

走行速度と生体反応についての研究

—走行速度が生体に与える影響—

荒木 直彦

倉敷芸術科学大学教養学部

(1996年9月30日 受理)

I. 緒言

現在日常生活において、日々の健康管理が重要視される時代になっている。我々が生活を送るさまざまな社会環境の中で、多くのスポーツが健康管理を担う大きな要素となっている。そして、1960年代に米国のクーバー博士によって提唱されたエアロビクスエクササイズが、現在では多くの人々によって遂行されており、その中でも中心的なエアロビクスエクササイズの方法としてあげられるのはジョギングである¹⁾。エアロビクスエクササイズにおける運動強度の決定は、これまで数多く報告がなされている³⁾⁴⁾¹⁶⁾。しかし、その運動強度を決定する最も重要な要素は、走行の速度が生体にいかなる影響を与え、かつ有益な有酸素運動領域に相当するかと考えた場合、綿密な走行速度と生体反応の関係について究明する必要がある。特にエアロビクスエクササイズにおいては、5分間以上の継続運動を意味するといわれるが、ジョギングにおいてその運動時間と走行速度が生体に与える影響を細かく生理学的に究明し、運動強度と生体反応について追求する必要があると考えられる。

今回、我々人間の基本的欲求である運動欲求を満たすと同時に、健康管理及び増進に大きな役割を果たしているエアロビクスエクササイズを、適切な有酸素運動領域という観点から考え、歩行から駆け足に移行する速度をジョギングという運動動作の形式に置き換えて、走行速度が生体に及ぼす反応を呼吸循環代謝の動向から分析し、その影響を知る目的で実験を行ったところ、エアロビクスエクササイズとしての運動領域の確定となる若干の資料が確認できたので報告する。

II. 実験方法

1) 被験者

被験者は、年齢が 18.8 ± 0.4 才の男子大学生4名を対象者にした。今回の被験者は、実験の基礎資料として最大酸素摂取量（以下 VO_{2max} と称す）を測定することから、健康で日常生活において運動習慣をもっているバスケットボール部に所属する大学生を選んだ。

表1は、被験者の身体的特性について示したものである。

表 1. 被験者の身体的特性

被験者	身長 (cm)	体重 (kg)	体脂肪率 (%)	最大酸素摂取量 (ml/k.m.)	最大心拍数 (beats/m.)	最大換気量 (l/m.)	最大心拍量 (l/m.)
A	193.2	73.6	17.2	53.4	202	135.7	23.6
B	185.2	81.3	23.0	47.3	170	130.3	22.9
C	169.0	61.8	14.9	46.8	203	101.3	19.1
D	167.9	60.6	6.7	47.7	197	140.0	19.1
平均	178.8	69.3	15.5	48.8	193.0	126.8	21.2
偏差	10.8	8.6	5.9	2.7	13.5	15.1	2.1

2) 実験方法

実験は、駆け足 (120m/min.: 以下 T 1 と称す), 少し早い駆け足 (140m/min.: 以下 T 2 と称す), さらに早い駆け足 (160m/min.: 以下 T 3 と称す), さらに早い駆け足 (180m/min.: 以下 T 4 と称す) の 4 種類の走行速度について実験した。実験は, 1 日に 1 テストと限定して実施した。

走行実験は, 実験室内のトレッドミルにより走行速度を設定して実施した。測定の手順は, 3 分間の安静値を測定し, 1 分間の準備歩行, 5 分間の速度走行, 1 分間の終了歩行, 走行終了後 3 分間の回復期における呼吸循環反応について測定した。実験データは, 5 分間の速度走行時における生体反応を運動時の生体代謝として採用した。呼吸代謝の測定は, 英国モーガン社のベンチマーク式呼吸代謝システムにより生体のガス代謝を連続的に採集した。また心電図及び心拍数の測定は, 米国マーケット社の C A S E 15 (10 極誘導) により測定した。測定項目の主なものは, 体重 1 kg 及び 1 分間当たりの酸素摂取量 (以下 $Vo_2/k.m.$ と称す), 1 分間当たりの酸素の取り込み (以下 Vo_2 と称す), 1 分間当たりの二酸化炭素の産出量 (以下 Qco_2 と称す), 1 分間当たりの呼吸換気量 (以下 V_r と称す), 1 分間当たりの心拍数 (以下 HR と称す), 1 分間当たりの心拍出量 (以下 Q と称す), 1 回心拍出量 (以下 SV と称す) 及び乳酸の産出量 (以下 Lact. と称す) 等の生体代謝及び生体反応について分析した。

Ⅲ. 実験結果

1) 体重当たりの酸素摂取量 ($Vo_2/k.m.$)

図 1 は, 被験者の各段階における運動時の Vo_{2max} の動向について示したものである。これは, 体重 1 kg 当たりの酸素摂取量を示したものである。被験者 A は, 他の被験者に比較して全体的に高い $Vo_2/k.m.$ の値を示しており, 被験者 D は, 他の被験者に比較して全体的に低い $Vo_2/k.m.$ の値を示している。各々の走行速度における被験者間の数値は, T 1 のテストを除いては比較してまとまりの無いものであった。数値的には, T 2 のテストで最も高い数値を示しており, これは被験者の最大運動下における体重当たりの Vo_{2max} に比較して約 55% 以上の $Vo_2/k.m.$ に相当する数値が認められた。

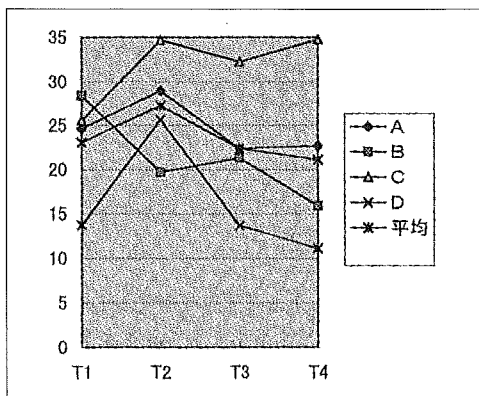


図1. 体重・1分間当たりの酸素摂取量 (Vo₂/k.m.) の動向

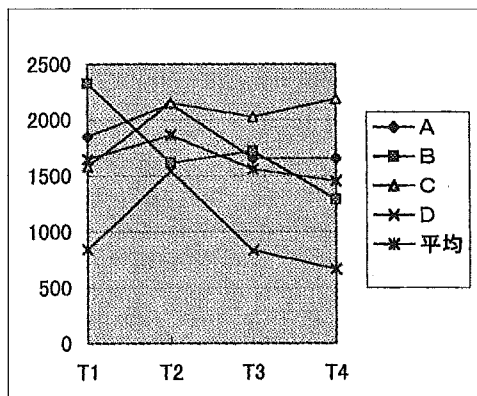


図2. 1分間当たりの酸素摂取量 (Vo₂/m.) の動向

2) 酸素の取り込みについて (Vo₂)

図2は、被験者における走行速度別の1分間当たりのVo₂の動向について示したものである。被験者Dは、他の被験者に比較して全体的に少ないVo₂ですべての走行運動が遂行されている。しかし、各々の走行速度における被験者間の数値は、被験者B・DのT1、T3及びT4の数値が他の被験者に比較して低い数値を示しているが、他の被験者においては各テストともほぼ同程度の数値を示している。全体的な傾向としては、T1からT2にかけて酸素の取り込み量の増加が認められるが、T3からT4に関して速度の上昇と共に取り込み量が減少し、被験者の最大運動下における1分間当たりのVo₂maxに比較して約45%程度のVo₂に相当する数値が認められるようになった。

3) 二酸化炭素の取り込みについて (Qco₂)

図3は、被験者における走行速度別のQco₂の動向について示したものである。各々の走行速度における被験者間の数値は、被験者DのT1、T3及びT4のテストにおいて認められるが、他の被験者においては比較的安定した状態を示している。全体的な傾向としては、T1からT

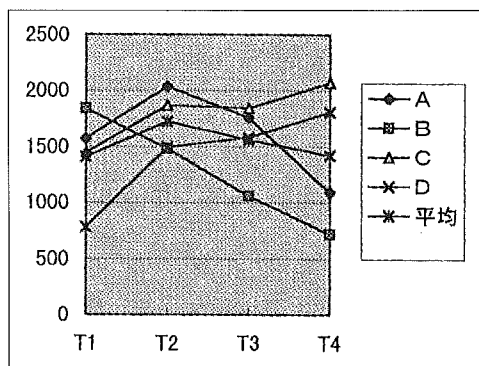


図3. 1分間当たりの二酸化炭素産出量 (Qco₂) の動向

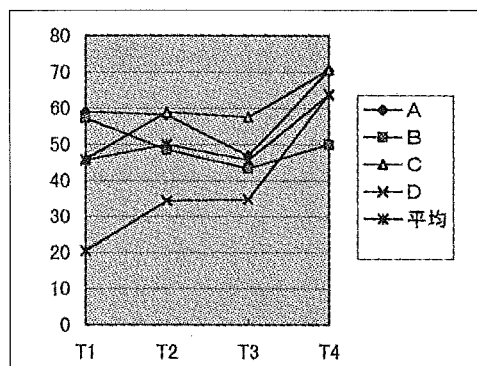


図4. 1分間当たりの呼吸換気量 (Ve) の動向

3のテストにおける Q_{CO_2} の数値は比較的安定した状態を示している。しかし、T4のテストにおいては各被験者間での Q_{CO_2} の数値がバラツキを認められるようになった。

4) 呼吸換気量の動向 (V_E)

図4は、被験者における走行速度別の1分間当たりの V_E の動向について示したものである。各々の走行速度における被験者間の数値は、被験者DにおけるT1、T2及びT3数値が他の被験者に比較して全体的に低い値を示しているが、他の被験者においては各テストともほぼ同程度の数値を示している。全体的には、T1からT3における V_E は比較的安定した横ばい状態を示しているが、T4のテストにおいて速度の増加にともない大きく上昇し、被験者の最大運動下における1分間当たりの V_E に比較して約50%以上の V_E に相当する数値を示すようになった。

5) 心拍数の動向 (HR)

図5は、被験者における走行速度別のHRの動向について示したものである。各々の走行速度における被験者間の数値は、被験者Dの数値が他の被験者に比較して全体的に低い値を示しているが、他の被験者においては各テストともほぼ同程度の数値を示している。全体的には、T1及びT2におけるHRは比較的安定した横ばい状態を示しているが、T3及びT4のテストにおいては速度の増加にともない大きく上昇する傾向が確認された。特にT4のテストにおいては、被験者の最大運動下における1分間当たりのHRに比較して約82%以上のHRに相当する数値を示すようになった。

6) 心拍出量の動向 (Q)

図6は、被験者における走行速度別のQの動向について示したものである。各々の走行速度における被験者間の数値は、被験者DのT1、T3及びT4のテストの値が他の被験者に比較して低い値を示しているが、他の被験者においては各テストともほぼ同程度の数値を示している。全体的には、T1からT4にかけては比較的安定した横ばい状態を示しているが、T3以降においては速度の上昇と共に拍出量が低下(減少)する傾向が認められた。T1及びT2のテストにかけては被験者の最大運動下におけるQの約68%以上の値を示し、T3及びT4のテ

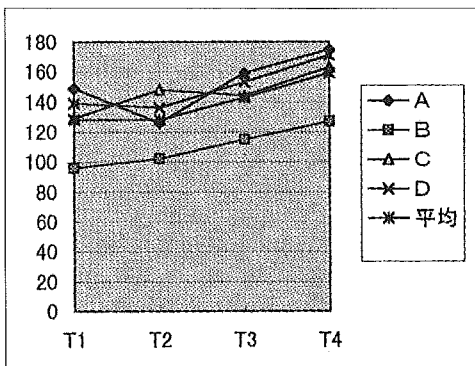


図5. 1分間当たりの心拍数 (HR) の動向

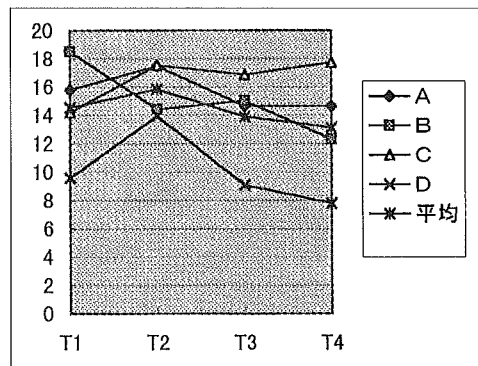


図6. 1分間当たりの心拍出量 (Q) の動向

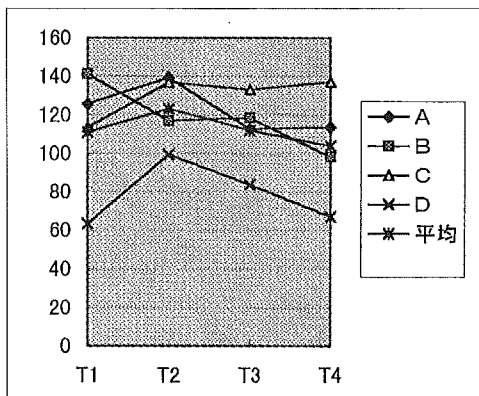


図7. 1回心拍出量 (SV) の動向

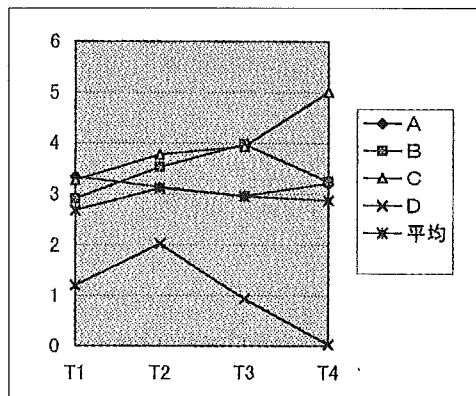


図8. 1分間当たりの乳酸値 (Lac.) の動向

ストにおいては約65%以下の値を示すようになった。

7) 1回心拍出量の動向 (SV)

図7は、被験者における走行速度別のSVの動向について示したものである。各々の走行速度における被験者間の数値は、被験者DのT3及びT4のテストの値が他の被験者に比較して低い値を示しているが、他の被験者においては比較的安定した状態を示している。

8) 乳酸の産出量の動向 (Lac.)

図8は、被験者における走行速度別のLac.の動向について示したものである。各々の走行速度における被験者間の数値は、被験者DのT1、T3及びT4のテストの値が他の被験者に比較して低い値を示しているが、他の被験者においては比較的安定した状態を示している。全体的には、T1及びT4のテストにかけて比較的安定した横ばい状態を示しており、被験者の最大運動下におけるLac.の約42~49%程度の産出量が認められた。

IV. 考察

エアロピクスエクササイズという基本的な概念は、からだの中により多くの酸素を取り込むことによって、新陳代謝を活発にし健康の維持増進に役立てようということである^{1) 10) 14) 16) 30) 32)}。これは、健康の維持増進を図るとともに循環器系疾患における治療的価値をも期待できるものである^{1) 10) 14) 30) 32)}。とくに日常生活の中で身近に存在するところのエアロピクスエクササイズは、歩行、ジョギング及びサイクリングが我々人間の生活活動として存在するものであろう。しかし、いずれの運動においても個々人の体力における個人差を考慮した中で、運動強度を決定しなければならないと考える^{2) 3) 8) 18) 28) 29) 30)}。とくに、歩行及びジョギングは、前にかつたを移動する推進力としての運動強度に地球軸に加わる個々の体重という負荷が加わるために、生体代謝としてはより以上の運動強度が要求されるものである。したがって、からだを移動するための運動動作が同速度においても、歩行とジョギングにおいては全体的な負荷量から考えれば異なるといえる。本研究は、そのような意味から比較的軽度な運動強度と考えられる120m

からジョギング動作に入らざるを得ない180mという範囲の走行速度について取り上げ分析した。エアロビクスエクササイズの中心的な機能は、呼吸循環機能が中心になって生体を維持し、運動の継続をする^{1) 8) 10) 14) 19) 25)}。運動時の呼吸循環代謝は、生体内により多くの酸素を取り込むことであり、それをエネルギーに転換して外的な力として活動させることである。とくに筋収縮を継続させるために必要な酸素を全身に供給する役目は、呼吸器と循環器であり、呼吸循環代謝のバランスが崩れ始める生体反応が体内の乳酸の動向である。体内の乳酸は、酸素を取り込むことにより呼吸器を通じて水と二酸化炭素に分解して体外に排泄される。これは各種の運動を継続するうえで重要な生体代謝といえるものである。その体内の乳酸を分解させるためには、運動エネルギーとしてのグリコーゲンの転換とともに、体内の各臓器を動員する。この全身運動が、エアロビクスエクササイズとして健康的な価値として取り上げられるものである。とくに、運動時の呼吸循環反応は、エアロビクスエクササイズによって起こる Vo_2/m 、及び $Vo_2/k.m$ であり、運動の結果生体内に生じる Qco_2 及び Lac の動向といえる^{2) 3) 6) 7) 9) 11-15) 17) 21) 22) 26)}。

今回の実験は、ジョギングという動作形式の運動を行った場合に生体内に生じる各種の生体反応を、走行速度との関係から生体代謝として考察したものである。エアロビクスエクササイズとしてのジョギングは、有酸素運動領域において身体の機能が一定の状態を維持され、生体代謝の代謝産物である疲労物質が分解されながら継続されなければならないものである^{8) 19)}。一方、運動時に産出された生体代謝産物が分解されない状態で運動が継続されるようなのであれば、有酸素運動領域から外れる無酸素運動に相当するものである^{8) 19)}。有酸素運動領域という基本概念から今回の実験において確認されたことは、T1とT2のテストにおける走行速度においては大きな機能の昂進がほとんど認められなかったということである。これは、身体の機能が比較的一定の状態を維持され、運動が継続されるエアロビクスエクササイズの運動強度といえるものである^{8) 19)}。生体反応としては、運動下における V_E 、 Q 、 Vo_2/m 及びHRの動向がほぼ一定に近い状態で生体機能の継続がなされていたということである。さらに、T1からT2の運動時における代謝産物は、 Qco_2 及び Lac の蓄積にも大きな変化はなく継続運動がなされていたということである。これらは、先に述べたエアロビクスエクササイズにおける有酸素運動領域の運動強度に合致するものといえる^{8) 19)}。そして、T3及びT4のテストにおける生体反応は、T1及びT2における生体反応と比較して身体機能の昂進と代謝産物の産出が大きく認められるようになった。これは、運動時の生体反応が有酸素運動領域から無酸素運動領域に近づいたことを意味しているものである^{2) 3) 7) 14) 16) 18) 26)}。つまり、運動強度に対する身体的ストレスが、生体刺激して大きくなっていると考えられる様相が確認されるようになったということである。とくに、T4における運動時の Vo_2/m に対する Qco_2 の格差がなくなり非常に接近した状態を示すようになった。これは、T1及びT2では確認できなかった現象であり、生体代謝が有酸素運動領域から無酸素運動領域に近い運動刺激といえる。さらに V_E 及びHRにおいても、非常に高い生体反応が確認されるようになった。しかし、T1からT4の各段階に

おけるテストでは、 Vo_2 の増加がほとんど確認できず、それと同様に生体代謝産物であるLac.の産出量の増加も確認されなかった。これは、Astrand等が示すところの50% Vo_2max の生体代謝反応に到達するまでに至らない運動刺激といえる^{8) 18) 19) 29)}。このことから、T4における走行速度は、運動刺激としての身体機能の昂進はあるものの、エアロビクスエクササイズ領域における呼吸循環代謝としては比較的軽度の身体的ストレスと考えられる。今回の実験では、各段階のテストを5分間に限定しており、それ以降の時間の継続運動における生体反応を究明していないので一概に断定することはできないが、エアロビクスエクササイズ領域における生体代謝という観点から考えて、分速140m以上の、かつ分速160m以内の走行速度でジョギングを行うことが、生体刺激として無理なくジョギングを継続することが可能なエアロビクスエクササイズということができる。したがって、日常生活におけるエアロビクスエクササイズとしてのジョギングを生活活動として考えるならば、からだの移動を歩行からジョギングに切り換え、走行速度を分速140mから160mの範囲、つまり心拍数にして1分間当たり120拍から130拍の範囲の中で計画すれば、生活の中におけるジョギングを健康運動として活用することが可能なものであるといえる。

V. 要約

今回は、比較的軽度なジョギングを取り上げ、走行速度が生体に与える影響を調べる目的で実験したところ、エアロビクスエクササイズ領域における走行速度が明確になったので報告する。

1. 分速120mと140mにおける走行速度は、運動時の生体反応からエアロビクスエクササイズ領域としては比較的弱い運動強度であった。また、運動時における代謝産物の増加、蓄積は、比較的少なく身体機能的には定常状態の範囲の中でジョギングが継続されていることが確認された。
2. 分速160mと180mにおける走行速度は、 Vo_2 に対する Qco_2 の差がなくなると同時に、HRの上昇が確認されるようになった。運動刺激としては、有酸素運動領域でかつ生体刺激としての運動効果が期待できる範囲の身体機能の昂進が確認できた。しかし、運動時のLac.の増加、蓄積を確認するまでの運動強度ではなかった。
3. 以上のことから、エアロビクスエクササイズとしてのジョギングにおける走行速度を限定するならば、身体機能的に定常状態を維持しながらジョギングを遂行するとしたならば、分速160m前後の走行速度で計画することが望ましい。また、ある程度の身体的ストレスを要求するならば、分速180m以上の走行速度が必要といえる。

参考文献

- 1) 青木高他：21世紀の健康・体力作り，71-73，135-145，大修館，1990
- 2) Ahlborg B., et al., : Muscle glycogen and muscle electrolytes during prolonged physical exercise. *Acta Physiol. Scand.* 70, 129-142, 1967
- 3) 浅比奈一男他：作業強度の生理的水準について，*体力科学*，20，190-197，1971
- 4) 浅見俊雄他：スポーツトレーニング，40-195，朝倉書店，1985
- 5) 石河利寛：スポーツとからだ，103-140，岩波書店，1991
- 6) 岩崎英人・川上雅之他：心拍数から考える組み合わせトレーニングと運動強度—インターバルトレーニング形式による—，*山陽論叢*，第1巻，37-47，1994
- 7) 榎本豊・川上雅之：VO₂maxから推定するロングインターバル・トレーニングの身体的影響，*岡山理科大学紀要*，25A，349-360，1990
- 8) Astrand P.-O., et al., : *Textbook of Work Physiology*, McGraw-hill, 295-518, 1970
- 9) 川上雅之他：長距離走における走行速度と運動強度の関係，*岡山理科大学紀要*，26A，365-378-1991
- 10) 川上雅之他：保体学概論，180-217，小林出版，1992
- 11) 川上雅之他：ショートインターバル・トレーニングと心拍数の関係，*岡山理科大学紀要*，27A，311-324，1992
- 12) 川上雅之他：心拍数から考える山間部走とトレーニング，*岡山理科大学紀要*，28A，272-292，1993
- 13) 川上雅之他：心拍数から考える女子長距離選手のインターバル・トレーニングと運動強度，*岡山理科大学紀要*，29A，355-373，1994
- 14) 川上雅之他：ヘルスサイエンス，25-58，不昧堂出版，1994
- 15) 川上雅之他：心拍数から考える女子長距離選手の山間部における組み合わせトレーニングと運動強度に関する研究，*岡山理科大学紀要*，30A，359-372，1995
- 16) 川上雅之他：トレーニングサイエンス，90-101，不昧堂出版，1996
- 17) 川上雅之他：傾斜角度と走行速度の関係，*倉敷芸術科学大学紀要*，創刊号，153-164，1996
- 18) Karvonen M., et al., : The effects of training on heart rate., *Ann. Med. Exper. Fenn.* 35, 307-315, 1957
- 19) Cooper K. H., : *The new aerobics.*, M. Evans and Company, 25-180, 1970
- 20) Gutin B., et al., : Oxygen consumption in the first stages of strenuous work as a function of prior exercise., *J. Sports Med.*, 16, 60-65, 1976
- 21) Costill D. et al., : Fractional utilization of the aerobic capacity during distance running., *Med. Sport*, 5, 248-252, 1973
- 22) Costill D. et al., : Determinants of marathon running success., *Int. Z. Angew. Physiol.* 29, 249-251, 1971
- 23) Costill D. et al., : Glycogen utilization in leg muscles of men during level and uphill running. *Act. Physiol. Scand.*, 91, 475-481, 1974
- 24) Costill D. et al., : Metabolic responses during distance running., *J. Appl. Physiol.*, 28, 252-255, 1970
- 25) 田口貞善他：運動生理学，13-20，151-288，杏林書院，1992
- 26) 高松薫他：持久走における心拍数と酸素摂取水準との関係に及ぼす運動経過時間の影響，*体育学研究*，28-2，153-161，1983
- 27) Davies C. T. M., : Limitation to the prediction of maximum oxygen intake from cardiac frequency measurements., *J. Appl. Physiol.*, 24, 700-706, 1968
- 28) Drinkwater D. L. et al. : Responses of young female track athletes to exercise., *Med. Sci. Sport.*, 356-362, 1972
- 29) Michale P. et al., : *Physiology of Respiration*, Oxford Univ., 94-112, 1996
- 30) 山路啓司：心拍数の科学，17-30，大修館，1981
- 31) 山路啓司：持久走トレーニングの最大酸素摂取量への影響，*体育学研究*，32-3，167-175，1987
- 32) 山路啓司：心臓とスポーツ，47-183，共立出版，1982

A Study on the Correlation between the Running Speed and Living Reaction

Naohiko ARAKI

College of Liberal Arts and Science,

Kurashiki University of Science and the Arts,

2640 Nishinoura, Turajima-cho, Kurashiki-shi, Okayama 712, JAPAN

(Received September 30,1996)

The purpose of this study is to analyze the physical function results affected by running speed inferred from respiration and circulate response. The subjects in this study are basket players of 4 males. The influence of physical function, analyzed by the results of living reaction during the different running of treadmill. The following results were obtained:

- 1) The mean of work load during running exercise from 120m to 140m per minute respectively indicates numerical values between 40% and 55% of Vo₂max of the subjects.
- 2) The mean of work load during running exercise from 160m to 180m per minute respectively indicates numerical values between 70% and 80% of HRmax of the subjects.
- 3) therefore a significant consideration about running speed for exercise of human body should be the percent of Vo₂max and HRmax per running of each people based on the work load.