612.745.6：〔613.162＋613.166〕

高温湿環境下，重筋労働に関する衛生学的研究

第　2　編

高温，高湿環境下労働時の生理的許容限界ならびに休憩について

岡山大学大学院医学研究科（主任：大平昌彦教授）

康　逸　雄

〔昭和40年12月23日受稿〕

I．緒　言

高温熱環境下労働の許容基準に関しては，学者によりその指標とするところが異なつており，近藤[1]，黒田[2]，鈴木[3]らは熱中症発生を目安にしている．相沢[4]は湿球温度を指標とすべきであるとし，W. B. Temp. 30°C以下を提唱している．斉藤および高松[5]はTGE指数で許容基準の設定を提唱している．Committee on Atmospheric Comfort[6]の出している安全曝露時間をみれば，脈搏数125，直腸温度101°F（38.3°C）に達する時間を求めており，乾球温度が上昇した際，湿度が大きく影響するといつている．

勝木[7]および三浦[8]らは脈搏数の変化による指標を提唱し，三浦[8]らは心電図におけるQ－T間隔の短縮を指標とし，高温に耐え得る限界を脈搏数150/分としている．Belding & Hatch[9]はHeat Stress Indexによる許容基準を設定している．

許容濃度等委員会高温班の高温の許容基準[10]によれば，重筋作業の許容基準として，湿度70%，気流速度0.1m/secの継続曝露時において，乾球温30°Cとしている．したがつて湿度70%以上，乾球温30°C以上の問題に関しては論じられていない．われわれの対象となつた救護活動時（第1編参照）[11]は，乾球温40°C以上，湿度80%以上，低気流の環境下で労働しなければならない場合が多いので，かかる条件下での救護活動が，果してどの程度継続し得るものかということが本編の課題の一である．

次に高温熱環境下労働と休憩の問題は，作業能率の合理的向上と，生体の生理的安全状態の持続などの面からみて重要なことである．斉藤[12]，三浦[13]らは実験的研究を行い，高温下労働と休憩の問題を論じているが，著者は高温湿環境下で行われた救護隊訓練時の諸種生理的変動の測定を行い，それらの測定値をもとにして，救護隊活動時の生理的許容限界と休憩の問題に関して興味ある知見を得たので報告する．

II．調査方法

A．場所の選定

第1編[11]において詳述した通称LO坑道の1部を使用した．

B．環境条件（表1）

環境条件の測定器具および測定方法は第1編[11]において詳述したので省略する．表1にみられるように坑内の環境条件は，乾球温31.1～46.6°C（平均39.2°C），黒球示度34.4～47.6°C（平均40.7°C），湿度は89～100%（平均96.7%），風速は平均0.1m/sec以下の状態であつた．

化学的環境条件はCO：0.005～0.01%，CO_2：0.5～2.1%，O_2：14.2～19.1%，SO_2は息気程度～0.002%であつた．

C．調査対象

調査対象は第1編[11]において詳述したY金属鉱山の救護隊員40名である．年令は21～38才で，経験年数は1～11年で平均5年であつた．救命器（K社製）は閉鎖循環式である改造4号型酸素呼吸器を用いた．

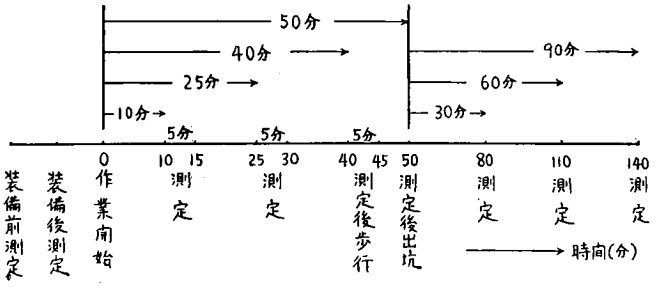
D．作業負荷ならびに測定方法（図1）

第1編[11]において述べたように，救護隊員2名を1組とし，改造4号型救命器で装備し，高温，高湿の坑内距離45mの間を，レンガ5枚をザルに入れて運び積み重ねる作業を行つた．作業負荷時の最大重量は，救命器およびその他の装備品とレンガおよ

表 1 環 境 条 件

日	測点	高さ m	乾球 °C	湿度 %	黒球 °C	気流 m/分	O_2 %	CO_2 %	CO %
第1日	1	1.5 0.5	44.2 41.0	97 96	44.6	33 17	19.1	0.5	0.005
	2	1.5 0.5	43.3 34.1	96 93	47.6	23 17	〃	〃	〃
	3	1.5 0.5	35.5 31.1	95 97	35.5	4 15.8	〃	〃	〃
第2日	1	1.5 0.5	41.5 38.4	94 84	42.6	なし	〃	〃	〃
	2	1.5 0.5	38.0 34.2	95 91	39.6	〃	〃	〃	〃
	3	1.5 0.5	31.4 31.1	94 90	34.4	〃	〃	〃	〃
第3日	1	1.5 0.5	40.6 37.4	97 96	40.8	〃	〃	〃	〃
	2	1.5 0.5	38.5 34.6	91 95	39.8	〃	〃	〃	〃
	3	1.5 0.5	33.0 31.4	92 89	34.2	〃	〃	〃	〃
第4日	1	1.5 0.5	40.8 39.6	100 100		〃	14.6	1.7	0.01
	2	1.5 0.5	41.0 39.8	100 100		〃	14.5	1.8	〃
	3	1.5 0.5	43.0 41.0	100 100	41.8	〃	14.5	1.8	〃
第5日	1	1.5 0.5	44.0 43.0	100 100		〃	16.1	1.2	〃
	2	1.5 0.5	44.2 43.0	100 100		〃	15.9	1.3	〃
	3	1.5 0.5	46.6 44.0	100 100	45.8	〃	15.9	1.3	〃
第6日	1	1.5 0.5	42.8 40.8	100 100		〃	14.7	2.1	〃
	2	1.5 0.5	40.6 40.0	100 100		〃	14.2	2.1	〃
	3	1.5 0.5	40.2 38.6	100 100	42.0	〃	14.2	1.8	〃
平均			39.2	96.7	40.7	0.1m/sec以下			

図 1. 測 定 方 法



びザルの重量を合わせて 25.7kg であつた．作業方法ならびに測定方法については第1編[11]において詳述したので，その細部については省略する．なお作業のエネルギー代謝率（R. M. R.）は第1編[11]において述べたが，坑外において測定した値は 4.2 であつた．

測定項目は血圧，脈搏数，舌下温度，マスク内温度，呼吸数，体重，血液検査，尿検査，緒方[14]による濾紙 B. P. B. 染色法による疲労尿蛋白の測定，

C.M.I.[15]，O.M.I.[16]による調査，疲労調査，改造4号型救命器各部の温度変化などである．

Ⅲ．調査結果

第1編において著者は，異なる環境条件下の諸種生理的変動に関して，少数例による測定結果について述べたが，今回は坑内作業について多くの例を扱かう機会が得られたので，その結果について報告する．

調査対象40名の救護隊員中6名は作業経過中頭痛，めまい，嘔気，息苦しさなどの熱中症の症状を呈したので作業を途中で中止させた．したがつてデータの処理に当つては熱中症を発症した6名と，最後迄作業を継続した34名の隊員についての測定結果を別別に集計した．血圧，脈搏数，舌下温度，呼吸数などの変化については表2に示す通りであるが，熱中症を発症した6名については項をあらためて論述する．

1．血圧（表2，図2）

坑内作業の継続につれて血圧の変動は個体により多少差のあるのが認められたが，平均の血圧変動は表2および図2に示すとおりである．平均血圧は第1編[11]において述べたと同じような経過をとり，最大血圧は救命器装備後ついで作業開始とともに上昇し，作業開始後40分で最高に達し，ついで下降し始めた．そして作業終了後90分をすぎても作業前値に比して低い値を示して経過している．最小血圧については，救命器装備後にはやや上昇するが，作業開始とともに下降し始め，作業開始後40分で最低の値を示した．そして作業終了後60分でほぼ平常に復し

図2．血圧の変動

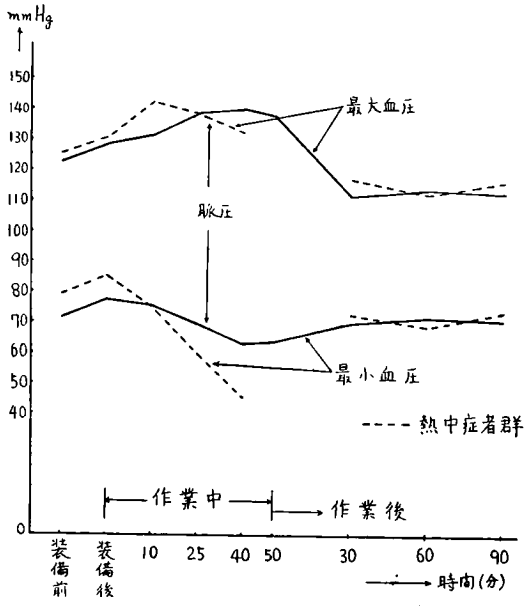


表2　救護隊員の諸種生理変動（34名の平均）

測定項目＼経過	作業前 救命器装備前	作業前 装備後	作業中 10分	作業中 25分	作業中 40分	作業中 50分	作業後 30分	作業後 60分	作業後 90分
最大血圧 (mmHg)	122.7 〔±12.0〕	128.1 〔±14.1〕	131.5 〔±15.7〕	138.4 〔±16.4〕	139.5 〔±17.2〕	137.8 〔±17.8〕	111.4 〔±12.6〕	113.6 〔±12.6〕	112.6 〔± 8.8〕
最小血圧 (mmHg)	71.2 〔± 9.9〕	77.5 〔± 8.9〕	75.9 〔±14.4〕	69.8 〔±15.7〕	63.2 〔±17.3〕	63.9 〔±16.3〕	69.9 〔±11.7〕	71.5 〔±11.6〕	70.3 〔±10.6〕
脈圧 (mmHg)	51.5 〔±10.2〕	50.6 〔±13.3〕	55.6 〔±18.5〕	68.6 〔±20.5〕	76.3 〔±21.7〕	73.8 〔±20.8〕	42.1 〔±10.4〕	42.6 〔±11.6〕	38.8 〔± 7.7〕
脈搏数 (/分)	69.4 〔± 7.4〕	73.7 〔±13.4〕	89.6 〔±19.9〕	119.1 〔±21.8〕	141.0 〔±22.3〕	137.4 〔±20.4〕	79.5 〔±11.9〕	71.2 〔±11.3〕	72.5 〔±11.2〕
舌下温度 (°C)	36.4 〔± 0.5〕	36.6 〔± 0.4〕	36.9 〔± 0.2〕	37.8 〔± 0.4〕	38.9 〔± 0.6〕	38.9 〔± 0.7〕	36.7 〔± 0.3〕	36.4 〔± 0.4〕	36.6 〔± 0.3〕
マスク内温度 (°C)		※1 32.7 〔± 1.0〕	34.5 〔± 1.0〕	36.0 〔± 1.4〕	37.8 〔± 1.0〕	37.4 〔± 1.2〕			
呼吸数 (/分)	20.7 〔± 3.0〕	21.2 〔± 2.7〕	22.6 〔± 3.5〕	24.3 〔± 6.1〕	25.9 〔± 4.9〕	27.5 〔± 5.7〕	23.0 〔± 5.8〕	19.6 〔± 1.7〕	19.5 〔± 1.9〕
体重 (kg)	※2 54.6 〔±4.9〕		1.0 〔±0.2〕 減少				53.6 〔±4.1〕		

註1：〔　〕内は標準偏差

註2：※1のマスク内温度は10名の平均

註3：※2の体重変化は24名の平均

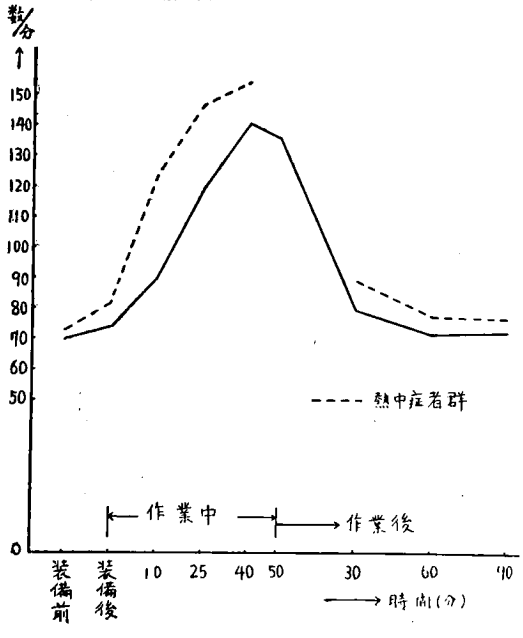
ている．したがつて脈圧の変動は作業開始とともに増大し，作業開始後40分で最大の値を示し，作業終了後は90分をすぎても作業前脈圧に比して低い値を示しつつ経過している．作業開始後40分では最大血圧の増加率は約113.7％，最小血圧の減少率は88.8％，脈圧は 76.3mmHg に増加して，作業前の51.5 mmHg に比して148.2％の増加である．

作業の継続につれて個体による血圧の変動差をみると，最大血圧，最小血圧がともに下降傾向を示すものは5名(14.7％)，最大血圧，最小血圧がともに上昇傾向を示したものは6名（17.6％）認められた．また作業開始後10分値まで最大血圧，最小血圧がともに上昇傾向を示すものは17名（50％）認められ，作業開始後10分以後最小血圧の減少傾向に向う割合が急に増加している．作業中最大血圧が 150mmHg 以上を示したものは13名（38.2％）において認められ，最小血圧が非常に低い値（10mmHg）を示したものは2名であつた．脈圧は最大血圧，最小血圧の変動傾向の如何を問わず34名中4名（11.8％）を除いて，程度の差はあるが，いずれも作業前脈圧に比して40分，50分値の脈圧は増大しているのが認められた．そして作業前最大血圧が 150 mmHg を示した1人は脈圧の増大傾向が大であつた(増加率223.3％)．

2. 脈搏数（表2，図3）

隊員34名の平均脈搏数変動は表2，図3に示すとおりである．作業経過につれて平均の脈搏数変動をみると，脈搏数は作業開始とともに急速に直線的に上昇し，作業開始後40分で最高に達している．作業開始後40分をすぎて歩行に移つた50分値はやや下降し，作業終了とともに直線的に下降し，作業後は90分をすぎても作業前値に比してやや高い値で経過している．

図 3.　脈搏数の変動

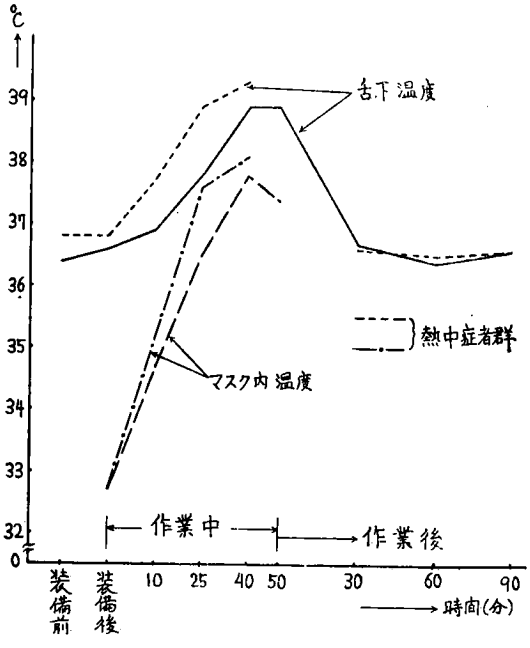


作業開始後40分では，平均脈搏数 141.0±22.3 で平均増加率は 203.1％であつた．三浦[8] らのいう高温下労働の許容限界である脈搏数150/分を越えたものは15名（44.1％）認められた．最高の増加を示したものは脈搏数182/分であつた．

3. 舌下温度とマスク内温度（表2，図4）

舌下温度の変化は表2，図4に示すとおりである．

図 4.　舌下温度およびマスク内温度



舌下温度は作業開始とともに直線的に上昇し，最も上昇したのは作業開始後 40 分，50 分値で夫夫平均 38.9°C で，作業前値に比して 2.5°C 上昇している．作業終了後は60分～90分でほぼ作業前の値に復している．個人的には 40.1°C を示したものが1名おり，作業開始後 39°C 以上を示したものは，40分値で11名（32.4％），50 分値で 15名（44.1％）認められた．

なお舌下温度の上昇とともに個人により多少の差はあるが，大体において約 2°C 以上の温度上昇をみる時，隊員の自覚的疲労症状の訴えが増加してくる．そして舌下温度の上昇と他の諸種生理的変動を考慮

した場合，作業の継続を不能にする舌下温変動の上限は 39°C 付近であると考えられる．

マスク内温度の測定は，閉鎖循環式救命器を装備した場合，マスク内の呼気および吸気の温度が舌下温度よりも高いか否かを知るために隊員9名について行つた．表2および図4の値は隊員9名についての平均値である．マスク内温度がもつとも上昇した40分，50分値は平均で37.8°Cおよび37.4°Cであつた．舌下温度と比較してみると，舌下温度が最高に上昇した時，マスク内温度は舌下温度よりも平均で1°C 以上低い値を示している．この結果から図4のグラフでも明らかなように，マスク内温度が38°C前後になると，舌下温度は39°C 前後に上昇しているものと考えられる．これは第1編[11]における測定結果ともよく一致する．したがつて乾球温が40°C前後の高温湿環境下で閉鎖循環式酸素呼吸器を着用した場合，マスク内温度は舌下温度の測定に比べて，マスクをいちいち全部取りはずす操作が必要でなく，比較的測定し易いのでマスク内温度を測定し，その時の測定値に 1°C～1.5°C 加算した値を舌下温度の値とみなして，作業の継続ないしは中断を判定する一つの指標としてもよいと考える．

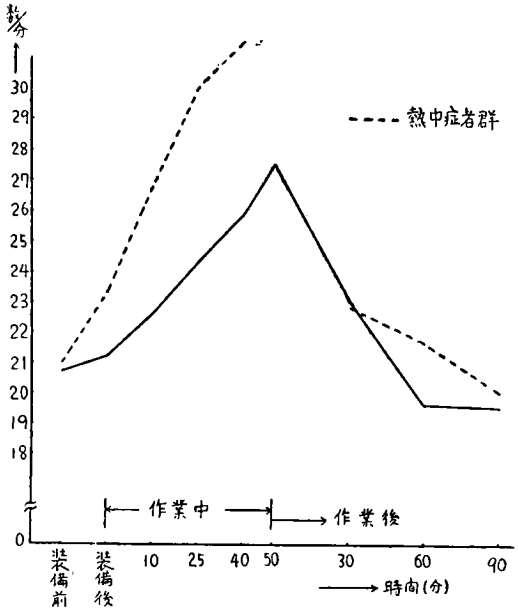
4. 呼吸数（表2，図5）

呼吸数の測定にあたつては，隊員各自が両手を腹部にあてて測定した．平均の呼吸数変化は表2および図5に示すとおりである．作業開始後50分の平均呼吸数は27.5±5.7で，その増加率は129.9％であつた．作業終了後60分以後は作業前値に比してやや低い値で経過している．

5. 体重変化（表2）

作業前後の体重計測においては，正確な体重減少量を知るために，下着などが汗を吸い取る点を考慮し，計量の際は裸にして測定し，作業前後の体重測定の間には飲水，排尿，排便を禁止した．以上の方法により50分間の体重の減少量は隊員24名についての平均値であるが，平均 (1.0±0.2)kg の減少を示した．体重減少の巾は 0.6～1.5 kg の範囲である．この体重減少はすべて発汗によるものとみなされるが，これを1時間値に換算すると 1.2kg/hr となり，その熱量は 1,020Kcal となる．Belding & Hatch[9] は Heat Stress Index を求める際，労働時の発汗を 1 l/hr を限度とし，その蒸発熱は 2,400 Btu となるが，坑内作業は Heat Stress Index Chart により求められる限界を越えた労働であるといえる．

図 5. 呼吸数の変動



6. 血液の変化（表3）

作業前後の血液検査は隊員14名について行つた．血液は救命器装備前および作業終了後に夫夫3 cc ずつ採血した．なお水分の補給による影響をなくするために，飲水は一切行わしめなかつた．採血した血液について夫夫全血比重，血漿蛋白量，Ht 値，Hb 値について測定を行つた．結果は表3に示すとおりである．作業前後の検査結果を比較してみると，全血比重は0.005，血漿蛋白量は1.5 g/dl，Ht値は3.6

表 3　作業前後の血液所見（平均）

測定項目 / 経過	全血比重		血漿蛋白量 (g/dl)		Ht 値 (％)		Hb 値 (g/dl)	
	一般隊員	熱中症群	一般隊員	熱中症群	一般隊員	熱中症群	一般隊員	熱中症群
作業前	1.055	1.057	7.17	7.58	43.2	44.9	14.6	15.2
作業後	1.060	1.064	8.67	9.35	46.8	49.4	15.7	16.6
変化量	0.005↑	0.007↑	1.50↑	1.77↑	3.6↑	4.5↑	1.1↑	1.4↑

註：一般隊員は14名，熱中症群は4名の平均

%，Hb 値は 1.1g/dl と夫夫作業後は上昇しており，高温湿環境下の作業負荷による多量の発汗で，血液が濃縮されている状態を認めることができた．

7. 尿の変化

作業前後の尿について蛋白，糖，ウロビリノーゲンの検査と，濾紙 B. P. B. 染色法[14]による疲労尿蛋白の測定を行つた．作業前の尿においては，糖の陽性者1名，ウロビリノーゲンは(+)3名，(++)が2名で，スルホサリチル酸による蛋白の陽性反応者は認められなかつた．作業後蛋白が(−)から(±)〜(+)に変したもの7名(20.6%)，糖が(−)から(+)に変化したもの2名(5.8%)，ウロビリノーゲンが(±)から(+)，(+)から(++)に変化したものが6名(17.6%)認められた．

緒方[14]の方法による濾紙 B. P. B. (Brom-phenol-blue) 染色法により疲労尿蛋白を測定したところ，作業前に比し作業後の尿中蛋白の増加が明らかに認められた．即ち作業前に比して減少したもの1名，変化のなかつたもの9名，2倍増加したもの18名，4倍増加したもの5名，8倍増加したもの1名であつた．したがつて作業前に比べて増加したものは計24名で被検者の70.6%に疲労尿蛋白の増加が認められた．

8. C. M. I., O. M. I. および自覚症状調査

C. M. I. (Cornell Medical Index)[15] 調査においては，消化器系統に対する訴えが一番多く，他の呼吸器や，皮膚に関する訴えに比し約3倍の値を示した．O. M. I. (Okayama Medical Index)[16] 調査においては，全身症状および気質精神にやや訴えの数が多かつた．いずれにしても C. M. I.[15] および O. M. I.[16] 調査においては，救護隊員の健康状態は一般に良好であつた．

疲労の自覚症状調査は作業前と作業後に，日本産業衛生協会，産業疲労委員会選の「疲労調査法——疲労の自覚的症状調査規準——」に基づいた調査表によつて行つた．作業前の訴えに比して作業後は身体的症状の頻度は10.3%，精神的症状は4.0%，神経感覚的症状は10.4%と作業後の訴えの頻度は夫夫増加している．

9. 経験年数別区分による生理変動

隊員を経験年数1〜4年未満，4〜7年未満，7年以上の3段階に区分し，血圧，脈搏数，舌下温度について作業前および作業中の生理変動を比較検討した．その結果血圧，脈搏数，舌下温度などの変化において，3段階に区分した相互間には大きな生理的変動の差異は認められなかつた．これは救護隊員の経験年数が3年以上のものが殆んどであるところに原因しているように思われる．

10. 熱中症発症者群について（表4）

調査結果を集計するに当つて既に述べたように，40名の隊員中6名が作業中嘔き気，頭痛，めまい，息苦しさなどの熱中症症状を呈したので作業を中止

表 4 熱中症発症者群の諸種生理変動（6例平均）

経過 / 測定項目	作業前		作業中				作業後		
	救命器装備前	装備後	10分	25分	40分	47分（1名）	30分	60分	90分
最大血圧 (mmHg)	125.3 〔±8.3〕	130.7 〔±13.9〕	142.0 〔±18.5〕	139.0 〔±15.2〕	133.6 〔±22.6〕	110	115.8 〔±12.3〕	112.4 〔±16.7〕	116.0 〔±4.9〕
最小血圧 (mmHg)	79.3 〔±8.9〕	85.0 〔±9.7〕	75.3 〔±13.1〕	60.0 〔±18.3〕	45.0 〔±23.2〕	50	72.4 〔±18.1〕	68.8 〔±15.7〕	73.0 〔±8.2〕
脈圧 (mmHg)	46.0 〔±5.0〕	45.7 〔±11.1〕	66.7 〔±16.5〕	79.0 〔±18.2〕	88.6 〔±7.7〕	60	43.4 〔±8.5〕	43.6 〔±10.5〕	43.0 〔±11.5〕
脈搏数 (/分)	72.5 〔±7.8〕	81.8 〔±10.8〕	123.2 〔±27.3〕	147.0 〔±23.7〕	154.6 〔±20.5〕	81	89.2 〔±14.7〕	77.6 〔±12.4〕	77.0 〔±8.2〕
舌下温度 (°C)	36.8 〔±0.2〕	36.8 〔±0.3〕	37.7 〔±0.7〕	38.9 〔±0.9〕	39.3 〔±0.4〕	38.6	36.6 〔±0.4〕	36.5 〔±0.2〕	36.6 〔±0.1〕
マスク内温度 (°C)		32.7 〔±0.8〕	35.1 〔±0.3〕	37.6 〔±1.1〕	38.1 〔±0.1〕				
呼吸数 (/分)	21.0 〔±2.5〕	23.3 〔±3.9〕	26.8 〔±5.2〕	30.0 〔±4.9〕	31.5 〔±8.7〕	26.0	22.8 〔±3.0〕	21.6 〔±1.5〕	20.0 〔±1.3〕
体重 (kg)	57.6 〔±3.86〕		1.1 〔±0.03〕 減少				56.5 〔±3.9〕		

註1：〔 〕内は標準偏差，　註2：47分値は1名のみの値

させたが，熱中症を発症するまでの時間が個個の隊員において多少異なり，また諸種生理的変動も夫夫多少ずつ異にしているので，これらの点に関して述べる．

a. 作業中止時間

作業を中止した時間は作業開始後25分1名，40分4名，47分1名で，大体において作業開始後40分で苦痛を訴えている．作業開始後47分で中断した隊員は，40分においてすでに苦痛を感じつつも，これを耐えながら47分でその限度を感じて中断した例である．

b. 血圧（表4，図2）

熱中症を発症した6名の平均血圧変動をみると表4および図2にみられるように，最大血圧は作業開始後10分迄は上昇し，それ以後漸減傾向を示している．最小血圧は救命器装備後を界にして作業の継続につれて減少傾向を示しているのが認められた．

作業の経過につれて最大血圧，最小血圧がともに減少傾向を示したものは6名中4名（66.7%）で，あと2名中1名は最大血圧の上昇と最小血圧の減少傾向を示し（表5），もう1名は最大血圧，最小血圧ともに上昇傾向を示した．作業中止後の回復状況をみると，1名を除き作業中止後90分をすぎても作業前値に復していない．その中の1名は2～3日後まで倦怠感が残つたと訴えていた．

脈圧の変動を作業前値と作業開始後40分値を比較してみると，作業前平均 46.0 mmHg に対し40分値は平均 88.6mmHg でその増加率は192.6%であり，他の34名の隊員の脈圧の変動巾に比して非常に大きいことが認められた．

c. 脈搏数（表4，図3）

脈搏数は作業開始とともにいずれも増加傾向を示しているが，熱中症発症により作業を中止した時（40分値）とそれ以前の値を比較してみると，作業の継続により増加していた脈搏数が熱中症を発症する時点では，それ以前の値（25分値）よりもむしろ減少傾向を示したものが5名中3名認められた．そのうち47分で作業を中止した隊員は40分値が153/分であつたのが47分値は81/分と急激な脈搏数の減少をきたしており，血圧も最大血圧 140 mmHg（40分値）から 110mmHg（47分値）に減少している．次に熱中症を発症した隊員中脈搏数の増加が150/分を越えたものは5名で，そのうちの2名は夫夫170/分および186/分（増加率281.8%）の値を示した．

d. 舌下温度（表4，図4）

舌下温度の上昇の度合は，先に述べた34名の隊員の値よりも大きく，6名中5名が作業を中止した時点でいずれも 39.2°C 以上の値を示し，そのうち1名は 40.0°C の値を示していた．

e. 呼吸数（表4，図5）

表4および図5にみられるように熱中症発症者の呼吸数の増加の割合（40分値増加率150%）は，他の34名の隊員に比して（40分値増加率125.1%）大であることが認められた．

f. 血液所見および体重変化（表3，4）

熱中症発症者4名の血液の変化をみると表3にみられるように，熱中症を発症しなかつた他の隊員の平均に比べて，全血比重，血漿蛋白量，Ht値，Hb値がいずれも変化の割合が大きいことが認められ，血液が濃縮された度合が著しいことを示している．

次に体重変化も表4にみられるように，熱中症発症者群は他の隊員の平均に比して体重減少量はやや大きく，したがつて，発汗量の多いことを示している．

g. 熱中症発症者の1症例（表5）

表5に示すのは熱中症を発症した1症例の生理変動であるが，最大血圧の上昇と最小血圧の下降による脈圧の増大傾向が明らかに認められた．脈搏数は作業前値66/分に比し，作業開始後25分および40分値は夫夫186/分，180/分を示し，25分値は作業前

表 5　熱中症を発症した1症例

経過 / 測定項目	作業前		作業中				作業中止後		
	装備前	装備後	10分	25分	40分		30分	60分	90分
血圧 mmHg	130～76	140～80	146～90	150～80	156～70	40分値測定後苦痛を訴えたので作業中止	120～88	118～82	120～60
脈搏数(数/分)	66	80	152	186	180		96	84	90
舌下温度 (°C)	36.9	37.3	38.1	38.9	39.7		37.1	36.7	36.5
呼吸数(数/分)	24	26	26	28	26		24	22	22
体重 (kg)	57.3		0.8 減少				56.5		

に比し実に281.8％増加となつている．舌下温度は作業開始後40分値が39.7°Cを示している．したがつて血圧の変動もさることながら，脈搏数と舌下温度の上昇の度合からみても，これ以上の作業継続は不可能な状態であることがよくわかる．作業中止後の回復状況をみると，90分値において血圧は最大血圧，最小血圧がともに減少したまま，脈搏数は90/分を示し未だ増加したままの状態であり，呼吸数および舌下温度は作業前値に比してやや低い値を示して経過している．

以上述べたごとく，熱中症を発症した隊員は血圧の変動，脈搏数変動の度合および舌下温度の上昇，血液の変化，体重減少などの面からみて，いずれをとつてみても，作業を最後まで継続した他の34名の隊員に比して，いずれも変動の割合が大であることが認められた．

10. 救命器各部の温度変化（表6）

改造4号型救命器ニ又管の呼気側，吸気側，呼気弁，分岐管，吸気弁，下部吸気管に夫夫温度計を差し込めるような装置を施し，作業時間の経過とともに，上記各部の温度変化を記録し観察した．その結果ニ又管の吸気側および呼気側温度は，坑内と坑外の環境条件によつてその上昇の度合は当然異なつているが，吸気側温度は呼気側温度に比して常に低い値を示しているのが認められた．なお救命器の清浄管に隣接している呼気弁，吸気弁，分岐管の部分の温度変化は最も高く，坑内作業時の50分値においては，呼気弁の部位の温度は52.5°Cを示していた．下部吸気管の温度変化は比較的ゆるやかで，呼気弁，吸気弁，分岐管の部位の温度変化よりも常に低く，これは酸素ボンベより放出される酸素の膨脹の影響によるものと考えられる．いずれにしても，二又管の吸気側温度が坑内作業時においても，呼気側温度よりも低く，かつ周囲の環境条件よりも低い値を示していることは，改造4号型救命器が発生する反応熱の影響よりも，周囲の環境条件の方がより大きな影響を生体に与えていると考えられる．このことは，坑外作業時のニ又管の吸気側温度が，坑外環境温度よりも高い状態であるにもかかわらず，坑内と同一作業をした場合，第1編[11]において詳述したように生体の生理的変動に対する影響が小さいという事実からもうなづけると思う．

Ⅳ. 考 察

第1編[11]において著者は，異なる環境条件下における諸種生理的変動およびガス代謝について論述したが，今回の調査研究は高温，高湿の環境条件下で比較的長時間の労働を行う救護隊員の生理的許容限界と休憩についての1つの目安を得るために，救護活動訓練時に示す諸種生理的変動を測定し，それらの値を統計的に集計し比較検討した．

循環機能の面からみると，第1編[11]においても述べたように今回の調査においても，作業経過につれて血圧の変動は個体により差はあるが，その平均血圧変動は，最大血圧の上昇と最小血圧の下降による脈圧の増大傾向が認められた．これを全作業経過に

表 6 改造4号型救命器各部の温度変化

部位 ＼ 経過		測定場所	装備前	装備後	作業開始10分	25分	40分	50分
二又管	呼気側	高温下	31.3°C	33.4°C	37.9°C	38.4°C	38.9°C	37.9°C
		坑外	32.0	32.5	34.4	35.3	35.4	33.4
	吸気測	高温下	31.3	31.3	36.3	37.7	36.9	36.2
		坑外	32.0	32.5	34.1	34.3	34.3	33.4
呼気弁		高温下	31.3	32.0	38.8	45.0	50.0	52.5
		坑外	32.0	32.1	38.2	44.0	46.8	48.0
吸気弁		高温下	31.3	31.3	37.9	41.6	47.3	49.0
		坑外	32.0	32.2	36.8	43.9	47.8	51.0
分岐管		高温下	31.3	31.4	36.4	41.7	46.5	47.3
		坑外	32.0	32.1	34.9	40.0	45.0	44.0
下部吸気管		高温下	31.3	31.0	35.1	38.4	42.5	43.3
		坑外	32.0	32.0	33.9	37.5	39.2	40.1

ついてみると，作業開始後10分までは最大血圧，最小血圧がともに上昇したものは17名（50%）認められ，10分をすぎて25分値になると最小血圧の減少傾向を示すものが急に増加している．そして全作業経過を通じて最大血圧，最小血圧がともに上昇傾向を示したものは6名（17.6%）認められた．次に Asmussen[17] や三浦[18]らは取り扱つた例数は少ないが，高温下労作時血圧は下降するといつているが，今回の調査結果では，最大血圧，最小血圧がともに下降傾向を示したものは14.7%存在していた．脈圧は最大血圧，最小血圧の変動傾向の如何を問わず11.8%の隊員を除き，作業の経過につれて増加しているのが認められた．そして作業前最大血圧が 150 mmHg を示した1名は，脈圧の増大傾向が他の隊員に比して大であつた．

血圧の平均変動をみると，作業開始後40分で最大血圧は最高値を示し，最小血圧は最も低い．脈圧は40分値において最も大きく，その増加率は作業前に比して 148.2 %の増加を示している．今回の調査結果から，高温湿環境下労働時の血圧変動の許容限界は，脈圧が作業前値に比して 150 %付近に増加した場合であると考える．なぜならば熱中症を発症した6例の脈圧の平均変動（表4，5）が作業開始後40分値で 192.6 %の増加率を示した点や，脈圧が作業前値に比して 150 %以上増加した時，極度の疲労と熱中症様の症状を訴えてくる点などからも云えると思う．したがつて脈圧の増加率が 150 %を越える時は作業の継続は不適当であると考えられる．作業後の回復状況をみると，作業後30分，60分，90分値のいずれも作業前の脈圧に比して小さく，作業前の状態に回復していない．

脈搏数の変動をみると，作業開始後40分で最高の値を示し，作業後は90分をすぎても作業前に比してやや増加した形で経過している．Committee on Atmospheric Comfort[6] によれば 240 Cal/m²/HR. の労働時の安全曝露時間は脈搏数が 125 になるまでの時間としているが，今回の調査では，40分値において脈搏数が125/分以下のものは11名（32.4%）においてみられ，三浦[8] らのいう許容基準である150/分以上のものは15名（44.1%）認められた．このことは同一環境条件下で同一労働を負荷した場合，個体によりその生理的反応のしかたは区区であることを示しているが，それにしても気温 40°C 前後，湿度80%以上の環境条件下では，エネルギー代謝率4.2(坑外値)[11] 程度の労働は40分を越える継続作業には不適であるといえる．

舌下温度の変動は平均して作業前に比し作業開始後 40 分値は 2.5°C の上昇を示している．作業中舌下温度が2°C前後上昇すると，隊員の自覚的疲労症状の訴えが増加している．したがつて高温下労働時は体温が 2°C以上の上昇をきたした場合，作業員の自覚症状ならびに生理変動に十分の配慮がなされねばならないと考える．作業後の舌下温度の変化は作業後60分で作業前の値に復している．

マスク内温度は作業経過中常に舌下温度よりも1°C 以上低い値を示している．したがつて作業中マスクを取りはずすことなく，比較的測定し易いマスク内温度を測定し，その値が37°Cを越える場合は，舌下温度は調査結果からもわかるように当然 38°C 以上の値になつていることが予測できるので，マスク内温度が 37°C 前後を示した場合は，作業内容と作業継続について考慮をはらい，状況によつては作業を中断すべきであると考える．

Committee on Atmospheric Comfort[6] によれば，高温下労働時の体温の上昇の許容限界を101°F(38.3°C) においている．三浦[18] はエネルギー代謝率5の筋労作を高温下で行わせた際，気温 40°C の1時間曝露では直腸温度が 38.5°C はこえるが 39°C 以下にとどまるといつている．今回の調査で（平均気温 39.2°C）舌下温度が 39°C を越えたものは 11 名（32.4 %），40.1°C を示したものは1名，38.5°C 未満のものは8名（23.5%）認められた．熱中症を発症した6名中5名はいずれも 39°C をうわまわつており，その平均は39.3°C（表4）であつた．したがつて体温上昇の度合は他の諸種生理機能についてもいえることであるが，著者ら[19]は平均気温49.1°C，湿度36 %以下の環境条件下で，エネルギー代謝率約4.5の労作を行わせた時，体温は40分値で 38.1°C を示し，湿度が低い場合には体温の上昇の割合がゆるやかであるのを経験している．

今回の調査結果から気温 40°C 前後，湿度80%以上の高温，高湿の環境下において，エネルギー代謝率 4.2(坑外値)[11] 程度の労働を行う時，隊員の疲労状態，熱中症の発症症例や他の諸種生理変動も考慮して，作業の継続を不能にする体温変動の上限は 39°C 付近であると考えられる．

呼吸数の変動は第1編[11]において述べたと同じような経過を示している．作業後の経過をみると，90分をすぎても呼吸数は作業前値に比してやや減少したままの形で経過している．

発汗による体重減少は平均で (1.0±0.2)kg で，かなり高度の発汗量である．これを1時間値に換算すると 1.2 kg/hr となり，その熱量は 1,020 Kcal となる．Belding & Hatch[9] は Heat Stress Index を求める際，労働時の発汗を 1 l/hr を限度とし，その蒸発熱は 2,400Btu となるが，坑内作業は Heat Stress Index Chart により求められる限界を越えた労働であるといえる．

血液についてはその調査結果のところでも述べたように，短時間の多量の発汗を伴う作業で，全血比重，血漿蛋白，Ht 値，血色素量のいずれも，作業前に比して作業後は高値を示し血液が濃縮された状態を示していた．この結果は吉村[20]らが行つた筋肉労働負荷時の観察において，全血比重，血色素量が労働期には低下する傾向や，斉藤[21]らが各種産業労働者の血色素量の日間変動率ならびに週間変動率の結果とは異なつた傾向を示しているが，Broun[22] らが報告しているように，短時間の激しい筋肉労働では，血色素濃度は増加するという結果とはよく一致している．このような結果の差異についてはなお検討を要するが，短時間の急激な多量の発汗により血中水分の喪失が原因するのではないかと考える．次に熱中症発症者群は全血比重，血漿蛋白，Ht 値，血色素量の増加の割合が他の一般隊員に比べていずれも大きく，血液の濃縮された度合が著しいことを示している（表3）．

作業前後の検尿の結果や，緒方の方法[14]による濾紙 B. P. B. 染色法による疲労尿蛋白の増加の度合などからみて，高温湿環境下の救護活動が生体に非常に大きな生理的負担を与えていることをうかがい知ることができた．

体温の上昇には環境の気温，湿度の上昇，労働による影響および閉鎖循環式の救命器の発生する熱量などが考えられる．救命器の発生する発生熱は人体に少なからぬ影響を与えてはいるが，救護活動を行う時の環境気温が 40°C 前後に上昇する場合，救命器の発生する発生熱による影響もさることながら，環境の気温，湿度の上昇による影響の方が非常に大きくひびいているように思われる．このことは坑内，坑外における救命器各部の温度変化と坑内外の気温の差および第1編[11]で詳述したように，同一強度労働を坑内，外で負荷した時の生理変動の変化の度合などからも推察できる．

熱中症発生についての実験的研究は相沢[23]，斉藤[24]らの報告があるが，鈴木[3] によればあかまり（熱中症）の発生は，乾球温度 33～42°C，湿度 80～100%の間に集中し，乾球温度 33°C，湿度75%の線で区切ると総発生数のほぼ90%がこの範囲内に入るといい，乾球温度 33°C が「あかまり」発生の怒限度であるといつている．今回救護活動時の調査成績では，乾球温度 31.1～46.6°C (平均39.2°C)，湿度 89～100 % (平均 96.7%) における熱中症の発生率は40名中6名で15%の発生をみている．そして6名中5名は作業開始後，測定時間を除いて30分の作業に耐えている．したがつて熱中症発生を目安にすれば，乾球温度 33.1～46.6°C，湿度 99～100 %の範囲内では，エネルギー代謝率 4.2 (坑外値)[11] 程度の筋労作であれば，生理的変動の測定に要した時間を除いて，連続して30分間の作業は行い得ることになる．

高温下労働時必要な休憩時間についての実験的研究は斉藤[12]，三浦[13]らが行つているが，斉藤[12]はエネルギー代謝率 2.5, 3.5, 5.0, 5.9 の筋労作を温度 38°C，湿度 80 %程度の高温室で行つた際，エネルギー代謝率が 3.2 では作業時間30分，休憩時間30分の実動率50%作業がようやく可能な方法であり，生理変動を考慮して必要な休憩時間は30分間であるとした．三浦[13]はエネルギー代謝率 5.0 の作業を気温 40°C，比湿 62 %の高温下で行つた場合，作業間の必要な休憩時間は60分間であるという．

今回著者の調査結果では，作業後諸種生理変動の回復過程をみると，舌下温度は作業後60分で作業前値に回復しているが，血圧，脈搏数，呼吸数などの回復は作業後90分をすぎても，作業前値に比べて増加ないしは減少した形で経過している．したがつて乾球温度 31.1～46.6°C (平均 39.2°C)，湿度 89～100 % (平均 96.7%) の高温，高湿の環境下でエネルギー代謝率 4.2 (坑外値)[11] 程度の筋労作を行つた場合，作業後の休憩時間は少なくとも90分は必要であると考える．

V. 結 論

乾球温度 31.1～46.6°C (平均39.2°C)，湿度89～100% (平均96.7%)，平均気流 0.1m/sec 以下の高温．高湿の環境条件下でエネルギー代謝率 4.2 (坑外値)[11] に相当する救護活動訓練を行い，諸種生理的変動を測定し考察した結果，次のような結論を得た．

1. 血圧の変動は個体により多少の差はあるが，平均血圧変動は最大血圧の上昇と最小血圧の下降に

よる脈圧の増大傾向を示した．

2. 熱中症症例の観察より，脈圧変動の許容限界はその増加率が150％に増加した時であると考えられる．

3. 熱中症症例の観察より，作業の継続を不能にする舌下温度変動の上限は 39°C 付近である．

4. 短時間内の多量の発汗により，血液は濃縮され，作業後の全血比重，血漿蛋白，Ht 値，Hb 値はいずれも作業前値に比して増加している．

5. 熱中症発症者群は血圧，脈搏数，舌下温度などの変働の割合が大きく，血液が濃縮される度合も著しい傾向がある．

6. 改造4号型救命器の発生熱の影響よりも高温，高湿の環境条件の方が生体に与える影響は大きい．

7. 連続作業の継続可能時間は30分間であり，回復過程からみて作業後の休憩時間は90分間必要である．

稿を終るに臨み，終始御懇篤なる御指導と御校閲を賜わつた恩師大平昌彦教授，ならびに本研究中多大の御援助を戴いた黒田健講師，衛生学教室員各位，白髪克也博士，Y救護隊隊長平田重義，Y救護隊隊員各位ならびに高橋，浜脇君を始めとする18名の岡山大学医学部学生諸君に深甚の謝意を表します．

（本論文要旨は昭和37年11月，昭和38年11月の第6，第7回中四国産業医学会，昭和37年10月，昭和38年11月，昭和39年9月の第19，第20，第21回救命器技術研究会総会，昭和39年4月，昭和40年5月の第37回，第38回日本産業医学会総会において発表した．）

文　献

1) 近藤正二：風土病研究（学術研究会議風土病研究特別委員会報告），12～13，日本医学雑誌 k. k.，1949.

2) 黒田芳夫：炭鉱労働衛生の実態—労働衛生実態調査抄録(1)—．公衛誌，5(7)，47～51，1949.

3) 鈴木芳彦：炭鉱の熱中症「あかまり」に就いて．労働科学，29(11)，577～592，1953.

4) 相沢　龍：熱射病予防策の労働科学的検討，長崎大学風土病紀要，2(2)，160～179，1960.

5) 斉藤　一，高松　誠：労働の科学，7(4)，32～44，1952.（4）より引用）

6) Committee on Atmospheric Comfort : Thermal Standards in Industry. Am. J. Public Health, Year Book, 1950.

7) 勝木新次：高温の恕限度に関する一考察，労働科学，27(6)，289～298，1951.

8) 三浦豊彦，他：高温環境下の労働が循環機能に及ぼす影響について，労働科学，28(10)，727～738，1952.

9) Belding, H. S. & Hatch, T. F. : Index for evaluating heat stress in terms of resulting physiologicalstrains. Heat. pip. & Air conditioning, 27(8), 129～136, 1955.

10) 許容濃度等委員会高温班会合議事録．1～9，1965.

11) 康　逸雄：高温湿環境下，重筋労働に関する衛生学的研究．岡山医学誌，78(1)，147～157，1966.

12) 斉藤　一，他：高熱環境作業者の水分や塩分代謝について．日本生理誌，11，243，1947.

13) 三浦豊彦：高温労働における休憩について．労働科学，30，117～124，1954.

14) 緒方正名：濾紙 BPB 染色法による疲労尿蛋白測定法に関する研究．日本衛生誌，13(5)，644～647，1958.

15) Keeve Brodman, et al.: Cornell Medical Index Health questionnaire. New York Hosp. & the Dept. of Med. and psychiatry, Cornell University Medical College, 1～13, 1956.

16) 青山英康：集団検診の活動評価，（第4編），健康調査表の作成．日本公衛誌，10(12)，653～663　1963.

17) E. Asmussen : The cardiac output in rest and work in humid heat. A. J. physiol., 131(1), 54～59, 1940.

18) 三浦豊彦，他：高温環境下の安静時及び筋労作時の直腸温度について．労働科学，29，309～317，1953.

19) 大平昌彦，康　逸雄：高温環境下，重筋労働に関する衛生学的研究，第5報．産業医学，8(2)，72，1966.

20) 労働科学研究所刊「労働の生理的負担」224頁，1956.

21) 労働科学研究所刊「労働の生理的負担」226頁，1956.

22) 労働科学研究所刊「労働の生理的負担」224頁, 1956.
23) 相沢 龍：急性うつ熱症の発現に及ぼす温湿度の影響. 日本衛生誌, 1(1), 5～6, 1946.
24) 斉藤 一, 他編：「日本の高温労働」労研刊, 215頁, 1963.

Studies on Heavy Muscle Work under the Environments of High Temperature and Humidity.

II. About Physiological Thresholds under the Labouring Conditions and the Adequate Rest Afterwards.

By

Itsuo Ko

Okyama University Postgraduate School of Medicine.
(Directing Professor : Masahiko Ohira, M. D., D. M. Sc., M. P. H.)

In this experiment, the author investigated the changes of blood and urine of the rescue team workers engaging in heavy tasks in high thermal conditions, in addition to the reaffirmation of the previous results. Further, he encountered several cases of heat stroke occasionally.

The followings were the results obtained :

1. Change of pulse pressure which the results were obtained previously was affirmed statistically by increasing the number of the cases.

2. The cases of heat stroke suggested that the threshold limit of the increase of pulse pressure seemed to exist around the rate of 150%.

3. The threshold limit of body temperature (under tongue) was around 39°C.

4. By remarkable sweating after the task, blood was concentrated, resulting the increase of specific gravity of the total blood, proteine in plasma, hematocrit value and hemoglobin content.

5. The group of heat stroke showed higher pulse pressure, higher pulse rate, higher temperature under the tongue and has a tendency of a higher rate of blood concentration.

6. Life-saving mask type 4 produced heat when soda lime absorbed CO_2 expired in the circulaing air. But the influence of the high temperature and high humidity of the environment was greater than the heated air-input of the mask.

7. The limitation of the continuity of the task in such a high thermal condition seemed to be around 30 minutes. The resting time was needed at least 90 minutes for adequate recovery.