

## 最小負荷による呼吸心拍応答の評価

國學院大學 原 英 喜  
(共同研究者) 同 大 森 俊 夫  
同 長 浜 尚 史

### Cardio-Respiratory Responses at Lesser Treadmill Running Stress

by

Hideki Hara,  
Toshio Ohmori and Hisashi Nagahama  
*Kokugakuin University*

#### ABSTRACT

We examined in cardio-respiratory responses on treadmill walking and running for six healthy men, four of them were long distance runner of a university. Exercise stresses (walking and running pace) were selected by subjects carrying remote control switch, and running within fifteen minutes until optimum speed, which they felt by themselves, not for competitive running pace or exhaustion. We measured in ten seconds interval from lower speed to the optimum speed. Heart rate and expired gas were analyzed by real time computerized calculating system.

There were some cases that even though heart rate was in steady state, but oxygen intake was not steady. Comparatively the running pace which selected by the subject easy for walking or running, there seemed to be steady in heart rate, oxygen intake and oxygen removal. Therefore under the selected speed for the subject, there was high correlation between oxygen intake and oxygen removal.

By the way, it was speculated that setting exercise stress test has the object that a few different exercise condition reveal more different results especially on respiratory responses. We need more research that physically and psychologically and subjectively considered exercise stress test method.

## 要 旨

健康な成人男子6名を対象として、トレッドミルによる歩または走運動に対する、生体の呼吸心拍応答について検討した。

一回の運動負荷は、持久的な要素をあまり含まない15分以内とし、快調に走れる速さを被検者自身が選択し、その速さまでの数段階における心拍数と呼気ガスを分析した。

その結果、個人内で、心拍数が定常状態を示しても、酸素摂取量などが不安定な場合があるが、本人がペースをとりやすい速さでは、比較的安定する傾向があること、さらに、個人に特有な速さまでは、酸素摂取量と酸素摂取率に高い相関関係のあることが明らかになった。また、あまり差のない速さであっても、酸素摂取量に違いがある場合もあり、規定された強度による運動負荷試験には、限界があることが示唆された。

今後、身体的にも心理的にも自然な運動形態に近い条件での負荷方法について検討を加える必要があると思われる。

## 緒 言

広く行われている運動負荷試験の目的は、個人の運動能力の現状を把握し、その後の運動処方をするための資料を得ることである。

この運動負荷試験を行う前提は、生理的疾患のある者を対象とした場合でも、その運動負荷に耐えられることであるが、時として試験中に異常を来し運動を停止しなければならない状態に陥いることがある。また、対象を健常者にしても危険性はつねに存在し、たとえ一流の競技者を対象とした場合でも、負荷試験中に異常反応を呈する可能性を念頭に置いていなければならない。

しかし、対象者の最高の運動能力を知り、これにより運動処方をしようとする今日多く用いられる方法では、この危険性は大きいと考えられる。

競技力の向上を目的とした選手の体力測定としてよく用いられる、自転車エルゴメーターを用いた負荷漸増法も、一つの段階として定常状態となることを目的に、2～3分間一定負荷をかけ、次の段階へ0.5kp、あるいは1.0kpと負荷を増してゆく。

トレッドミルを用いたテストでは、走路に5%なり5度なりの上昇角度をつけておき、速さを2～3分間隔で20m/min ずつ増速してゆく。そして、オールアウトになるまで被検者を追いつめ、その判断基準に酸素摂取量や換気量、呼吸商の限界点を用いている。あるいは、心拍数が毎分170拍であったり、最高心拍数の80%であったりする負荷へ、被検者を当てはめて行くのである。

心臓機能に障害がある人などを対象に、運動負荷試験をやる場合にしても、強度の差こそあれ、心電図の波形まで厳密にモニターしながらも、一定の負荷を検者側から与えることによりその反応を見ているのである。

このような方法は、得られたデータの整理など、検者側にとっては実施しやすい方法であるが、被検者側の、とくに心理的負担については、オールアウト時点の判断に手を上げさせるために主観を利用するだけで、現実にはあまり配慮されているとは言い難い。さらに、運動場面で、最高の能力を発揮しなければならないのは、運動を行っている者のほんの一部の競技者でしかないのである。

安全に、しかも日頃行う運動とあまり差のない強度の負荷を用いて、個人の能力を評価することができれば、これまで行われている試験より、適確に運動処方へ結び付けられよう。また、このように用いられる物理的な負荷の大小は、必ずしも心理的な負荷の大小と等しいとは限らないはずである。

そこで、本研究では、相対的に小さな負荷に対して、どのように生体が反応するかを探ることを

目的とした。

### 研究方法

実験の対象とした被検者は、表1に示すような

表1 被検者の身体的特性

被検者	年齢 (yrs)	体重 (kg)	皮脂厚 (mm)
HU	18	53	12.0
YN	18	62	9.0
SY	19	60	11.5
KT	19	60	16.5
HN	24	65	11.0
HH	34	57	11.5

健康成人男子6名で、日常週3日～5日の走を中心とした運動習慣を持つ者であった。被検者HU, YN, SY, KTは大学の陸上競技部長距離ブロックに所属していた。

運動負荷は、被検者が速さを調節するリモートコントロールスイッチ(竹井機器工業製)を持ち、傾斜のないトレッドミルを、最も歩きやすいまたは走りやすい速さを選ぶようにして、その時の生理学的な測定を行った。

さらに、その結果を踏まえて、被検者が最も走りやすい速さまでの間で、1) 歩きやすい速さ、2) ペースが一定に維持できる範囲で最も遅く走れる速さ、3) 酸素摂取量が高く、酸素摂取率が高い速さなど数段階の速さで歩行または走行を行い、その時の生理学的な測定を行った。心拍数は、胸部双極誘導によりテレメータ方式で得られた心電図のR-R間隔より、独自に開発したシステムで10秒毎に区切り、1分間値に換算して求めた。呼吸数は、鼻孔下に装着したサーミスタ電極より得た呼吸曲線から、呼気ガスは、顔面頭部に装着したマスクから蛇管を用いて、瞬時ガス分析機〔1H21A(日本電気三栄社製)〕に導いて分析した。ガス分析においても、10秒毎に区切ってその間を50msecのサンプリングタイムで測定し、

A/D変換して処理した。

### 研究結果

実験は、室温21.0°C～24.0°C、湿度53%～79%の条件で行われた。

まず、各被検者が快調に走れる速さを求め、その時点における酸素摂取量、酸素摂取率およびそれまでの酸素摂取率の最大値を求めた。この速さにいたるまでの間で、歩きやすい、歩くには速すぎる、走ろうとすればやっと走れる、楽に走れるなどの速さを各被検者に選ばせた。

図1は、被検者KTの酸素摂取量、酸素摂取率、心拍数の経時的な変化を示したものである。前二者は10秒毎の測定を6区間ずつ移動平均したもので、後者は10秒間値を1分間に換算したものである。歩と走の間際の速さである95cm/minと110m/minでは、心拍数は一定に維持されているが、酸素摂取量や酸素摂取率においては一定の値を維持せずに、減少傾向を示した。

また、トレッドミルの速さを80m/minから95m/minと15m/min上昇させた場合、心拍数で1分間平均77.1拍から84.7拍と7.6拍、酸素摂取量で1分間平均830mlから976mlと146mlの増加を示すが、95m/minから110m/minと同じ15m/minの上昇に対しては、それぞれ、84.7拍から104.1拍と19.4拍、976mlから1337mlへと361mlもの増加を示した。

とくに、110m/minの場合では、8分20秒からの30秒間と、9分00秒からの30秒間で、酸素摂取量105ml(735mlから630ml)、二酸化炭素排出量で75ml(692mlから617ml)の減少が見られた(図2)。

図3は、やや速い速さを選択した被検者HUの結果を図1同様に示したものである。80m/minから105m/minへ25m/min増速した場合と、105m/minから125m/minへ20m/min増速した場合を比較すると、心拍数は毎分75.8拍から94.8拍へ

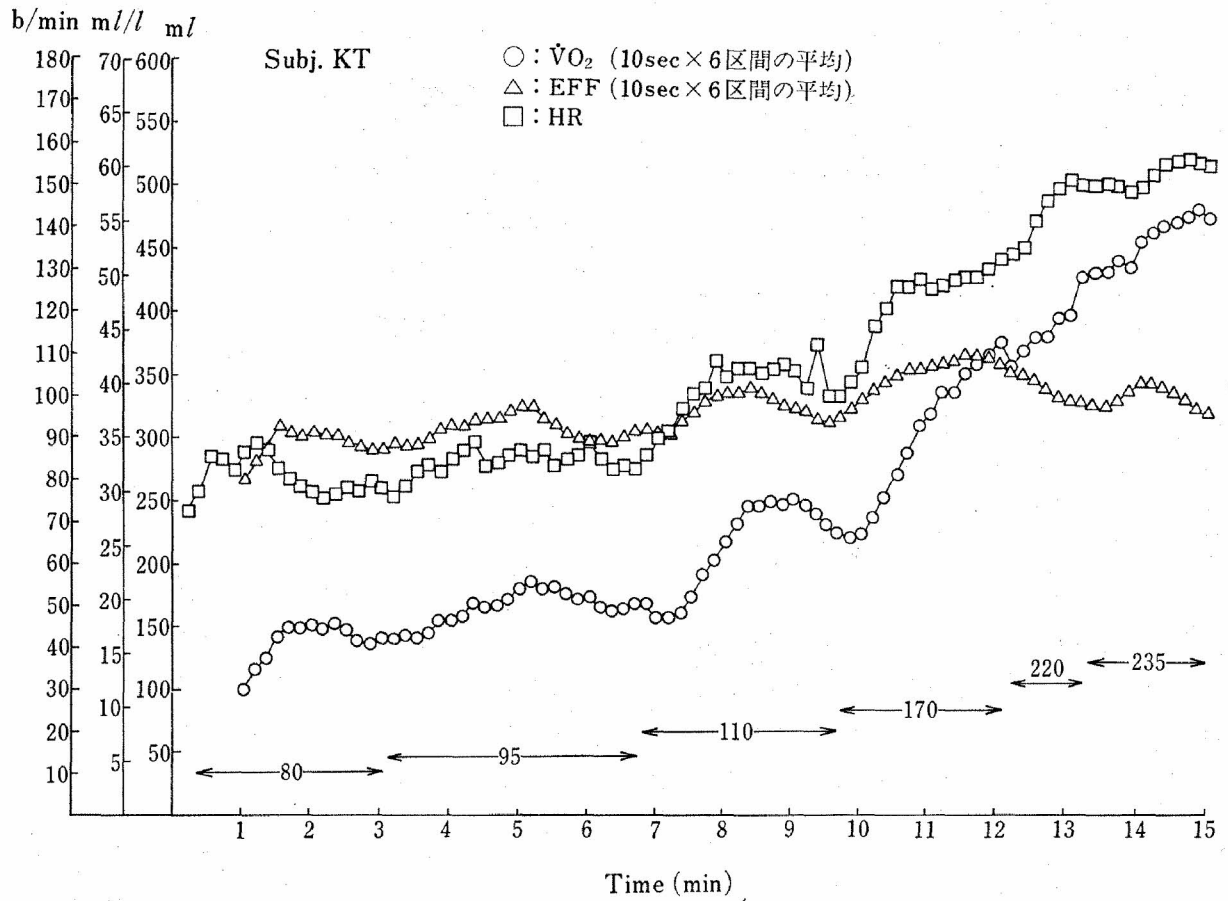


図1 被検者KTの経時的変化

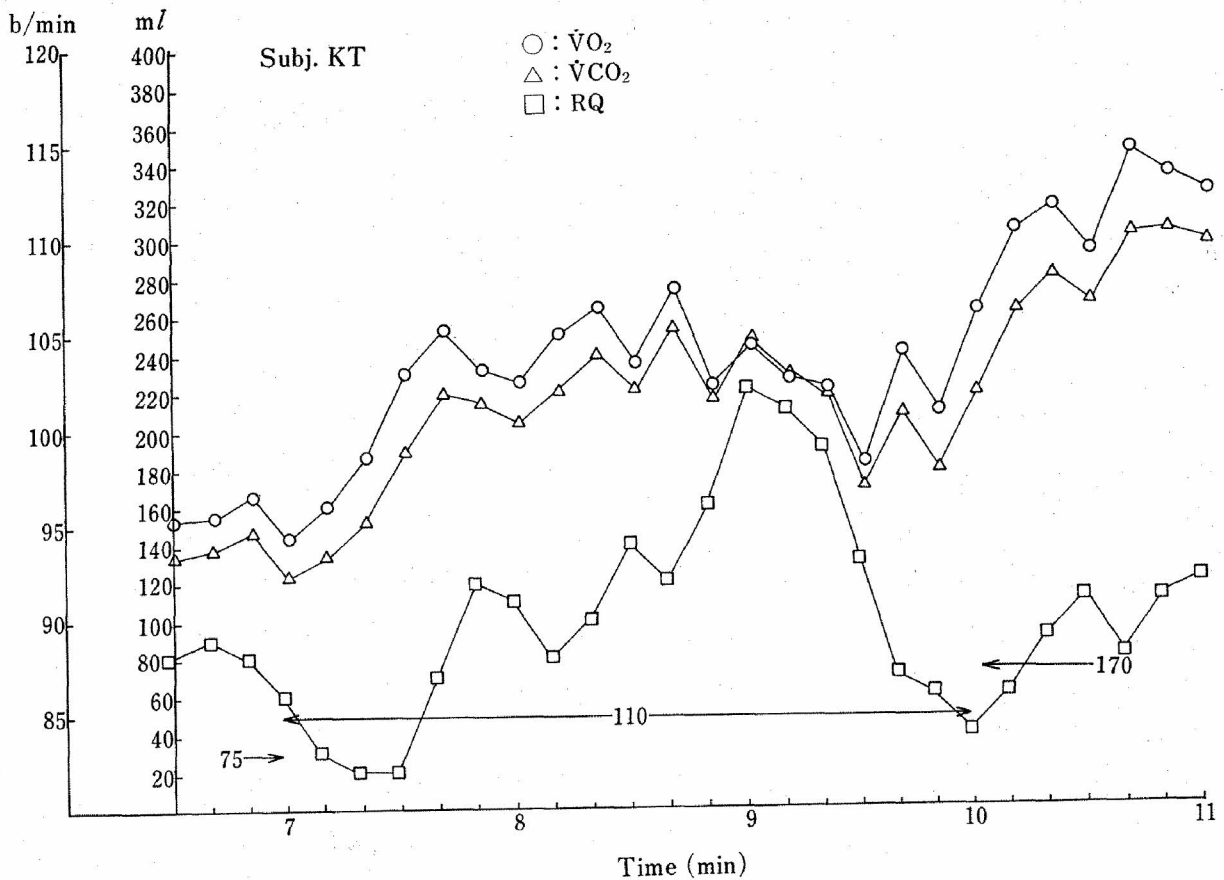


図2 被検者KTの変化

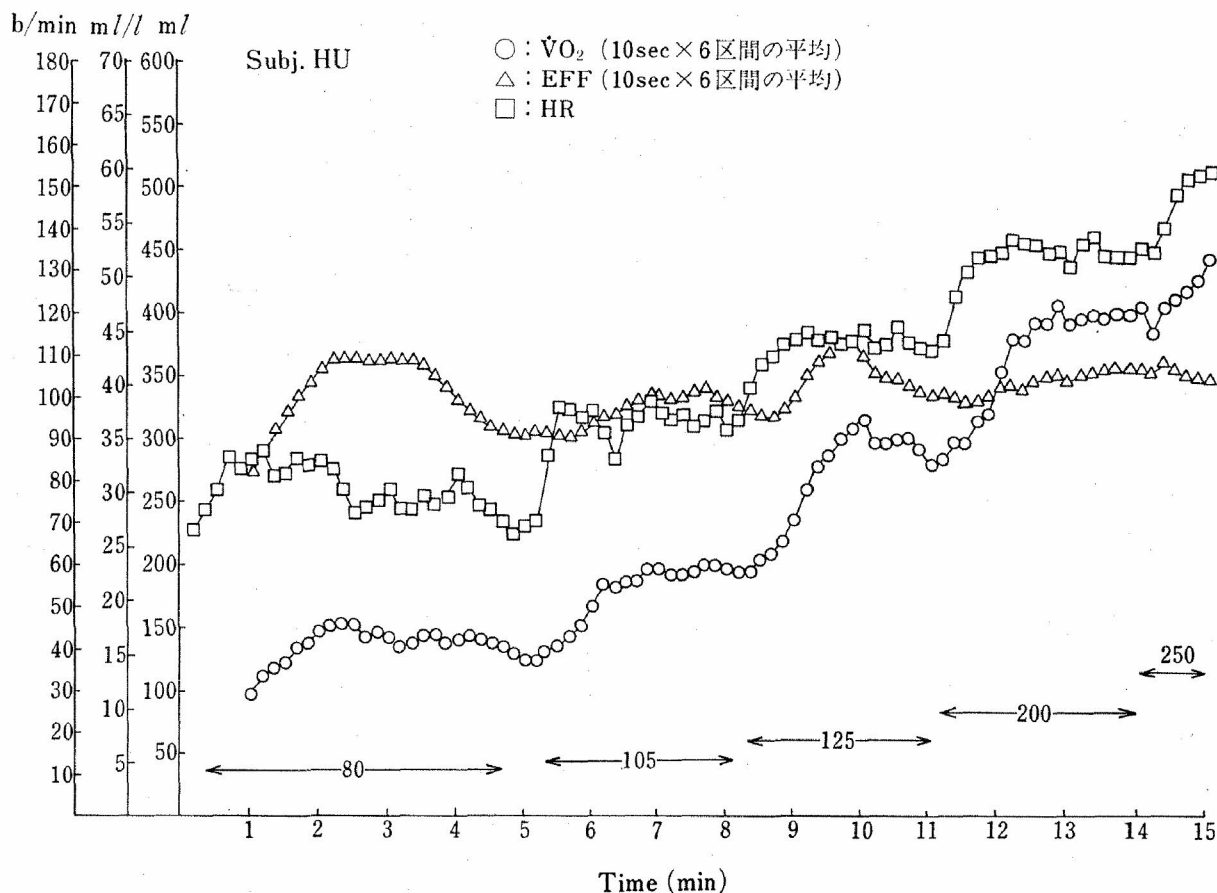


図3 被検者HUの経時的変化

9拍増加したものが94.8拍から113.3拍と18.5拍増加し、酸素摂取量は837mlから1195ml、1195mlから1742mlへと357mlの増加が547mlの増加となり、速いところで速さの増加の割合に対して大きな生体反応の増加が見られた。

被検者SYとYNは、速さが低い時点では、酸素摂取率を高く保つことはなく、増速することによって高い値を維持した。被検者SYは、速度を175m/minに設定し、心拍数が毎分128拍と安定してから1分間の酸素摂取量と二酸化炭素排出量の標準偏差が12.65（平均値は360.0ml）と14.83（平均値は302.3ml）だったのに対し、20m/min増速した195m/minの場合は、心拍数は毎分139拍と安定し、酸素摂取量と二酸化炭素排出量の標準偏差は4.97（平均値415ml）と5.66（平均値は374ml）となり、それぞれ速い速さで生体反応が安定した。

被検者HNとHHは、速さの遅い時点でも酸素摂取率が低く、酸素摂取量もあまり高い水準で維持しなかった。とくに被検者HHは、130m/minから165m/minの範囲にわたって全般的に酸素摂取量に差がなく、130m/minのとき252.7ml/10secだったのが、165m/minのとき312.5ml/10secと、59.8ml、23.7%の上昇しか見られなかった。

### 考 察

日常生活を営む上では、限界に近い運動能力を必要とすることは極めて少ない。とくに、健康の維持・増進やパフォーマンスの向上よりもそのスポーツを行うことを目的としている場合には、その人が自分で体調を感じとり、強度を調節しながら、危険を感じたらすぐにも活動を中止できるような状況で運動しているのである。

本研究においては、トレッドミルの速さを調節

するリモートコントロールスイッチを被検者が持つことにより、心理的なストレスを排除するとともに、体調を感じとることをより鋭くすることにより、自然の状態を引き出すことができると考えた。

被検者が選んだ、快調に走れる速さが、150m/min から 250m/min に及んだことは、個人差がそれだけ表われた結果といえよう。さらに、段階的に選んだ速さが、80m/min から 215m/min まで均一ではないが17種類の速さに別れ、負荷を一律に規定することができない生体反応の複雑さが示唆された。

一般に、運動負荷強度と心拍数や酸素摂取量の示す相関はかなり高いと言えよう。そのことは、今回の実験結果からもうかがえる。

図4、5は、各被検者が、歩きやすかったり、走りやすいといった主観的な判断で速さを選び、その状態で心拍数や酸素摂取量が比較的一定に維持できたものを集めた14種類の速さ毎に、酸素摂取量と心拍数や酸素摂取率をプロットしたものである。

図5にあるように、主観的に走りやすいという歩きでは、いい変えれば、競技場面のような場合

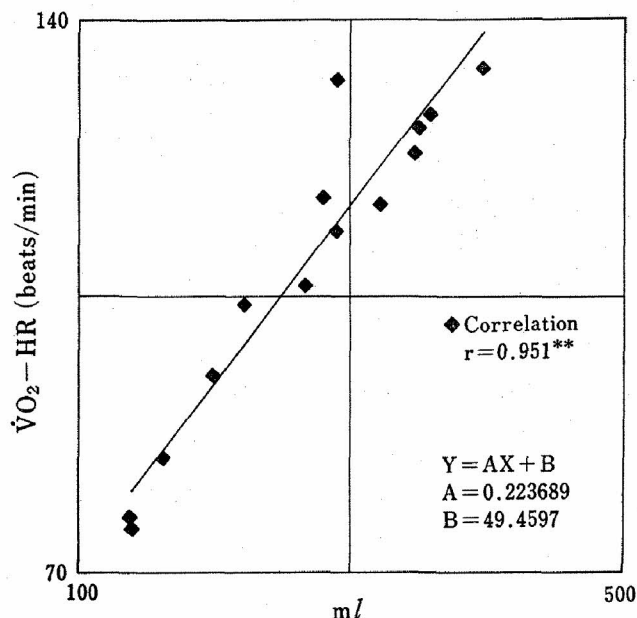


図4 酸素摂取量と心拍数の相関

表2 走行中の状態

被検者	速度 (m/min)	快調走 酸素摂取量 (ml/10sec)	酸素摂取率 (ml/l)	酸素摂取率 (走行中の最大値) (ml/l)
H U	250	425	37.0	44.1
Y N	240	392	38.6	50.8
S Y	220	475	48.6	53.4
K T	220	402	39.4	45.6
H N	160	392	34.6	45.7
H H	150	267	31.7	35.1

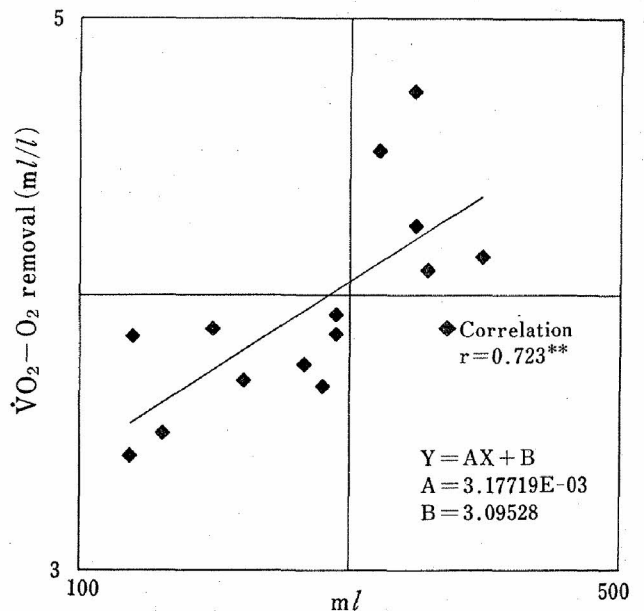


図5 酸素摂取量と酸素摂取率の相関

でなく、日常生活の中で行われる強度の範囲では、酸素摂取率でさえ $r=0.723$ と有意に高い相関関係を酸素摂取量と持つことが可能なのである。

ところが、図2にも示すように、あるいは、被検者HHの、速さの増加率よりも大きな酸素摂取量の増加という結果に示すように、心拍数の変化と異なる変化が、呼気ガス分析の結果からでてくる可能性もあるのである。今後は、従来から行われている、規定された負荷を、検者から最大能力近くまで与えるという、大きな範囲を画一化しようとした場合にとらえ切れない反応により、個人の運動能力の見方が必要となるのではないだろうか。

たとえば、表3に示すような酸素摂取量と酸素摂取率の関係は、ある一定の負荷までは高い相関

表3 トレッドミル速度と酸素摂取との関係

被検者	臨界速度 (m/min)	酸素摂取量 (ml/10sec)	酸素摂取率 (ml/l)	相関係数
H U	210	389.6	42.5	0.921
Y N	180	347.0	47.4	0.826
S Y	190	392.7	40.2	0.881
K T	170	349.5	42.5	0.811
H N	135	290.2	38.6	0.666
H H	140	280.7	36.7	0.778

関係にあることは理解できている。これらの関係を使い得る範囲内で、各個人の持つ運動負荷への反応の仕方の特徴を知ること、運動処方の手がかりがよりいっそう適確になるのではないだろうか。

### ま と め

本研究では、トレッドミルによる運動負荷強度を、被検者の主観的判断を加えた条件において快調に走れるまでと決定し、心理的にも最少の負荷における呼吸心拍応答について検討を加えた。

その結果、健康な成人男子6名の選んだ負荷は、延べ17種類にもなったが、酸素摂取量と酸素摂取率との相関は、 $r=0.723$ と高い関係にあることが明らかとなった。さらに、測定時間間隔を10秒と短くすることにより、心拍数が定常状態を示しても、酸素摂取量などでは必ずしも一定の値を呈するのではないこともうかがえた。

これらのことより、従来から行われている規定された運動負荷試験では、とらえ切れない運動に対する呼吸心拍応答があり、今後さらに検討を加える必要があると思われる。

### 文 献

- 1) Astrand, P.O. 他, 朝比奈一男, 浅野勝巳訳; 運動生理学, 大修館書店 (1979)
- 2) 猪飼道夫, 吉沢茂弘, 中川功哉; 呼吸循環機能から見たトレッドミルによる持久性について, 体育学研究, 7(1): 174 (1962)
- 3) 伊藤捻, 宮田尚之, 万井正人, 熊本水瀬, 伊藤一生, 武部吉秀, 八木保, 山下謙智, 中村栄太郎; 歩行トレーニングによる中・高年者の全身持久性の向上について, 体育科学, 1: 134—143 (1973)
- 4) Jorge Pinto Ribeiro, Virginia Hughes, et al; Metabolic and ventilatory responses to steady state exercise relative to lactate thresholds, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 55: 215—221 (1986)
- 5) 加賀谷照彦; 持久性トレーニングの至適強度選定に関する研究(1), 体育科学, 1: 58—66 (1973)
- 6) 小林寛道; 日本人のエアロビック・パワー, 杏林書院 (1982)
- 7) 黒田善雄他; 心拍出量からみた70%  $\dot{V}O_{2max}$  強度による持久性トレーニング効果の検討, 体育科学, 1: 67—72 (1973)
- 8) 黒田善雄他; 酸素摂取水準の維持能力に関する研究—第2報—, 日本体育協会スポーツ科学研究報告集(IX): 1—11 (1975)
- 9) 黒田善雄他; 酸素摂取水準の維持能力に関する研究—第3報—, 日本体育協会スポーツ科学研究報告集(XII): 1—14 (1977)
- 10) 水野康他; 循環器負荷試験法, 診断と治療社 (1978)
- 11) Shephard R.J.; A nomogram to calculate the oxygen-cost of running at slow speeds, *J. Sports Med.*, 9: 10—16 (1969)
- 12) 塚越克巳他; Breath by breath による運動開始に伴う呼吸循環系機能の応答に関する研究—第1報—, 日本体育協会スポーツ科学研究報告集(X): 1—16 (1982)