備造價不高，設施之場地面積有限，我國空軍可考慮其效益，添購是項裝備，以加強飛行員的航空生理訓練，茲將其物理環境、結構、性能、及訓練方法說明如後：

1. 物理環境——夜視力訓練室為長方形，其面積並無明確的規定，惟其內壁應具有寬裕的空間，以設置 15 feet (4.57 m) 寬 × 9 feet (2.74 m) 高的銀幕。為避免過分擁擠，最大容量以不超過 25 人為限，橫列型坐位以階梯式排列成數級，避免妨碍受訓人員的視線，夜視力訓練機則置於最低階 (如圖 3)，其與銀幕間相距約 5 m。四周的牆壁及天花板均勻塗以黑漆，地板鋪上黑色地毯，使室內不具有任何光的反射面，此外為確保光線的嚴密不透，得於入口處裝設雙重門戶，或以暗黑色物料堵塞門框的隙縫。

2. 室內的燈光設備——除一般白熾燈的照明設備外，另裝設六盞紅燈，其亮度可藉由調光器予以調節控制，這組燈光備於暗適應期間不時之需。

3. 夜視力訓練機的機體——如圖 4、5，機體的主件包括兩檯幻燈片投影機、錄放影機

、飛行物旋轉盤 ( Aircraft Turntable ) 地面物旋轉盤 ( Ground Vehicle Turntable )、微電腦、麥克風、儀表板、地面靜止物體影像 ( Static Ground Images )、霧燈 ( Fog Light )、雲效應系統 ( Cloud Effect System )。兩部幻燈片投影機可經微電腦的操縱，並配合錄音帶的發聲，同時放映多重影像，連續呈現及消失的幻燈片，畫面上的文字因著以紅色，故不影響暗視力的發展，且於暗適應期間完成教學任務。當飛行物或地面物旋轉盤轉動之際，銀幕上所投影的飛機或人物將顯現動感，得以讓受訓者藉眼力捕捉其軌跡。地面靜止物的影像包括房舍、樹木、河川，暗適應中的人員可隨時間的推移，逐漸辨認出其形貌和位置。霧燈和雲效應系統則用於變化背景。

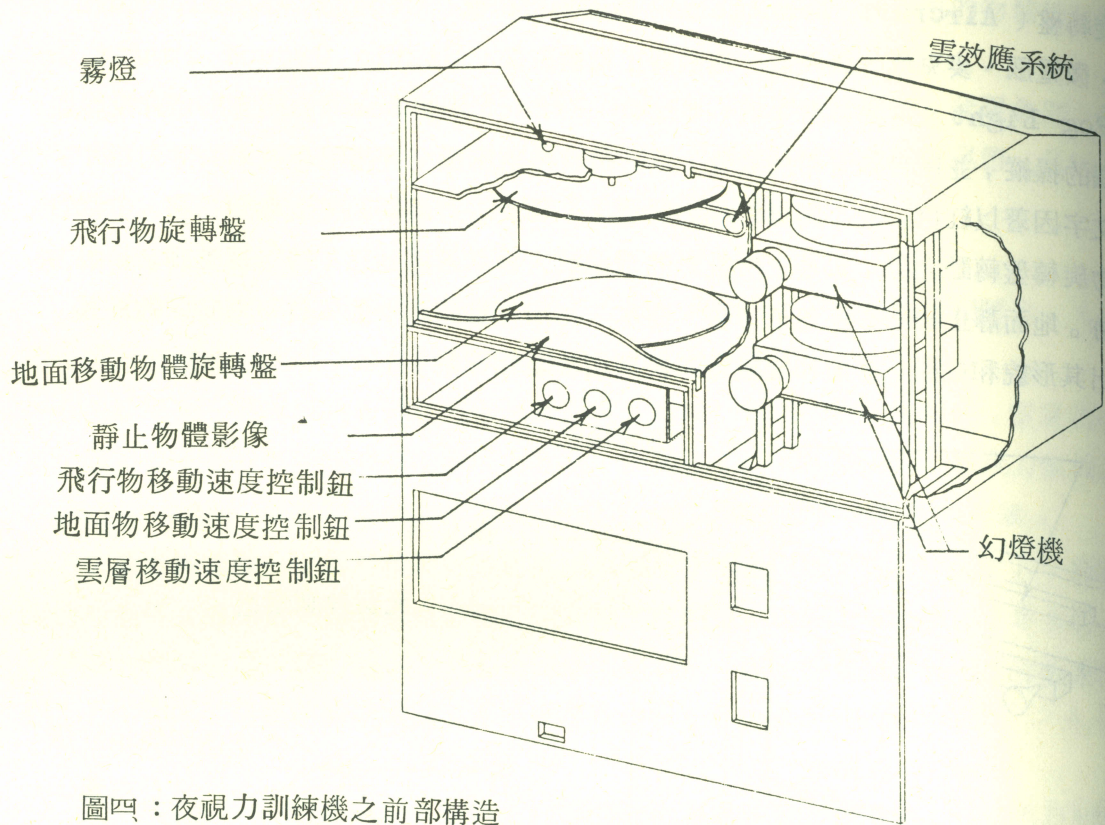


圖三：夜視力訓練室室內配置圖

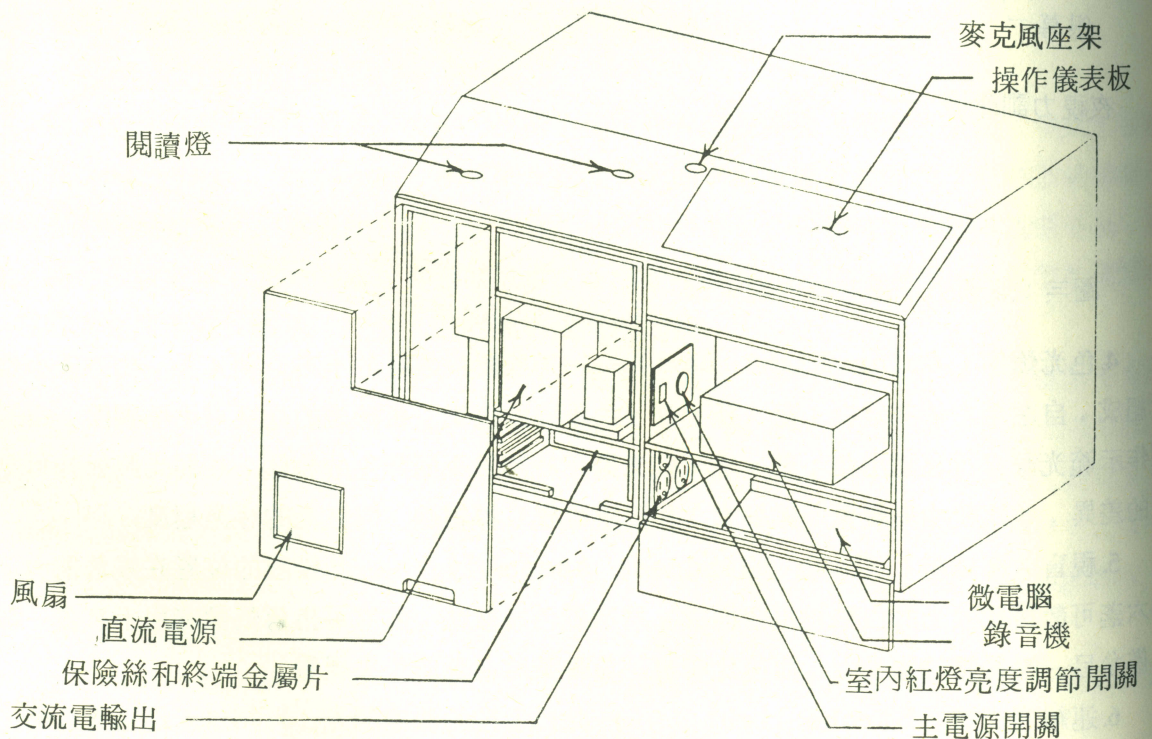
4. 色光燈座 ( Color Light Bar ) —— 乃安置於銀幕的上方 ( 圖 4 )，由五盞小燈所組成，自左至右依次為白、藍、綠、紅、白不同的色光，每盞燈的亮度可手控調節。白光用作示範光源自行移動現象；藍、綠、紅光則用於體驗不同顏色的物體，在弱光照射時可見度的差異，並比較中央視覺 ( 錐細胞 ) 和周邊視覺 ( 桿細胞 ) 對紅光的感應程度。

5. 視盲效應燈組 ( Flash Blindness Assembly ) —— 此燈組的位置在銀幕前方，由六盞可散發出強光的白熾燈組合而成。為示範色盲效應，教官可指導受訓者用手遮蓋一眼，僅允另一眼暴露於強光中，而後比較那一隻眼睛將會暫時失去視覺。

6. 連續閃光燈 ( Strobe light ) —— 此為手控的快速閃光，可用以示範短暫的曝光，對暗適應產生何種影響。



圖四：夜視力訓練機之前部構造



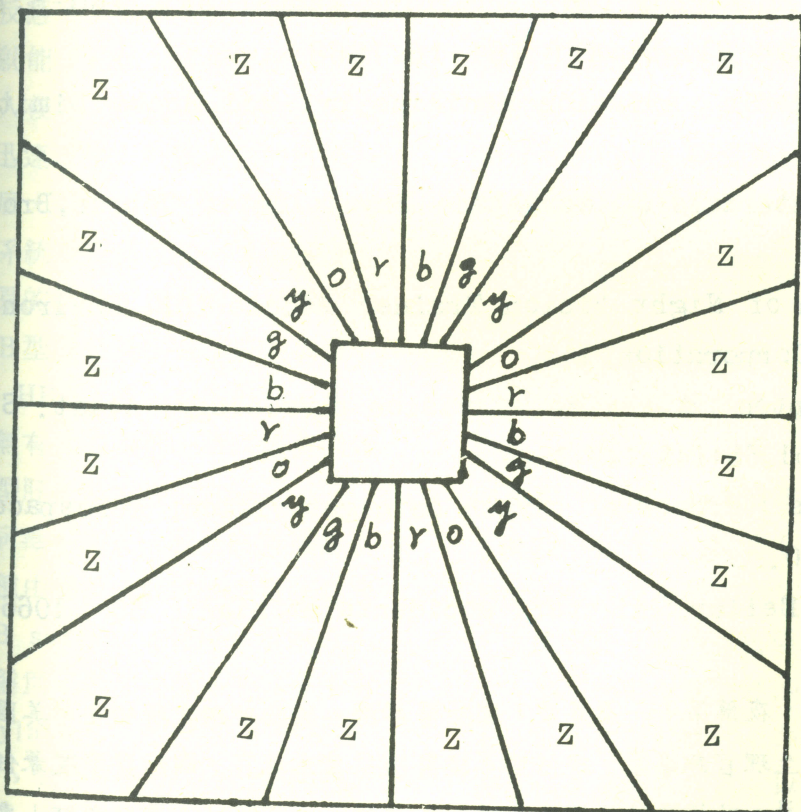
圖五：夜視力訓練機之後部構造

## 七、低壓艙航的暗視力訓練：

因為缺氧能降低錐細胞及桿細胞對光線的敏感度，低壓艙航訓練過程，於 18,000 feet 的高度停航，此時受訓人員卸除氧氣面罩集體實施慢性缺氧示範，從中可體會出缺氧對辨認物體的位置與色彩的困難，進行是項訓練時，先將艙內的燈光調暗，然後令受訓者的目光凝注於彩色視力卡片（圖 6）的中央（白色方格），該卡片為正方形，共分割成四個象限，每一象限再分割成五個區域，分別著以紅、橙黃、綠、藍五色，每一色帶之外緣皆標幟“Z”的記號。由於目光凝視中心點，僅能利用負責周邊視力的桿細胞瞥見外緣的“Z”，及藉少量的錐細胞感覺出色帶，惟隨缺氧程度的增加，原先可見的“Z”將逐漸消失，顏色亦不復可見，俟 12 分鐘後，戴上氧氣面罩，呼吸純氧後，此桿細胞和錐細胞將恢復功能，“Z”將再度可見，色帶亦逐漸浮現。這項訓練不須暗房即可為之，在艙航訓練過程深具意義。

## 八、結論：

據美空軍過去的調查統計，夜間飛行的失事率高於晝間飛行的失事率，其中包括戰鬥機、轟炸機、直昇機、訓練機等機種，其意外事件常見者為與地面物或空中飛行物相撞、落地過高（overshoot）、落地過低（undershoot）等，有鑑於夜間視力不良對飛安的危害，美空軍不僅加強飛行員夜視力訓練，甚至亦對航空醫官、航空生理官實施該項訓練。為了減少飛行失事率，及加強夜間空勤任務的效率，夜視力訓練的加強，將是刻不容緩的急務。



圖六：彩色暗視力測驗卡

r : red, o : orange, g : green  
y : yellow, b : blue

專門名辭註釋：

1. +Gz：為垂直方向自腳至頭的加速度（z軸），其慣性力作用於人體的方向則為自頭至腳，此種力在飛機加速爬昇時常遭遇到，當作用於心臟血管系統，將造成血液積聚在身體下肢，頭部血流供應不足。（G = 直綫加速度 / 重力加速度，即一個G相當於產生  $9.8 \text{ m} / \text{sec}^2$  之力）
2. 灰視（Gayout）：眼睛血流量不足時，周邊視覺喪失，僅模糊看見正前方之物體，謂之。
3. 黑視（Blackout）：眼睛血流量嚴重缺乏時，失去所有視覺，謂之。
4. 低壓艙（Hypobaric chamber）：為密封的金屬艙室，利用真空泵浦之抽氣，使艙內空氣逐漸稀薄，可達任何高度的大氣壓力，世界各國空軍皆用以對飛行員作缺氧訓練（hypoxia）。此項訓練裝備曾出現於軍官與紳士（officer and gentleman）一片。
5. 航空醫官（Flight surgeon）：世界各國空軍飛行部隊中專門照顧飛行員身心健康之專業醫官，此類人員除了正規醫學院畢業，尚須具備航空醫學專門訓練。
6. 航空生理官（Aerospace physiologist）：負責對飛行員及航空醫官實施各項航空生理藥學訓練的專業軍官員，除了具備一般生理學知識、基礎，尚需對航空醫學有深入之瞭解。

#### REFERENCES:

1. Physiological Training AFP-160 1976.
2. Physiological Technician's Training Manual AFM 160-5, 1969.
3. Physiology Of Flight AFP 161-16, 1968.
4. Geoffrey Dhenin: Aviation Medicine. Tri-Med Books Limited, London 1978.
5. Teaching materials of Aerospace Physiologist Course, Brooks AFB, TX. 1984.
6. Description of Night Vision Trainer Modole-101, Environmental Tectonics Corporation.
7. David A. Tipton: A review of vision physiology. Aviat. Space. Environ. Med. 55:145-149, 1984.
8. H.A. Pretorius: Effect of oxygen on night vision. Aerospace Med. 41: 560-562, 1970.
9. Anchar F. Eeller: Aircraft accidents at night. 55: 1066-1069, 1970.

林野：本名溫德生，夜藥第十一屆畢業，國防醫學院生物物理研究所碩士，美國空軍航空醫學校航空生理官班畢業，現任空軍總醫院航空生理官，國防醫學院兼任講師，國軍散文隊隊員，北極星詩社指導老師，自立晚報生活版「大眾的藥師」專欄執筆人。曾獲七十二年時報文學獎甄選散文首獎、七十二年及七十三年空軍文藝競賽散文類銀鷹獎及金鷹獎，著有「傳說」、「西河流域」等四種。