

高溫環境下의 作業耐力에 關한 研究

Study on the Maximum Tolerance of the Working time under the High Temperature Conditioning Environment

서울大學校 醫科大學 豫防醫學敎室
 <指導 金 仁 達 敎授>

李 文 奇

目 次

第1章 緒 論
 第2章 實驗方法
 1. 實驗對象
 2. 實驗室의 條件
 3. 作業負荷 및 作業耐力時間의 決定
 4. 諸生理的要因의 測定方法
 第3章 實驗成績
 1. 各 高溫環境別 作業耐力時間
 2. 高溫曝露時間別 作業耐力時間變化
 3. 高溫曝露中 諸生理的 要因의 變化
 第4章 考 按
 第5章 結 論

第1章 緒 論

攝取된 飲食物은 體內에서 主로 化學的 過程에 依하여 熱을 生産하고 體溫維持外의 過剩熱은 輻射, 傳導 및 蒸發(排泄도 包含)等의 主로 物理的作用에 依하여 放出되는 것이 잘 알려져 있는 事實로서 이러한 體溫의 調節은 體性神經, 自律神經 및 內分泌系統等 여러 機能의 統合으로서 이루어지며 이 統合은 視床下部가 調節中樞로써 役割하는데 腦幹 및 脊椎로부터 나가는 各種의 遠心性 Neuron에 影響을 미쳐서 骨骼筋, 平滑筋 및 腺活動을 左右하게 된다. 이 結果로 因하여 熱生産과 熱放出的 收支에 均衡이 이루어지는 것이 正常狀態이지만 때로는 外的 內的 作因으로 이 均衡을 維持못하여 異常體溫을 나타내게 된다. 異常體溫을 자아내는 條件으로서 外的 內的 여러가지 原因이 있으나 이에는 高溫과 高濕이 繼續될때 일어나는 體溫上昇으로 하여금 生活機能에 어떻게 作用하나 觀察하기로 한다.

高溫, 高濕環境下에서 代謝率이 높은 筋作業을 할 境遇에 熱中症이 發生하기 쉬운은 實驗的報告나 實際로 發生한 많은 症例報告에서 볼 수 있다.^{1,2,3,4,5}

外氣環境條件의 物理的原因으로써의 溫熱條件에 對한 作業限界時間의 決定은 作業代謝率別, 溫度高低別로 各 各 追窮되어야 하며 다른 나라에 있어서는 이미 人體實驗을 通한 溫度別 代謝率別 作業限界時間에 關한 業績이 많으나^{6,7} 우리나라에 있어서는 이에 關한 研究報告가 거의 없다. 우리나라에 있어서는 溫度的 高低에 따라 또 代謝率의 差異에 따라 어떠한 作業限界가 提示될 것인가 興味있는 事實로서 高溫下에 있어서의 軍作戰 및 特殊工業人의 高溫作業에 對한 忍限度가 要求되는 觀點에서 著者는 一定強度의 作業代謝率을 各級 高溫環境에서 負荷시켜 溫度別 作業耐力時間을 測定하고 또한 高溫環境에 長時間 曝露시키므로써 生인 諸生理的 要因의 變化가 高溫曝露後의 作業耐力時間의 變化에 미칠 影響을 檢討코져 이 研究를 企圖하였는데 著者의 이 研究結果가 우리나라에 있어서의 作業限界를 提示하고 集團作業에 物理的 條件 標準化를 試圖하는데 一助가 된다면은 후으로 생각한다.

第2章 實驗方法

1. 實驗對象

21歲에서 26歲에 達하는 韓國人 健壯青年 16名을 對象으로 하고 各各 다음과 같은 條件下에서 實驗을 實施

群 別	人員數	溫度環境 (乾球溫度)	濕 度 (比 濕)	測定項目
對 照 群	8	25~27 °C	(60~65) %	○作業耐力 時間測定
33 C 實驗群	8	33	(53~61)	○各1,2,3時間 曝露後諸生 理的 要因의 變化觀察
35 //	8	35	(50~58)	○作業耐力 時間測定
37 //	8	37	(46~49)	//
40 //	8	40	(40~42)	//

하였다.

對照群과 33°C 35°C 37°C 實驗群에 4 群에 對하여는 實驗對象을 同一人으로서 反復實施하였으며 40°C 實驗群에 對하여는 實驗進行上의 事情과 長時間에 걸친 高溫 曝露實驗으로 因한 高溫馴化의 影響을 除去할 目的으로 다른 對象人員으로 實驗을 進行시켰다.

2. 實驗室의 條件

本實驗은 서울醫科大學豫防醫學教室에 施設되어 있는 恒溫室에서 行하였다. (恒溫室 幅 150 cm. 長 240 cm. 高 210 cm) 恒溫室內 溫度上昇에는 110 volt 150 watt 의 電氣 Heater 6 個를 使用하였으며 室內의 溫度調節은 電氣 Heater 의 稼動數에 依하였다. 比較濕度는 室內溫度上昇에 따라 低下되었으나 濕度調節施設의 未備로 濕熱條件을 乾球溫度에 依하여서만 表示하기로 하였으며 이는 實際適用面에 있어서 便利하다는 利點이 있다.

3. 作業負荷 및 位業耐力時間의 決定

25 cm, 50 cm 의 2 段階을 1 分間에 15 回 昇降시키므로써 約 4.0 에 該當되는 에너지代謝率(R.M.R.)의 作業을 負荷하였다. 作業耐力時間은 三浦, 鈴木⁶⁾ 등의 方法에 따라 脈搏數가 150/分에 到達하는 時間을 가지고 表示하기로 하였다.

4. 諸生理的要因 測定方法

i) 酸素消耗量 및 作業後 에너지代謝量

Douglas bag 을 one-way Valve 가 달린 Gas-Mask 에 連結하여 採集한 呼氣를 scholander 의 Micro-Gas Analyzer 法으로⁹⁾ O₂ 의 濃度を 分析하였고 呼氣量은 wet gas meter 로 測定하여 分時換氣量을 測定하였다. 吸氣中의 O₂ 濃度は 20.9% 一定한 것으로 看做하여 다음式에 依하여 酸素消耗量을 計算하였다. 即

$$V_{O_2} = V_E(F_{I O_2} - F_{E O_2})$$

F_IO₂; 吸氣中의 O₂%濃度

F_EO₂; 呼氣中의 //

V_E ; 分時換氣量(cc/min)

V_O ; 分時酸素消耗量(cc/min)

作業後 에너지 代謝率(Relative metabolic Rate R.M.R.)은 다음式에 依하여 計算하였다.

에너지 代謝率(R.M.R.)

$$= \frac{\text{作業時消費에너지} - \text{安靜時消費에너지}}{\text{基礎代謝}}$$

基礎代謝는 Du Bois 式(W^{0.425} + H^{0.725} × 71.84)에 依하여 計算된 體表面積을 基準으로 하여 曹¹⁷⁾가 報告한 韓國人의 基礎代謝量成績을 가지고 換算하였다.

ii) 直腸溫測定

直腸溫은 Direct-Reading Thermister 體溫計를 使用하여 測定하였다.

iii) 發汗量의 測定

總發汗量을 實驗前後 50 gm 感度の 體重計를 使用하여 體重減少를 測定한 後 이를 汗의 比重 1.003 으로 除하여 總發汗量으로 삼고 體表面積 1 m² 當 1 時間의 發汗量으로 表示하게 하였다.

iv) 血漿內 Na 量의 測定

血漿內 Na 量은 Direct Reading Flame photometer (Beckmann Model)을 使用하여 測定하였다.

v) 血漿水分量의 測定

血漿水分量은 黑田氏⁹⁾의 水分微量測定法에 依하인 測定하여었다.

第 3 章 實驗成績

1. 各高溫環境別 作業耐力時間

各 高溫環境에 따른 作業耐力時間을 測定한바 第 1 表 第 1 圖와 같다. 即 對照群(27°C 常溫)에 있어서는 平均

Table 1. Maximum working time under high temperatures (R.M.R. 4)

Exp. No.	Name	Age	Group				Exp. No.	Name	Age	Group 40°C GP.
			cont. GP.	33°C GP.	35°C GP.	37°C GP.				
			min	min	min	min				min
1	백 ○ 병	23	27	25	19	17	9	한 ○ 식	22	12
2	박 ○ 원	21	25	22	16	15	10	이 수 ○	19	14
3	양 ○ 원	24	28	26	21	19	11	조 ○ 기	23	9
4	김 창 ○	23	22	20	15	16	12	손 돈 ○	25	15
5	박 중 ○	23	24	21	16	15	13	김 ○ 수	20	7
6	이 ○ 구	22	26	23	18	18	14	이 동 ○	23	12
7	오 부 ○	25	25	22	15	13	15	전 ○ 수	21	8
8	이 진 ○	23	29	26	17	18	16	민 경 ○	24	10
Average			27.5	23.1	17.1	16.4	Average			10.9
* S.D.			2.25	2.29	2.10	1.99	S.D.			2.83
** P.				0.01>P>0.001	0.01>P>0.001	<0.001	P.			<0.001

* S.D.: Standard Deviation ** p: Probability

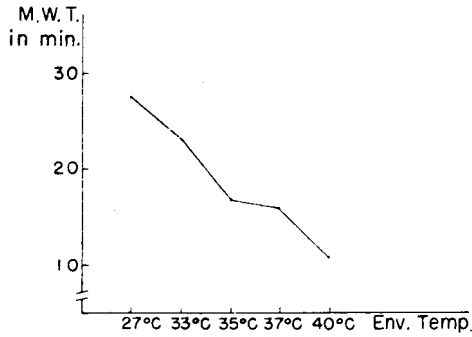


Fig. 1. Average maximum working time under high temperatures (R.M.R. 4)

25.7分, 33°C 群은 23.1分, 35°C 群은 17.1分, 37°C 群은 16.4分 40°C 群에 있어서는 11.4分으로써 環境溫度 上昇에 따라 耐力時間이 漸次로 短縮되고 있다. 35°C 群과 37°C 群에 있어서는 各各 17.1分 및 16.4分으로써 큰 差가 없으며 37°C 群과 40°C 群 및 33°C 群과 35°C 群 사이의 差는 各各 5分 및 6分으로써 他群間에 비해 높은 便이다. 對照群의 成績과 比較할 때, 모두 統計的으로 意義있는 差를 보이고 있다.

2. 高溫曝露時間別 作業耐力時間變化

高溫曝露時間에 따른 作業耐力時間의 變化를 본 結果 第2表, 第2圖와 같다.

即 33°C 群에 있어서는 1時間, 2時間, 3時間 曝露後 作業耐力時間은 各各 20.6分 18.6分 15.5分으로써 曝露 即時의 耐力時間인 23.1分에 비해 各各 2.5分 4.5分 7.6分씩 短縮되어 있어 高溫曝露時間이 길어질수록 耐

力時間은 짧아지는 傾向을 보이고 있다. 35°C 群에 있어서는 1時間, 2時間, 3時間 曝露後에 各各 3.7分 7.5分, 8.2分 耐力時間이 短縮되었으며 2時間後와 3時間後 사이에는 0.7分の 僅少한 差가 있는 反面 1時間後와 2時間後 사이에는 3.8分으로써 差가 크다. 耐力時間의 短縮되는 程度는 33°C 群에 비해 크다. 37°C 群에 있어서는 1時間後, 2時間後에 있어서 各各 7.1分, 8.6分 耐力時間이 短縮되어 있어 1時間後와 2時間後 사이에 大差가 없어 短縮度도 35°C 群의 2時間後 및 3時間 曝露後와 近似하다. 40°C 群에 있어서는 1時間後, 2時間後에 있어서 各各 5.2分, 6.8分으로써 37°C 群보다 短縮程度가 甚하지 않다. 33°C 群에 있어 1時間 曝露와 2時間 曝露 사이의 差는 統計的으로 意義가 없으며 $0.3 > P > 0.2$ 다른 群에 있어서는 모두 統計的인 意義가 크다.

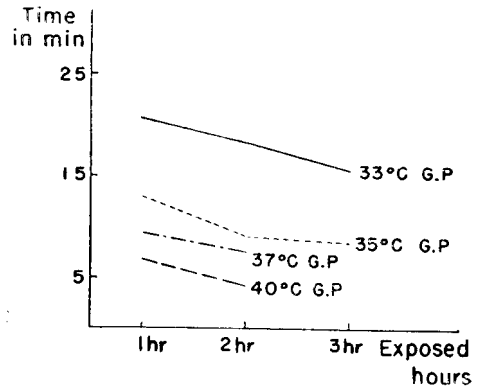


Fig. 2. Maximum working time of subjects exposed to high temperature.

Table 2. Maximun Working time of subjects exposed to high temperature.

Exp. GP.	33°C GP.			35°C GP.			37°C GP.		Exp. GP.	40°C GP.		
	Exposed hours	1 hr	2 hr	3 hr	1 hr	2 hr	3 hr	1 hr		2 hr	Exposed hours	1 hr
Exp. No.									Exp. No.			
1	23	21	17	15	10	9	10	8	9	7	3	
2	20	18	15	12	9	10	9	7	10	9	14	
3	23	22	19	16	12	10	11	7	11	6	2	
4	16	14	12	11	7	7	8	6	12	8	4	
5	19	17	14	11	8	7	7	—	13	5	2	
6	22	20	17	14	10	9	10	8	14	8	3	
7	18	15	12	12	10	10	9	—	15	5	2	
8	24	22	18	16	11	9	11	8	16	7	3	
Average	20.6	18.6	15.5	13.4	9.6	8.9	9.4	7.3	Average	6.9	4.1	
S.D	2.82	3.11	2.67	2.13	1.59	1.25	1.42	0.76	S.D	1.45	3.77	
P		0.3 > P > 0.2	0.01 > P > 0.02		0.01 > P > 0.001	< 0.001		0.01 > P > 0.001	P		0.01 > P > 0.001	

3. 高溫曝露中 諸生理的要因의 變化

i) 脈搏數의 變動成績

高溫下 脈搏數의 變動을 본 成績은 第3表와 第3圖와 같다. 卽

33°C 曝露에 있어서 各各 1時間, 2時間, 3時間 曝露後에 있어 常溫에 比해 7.95%, 6.88%, 6.91%씩 脈搏數가 增加되어 있어 時間別로는 큰 差가 없다.

35°C 群에 있어서는 1時間, 2時間, 3時間 曝露後 脈搏은 各各 21.65%, 20.7%, 25.45%씩 增加되어 있어 33°C 群에 比하면 매우 큰 增加率을 보이고 있다. 37°C 群에 있어서는 1時間 및 2時間 曝露後 脈搏은 各各 34.5%, 42.58%나 增加된 成績을 보이고 있다. 40°C 群에 있어서는 1時間 및 2時間後 各各 45.4%, 48.2%나 脈搏의 增加를 보이고 있어 35°C 以上의 高溫에서는 脈搏數의 增加變動이 顯著히 나타나기 始作하며 曝露時間이 길어질수록 脈搏은 繼續增加되는 傾向을 보이고 있다.

統計的으로 보면 33°C 群에 있어서는 曝露時間別 脈搏變化의 差가 統計的으로 意義가 없으며 35°C에 있어

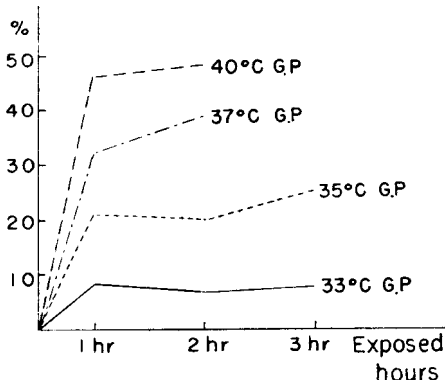


Fig. 3. Changes in pulse rate.

서도 1時間과 2時間 曝露 사이에 差異는 意義가 없다. 40°C에 있어서도 1時間後나 2時間後나 脈搏의 變化된 것의 差가 統計的으로 意義가 없는 것으로 되어 있다.

ii) 酸素消耗量 및 에너지代謝率(R.M.R.)의 變化

高溫下 酸素消耗量과 에너지 代謝率의 變化를 본 結果 다음 第4表와 第4圖와 같다. 卽

33°C 群에 있어서는 1時間, 2時間, 3時間 曝露後 酸素의 消耗量 12.85%, 14.35%, 16.0% 增加하였고 R.M.R.은 4.76, 4.80, 4.58 로서 酸素의 消耗量은 高溫曝露後 繼續 增加함에 反하여 高溫曝露後 作業時의 R.M.R.은 큰 變動이 없는 結果를 보여주고 있다.

35°C 群에 있어서는 1時間, 2時間, 3時間 曝露後 酸素의 消耗量은 各各 18.31%, 17.58%, 16.68% 增加하

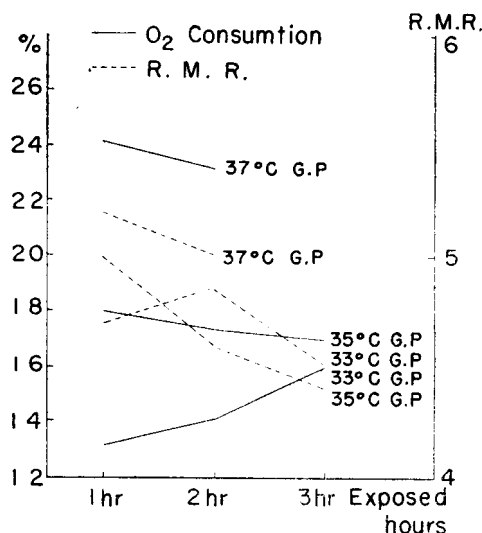


Fig. 4. Changes in oxygen consumption.

Table 3. Changes in pulse rate

Exp. GP. Exposed hours	33°C GP.			35 C GP.			37°C GP.		Exp. GP. Exposed hours	40°C GP.	
	1 hr	2 hr	3 hr	1 hr	2 hr	3 hr	1 hr	2 hr		1 hr	2 hr
Exp. No.	%	%	%	%	%	%	%	%	Exp. No.	%	%
1	+8.2	+7.1	+7.3	+21.3	+22.4	+29.3	+35.2	+43.2	9	+42.0	+46.0
2	+8.2	+6.8	+6.7	+22.2	+20.2	+26.2	+37.3	+44.8	10	+38.0	+40.0
3	+6.7	+6.3	+6.6	+19.6	+18.4	+22.4	+32.3	+41.7	11	+51.0	+52.0
4									12	+40.0	+45.0
5	+8.8	+7.2	+7.4	+25.8	+26.3	+27.2	+40.0		13	+56.0	+58.0
6	+8.5	+7.4	+7.0	+23.4	+22.4	+26.5	+34.2	+43.2	14	+44.0	+46.0
7	+8.8	+8.0	+8.2	+21.2	+19.4	+26.4	+36.4		15	+54.0	+58.4
8	+5.2	+5.5	+5.2	+18.2	+11.0	+21.2	+32.6	+39.0	16	+46.0	+48.0
Average	+7.95	+6.88	+6.91	+21.65	+20.7	+25.45	+34.50	+42.58	Average	+46.37	+48.75
S.D	1.58	0.82	0.92	2.47	3.33	2.82	2.90	2.32	S.D	6.59	5.81
P		0.1 > P > 0.2	0.1 > P > 0.2		N. S	0.02 > P > 0.05		< 0.001	P		0.5 > P > 0.4

Table 4. Changes in oxygen consumption & R.M.R.

Exp. Group Exposed hours or R.M.R. Exp. No.	33°C GP.						35°C GP.						37°C GP.			
	1 hr		2 hr		3 hr		1 hr		2 hr		3 hr		1 hr		2 hr	
	O ₂ Cons.	R.M. R	O ₂ Cons.	R.M. R	O ₂ Cons.	R.M. R	O ₂ Cons.	R.M. R	O ₂ Cons.	R.M. R	O ₂ Cons.	R.M. R	O ₂ Cons.	R.M. R	O ₂ Cons.	R.M. R
1	+15.3	5.0	+14.7	4.9	+16.8	4.2	+20.2	5.2	+19.1	4.6	+17.9	4.4	+25.6	5.4	+26.5	5.3
2	+14.2	4.8	+14.3	4.8	+17.3	4.4	+18.3	4.9	+18.1	4.4	+16.4	4.3	+24.6	5.6	+24.3	5.1
3	+10.7	4.2	+11.2	4.4	+15.4	4.5	+15.7	4.3	+14.5	4.2	+14.3	4.3	+21.3	4.8	+22.2	4.9
4	+17.4	5.4	+16.8	4.7	+17.6	4.3	+19.6	5.3	+17.4	4.8	+17.2	4.5	+27.8	5.4	---	---
5	+16.2	4.8	+16.6	4.8	+16.4	4.6	+19.8	5.6	+19.9	4.6	+18.3	4.2	+26.6	5.1	---	---
6	+14.5	4.6	+15.1	4.7	+15.8	4.7	+18.2	4.8	+17.3	4.7	+17.2	4.8	+22.4	4.9	+24.2	4.5
7	+16.3	5.1	+16.7	5.6	+18.6	5.1	+22.3	5.2	+20.1	4.9	+18.2	4.7	+26.8	5.6	---	---
8	+ 8.2	4.2	+ 9.4	4.5	+10.3	4.8	+12.4	4.8	+14.2	4.5	+14.0	4.4	+21.4	5.1	+22.3	5.2
Average	12.85	4.76	14.35	4.8	16.03	4.58	18.31	5.0	17.58	4.59	16.68	4.45	24.56	5.24	23.91	5.0
S.D	3.70	0.42	2.72	0.36	2.53	0.29	3.05	0.4	2.25	0.23	1.69	0.21	2.56	0.31	1.77	0.32
P			0.1 < P < 0.3	N. S	0.1 < P < 0.5	0.4 > P > 0.3			N. S	N. S	0.2 < P < 0.3	N. S	N. S	N. S	N. S	0.2 < P < 0.3

였고 R.M.R 은 5.0, 4.59, 4.45 로서 曝露時間이 延長됨에 따라서 酸素消耗量이나 R.M.R 은 減少의 傾向을 보이고 있다는 것이 33°C 群에 비해 다르며 酸素消耗量의 增加度는 35°C 群에 있어 더 높다. 37°C 群에 있어서는 1時間 및 2時間 曝露에 있어서 酸素消耗量은 24.56%, 23.97% 增加되어 있으며 R.M.R 은 各各 5.24, 5.20 으로서 酸素消耗量은 顯著한 增加의 傾向을 보이고 있으며 R.M.R 도 33°C 群이나 35°C 群에 比하면 增加된 結果를 보이고 있다. 各 溫度에 있어 曝露時間別로 본 酸素消耗量의 變化 및 R.M.R 의 變化間의 差는 統計的으로 意義가 없는 結果를 보이고 있다.

iii) 直腸溫의 變化成績

高溫下 直腸溫의 變化를 본 結果 第5表와 第5圖와 같다. 即

33°C 群에서는 各 曝露時間別로 큰 變化가 없었으며 35°C 群에 있어서는 마찬가지로 큰 變化가 없다. 37°C 群에 있어서는 1時間 0.3°C, 2時間後에 0.5°C 上昇된 結果를 보이고 있으며 40°C 群에 있어서는 1時間後에 0.7°C, 2時間後 1.6°C 로서 顯著한 直腸溫度的 上昇을 보여 주고 있다. 33°C 群에 있어서는 曝露時間別 直腸溫變化의 差가 統計的으로 意義가 없으며 35°C, 37°C, 40°C 群에 있어서는 各各 그 差의 意義가 크다.

Table 5. Changes in rectal temperature. (°C)

Exp. No.	Exp. GP. Exposed hours	33°C GP.				35°C GP.				37°C GP.			Exp. GP. Exp. No. hr.	40°C GP.			
		0	1 hr	2 hr	3 hr	0	1 hr	2 hr	3 hr	0	1hr	2hr		0	1 hr	2 hr	3 hr
1		37.0	37.1	37.1	33.2	36.9	37.1	37.3	37.5	37.0	37.2	37.5	9	36.9	37.7	38.5	
2		36.8	36.9	36.8	37.0	36.9	37.0	37.2	37.3	36.9	37.3	37.7	10	37.1	37.7	38.6	
3		37.1	37.2	37.2	37.1	37.2	37.3	37.3	37.4	37.1	37.2	37.4	11	36.9	37.8	38.8	
4													12	36.8	37.5	38.5	
5		36.9	36.9	37.0	37.2	37.0	37.1	37.4	37.6	37.1	37.4		13	37.0	37.7	38.6	
6		37.1	37.1	37.2	37.2	37.2	37.2	37.3	37.4	37.2	37.4	37.6	14	36.8	37.7	38.5	
7		36.8	36.8	36.9	36.9	37.0	37.1	37.3	37.6	37.0	37.3		15	36.9	37.4	38.4	
8		37.2	37.2	37.3	37.3	37.1	37.1	37.2	37.1	37.0	37.2	37.4	16	37.1	37.7	38.7	
Average		36.9	37.0	37.1	37.1	37.1	37.1	37.3	37.4	37.0	37.3	37.5	Average	36.9	37.6	38.5	
S.D		0.19	0.16	0.18	0.14	0.14	0.02	0.02	0.17	0.70	0.09	0.13	S.D	0.12	0.14	0.13	
P		0.3 < p < 0.4	0.3 < p < 0.5	0.2 > p > 0.05		N.S	0.01 > p > 0.001	0.01 > p > 0.001		<	<	0.001	P	<	<	0.001	

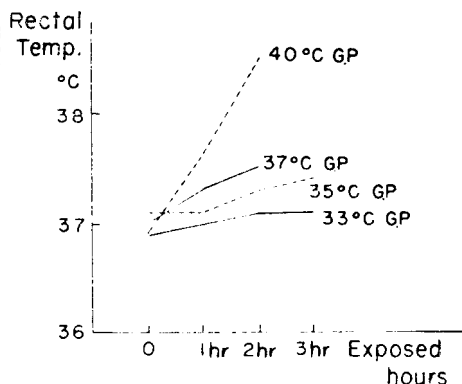


Fig. 5. Changes in rectal temperature.

iv) 發汗量의 變化成績

高溫下 發汗量의 變化를 본 結果 第 6 表와 第 6 圖와 같다. 即

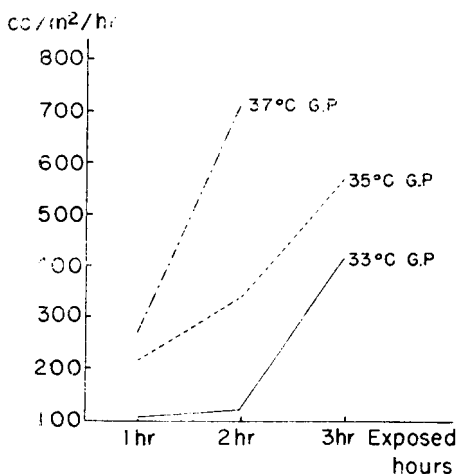


Fig. 6. Changes in Sweating rate.

33°C 群에 있어서는 3 時間 曝露後와 發汗量이 225 cc/M²/hr 였으며 35°C 있어서는 1 時間, 2 時間, 3 時間, 曝露後 各各 225 cc/M²/hr 340 cc/M²/hr 567 cc/M²/hr 로써 3 時間曝露後의 發汗量은 33°C의 그것에 비해 2.5 倍나 發汗量이 增加되어 있다. 各溫度別 曝露時間別 發汗速度의 變化의 差는 統計的으로 意義가 높다.

V) 血漿內 Na 量 및 水分量의 變化 成績

高溫下 血漿內 Na 量과 水分量의 變化를 본 結果 第 7 表 및 第 7 圖와 같다. 即 血漿內 Na 量이나 水分의 量의 變化는 各溫度別로 發汗量이 顯著히 다름에 反하여 別로 變動이 없는 成績을 보이고 있었다. 血中 Na 및 水分量의 曝露時間別 變化의 差는 統計的으로 別 意義가 없다.

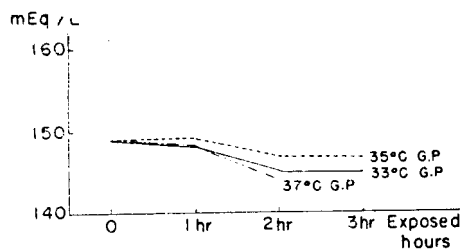


Fig. 7. Changes in blood Na Concentration

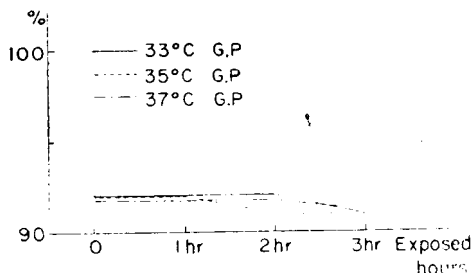


Fig. 8. Changes in plasma water

Table 6. Changes in sweating rate(cc/m²/hr)

Exp. No.	Group Exposed hours	33°C GP.			35°C GP.			37°C GP.	
		1 hr	2 hr	3 hr	1 hr	2 hr	3 hr	1 hr	2 hr
1		83.3	138.9	250.0	250.0	361.1	527.8	305.6	722.2
2		111.1	138.9	222.2	222.2	333.3	472.2	250.0	527.8
3		111.1	166.8	222.2	194.4	484.4	638.9	333.3	777.8
4		83.3	111.1	194.4	222.2	305.6	444.4	222.2	
5		111.1	83.3	166.8	194.4	277.3	527.8	222.2	
6		111.1	111.1	250.0	222.2	361.1	666.7	277.8	666.7
7		83.3	111.1	222.2	250.0	305.6	611.1	194.4	
8		138.9	166.7	227.8	250.0	333.3	722.2	361.1	833.3
Average		104.10	128.45	406.25	225.69	340.27	576.38	270.83	705.55
S.D.		19.61	29.41	34.62	23.20	50.89	98.25	58.92	117.16
P			0.01 < p < 0.05	< 0.001		< 0.001	< 0.001		< 0.001

Table 7. Changes in blood Na concentration.

Exp. group Exposed hours Exp. No.	33°C GP.				35°C GP.				37°C GP.		
	0	1 hr	2 hr	3 hr	0	1 hr	2 hr	3 hr	0	1 hr	2 hr
1	146	148	143	144	147	145	145	146	146	143	142
2	148	146	142	140	149	148	147	148	149	146	143
3	151	152	151	149	148	150	148	143	147	145	144
4	152	151	148	146	150	147	145	146	151	150	—
5	142	143	145	147	154	151	146	147	153	151	—
5	158	152	151	150	150	151	151	150	149	142	142
7	151	150	142	143	150	152	151	152	151	156	—
8	147	142	142	144	148	147	148	147	149	152	150
Average	149.4	148.0	145.5	145.4	149.5	149.1	147.6	147.4	149.4	148.1	144.2
S. D	4.78	3.96	3.96	3.29	2.13	2.35	4.08	2.50	2.26	48.8	3.34
P		N.S	N.S	0.1>P >0.05		N. S	0.3>P >0.2	0.1>P >0.02		0.6>P >0.50	0.01>P >0.001

Table 8. Changes in plasma water (%)

Exp. group Exposed hours Exp. No.	33°C GP.				35°C GP.				37°C GP.		
	0	1 hr	2 hr	3 hr	0	1 hr	2 hr	3 hr	0	1 hr	2 hr
1	91.4	91.3	91.0	91.1	91.8	91.6	91.3	91.1	91.6	91.3	91.1
2	92.2	92.2	92.2	91.7	92.4	92.5	91.8	91.5	92.3	92.1	91.8
3	92.6	92.5	92.4	92.0	92.3	92.2	91.8	91.5	92.2	92.2	91.9
4											
5	92.8	92.0	92.1	91.8	92.7	92.6	92.5	91.3	92.3	92.1	—
6	91.4	91.5	91.5	91.6	91.2	91.3	91.2	91.0	91.1	91.2	91.1
7	92.7	92.6	92.4	92.2	92.6	92.5	92.6	92.0	92.4	92.4	91.8
8	92.4	92.2	92.1	92.0	92.2	92.3	92.0	91.7	92.0	91.8	91.5
Average	92.21	92.04	92.10	91.77	91.17	92.14	91.89	91.47	91.99	91.87	91.53
S.D	0.59	0.66	0.50	0.36	0.66	0.50	0.54	0.38	0.47	0.46	0.36
P		N. S	N. S	0.2>P >0.1		N. S	0.5>P >0.4	0.05>P >0.02		N. S	0.1>P >0.05

第4章 考 按

1. 高溫環境別 作業耐力 時間變化에 關한 檢討

第9圖에 表示한 바와 같이 各高溫環境下에서의 作業의 耐力時間을 檢討컨데 三浦⁶⁾이 日本人被檢者에서 얻은 結果와 比較하여 33°C에 있어서는 거의 一致하며 33°C와 37°C에 있어서는 三浦의 成績이 낮으며 38°C에 있어서는 本成績에 比較 耐力이 延長되어 있다.

實驗結果의 數値를 嚴密히 比較하면 三浦의 實驗條件과 著者의 그것과 全部 合致된다고는 볼 수 없는데 이는 被檢對象과 人種的 差 生活環境의 差에서 오는 溫度 및 作業耐力의 差도 考慮치 않을 수 없으나 大體로 本成績이나 三浦의 成績에 있어서 35°C를 境界로 하여 顯著한 耐力 時間의 減少가 오는 것은 高溫環境에서의 體溫 調節에 있어서 35°C부터는 體熱放散이 거의 100%가

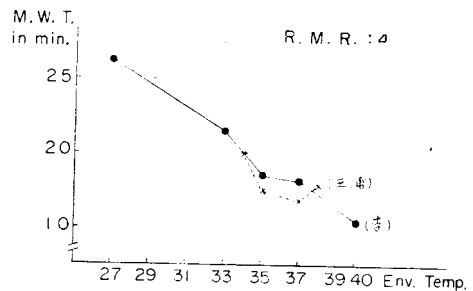


Fig. 9. Comparison of maximum working time with Miura's results

發汗에 依存하게 된다는 事實에 비추어서 體熱生産이 增加되는 作業負荷에 있어서는 Robinson¹⁰⁾이 指摘하고 있는 바와 같이 Heat strain이 커져서 빠른 時間內에 높은 脈搏數를 나타내서 結果적으로 耐力時間의 顯著한 短縮이 오는것이 아닌가 生覺된다. 尹¹¹⁾이 73°C의 極限高溫에서 安靜時 耐力時間을 測定한 人體實驗 結果를 보면 耐力時間이 짧을수록 最高脈搏數에 到達하는 時間이 빠르며 이는 熱負擔(Heat Strain)과 正比例關係에 있으며 脈搏數의 變化만 가지고도 Heat Strain에 對한 個體差를 알수 있다고 主張하고 있다. 37°C 以上の 環境溫度는 日常 正常體溫範圍를 超過하는 것이므로 溫熱條件으로서는 最低極限高溫에 包含시킬 수 있고 따라서 體溫調節中에서도 發汗에 依한 物理的調節 하나만에 依存케 되는 同時에 作業負荷가 加해지는 境遇에 있어서는 徐徐히 鬱熱의 症候가 直腸溫의 變化에서 觀察될 수 있으며 이에 對한 反應으로써 心臟脈管系熱調節(Cardio-Vascular Thermal Regulation)의 指數인 脈搏數의 上昇傾向이 顯著해 짐은 理論적으로 能히 推定될 수 있는 바인데 脈搏數를 가지고 高溫下作業耐力時間의 限度의 指標로 삼는 理由가 鬱熱傾向을 脈搏이 直腸溫과 더부러 銳敏하게 指示하며 따라서 體溫調節의 破綻에 起因한 熱中症을 豫防키 위해 作業耐力時間을 脈搏數로 決定함이 容易하면서도 合理的인 方法이라고 볼 수 있다. 三浦의 成績은 本實驗成績과 달리 38°C에 있어 37°C에 비해 耐力時間이 오히려 延長되어 있는데 이는 前述한 脈搏變動의 諸機轉에 비추어서 首肯키 困難한 結果이다. 齊藤¹²⁾은 38°C 80% 比濕環境에 있어서 R.M.R 4의 作業은 實動率 40%(作業時間과 必要休憩時間의 比率) 以上은 困難하여 8分 作業하면 12分 以上 休息을 取하여야 된다고 主張하고 있다. 本實驗結果에 依하면 38°C로 該當되는 作業의 最大耐力時間은 14分 假量이므로 相互 符合되는 結果라고 보여 진다. 肉體勞動時에는 多量의 酸素가 必要하게 되며 따라서 呼吸循環系統은 이 需要를 充足키 爲하여 機能充進을 보이게 되며 橋本¹²⁾은 酸素需要量과 每分脈搏數 사이는 正比例關係가 存在한다고 報告하고 있다. 沼尻¹⁸⁾은 60例의 實驗值를 整理하여 脈搏數의 增加와 R.M.R 과의 相互關係가 매우 密接함을 觀察하여 脈搏數增加만 가지고도 R.M.R는 能히 推定할 수 있다고 報告하고 있다. 따라서 高溫環境下 作業時에 上述한 溫度調節을 위한 心臟脈管系熱調節과 肉體作動에 必要한 酸素供給을 위한 循環系의 機能充進이 脈搏의 增加速度를 支配하고 두 要素로서 作用한다고 보아야 할 것이다.

本實驗에 있어서 一定한 R.M.R를 負荷했다고는 하지만 같은 作業을 遂行하는데 있어서도 個人別作業效率이 다르기 때문에 酸素의 要求도가 같지 않으며 또한

體溫調節機能도 個體差가 있고 循環系의 反應態度도 同一치 않으므로 같은 溫熱條件 및 作業負荷를 시켰는데도 個人間의 耐力時間이 一定치 않고 差가 생기는 것으로 推定된다. 著者에 따라서 一定치는 않으나 最大作業耐力時間의 50%를 作業繼續可能한 時間으로 보고 各各 可能한 實動率을 基準으로 하여 35°C 以上の 溫熱環境에서 作業繼續時間과 要休憩時間을 算出하면 다음과 같다.

에너지代謝率(R.M.R)	4	4	4
實動率	40%	40%	25%
溫度條件(乾球)	35°C	37°C	40°C
作業繼續時間	9分	8分	5分
要休憩時間	13.5分	12分	20分

2) 高溫環境曝露時 作業耐力時間의 變化和 諸生理的變化的의 相關檢討

特別한 作業이나 運動負荷가 없이 坐位安靜狀態로 高溫環境에 長時間 曝露시킨後 作業負荷를 시킬 境遇에는 高溫環境 曝露에 起因한 여러 生理的條件의 變化가 豫想되고 또 이로 因한 影響으로 作業耐力 時間도 變化되리라는 것이 豫測할 수 있는 問題라 생각된다.

i) 作業耐力時間과 脈搏數變化와의 相關

各溫度에 있어 曝露時間別作業耐力時間의 短縮程度와 脈搏의 增加率을 比較하면 第10圖에 表示된 바와 같이 曝露時間後의 作業耐力時間의 短縮度는 脈搏의 增加率과 뚜렷한 比例傾向이 있음을 보여 주고 있다. 反面 2時間 및 3時間 曝露後에는 作業耐力時間의 繼續短縮傾向에 比하여 脈搏의 變動은 安定되어 크게 變하지 않는 傾向을 보이고 있다. 33°C 群에 있어 그 傾向이 顯著하다. 一時間曝露後 各群에 있어 脈搏數의 顯著한 增加傾向은 Wyndham¹³⁾나 尹¹¹⁾이 主張하고 있는 바와 같이 高溫曝露時 갑작스런 外氣溫度上昇에 따라 初期反應에 該當된 第一次 調節의 時期에 일어나는 現象으로 보아야 할 것이며 2時間 및 3時間 曝露後에는 急激反應에 이은 弛緩反應과 同時에 外氣溫度에 對하여 어느 程度의 適應이 일어나는 結果가 아닌가 생각한다.

ii) 酸素消耗量 및 에너지代謝率의 變化檢討

高溫曝露時 酸素의 消耗量은 體溫이 上昇하며 化學的反應의 促進으로 上昇되며 또한 體溫調節을 위한 循環器系 呼吸器系 및 發汗機能의 充進으로 代謝가 增加되어 酸素消耗量이 增加되는 것으로 알려져 있다. 本實驗成績에 依하면 外氣溫度上昇에 따라 酸素의 消耗量은 繼續增加하는 傾向을 보이고 있는 바 33°C 群에 있어서는 曝露時間이 延長됨에 따라서 繼續酸素의 消耗量이 增加

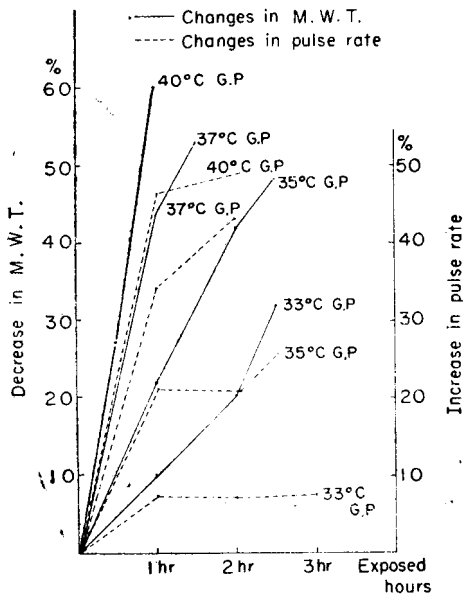


Fig. 10. Correlation between changes in M. W. T. & changes in pulse rate

하고 있는데 反하여 35°C 群과 37°C 群에 있어서는 2時間 및 3時間 曝露後의 消耗量이 1時間値에 比해 大差가 없다. 35°C 以上에 있어서는 體溫調節에 있어 全的으로 發汗에 依存하고 있으며 35°C 以下에선 Cardio vascular thermal regulation 과 physical regulation 이 같은 作用을 한다는 點에서 이러한 差가 生기는것으로 推定된다. 外界溫度上昇에 따라 酸素消耗量은 繼續 增加되는데 이는 直腸溫度의 上昇과 關聯된 傾向이라고 보아야 할 것이다.

各 時間別 曝露後 作業負荷時의 에너지 代謝率을 觀察해 보면 溫度別로 큰 差를 찾아 볼 수 없다. 高溫下에서 筋作業을 할 境遇에는 常溫때와는 달리 筋作業後의 回復 過程中的 酸素消耗가 長時間에 걸쳐 높은 값을 維持하지만 作業中에는 一定한 R.M.R 範圍의 酸素消耗만 한다는 三浦⁶⁾의 報告와 비슷한 傾向이다. 그러나 溫度上昇에 따라서 安靜時 酸素消耗量이 增加되어 있었으므로 보다 高溫에 있어서 作業할때 같은 R.M.R의 일은 했다 해도 體熱生成의 面에서 볼 때는 高溫度가 될 수록 훨씬 많으며 이런 높은 體熱生成의 條件을 長時間 維持했다는 것이 高溫曝露時間이 길어질 수록 作業耐力時間이 더욱 短縮되는 한 要因이 되지 않나 생각한다.

iii) 直腸溫의 變化에 關한 檢討

直腸溫의 變化는 33°C 群, 35°C 群에 있어서는 顯著的

上昇傾向이 없으나, 37°C 群 40°C 群에 있어서는 1時間後 및 2時間後에 있어서 顯著的 上昇傾向을 보이고 있다. 37°C 群에 있어서는 1時間後 0.3°C, 2時間後 0.5°C, 40°C 群에 있어서는 1時間後 0.7°C, 2時間後에는 1.6°C 上昇으로써 三浦¹⁴⁾ 등이 낸 成績에 比하면 좀 낮다. 이는 實驗條件과 測定方法의 差 및 被驗個體差에 起因하지 않나 生覺된다. 直腸溫의 變化는 酸素消耗量이나 脈搏數 變化와 같은 傾向을 보이고 있으며 一連의 密接한 相關關係가 있는것 같으며 高溫의 長時間曝露後의 作業耐力時間의 短縮의 一因이 되고 있다고 볼 수 있다.

iv) 發汗量에 對한 檢討

發汗量은 35°C 群을 境界로 顯著히 增加되어 있다. 이는 前述한 바와 같이 35°C 以上에선 體溫調節中 體熱放散의 거의 100%가 發汗에 依存한다는 事實에 비추어서 首肯되는 일이라 할 수 있다. 三浦¹⁴⁾ 등이 낸 成績에 比하면 本成績에 있어서는 發汗量이 좀 높은 傾向을 보이고 있다. 三浦¹¹⁾이 極限高溫에서 觀察한 바에 依하면 高溫에 對한 耐力과 發汗速度와는 密接한 相關이 있는 것으로 되어 있다.

本實驗에서 얻은 成績이 三浦가 報告한 作業耐力時間보다 좀 높은것과 關聯시켜 生覺할 수 있는 問題이다. 各 溫度群에 있어 發汗度와 作業耐力時間의 短縮度와는 一定한 相關이 있는것 같지 않다.

v) 血漿 Na 量 및 血中水分量의 變化檢討

血中 Na 量 및 血中水分量은 全例를 通하여 別로 意義 있는 變化를 가져오지는 않았다. 發汗과 血液濃縮과의 關係를 追窮한 齊藤¹²⁾의 實驗에 依하면 發汗이 4l 以上이 되며 急激히 血液의 濃縮이 일어나지만 皮下의 發汗量에 있어서는 組織細胞內 水分移動으로 顯著的 變化를 볼 수 없다고 하였다. 本實驗에 있어서는 血中水分量은 거의 變動이 없으며 血中 Na 量은 37°C 群 2時間 曝露에 있어 若干 減少하는 傾向을 보일 뿐이다. 따라서 血中 Na 量이나 水分量은 高溫長期曝露時의 作業耐力時間 短縮과 直接關聯이 없는것 같다.

第 5 章 結 論

高溫環境下에서 作業할때 熱中症의 發生을 防止하기 위하여 最大作業耐力時間 限界를 決定하고 또한 高溫에 長時間 曝露時 生기는 諸生理的變化中 作業耐力 時間에 影響을 주는 諸要因을 糾明할 目的으로 16名의 健壯韓國人 青年에 對하여 各種條件下 延 96回의 人體實驗을 實施한 結果 다음과 같은 結論을 얻었다.

1. 外界溫度上昇에 따라 作業耐力時間은 反比例的으로 短縮되어 35°C 以上에선 그 程度가 顯著하다.
2. 韓國人의 高溫下 作業耐力時間은 日本人의 그것과 比해 35°C와 37°C에 있어 좀 길다.
3. 그러므로 自然氣候에 있어서나 高溫人工氣候에 있어서나 35°C 以上の 溫度에 있어서는 作業을 避할것이 勸獎된다.
4. 高溫環境下 作業耐力時間에 關聯하고 變化하는 諸生理的 要因中 脈搏數의 變動率, 酸素의 消耗量變化 그리고 直腸溫度의 上昇度가 가장 密接한 關係를 表示한다.

ABSTRACT

Study on the Maximum Tolerance of the Working Time under the High Temperature Conditioning Environment.

Mun Ki Lee, M.D.

Department of Preventive Medicine, College of Medicine, Seoul National University, Seoul, Korea
(Directed by Prof. In Dal Kim, M.D.)

It has long been known that the heat stagnation would be liable to occur on the heavy physical work and exercise under the high temperature environment. However the practical determination of the maximum tolerance of working time on the condition of various degrees of the relative metabolic rate and temperatures would be pursued on the point of the industrial medicine and military hygiene. In this demand auther carried out this experiment for the 16 healthy young Korean to know the maximum tolerance of working time under the high temperatures, as 27° C, 33° C, 35° C, 37° C and 40° C (maintaining 4.0 of R.M.R.) Objectives were exposed to above temperatures for 1 hr, 2 hrs and 3 hrs and observed the various physiological changes such as the pulse rate, the oxygen consumption rate, the R. M.R., the rectal temperature, the plama sodium concentration and the water content which would affiliate closely with the potentiality working.

The results obtained were as following.

1. The maximum tolerance of working time showed shortening proportional to the rise of the environmental temperature. This trend showed markedly above 35°C.
2. Average time of maximum tolerance of Korean showed more or less longer than that of the Japanese.
3. The close relatinghip between the physiological changes and the tolerance of working under high tem-

perature environmenta was recognizable particularly the pulse rate, the oxygen consumption and the rectal temperature were prominent.

REFERENCES

- 1) McConnel, W.J.: *Work test Conducted in atmosphere of high temperature and various humidity in still & moving air J. Am. Soc. Heat & vent. Engr.* 31:37. 1925.
- 2) 齊藤一: 熱中症とはどういふものか (1) 労働の科學 1319) 661-668 1958.
- 3) Borden, D.L. Waddill.: *Statistical study of 265 cases of heat disease. J.A.M.A* 128, 1200, 1945.
- 4) Talbott, J.P.: *Heat cramps, Medicine* 14:323, 1935.
- 5) Wakin, K.G.: *The physiologic effect of heat J.A. M.A.* 138:1091. 1948.
- 6) 三浦豊彦: 高溫労働に於ける 休慥について 労働科學 30(3). 117-124. 1954.
- 7) Adolph, E.F.: *Tolerance of man toward hot atmosphere public health rep. Supply* 192. Washington D.C. U.S. Govt. Printing Office. 1946.
- 8) Scholander, P.E.: *Analyzer for accurate estimdin of respiratory gases in one-half cubic centimeter. J. Biol. Chem.* 167. 235-259. 1947.
- 9) 李文鎮: "血液水分量에 關한 研究" *Uniuersitas Seoulsensis collectio. Theseon Scientia Naturalis Vol.* 2. 10. 1955.
- 10) Robinson, S.: *Physiology of heat regulation. Saunder's Philadelphia.* 1945.
- 11) 尹德老: 高溫環境下 人體의 諸生理的 變化에 關한 研究. 航空醫學 第10卷 第2號. 1 1963.
- 12) 齊藤一 鈴木正: 労働衛生 ハンドブック. 235. 河出書房 東京 日本. 1960.
- 13) Wyndham, W.V.D.: *Physiological responses of african laborers at Various saturated air temperatures, Wind Velocities and rates of Energy expenditure. J. Appl. Physiol. Vol. 5. No. 6. Dec.* 1962.
- 14) 三浦豊彦: 外氣溫下の 安靜時 及び 筋労働時の 直腸溫度について 労働科學 29(6) 30-9-317. 1953.
- 15) 労働科學研究所: 労働衛生ハンドブック 労働科學研究所 東京 日本 1962.
- 16) 松藤元: 高溫作業の 衛生學的研究 厚生科學 叢刊 第12輯 1948.
- 17) 曹圭常: 國軍將兵의 基礎新陳代謝에 關한 研究 航空醫學 第4卷 第1號 109. 1956.
- 18) 沼尻: 労働衛生ハンドブック 442頁 労働科學研究所 東京 日本 1962.