

## 階段昇降時における消防隊員の生理変化について

鶴 飼 恒\*  
 野 尻 忠 弘\*\*  
 川 田 丈 昭\*\*  
 遠 藤 昇\*\*  
 齋 藤 義 照\*\*  
 永 田 陽 一\*\*

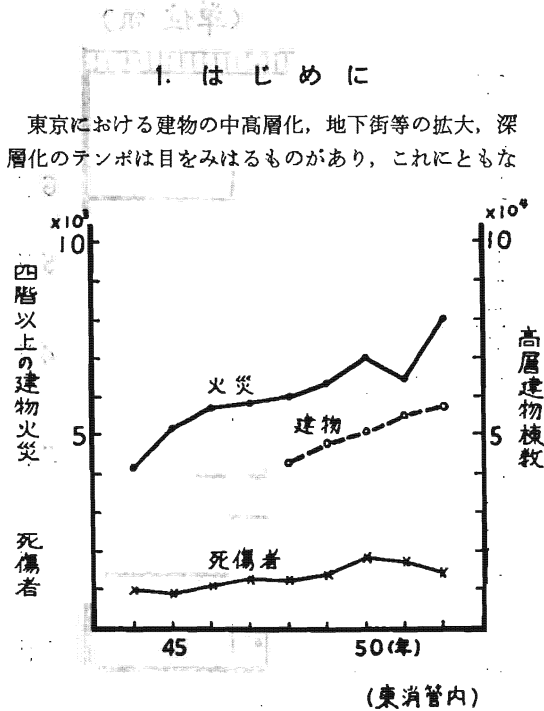


図1 建物火災の状況

って4階以上の建物火災件数も図1に示すように増え続ける傾向にある<sup>1)</sup>。

これら建物の中高層化に対応した各種消防用資器材の開発整備，隊員の訓練強化は現在の消防にとって必要欠くべからざるものである。

消防隊員の現場行動の安全管理，訓練の合理化の基礎資料としてこれら中高層建物における行動時の体力医学的研究もまた重要事項となってくる。

しかしながら，平面活動や登坂行動についての体力医学の面よりみた研究は数多く行なわれているが，階段昇降運動に関する研究は国の内外を問わずあまり行

なわれておらず，特に重い資器材を装備，携行し階段を昇る消防隊員のそれはきわめて少ない<sup>2)</sup>。

われわれは，中高層建物に火災が発生し，上層の目的階に到着した隊員が消防活動に移るのに至適な装備重量や階段昇降の速度を体力医学の面から究明するために，6階建て建物屋外避難階段を利用して基礎的な実験を行なった。

隊員が1階～屋上まで昇ったときの心拍数，呼吸数，血圧，エネルギー代謝率(RMR)，酸素需要量，消費カロリーおよび昇段速度とRMRの関係などについて調査したのでその一端を報告する。

### 2. 実験方法

#### (1) 被験者

表1に示す身体的特徴をもった成人男子5名で，いずれも健康な消防職員である。

#### (2) 負荷条件および負荷内容

負荷条件は表2に示すように装備重量により実験1から実験4の4段階に区分した。

各実験における体重に対する装備重量比(%)は図2に示すとおりである(y: 実験1～4の回帰直線の方程式，r: 相関係数，直線上のたて巾: 標準偏差，p: 危険率)。

4段階の実験区分をさらに階段を1段ずつ① 出来るだけ早く昇る ② 自分のペースで昇る の2通りにわけて実験を行なった。

#### (3) 測定計器および測定項目

医用テレメータ(271型，三栄測器KK製)により，安静時，負荷期，回復期の心拍数，呼吸数を連続測定した。

連続自動血圧計(U SM200B，KK植田製作所製)により，安静時，負荷直後から回復期の血圧を測定した。

ダグラスバッグ法により採気した呼吸をショランダ

\* 第四研究室長 \*\* 第四研究室

表1 被験者の身体的特徴

被験者	年齢	身長 cm	体重 kg	胸囲 cm	皮脂厚 mm	肺活量 ml	体表面積 m <sup>2</sup>
A	25	159.0	48.2	78.0	13.0	4,700	1.428
B	27	182.5	70.3	94.0	11.0	5,400	1.847
C	29	163.8	56.1	84.0	11.5	5,500	1.560
D	36	163.2	54.2	84.0	11.5	4,850	1.529
E	39	165.5	63.4	91.5	20.0	4,700	1.658
平均	31	166.8	58.4	86.3	13.4	5,030	1.604
S. D.	6	9.1	8.6	6.4	3.8	390	0.159

表2 負荷条件

実験No.	負荷内容	装備重量
1	執務服, 運動靴	1.5kg
2	出火出場の服装	7.4
3	同上にライフゼム呼吸器	21.4
4	同上に5kgの砂袋	26.4

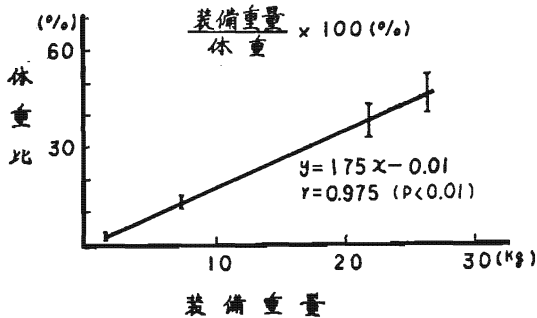


図2 装備重量比

微量ガス分析器により分析し、エネルギー代謝率 (RMR), 酸素需要量, 消費カロリー量を算出した。

(4) 実験に利用した階段

階段は図3に示すと通りの耐火造6階建て屋外避難用のものである。

1階～5階の間の各階段は中間に踊り場があり、下段は階段12段、高さ2.4m、斜距離3.8m、上段は11段、高さ2.2m、斜距離3.6m、踊り場距離は1.2mである。5階～6階の階段は中間に踊り場があり、下段は階段10段、高さ2.0m、斜距離3.2m、上段は9段、高さ1.8m、斜距離2.8mである。6階～屋上の階段は中間に踊り場があり、下段は階段12段、高さ2.4m、斜距離3.8m、上段は16段、高さ3.23m、斜距離5.2mである。また、各階段の踏前は25cm、蹴上は20cmの一般的構造の階段である。

(単位 m)

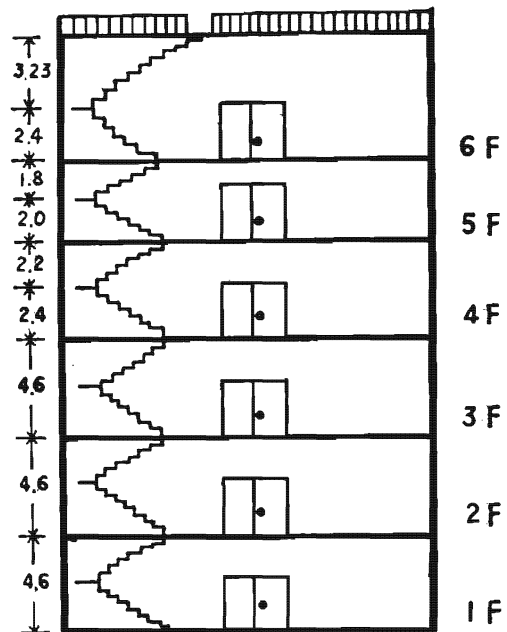


図3 実験建物略図

3. 実験結果

(1) 階段昇りの所要時間

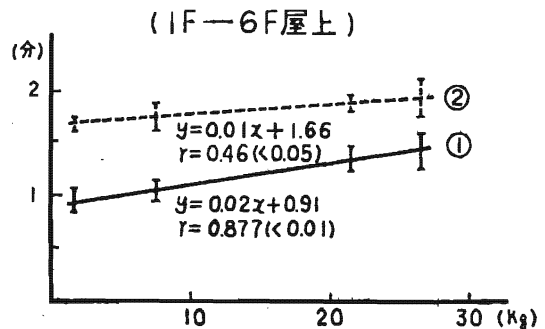


図4 階段昇りの所要時間

図4は1階～屋上まで1段ずつ階段を昇ったときの所要時間と装備重量の関係を表わしたものである。

②の自分のペースで昇ったときは①の出来るだけ早く昇ったときより屋上まで時間がかかった。

(2) 階段昇りの速度

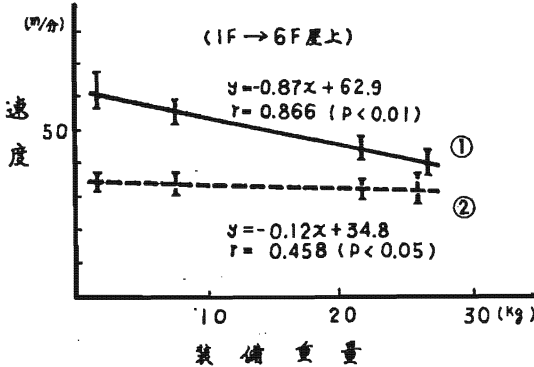


図5 階段昇りの速度 (m/分)

図5に1階～屋上まで階段を昇るときの毎分速度と装備重量の関係を示す。

階段を昇る速さは装備重量が増せば遅くなる。①の出来るだけ早く昇った場合、装備重量1.5kgしかない実験1のとき、毎分速度63mであったのが重量26.4kgの実験4では毎分速度41mになった。②の自分のペースで昇った場合、執務服、運動靴、重量1.5kgのとき毎分速度35mで、装備重量26.4kgのとき毎分速度32mとほとんど変化が見られなかった。

図5において①と②の回帰直線は装備重量37.5kg、毎分速度30.3mで交わるため計算上重量37.5kg以上の装備になったら自分のペースで昇ったほうが、毎分速度は早くなることを示している。

(3) 階段昇りの酸素需要量

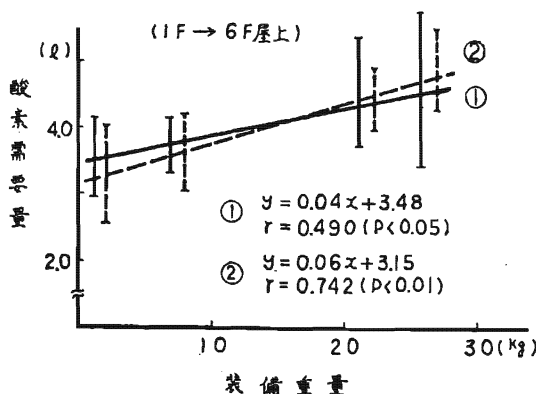


図6 階段昇りの酸素需要量

図6に階段昇りの酸素需要量を示す。

装備重量が1.5kgから26.4kgの範囲で、同じ負荷重量のとき①の階段を出来るだけ早く昇ると、②自分の

ペースで昇るの間にほとんど差がなく、装備する重量が増えると重量1kgあたり40～60ml酸素需要量が増加した。

たとえば、実験1、重量1.5kgのとき酸素需要量は3.45lであったのが、実験4、装備重量26.4kgでは4.70lとおよそ1.4倍になった。

(4) 階段昇りの消費カロリー量

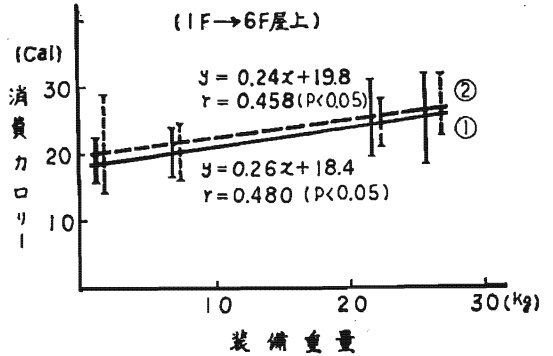


図7 階段昇りの消費カロリー量

図7は階段を1階～屋上まで昇ったときの消費カロリー量を示す。

この図から①の階段を出来るだけ早く昇ると②の自分のペースで昇るとでは消費カロリー量はほとんど変わらず、自分のペースのほうが1Calほど高い値であった。

消費カロリー量は装備重量が増せば増加し、実験1で1階～屋上まで昇るのに20Calであったのが、実験4だと26Calと1.3倍になった。

(5) 階段昇りの速度とRMR

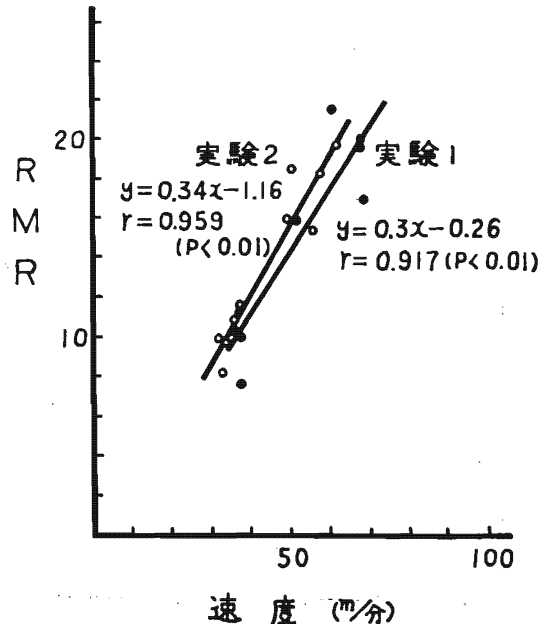


図8-1 速度とRMR

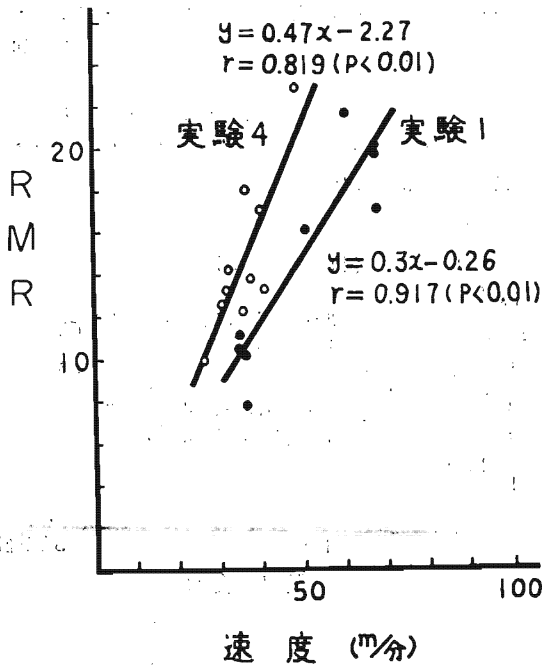


図8-2 速度とRMR

図8-1, 図8-2に階段を1階～屋上まで昇ったときの毎分速度とエネルギー代謝率 RMR (Relative Metabolic Rate) の関係を示す。

図8-1で, 実験1と実験2のRMRを毎分速度50mで比較すると実験1のときRMR12.3, 実験2では13.0であった。

装備重量が増せばRMRが増加することをさらに明らかに示しているのが図8-2である。階段を昇る速度が毎分50mのとき, 実験1のRMR12.3, 実験4ではRMR21.2と1.7倍に増加した。

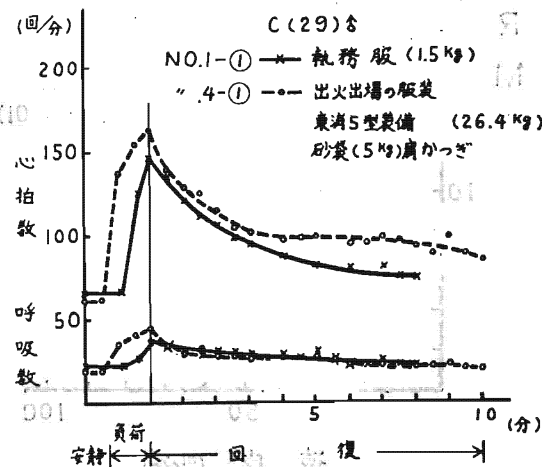


図9-1 心拍数・呼吸数の変化

(6) 心拍数, 呼吸数の変化

図9-1は出来るだけ早く階段を1階～屋上まで昇る負荷条件で実験1と実験4の心拍数, 呼吸数の変化を比較したものである。

実験1の安静時毎分心拍数76に対し, 負荷直後には147と1.9倍になり, 呼吸数も安静時毎分21が35と1.7倍に増加し, それぞれ安静時の値にもどるのに7分30秒かかった。

実験4の安静時毎分心拍数62に対して負荷直後は164と2.6倍になり, 呼吸数も安静時毎分20が45と2.3倍に増加したあと, 安静時にもどるのに心拍数は10分以上, 呼吸数は9分30秒かかった。

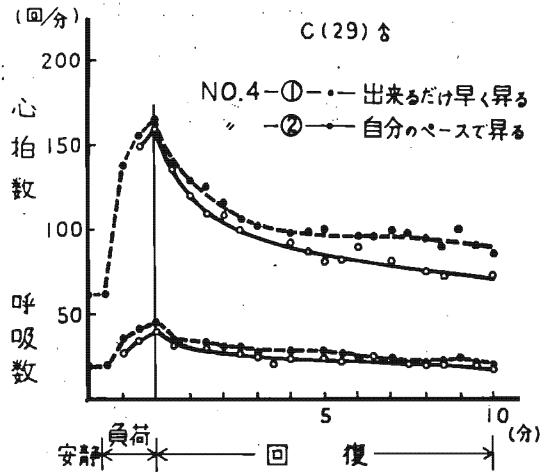


図9-2 心拍数・呼吸数の変化

図9-2は同じ装備重量26.4kgの負荷で, 出来るだけ早く階段を昇ると, 自分のペースで昇るときの心拍数, 呼吸数の変化を表わした。

実験4の①出来るだけ早く階段を昇ったときの変化は前記の通りであったのに, ②自分のペースで昇ったとき, 安静時毎分心拍数64に対して負荷直後は160と2.5倍, 呼吸数は安静時毎分20が40と2倍に増加した。負荷後の回復は心拍数, 呼吸数ともすみやかであった。

(7) 血圧の変化

図10-1は出来るだけ早く階段を昇る負荷条件で実験2と実験4の最高血圧と最低血圧の変化を表わしたものである。

実験2の安静時最高血圧水銀柱114mmに対し負荷後は, およそ190mmと76mm上昇し1.7倍になった。

実験4の安静時最高血圧水銀柱118mmに対し負荷後はおよそ220mmと102mmも上昇し1.9倍となった。

図10-2は同じ装備重量26.4kgの負荷で出来るだけ早く階段を昇ると, 自分のペースで昇るときの最高血圧と最低血圧の変化を表わした。

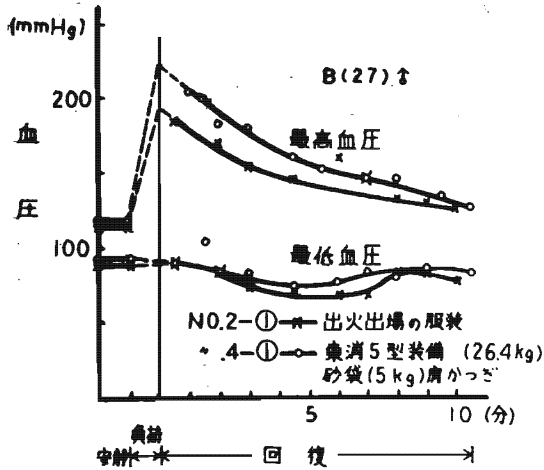


図10-1 血圧の変化

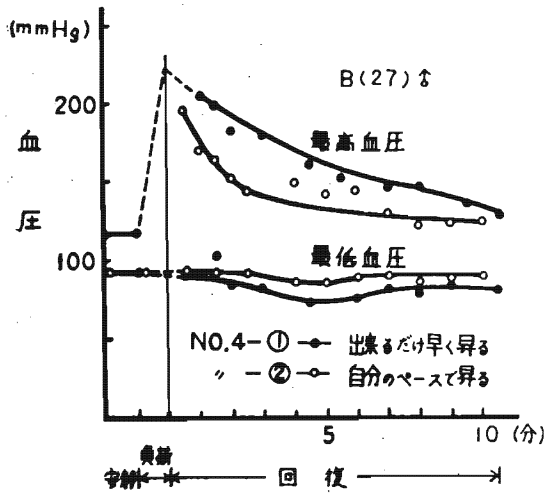


図10-2 血圧の変化

実験4の出来るだけ早く昇ったときの最高血圧の変化は前記の通りであったのに、自分のペースで昇ったとき安静時最高血圧水銀柱118mmに対し、荷後は200mmと1.7倍に上昇したが回復はすみやかであった。

なお、図10-1、図10-2から明らかなように、最低血圧の安静時と荷後の値はほとんど変化がなかった。

#### 4. 考 察

- (1) 本実験に利用した屋外避難階段の1階～屋上までの高さ27.83m、斜距離44.6m、踊り場平面の水平距離13.2m、階段数139段、6階屋上までの高さ1に対して階段は1.60倍の長さになり角度は40度であった。これは住宅公団等の高層共同住宅と構造上とくに違いがないことを示している<sup>3)</sup>。
- (2) 図11は住宅公団の5階建ての階段を利用した結果である<sup>4)</sup>。

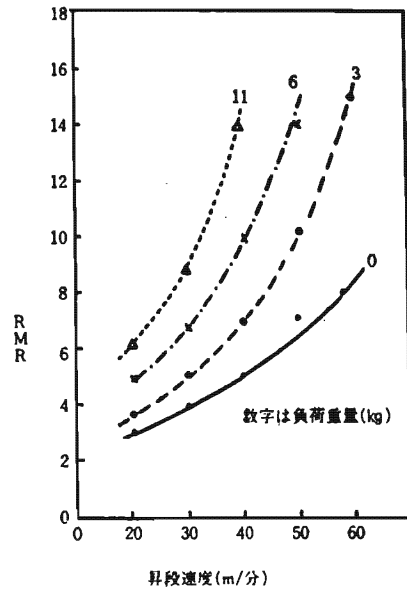


図11 階段を昇るとききのR.M.R.  
(沼尻幸吉：活動のエネルギー代謝 p.71)

本実験の結果から階段昇りのRMRと昇段速度および装備重量とは比例関係にあることがわかった。

図8、図11から明らかなように、昇段速度と装備重量が増すとRMRは増加し、被験者はますます苦しくなる。

- (3) 酸素需要量とは、運動時ならびに回復時に消費される酸素の総量からその間の安静時の酸素消費量を引いた値で、運動遂行に必要な酸素量である<sup>5)</sup>。

$$\text{酸素需要量} = \text{運動時酸素消費量} - \text{安静時酸素消費量}$$

本実験において図6、図7から明らかなように装備重量が増せば酸素需要量や消費カロリーも増加するが、出来るだけ早く昇っても、自分のペースで昇っても、それぞれの値はあまり変わらなかった。

これは被験者自身と装備重量を6階屋上にあげる階段昇り運動は早く昇っても、自分のペースでゆっくり昇っても、食物を体内で燃焼させて生じた熱エネルギーを機械的なエネルギーに変換させるにすぎないからそれぞれが近い値になるのは当然で、エネルギー保存則が生物体にも通用する<sup>6)</sup>。

表1から被験者の平均体重58.4kg、装備重量26.4kgを1階～屋上まであげるのに計算上2,360kgmの仕事量がある。また、実際に屋上まで26.4kgの装備重量で昇った場合26Cal消費するから、これを仕事量に換算すると11,076kgmとなり、効率は21%となる。

酸素1ℓを使って炭水化物が燃焼するとき2,153kgmの仕事ができるはずで、その効率も計算されて

いる<sup>7)</sup>。

蒸気機関	9~19%
ガソリンエンジン	14~28%
ディーゼルエンジン	29~35%
人間(歩行)	30%
"  (走行)	23%
"  (平泳ぎ)	3%

本実験の酸素需要量, 消費カロリー, 効率ともこれら文献の値と近似している。なお, 訓練をして熟練することは効率を高めることになる。

- (4) 運動の最初の1分間は心拍数の増加が最も著しく, 運動をつづけるとやがて心拍数は運動強度に相当した最高値に達し, 定常状態の運動をつづけている間その値を保ちつづける<sup>8)</sup>。

本実験における各被験者の心拍数最高値は, いずれも実験4の階段を出来るだけ早く昇ったときで, 毎分154~178の値を示し, 被験者によっては生命保全の安全弁といわれる上限値180~190に近くなるものもいた。

- (5) 運動を行なうと呼吸運動が活発になり, 呼吸の深さと回数が増し, 呼吸量が増加する。

呼吸量は運動の強度に比例するが, 一定の限度があり, むやみに大きくなることはなく, 酸素負債の形で運動をつづけるために, 運動量の大きいところでは比例しないといわれている<sup>9)10)</sup>。

本実験の場合呼吸数は階段を自分のペースで昇ったときより, 出来るだけ早く昇ったほうが負荷直後において平均1.24倍多く, 安静時の呼吸数に対しては前者が2.1倍, 後者が2.6倍に増えた。

呼吸数の上限はふつう毎分40~50位といわれ, 負荷直後の呼吸数が出来るだけ早く昇ったとき毎分40をこえたのは56%であったのに, 自分のペースでは22%にすぎなかった。

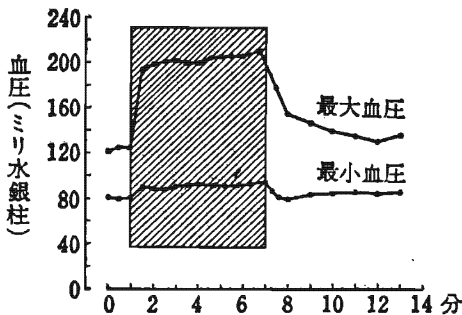


図12 動脈内血圧測定法による運動中の血圧値250ワットの強度の運動を6分間臥床姿勢で, 脚エルゴメーターによる作業を課した場合。

(Keul, Steim, Roskamm, Reindell, 1963)

(児玉俊夫, 猪飼道夫: スポーツ医学入門 p.123)

- (6) 図12から明らかなように運動すると最高血圧は高

まるが, 最低血圧はわずかに増加するか, あまり変わらないので運動中は脈圧が大きくなる<sup>11)</sup>。

本実験における最高血圧, 最低血圧の変化は, 図10—1, 図10—2に示すように図12の傾向とはほぼ同じであった。

出来るだけ早く階段を昇ったとき装備重量が重くなると, 最高血圧の増加率が高くなる。また, 装備重量が同じ26.4kgで, 自分のペースで昇ったときと出来るだけ早く昇ったときでは前者のほうが回復がすみやかであった。

このことは, 装備の軽量化と同時に自分のペースで昇るといふ余裕が必要であるといえる。

## 5. ま と め

- (1) 階段昇りの速度は, 装備重量が重くなっても, 自分のペースで昇るときはあまり変わらず, 出来るだけ早く昇るとき重量が増すにしたがって遅くなった。
- (2) 階段昇りの酸素需要量と消費カロリーは出来るだけ早く昇っても, 自分のペースで昇っても差はないが, 装備重量が重くなるのに比例して増加した。
- (3) 階段昇りのエネルギー代謝率 (RMR) は昇段速度と装備重量に比例して増加した。
- (4) 装備重量が同じであれば心拍数, 呼吸数, 最高血圧とも, 自分のペースで昇るほうが, 出来るだけ早く昇るより負荷直後の増加率は少なく, その後の回復もすみやかであった。
- (5) 装備重量が異なるときの心拍数, 呼吸数, 最高血圧の変化は, 装備の軽いほうが負荷直後の増加率が少なく, 回復もすみやかであった。
- (6) 階段を昇る隊員はやみくもに早く昇って, 目的階でバテないように自分のペースを守り余力をもって自分自身の安全を確保しながら目的階で適切な消防活動が出来るよう, 日頃の訓練等を通じて体力の練成をしておく必要があろう。

## 6. 参 考 文 献

- 1) 東京消防庁 統計書 (昭和44年~昭和52年)
- 2) 海外消防資料52—6 (昭和52年2月)
- 3) 鈴木幸子, 高瀬直彦: 体力科学10巻1号 (p.14~p.16)
- 4) 沼尻幸吉: 活動のエネルギー代謝 (p.71) 労働科学研究所 (1974)
- 5) 朝比奈一男・中川功哉: 運動生理学 (p.39) 大修館書店 (1975)
- 6) 吉川春寿: からだと食物 (p.13) 岩波新書 (1959)
- 7) 中西光雄: 体育生理学実験 (p.101) 技術書院 (1971)

- 8) 猪飼道夫・広田光一：運動の生理 (p.163)  
大修館書店 (1971)
- 9) 大島正光・山岡誠一：スポーツと疲労・栄養  
(p.47) 大修館書店 (1971)

- 10) 中西光雄：体育生理学実験 (p.1)  
技術書院 (1971)
- 11) 児玉俊夫ら：スポーツ医学入門 (p.123)  
南山堂 (1972)