

血圧の連続測定からみた中高年齢者の レジスタンストレーニングの安全性

日本女子体育大学 中村 夏実
(共同研究者) 同 根本 勇
ワールドウイング 小山 裕史
日本女子体育大学 黒田 善雄

The Study of Safety of Resistance Training by Continuous Measurement of Blood Pressure in Middle Aged-Men

by

Natsumi Nakamura, Isamu Nemoto, Yoshio Kuroda
Japan Woman's College of Physical Education
Yoshiyuki Koyama
World Wing Enterprise

ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate the physiological responses during ballistic type (BRT) and non-ballistic type resistance training (non-BRT) by continuous measurement of systolic (SBP) and diastolic blood pressure (DBP), heart rate (HR), oxygen uptake ($\dot{V}O_2$) and blood lactate concentration (HLA), and to discuss the safety of resistance training in middle aged-men. The results were as follows;

- 1) SBP, DBP, HR, double product (DP) and rating of perceived exertion (RPE) during non-BRT was significantly higher than those during BRT in lower extremity program.
- 2) HLA during non-BRT tended to be relatively high with compared to those during BRT in lower extremity program.
- 3) All physiological parameters were almost identical during BRT and non-BRT in upper

body programs.

4) Relatively large differences in $\dot{V}O_2$, BP and DP between BRT and non-BRT were noted in higher work load.

5) SBP, DBP and DP during non-BRT were remarkably higher as compared with those during by bicycle ergometry.

6) Mean $\dot{V}O_2$ and mean $\% \dot{V}O_{2max}$ during BRT in our subject (IN) were 15.5 ml/kg/min and 45.7% $\dot{V}O_{2max}$, respectively (energy expenditure being 438.7 kcal).

These results indicate that BRT is considered to be more safe with compared to non-BRT with particular reference to BP response, and that BRT may be effective for developing and maintaining of muscle mass and health related fitness in middle aged-men.

要 旨

本研究では、中高年齢者のレジスタンストレーニング (RT) 愛好者が日常実施している代表的な RT を対象とし、「初動負荷 (Ballistic Resistance Training ; BRT)」と「終動負荷 (non - BRT)」による RT 中の酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$)、血中乳酸濃度 (HLA 濃度)、血圧 (SBP, DBP) およびダブルプロダクト (DP = HR × SBP) を連続測定するとともに、運動種目および強度との関連から、RT の安全性について検討を加えることを目的とした。その結果、以下のことが明らかにされた。

1) 下半身の RT 中の SBP, DBP, HR, DP および RPE (Rating of Perceived Exertion) は、non - BRT が BRT と比較して有意な高値を示した ($p < 0.001$)。

2) 下半身の RT 中の HLA 濃度は、non - BRT が BRT に比較して高値を示す傾向が認められた。

3) 上半身の RT 中の各生理学的パラメータには、BRT と non - BRT との間に顕著な差異は認められなかった。

4) BRT と non - BRT による $\dot{V}O_2$, BP および DP の差異は、負荷が大きくなるにしたがって (とくに Stage3 以降) 顕著となった。

5) 自転車駆動による漸増負荷テスト時と比較して、non - BRT 中の同一 $\dot{V}O_2$ に対する SBP,

DBP および DP は顕著な高値を示した。

6) 本被検者における BRT 中の平均 $\dot{V}O_2$ および平均 $\% \dot{V}O_{2max}$ は、それぞれ 15.5ml/kg/min および 45.7% $\dot{V}O_{2max}$ (エネルギー消費量 ; 438.7kcal) であった。

以上より、BRT は non - BRT と比較してとくに運動中の血圧の顕著な上昇が抑制されることから、中高年齢者の筋量、筋力および健康関連体力の維持・増進のための RT としての安全性が確保され、かつ有効であることが示唆された。

緒 言

1990 年に改訂されたアメリカスポーツ医学会 (ACSM)¹⁾ の提言によれば、中高年齢者の健康の保持・増進のための運動として、レジスタンストレーニング (Resistance Training ; RT) が不可欠なプログラムとして提案され、実施されるようになってきた。最近の研究⁹⁾においても、中高年齢者の実施する RT は、筋力や除脂肪体重 (LBM) の保持・増進ばかりではなく、最大下運動時の持久性能を高めるとともに血中脂質・リポ蛋白プロフィールを好転させる可能性が明らかにされている。この理由として、RT の質的および量的因子のうち、とくに量的因子の影響が示唆されている。また、中高年齢者の RT を生理学的パラメータからモニタリングした研究^{10) 11)} によ

れば、ハイクリーンやスクワット実施中の酸素摂取量は、70～90% $\dot{V}O_{2max}$ にまで達し、実施種目および運動形態によって運動強度が様々に変化するという。

一方、スポーツの競技力向上を目的としたRTとして、「初動負荷法 (Ballistic Resistance Training ; 以下 BRT)」と呼ばれるトレーニング法が考案され、普及しつつある⁸⁾。「BRT」では、動作開始時に最も大きな力が発揮され、以後は慣性で動作が遂行されるために筋出力は低減する。これとは逆に、「終動負荷 (non-BRT)」によるRTでは、動作の終了時に負荷が大きくなる。荻田ら(1995)¹³⁾は、「BRT」と「終動負荷」を用いたRT中の心拍数 (HR) および血圧変動 (BP) を比較し、同一の仕事量であっても「BRT」によるRTでは有意に低いHRおよびBP値を示すことを報告している。

RT中の血圧反応について研究したFleckら(1987)³⁾によれば、RT中の最高血圧のピーク値で230mmHgおよび最低血圧で130mmHgにまで達したという。我が国において、健康の保持・増進の運動としてRTが推奨されてこなかった理由は、RT中の血圧の上昇が脳・心血管障害の引き金になる可能性が危惧されているためである。そして、これまで、RT中の血圧を連続的に観察した報告は見られない。

最近、運動中の血圧動態をbeat to beatで連続的に測定できる機器が開発され、実用化されている。そこで本研究では、中高年齢者のRT愛好者が日常実施している代表的なRTを対象とし、「BRT」と「終動負荷」によるRT中の酸素摂取量、血中乳酸濃度および血圧を連続測定するとともに、運動種目および強度との関連から、RTの安全性について検討を加えることを目的とした。

1. 方法

1. 1 被検者

被検者は、中高年齢男子のRT愛好者1名(年齢44歳、身長164cm、体重62kg、% Fat 17.2%)を対象とした。なお、本研究の被検者は、「BRT」に習熟した中高年齢者としたことにより、結果として被検者数が限られたものとなった。被検者には、本研究の目的、測定方法および危険性を十分に説明し、研究に参加することの同意を得た。

1. 2 実験プロトコール

1) 漸増負荷運動テスト

被検者には、自転車エルゴメータ (Monark 社製、スウェーデン) を用いて、漸増負荷運動テストを行わせたが、その際のペダル回転数は50rpmとし、0kpから3分毎に0.5kp (25W) ずつ漸増して疲労困憊に至るまで行わせた。

2) レジスタンストレーニング (RT) (表1)

日常的なRTプログラムのうち、上半身種目と下半身種目をそれぞれ「BRT」と「終動負荷」で行わせた。また、心拍数 (HR) の連続測定によって被検者が日常行っているRTの運動強度のモニタリングも併せて行った。表1には、RTプログラムを示した。各RTの負荷強度は、Stageが進むにしたがって大きな負荷強度を示している。すなわち、マシンを使用したRTプログラムにおいて、プレート1枚は5kgであったが使用するマシンによって実際に身体にかかる負荷強度が異なるため、便宜上Stage1～5として表示した。なお、本研究ではセノー株式会社のコンビネーション・マシンを使用した。

1. 3 測定項目

1) 血圧 (Blood Pressure ; 以下 BP)

血圧 (BP) の測定には、非観血式連続血圧測定装置 (日本コーリン社製、JENTOW EX) を用いて、beat to beatで連続測定した。センサーは、橈骨動脈を触診により検出し、橈骨動脈上の鉛直上にセンサーの中心部が位置するように装着した。

2) 心拍数 (HR)

心拍数 (HR) の測定は、ポーラエレクトロ社

表1 レジスタンストレーニングのプログラム

上半身トレーニング	
A. ダンベルカール	15回×5セット (ダンベルを降ろした勢いで素早く上げる.)
B. バックプレス	15回×5セット (ダンベルを下ろす際に外側に捻り, 切り返してあげる.)
C. アップライト	15回×5セット (ダンベルを引き上げる.)
D. カール (チューブ)	15回×5セット (爪先にチューブをかけそのチューブを引き上げる.)
E. アイソメトリックカール	15回×5セット (爪先にチューブをかけそのチューブを引き上げる途中で止める.)
F. 肘内旋~外旋	15回×5セット (肘を軸にしてチューブを横に引く.)
G. チューブピッチング	15回×5セット (ボールを投げる感じ.)

下半身トレーニング	
A. レッグエクステンション*	15回×5セット (落ちてきたプレート拾って投げる感覚で.)
B. レッグプレス*	15回×5セット (切り返し動作を意識してスピーディーに行う.)

*以上の種目は、「BRT」と「終動負荷」で行った。

日常のトレーニング	
ストレッチ	30秒 (下肢の裏側から背中までのストレッチ.)
A. ハムストリング	30秒 (前大腿部をしっかり伸ばす.)
B. 大腿四頭筋	15回 (両肩を押さえてもらい腰を捻り腕と肩を意識する.)
C. ウイングストレッチ 肩	15回 (両肩を押さえてもらい腰を捻り腕と肩を意識する.)
D. ウイングストレッチ 背中	15回 (片腕を押さえてもらい腰を捻り胸と背中を意識する.)
A. ラットマシーン*	15回 (頭の後ろで懸垂をする感じ.)
B. ディップス	15回 (投げるように, 肩幅とそれ以上と交互する.)
C. ベンチプレス	15回 (投げるように, 肩幅とそれ以上と交互する.)
D. プルオーバー	15回 (脱力しダンベルの重さでストレッチする.)
E. ベントオーバーローイング	15回 (椅子に片膝, 片腕をついてダンベルを引き上げ外側に捻る.)
F. ダンベルカール	15回 (ダンベルを降ろした勢いで素早く上げる.)
G. ロープリー*	15回 (肘を伸ばし背中で引くことを意識する, 腕を捻る.)
H. レッグカール*	15回 (落ちてきたプレート拾って投げる感覚で.)
I. レッグプレス*	15回 (切り返し動作を意識してスピーディーに行う.)
J. 腹筋	30回 (タオル等を片手で引いて負荷を軽くして片手は腹筋に手を当てて意識する)
K. レッグエクステンション*	15回 (落ちてきたプレート拾って投げる感覚で.)
L. スクワット (*)	15回 (片腕で爪先を平行にし膝をゆるめて小指の方に重心を置く膝をまげた状態でバーベルを下から上まで引き上げる.)
M. フォワードランジ	20回 (直立から片足ずつ交互に歩幅より大きめに足を出しかかとかから着地する, 切り返しを意識する.)

(*は, マシンを利用したRTプログラムを示す)

製のハートレートメモリ (バンテージXL) を用いて15秒毎に連続測定した。

3) 酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$)

酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$) の測定には, 自動呼気ガス分析装置 (ミナト医科学社製, Medical gas analyzer MG-360) と自動呼気流量計 (ミナト医科学社製, Respiro-monitor RM-300) を用い, Breath by Breath 法によって運動中15秒毎に連続して測定した。なお, $\dot{V}O_2$ は漸増負荷運動テストにおいてのみ測定し, RT中の $\dot{V}O_2$ はHR— $\dot{V}O_2$ 関係式により求めた。

4) 採血および血中乳酸濃度 (HLA 濃度)

HLA濃度は, ランセット針を用いて被検者が自ら指尖より湧出した血液を, 直ちにシリンジ・ペット (25 μ l) によってYSI社製自動乳酸分析装置 (1500 Sports) に注入して分析した。分析装置の較正には, 濃度が概知の標準液 (5.30 mM) を用いた。

5) 主観的運動強度 (Rating of Perceived Exertion ; RPE)

主観的運動強度 (RPE) の測定は, RPEの日本語表示スケール (小野寺と宮下, 1976) を用いて

口答により求めた。

1. 4 消費カロリーの算出方法

RT中の消費カロリーは漸増負荷テストによっ

て得られたHR- $\dot{V}O_2$ 推定式を用いて、RT中のHRより $\dot{V}O_2$ 1 lを5 kcalとして算出した。

1. 5 統計処理

「BRT」および「終動負荷」間における各パラメータの平均値(±標準偏差)の有意性の検定には対のt検定を用い、5%水準をもって有意とした。

2. 結果および考察

2. 1 レジスタンスプログラム実施中の生理学的パラメータの動態

図1には、代表的な上半身RT種目実施中の $\dot{V}O_2$ 、HLa濃度、BPおよびDPの動態を示した。図に示されるように、同一種目における「BRT」および「終動負荷」での生理学的パラメータには顕著な差異は認められなかった。

図2および図3には、レッグプレスおよびレッグエクステンション中の生理学的パラメータの動態を示した。兩種目とも、各Stage毎に「BRT」および「終動負荷」を交互に繰り返すことによって、それぞれ15回、5セットずつ負荷漸増することで実施した。負荷が大きくなるにつれて、 $\dot{V}O_2$ 、HLa濃度、血圧応答およびDPはそれぞれ漸増的に高くなる傾向を示した。「BRT」と「終動負荷」とで比較すると、兩種目ともに「終動負荷」が「BRT」に比較して高値を示す傾向が認められ、その差は負荷が大きくなるにしたがって(とくにStage3以降)顕著となった。

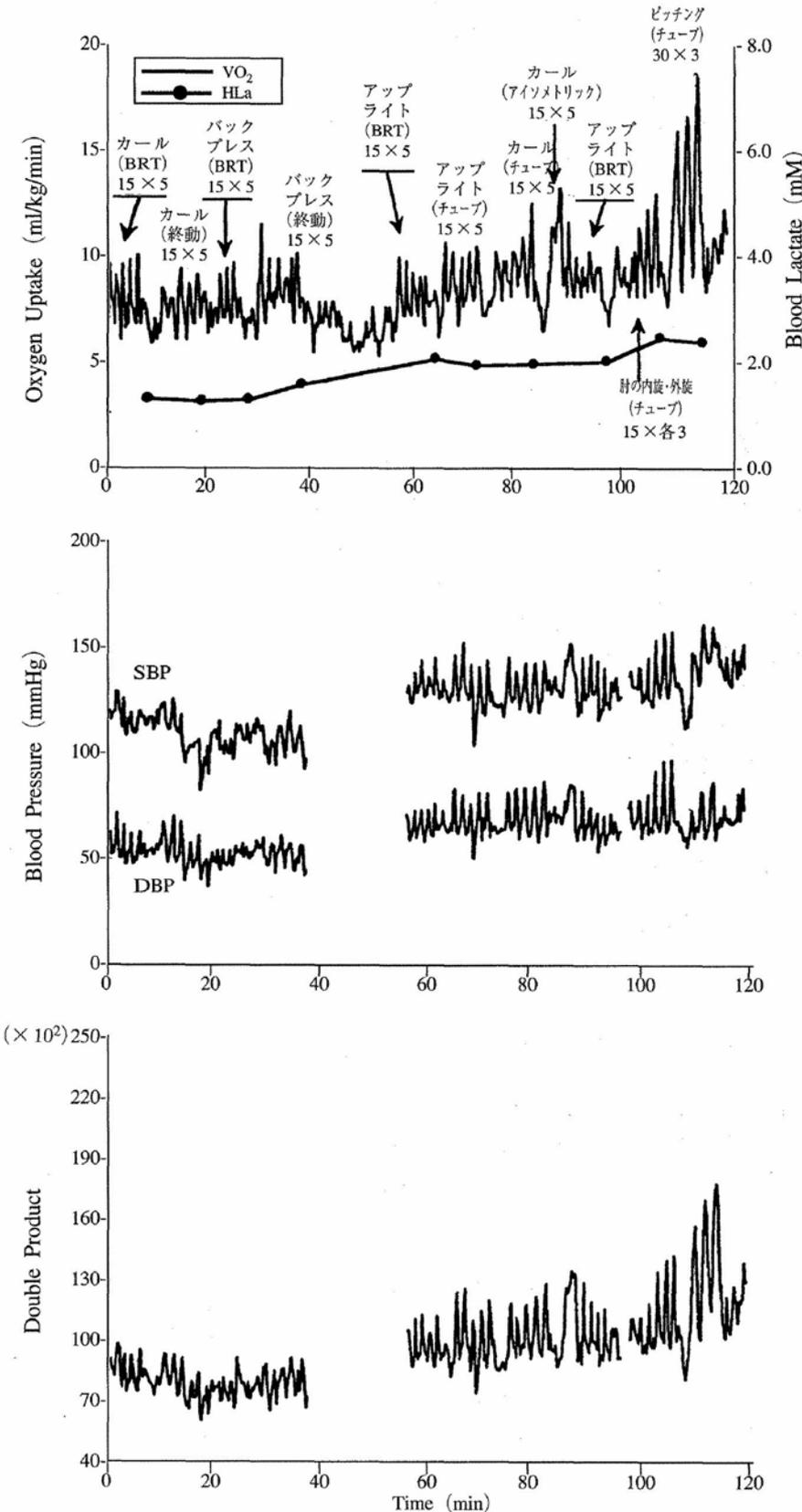


図1 上半身RTプログラムにおける生理学的パラメータの動態

図4には、上半身および下半身のRT種目実施時の血圧に関する生理学的パラメータについて、「BRT」と「終動負荷」との比較で示した。最高

血圧 (SBP) および最低血圧 (DBP) は、下半身の種目において「BRT」と「終動負荷」との間で統計的な有意差が認められた ($p < 0.001$)。さらには、HRおよびDPにおいても、下半身種目において「BRT」と「終動負荷」との間で有意差が認められた ($p < 0.001$)。一方、上半身種目においては、いずれのパラメータにも両運動負荷間で顕著な差は認められなかった。この理由として、上半身種目においては、運動に参加する活動筋量が少ないため、「BRT」と「終動負荷」との間で有意な差が認められなかったものと考えられる。

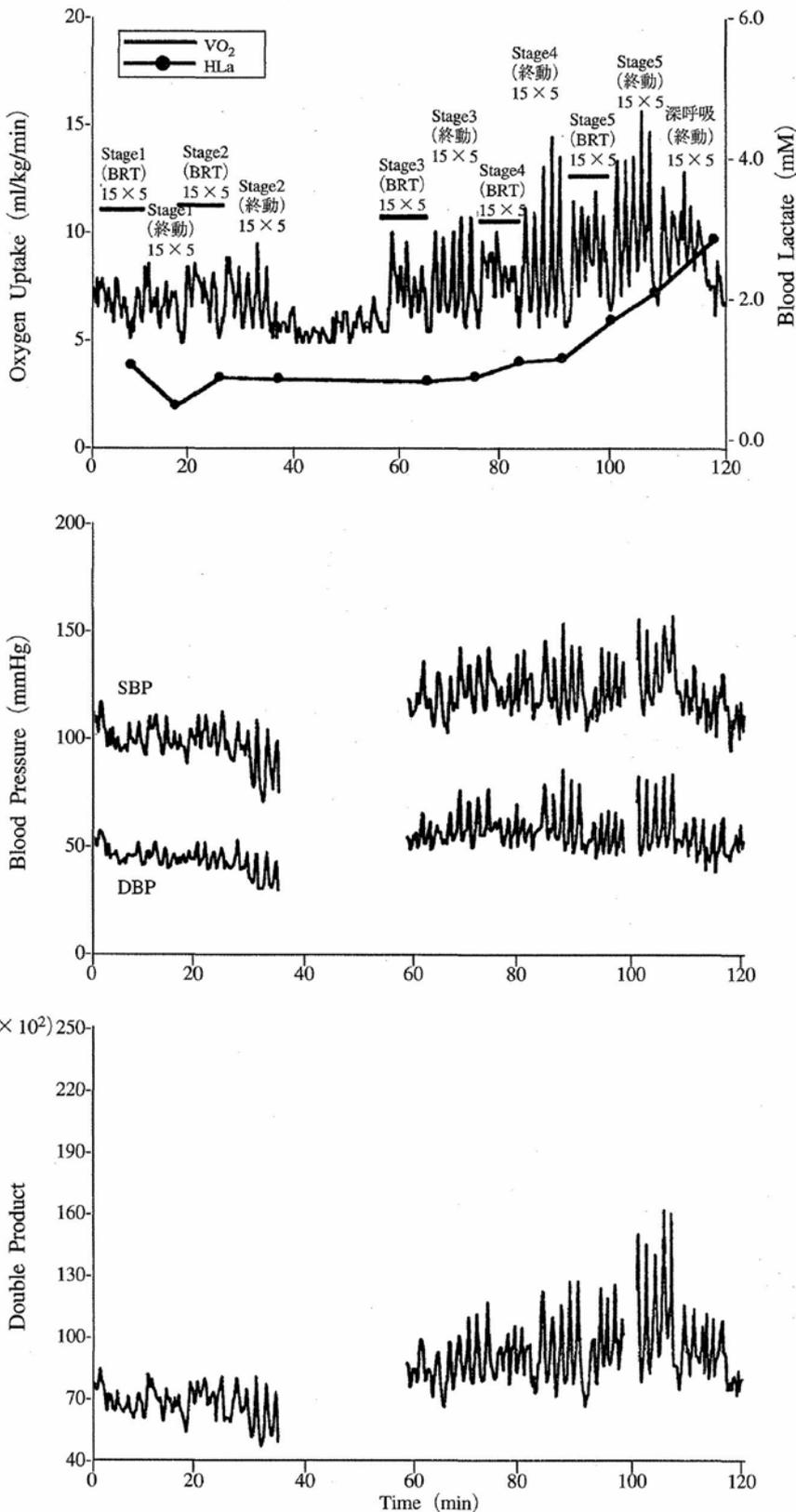


図2 レッグプレス中の生理学的パラメータの動態

は、HRおよびDPにおいても、下半身種目において「BRT」と「終動負荷」との間で有意差が認められた ($p < 0.001$)。一方、上半身種目においては、いずれのパラメータにも両運動負荷間で顕著な差は認められなかった。この理由として、上半身種目においては、運動に参加する活動筋量が少ないため、「BRT」と「終動負荷」との間で有意な差が認められなかったものと考えられる。

図5には、上半身および下半身のRT種目実施時のHLa濃度およびRPEについて、「BRT」と「終動負荷」との比較で示した。HLa濃度では、上半身および下半身の種目のいずれにおいても有意差は認められなかったものの、下半身プログラムの「non-BRT」で高値を示す傾向が認められた。これは、「終動負荷」ではRT中の筋内圧の上昇に由来する筋血流量の減少によって、主働筋への酸素供給および筋中で産生された乳酸の洗い出しが低下したことに由来するものと考えられる。

「BRT」とは、その運動の主働筋を最大限に伸張したポジションをとり、一気に筋を短縮させて加速的に、または慣性を利用して一連の動作を繰り返す方法と規定される⁸⁾。この方法によるRTでは、主働筋の「伸張—短縮—弛緩」と

いった一連の動作をバリストックに繰り返すこと
によって、主働筋の活動時に拮抗的に作用する
筋群の活動（共縮）を防ぎながら行なう運動形態

となる。ベンチプレス为例に取ると、感覚的には、
バーベル全体を上方にほうり投げ、落ちてくるシ
ャフトを受けとめて素早く挙上する気持ちで運動

することによって、「BRTによる
ベンチプレス」となる。この
「BRT」でのベンチプレスでは、
いわゆる「スティッキング・ポイ
ント」での動作速度の低下や停止
がない。換言すれば、「BRT」で
は、動作開始時に最も大きな筋出
力が発揮され、以後は慣性で動作
が遂行されるため筋出力は漸減す
る。すなわち、ある重力下で物を
投げ上げる際やジャンプ運動時の
力発揮様式が、「BRT」の典型例
といえる。この意味において
「BRT」は、「ストレッチ・ショ
ートニング・サイクル（Stretch-
Shortening Cycle；SSC）」⁷⁾、ある
いは「プライオメトリックス」を
RTに応用したものとも言えよう
12)。これに対して、「終動負荷」
によるトレーニングでは、運動中
の主働筋が収縮し続け、かつ動作
の終了時に負荷が最大となる。

荻田ら（1995）¹³⁾によれば、
「終動負荷」は「BRT」に比較し
て筋の弛緩時間が短く、このこと
がHRやSBPおよびDBPにおいて
「終動負荷」で有意な高値を示す
原因となると報じている。その原
因として、乳酸などの代謝産物に
よる血管拡張、運動圧反応由来の
交感神経機能亢進による末梢血管
収縮および活動筋による血管圧迫
などの相互作用を指摘している。

本研究においては、RT中のBP

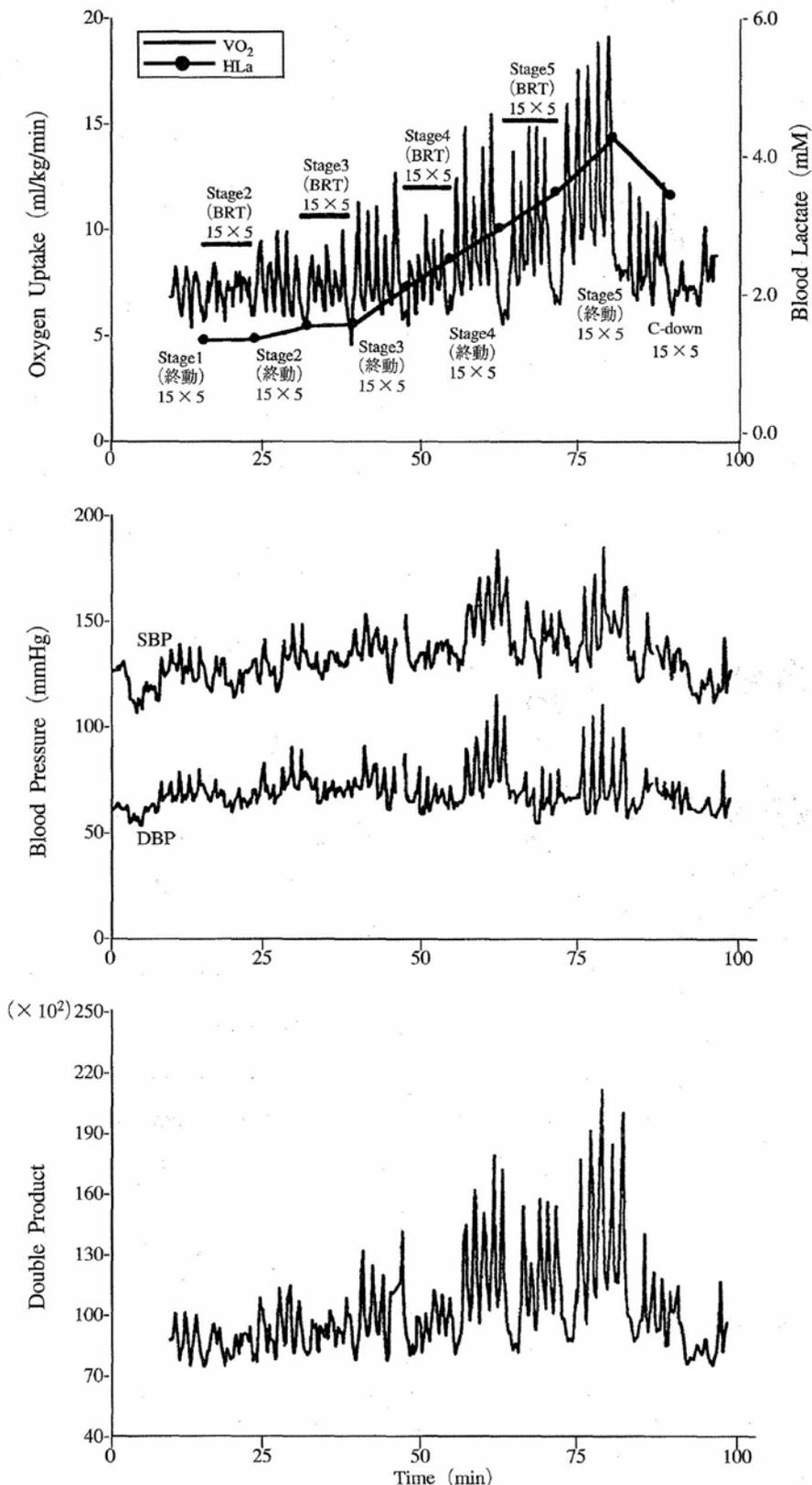


図3 レッグエクステンション中の生理学的パラメータの動態

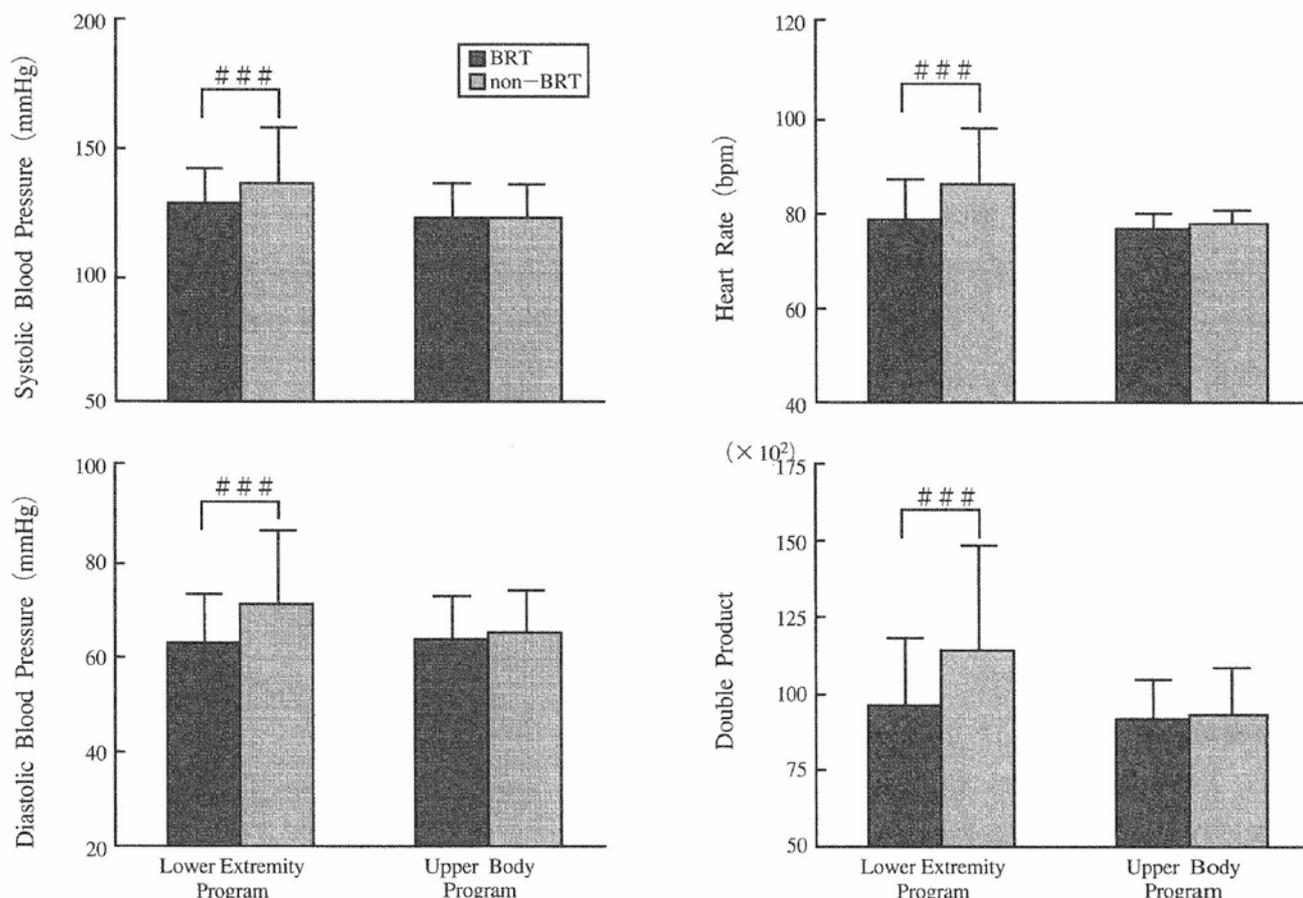


図4 血圧、心拍数およびダブルプロダクトにおける「BRT」と「終動負荷 (non-BRT)」との比較 (###; p<0.001で両群間に有意差あり)

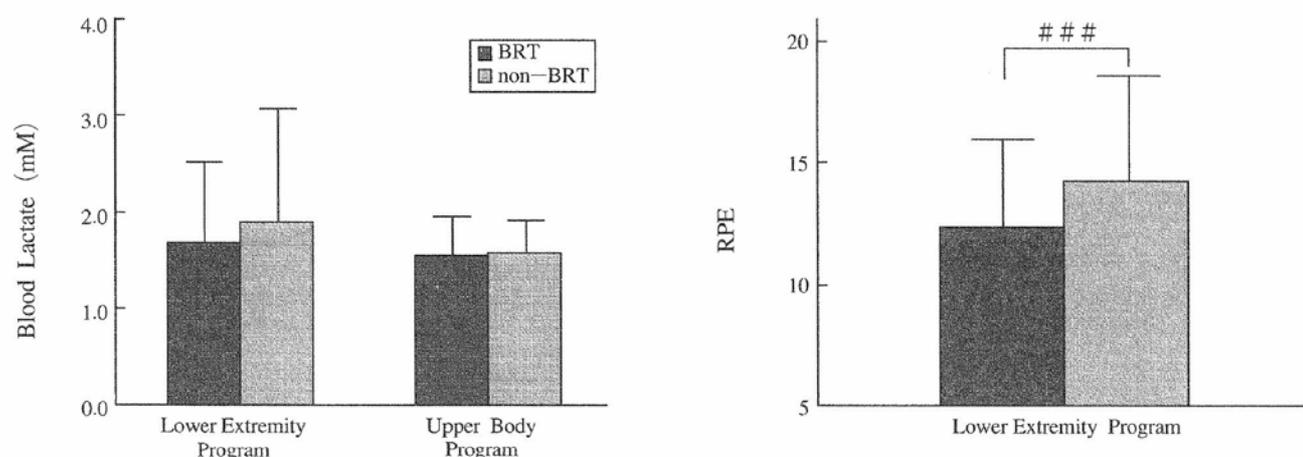


図5 血中乳酸濃度および主観的運動強度における「BRT」と「終動負荷 non-BRT」との比較 (###; p<0.001で両群間に有意差あり)

は「終動負荷」が「BRT」に比較して高値を示す結果となった(図2, 図3, 図4)。さらには、心筋の酸素消費量の間接的指標とされるDP (SBP×HR)¹⁵⁾においても、「BRT」に比較して「終動負荷」で有意な高値を示した(図4)。

心筋の収縮特性に大きくかわる要因に、収縮開始時の心筋長および心筋収縮時の心筋内張力が

あげられる⁶⁾。その中で前者は、拡張期末心室容量に相当し静脈還流の大きさによって決定される。心筋に発生する静止張力は心臓壁が拡張するにつれ増加するが、動的でかつ運動時間が長くなるにつれてより強調される。すなわち、「BRT」では筋活動時間が短く筋弛緩時間が長いことから十分な静脈還流量が確保されるが、一方で筋内圧の上

昇が小さいため、「BRT」中の血圧の上昇は「終動負荷」に比較して小さいものとなる。また、筋活動時の心筋が発生する張力の大きさは、大動脈と細動脈の伸縮性および末梢抵抗が関係する。「終動負荷」においては、筋の弛緩時間が短く筋内圧が高まるため、静脈還流量も「BRT」に比較して少ないと予測される。したがって、同一仕事量のRTを行う場合、「終動負荷」では「BRT」実施時と同様の筋血流量を確保しようとするためにより強い心筋の収縮が要求される。それと同時に、「終動負荷」では「BRT」に比較して筋収縮時間が長いこと、交感神経活動の亢進による血管収縮が著しく、さらには筋内圧が高まっていると予測されることから、「終動負荷」ではとくにDBPにおいて顕著に高い値を示したものと推察される。

また、「終動負荷」では、動作終了時に筋出力が大きくなり、同一の仕事量であっても「BRT」よりも運動終了時に大きな筋の出力発揮を要する。この大きな筋出力が、交感神経活動を刺激する結果、HRは「BRT」に比較して「終動負荷」で有意な高値を示したものと考えられる。さらには、DPにおいても「終動負荷」において有意な高値を示しており、「終動負荷」では心臓血管系に対する負担度が大きいものであったことが示唆される。これらのことから、「BRT」は「終動負荷」に比較して中高年齢者のRT法としてより安全性を確保できるものと考えられる。さらには、「終動負荷」でのRTは、「BRT」に比較して有意な高値を示し、被検者自身が主観的に「きつい」と感じていることが明らかにされた(図5)。

2. 2 レジスタンストレーニングの運動強度

図6および図7には、中高年齢者のRTの運動強度を、SBP、DBP、DPおよびHLA濃度、RPEについて、自転車駆動による漸増負荷テスト時のそれとの比較でまとめて示した。 $\dot{V}O_2$ の増加に対するSBP、DBPおよびDPの応答では(図6)、自

転車駆動時に比較してRTでは同一の $\dot{V}O_2$ もかわらず各パラメータともに高値を示した。なかでも「終動負荷」によるRTでは、「BRT」に比較して同一 $\dot{V}O_2$ に対するSBP、DBPおよびDPがともに高値を示す傾向が認められた。また、 $\dot{V}O_2$ -HLA濃度関係では、自転車駆動に比較して同一 $\dot{V}O_2$ であってもRTが高値を示したものの、「BRT」

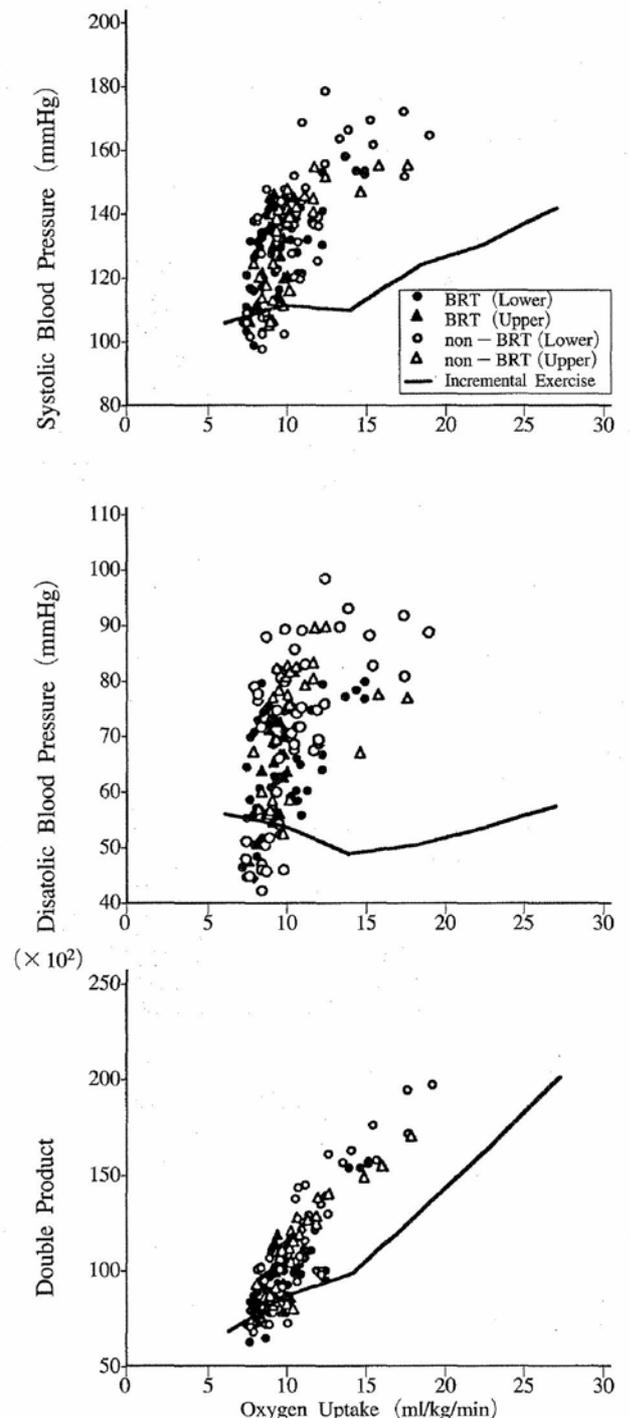


図6 自転車駆動に対する「BRT」および「non-BRT」の血圧とダブルプロダクトの比較

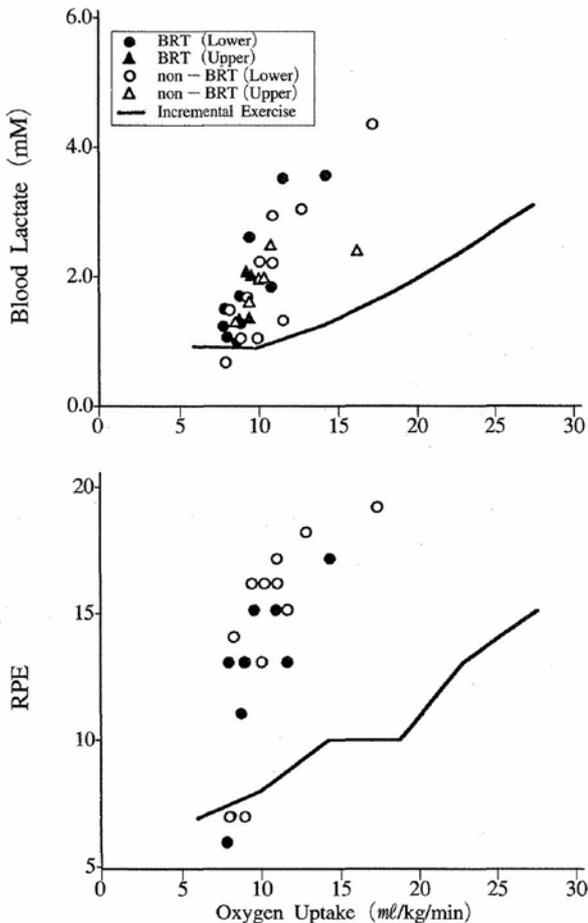


図7 自転車駆動に対する「BRT」および「non-BRT」の血中乳酸濃度と主観的運動強度の比較

と「終動負荷」による顕著な差異は認められなかった。一方で、 $\dot{V}O_2$ -RPE 関係では、同一 $\dot{V}O_2$ に対する RPE は自転車駆動に比較して RT で明らかな高値を示した。

また図 8 には、本被検者が通常行っている「BRT」による RT 中の推定 $\dot{V}O_2$ の動態を示した。このプログラムは、上半身および下半身の RT をストレッチングをはさんで 2 部構成で行い、それぞれスーパーセット方式 (2 種目を休息なしで交互に実施する方法) あるいはトライセット方式 (3 種目を休息なしで順次実施する方法) によって行われた。トレーニングの所要時間は約 90 分であって、1 セットの回数は 15 回でありセット間の休息時間は次の種目へ移動する時間のみであった。また、 $\dot{V}O_2$ は 15~25 ml/kg/min の範囲であって、最も高い値は、スクワット、レッグカールおよびレッグプレスのトライセット実施時で得られた。RT 中の平均 $\dot{V}O_2$ は 15.5 ml/kg/min であり、これは漸増負荷運動により得られた Peak $\dot{V}O_2$ の 45.7% $\dot{V}O_{2max}$ に相当するものであった。また、

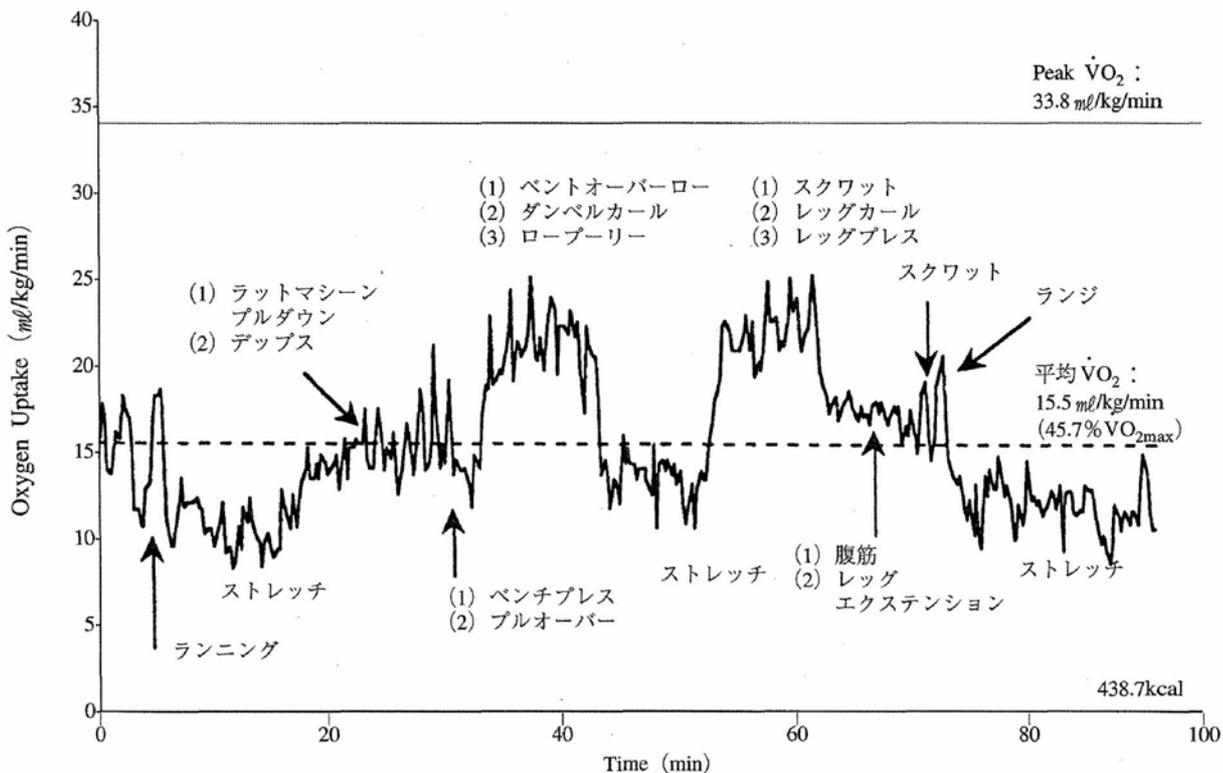


図8 中高年齢者の日常RTプログラム実施における酸素摂取量の動態

運動中の総 $\dot{V}O_2$ から算出した推定消費カロリーは、438.7 kcalであった。RT中のみでみると、平均 $\dot{V}O_2$ は17.2 ml/kg/minおよび50.9% $\dot{V}O_{2max}$ であり、推定消費カロリーは320.1 kcalであった。いずれにしても、本被検者の実施したRTプログラムは、トレーニングによるPeak $\dot{V}O_2$ の改善に必要とされる50~60% $\dot{V}O_{2max}$ ¹⁾に相当するものであって、RTの運動強度が38~60% $\dot{V}O_{2max}$ とする先行研究^{1, 2, 10, 14)}と、ほぼ一致するものであった。さらには、ACSMの提言¹⁾では、健康増進のためのトレーニングでは1回につき300 kcalを消費することが薦められているが、本被検者のRTの推定総消費エネルギー量は438.7 kcalであった。健康増進のための運動として推奨されるエネルギー消費量を凌駕していた。

以上のことから、「BRT」によるRTの実施は、十分に呼吸・循環系を刺激できることが示唆された。Stoneら(1991)¹⁴⁾は、RTにおける回数と休息時間の因子の関与を指摘し、高回数で短い休息時間のRTほど、すなわちトレーニング量が大いほどPeak $\dot{V}O_2$ の改善の程度も大きいことを報告している。本被検者のRTの運動強度は、負荷は低いものであったが有酸素性トレーニングとして中高年齢者のHealth Related Fitness^{10, 14)}に対して十分に効果の期待できるものであったと考えられる^{10, 11)}。

2. 3 「BRT」によるレジスタンストレーニングによって期待されるその他の効果

「BRT」によるRTは多くの場合、RTの2種目を休憩なしで繰り返す「スーパーセット方式」で実施されている。ここで取り上げた「BRT」では、様々なスポーツ動作に動員される筋群を個別に取り出して活動させることで、神経-筋の反応を刺激した後、スポーツ活動で必要とされる筋群周辺の関節可動域を高める方向でプログラムを組み立てている。すなわち、「BRT」によって神経-筋の反応が促進されることで運動の効率が向上す

ることによって、パワーアップに貢献することが期待されるのである⁴⁾。

さらには、「BRT」によって関節の可動域が増大し、柔軟性の改善に効果があることが報告されている¹³⁾。この詳細なメカニズムに関しては今後の課題となるが、以下の生理学的理由が仮説として考えられる。すなわち、「BRT」では「伸張-収縮-弛緩」をバリスティックに繰り返すため、主動筋と拮抗筋の活動の「切りかえ」が素早く起こることになる。このようなバリスティックな動作を連続して行なうためには、主動筋と拮抗筋の相反性神経支配⁴⁾がスムーズに機能することが重要であり、その結果主動筋に対する神経衝撃は「促進」され、一方で拮抗筋に対しては「抑制」されることにより、関節可動域が増大するものと考えられる^{4, 5)}。さらには、「BRT」では、一連の動作の中に屈曲-外転-外旋(伸展-内転-内旋)動作が入ることによって、いわゆる固有感覚受容器性神経筋促進手技(Proprioceptive Neuromuscular Facilitation; PNF)⁵⁾の理論を応用することができる。

いずれにしろ、「BRT」では、従来の「筋力トレーニング」や「ウェイトトレーニング」の概念を越えるRT法であって、その導入に際しては筋活動の生理学的メカニズムの理解とRTに対する先入観念を払拭することが求められているといっても過言ではない。また、前述のような「スーパーセット方式」および「トライセット方式」で実施するプログラムでは、筋での酸素不足を引き起こすことが可能となることから、エキセントリックな筋活動をとまなわずとも、筋での酸素不足由来のたんぱく同化を促進し、筋肥大の効果を期待することもできる。しかしながら、これらの生理学的メカニズムについては、今後の研究課題とされよう。

3. まとめ

「BRT」では、運動中の血圧の顕著な上昇が抑制されることから、中高年齢者の健康の保持・増進のための RT として安全でかつ有効な方法といえる。今後の課題として、呼吸・循環器系以外、例えば靭帯や関節軟部組織へ与える負荷強度とその危険性および安全性について検討することの必要性が示唆される。

謝 辞

稿を終えるに当たり、本研究に対して研究助成を賜った財団法人石本記念デサントスポーツ科学振興財団に深く感謝いたします。また、本研究を実施するに当たり、御協力頂いた日本女子体育大学トレーニングセンター、被検者の方および同大学運動生理学研究室小林泉女史と坂田祥江女史に深く感謝の意を表します。

文 献

- 1) American College of Sports Medicine ; The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness in healthy adults, *Med.Sci.Sports Exerc.*, 22, 265-274 (1990)
- 2) 青山正恵, 石村久乃, 柳田美佳, 山川純, 木村靖夫, 吉武裕, 樋口満, 根本勇 ; 中高年齢者のレジスタンストレーニングの運動強度, *臨床スポーツ医学*, 11, 594-600 (1994)
- 3) Fleck S.J. and Dean L.S. ; Resistance training experience and the pressor response during resistance exercise, *J. Appl. Physiol.*, 63, 116-120 (1987)
- 4) Hutton R.S. ; Neuromuscular basis of stretching exercise. In "Strength and Power in Sport." Komi P.V.(ed) , Blackwell, Oxford, p.29-38 (1992)
- 5) 覚張秀樹, 矢野雅知 ; 競技力向上と障害予防に役立つ, スポーツ PNF トレーニング, 大修館書店, 東京, p.53-56 (1994)
- 6) 金久博昭 ; ストレングス・エクササイズの特徴, *Jpn. J. Sports Sci.*, 14, 39-54 (1995)
- 7) Komi P.V ; Stretch-shortening cycle. In "Strength and Power in Sport" Komi P.V (ed) , Blackwell, Oxford, p. 169-179 (1992)
- 8) 小山裕史 ; 新訂版, 新トレーニング革命, 講談社, 東京 (1994)
- 9) 根本勇, 青山正恵, 石村久乃, 柳田美佳, 山川純, 木村靖夫, 吉武裕, 樋口満 ; 中高年齢者のレジスタンストレーニングが持久性能力と血中脂質とに及ぼす影響, *体力研究*, 83, 164-180 (1993)
- 10) 根本勇, 青山正恵, 柳田美佳, 松垣紀子, 山川純, 黒田善雄, 木村靖夫, 吉武裕, 樋口満 ; 中高年齢者の健康増進のためのレジスタンストレーニングに関する研究—エネルギー消費量と持久性能力および血中脂質との関連から—, *J. Exerc. Sci.*, 4, 29-38 (1994)
- 11) 根本勇, 青山正恵, 岩岡研典 ; 健康増進の立場から見た筋のトレーニング, *保健の科学*, 36, 424-432 (1994)
- 12) 根本 勇, 中村夏実, 荻田 太, 藤原博康, 小山裕史, 黒田善雄 ; 初動負荷法によるレジスタンストレーニングの特徴, *コーチング・クリニック*, 10 (2) 23-27 (1996)
- 13) 荻田太, 小山裕史, 藤原寛康 ; ウェイトトレーニング法の違いが呼吸循環反応と関節可動域へ与える影響, *トレーニング科学*, 7, 77-84 (1995)
- 14) Stone M.H., Fleck S.J., Triplett N.T. and Kraemer W.J. ; Health-and performance -related potential of resistance training, *Sports Med.*, 11, 210-231 (1991)
- 15) Tanaka H., Kiyonaga A., Terao Y., Ide K., Yamauchi M., Tanaka M. and Shindo M. ; Double product response is accelerated above the blood lactate threshold, *Med.Sci.Sports Exerc.*, 29, 503-508 (1997)