

有氧運動和無氧運動習慣 對飛行員 G 耐力影響之探討 A Preliminary Model of Predicting Orthostatic Tolerance For Pilots

邱仕友/國防大學體育室¹

Shih-Yu Chiu¹

Fu-Shin, Kan, College, Dept. of Physical Education¹

周智泰/國防大學體育室²

Chi-Tai Chou²

Office of Physical Education, National Defense University²

溫德生/前空軍飛行生理實驗中心主任³

Der-Sheng Wu³

(本摘要已發表於第 45 屆國際航太醫學年會·挪威·奧斯陸·1998 年 8 月)

摘 要

體能適能可預期改變心臟血管的功能，間接地影響飛行員的 G 耐力，本研究為設計一種改進的體能傾斜測驗方法，用於計量直立性耐力。

43 位健康的男性參與此項實驗，他們被指導踩動腳踏車式測功計，其功率為每分鐘增加 45 瓦特，直到達到個人的最大運動心跳率 70-85%。在運動終末，他們被要求後仰 30 度，下肢懸空，之後 10 分鐘內，眼睛恒注視前方弧狀燈桿的中央，並隨時報告視覺模糊或頭昏的症狀，其間，相關的心臟血管參數為每隔 1 分鐘測量一次。

實驗結果顯示在傾斜測驗的過程，發生頭暈或視覺模糊的受測者各有 10 和 11 人，變異項分析顯示在停止運動的初期，重力作用對心跳率的影響，於反應者和無反應者之間，呈顯著的差異。此外，無反應者的脈搏壓較反應者為高。當比較受測者的運動習慣，發現反應者多為缺少運動或無氧運動較少者。

本研究的初步結果顯示正確的平衡性體能訓練(有氧和無氧均衡的運動)有利於改善直立性耐力或 G 耐力，但有待以人能離心機作更進一步的檢測。

關鍵詞：直立性耐力、G 耐力、體適能

Abstract

It was anticipated that physical fitness causes changes in cardiovascular function which directly affect G tolerance of pilots. The present study deals with a procedure designed to improve the tilting test for use in determining orthostatic tolerance.

Forty-three healthy men participated in the experiment. They were instructed to ride a bicycle ergometer whose work load was increased stepwise at 45 Watts per minute until their target heart rates had reached 70-85% of maximum exercise heart rate individually. At the end of exercise, they were asked to tilt 30° head-up with both legs suspended to determine their orthostatic tolerances. In a 10 minute post-exercise period, they were instructed to fix their gaze at the center of an arcshaped light bar directly in front of them and to report any blurring of peripheral vision or faint.

Meanwhile, related cardiovascular parameters were recorded at 1 minute interval. Throughout being challenged of head-up tilt, 10 and 11 subjects complained of faint and dimming vision respectively. Analysis of variance revealed that the gravitation effect was significant for heart rates of reactor¹ and non-reactor² during the first phase of orthostasis. Besides, the higher pulse pressures were almost associated with non-reactors rather than reactors. In comparison of habitual activities, the reactors are found to be sedentary or less anaerobic conditioned subjects, whereas the no-reactors are more anaerobic conditioned subjects. These preliminary data suggest a properly balanced physical conditioning program might be beneficial to orthostatic or G tolerance. More research remains to be performed on human centrifuge.

Keywords : orthostatic tolerance, G tolerance, physical fitness

¹ Lee, T. H. and Lee, R. T. Cardiology: Problems in primary care. Medical Economics Book, Oradell, N. J, 1989.

² Luding, D.A and Convertino, V.A. Predicting orthostatic intolerance: physics or physiology. Aviat Space Environ Med. 65(6): 404-11, 1994.

壹、前言

在重力作用之下，血液容積突然轉移至下肢的容積性血管（capacitance vessels），繼而刺激循環系統的感覺接受器（baroreceptors），藉交感神經的亢奮來增加血壓和驅動血流。縱然如此，正常的靜脈回流和心搏僅能給予部分的代償，一旦腦部血流量呈現不足，將會發生腦性昏厥（cerebral syncope），此生理現象早於十九世紀末期為法國醫師 Piorry 所見³。人體的自主神經系統，除了在激烈運動的情形，交感神經的活性平常為迷走神經活性所凌駕，因此，當戰鬥機升空後，飛行員都會拉 3-5G 的 G 警醒機動（G-awareness maneuver），來促進心臟血管反應的熱身⁴。

高性能戰鬥機的服役經驗，顯示 9 G 的重力負荷，構成飛行員的生理極限挑戰。1984 年，美國戰術空軍司令部(TAC)有鑑於大 G 昏迷（G-induced loss of consciousness）為 F-16 服役初期 A 級重大失事之主因，開始要求飛行員接受人體離心機訓練，因而發現到鬆弛性 G 耐力（relaxed G tolerance）偏低的案例⁵。此種不依賴抗 G 衣和抗 G 動作的 G 力暴露流程，是可作為心臟血管反應的評估指標，若個人的基礎 G 耐力（basic G tolerance）太低，即顯示交感神經控制之感覺反射（baroreceptor reflex）不佳，按這種生理反射約可增加 1 G 的耐力。Whinnery 亦觀察到許多飛行生在雙座飛行訓練中，竟然在 3.1-4.0G 發生低 G 昏迷，由此可見，先天性的心臟血管系統缺陷是可能導致飛安的事故。

早在二次大戰期間，德國著名的航空醫學家 Von Diringshoffen⁶ 曾經報告：凡有昏厥傾向的個體，不適於擔任俯衝炸射的戰鬥任務。近年美、加等國空軍^{7,8,9}所矚目的推拉效應（push-pull effect），即已闡述俯衝後急遽拉升的飛行動作，往往因先前的負 G 暴露降低後續的 G 耐力，其機轉為負 G 刺激迷走神經的活性，遂導致心跳減慢，故易於在低 G 狀態發生意識喪失的危險。根據醫學文獻所載，估計有 25-30% 年輕，健康的男性，可能發生各種原因的昏厥，其中以血管迷走神經性昏厥（vasovagal syncope）為最常見¹⁰。這種由迷走神經主導的循環衰竭現象，患者對血管擴張（例如 G 力誘導的血液貯積於下肢），無法立刻藉心跳率或心輸出量的增加，予以有效地代償血壓的降低，在早期的人體離心機實驗，即發現到此種可能與直立性耐力（orthostatic tolerance）有關的生理問題¹¹。

最近十餘年來，從換裝 F-16，F-18，Mirage 2000 等高性能戰鬥機的累積經

³ Howard, P. the physiology of positive acceleration, In: A textbook of Aviation Physiology, J. A. Gilles (Ed.) 551-687, Pergamon Press N, Y, 1965.

⁴ AFP 11-404 G-awareness for aircrew, The Department of The Air Force, 1994.

⁵ AFI 11S4 Centrifuge training for high-G aircrew, The secretary of The Air Force, 1994.

⁶ AGARD-AG-322 High G physiological protector training, NATO, 1990.

⁷ AGARD-CD-396 Medical selection and physiological training of future fighter aircrew, NATO 1985.

⁸ Baldes, E. J. and Porter AM. Human centrifuge for use in studies of man's reaction to acceleration. Fed. Proc. 4:4, 1945.

⁹ Banks, R. D. Grissett, J. D., Saunders, P. L., and Matecum, A. J. The effects of varying time at -Gz on subsequent +Gz physiological tolerance (push-pull effect). Aviat. Space Environ. Med. 68(8):723-727, 1995.

¹⁰ Banks R. D. and Grissett, J. D. Relationship of cardiopulmonary fitness to flight performance in tactical aviation, In: Medical selection and physiological training for future fighter aircrew (NATO), 44-1-44-4, 1985.

¹¹ Bason, R. Some dangerous shades of gray. Approach (November) 5-9, 1982; Brogdon, E. and Hellebrandt, F. A. Post-exercise orthostatic collapse. Am. J. Physiol. 129:318-323, 1940.

驗，國外的航空醫學家們¹²認為減少人為因素所致的飛安事故，必須從飛行生的航醫篩選(medical selection)和飛行員的體能訓練(Physical training)來著手，這些工作的重點乃針對心臟血管和肌肉骨骼系統的健適性(fitness)。1982 年，美空軍調查多起大 G 昏迷的重大失事（包括 F-16），始注意到殉職飛行員之安靜心跳率太低（<50 次/分鐘），旋研擬出一套改進的體能訓練方案，包括軀幹和四肢的重量訓練和適度的有氧運動（aerobic exercisc），次年，令頒各戰鬥機飛行部隊遵照實施¹³。這是美空軍首次特別強調無氧運動（anaerobic exercise）的重要性，蓋因舉重除可增進肌肉骨骼系統的強健，更能維持交感神經的應激性，這些生理效益俱為提昇飛行員 G 耐力的要素。

人體離心機乘載和下肢負壓（lower body negative pressure）的實驗曾經顯示有氧能力良好的受測者（如耐力性運動員）之 G 耐力或直立性耐力反而不佳(12,13)80 年代，美海軍航太醫學實驗室的一項受測人數百的研究¹⁴，亦意外地發現心肺功能與 G 力作用的心跳反應呈負相關。因為高性能戰鬥機的增 G 率（G-onset rate）相當急驟，欲維持飛行員腦部的血液量，非得依賴交感神經被迅速激活，藉以增加血流的動力¹⁵。茲今，有些北大西洋公約國（如比利時和華沙公約國（如波蘭）的空軍，在飛行生體檢時即一併測驗個人的一般性有氧能力，並無關乎直立性耐力或心臟血管的反應¹⁶¹⁷。為了篩選出體能合適的戰鬥機飛行員，毋徒然耗費訓練的成本，必須要有特殊的測驗方法。以往傾斜臺測驗（tilt tab test）和站立測驗（standing test）嘗用於此一目的，惟重力作用（1G）時間緩慢，為固有之缺點¹⁸¹⁹。本研究之目的，為設計一種改良式的直立性耐力測驗模式期能以簡單的器材和較激烈的方式，探討應用於飛行生或飛行員體能評估的可行性。

貳、材料與方法

一、受測者的來源

本研究乃以人體為實驗的對象，43 名男性受測者來自 807 總醫院的官、士、兵，空軍飛行員或飛行生，政戰學校體育系學生，及中華健行登山協會之理母峰遠征隊員，經篩選確認無心臟血管系統疾病，並徵得同意簽署志願書，參與此項研究計劃。他們的平均年齡為 28.7 歲（21~49 歲），體能活動習慣亦事先予以調查，包括有氧和無氧運動之多寡。

二、實驗環境與測計儀器

¹² Burton, R. r. and Whinnery, J. E. Biodynamics:Sustained acceleration, In: Fundamentals of aerospace medicine, R. L. Dehart (Ed.), 2nd edition, 201-260, Williams & Wilkins, Baltimore,1996.

¹³ Convertino, V..4. and Eritsch, J. M. Attenuation of human carotid cardiac vagal baroreflex responses after physical detraining. Aviat. Space Environ. Med. 63(9): 785-788, 1992.

¹⁴ German Aviation Medicine World War n, Vol.1, Department of The Air Force, 1950.

¹⁵ Gillingham, K. K and Krutt, R. W., Jr. Effects of the abnormal acceleratory environment of flight.USAF School of Aerospace Medicine, 1994.

¹⁶ Gillinham, K. K. G-tolerance standards for aircrew training and selection. Aviat. Space Environ. Med.58(10): 1024-1026, 1987.

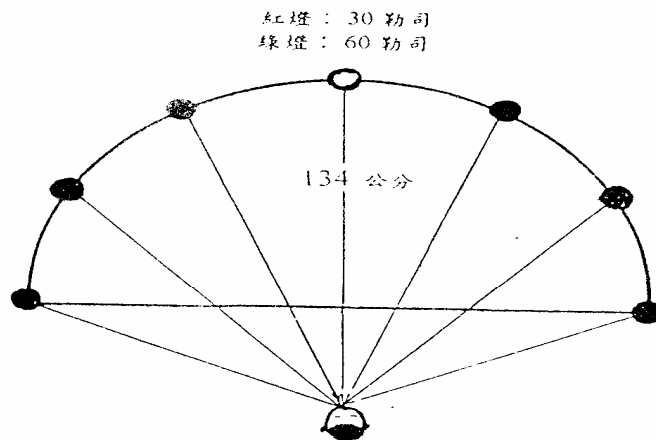
¹⁷ Graham, J. G., Harrah, J. F, and Bernauer, E. M.The cardiovascular response to orthostasis in man:variations in orthostatic-tolerance. AsMA Preprints of Scientific Program, 120-124, 1982.

¹⁸ Kenney, W. L. and Armsrong C. G. The effect of aerobic conditioning on venous pooling in the foot. Med Sci;Sports Exerc. 19(5): 474-479, 1987.

¹⁹ Hill, L. The influence of the force of gravity on the circulation of the blood. J Physiol. 18:15-53,1895.

本實驗於白晝時間進行（上午 9:00~下午 4:00），實驗場所為一空調良好的密閉房間，四周牆壁皆遮蔽以灰色的紙張。受測者的運動器材為 JPC-500 腳踏車式測功計（Johnson），其功率為可調變，亦即預設運動參數，使之每分鐘增加 45 瓦特（watt），其線性關係良好。

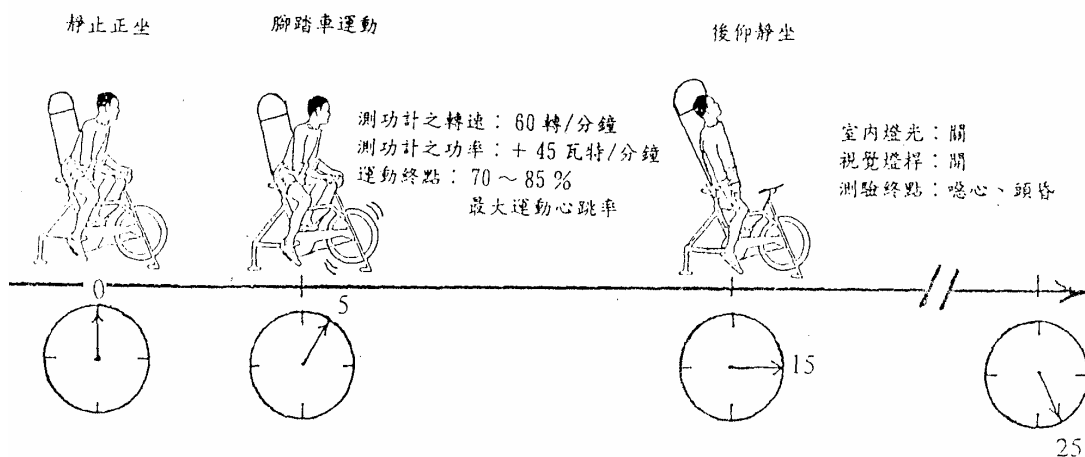
在實驗過程中，受測者之心跳率和動脈血壓（包括舒張壓、收縮壓、平均血壓），分別以 BCI 氧脈計和 U-vision 101 血壓計監測之。周邊視力(peripheral vision)的變化，乃利用自行設計的弧型燈桿（arc-shaped light bar）來評估，其規格為參考北大西洋公約國的標準（NATO stanag 3827），由 1 盞中央紅燈和 6 盞周邊綠燈（左右各有 3 組）所組成，另以調光器設定紅燈之亮度為 30 勒司（lux），綠燈為 60 勒司，與人體離心機吊艙內的水平燈桿相仿，如圖一。使用前，先令受測者倚仰 30 度於測功計的座墊上，然後調整燈桿之高度，使燈桿與雙眼位於同一水平面上，中央燈桿與受測者鼻尖之距離約為 134 公分。



圖一 周邊視覺燈桿之構形：由 3 組周邊綠燈（左右各一盞）和一盞中央紅燈所組成，綠燈的亮度為紅燈的 2 倍。

三、實驗程序

先按照受測者的年齡，決定其最高運動心跳率（maximum exercise heart rate） $=220 - \text{年齡}$ ，據此計算其目標心跳率（target heart rate），亦即最高運動心跳率之 70~85%。



圖二 直立性耐力測驗的過程：靜坐5分鐘，踩腳踏車式測功計10分鐘，30°後仰10分鐘，受測者之心跳率和動脈血壓為每隔1分鐘測量一次。

圖二為直立性耐力測試的程序，開始時，先令受測者以正直姿勢靜坐在測功計上，雙手扶在把手，兩腳置於踏板，氧脈計和血壓計之指夾或指套式偵測器固著於左、右手之中指，血壓計之參考水準轉換器（reference level transducer）置於胸鎖骨的位置，使血壓之測量值不受體姿改變的影響。

在靜止的 5 分鐘終末，量取受測者之心跳率和動脈血壓（對照值），並據此計算脈搏壓（pulse pressure），然後令受測者作踩腳踏車之運動，轉速恒維持在 60 RPM 左右，踏板之阻力於每分鐘的開始調增 45 瓦特。如此持續次最大負荷運動，以迄運動心跳率及於目標心跳率之範圍；若未及之，則繼續運動以迄 10 分鐘結束。

在運動終末，完成上述生理參數之記錄，然後關掉室內的燈光，但打開燈桿的電源（先亮中央紅燈，和最外側的一組綠燈）。同時，令受測者倚仰於 30 度的椅背，雙手自然下垂，雙腳離開踏板且懸空，全身肌肉保持鬆弛狀態，目光凝注中央紅燈，並隨時報告周邊視力之變化（例如綠燈變暗，視野窄縮等），當第一組綠燈變得模糊不清，立即亮第二組綠燈，循序進行，其間，各種生理參數每分鐘記錄一次，以迄 10 分鐘的直立性耐力測驗結束。若受測者主訴有噁心、頭暈的症狀，則立即中止測試，使具體姿坐直，雙手、雙腳支持於把手和踏板，片刻後再仰臥休息，並作後續觀察。

四、資料統計分析

本研究採用單因子實驗設計，組間因子為症狀（生理反應）之有無。以 SPSS 電腦統計軟體先作單因子變異數分析（one-way ANOVA），若整體 F 考驗有顯著差異，則再以 Tukey test 作事後比較，顯著差異的水準定為 $p < 0.05$ ，各生理測量值皆以平均值±標準誤差（mean±S.E.）表示。

參、結果

一、直立性耐力測驗的生理反應

參與本研究的 43 名受測者之中，有 21 名於激烈運動停止後，接受直立性耐力測驗過程呈現生理反應，包括 11 人（A 組）主訴周邊視力喪失或模糊的症狀，他們第一次發生視覺症狀（第一組綠燈）的時間範圍為 38 秒～7 分 24 秒；第二次發生視覺症狀（第二組綠燈）的時間範圍為 1 分 12 秒～9 分 34 秒，第三次發生視覺症狀（第三組綠燈）的時間範圍為 3 分 51 秒～9 分 42 秒。

此外，10 人（B 組）主訴有噁心、頭暈、虛弱等症狀，其中大多數人亦有視覺的前兆，發生的時間範圍為 3 分 17 秒～9 分 52 秒，其餘 22 人（C 組）並未報告有任何不適的症狀，如表一。

表一 直立性耐力測驗反應者之症狀出現時間 (N=21)

受測者/症狀	第一組綠燈視覺模糊	第二組綠燈視覺模糊	第三組綠燈視覺模糊	噁心，頭暈
S1	4'12"	6'02"	9'42"	—
S2	2'41"	5'36"	—	9'31"
S3	2'25"	6'43"	9'05"	—
S4	3'54"	8'47"	—	9'52"
S5	1'23"	2'21"	6'50"	—
S6	40"	1'12"	—	4'43"
S7	42"	1'38"	3'51"	8'21"
S8	43"	—	—	3'17"
S9	1'09"	2'51"	4'03"	9'13"
S10	1'23"	2'50"	—	3'25"
S11	3'46"	9'32"	—	—
S12	3'43"	4'12"	—	4'16"
S13	38"	—	—	3'38"
S14	2'28"	—	—	7'40"
S15	1'34"	2'42"	8'45"	—
S16	3'16"	5'34"	—	—
S17	1'43"	5'10"	7'28"	—
S18	2'25"	3'25"	4'50"	—
S19	3'27"	9'34"	—	—
S20	7'24"	—	—	—
S21	6'33"	—	—	—

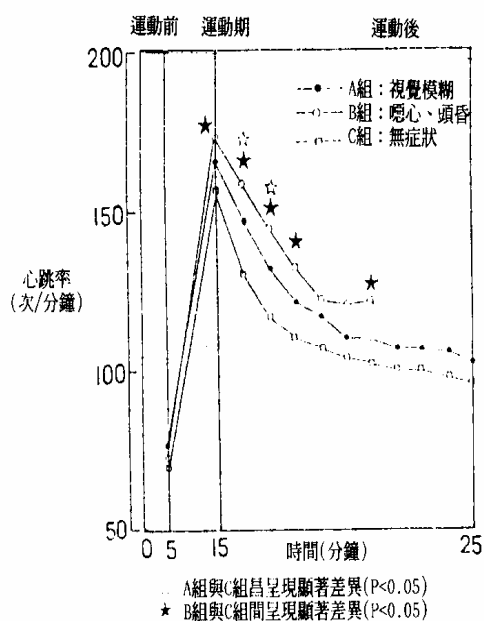
<註>分：，秒："

表二和圖三所示為測驗過程的心跳率變化，其中可觀察到 C 組的受測者在激烈運動停止時之心跳率較 A 組和 B 組 ($p < 0.05$) 的受測者為低；又心跳率的恢復在直立性耐力測試的初期（運動停止後 3 分鐘內）大多顯著地較 A 組和 B 組為快 ($P < 0.05$)，此種趨向一直維持到最後的 10 分鐘測驗過程結束。

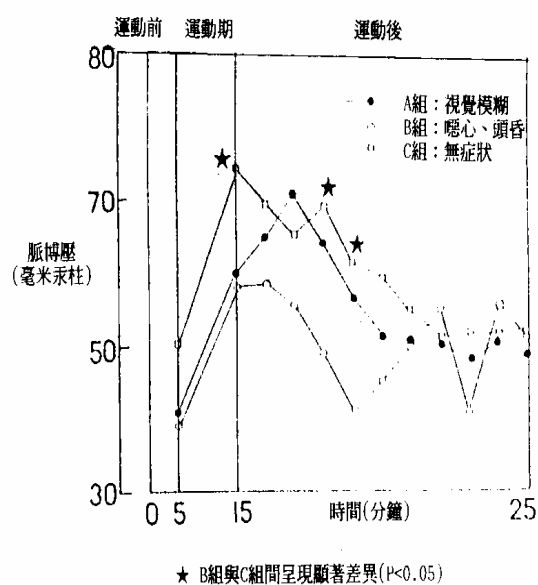
表二 直立性耐力受測者的心跳率變化 (次/分鐘)

組別	運動前	運動 10 分鐘終末	運動停止後 10 分鐘									
			1'	2'	3'	4'	5'	6'	7'	8'	9'	10'
A (N=11)	78.45 ± 3.66	166.91 ± 4.19	149.08 ± 3.86	132.36 ± 4.76	122.64 ± 4.79	117.18 ± 4.45	110.09 ± 4.97	110.36 ± 4.74	107.91 ± 4.40	107.64 ± 4.40	106.36 ± 4.28	104.42 ± 3.85
B (N=10)	75.50 ± 2.68	174.50 ± 4.94	159.10 ± 2.75	145.53 ± 3.17	133.40 ± 3.95	122.60 ± 5.44	121.57 ± 5.50	123.80 ± 4.76	115.20 ± 6.39	113.50 ± 6.92	118.06 ± 6.72	115.20 ± 5.85
C (N=22)	70.32 ± 2.34	157.50 ± 2.92	130.27 ± 3.91	116.27 ± 4.00	110.50 ± 3.67	107.86 ± 3.63	105.05 ± 3.64	102.18 ± 3.44	100.05 ± 3.23	100.18 ± 3.16	98.50 ± 2.95	96.73 ± 2.95

<註>測量值為平均值±標準誤差



圖三 43名受測者於直立性耐力測驗過程的心跳率變化



圖四 43名受測者於直立性耐力測驗過程的脈搏壓變化

三、動脈血壓的變化

表三和表四為測驗過程的動脈血壓和舒張壓變化，為了評估心肌收縮力或心搏量的大小，乃據此計算為脈搏壓，其變化趨向如表五和圖四，其中可觀察到C組的受測者在激烈運動停止時之脈搏壓較A組和B組的受測者為高 ($p<0.05$)：在直立性耐力測試過程的初期（運動停止後4分鐘內），B組之脈搏壓皆持續偏低，俟5分鐘後纔開始升高；然而，A組與C組之脈搏壓皆頗為接近，並無顯著的差異。

表三 直立性耐力受測者的動脈收縮壓變化（毫米汞柱）

組別	運動前	運動 10 分鐘終末	運動停止後 10 分鐘									
			1'	2'	3'	4'	5'	6'	7'	8'	9'	10'
A (N=11)	118.27 ± 4.38	161.45 ± 7.95	144.42 ± 6.88	142.67 ± 6.91	134.17 ± 8.70	126.25 ± 7.61	124.08 ± 8.05	122.50 ± 7.71	118.42 ± 8.17	113.58 ± 8.45	119.45 ± 7.19	118.55 ± 7.19
B (N=10)	119.40 ± 4.48	163.30 ± 7.26	141.78 ± 6.35	126.22 ± 9.84	122.00 ± 10.98	104.56 ± 9.88	111.50 ± 10.81	125.40 ± 11.23	122.20 ± 9.04	110.60 ± 10.01	118.40 ± 9.49	115.40 ± 8.18
C (N=22)	130.00 ± 3.97	179.95 ± 4.36	146.95 ± 4.44	137.67 ± 3.88	138.14 ± 4.25	130.43 ± 4.31	128.76 ± 4.23	123.86 ± 4.80	122.05 ± 4.42	122.71 ± 4.36	124.48 ± 3.91	123.00 ± 4.52

<註>測量值為平均值±標準誤差

表四 直立性耐力受測者的動脈舒張壓變化（毫米汞柱）

組別	運動前	運動 10 分鐘終末	運動停止後 10 分鐘									
			1'	2'	3'	4'	5'	6'	7'	8'	9'	10'
A (N=11)	76.18 ± 3.35	101.45 ± 7.20	82.36 ± 5.50	74.64 ± 6.09	71.64 ± 5.29	68.82 ± 4.61	74.45 ± 4.64	73.27 ± 4.41	72.45 ± 5.39	71.91 ± 4.82	67.27 ± 5.73	69.64 ± 5.43
B (N=10)	80.40 ± 4.16	106.30 ± 4.33	81.20 ± 4.58	68.70 ± 4.29	62.60 ± 5.41	58.70 ± 5.32	59.00 ± 7.99	64.83 ± 9.55	55.83 ± 8.62	59.60 ± 6.90	62.41 ± 8.04	64.82 ± 7.87
C (N=22)	79.77 ± 3.23	107.23 ± 3.93	79.86 ± 2.53	72.12 ± 2.96	68.57 ± 4.12	65.93 ± 2.50	68.67 ± 2.78	68.79 ± 2.73	69.29 ± 2.81	69.29 ± 2.81	70.57 ± 2.84	72.16 ± 2.80

〈註〉測量值為平均值±標準誤差

表五 直立性耐力受測者的脈搏壓變化（毫米汞柱）

組別	運動前	運動 10 分鐘終末	運動停止後 10 分鐘									
			1'	2'	3'	4'	5'	6'	7'	8'	9'	10'
A (N=11)	42.09 ± 4.21	60.05 ± 6.89	65.18 ± 5.66	70.64 ± 5.89	64.09 ± 5.84	57.09 ± 5.75	52.36 ± 6.51	51.91 ± 6.21	52.09 ± 6.07	47.06 ± 5.83	51.73 ± 4.94	48.55 ± 6.65
B (N=10)	39.06 ± 4.29	56.70 ± 8.14	57.40 ± 4.72	55.70 ± 6.86	47.60 ± 8.47	41.90 ± 6.26	45.86 ± 6.98	50.03 ± 5.92	55.83 ± 7.31	42.17 ± 7.56	56.40 ± 7.87	50.60 ± 3.66
C (N=22)	50.23 ± 3.70	74.05 ± 3.66	69.05 ± 4.13	65.52 ± 4.11	68.43 ± 4.12	62.81 ± 4.47	59.95 ± 4.42	55.33 ± 4.70	53.86 ± 4.58	54.52 ± 4.58	53.19 ± 3.87	50.52 ± 5.12

〈註〉測量值為平均值±標準誤差

四、運動習性的比較

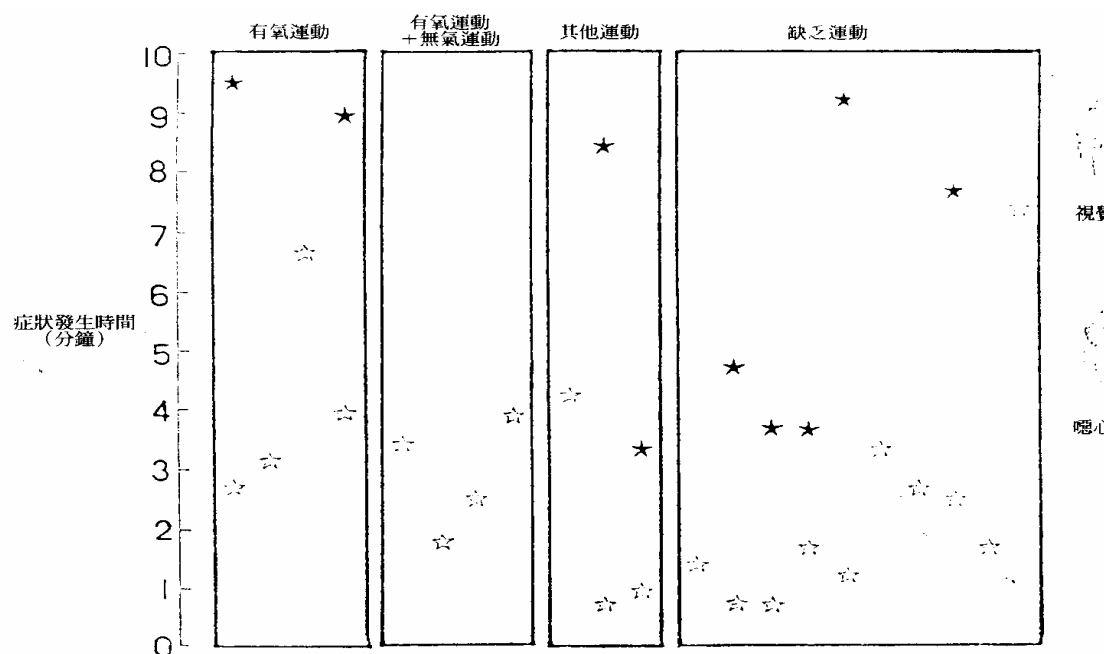
表六為比較受測者的運動習性，藉以探討對直立性耐力測驗結果可能產生的影響。資料顯示缺乏運動者之症狀發生頻數最高（10 人）；偏愛有氧運動或球類運動者之症狀發生頻數次之（7 人）；但平日若做均衡的有氧和無氧運動，則甚少發生症狀（13 人無症狀，僅 4 人有症狀）。

表六 症狀發生者和無症狀者的運動習性比較

運動型式	無反應者的人數	反應者的人數	評 註
有氧運動	7	4	慢跑，游泳
有氧運動 + 無氧運動	13	4	登山，慢跑，舉重
球類運動	1	3	籃球，網球，羽毛球
缺乏運動		10	運動時間 < 1 小時／週
總 計	22	21	

五、運動習性對症狀發生時間的影響

圖五為根據各人的運動習性，比較症狀的出現時間。結果顯示平日懶於運動者往往在直立性耐力測驗過程的早期，即發生視覺的症狀，有些個體在測試開始 3 分鐘後，即已感到噁心或頭暈。反之，兼做有氧和無氧運動者僅祇出現周邊視覺模糊的症狀；另偏向有氧運動者，縱使有噁心或頭暈的症狀，亦延遲至測試過程末期纔會發生。



圖五 21名受測者的運動習性和症狀發生時間之比較

肆、討論

本研究所設計的直立性耐力測驗之原理，乃基於下列熟悉之經驗；如果在激烈運動停止後，站立片刻；常會有頭昏眼花的不適感覺，蓋因鬆弛的肌肉忽然失卻唧筒功能（pumping effect），彼時，重力的淨水壓作用將使血液容積聚積下肢，以致影響正常的靜脈回流²⁰。吾們以逐次增加腳踏車的阻力，使受測者的心跳率增至次最大運動（submaximal exercise）的心跳率範圍，目的為以心跳率為指標，刺激交感神經活性至相當程度，使阻力性血管（resistance vessels）仍維持其緊張性。最近，David 等人²¹的研究指出直立性壓力（orthostatic stress）和急速增 G 的加速度（rapid onset acceleration）所誘導的昏厥或 G 力昏迷，有本質上的差異。在發生昏厥之頃，前者之動脈血管會呈現舒張狀態，反之後者之動脈血管仍呈收縮狀態。

於實驗過程中，俟 10 分鐘的腳踏車運動停止時，吾們立刻指導受測者倚仰 30 度，兩腳懸空，目的為減少軀體之移動，促使肌肉張力的鬆弛和迅速誘導血液容積的聚積下肢。以往許多直立性耐力測驗，受測者口述的主觀症狀未必確

²⁰ Mayerson, H.S. A cardiovascular "blackout" test. J. Aviation Med. 15: 304-315, 1944。

²¹ McCarthy, G. W. Negative to positive G: The push-pull effect. Flying Safety (September) 5-6, 1996。

切，故吾們以周邊視覺燈桿來作定性和定量的描述，此一方法已普遍應用在人體離心機吊艙內的配備²²。本研究結果顯示受測者發生視覺模糊的症狀，未必是對稱性 (asymnetric)，亦即可能對一組綠燈的某一側燈泡較先發生視覺干擾，此一現象亦於近年在人體離心機實驗中被觀察到，惟迄今有關機轉尚未完全瞭解^{23,24}。

根據測驗的結果，最早發生視覺症狀或頭昏的時間為 38 秒和 3 分 17 秒，故此一直立性耐力的測驗模式應為一頗敏感的生理考驗。按若以傾斜檯或站立姿勢測驗，一般需歷經 15-20 分鐘，纔有明顯的反應。然而，常用的正向傾斜 (head-up tilt) 之角度多介於 70 度~90 度之間，除非有穩固的束縛系統，否則受測者會有焦慮的情緒反應，以致影響實驗的結果²⁵。

從觀察 43 名受測者於直立性耐力測驗過程之心跳率變化趨向，顯示激烈運動後體能狀況良好者（無任何症狀）的心跳率恢復最快，體能狀況愈差者（視覺、神經症狀）的心跳率恢復愈慢，此種反應程度的差異早在 40 年代以前，即為體育學家所闡述²⁶。在另一方面，若對照脈搏壓的變化趨向，亦見體能狀況良好者的脈搏壓大多較高，且這些心跳率和脈搏壓的差異，在 5 分鐘靜止正坐（對照值）的期間即已出現。綜此說明了一件事實：在最後 10 分鐘的直立性耐力考驗，體適能狀況優異者的感壓反射，主要是強化心肌的收縮力，心跳率的增加反而較少，但仍然可維持適中的心輸出量，不至於顯著地影響到頭、眼部的血流量。

本研究亦發現有頭暈傾向者的脈搏壓，於症狀出現前呈現最低值，如圖四。若將表一的症狀出現時間與圖四的脈搏壓變化互相對照，可見測驗時間的終點多分佈在第一低壓點（4 分鐘）和第二低壓點（8 分鐘）的附近。過去，不同方法所做的直立性耐力測驗多指出脈搏壓的下降經常為頭暈症狀的生理性徵兆，包括 Mayerson²⁷的腳踏車測功計實驗，Shvartz²⁸的靜止站立實驗，和 Graham²⁹的傾斜檯實驗。若進一步分析直立性耐力測驗過程的兩個脈搏壓最低點，即悉收縮壓的降低量均大於舒張壓的降低量，故脈搏壓呈現最低值。

運動訓練後之能夠改變，心跳反應，乃為不爭的事實，一般而言，有氧運動可降低安靜時的心跳率和動脈血壓，其機轉為增加迷走神經對交感神經的抑制，或改變腎上腺素性接受器 (Adrenergic receptors) 的密度³⁰。儘管有氧運動

²² AFI 11S4 Cetrifuge training for high-G aircrew, The secretary of The Air Force, 1994 ; Perkins, J.R.F-16, Flying Safety (January) 20-25,1989。

²³ Popper, S E. and Tripp, L. D, Jr. Unequal narrowing of the visual field in a +Gz environment. *Aviat. Space Environ. Med.* 62(10): 986-988, 1991。

²⁴ Popper, S. E., Stevens, M., Fisher, F, Bogan, S. and Muse, R.K. Unexplained unilateral vision loss during centrifuging. *Aviat. Space Environ. Med.* 65(8): 739-741, 1994。

²⁵ Luding, D.A and Convertino, V.A. Predicting orthostatic intolerance: physics or physiology *Aviat Space Environ Med.* 65(6): 404-11, 1994。

²⁶ Prior, A. R. Adcock, T. R. and McCarthy G. W. In-flight arterial blood pressure changes during Gz to +Gz maneuvering. *AsMA 63th Annual Scientific Meeting Program*, A-10, 1993。

²⁷ Self, D A., White, C D, Shaffstall, R. M, Mtinangi, B. L. Difference between syncope resulting from rapid onset acceleration and orthostatic stress. *Aviat. Space Environ. Med.* 67(6): 547-554, 1996。

²⁸ Kenney, W. L. and Armsrong C. G. The effect of aerobic conditioning on venous pooling in the foot. *Med. Sci;Sports Exerc.* 19(5): 474-479, 1987。

²⁹ Shvartz, E. and Meyerstein N. Relation of tilt toleranc to aerobic capacity and physical characteristics. *Aerospace Med.* 43(3): 278-280, 1972。

³⁰ Shvartz, E. Endurance fitness and orthostatic tolerance. *Aviat. Space Environ. Med.* 67(10): 935-939, 1996。

有益健康的說法，已普遍受到認同，惟僅限於生活在 1G 環境（地球表面）的人們，至於活動於高 G 力環境的軍機飛行員，因戰鬥體能的特殊需求，過度有氧運動所致的心跳率緩慢，反而是不利飛安的因素。1988 年，兩件涉及大 G 昏迷的 F-16A 級重大失事，即肇因於飛行員平日慢跑的時數太多³¹。此外，有氧運動不會導致下肢肌肉微血管密度增加，因而提供下肢較多的容納空間，亦是航空醫學家所顧忌者³²。

本研究比較運動習性不同者之症狀發生率分別為：有氧運動 4/11，有氧與無氧運動 4/17，球類活動 3/4，缺乏運動 10/11。此結果顯示注重均衡的有氧和無氧運動者，具有較佳的直立性耐力，縱使呈現反應，亦僅有視覺的症狀（N=4），尚不至於有嘔心或頭暈的不適。由此可見無氧運動（如舉重）所產生的生理效應，包括心肌呈健康性肥厚，交感神經所受的抑制減少，肌肉唧血功能的促進，皆符合特殊飛行環境的生理要求。至於缺乏運動（sedentary）或久不運動（detraining），極可能鈍化感壓反射和產生血液容積低下（hypo-volemia），以致影響到直立性耐力³³。

³¹ Stegemann, J, Busert, A., and Brock, d. Influence of fitness on the blood pressure control system in man. *Aerospace Med.* (1): 45-48, 1974。

³² Sundaram, P. M. Syncope among aircrew evaluated at the USAF School of Aerospace Medicine. *Aerospace Med.* 40(10):1126-1133, 1969。

³³ Whinnery, f. E. +Gz-induced loss of consciousness in undergraduate pilot training. *Aviat. Space Environ. Med.* 37(10): 997-999, 1986。