

# 鍛煉和防护措施对于爆炸 減压耐力的影响\*

蔡紀靜

(指导人 蔡 翹 教授)

具有加压座舱的飞机从事高空飞行时，可因机件故障或座舱的被击破而产生爆炸减压。以往的事故实例和人与动物实验，都说明爆炸减压的最主要危机为急性缺氧。如减压后暴露时间很短，减压本身对于机体所引起的创伤没有致死的危险。对于爆炸减压对机体的影响问题，很多学者已做了不少研究。Whitehorn 等<sup>(1)</sup> 观察不同程度的爆炸减压对于各种动物的心血管系统的影响，发现动物（狗、猫、兔、豚鼠和大白鼠等）有优良耐力；Cole 等<sup>(2)</sup> 确定了爆炸减压到 30 毫米汞柱（相当于 22,100 公尺）对犬所引起的病理变化；Kemp 等<sup>(3)</sup> 观察了爆炸减压到 30 毫米汞柱后犬所起的反应和死亡时间；

Hazeh 等<sup>(4)</sup> 观察了大白鼠在爆炸减压后的高级神经活动障碍和预先锻炼的影响；Зворыкин<sup>(5a)</sup> 分析了一般减压中缺氧和眼气两因素对于高级神经活动的影响；Бресткин<sup>(6)</sup>，Hitchcock<sup>(7)</sup> 和 Barron<sup>(8)</sup> 等分别用人作实验对象，在完善的供氧制度下，大批被试者暴露于骤然缺氧到数十次之多，仍然没有明显的不良后果。由于爆炸减压中各种因素的相互关系还待阐明，而且飞行高度也越来越高，提高机体对爆炸减压的耐力便具有实际的意义。本实验的目的在于观察动物在不同条件下对爆炸减压的反应，并了解不同方式的锻炼和防护措施对于提高机体耐力的效果。

## 方 法

本实验以 150—250 克的大白鼠为实验对象，使它接受一定的锻炼或防护措施之后，乃进行爆炸减压实验而观察它的反应。低压锻炼在人用低压舱（体积 = 15 立方公尺）内进行，爆炸减压则在减压瓶（图 1，体积 = 7 公升）进行。减压瓶（代表加压座舱）的瓶体是一个玻璃干燥器，用装有快速阀门的粗管子连接到人用低压舱

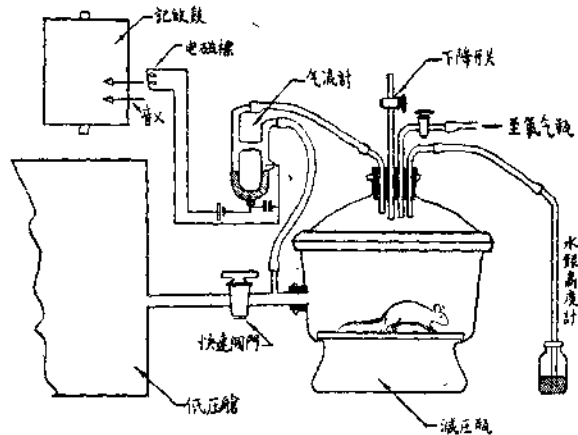


图 1 小动物爆炸减压的实验装置

\* 肖瑞芝和且大文二同志是本实验的技术协助人。

(代表加壓座艙外的環境大氣壓)。閥門關閉時，低壓艙和減壓瓶互相關絕。預先將低壓艙減壓到一定高度，減壓瓶則處於地面壓力或減壓到海平面和低壓艙壓力之間。打開閥門，使兩者迅速互相通氣而達到平衡，這樣就在減壓瓶內產生預定的爆炸減壓。本實驗的規定為在0.8秒時間內從地面壓力爆炸減壓到120毫米汞柱(等

於13,200公尺)。減壓瓶上裝有進氣開關，用以人工控制減壓瓶的下降。此外，瓶上還有管子和活栓通氧氣瓶，可輸送氧氣，使減壓瓶內減壓而仍不缺氧。將動物放入減壓瓶內，打开通低壓艙的閥門，就可使它接受一定的爆炸減壓。動物的反應從瓶外觀測之。

## 結 果

將大白鼠從地面的大氣壓在0.8秒(用磁標記錄測出)內爆炸減壓到120毫米汞柱，動物的一般反應如下：在爆炸減壓的一剎那，動物立刻驚厥一下，然後進入安靜发呆狀態，眼睛很快發黑，以後又逐漸變淡。這時身體脹大，排糞，排尿。減壓後約5—20秒間，動物突然發生一陣搖擺不安，繼以掙扎顛扑，最後臥倒不起，肢體陣發痙攣。在減壓的初期，呼吸急促，但很快完全停止達半分鐘以上之久；然後又重新出現，由迂緩而漸快；再後又進入稀疏不規則的喘息，並逐漸微弱；情態沉寂；最後心跳停止，動物死亡。

為了比較動物對於爆炸減壓的耐力，我們除在動物死後進行解剖外，着重記錄：1. 從開始爆炸減壓到動物突然出現搖擺的時間；在出現搖擺前動物呆立不動，稱之為平靜時間。2. 從開始爆炸減壓到動物斷氣的時間，稱之為斷氣時間。本實驗採用平靜時間和斷氣時間作為鑒別動物耐力的指標。

**低壓鍛煉** 這項實驗觀察了重複暴露於低壓後對於爆炸減壓耐力的影響。用大白鼠兩組，每組各10只，雌雄各半；經低壓艙7,000公尺(308毫米汞柱)鍛煉，每次一小時，每周鍛煉4—5次。第1組鍛煉共

11—17次，第2組鍛煉共26—36次。在鍛煉期間，第2組動物的生長率 and 對照鼠(同胎，同性別)無異，但在鍛煉末期，它的紅血球數目和血紅素都比對照鼠的為高。以後逐一將鍛煉鼠和對照鼠各一只或對地照規定的壓力進行爆炸減壓試驗，記錄它的平靜時間和斷氣時間。第1組結果見圖2。從圖中可以看出，大白鼠經鍛煉14次之後，它的平靜時間和斷氣時間已接

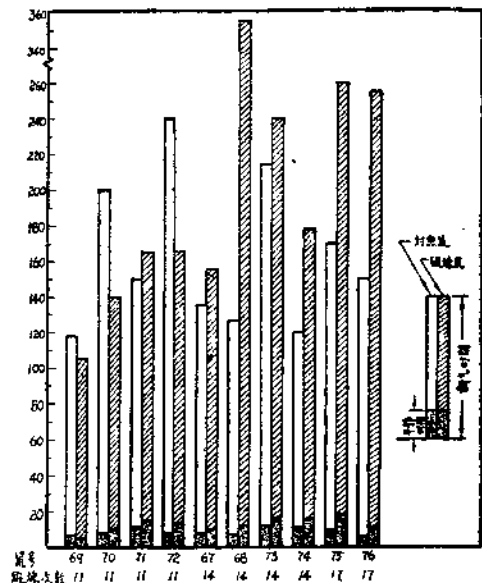


圖2 低壓鍛煉對提高爆炸減壓耐力的作用

鍛煉方式：7,000 M., 1小時，每周4—5次。

爆炸減壓：760—120毫米汞柱，0.8秒。

近最長。經26—36次鍛煉的第2組動物，實驗結果和第一組同。說明鍛煉14—17次就達最高功效，大量增加鍛煉次數，並沒有進一步提高耐力的效果。第1組鍛煉鼠的平靜時間和斷氣時間分別平均增加44%和25%，第2組鍛煉鼠則平均增加44.5%和26%。

**爆炸減壓鍛煉** 這項實驗是觀察經過重復中度爆炸減壓鍛煉對於爆炸減壓耐力

比較它的反應。結果見鍛煉鼠的平靜時間平均較對照鼠的延長21%，斷氣時間沒有差異（圖3）。

第2組動物鍛煉的方法為在0.46秒內由3,000公尺減壓至10,000公尺，共鍛煉16—17次。12只鍛煉鼠中的9只的平靜時間增加28%，它的斷氣時間則和第1組實驗的相同，和對照鼠沒有差別。其餘3只動物，在鍛煉末期出現呼吸道局部阻塞病象，被迫中止實驗，所以它的結果沒有計算入內。在鍛煉末期，未病的9只鍛煉鼠的體重增加長均較對照鼠的少7.5%。

**乏食50小時** 這項實驗觀察了不同腸胃道充滿度（脹氣）和爆炸減壓耐力的關係。用正常大白鼠10只，在實驗前50小時不給飼料，只留飲水在籠內，使實驗時動物腸胃道比較空虛。逐一把它和對照鼠或對地照上列規定作爆炸減壓試驗而進行比較。結果見表1。

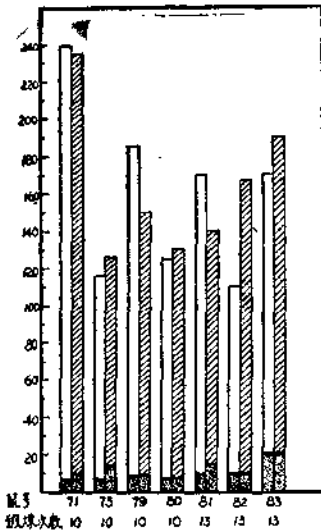


圖3 重復爆炸減壓鍛煉對於爆炸減壓耐力的影響

鍛煉方式：  
3,000—7,000公尺0.3秒，  
暴露30秒。  
爆炸減壓：  
760—120毫米汞柱0.8秒，  
圖解同圖2。

的影響。鍛煉大白鼠有兩組：第1組7只，第2組12只。鍛煉方法是第1組在5分鐘內由地面上升到3,000公尺後，在0.3秒鐘爆炸減壓到7,000公尺，暴露30秒，再以5分鐘時間下降到地面。這項鍛煉每周進行5次，共進行10—13次。鍛煉期間動物體重增長如常。以後逐一將鍛煉鼠和對照鼠各1只成對作規定的爆炸減壓，而

表1 乏食50小時對於爆炸減壓耐力的影響

鼠 號	耐 力			
	平 靜 時 間, 秒		斷 氣 時 間, 秒	
	乏食鼠	對照鼠	乏食鼠	對照鼠
55	13	10	180	130
56	7	7	160	125
57	12	7	117	180
58	10	10	110	170
59	11	9	65	100
60	13	12	135	135
61	14	13	100	140
62	16	11	105	143
63	10	10	160	150
64	14	13	148	135
平均	12.0	10.2	128	140

从表中数字可以看出：乏食鼠的平靜時間平均較对照鼠的延長18%；但它的斷氣時間參差不齊，平均計算，雖然還有稍為縮短的迹象，但从統計學觀點上看来，意义不大。

为了比較乏食和对照鼠在低壓下的脹氣程度，我們曾將部分動物剖腹，置瓶內爆炸減壓。結果，見乏食鼠腸胃道的脹氣程度遠較对照鼠的為輕，說明乏食50小時的動物確實減少了腸胃道的脹氣。

**供氧下的爆炸減壓** 這項實驗觀察了動物在爆炸減壓不缺氧時的反應。共用大白鼠14只。實驗前將減壓瓶裝滿97% O<sub>2</sub>·3% N<sub>2</sub>混合氣體，爆炸減壓後仍然讓O<sub>2</sub>繼續流向減壓瓶，保持瓶內氣壓在120毫

米汞柱和氧分壓在116毫米汞柱。爆炸減壓時動物照常表現驚厥一下，稍後也出現輕微的搖擺，並逐漸呈現疲乏；泪水滿眶，呼吸較深，三數分鐘後出現重複吸氣（每分鐘約2—4次），有的頻頻搖首。實驗通常維持到1小時以上，動物除軟弱無力外，完全能忍受，不致死亡。下降後，半數動物表現呼吸道有分泌物激惹，嘶嘶作聲，可持續一天以上。在一次突出的實驗中，一只動物竟在減壓後4分鐘內因呼吸道充滿泡沫狀分泌物，在減壓瓶內的氧氣環境下窒息而死。

為便于比較，將上列幾項實驗的總結果列成表2。

表2 各種鍛煉和防護措施同爆炸減壓耐力的關係

項 目	動物數目	平靜時間和对照比	斷氣時間和对照比	附 注
1. 低壓鍛煉7,000公尺1小時				
暴露11—17次	10	+44%	+25%	
暴露26—36次	10	+44.5%	+26%	
2. 爆炸減壓鍛煉				
0.3秒由3,000—7,000公尺	7	+21%	不變	
暴露30秒，鍛煉10—13次				
0.46秒由3,000—10,000公尺	9*	+28%	不變	* 鍛煉鼠本來為12只，生長受影響，其中3只在鍛煉末期出現呼吸道疾患，停止實驗。
暴露30秒，鍛煉16—17次				
3. 乏食50小時	10	+18%	-8.5%	
4. 給氧（氧分壓=116毫米汞柱）		>+120%	不死	半數以上的動物出現呼吸道激惹。

## 討 論

爆炸減壓後動物的平靜時間和斷氣時間是明顯易見的。在人類，爆炸減壓後意識清醒時間的長短很重要，因為在這一短促的時間內，遭受意外者可以主動地採取緊急措施，所以在航空醫學上，名為有效清醒時間。在動物，我們只能採取平靜時間和斷氣時間作為耐力的指標。在平靜時

間內，動物還表現正常，可視為相當於人類的有效清醒時間。斷氣時間代表生命的延續時間。由於氣栓出現足以影響實驗結果，所以我們根據初步觀察和 Eggleton 等<sup>(9)</sup>的報告，由海平面快速減壓到0.15和0.16大氣壓，似為動物產生氣栓的臨界，所以採用0.8秒由海平面減壓到120毫米汞

枉作为爆炸减压常规。

Girling 等<sup>(12)</sup> 报告, 动物上升到 30,000英尺 (9,150公尺), 减压本身就可使股动脉本身血流阻力加倍。我們认为这一现象可能和脹气有关。本实验中, 减少动物腸胃道脹气, 就可延长平静时间18%。这在一方面可以解释为减少血流受阻的影响; 另一方面, 減輕腸胃道内感受器的刺激, 因而减少了向中枢发送的冲动, 也是重要原因。当然, 在实际应用上, 以乏食空腹求得腸胃脹气的减少, 并不相宜, 但是用“选用适当、适量的食物和适时进餐的办法”以減輕腸胃道脹气的程度, 却是易于办到的。因此, 利用改善食物, 以减少脹气作为低压鍛煉的补充, 是有效而可行的措施。

Xazeh 等观察到: 大白鼠經 4—5 次爆炸减压之后, 就产生适应效果, 不再出现高級神經活动的障碍。本实验証明爆炸减压鍛煉确可延长动物的平静时间。由于爆炸减压鍛煉也有低压、脹气等影响, 鍛煉后平静时间的延长比乏食50小时稍胜一

筹, 但还不及低压鍛煉收获之大。因此, 利用爆炸减压鍛煉以提高其爆炸减压耐力, 它的价值不如低压鍛煉为大。

根据 Xazeh 的实验, 大白鼠經過 4 次中度爆炸减压鍛煉的适应效果比經過 5 次較重度爆炸减压鍛煉尤佳。Whitehorn 等报告, 經 11 次爆炸减压后, 5 只猫中有 2 只死去, 但死因不明。我們的动物經過較多次和較低終压的爆炸减压鍛煉, 虽可稍为延长平静时间, 但它的生长已受抑制, 并有 1/4 动物出现呼吸疾患, 以至死亡, 似乎这项鍛煉已达到或超过动物耐受力的界限, 显然得不偿失, 这是值得注意的。

在給氧下爆炸减压的动物, 有半数以上, 出现呼吸道激惹, 說明呼吸道和肺脏已受伤。但不給氧动物反而少出现激惹现象。利用同瓶氧气作人体供氧实验, 始終沒有发现异状, 可知呼吸道激惹现象和我們的氧气純度无关。照我們所获得的资料看来, 爆炸减压后給氧的时间过长, 未必有利。

## 結 論

适量的低压鍛煉 (7,000公尺暴露一小时, 每周4—5次, 共鍛煉14—17次)、适度的爆炸减压鍛煉 (3,000—7,000公尺, 速度0.3秒, 暴露30秒, 鍛煉10—13次), 减少腸胃道脹气 (乏食50小时)、以及繼續給氧, 都可提高大白鼠的爆炸减

压耐力。适量的低压鍛煉效果最佳, 減輕腸胃道脹气 (利用改善和控制食物的办法) 方法簡便, 可作为低压鍛煉的补充。爆炸减压鍛煉有有利和不利两因素, 使用价值較小。繼續長時間給氧是否相宜, 还待作进一步的研究。

## 參 考 文 献

- (1) Whitehorn, W. V., Lein, A. and Adclmann, A.: The General Tolerance and Cardio-vascular Responses of Animals to Explosive Decompression. *Amer. J. Physiol.* 147: 289, 1946.
- (2) Cole, C. R. et al.: Pathological Effect of Explosive Decompression to 30 mm. Hg., *J. Appl. Physiol.* 6: 96, 1953.
- (3) Kempf, J. P., Burch, B. H., Beman, F. M., and Hitchcock, F. A.: Further Observation on Dogs Explorively Decompressed to an Ambien Pressure of 30 mm. Hg., *J. Aviat. med.* 25: 107, 1954.

- (4) Хазен, И. М. И Кузнец Е. И.: Влияние Больших Перепадов Барометрического Давления В Микроинтервалы Времени На Высшую Нервную Деятельность Белых Крыс. Доклады Академии Наук СССР Том 108: № 5, 1956.
- (5а) Зворыкин, В. Н.: Изменения Высшей нервной Деятельности В Условиях Разреженного Воздуха. Физиологический Журнал СССР XXXIX: 677, 1953.
- (5б) Зворыкин, В. Н.: Влияние Разреженного Воздуха На Высшую Нервную Деятельность. (Реферат Диссертации) Военно-медицинская Академия им С. М. Кирова, Ленинград, 1951.
- (6) Бресткин: 見波波大: 航空生理学讲义, 第一军医大学航医系, 1954.
- (7) Hitchcock, F. A., Whitehorn, W. V. and Edelman, A.: Tolerance of Normal Men to Explosive Decompression. *J. Appl. Physiol.*, 1: 153, 1948.
- (8) Barron, C. J. and Cook, T. F.: Explosive Decompression in Altitude Training of Civilian Air Crews. *J. Aviat. med.*, 26: 46, 1955.
- (9) Eggleton, P., Elsdon, S. R., Fegler, J. and Holb, C. O.: The Study of the Effect of Rapid Decompression in Certain Animals. *J. Physiol.*, 104: 129, 1945.
- (10) Luft, U.C., Clamann, H. G. and Adler, H. T.: Alveolar Gases in Rapid Decompression to High Altitudes. *J. Appl. Physiol.*, 2: 37, 1949.
- (11) Hall, F. G. and Hall, K. D.: Expulsion of Respiratory Gases From Lung of Human Subjects During Rapid Decompression. *J. Appl. Physiol.* 4: 1951.
- (12) Girling, F. and Maheux, C.: Peripheral Circulation and Simulated Altitude, *J. Aviat. med.*, 23: 216, 1952.

(本文曾載“軍事医学雜誌”第1卷第2期, 1958)

# 減压和爆炸減压对大白鼠条件 反射的影响

段天仕

(指导者: 蔡 翹 教授)

低气压对动物高級神經活动的影响, 已有許多学者进行过研究。A. B. Лифшиц<sup>(1)</sup>, В. Н. Зворыкин<sup>(2)(3)</sup>, Э. Ш. Аирапетьянц, О. Г. Газенко<sup>(4)</sup> 等証明: 随着气压的降低, 动物高級神經活动的变化也愈明显。根据 A. B. Лифшиц 的材料, 上升到 1,000 米以上, 狗就开始出現高級神經活动的紊乱, 大約到 6,000—7,000 米时, 狗的条件反射消失, 并呈現睡眠状态。B. M. Зворыкин 等曾对引起这种高級神經活动变化的原因作过比較詳細的研究, 証明主要是由于氧分压降低的結果。至于減压到 10,000 米以上时, 对动物高級神經活动将发生如何变化, 文献报告还很少。因此, 我們認為有必要进一步观察減压到 10,000—11,500 米对条件反射的后作用, 并分析在这种情况下氧分压降低和单纯減压两因素所占的比重。

此外, 爆炸減压对动物活体組織的損害虽然已有許多学者进行过研究, 但对动物高級神經活动的影响, 文献的报道却很

少。我們只見到 2 篇报告; 一是 E. И. Хазен 及 E. И. Кузнец<sup>(5)</sup> 以 0.008 秒鐘的速度将大白鼠由地面減压至 20,000 米左右 (即由 760 毫米水銀柱減压到 40 毫米水銀柱), 然后以 60—70 秒的时间下降至地面。在实验进行过程中, 他們不断地供給氧气, 以尽量减少缺氧的影响。經過这样爆炸減压后, 大白鼠已建立的条件反射完全消失, 1 昼夜后才开始恢复, 4 昼夜才恢复完全。一是 З. К. Сулимо-Самуи-нмо<sup>(6)</sup> 用狗进行实验。他們将狗以 14 秒鐘的速度減压至 15,000 米, 停留 6—7 秒后, 以 17—18 秒的时间下降至地面。狗出現明显的后作用, 一般于数日内条件反射才恢复正常, 最长的要 10—15 日之久, 才完全恢复。上述两篇报告說明了爆炸減压对动物高級神經活动的影响是相当严重的。为了証明他們所获得的結果, 我們用不同的方法, 以大白鼠为对象, 重复他們的实验, 但結果与他們却不相同, 殊值得报告。

## 方 法

以体重 150—200 克的大白鼠 34 只, 首先分別建立起食物运动性及防御性条件反射。食物运动性条件反射是按 Л. И. Кот-

ляревский<sup>(7)</sup> 的方法进行; 非条件刺激为花生米一小片, 阳性条件刺激为电鈴, 阴性为电蟬。防御性条件反射的非条件刺

激为通过箱底的銅片網的电流，条件刺激为电鈴。条件反射的建立与巩固主要是以潜伏期的稳定为标准。条件反射巩固后，乃分别进行减压及爆炸减压。减压及爆炸减压均在一体积約七公升的普通玻璃干燥器中进行。干燥器以一口径約4厘米的金屬管通向一体积为15米<sup>3</sup>的大低压舱。大低压舱的压力預先抽到所要求的低压。以不同范围打开通大低压舱的活栓即可使干燥器内产生减压或爆炸减压(用法詳見另文<sup>(8)</sup>)。

减压实验是从地面以 1,000 米/分的速度分别减压到 10,000—11,500 米，在这高度停留30分鐘，然后以 3—5 分鐘下降到地面。爆炸减压分 2 組动物进行：一組，先由地面以 1,000 米/分之速度减压到 3,000 米，停留 5 分鐘，再以 0.36—0.38 秒迅速减压到 20,000—21,000 米，然后以 4—8 秒鐘的时间下降到 14,000—10,000 米，停留 2 秒—2 分鐘后，以 3—4 分鐘緩慢下降至地面；另一組是从

地面以 0.36—0.38 秒迅速减压到 20,000—21,000 米，再以 4—8 秒鐘的时间下降到 12,000 米左右，立即以 3—4 分鐘緩慢下降至地面。

为了将氧分压降低的因素与单纯减压因素分开，我們將实验分 3 組进行：第 1 組，减压或爆炸减压时不断地供給 96% 的氧气，以尽量減少缺氧的影响；第 2 組，减压或爆炸减压时不供給氧气，这时主要观察氧分压降低和单纯减压两因素的共同作用；第 3 組，在正常大气压力下，将大白鼠放在含氧 4.2% 的氮气内 30—40 分鐘，观察缺氧的影响。大白鼠在实验后分别在 2—5 分鐘内和不同时期观察已建立的食物运动性条件反射和防御性条件反射的变化，一直到条件反射完全恢复才止。观察的指标为条件反射的潜伏期和条件反射障碍后恢复的时间(我們的实验动物中，有几只是作过供氧爆炸减压实验，間隔一段時間后，又进行过不供氧的减压实验)。

## 結 果

1. 减压实验 共进行 28 例实验，其中供氧組及不供氧組各 14 例。实验过程中观察到动物有明显的呼吸变化；先为呼吸頻数，以后变慢而深；四肢不能起立，发

紺等現象。但随着下降，很快就可恢复。下降后检查条件反射的变化，发现缺氧組和不缺氧組有明显的差别。为了节省篇幅，我們仅举两个有代表性的例子于表 1。

表 1. 供氧与不供氧的减压影响；两个典型例子；减压到 10,000 米，停留 30 分鐘；食物运动条件反射

条件刺激	不供氧大白鼠(97号)										供氧大白鼠(102号)										
	实验前		实 验								后		实验前		实 验 后						
	当 日	潜 伏 期	2 分 鐘	1 小 时	2 小 时	2 小 时 45 分	3 小 时 35 分	5 小 时 5 分	6 小 时 35 分	条件刺激	当 日	2 分 鐘	1 小 时 18 分	潜 伏 期	反 应	潜 伏 期	反 应				
电 鈴	1.1"	+	-	-	-	-	-	-	-	-	1.3"	+	1.5"	+	电 鈴	1.4"	+	1.0"	+	0.8"	+
电 蟬	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	电 鈴	1.5"	+	1.3"	+	1.0"	+
电 鈴	1.5"	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.3"	+	电 鈴	1.0"	+	0.8"	+	1.3"	+
电 蟬	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	电 鈴	1.1"	+	1.5"	-	1.1"	+



从表1可以看到,不供氧的97号大白鼠有明显的条件反射的变化,实验后条件反射消失,到6小时35分后才恢复;而供氧的102号大白鼠实验后条件反射无障碍。为了进一步证明供氧的意义,我们又进行了一组新的实验;就是在同样条件下减压到13,000米,并不断地供给氧气,在这高度停留一小时后,下降,检查条件反射。结果6只大白鼠无1只有条件反射的变化。表2代表2例大白鼠条件反射的情况。

表2. 减压至13,000米后继续供氧的结果; 两个典型例子; 食物运动性条件反射

供氧大白鼠(100号)						供氧大白鼠(108号)						
条件刺激	实验前		实验后		实验前		实验后		实验前		实验后	
	当日		2分钟		1小时		当日		2分钟		1小时	
	潜伏期	反应	潜伏期	反应	潜伏期	反应	潜伏期	反应	潜伏期	反应	潜伏期	反应
电铃	1.0"	+	2.0"	+	1.0"	+	1.9"	+	1.0"	+	2.0"	+
电铃	1.5"	+	1.5"	+	1.4"	+	1.1"	+	1.0"	+	1.3"	+
电铃	1.6"	+	1.0"	+	1.0"	+	1.1"	+	2.1"	+	1.0"	+
电铃	1.5"	+	1.3"	+	1.5"	+	2.1"	+	1.3"	+	1.5"	+

表3为减压实验供氧组和不供氧组总的结果比较。供氧组14例无一例有条件反射的障碍(本文所指的条件反射障碍为条件反射消失或潜伏期延长等),而不供氧

组的14例中有13例出现了明显的条件反射的变化(一般为3—4小时恢复,最长可达6小时)。

表3. 减压时供氧与不供氧两组实验结果总比较表

组别(例数)	实验总数	条件反射障碍		条件反射恢复时间						
		例数	%	2-5分钟	5-1小时	1-2小时	2-3小时	3-4小时	4-5小时	5-6小时
供氧组	14	0	0	14	0	0	0	0	0	0
不供氧组	14	13	93	1	2	3	4	4	4	4

为了观察单纯缺氧的影响,我们将大白鼠置在正常大气压的含氧4.2%的氮气中30—40分钟,共进行8次实验。结果见表4。

表4. 在正常大气压力下呼吸含氧4.2%之氮气实验结果

实验例数	出现障碍例数	条件反射恢复时间			
		2-5分钟	30分-1小时	4小时	5小时
8	8	3	3	1	1

由表4可以看出,呼吸了低氧成分后,每只大白鼠都出现了不同程度的条件反射变化,但一般来讲,恢复时间比较快(大多数在1小时内就恢复)。

2. 爆炸减压实验 在24只大白鼠进

表5. 爆炸减压时供氧对条件反射的影响

88号大白鼠食物运动条件反射						89号大白鼠食物运动条件反射						113号大白鼠防御性条件反射							
条件刺激	实验前		实验后		实验前		实验后		实验前		实验后		实验前		实验后				
	当日		5分钟		1小时		当日		5分钟		1小时		当日		5分钟		2小时40分		
	潜伏期	反应	潜伏期	反应	潜伏期	反应	潜伏期	反应	潜伏期	反应	潜伏期	反应	潜伏期	反应	潜伏期	反应	潜伏期	反应	
电铃	1.0"	+	-	-	1.0"	+	1.0"	+	1.0"	+	1.0"	+	电铃	0.8"	+	5.2"	+	1.0"	+
电铃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	电铃	1.4"	+	1.8"	+	1.3"	+
电铃	1.0"	+	-	-	0.8"	+	1.0"	+	1.5"	+	1.1"	+	电铃	1.0"	+	2.2"	+	1.8"	+
电铃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	电铃	0.8"	+	2.8"	+	1.4"	+

行了24次实验,其中16次不供氧,8次供氧。实验过程中观察到动物有明显的呼吸变化:表现为呼吸频数,四肢不能立起等;但有部分大白鼠当由20,000—21,000米下降到12,000米之间时,发生全身性痉挛,后弓反张,有时出现呼吸减弱,甚至呼吸

停止等现象;但下降后,这些症状很快即恢复。有几只大白鼠虽然在实验过程中有明显的行为变化,但下降后检查条件反射,发现无障碍或几分钟内就恢复。表6中的92号大白鼠即为其中的一例(在实验过程中出现呼吸停止)。

表6. 爆炸减压时不供氧对大白鼠条件反射的影响

93号大白鼠食物运动性条件反射										92号大白鼠食物条件反射						115号大白鼠防御性条件反射												
条件 刺激	实验前		实验后										实验前		实验后				实验前		实验后							
	当日		2分钟		30分钟		4小时15分		5小时40分		当日		14分钟		43分钟		当日		3分钟		30分钟		1小时		2小时			
	潜伏期	反应	潜伏期	反应	潜伏期	反应	潜伏期	反应	潜伏期	反应	潜伏期	反应	潜伏期	反应	潜伏期	反应	潜伏期	反应	潜伏期	反应	潜伏期	反应	潜伏期	反应	潜伏期	反应		
电铃	2.0"	+	-	-	-	-	2.6"	+	1.3"	+	1.3"	+	1.6"	+	1.3"	+	电铃	1.5"	+	-	-	4.7"	+	2.4"	+	1.3"	+	
电螺	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.3"	+	-	-	7.0"	+	电铃	0.7"	+	-	-	2.5"	+	3.3"	+	1.2"	+	
电铃	1.0"	+	-	-	-	-	5.2"	+	1.5"	+	1.1"	+	1.3"	+	1.3"	+	电铃	1.4"	+	-	-	-	-	2.5"	+	0.6"	+	
电螺	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.8"	+	2.4"	+	8.0"	+												

表5为供氧组的三个具有代表性例子的结果。88号大白鼠的食物条件反射障碍在1小时内恢复;而89号大白鼠无障碍;113号大白鼠的防御性条件反射在2时40分钟内已完全恢复。

表6为不供氧组。93和115号大白鼠条件反射障碍分别在5小时40分和2小时后恢复;而92号大白鼠条件反射无障碍。

表7为爆炸减压时供氧组和不供氧组总的结果比较。从总的结果看,两组结果的差别还是很明显,就是供氧组发生条件

反射障碍37.5%,而不供氧组62.5%。可知在爆炸减压下供给氧气,即使在开始供氧不很充分,也是可以减少爆炸减压的后影响的。

表7. 爆炸减压时供氧与不供氧对食物运动性及防御性条件反射变化比较表

项别 组别	实验 总数	条件反射障碍		条件反射恢复时间				实验中 出现明显 行为变 化的
		例数	%	2—5/30分—1小时		2—3/4—5小时		
				例数	%	例数	%	
供氧组	8	3	37	5	2	1	0	2
不供氧组	16	10	63	6	7	0	3	7

### 讨论

低气压对动物高级神经活动的影响,苏联已有许多学者作过比较详细的研究,发现上升1,000米,就开始有条件反射的变化,大约到7,000—8,000米,狗的大脑皮层就呈现普遍抑制状态。这种抑制向皮层下扩散,表现在条件反射和非条件反射的减弱或消失,并呈现睡眠状态。上述情

况,下降后,可持续几天,以至十几天之久。

我们观察到大白鼠减压到10,000—11,500米的后作用,主要表现为阳性条件反射消失,但持续仅3—6小时就恢复,较之文献所述为短。在这时间内,大白鼠行为方面主要表现为不活泼,嗜眠,不进

食等，表示动物处于抑制状态。大白鼠条件反射恢复之所以比狗快，可能是由于动物种类的差异，特别是鼠类在动物进化的阶梯上比犬为低，其大脑皮层也没有狗的发达，所以它受缺氧的影响较轻，恢复也较快。从供给氧气就可避免条件反射障碍这一事实，我们就不难了解减压对高级神经活动的影响的原因。在一般不供给氧气情况下，大白鼠只要处在13,000米2—3分钟，就可产生挣扎，全身性痉挛，最后呼吸停止而死亡。可是如不断地供给氧气，虽然氧分压还是较正常为低，但停留1小时之后，动物行为初仅见有呼吸频数，以后变慢而深，四肢不能起立等现象，而下降后，检查已建立的条件反射，却发现无变化。

根据文献及我们的实验结果，氧分压降低实为条件反射发生障碍的主要原因，但这并不能否定单纯减压因素的作用。倘若将减压实验的结果，与正常大气压力下呼吸低氧成分的一组实验结果作一比较，我们就不难看出，后者条件反射恢复远较减压实验为快。从缺氧的程度来说，应该呼吸低氧的较之减压的稍重，但条件反射的障碍情形恰恰相反。因此，我们不得不想到单纯减压因素不能没有作用，因减压与氧分压降低两因素结合在一起时，加强了对条件反射的影响。至于引起这种影响的解释，一方面可能是由于减压时腹腔的空腔器官的膨胀，将膈肌上举，使肺活量减低，因而更增强了缺氧。另一方面，可能是由于空腔，半空腔器官（如腹腔器官、中耳等）的膨胀刺激了它的内壁的感受器，因而引起了大脑皮层的超限抑制。

根据 E. И. Хазен 及 З. К. Сулимо-Самуилло 等的报告，爆炸减压对动物高级神经活动的后作用，一般持续几日，最长可达10—15日之久。可是我们的实验结

果却证明大白鼠条件反射的障碍时间极为短暂，最长的不过6小时30分，就完全恢复。此外，还有部分动物，虽然实验过程中观察到明显的行为变化，如痉挛、呼吸暂停等症状，但下降后，检查它的条件反射，障碍程度很浅，并且在数分钟内就恢复的。这种和他们结果不一致的原因，除考虑到减压幅度和速度不一致外（如 E. И. Хазен 以0.008秒减压至20,000米左右），是否与大白鼠的年龄和条件反射建立的稳固程度等有关，我们会进一步加以探究。结果，两只年龄在一年以上的大白鼠，它们的条件反射的恢复也一样地迅速。此外，条件反射建立已很稳固的和条件反射潜伏期刚稳定的结果也没有差异。最后可能由于我们使用的条件刺激有关。据 E. И. Хазен 等的报告，声音刺激最先恢复（1昼夜），而我们使用的正只是声音刺激，所以这可能是原因之一，但结果仍然有显著的差别。E. И. Хазен 等没有说明在爆炸减压后24小时内曾否作过条件反射试验，所以他的实验动物是否在1昼夜前已有一部分恢复对声音的条件反射，不得而知。

М. П. Бресткин<sup>(4)</sup> 在卫国战争中对一些突然遭遇缺氧的飞行员的观察，认为短时期的缺氧，对高级神经活动的影响，迅速即能恢复；而这种迅速恢复是决定于神经系统高级部分的可塑性。我们的结果和 М. П. Бресткин 的相似。但下等哺乳动物的大白鼠，受爆炸减压之较轻微影响，可能不是大脑皮层的可塑性较高，而是它对这种刺激的敏感性较低。我们另外一种假想：象大白鼠这样一种下等哺乳动物，它的条件反射稳固后，或者可能仅借皮层下中枢的作用就可实现，所以在大脑皮层细胞受到侵害后，并不严重地影响条件反射；或者即使受到影响，但恢复也很快。

## 結 論

1) 大白鼠在減压到10,000—11,500米的环境里停留30分鐘后回到地面, 它的食物运动性条件反射的变化主要是由于缺氧的影响。但氧分压降低和单纯減压因素結合在一起时, 更加强了条件反射的障碍。

2) 在我們的实验条件下, 爆炸減压

对大白鼠食物运动性和防御性条件反射是有影响的, 但为时很短暂(一般为1—2小时), 很快就能恢复。

实验进行过程中, 蔡紀靜同志曾給予一部分理論上及技術上的指導, 鍾國隆同志曾为进行防御性条件反射实验, 肖端芝和巨大文二同志为技術上的协助人, 特附志致謝。

## 參 考 文 獻

- (1) А. В. Лифшиц.: Влияние Гипоксемии на Высшую Деятельность, *Физиол. журн. СССР*. 35: 1 (1949).
- (2) В. Н. Зворыкин: Влияние Разреженного Воздуха на Высшую Нервную Деятельность, *Диссертации Военно-Мед. Акад. Л.*, 1951.
- (3) В. Н. Зворыкин: Изменения Высшей Нервной Деятельности в Условиях Разреженного Воздуха, *Физиол. Журн. СССР*, 39: 6 (1953).
- (4) Э. Ш. Аярапетьянц и О. Г. Газенко, цит. по: М. П. Бресткин: Высшая Нервная Деятельность при Пониженном Давлении, *50 лет учения акад. И. П. Павлова об условных рефлексах М.-Л.*, стр. 226. 1952.
- (5) И. М. Хазен и Е. И. Кузнец: Влияние Больших Перепадов Барометрического Давления в Микроинтервалы Времени и на Высшую Нервную Деятельность Белых крыс, *Доклады Академии наук СССР*. 108: 5 (1956).
- (6) З. К. Сулимо-Самуилло: Изменения Высшей Нервной Деятельности у Собак После Воздействия Резких Степеней Гипоксемии, *Функции организма в условиях измененной газовой среды*. I: (1955).
- (7) Л. И. Котляревский: Условных Рефлексов у Некоторых Мелких Животных (Белые Крысы и Морские Свинки), *Журнал высшей нервной деятельности* 1: 5 (1951).
- (8) 蔡紀靜: 鍛煉和防护措施对于爆炸減压耐力的影响, *軍事医学杂志* 1 (2): 1958.

(本文曾載“軍事医学杂志”第1卷2期, 1958)

# 环境温度骤然改变对人体的影响

陈志远

(指导人 蔡 翹 教授)

我国幅员广阔，南北气温相差悬殊。例如冬季(1月)海南岛的海口平均气温为 $18^{\circ}\text{C}$ ，黑龙江省的海拉尔则为零下 $29^{\circ}\text{C}$ ；而在夏季(7月)，武汉、长沙一带的气温可高达 $34^{\circ}\text{C}$ ，平均为 $30^{\circ}\text{C}$ ，海拉尔、满洲里一带的最低温度为 $14^{\circ}\text{C}$ ，平均气温为 $20^{\circ}\text{C}$ 。突然事变发生时，部队的调动必须极为迅速，如在夏季由东北空运到华中或华南，或在冬季由华南空运到华北或东北。这时，士兵将面临不习惯的

气候，足以影响战斗力，是可以理解的。至于身体如何克服此种困难，和如何适应新的环境，很有加以研究的必要。夏季飞机由高温的地面飞到高空，或是由高空下降着陆，也可遇到同样问题。工业上的高、低温作业也常遇到温度的迅速转换。总之，这一问题的解决，不论在军事上，或是在工业上，都有它实际的意义。本文将报告由热气候转入冷环境和由冷气候转入热环境的生理反应和适应的实验结果。

## 实验方法

被试者为年龄19—23岁的士兵，共22人，实验时分为两组：一组参加由热转冷实验，一组参加由冷转热实验；前者13人，其中3人并进行了冷适应的锻炼，后者9人，其中2人参加热适应锻炼。由热转冷实验是在7—11月份进行的，气温为 $32-19^{\circ}\text{C}$ ；由冷转热实验是在3—8月份进行的，气温为 $10-32^{\circ}\text{C}$ 。被试者在实验日进食同质同量的早餐，实验时穿着相同的夏季陆军制服。

实验用的特殊温度环境为一冷、热恒温控制室。该室温度可以随意调度，但湿度则未加控制，仅在实验时，以毛发湿度计记录其中相对湿度。在由热转冷实验时，曝寒的温度低于实验日室温 $20^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度为42—59%。由冷转热实验的曝热温度

则采取固定温度 $-40\pm 1^{\circ}\text{C}$ ；热反应实验的相对湿度为38—48%，锻炼实验为46—99%。

实验中观察体温(口腔或直肠温)、皮温、脉搏、吸呼和产热量5项生理变化。肠温和皮温的测量系用热电偶温度计，口温用普通临床用的口表测定。直肠测温的深度为距肛门10厘米处。皮温共测额、胸、上臂、大腿、小腿、手指(或手背)、足趾(或脚背)7点。脉搏、呼吸以一般生理学方法测量。产热量的测量系采用 Douglas 及 Haldane 开放式方法，先测出呼吸商及耗氧量，然后计算产热量，用仟卡/米<sup>2</sup>/分钟来表示。体表面积的計算系根据 Stevenson 氏公式<sup>(1)</sup>。

\* 现今在北京中国医学科学院营养系工作。

由熱轉冷的實驗步驟如下：被試者早餐後20—30分鐘來實驗室，靜坐休息40—60分鐘後開始實驗。實驗前測量體溫、脈搏、呼吸、皮溫、產熱量各1次，作為對照，然後進入低於當天實驗室溫度 $20^{\circ}\text{C}$ 的冷室。被試者在冷室內始終靜坐。入冷室後5分鐘又測量體溫、皮溫、脈搏及呼吸1次，以後每15分鐘測量1次。入冷室10分鐘，測量產熱量1次，以後每30分鐘測量1次。曝寒總時間一般為180分鐘。鍛煉適應實驗系同一人每天曝寒，重複若干天。

由冷轉熱的實驗也可分為反應實驗

和適應實驗兩部分。前者的實驗步驟和冷實驗同；僅實驗溫度不同，體溫全係測定直腸溫度，在熱室外觀察55分鐘，出熱室後又繼續觀察45分鐘。熱適應實驗的測量項目和時間間隔也和冷實驗同，僅在間隔測量產熱量時給以體力勞動負荷，就是令被試者在腳踏測力計上盡力踩踏5分鐘，為一固定時間的強度工作。在未進熱室前勞動一次，勞動後20分鐘進入熱室，在熱室內勞動兩次後，休息20分鐘出熱室。出熱室後再重複一次入熱室前的各項測量和勞動。每天重複上述實驗，以至多天，借以觀察鍛煉適應的效果。

## 結果和討論

### I. 驟然改變環境溫度時人體的生理反應

(1) 曝寒反應 曝寒時人體產熱量的增高，已早為前人所肯定<sup>(2,3)</sup>。Horvath等<sup>(4)</sup>曾報告曝寒於 $1.1^{\circ}\text{C}$ 時，增高的數值可從0—32%，很不規則。本實驗結果也顯示很大的個體差異。大體言之，可分為3類：(1) 12人中有5例在曝寒時產熱量先增高，然後很快降低，再後則繼續升

高；(2) 4例先降低一段時間而後升高；(3) 3例由曝寒開始，產熱量就一直漸趨上升，直到出冷室才止。各種類型的平均結果顯示在圖1。由圖1的3條曲線可以看到曝寒時產熱量反應的不同，主要表現在曝寒初期70分鐘內的一段時間；以後都是逐漸增高，它的增高程度隨曝寒的實際

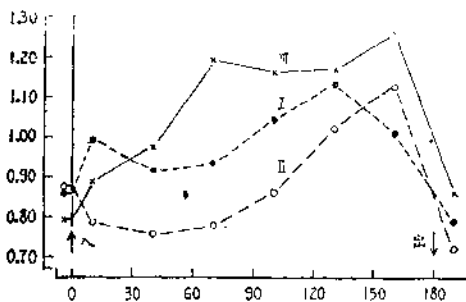


圖1 驟然曝寒在比室溫低 $20^{\circ}\text{C}$ 冷室時產熱量的變化

I、II、III代表3種類型，入的箭頭表示入冷室，出的箭頭表示出冷室，以下都仿此。

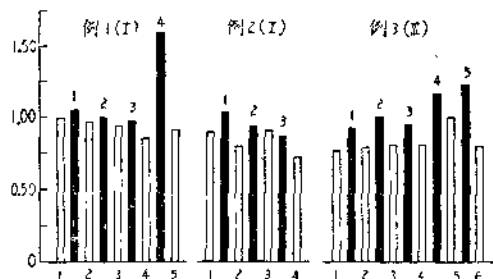


圖2 反復進出冷室時產熱量的變化

例1、例2的產熱量屬於第1類型，例3的產熱量屬於第3類型。□冷室外，■冷室內；1、2、3、……表示反復進出的次序；(I)、(III)同圖1的I、III。每半小時進出一次，圖中資料為每次進，出後10分鐘時的結果。

温度和被试者个体的不同而有高低之分。

第一类在曝寒开始时，产热量突然增高，可能是探求反射的结果，因其随着连续重复实验而消退。为了解决这一问题，曾用第1类中的2名被试者在同一次实验时，连续进出冷室数次。所得结果颇为一致，结果见图2。由图2(I)可以看出第1次入冷室时产热量增高，出冷室后很快降低。第2次入冷室时增高的程度低于第1次，第3次又低于第2次。这表示探求反射的消退。至于图2例1第4次入冷室产热量的大量增高可能是属于后期化学性的反

致，结果见图2。由图2(I)可以看出第1次入冷室时产热量增高，出冷室后很快降低。第2次入冷室时增高的程度低于第1次，第3次又低于第2次。这表示探求反射的消退。至于图2例1第4次入冷室产热量的大量增高可能是属于后期化学性的反

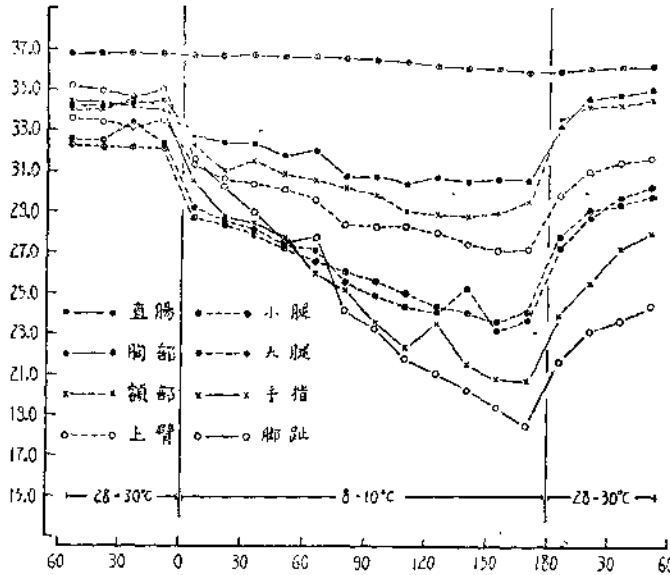


图3 表示由热环境(28—30°C)转入冷室(8—10°C)的直肠温和身体各部位皮温的平均值变化

应。第3类的1例(例3)进行了和第1类相同的观察，结果见图2(III)。这例因为没有探求反射，所以不见有递次进入的降低现象，而是递次进入渐趋增高。至于第2类的试验初期呈下降现象，系属何故，本实验没有资料可以说明。

口腔或直肠温度在曝寒120分钟后开始下降，惟这时产热已大大增加。这说明在第1次曝寒时，人体产热尚不能和散热相适应而使两者取得平衡。

曝寒时皮温的下降，随曝寒的实际温度和人体各部位而有不同。图3为3例曝寒在8—10°C时的平均结果，表示在同一曝寒温度下，皮肤各部位的温度变化不同。由图3可以看出，在曝寒的不同时间内各部

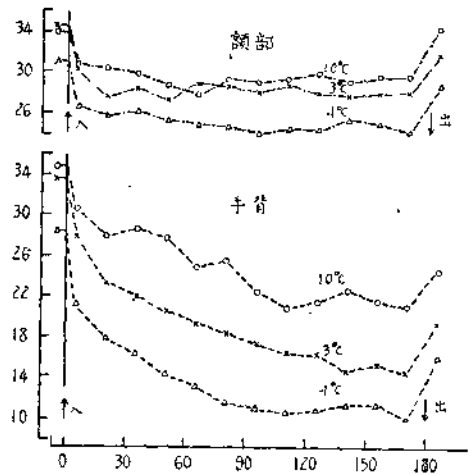


图4 曝寒的实际温度同皮温下降速度和程度的关系

3个被试者3次实验结果。曝寒温度都低于室温20°C

位皮温的降低速度和程度也都有异,在室温 28—30°C 时,各部位皮温相差仅为 3°C,而在出冷室前10分鐘时相差最大的脚趾与胸部达到 12°C 之多。曝寒 80分鐘以后胸部皮温即保持平稳状态,而手指、脚趾却仍在下降,直至出冷室为止。出冷室后45分鐘,除胸、額以外,其余各部位仍不能完全恢复原来入冷室前的水平。手背和額部等皮温的变化与曝寒时实际温度有关。图4代表在3种曝寒温度时的手背及額部的温度变化,說明曝寒温度为 10°C 时,額、手两处皮温下降的速度和程度都較小于一 1°C,而 3°C 的却介于两者之間。

曝寒时全部皮温都呈下降反应;其中以手、脚为最快且最多,其次为大、小腿,胸和額却較慢。在第 1 小时下降速度最快,以后胸部就渐趋于稳定;手、脚仍在下降。这和 Freeman、Nickerson<sup>(5)</sup>、Burton 等<sup>(6)</sup> 所見相同。

这次观察 13 人的呼吸和脉搏变化,每人都一致,平均結果见图 5。

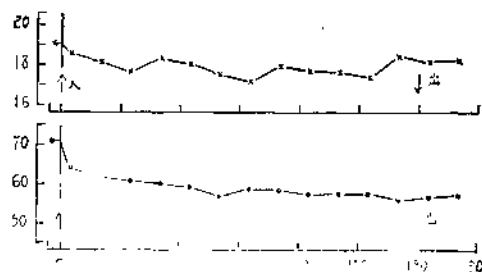


图 5 曝寒时脉搏和呼吸平均值的变化

(2) 曝热反应 曝热时的每人各项生理反应頗为一致,因此以 9 人的平均值繪成图 6,就可表示曝热前、后和当时的产热量、直腸温和身体各部位皮温的变化。产热量和直腸温度在入热室后降低,65—70分鐘后开始恢复,到要出热室前,达到原来水平。

在环境温度为 10.5—13.5°C 时,身体各部位皮温相差很大(图 6);胸部最

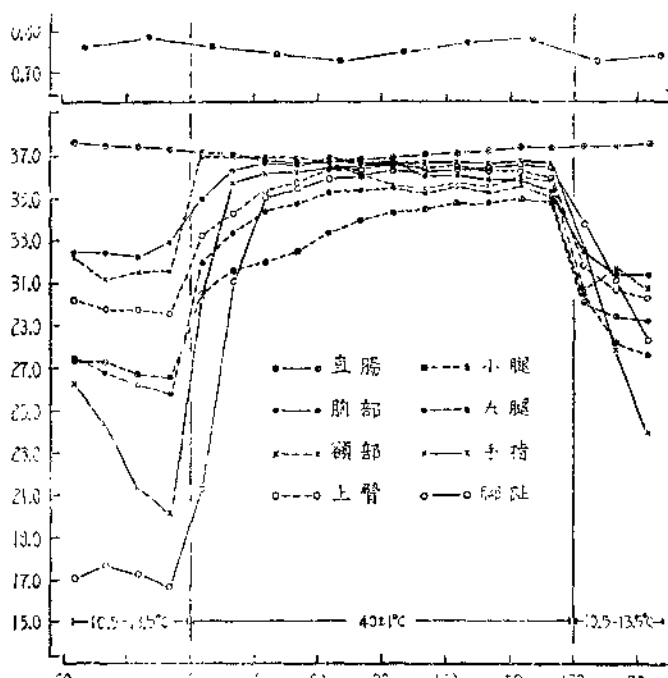


图 6 由冷环境轉入热室(40±1°C)的产热量、直腸温和各部位皮温平均值的变化



高，脚趾最低；两者相差  $16.0^{\circ}\text{C}$ ；胸与手指相差  $12.6^{\circ}\text{C}$ 。入热室后各部位皮温均很快升高；原来温度低的升高快，所以曝热35分鐘后，胸与脚趾之间的皮温仅相差  $1.6^{\circ}\text{C}$ ，胸和手指之差仅为  $0.5^{\circ}\text{C}$ 。出热室后各部皮温都很快下降；但出热室后

35分鐘，除出汗較多的胸，額两处反而略低于入热室前之外，其他各部位一时尚不能恢复至原来水平。

9例被試者的呼吸和脉搏频率在曝热时都显示逐渐增高，待出热室后就降低（图7）。

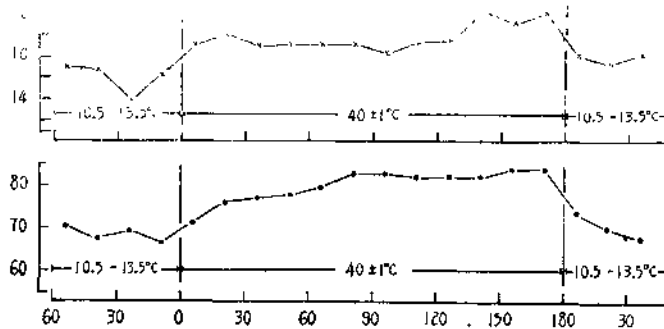


图7 由冷环境转入热室 ( $40 \pm 1^{\circ}\text{C}$ ) 的呼吸和脉搏的平均值的变化

Stasser 引自<sup>(7)</sup>曾报告过冷水浴后回到室温或慢慢用温水使身体复暖时，直肠温度有降低的现象，和我们所得到的结果相类似。Bazett<sup>(8)</sup>和 Bernstein 等<sup>(9)</sup>认为此种现象是血流重新分布所造成，就是由皮肤带回温度較低的血液而使直肠温度下降。但是我们的实验结果表明，散热超过产热实为更重要的因素。如图6所示，

各部位皮温于入热室后立即上升，出汗虽然稍迟（平均为入室后55分鐘），但也出现于肠温恢复前，可见散热之大大增加。同时热的产量仍在继续下降，直到70分鐘后，才开始上升。由此可知，曝热的初期既然产热降低，散热又增加，两者失去平衡，因而导致直肠温度下降。

## II. 重复锻炼对体温适应的效果

(1) 曝寒锻炼 被試者3人，进行了不同天次的重复曝寒锻炼。第1例锻炼10天，总共曝寒8次；第2例锻炼8天，总共曝寒6次；第3例在2星期內曝寒共10次。图8所示为第3例的结果。图中第10次較第1次的最低口腔温度高  $0.7^{\circ}\text{C}$ 。这和 Daniels 氏等<sup>(10)</sup>在直肠温度所见的现象相似。皮肤温度在锻炼期中保持不变。在这一例的曝寒时间中，产热量也随锻炼次数的增多而增高。如图中数字所示，第1次曝寒到150分鐘时，每平方米产热量为116仟卡，第4次134仟卡，第8次135

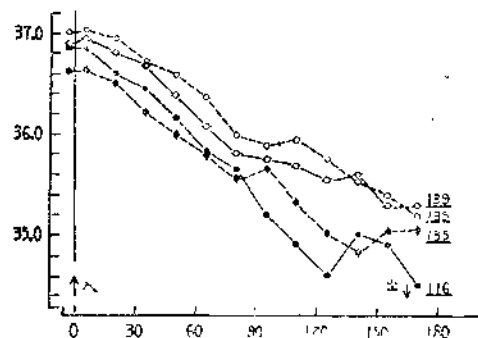


图8 重复曝寒锻炼对口温和产热量的影响  
—○— 第1次(第1天), ●—●— 第4次(第6天),  
○—○— 第8次(第12天), -○-○- 第10次(第14天)。  
数字表示曝寒150分鐘的总产热量, 单位为仟卡/米<sup>2</sup>/150分鐘。