

熱射病予防策の労働科学的検討

長崎大学医学部 公衆衛生学教室

相 沢 龍
あい ざわ りゆう

Some Considerations on the Prevention of Heat Stroke, From the Aspect of Science of Labour. Ryu AIZAWA. Department of Public Health, Nagasaki University School of Medicine.

本論文は、昭和35年1月15日長崎大学医学部において開催された熱帯風土病研究会第1回総会で行った一般講演の内容に、その後長崎大学風土病研究所長大森南三郎教授のおすすめにより若干加筆して発表したものである。ここに本誌掲載の機会を与えられた大森教授に深く感謝致します。

緒 言

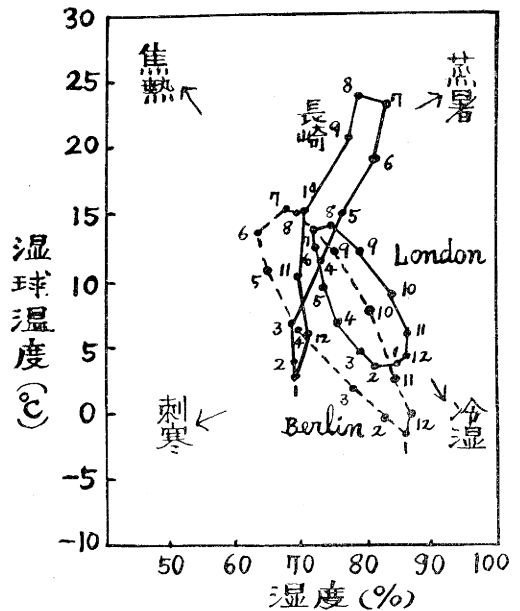
— 日本の気候と熱射病 —

気候、広くは風土が人々の健康に対して直接的、または間接的に深い影響を与えていることは周知の所であり、医学においても古くから Dietrich & Kaminer (1916~1926) が気候医学として、あるいは Büttner (1938) が生物気候学としてこの分野を開拓してきており、衛生学では気候衛生学と呼ばれている分野がある。こゝでの基礎的な条件の一つはそれぞれの地域の気候の特質を解明することにある。

日本の気候は四季の移変が鮮明であるが、殊に夏季の高温高湿を特徴としており、日本の各地のこの特徴をすでに緒方 (1933) が、Australia の気候論で Griffith Taylor (1920) の用いた気候図表 Climograph によって詳細に解析している。図1は著者が東京天文台 編纂の理科年表 (第26冊 1953, 第33冊 1960, 丸善出版, 東京) の資料によって長崎の気候図表をえがき、日本の気候の特徴を例示したものである。

図の縦軸には湿球温度を用いたが、これは理科年表掲載の月平均気温及び湿度から Jelinek の編纂した Psychrometer-Tafeln für das Hunderteilige Thermometer (4 Aufl. Wien 1894) を用いて各月の平均湿球温度を算出したものである。日本の気候が夏季に典型的な蒸暑気候 muggy climate を示しており、かつ London, Berlin の気候図表にくらべてその傾斜の対蹠的である点が注目される。これらの都

図1 長崎, London, Berlin の気候図表



市の夏は中等度の気温に加えて、湿度が減少しているが、日本のそれでは気温の著しい上昇とともに湿度もまた増加しており、体温調節機序の面では夏季に向けて放熱が著しく妨げられていく様相がうかがわれる。

このような気候の特徴によって、わが国の夏の保健問題は極めて重要な題目であるが、さらに職業的にその労働環境が温度、湿度、気流、輻射熱の4要素の総合的結果としての温度条件からみて、いわゆる著しい

高温作業環境となっている場合が稀ではなく、かかる環境下ではそこで働く作業者にはげしい生理機能の変化をひき起すことは想像に難くなく、現実的にも職業病としての熱射病の発生も稀ではない。以上のような

理由でわが国の労働衛生学では古くから熱射病予防の問題が多くの研究者の関心をよび、今日に及んでいる。

いわゆる高温労働と称される職種の代表的なものに

表 1 高温工場の温度条件 (7-8月)

工場	温度条件		D. B. Temp. (°C)	W.B. Temp. (°C)	Relative Humid. (%)	Dry-Globe Temp. (°C)	Wet-Globe Temp. (°C)	Effect. Radiat. Temp.(°C)
	職	種						
金属	M	熔銅流込	35.0	27.2	54	55.0	36.6	20.0
		重鉛華電炉	34.1	27.9	58	48.0	36.0	13.9
		熔銅鑄造	32.4	26.4	63	39.0	29.0	6.6
精煉	F	粉鉍炉	41.4	30.6	46	48.0	35.0	6.6
		塊鉍炉	42.6	29.4	38	47.5	32.0	4.6
		銹粉乾燥	40.1	31.0	52	42.0	32.0	1.9
金属	OK	圧延	41.0	31.6	48	60.5	—	18.5
		製鋼	44.4	33.5	49	58.5	—	14.1
		加熱操炉	46.0	35.8	51	68.5	—	22.5
属	F	圧延炉操炉	33.4	28.5	68	43.7	—	10.3
		伸圧延	35.2	29.2	64	49.5	—	14.3
		銅押出炉操炉	36.4	30.9	68	60.9	—	24.5
延	OS	加熱操炉	34.1	27.9	62	51.7	—	17.6
		インゴット切断	39.6	31.5	55	63.2	—	23.6
		製鋼	35.2	29.4	66	49.2	—	14.0
		冷延し	31.5	26.9	71	66.3	—	34.8
硝子生地管	S	捲取	35.8	28.6	58	49.0	32.0	13.2
		火取夫	42.1	31.0	45	86.0	48.3	43.9
	T	捲取	38.4	27.2	53	50.0	33.5	14.6
火取夫		38.2	29.3	52	81.0	47.0	42.8	
O	捲取	36.3	29.6	61	48.5	34.0	12.2	
製	K	捲取	38.2	31.2	61	51.8	—	13.6
		熔炉原料投入	43.1	33.5	52	63.8	—	20.7
		火取夫	35.8	24.7	64	66.0	—	30.2
瓶	A	捲取	36.2	28.5	56	49.0	—	12.8
		D	36.7	29.4	59	48.1	—	11.4
アブレ	N	アブレ作業	34.0	29.4	71	36.0	30.8	2.0
		K	34.0	31.0	81	36.0	31.6	2.0
機関車	京都一大津間トンネル内 (11月)		41.0	31.0	48	53.0	—	12.0
	長崎一早岐間のトンネル通過時の平均		39.1	33.4	67	46.5	—	7.4

備考：(1) 主作業の位置，作業者の頭高位にて測定。機関車キャブ内では機関助手投炭位置
 (2) アスマン通風乾湿計及び小型黒球温度計にて測定

は、金属铸造圧延、ガラス工場等の熔鋸炉や熔融炉の炉前作業及び一般の火夫作業等があり、著者らが経験した若干の高温工場の温度条件を表1に掲げる(庄司、相沢1951, 庄司、相沢、山本1957, 水田、相沢、鶴岡、堀口1956)。

炉前作業では D. B. Temp. 40°C内外, W. B. Temp. 30°C内外の例が多く、かつ Dry Globe Temp. が50~60°Cに及ぶ例がしばしばであり、これは作業者が炉からのげいしい輻射熱を受けていることを示すものである。

次にもう一つの代表的な職種は炭鋸山の坑内労働であり、こゝでは前者の如き輻射熱の問題はないが、坑内の高温高湿が問題となる。

こゝには齊藤(1953)が紹介した日本鋸山協会資料によるわが国の坑内切羽の温度条件を表2に示す。

表 2 炭鋸切羽(635カ所)の温度

温 度	実 数 (%)
20°C 以下	222 (35.0)
20 ~ 25	159 (25.0)
25 ~ 30	158 (24.9)
30 ~ 34	75 (11.8)
35°C 以上	21 (3.3)

(日本鋸山協会資料)

総数635カ所のうち、気温30°C以上の切羽は15%、25°C以上では40%に及んでいる。かつ坑内の温度条件の特徴は、年間変化が極めて少いことと、高温の二点にあり、かつ湿度90%以上の高湿の例が比較的多い。従って W. B. Temp. で25°C以上の切羽が40%に近く、このような高温高湿の条件が年間比較的長く続くことも当然予想される所であり、坑内直接火の重筋労働が当然労働衛生学の強い関心の対象になる。

高温環境下での熱射病の発生は Agent and Environmental Factor として温度条件と労働条件(労働時間、労働強度、高温曝露時間、休憩等)があり、Host Factor として作業員(性別、年齢、健康状態、高温条件への馴れの程度等)があり、これら複雑な三要因の Dynamic Equilibrium 動的平衡の破綻として理解される。従って熱射病予防対策は模型的にはこの三要因から検討可能である。

以下に予防対策につき、このような立場から著者が

過去に得た実験成績を中心に労働科学的検討を加える。

I 温度条件並びに作業条件からみた予防対策

1) 温度条件における恕限度

高温労働時に第一義的に問題になるのはその温度条件である。温度条件と人体における熱出納は Gagge, Winslow ら(1937)によって詳細に研究されており、氏等は $M \pm S = C + R + E$ の式からこの問題を解析している。こゝに M: Rate of Metabolism, S: Rate of Heat Storage, C: Rate of Conductive and Convective Heat Loss or Gain, R: Rate of Radiative Heat Loss or Gain, E: Rate of Evaporative Heat Loss を示す。

前述の高温労働時の温度条件からみれば、C及びRによる放熱は著しく困難となり、むしろ逆に Heat Gain にすらなる場合が多く、しかも坑内労働や金属圧延作業の如くMが著大であり、放熱を益々困難にしている例が多い。

従って唯一の放熱経路はEであるが、これによる放熱にも限度があり、しばしば $S \approx O$ の状態が惹起される。すなはち、Zone of Evaporative Regulation \rightarrow Zone of Body Heating の条件下での労働が多く、生理機能の破綻は勢い熱射病の発現を不可避的ならしめる例がしばしばである。こゝに予防対策としての温度条件における恕限度設定が労働科学的に重要となる。

恕限度は Endurable Limit ~ Permissible or Safe Limit 等、その設定基準に種々の意味づけが考えられ、前者は職業病発生の絶対的危険線に近く、後者は職業病予防のみならず、労働の健康的な維持が考慮されていると考えて大過なく、当然実際的には後者による健康管理がなされることが望ましい。

温度条件の恕限度は生理機能の変化を指標として、その変化の程度から逆に設定される。高温労働では体温、特に脉搏数の変化が最良の指標であることは Mc Connell & Houghten (1923), Fleisher, Stucey, Houghten (1937) 等によって示され、一般に承認されて来ており、Mc Connell ら(1923)は感覚温度100°F付近では分時脉搏数が160に達し苦悶感があるとして一つの恕限度を設定しており、Dill (1931), 三浦、齊藤(1952), 三浦、森岡、齊藤(1953)は、高温環境の筋労作を不可能にする因子としては循環機能の失調が重要な意義をもち、体温が極端に上昇する以前

表 3 高温環境における体温、脈搏数の変化（椅坐安静時）

W.B. Temp. (°C)	D.B. Temp. (°C)	経過時間 (分)																1時間当り 体重減少度 (kg)	熱射病症状 の発現時間 (分)
			15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180					
24.5	37	体温	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.04	なし		
		脈搏数	1	0	-1	-1	2	1	1	1	0	0	-1	-1					
	34	体温	0	0	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.14	"			
		脈搏数	-2	-1	-1	0	1	-1	-3	-3	-3	-4	-4	-1					
27.5	37	体温	0	0	0	0.1	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3	0.4	0.18	"			
		脈搏数	1	4	4	1	5	4	2	2	1	-1	0	-1					
	40	体温	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.22	"			
		脈搏数	10	10	11	11	11	7	10	8	12	8	9	9					
	34	体温	0	0.1	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.18	"			
		脈搏数	3	2	7	4	5	5	4	3	3	2	1	2					
	37	体温	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.6	0.7	0.7	0.7	0.8	0.27	"			
		脈搏数	-1	11	6	11	8	5	6	9	10	14	3	1					
30.5	40	体温	0.3	0.5	0.5	0.5	0.9	0.7	0.8	0.7	0.8	0.9	0.9	0.8	0.30	"			
		脈搏数	4	6	3	12	12	9	7	6	10	8	9	10					
	43	体温	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.6	0.7	0.6	0.7	0.7	0.7	0.50	暑熱感のみ			
		脈搏数	4	7	5	5	4	7	9	8	8	10	10	12					
	46	体温	0.4	0.6	0.8	0.9	0.9	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.42	"			
		脈搏数	9	11	13	12	16	15	19	17	21	21	21	21					
	37	体温	0.1	0.2	0.5	0.8	0.8	0.8	0.9	1.0	1.1	1.1	1.2	1.2	0.23	暑熱感と軽い動悸			
		脈搏数	2	5	11	12	15	16	18	18	23	24	28	28					
33.5	40	体温	0.3	0.3	0.8	1.0	1.1	1.2	1.2	1.3	1.5	1.5	1.6	1.7	0.48	170—180分			
		脈搏数	10	16	23	32	30	33	34	43	57	48	56	57					
	43	体温	0.2	0.5	0.7	0.9	1.1	1.3	1.5	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	0.57	155—140分			
		脈搏数	6	6	15	20	23	28	34	36	46	48	46	55					
	46	体温	0.3	0.4	0.6	0.9	1.1	1.2	1.4	1.6	1.7	1.8	2.0	2.2	0.92	140—160分			
		脈搏数	8	20	28	42	41	50	47	58	47	54	71	73					
	40	体温	0.2	0.5	0.9	1.3	1.6	1.8	2.1	2.2					0.73	95—100分			
		脈搏数	6	22	31	42	49	51	58	62									
36.5	43	体温	0.5	0.8	1.1	1.4	1.8	2.1	2.3						1.07	80—95分			
		脈搏数	10	27	34	40	48	60	65										
	46	体温	0.5	0.9	1.4	1.6	2.0								0.92	60分			
		脈搏数	15	31	41	49	59												

- 備考：(1) 体温、脈搏数は予備室の安静値に対する上昇度（°C）及び増加度（分時）を示す
(2) 熱射病症状の発現は顔面潮紅、心悸亢進、頭痛、嘔気、唾液分泌増加、耳鳴、呼吸促進、著しい暑熱感、不安焦燥感の出現により判定
(3) 体重減少は主として発汗による

に循環機能の失調があらわれて耐えられなくなると、そしてその耐えられなくなる限度として三浦、森岡、齊藤 (1953) は心電図における Q-T 間隔の短縮を指標として脈搏数 150/分を提唱している。又、佐藤 (1949) は圧延の如き炉前の重筋高温作業の調査によって、脈搏数 160 の限界に近づくと作業継続が不可能となり自然休憩を余儀なくされるのをみており、同様に庄司、相沢、山本 (1957) も金属圧延の操炉工、圧延工が30分内外の連続作業で体温が 38°C をこえ、脈搏数も 150 程度に達して著しい苦痛のため作業を中止する例を報告したが、これらの点から考えれば上記の脈搏数 150~160/分を指標としての温度条件は Endurable Limit に近いものと解される。

次に著者ら (相沢 1946, 庄司, 相沢 1948) が想限度決定のために行った実験成績を示す。実験は大阪市立衛生研究所の人工気候室で行ったもので、被検者は健康成人男子 3 名、栄養 (1日 2700 cal, 蛋白質 90g, ビタミン, 食塩の量は十分に注意した), 実験による疲労の発現, 高温に対する馴れの現象等を十分に注意してある。被検者は常温の予備室に30分間椅坐安静して体温 (口内舌下温), 脈搏数を測り, 体重測定後直

ちに実験室に入り, 椅坐安静或は労働時の諸測定を行い, 実験終了後体重測定を行い, 予備室にて生理機能の回復過程を検査する。

実験室内の労働は, 重量 5 kg のバケツをメトロノームに合せて 1 分間 10 回の速度で 0.8m 高の机上に上げ下げする作業 (ショベルングを模型化した動作) で, この作業の RMR は常温環境の測定値 3.5 で持続的中等労働に相当している。

実験室の温度条件は W. B. Temp. 27.5, 30.5, 33.5 及び 36.5°C の 4 段階, D. B. Temp. は 34, 37, 40, 43 及び 46°C の 5 段階の各種の組合せの下で行った。従って湿度は 32~78% の範囲にあり, 人工気候室の調整には特にそれぞれの実験で要求される W. B. Temp. の示度の変動を最小限度に留めるよう細心の注意を払った。けだしこの種の実験では W. B. Temp. の動揺が成績に強く影響を与え, 結果の解析に思わぬ誤りを与える危険があるからである。

表 3, 4 は高温曝露時の体温, 脈搏数の変化を, 体重減少度, 熱射病発現状況とともに, 温度条件別に表示したものである。

表 4 高温環境における体温, 脈搏数の変化 (RMR 3.5 の中等労働時)

W. B. Temp. (°C)	D. B. Temp. (°C)	経過時間 (分)											1 時間当り 体重減少度 (kg)	熱射病症状の発現時間 (分)	
			15	30	45	60	75	90	105	120	135	150			
27.5	34	体温	0.1	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.21	軽度の暑熱感のみ
		脈搏数	1	14	6	7	7	6	9	10	5	8			
30.5	37	体温	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.42	"	
		脈搏数	13	15	13	13	18	17	16	17	15	15			
	40	体温	0	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.51	"	
		脈搏数	8	10	8	13	17	18	17	19	19	21			
33.5	37	体温	0.3	0.6	0.6	0.8	0.9	0.9	1.1	1.3	1.5	1.6	0.63	135—150分	
		脈搏数	20	27	27	29	35	33	33	37	44	46			
	40	体温	0.5	0.8	1.1	1.2	1.3	1.4	1.6	1.7			0.63	105—120分	
		脈搏数	23	28	39	38	44	42	42	52					
	43	体温	0.5	0.9	1.1	1.3	1.4	1.6	1.8				0.86	90—105分	
		脈搏数	22	29	30	40	42	55	57						
36.5	40	体温	0.4	0.9	1.3	1.7							0.93	45—60分	
		脈搏数	24	40	50	53									
	43	体温	0.4	1.0	1.5	1.8							1.20	"	
		脈搏数	12	33	40	50									

まづ安静、労働時いずれの場合にもみられる点は W. B. Temp. 30.5°C 以下の温度条件下では、安静時の180分、労働時の150分の高温曝露によっても体温上昇度、脉搏数増加度は極めて軽度であり、かつ一定時間後にはほぼ定常状態を保って経過する傾向が認められることである。なお W. B. Temp. 30.5°C まででは熱射病症状の発現を推定せしめる如き特記すべき所見が認められない。

W. B. Temp. 33.5°C の条件下では、このような定常状態が保たれず、一定時間後には熱射病の発現を予想し得る各種の症状が認められ、体温、脉搏数の変化も相当程度にのぼっており、もっとも、D. B. Temp. 37°C では安静時の場合、熱射病の発現がなく、単に暑熱感と動悸の程度にとどまってはいるが、生理機能の変化状況では定常性が認められず、W. B. Temp. 30.5°C, D. B. Temp. 46°C の例に比較すると、両者の間に相当の差異のあることが認められる。労働時の場合には定常状態が保たれていず、熱射病症状が発現している。

W. B. Temp. 36.5°C の場合には、その変化は極めて急激となり、その程度も強く、前者に比してさらに

早期に熱射病症状の発現をみている。勿論、同一の W. B. Temp. のレベルにおいても、D. B. Temp. の高低により、その経過に若干の相違がみられるが、W. B. Temp. の高低における相違にくらべるとそれは比較的軽度であり、生理機能の変化状況が W. B. Temp. の高低に、より強く支配されており、従ってそれを W. B. Temp. の高低で類型化することが、より多く可能であることを示唆している。

表5は高温環境における呼吸ガス代謝の変化(安静時)についての実験成績を示したものである。W. B. Temp. 33.5°C では定常状態が保てず、呼気量も酸素消費量も常に増加の一路を辿り、一定時間後には呼吸商が1.0を突破している。W. B. Temp. 36.5°C ではその変化はさらにはげしく、90分曝露で呼気量が激増し熱性過呼吸が発現している。吉見(1946)は、D. B. Temp. 45°C の高温下でも、W. B. Temp. 28~29°C 程度では呼吸ガス代謝は定常状態を保つことをみたが、著者の成績と併せ考えると、前掲の体温、脉搏数の変化と同様の結果を示している。

高温環境下での生理機能の変化が、ある条件下では定常状態を保ち、他の条件下ではそれが保ち得ずに生

表 5 高温曝露による瓦斯代謝の変化

要 項		時 分(分)	曝露前	45	75	105	135	160
		条 件 (I)	呼 気 量 (ℓ)	6.727	6.982	7.602	9.299	9.778
	O ₂ 消費量 (c.c)	227	264	276	304	311	335	
	CO ₂ 排出量 (c.c)	201	231	252	298	323	360	
	呼 吸 商	0.89	0.88	0.91	0.98	1.04	1.08	
高温曝露時間 (分)		前	30	60	90			
条 件 (II)	呼 気 量 (ℓ)	6.583	8.812	11.590	15.696	90分頃には著		
	O ₂ 消費量 (c.c)	250	286	315	354	明な熱性過呼		
	CO ₂ 排出量 (c.c)	210	280	337	394	吸発現		
	呼 吸 商	0.84	0.96	1.08	1.11			

備考:(1) { 温度条件 (I) D. B. Temp. 43°C W. B. Temp. 33.5°C
 " (II) " 43°C " 36.5°C

椅坐安静。健康成人男子2名、冬季に1~2日の間隔で各条件毎に4回づつ実験、成績はその平均値を示す

(2) 測定は Douglas Bag 法で採気、労研式ガス分析器により分析

理機能の破綻を招来するものとすれば、こゝに温度条件に関する恕限度設定が可能になる。換言すれば、温度条件と生理機能の変化との間において、条件の変化に対応する機能の変化が常に連続性であれば、そこには恕限度の拠り所を設定することは極めて困難な問題となるが、両者の間にもし適応しうる条件から適応不可能の条件への移行点、すなはち、不連続な移行点が見出されるならば、適応破綻として労働科学的には恕限度設定の重要な拠り所となりうる。これは条件の変化と対応する機能の変化との間に指数函数曲線型の関係が存在することを意味しており、前掲の成績はかゝる関係の存在を示唆している。

図2, 3は高温1時間曝露における変化度(後半期の変化の平均値-前半期の変化の平均値)と W. B. Temp. との関係を示したものである。安静時には D. B. Temp. 40°C以上の例を現場の条件を考慮してとり、かつ W. B. Temp. 別に平均した値で示し、労働時の例では条件が少いので個々の値をとった。

図2 高温曝露による生理機能の変化度

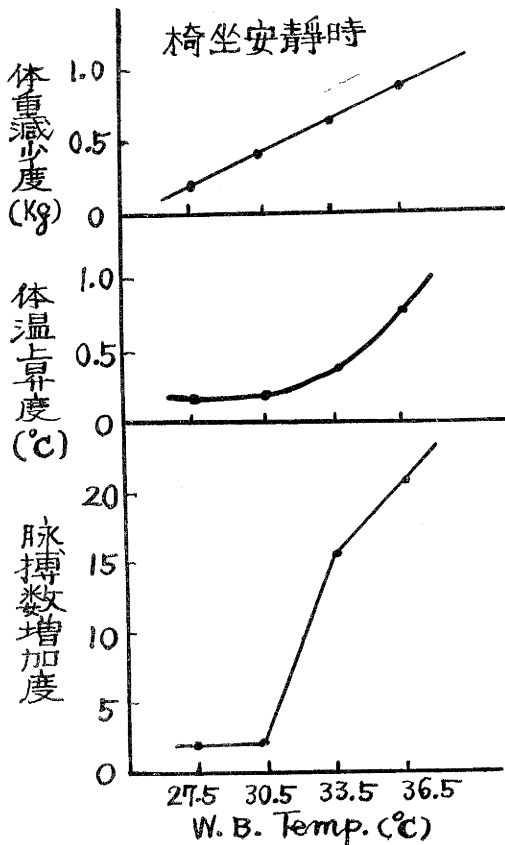
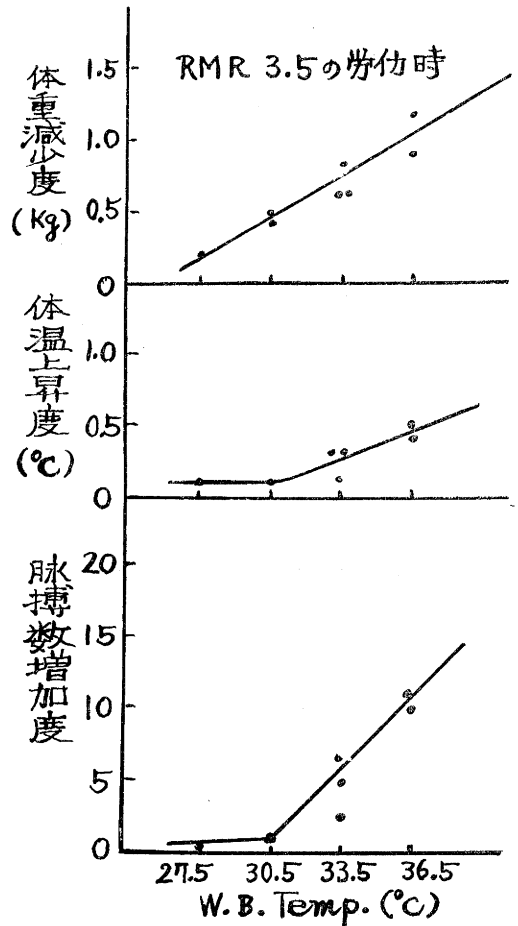


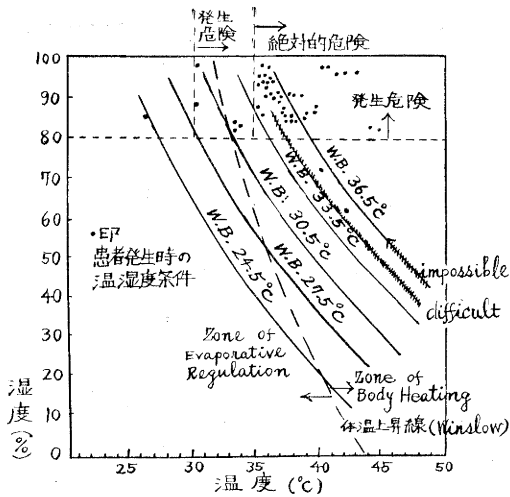
図3 高温曝露による生理機能の変化度



体温、脉搏数の変化は W. B. Temp. 30.5°Cと 33.5°C との間に不連続の移行点がみられる。体重減少度は単に (kg/hr) で示してあるので、その変化は前二者と異なり、W. B. Temp. の上昇につれ連続的に増加している。しかし Gerking & Robinson (1946) は発汗速度が0.6~0.8kg/hr 以上となれば漸次発汗速度が減少して熱射病発現の危険があるとしているが、これから考えても W. B. Temp. 33.5°C 附近に問題があるものと云えよう。

次に現場での熱射病発生時の温度条件の報告例をみるに、近藤(1949)は東北某炭山の10年間の統計的観察から、症例の大多数は W. B. Temp. 32~33°C 以上の所であると云い、又、黒田(1949)は炭鉱山での患者発生資料から坑内温度条件は湿度80%以上では、D. B. Temp. 30°C以上が発生危険、35°C以上が絶対的危険域であるとしており、著者が個々の症例

図4 炭鉱山坑内の熱射病発生時の温湿度条件



を図4で示してみると、大多数が W. B. Temp. 33.5°Cの線以上で発現していることが分る。

また、Eichna, Ashe, Bean, Shelly (1945) は、米国の高温工場の調査結果から、忍限度には W. B. Temp. を基準にとるのがよいと主張し、91°F (32.8°C) 以下は堪えられる、91~94°F (32.8~34.4°C) では中等労働でも能率が落ち健康障害があり、94°F (34.4°C) 以上は堪えられず、1時間以上は著しい苦痛として、W. B. Temp. による忍限度を提唱し、これは Amer. Society of Heating and Ventilating Engineers の Heat. Vent. & Air Conditioning Guide (Vol.32, 119, New York 1954) にも基準として採用されているが、difficult の線は前掲の図4の W.B. Temp. 33.5°Cの線に近く、impossible の線は36.5°Cの線に全く一致している。

表6 輻射熱曝露時の生理機能の変化

時間(分)	D.B. Temp. 36.4°C, W.B. Temp. 30.9°C, Td.g. 60.9°C				対 照 例	
	立 位 安 静		RMR 3.0 の労働時		体温(°C)	脉 搏 数
	体温(°C)	脉 搏 数	体温(°C)	脉 搏 数		
実験前	36.9	76	37.0	76	36.8	73
3	37.0	92	37.3	116	—	—
6	37.1	92	37.4	124	—	—
9	37.2	92	37.6	132	—	—
12	37.2	96	37.7	140	—	—
15	37.3	100	37.8	148	37.3	100
20	37.4	104	38.0	156	—	—
25	37.6	120	38.3	164	—	—
30	37.8	128			37.8	120
35	38.0	136			—	—
40	38.2	140			—	—
45	38.4	144			38.3	128
50	38.6	156			—	—
60					38.7	130
変化度	1.7	80	1.3	88	1.9	57

備考：(1) F伸銅，押出炉前の実験……被検者は健康成人男子
 (2) 変化度は実験前の常温下安静値に対する最終測定時の変化度
 (3) 対照の条件
 D.B. Temp. 40.0°C, W.B. Temp. 36.5°C, 輻射熱に問題はない
 RMR 3.5 の持続的中等労働時

以上の諸成績を総合すれば、W. B. Temp. 36°C は絶対的危険線、33°C 附近が発現の危険線と考えられ、この近くでは筋肉労働の軽減、適切な休憩その他の対策が強力に行われる 必要があり、Permissible Limit (その上限) を30°C とし、可及的この線以下に保つような技術的対策が望まれ、上記の限度は諸家の成績からみてはば妥当なものと考えられる。

ただし著者の実験は Operative Temp. To = Room Temp. Tr であり、輻射熱の条件は除外してある。従って当然上記の基準は坑内労働の如き温度条件に適用され得るとしても、次に輻射熱が問題となる。

ロ) 輻射熱を考慮した限度

高温労働には炭鉱山坑内労働に対比して、炉前作業があり、こゝでは作業者ははげしい輻射熱をうける。三浦、森岡、木村 (1956) は D.B. Temp. 28°C で実効輻射温 5~20°C の場合と輻射熱が問題でない 40°C の高温曝露の場合の生体反応の変化を比較し、前者にその変化が大きく、輻射熱の影響の重要性を指摘した。表 6 は著者が金属工場の炉前で行った実験成績である。

輻射熱が問題でない W.B. Temp. 36.5°C の対照例に比し、T.d.g. 61°C に及ぶはげしい輻射熱下では、生理機能の変化が極めて顕著であり、殊に労働時に脉搏数の増加の著しいことが注目され、こゝでは輻射熱が熱射病発現に大きな役割を演じていることが容易に理解される。

輻射熱が考慮されている指標で限度を検討した研究では、勝木 (1951) は生体寒暖計示度 30°r (RMR 3.0~4.0) 以上では生体反応の破綻が招来されるとしており、三浦武夫 (1949) は従来の黒球寒暖計に対して高温下では Wet-globe-Thermometer の使用がより適切であるとなし、T.w.g. 28°C を高温作業環境の下限界とし、T.w.g. 34°C 以上を労働不可能の場所と規定して一つの限度を提唱している。しかし輻射熱の影響は、熱源からの輻射熱の強さ(波長の如何も問題になる)のみならず、輻射体と作業者の位置、距離関係にも強く左右され、他面では防熱被服の状況、身体の上熱部位によってもその影響乃至苦痛の異なる事も想像され、さらに之等に曝露時間、労働強度等の要因を考慮すれば、その限度設定は複雑困難であり、今後の研究にまつ所が甚だ多いと言わねばならぬ。

むしろ実際的にはかゝる強烈な輻射熱を如何にして防ぐかに問題がある。

輻射熱防止策について

炉前作業では顔面が強く熱される場合が多く、この

ために防熱マスクが考えられる。古市、内田 (1940) は金網製マスク (三徳マスク) が 30~40% 程度の防熱能を呈し極めて有効であると云い、さらに赤外線を完全に吸収する硝子の応用をすゝめており、畑 (1952) は製鉄所での衛生管理面から「三徳マスク」と有機合成樹脂製マスクの有効性を検し、後者がより効果的であるが、耐熱性の点から珪素樹脂製品の使用をすゝめている。さらに防熱衣服については、三浦ら (1957) が裸体と着服時の生体反応の変化の比較から防熱服の必要性を示唆しており、永田ほか (1948) はアルミナイズ防熱衣の有効性を実証しており、これらの防熱保護具の使用が必要であり、衣服衛生学がこの分野で発展することが望まれる。

さらに環境対策としては、重油炉の採用、炉の防熱壁体の利用、炉周囲に金網その他の防熱スクリーン、時に Water Screen の使用等により、可及的作業者を輻射熱曝露から保護することが望ましく、Erman (1956) は高温環境に Water Spray 法を採用して好結果を得ている。

ハ) 温度条件と労働強度を総合した限度

限度は温度条件(作業場内各所の温度条件の分布状況とその曝露時間)及び労働強度(各種の作業の RMR とその実働時間、休憩時間)を総合して求めることが最も望ましい。

齊藤、高松 (1952) はかゝる総合的な指標として TGE 指数を提唱した。こゝに T は職場の平均気温、G は職場の平均黒球温度 T.d.g. (°C)、E は就業時間中の平均 RMR で、 $T \times G \times E$ の数値で示されている。この指数には湿度や気流が考慮されていない点や単なる 3 要因の積を使用している点になお検討の余地があるが、輻射熱のはげしい高温下では湿度はさほど問題ではなく、また大島 (1960) は、この指数について生体負担度の相加的関係と関連があることを解析して、将来検討すべき問題点とともに、現段階において有効な指数であることを示唆している。氏等は TGE 指数の程度と発汗量、血液性状、尿成分等との関係を検討した結果、TGE 指数 4,000 以下では生体反応の適応現象が認められているが、4,000~6,000 では適応破綻の様相がうかがわれ、6,000 以上ではそれが極めて顕著となり、TGE 指数で限度を設定することが可能であるとしている。

著者ら (庄司、相沢、山本 1957) も金属精錬圧延、硝子工場等の炉前高温作業者につき、作業場内の温度条件の分布状況と曝露時間、拘束時間中の労働状況を調査し、生産能率並びに水分代謝面からみて高温作業

の忍限度はTGE指数で約 4,000附近にあることを示し、この指数が高温労働の評価にかなり有効であると結論した。

さらに、Belding & Hatch (1955) は、温度条件、労働強度、発汗等の諸要因を総合した新しい Heat Stress Indexを提唱し、数種の Nomogram の組合せからこの Index を求めるようにして、高温労働への適用をすすめている。

これらの指数にはなお検討すべき多くの問題点が含まれるが、総合評価法として有効であり、この方面から問題を発展させることが望ましいと考える。

なお、この分野での根本的な問題は、輻射熱を含んだ環境の表示法が環境衛生学的に完成されていないこと及び高温下における輻射熱の身体への影響が完全には解明されていない点であり、今後の研究が期待される分野であろう。

II 作業者の側からみた熱射病予防対策

炭鉱山、金属工場等では坑内切羽労働や圧延、操炉の如く高温条件下で重筋労働が行われる例が案外に多く、このため高温作業者では激しい物質代謝が予想される。かゝる意味からも当然作業者の側からの熱射病予防対策に関心がもたれる。

イ) 水分食塩代謝からみた予防策

高温労働中、外見上からも最も目立つ現象は著しい発汗である。表7、8は著者ら(庄司, 相沢, 山本)が圧延工、操炉工、硝子工等の炉前作業者について、盛夏時における拘束時間中の水分代謝を実測した成績である。発汗量には個人差があり、また温度条件、労働強度等、種々の条件に左右されることは久野博士の

表7 圧延工、硝子工の水分代謝 (1951年夏, 39名の平均値)

水分喪失量 (ℓ)	4.79 (11.75~2.04)
飲水量 (c.c)	3,013 (7,290~640)
水負債 (ℓ)	1.78
水負債/作業前体重 (%)	3.4

備考: ほぼ拘束8時間労働

Human Perspiration (Charles C. Thomas, USA 1956) に詳しい。表示の平均値でみると、水分喪失量は多くは4~6ℓに及び、飲水量は3~4ℓ、従って水負債は2ℓ内外、水負債/作業前体重(%)は3~4%に達しており、O.K 製鋼の圧延工では水分喪失量は平均7ℓ、飲水量3.3ℓ、水負債3.8ℓ、水負債/作業前体重(%)は実に6.5%にも及んでおり、表7では水分喪失量の最大11.8ℓ、飲水量7.3ℓと云う激しい例を経験している。

高温労働者にはこのように激しい水分代謝をみるのが、山添 (1946) は夏季労働中の圧延工の飲水状況を調査し、30分毎に340~500C・C宛、6~14回、総量4.4~6.7ℓの飲水量に及ぶと報告している。

多量の発汗に伴い、体内食塩の喪失が問題となる。山添、齊藤 (1947)は、圧延工の調査で、発汗量5.8~9.7ℓ、この際の汗中食塩量平均23.05g、汗中食塩濃度は0.19~0.32、平均0.24%であり、汗と尿からの排泄食塩量は1日合計20~40g、平均30gに及び、食事からはほぼ等量が日々摂取されるのを見ており、齊藤 (1946) は、各種の高温労働者の食塩調査から、1日30g或は時に40g以上に及ぶ例を報告している。

表8 高温労働者の水分代謝 (1952年夏)

工場	職種	人員	体重減少量 (kg)	飲水量 (c.c)	水分喪失量 (c.c)	水負債 (c.c)	水負債/作業前体重 (%)
OK製鋼	圧延工	5	3.30	3,286	7,160	3,817	6.51
OS "	圧延, 操炉工	5	1.75	3,220	5,611	2,313	4.03
F 伸銅	"	7	1.60	1,800	4,132	2,064	3.61
D 硝子	捲取, 製瓶工	5	0.80	2,626	4,189	1,424	2.62
K "	"	5	1.54	3,960	5,910	1,922	3.59

備考: ほぼ拘束8時間労働

齊藤 (1958) は高温労働者の汗中食塩濃度を 0.2~0.4%としており、今仮りに平均0.3%とし、平均発汗量 5 ℓとして、8時間労働中に発汗により失う食塩量は実に 15gにも及ぶことになる。

Marschak & Klaus (1929), Marschak & Dukelsky (1929) は、高温曝露の発汗と血液水分量の変動から、初期には発汗に対して組織から血液へ水分が超補償の形で補給されるため、むしろ血液は稀釈の状態となり、これは環境に対する生体の適応現象と考えられるが、やがて体内水分の喪失に伴い血液は濃縮に傾き、この状態は適応破綻の姿であるとして、熱射病予防上食塩水の飲用が有効に働くことを強調している。

全様に伊藤、小管 (1935) も人体実験により食塩水の効果を述べ、大和田 (1951) は熱射病予防上 0.4%食塩冷水の飲用をすすめている。食塩水飲用が適切に行われれば、血液濃縮を抑制し適応破綻到来抑制が期待される。

図5、6は著者ら (相沢、庄司) が W.B. Temp. 33.5 及び 36.5°C の如き熱射病必発が予想される高温条件下で食塩水を適宜飲用した場合、体温、脉搏数の変化に及ぼす影響を検討した実験例である。

図の如く、脉搏数の変化に対して注目すべき影響がみられる。W.B. Temp. 33.5°C の場合、対照例では定常状態が保てずに絶えず増加し続け 165分時には増加度45を示したが、食塩水飲用時には高温曝露2時間

図5 食塩水飲用の効果
(食塩20g、水1,000c.c適時飲用)

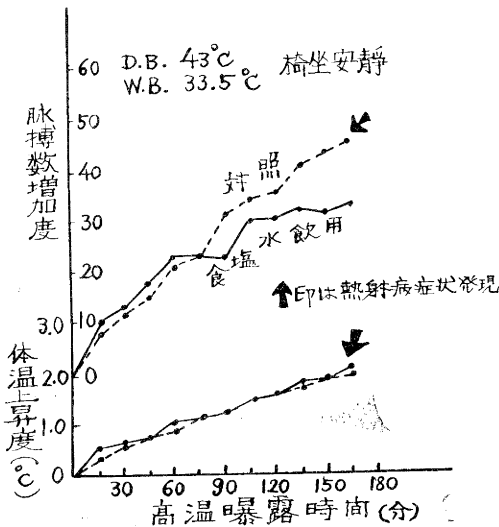
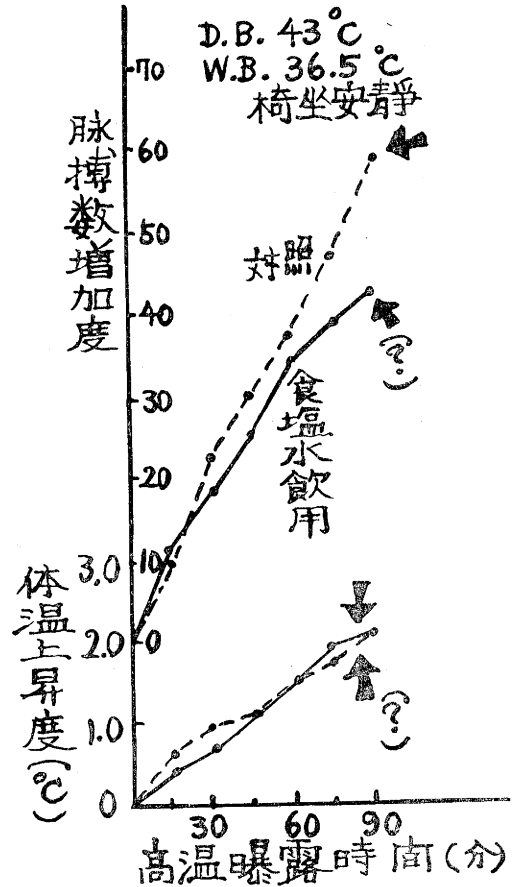


図6 食塩水飲用の効果
(食塩20g、水1,000c.c適時飲用)



頃から増加度はほぼ30程度にとどまり、定常を保つ姿がみられ、165分時の増加度は33で、両者間に変化状況に著差を示している。W.B. Temp. 36.5°Cの場合でも、全様に食塩水飲用例では対照に比し脉搏数増加度は常に少ないが、この場合にはもはや定常状態はみられない。体温の変化には対照と著差をみない。かつ自覚症の上で特に目立つものは、心悸亢進の軽減、これに伴って起る焦燥感、不安感が著しく軽減されていた点であり、食塩水飲用により血液濃縮を抑制して循環系への負担を軽減し、この面から熱射病予防上有効に働くものと解される。しかし W.B. Temp. 36.5°Cの如き条件下ではその効果にも限度があり、予防が第一義的に温度条件 (実際的にはこれに労働強度) の調整にあることを示唆するとともに、逆にまた熱射病発現の限界線近くでは相対的にその効果が増すことも予想されよう。

なお、高温労働時には水分食塩代謝の失調により熱痙攣症の発生が稀ではない。本症は発汗による体内食塩の喪失のために血中食塩濃度の異常低下を来し、Na イオンの生理作用の低下、ひいては神経筋肉の興奮性、被刺激性の昂進により発症するものとされ、予防及び治療面で食塩水補給が有効とされており、Glover (1931), Starkov & Jikesh (1935), Heilman & Montgomery (1936), Talbott, Dill, Edwards, Stumme & Consolazio (1937), 林 (1940), Skinner & Pierce (1945), 齊藤, 東田 (1946), 鈴木 (1953) 等, 多数の業績がある。

さらに、齊藤 (1958) は、唾液及び膀胱の澱粉酵素の糖質分解速度の促進、並びにブドウ糖のグリコーゲンへの合成定着に対するインシュリンの作用への食塩の意義、さらに筋肉労働者が多量の糖質需要者である点を考慮して、労働者に食塩需要が多くなるのを合理的であるとしている。

以上の諸成績を総合して、食塩水飲用は熱射病予防に直接的な意義を有するとともに、一般健康管理面からも有効であると考えられる。予防的に推奨されている濃度は0.4乃至0.5%程度であり、錠剤もすゝめられ、Consolazio, Pecora & Tusing (1947) は胃粘膜の刺激性と緩徐な溶解吸収の点から醋酸又は硝酸セルローズで被膜した錠剤をすゝめている。

ロ) ビタミン投与効果について

日本の如き夏季の高温高湿の気候帯では脚気乃至B₁不足状態が多発し易いことは周知の所であり、特に夏季の高温労働では体内での物質代謝も激しく、勢

いビタミンの消耗の激しいことは想像に難くない。表9は著者ら(相沢, 庄司)が、圧延工、操炉工につき夏季8時間労働中の尿中残余還元物質及びアセト醋酸排泄量を測定し、常温下労働と比較したものである。

対照群たるドラム鑑修理工場労働者及び軽作業に従う研究所員の成績に比し、圧延工及び操炉工では残余還元物質及びアセト醋酸排泄量が一般に多量の例が多いのが目立ち、この面からも物質代謝の激しさがうかがわれる。

高温曝露とビタミン消費に関しては、秋元 (1928) は高温下では動物のB₁消費の増加することを認め、津田 (1948) は高温曝露により尿中 Vit. B₁ の排泄量が著明に減少し、D.B. Temp. 50°C, W.B. Temp. 36.5°C の下で1時間椅坐安静により、2mg余分の消費があるとし、動物実験でも血中 Vit. B₁ 量の著減を認め、高木 (1952) も白鼠を用いての実験で、高温曝露により各臓器中の Vit. B₁ の減少を認め、久保田 (1948) は各種のビタミン、特にB₁及び還元型Cの消費の増強を述べている。

このようにして、高温労働ではビタミンの必要なことは想像に難くないが、さらにそれが不足乃至欠乏した場合には耐熱性が低下し、容易に高温の影響を受けることも知られている。すなわち、嶋田 (1940) は、高温曝露時にはB₁欠乏動物が対照に比して早期に鬱熱死を来すことを証明し、黒川 (1946) も同様に Vit. A 及びB₁欠乏家兎の実験で耐熱性の低下(熱中死の時間短縮)を認め、ビタミン補給の重要性を強調している。

表 9 高温重筋労働者の尿中残余還元物質及びアセト醋酸の排泄量 (盛夏)

職 種	人 員 (人)	尿 量 (c.c)	残余還元物質 (mg)	アセト醋酸 (mg)
OK製鋼, 圧延工	5	107	0.78	6.34
OS " "	3	113	0.51	5.86
F伸銅, "	4	205	0.89	6.10
OS製鋼, 操炉工	2	148	0.43	3.37
F伸銅, "	3	139	0.47	3.31
ドラム鑑修理工	7	189	0.26	3.15
研 究 所 員	10	208	0.18	3.07

備 考: ドラム鑑修理工, 研究所員は対照群 (常温環境)

表 10 Vit. B₁ 投 与 の 影 響

要 項 時 間 (分)	D.B. 43°C, W.B. 33.5°C, 椅坐安静			
	15mg 実験30分前投与		対 照 例	
	体温(°C)	脉 搏 数	体温(°C)	脉 搏 数
15	0.2	7	0.2	8
30	0.4	13	0.3	9
45	0.5	15	0.4	16
60	0.7	19	0.7	19
75	0.8	23	0.8	24
90	1.0	30	1.1	28
105	1.3	31	1.2	32
120	1.4	41	1.2	31
135	1.5	45	1.3	42
150	1.7	50	1.5	48
165	1.8	49	1.5	48
180	1.9	52	1.7	53
症 状	熱射病症状発現		同 左	

- 備考：(1) 投与例 2回, 対照例 2回, 各実験は 2~3日の間隔で行う
 (2) 被検者……健康成人男子 3名, 以下投与実験の被検者は同一
 (3) 体温, 脉搏数は実験前値に対する変化度

表10, 11は Vit. B₁ 投与の実験例である。健康成人男子 3名, 1日総熱量 3,000Cal, ビタミンその他に十分注意した保健食をとらせ, 既述の実験上の注意の下で行った。Vit. B₁ 15mg 実験30分前服用例及び 10mg 1週間連用の場合においても, W. B. Temp. 33.5°C乃至 36.5°Cの如き高温条件下では体温, 脉搏数の変化には, 対照例と差なく, 定常状態を保ち得ずに熱射病症状を発現している。

Vit. C 投与例(表12)においても全く同様の成績で, 熱射病の直接的予防には特に認む可き効果を示していない。

松岡ら(1955)は, W.B. Temp. 33°C程度の下での労働時に Glucuron 酸 400mg, Vit. C 200mg を投与し, 血中水分量, 発汗量, 疲労の点からみて有効的に働くことと云い, 本邦夏季の高温労働者に健康管理上ビタミン補給を行うことは一般的であり, 武居(1941)はガラス工場で夏季に Vit. B₁ 錠と食塩重曹錠投与を報じ, 吉田(1941)も高温労働者の夏季の欠勤率増加に対し Vit. B₁, C 投与は有効であると云っている。

著者の実験成績は熱射病の直接的な予防効果を検討したものであり, 温度条件の改善が第一義的であることを意味するもので, 上記の諸家の見解と何等矛盾するものではない。著者は高温労働者へのビタミン補給は消耗に対して常に十分の補給をと云う点に, 換云すれば疲労対策, 一般健康管理上に意味をもち, 温度条件の改善なくして, ビタミン投与によってのみでは熱射病の予防は困難であると考えている。

表 11 Vit. B₁ 投 与 の 影 響

要 項 時 間 (分)	D.B. 43°C, W.B. 36.5°C, 椅坐安静					
	15mg 実験30分前投与		10mg 1週間連用		対 照 例	
	体温(°C)	脉 搏 数	体温(°C)	脉 搏 数	体温(°C)	脉 搏 数
15	0.3	9	0.4	16	0.6	10
30	0.7	19	0.7	25	0.9	26
45	1.1	28	1.0	34	1.1	30
60	1.4	33	1.4	45	1.5	37
75	2.0	48	1.9	51	1.8	54
90	2.3	58	2.3	58	2.1	60
症 状	熱射病症状発現		同 左		同 左	
実験回数	3		1		2	

表 12 Vitamin C 投与の影響

時間 (分)	D.B. 43°C, W.B. 36.5°C, 椅坐安静			
	300mg実験30分前服用		対 照 例	
	体温(°C)	脉搏数	体温(°C)	脉搏数
15	0.4	12	0.6	9
30	0.9	21	0.9	19
45	1.1	29	1.1	27
60	1.5	31	1.5	36
75	1.8	43	1.8	43
90	2.1	53	2.1	63
症 状	熱射病症状発現		同 左	

ハ) Oxy-Anthranil酸, その他の投与効果について

Tryptophan の中間代謝産物たる Oxy-Anthranil 酸は組織ホルモン或は組織作用物質として各種の生理的意義が認められており, Vit. B1 に相似た作用があげられている (古武弥四郎: 医学総攬, I, 232—244, 東京, 日本医書出版, 1944).

従って熱射病予防効果が問題となり, 齊藤, 鈴木, 有山 (1947) は本製剤トリモン30mg を3日間に服用させ, D.B. Temp. 40~42°C の高温曝露時の効果を検討した結果, 特に認む可き効果のないことを報告している. 著者も Oxy-Anthranil 酸投与実験を行い,

表13, 14の如く熱射病必発の温度条件下では, 特に直接的予防効果を認め得なかった.

表 13 Oxy-Anthranil 酸投与の影響

時間 (分)	D.B. 43°C, W.B. 33.5°C, 椅坐安静			
	300mg実験30分前投与		対 照 例	
	体温(°C)	脉搏数	体温(°C)	脉搏数
15	0.2	8	0.2	8
30	0.5	16	0.5	11
45	0.7	23	0.7	18
60	0.9	24	0.9	25
75	1.2	33	1.1	24
90	1.3	39	1.3	33
105	1.5	45	1.4	37
120	1.6	47	1.5	43
135	1.7	46	1.6	45
150	1.8	55	1.8	51
165	1.8	56	1.8	54
180	1.9	58	1.9	57
症 状	熱射病症状発現		同 左	
実 験 回 数	5		4	

表 14 Oxy-Anthranil 酸 投 与 の 影 響

時間 (分)	D.B. 43°C, W.B. 36.5°C, 椅坐安静					
	300mg実験30分前投与		100mg 1 週間連用		対 照 例	
	体温(°C)	脉搏数	体温(°C)	脉搏数	体温(°C)	脉搏数
15	0.4	5	0.6	14	0.5	10
30	0.7	18	0.8	36	0.9	26
45	1.1	32	1.2	38	1.1	35
60	1.6	37	1.5	45	1.4	41
75	1.9	49	1.9	60	1.8	54
90	2.3	59	2.3	65	2.1	59
症 状	熱射病症状発現		同 左		同 左	
実 験 回 数	4		1		4	

その他、高温下では著しい水分代謝と相まって独りClのみならず、他の鈣質代謝にも大きな影響を受ける。特に筋活動の磷酸の役割を考慮し、磷酸塩の投与も考えられる。著者も W.B. Temp. 36.5°Cでの磷酸塩投与実験を行ったが、特に影響を認めず、一般的な疲労防止と云う点にその意義を考えるべきものではないかと考えている。

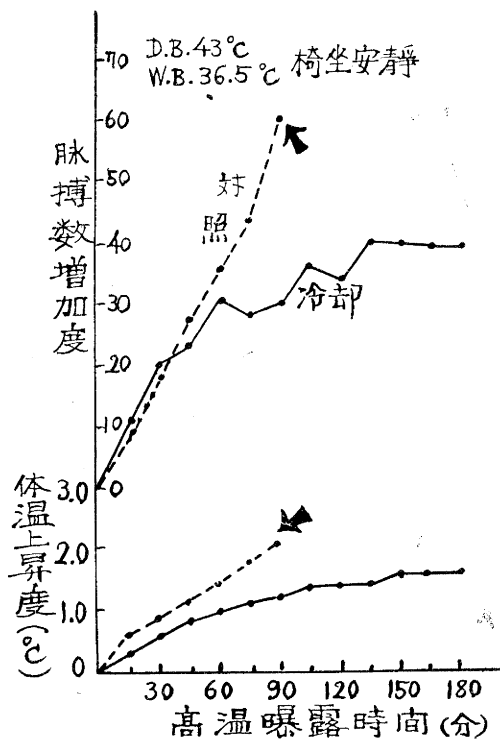
又、水分食塩代謝に関係して問題になるのは副腎皮質ホルモンであり、吾国でも齊藤、伊藤、有山、鈴木(1947)の牛副腎皮質乾燥物或は理研 Cortthormon による実験例や、齊藤、鈴木、有山(1947)、齊藤、伊藤、有山、角田(1948)の報告、大野ら(1952)の炉前作業者に対するDOCA実験例、松岡ら(1953)のDCA油剤5mg宛朝夕2回、9日間使用時の実験例等があり、結論的には汗中及び血中食塩濃度、血液水分量等からみて、高温順応現象と同様の態度がみられる点はほぼ一致した所ではあるが、これが熱射病予防剤として実際に使用可能か否かは、労働衛生学の立場からはその連用による副作用の点からも明らかな問題であり、鈴木武夫(1955)もこの種の実験は、高温条件の人体に及ぼす影響を解明するための手段として用いられているものであると述べている。

二) 頭部冷却及び常温環境下の休憩挿入による効果について

熱射病の本態に関しては古来多数の研究業績があり、体内異常代謝産物の蓄積、Acidosis、体内酸素欠乏、血温上昇、水分塩分代謝の失調、心筋障害、血液性状の変化、中枢障害、脳内温度上昇とこれによる中枢障害等、多くの原因があげられており、これらに関しては Krehl-Marchard (1908)、Martineck (1912)、Hiller (1913)、小泉(1917, 1918)らが詳細に論じている。これらの要因が或は主となり、或は従となって本病発現に関与しているものと考えられるが、体温調節機能失調による脳内温度の上昇が本病発現に重要な役割を演じていることは想像に難くなく、今川(1929)、但野(1933)、曾我(1935)、衣川(1942)等は、いずれも高温曝露の動物実験において動物の脳内温度が上昇し、それが一定程度以上に達すると熱射病の発現することを立証し、かつ頭脳部冷却により脳内温度の上昇を一定程度以下に抑制する場合には熱射病の発現を抑制し得ることを認め、さらにこのような見地から予防策として頭脳部冷却法の効果に関して藤木(1942)、吉見(1946)は人体実験を行い、熱射病発現予防に本法が効果的であることを立証した。

図7は著者が全様の立場から、熱射病の必発温度条件であるW.B. Temp. 36.5°Cの高温環境下で頭脳部冷却法を試み、体温、脉搏数の変化及び自覚症状の発現に及ぼす影響を検討した成績である。

図 7 頭脳部冷却の効果



実験は健康成人男子2名に氷嚢を後頭部に使用し、高温下で椅坐安静にした例である。

対照例においては、体温、脉搏数は高温曝露によって殆んど直線的に上昇増加し、全く定常状態を保ち得ず、90分時の変化度2.1°C、53に達し、典型的な熱射病症状の発現をみて break down している。

これに対して頭脳部冷却時には高温曝露初期にはその変化は対照例に似てやや急激であるが、時間の経過とともに変化度は次第に緩徐になり、概ね120分頃からはほぼ定常状態に達し、180分の曝露時にも1.6°C、39のレベルにとどまり、自覚症も比較的軽微であり、熱射病発現を推定しうる如き特記すべき症状もなく、耐熱時間の著しい延長を示した。

なお、著者は対照例として別に、氷嚢をほぼ同面積で胸腹部、上腿部に使用し同様の実験を行ったが、この場合には頭脳部冷却の如き特異的とも云うべき影響が認められず、かつ不快感乃至疼痛感のため長時間の

連続使用は苦痛であった。すなわち、頭脳部冷却は単なる身体部位からの放熱効果とは解し難く、脳内温度上昇抑制による特異的な効果と解して大過ないものと思う。

ただしこれを実用化するには技術的にもなお多くの問題があり、さらに頭脳部のみを冷却し、その他の身体諸部位は異常高温環境下にあると云う、いわば paradoxical な条件下で長年月労働に従事する場合、何等の影響を残さぬか否かは一応問題になる所であり、実際的にも検討の余地がある。

実際に現場で行われている方法は作業員への冷送風による予防対策であり、Nozzle を作業員の背面に位置させ後頭部一背面から全身に送風するのが有効であろう。なお、Houghten ら (1941) は衣服内送風による効果を実験的に立証している。この場合は圧搾空気によって冷風を後頭部から全身にわたって送風して有効であるとしている。

さらにこの問題の意義を拡大すれば、常温環境下の休憩を高温労働中に如何に挿入すれば効果的かと云う問題に発展する。

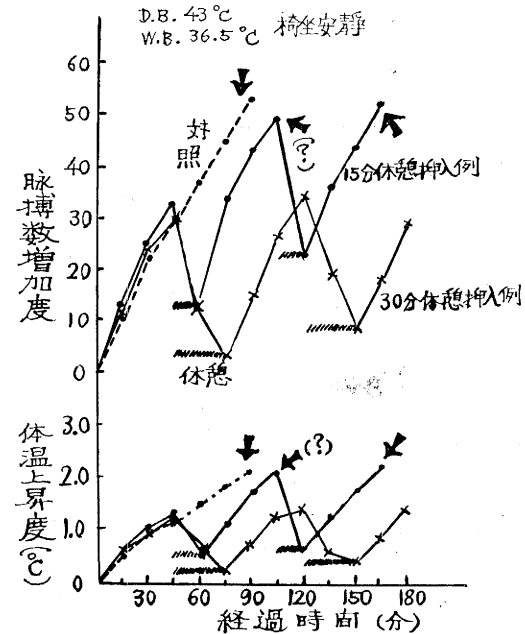
一般に高温労働では、温度条件及び労働強度が激しい程、一回の連続労働時間が短くなり、頻回の休憩が入り、それが軽度の程、連続労働時間が延長し、午前、午後の各1回の休憩と昼食休憩と云う形式になるのが普通であり、庄司、相沢、山本 (1947) の高温労働者の Time-Study では、比較的軽作業の硝子工の実労働率は54~65%に対し、重筋労働である金属圧延工では17~44%、平均33%であり、高温曝露率においても同様に硝子工44~67%、平均59%に対し圧延工は29~71%、平均41%を示しており、上記の事実をうら書きしている。而して圧延工では温度条件及び労働強度が激しいので、実働率の上述の如き割合にもかかわらず、高温労働を総合的に示す TGE 指数では遙に大きな値が典型的な金属圧延工場で見られる結果となる。

齊藤 (1948) も、重筋労働程、一回の連続労働時間が短縮し、自然休憩の頻発を論じ、かつ常温下での1時間の食事休憩が血液性状の好転をもたらすことを報じ、休憩の重要性を論じている。また、齊藤 (1954) は、37~38°C、湿度80%の高温労働につき、労働強度別に実働率、作業と休憩時間の種々の組合せの下で労働持続可能の如何を検討し、必要休憩時間の設定を試みており、三浦ら (1952) も火夫作業において同様の研究を行い、一定度以上の長さの休憩時間の意義を評価している。

図8は著者が W.B. Temp. 36.5°C の高温曝露45

分に対し、常温環境下 (D.B. Temp. 24°C, W.B. Temp. 21°C の予備室) での15分及び30分の椅坐安静の休憩を挿入した場合、体温、脉搏数の変化にどのような影響をもたらすかを実験したものである。

図 8 常温環境下の休憩挿入による効果 (D.B. 24°C, W.B. 21°C)



15分休憩では体温、脉搏数は完全な回復がみられず、実験開始前の常温下安静値より高いレベルで再び高温曝露が行われることとなり、次第にその変化が高いレベルに上つて、ついに対照例と全様に break down しているが、30分休憩の場合には、休憩中の回復が15分休憩に比して遙に良好となり、従つて次回の高温曝露においても異常に高い変化度に至らずして再び30分休憩に入ることとなり、高温曝露の総時間の延長にもかかわらず、体温、脉搏数の変化も余り著しいレベルに達することなく経過しており、休憩時間も一定程度以上の長さで行う場合には、比較的有効に働くものと解され、熱射病の直接的予防効果がこの点認められる訳であるが、休憩問題は能率、定員にも関係するので、今後この分野では疲労、能率の面で検討し、休憩問題の研究を労働科学的により実際化する必要がある。

ホ) 作業員の側における熱射病を発生しやすくする誘因的事項について

熱射病予防にはその誘因的事項を日常生活において排除することも、実際に必要である。 Martineck

(1912)は、空腹、水分不足、下痢、胃腸障害、睡眠不足を誘因としてあげ、個人面で栄養、生活状態に注意し、鍛練の効果をあげ、宮尾(1945)はこのほか宿酔をあげ、鈴木(1953)は坑内労働者の熱射病発生時の調査から、過労、胃腸障害と睡眠不足を重要な誘因としてあげている。これらの誘因的事項は衛生教育上重要な点であり、Gelmann & Scheweljuchin(1931)は高温条件下では胃液分泌と酸度の低下、機能低下があるといい、かゝる胃機能低下に対し市吉(1954)はVit. B₁の投与が有効であることを動物実験で立証しており、これらの点からも高温労働者の健康管理上栄養問題が極めて重要なことを示唆している。

その他高温環境に対しては馴れの現象が認められており、Houghten, Rosenberg, Ferderber(1940)はこの点で採用時期の考慮の必要なことを強調し、三浦ら(1955)は火夫作業につき熟練者及び未熟練者の生理機能の変化を比較し、その結果から鍛練、熟練の問題を重視している。これらの点も又、衛生管理上留意すべき点であろう。

その他、現場で行われている予防策や厚生施設の実態については、庄司、相沢(1951)が金属圧延、硝子工場等を調査して報告している。

Ⅲ 総 括

著者は金属精錬工場、硝子工場等の実態調査の結果から夏季の高温高湿の気候帯の下で行われる操炉工、圧延工、捲取工、製瓶工等の炉前高温作業の実態を述べ、職業病としての熱射病予防策の重要性を強調し、次いで人工気候室の人体実験成績から、熱射病の発現を規定する温度条件及び Vitamin B₁, C, Oxy-Anthranil 酸、食塩水等の薬剤その他の投与効果、頭脳部冷却法の効果、常温環境下の休憩挿入の意義を労働科学的に検討し、熱射病予防策に若干の考察を加えた。成績は次の如く要約することが出来る。

1) 温度条件の恕限度に関しては、輻射熱が問題とならない高温環境では Wet Bulb Temp. の高低が高温曝露による生理機能の変化の程度を評価するために最もよい指標と考えられ、この面から恕限度設定が可能である。すなはち、高温条件下の椅坐安静及び RMR 3.5 の労働時の人体実験成績を総合すれば、W. B. Temp. 30.5°C 以下では体温、脉搏数は高温曝露によつても定常状態を示し、適応現象が認められるが、33.5°C 以上ではかゝる定常状態が認められず、適応必綻の姿を呈し、一定時間後には常に熱射病症状を発現して break down している。従つて恕限

度は W. B. Temp. 30°C 附近と考えられ、33°C 附近は熱射病発現の危険域として大過ないものとする。熱射病予防策としては、第一義的に W. B. Temp. 30°C 以下に温度条件を軽減するよう環境条件の改善を行うことが必要である。

高温労働では強烈な輻射熱が問題となる場合が多く、これは炉前作業にみられる所である。かゝる環境での恕限度の問題は今後の研究にまつ所が多いが、温度条件と労働強度を総合した TGE 指数はかゝる高温労働の評価指標として有効なものとする。

さらに実際的には防熱衣服、防熱マスク等の使用、熱源に対する各種の輻射熱防止設備の実施が望まれる。

2) Vitamin B₁, C, Oxy-Anthranil 酸、食塩水等の薬剤その他の投与の熱射病予防効果の実験成績を総合すると、熱射病の必発するような高温曝露(W. B. Temp. 33.5°C 或は 36.5°C)の下では、Vit. B₁, C 及び Oxy-Anthranil 酸は体温、脉搏数の変化に対して特記すべき影響を与えず、いずれも一定時間後には熱射病症状の発現により break down しており、熱射病予防上直接的な効果が認め難い。これに対して食塩水飲用例では脉搏数増加が抑制され、特に W. B. Temp. 33.5°C では定常状態を保つ姿がみられた。W. B. Temp. 36.5°C では定常状態は保ち得ないが、対照例に比し常に脉搏数増加が抑制されていた。而して自覚症の面でも心挿充進の軽減、焦燥感、不安感の軽減が目立つた。さらに高温労働者では水分食塩代謝の失調による熱痙攣症の発生が稀ではなく、この点からも食塩水投与は熱射病予防上積極的に行う可き対策である。

Vitamin については、高温環境下ではその消耗が激しく、欠乏は耐熱性を低下させることが既に実験的にも知られているので、常に消耗に対しては十分の補給をとう点に留意すべきである。

要するに、熱射病予防には温度条件と労働条件の改善が第一義的に考えられ、各種の薬剤投与は一般的な健康管理、疲労防止等の面での意義を認むべきものであり、それは云わば広義の熱射病予防と云う点で労働衛生学的な意味をもつものとする。

3) W. B. Temp. 36.5°C の如き高温環境下においても、頭脳部冷却法を行えば体温、脉搏数の変化は一定限度に抑制されて定常状態が保たれ、自覚症の著しい軽減がみられた。これは実際的には local cooling が高温労働に対して極めて有効であることを示唆するものである。

さらに高温曝露に際して一定時間以上の常温環境下での休憩を挿入する場合には、高温曝露の総時間数の延長にもかかわらず、生理機能の変化をある程度に抑

制し、熱射病予防上効果的であり、休憩時間とその方法に関する事項は今後実際に開拓すべき分野である。

参 考 文 献

- 1) 柘沢龍：日本衛生学雑誌，1（1）：5～6，1946.
- 2) 秋元稔：国民衛生，5（9）：733～745，1928.
- 3) **Belding, H. S. & Hatch, T. F.** : Heating, Piping and Air-Conditioning, 27（8）：129～136, 1955.
- 4) **Büttner, k.** : Physikalische Bioklimatologie, Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig, 1938.
- 5) **Consolazio, W. V., Pecora, L. J. & Tusing, T.** : Jour. Ind. Hyg. & Toxicol. 29 : 347, 1947.
- 6) **Dietrich, E. & Kaminer, S.** : Handbuch der Balneologie, medizinische Klimatologie und Balneologie, Bd. I-V, George Thieme, Leipzig, 1931.
- 7) **Dill, D. B.** : Arbeitsphysiologie, 4: 508～518, 1931.
- 8) **Eichna, L. W., Ashe, W.F., Bean, W.B. & Shelly, W.B.** : Jour. Ind. Hyg. & Toxicol. 27（3）:59, 1945.
- 9) **Erman, I. M.** : Zeitschr. für arztl. Fortbildung, 50（22）：950～955, Bulletin of Hyg., 32（3）：264～265, 1956より引用.
- 10) **Fleisher, W.L., Stucey, A. F. & Houghten, F.C.** : Heat. Pip. & Air-Cond., 11 : 255～266, 1937.
- 11) 藤木正二：国民衛生，19（1，2）：1～133, 1942.
- 12) 古市節郎，内田早苗：産業医学，17（2）：166～173, 1940.
- 13) **Gage, A.P., Herrington, L.P., & Winslow, C.E.A.** : Amer. J. Hyg., 26 : 84～102, 1937.
- 14) **Gerking, S.D., & Robinson, S.** : Amer. Jour. Physiol. 47: 370, 1946.
- 15) **Glover, D.M.** : Jour. Ind. Hyg. & Toxicol., 13: 347～360, 1931.
- 16) **Gelmann, J. & Scheweljchin, D.** : Arbeitsphysiolog. 4: 329～355, 1931.
- 17) 畑 昇：労働科学，28（6）：325～331, 1952.
- 18) 林与吉郎：産業医学，17（6），432～456, 1940.
- 19) **Heilman, M.W., & Montgomery, E. S.** : Jour. Ind. Hyg. & Toxicol. 18: 651～667, 1936.
- 20) **Hiller, A.** : Deutsche Mediz. Wochenschrift, 39（25）：1185, 1913.
- 21) **Houghten, F.G., Ferderber, M. B. & Gutberlet, C.** : Heat. Pip. & Air-Cond. 13: 462～465, 1941.
- 22) **Houghten, F. C., Rosenberg, A. A. & Ferderber, M. B.** : Heat. Pip. & Air-Cond., 12: 139～142, 1940.
- 23) 市吉親夫：日新医学，41（9）：496～502, 41（10）：561～567, 1954.
- 24) 今川誠一：国民衛生，6（4）：429～462, 1929.
- 25) 伊藤 修，小管武夫：満州医誌，23: 71, 1935.
- 26) 勝木新次：労働科学，27（6）：289～298, 1951.
- 27) 衣川純一：国民衛生，19（3，4，5，6）：135～236, 1942.
- 28) 小泉親彦：東京医学会雑誌，31: 1281, 1917, 32: 69, 1918.
- 29) 近藤正二：風土病研究（学研風土病研究特別委員会報告），12～13, 1949.
- 30) **Krehl-Marchard** : Handbuch. d. allg.Path., Bd. I, Leipzig, 1908.
- 31) 久保田重孝：最近の職業病，363, 山水社，東京，1953.
- 32) 黒田芳夫：公衆衛生学雑誌，5（5）:48, 1949.
- 33) 黒川雅一：国民衛生，18（3，4）：123～153, 1941.
- 34) **Marschak, M., & Dukelsky, O.,** : Archiv für Hyg. 101 : 325～336, 1929.
- 35) **Marschak, M., & Klaus, L.** : Archiv für Hyg., 101: 297～324, 1929.
- 36) **Martineck, O.** : Lehrbuch d. Militär-Hygiene, Bd. IV, Leipzig, 1912.
- 37) 松岡脩吉，西川瀧八，脇阪一郎，加納清，吉益正夫，西田実顕：労働科学，31（5）:298～303, 1955.
- 38) 松岡脩吉，鈴木武夫，川森正夫，石川清夫，大野二郎：29（5）：257, 1953.

- 39) **McConnell, W. J. & Houghten, F. C.** : Jour. Amer. Soc. Heat. Vent. Engineers, 29 : 131~157, 1923.
- 40) 三浦武夫 : 産業医学, 第2集 : 20~29, 1949.
- 41) 三浦豊彦 : 労働科学, 30 (3) : 117~124, 1954.
- 42) 三浦豊彦, 森岡三生, 木村菊二 : 労働科学, 32 (8) : 610~619, 1956.
- 43) 三浦豊彦, 森岡三生, 木村菊二 : 労働科学, 33 (8) : 595~603, 1957.
- 44) 三浦豊彦, 森岡三生, 木村菊二, 田口貢, 西部徹一, 齊藤博隆 : 労働科学, 31 (2) : 74~81, 1955.
- 45) 三浦豊彦, 森岡三生, 齊藤博隆 : 労働科学, 29 (6) : 309~317, 1953.
- 46) 三浦豊彦, 齊藤博隆 : 労働科学, 28 (10) : 727~738, 1952.
- 47) 三浦豊彦, 齊藤博隆, 森岡三生, 木村菊二, 荒 央江 : 労働科学, 28 (4) : 203, 1952.
- 48) 宮尾績 : 田宮猛雄編, 新編熱帯病学, 114~132, 南山堂, 東京, 1954.
- 49) 水田格, 相沢龍, 鶴岡秀夫, 堀口一男 : 交通医学, 9 (4) : 23~29, 1956.
- 50) 永田久紀, 米田幸雄, 門脇一郎, 山田美代子 : 労働科学, 34 (2) : 69~78, 1948.
- 51) 緒方洪平 : 国民衛生, 10 (4) : 493~516, 10 (5) : 611~684, 10 (7) : 859~914, 10 (9) : 1081~1144, 1933.
- 52) 大野二郎, 戸田弘一, 佐藤徳郎, 福山富太郎, 林 哲生, 鈴木武夫 : 労働科学, 28 (10) : 747~754, 1952.
- 53) 大島正光 : 疲労の研究, 49~64, 同文書院, 東京, 1960.
- 54) 大和田國夫 : 日本衛生学雑誌, 5 (3) : 10~16, 1951.
- 55) 齊藤 一 : 労働科学, 22 (3) : 218~220, 1946.
- 56) 齊藤 一 : 労働時間, 92~126, 東洋書館, 東京, 1948.
- 57) 齊藤 一 : 労働科学叢書IV, 労研出版部, 東京, 1954.
- 58) 齊藤 一 : 栄養学ハンドブック, 全編集委員会編, 744~746, 技報堂, 東京, 1958.
- 59) 齊藤 一, 伊藤四十二, 有山 恒, 鈴木 正 : 労働科学, 23 (4) : 107~125, 1944.
- 60) 齊藤 一, 伊藤四十二, 有山 恒, 角田俊直 : 労働科学, 24 (1) : 1~14, 1948.
- 61) 齊藤 一, 東田敏夫 : 労働科学, 22 (2) : 79~115, 1946.
- 62) 齊藤 一, 鈴木 正, 有山 恒 : 労働科学, 23 (4) : 96~106, 1947.
- 63) 齊藤 一, 高松 誠 : 労働の科学, 7 (4) : 32~44, 1952.
- 64) 佐藤徳郎 : 産業医学, 第5集 : 31~35, 1949.
- 65) 嶋田 勇 : 国民衛生, 17 (1,2) : 15~145, 1940.
- 66) 庄司 光, 相沢龍 : 医学と生物学, 13 (1) : 17~19, 1948.
- 67) 庄司 光, 相沢 龍 : 労働科学, 27 (5) : 252~259, 1951.
- 68) 庄司 光, 相沢 龍, 山本剛夫 : 国民衛生, 26 (2) : 114~126, 1957.
- 69) **Skinner, J.B., Pierce, W. M.** : Jour. Ind. Hyg. & Toxicol. 27 (1) : 31, 1945.
- 70) 曾我幸夫 : 国民衛生, 12 (8,9,10) : 1215~1284, 1328~1380, 1504~1577, 1935.
- 71) **Starkov, P. V., Jikesh, J. V.** : Jour. Ind. Hyg. & Toxicol. 17 (6) : 247~252, 1935.
- 72) 鈴木武夫 : 労働の科学, 10 (10) : 671~673, 1955.
- 73) 鈴木芳彦 : 労働科学, 29 (11) : 577~591, 1953.
- 74) 但野走馬 : 国民衛生, 10 (1) : 1~77, 10 (12) : 1781~1816, 1933.
- 75) 高木和男 : 労働科学, 28 (7) : 415~419, 1952.
- 76) 武居繁彦 : 労働科学, 18 (3) : 230~231, 1941.
- 77) **Talbott, J. H., Dill, D. B., Edward, H. T., Stumme, E. H., & Consolazio, W. V.** : Jour. Ind. Hyg. & Toxicol., 19 : 258~274, 1937.
- 78) 津田顕達 : 日本衛生学雑誌, 2 (1) : 8~9, 1948.
- 79) 山添三郎 : 労働科学, 22 (4) : 253~256, 1947.
- 80) 山添三郎, 齊藤一 : 労働科学, 22 (4) : 246~253, 1947.
- 81) 吉田清一 : 労働科学, 18 (9) : 770~778, 1941.
- 82) 吉見英雄 : 日本衛生学雑誌, 1 (1) : 3~5, 1946.

Summary

This is the paper describing the prevention of heat stroke from the aspect of science of labour. The experiments were conducted, determining the body temperature, pulse-rates and loss in body weight of healthy adults during rest and physical exercise under high atmospheric temperature. The intensity of the exercise was estimated as 3.5 in the term of the relative metabolic rate. The atmospheric conditions ranged from wet bulb temperature 24.5°C to 36.5°C. The results obtained were as follows :

- 1) The wet bulb temperature readings seemed to be a good index for determination of permissible limit for the work under high atmospheric condition without severe radiant heat. Below 30.5°C in wet bulb temperature readings, the body temperature and pulse-rates maintained the steady state in the certain niveau after the initial adaptation was accomplished, and the subjects continued the exercise without marked disorders. When the wet bulb temperature readings exceeded 33.5°C, the physical functions resulted in a marked change and the onset of break-down of organic balance was suggested.

Therefore, the permissible limit of the above mentioned working condition was regarded approximately to be 30.5°C in wet bulb temperature readings.

- 2) From the results of the investigation into the industrial plants, such as mental rolling mills and glass works, the working places in the plants judged as "extremely hot" were always the places with severe radiant heat. In these working places, the protection of workers from such severe radiant heat is one of the important hygienic problems.

The value of T. G. E. Index (T. G. E. Index = Air-Temperature × Globe Temperature × Relative Metabolic Rate), conducted by Hazime Saito, staff member of the Institute of Science of Labour, can be employed as a good empirical index of heat stress for men working under such severe radiant heat.

- 3) Experiments on the effect of vitamin B₁, ascorbic acid, oxy-anthranilic acid and sodium chloride solution upon the prevention of heat stroke were made on healthy adults during rest under high atmospheric condition of 33.5°C or 36.5°C in wet bulb temperature readings. The administration of sodium chloride solution gave favorable effect on the change of pulse-rates of subjects. But other drug administration did not reduce such changes due to heat stress, as revealed by body temperature and pulse-rates.
- 4) Experiments on the effect of local cooling and rest in ordinary room temperature for exposure of high atmospheric condition of wet bulb temperature 36.5°C were made on healthy acclimatized adults. According to the results of the experiments, these prophylactic procedures gave favorable effect on the onset of break-down of organic balance.