ペダリング運動における収縮期血圧の応答

小 原 繁* 林 美代子** 荒 木 秀 夫*

SYSTOLIC BLOOD PRESSURE RESPONSES TO PEDALLING EXERCISE

SHIGERU OBARA, MIYOKO HAYASHI and HIDEO ARAKI

Abstract

The response of systolic blood pressure (SBP) to pedalling exercise was studied in 32 healthy young men. The subjects performed the exercise at different intensities for 3 min using an incremental loading method. The first work load was 30 W and increased by 30 W until the heart rate (HR) reached about 170 bpm. SBP at HR 100~160 bpm (SBP@HR 100~160) was calculated from the cubic regression equation in each subject. Mean SBP and SEM at HR 100, 110, 120, 130, 140, 150, 160 were 143.9 (2.49), 152.9 (2.79), 161.6 (3.02), 170.0 (3.16), 177.8 (3.25), 184.5 (3.34), and 189.7 (3.45) mmHg, respectively. However, the rate of elevation of SBP was zero at HR 175 bpm, which was calculated from the cubic regression equation. This may indicate that SBP is inhibited by baroreceptors and other factors at HR above 170 bpm. There were no significant relationships between SBPs@HR 100~160 and indices of aerobic capacity such as maximal oxygen consumption or PWC 170. Double product (DP) as an index of oxygen consumption by cardiac muscle increased with HR without any reduction in its rate of elevation during exercise.

(Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med. 1997, 46: 93~100)

key words : aerobic capacity, baroreceptor, double product

緒 言

軽症高血圧症に対する軽運動の効果が認められるようになり^{13,17,22,28)}, 安静時血圧の高い人々が積極的に運動と取り組むようになってくることが予想される。血圧の上昇は心臓への負担増加であり、高血圧症の人々には心臓に何らかの異常を持っている可能性が高いので、常に運動時の血圧応答をチェックして十分に注意することが必要である。

運動時の血圧変動については多くの研究報告がある^{10,18,20,25)}。しかし、運動時に血圧が上昇することはわかっているが、心拍数(HR)がいくつの時に血圧がどの程度まで上昇するのか、またその上昇傾向として運動に伴い直線的に増加するのか、曲線的なのか、未だ明確にはされていない。運動時の一過性の血圧応答は心拍出量と総末梢血

管抵抗に作用されると考えられる⁴⁾。さらに運動により血圧が上昇し続けると大動脈弓や頸動脈洞の圧受容器による調節や代謝に伴う変化に应答する化学受容器による調節を受けるということが考えられる^{9,19)}。Strange らは²⁹⁾、サイクルエルゴメータでの運動中に頸動脈洞に 50 mmHg の陰圧をかけると、血圧は低下すると報告をしている。このように運動中の血圧は物理的および化学的な影響を受けて決定されることになるが、同一運動負荷でも年齢や性によって血圧には差が見られることも報告されており⁸⁾、その値は個人の特性により異なると予想される。

HR と収縮期血圧(SBP)の関係を先行研究から検討してみると、Andersen et al.²⁾は負荷が小さい場合は血圧はほとんど変化せず、ある程度負荷が増加してから血圧は上昇し始めることを報告している。Kiyonaga ら¹⁴⁾は運動時のダブルプロダ

*徳島大学総合科学部行動科学
〒770 徳島市南常三島町1-1

**徳島大学医学部付属病院
〒770 徳島市蔵本町3-18-15

Faculty of Integrated Arts and Sciences, The University of Tokushima,
Tokushima 770, Japan

University Hospital, The University of Tokushima, Tokushima 770, Japan

クトの変異点の存在について報告している。これらは軽運動時の HR が低い時点で SBP に変異点が存在する可能性を指摘している。さらに血圧が上昇すると圧受容器により抑制が働く^{9, 29)}ことから HR と SBP との関係において SBP は低圧と高圧の2点で変異点を持つことを予想させる。

本研究の目的は SBP と HR との関係を検討し、これに基づいて運動中の血圧応答を調べ運動処方に利用し得る知見を得ようとするものである。

II. 実験方法

1. 被検者

被検者は男子大学生32名で、その内訳はサッカー選手22名、陸上選手5名、水泳選手1名、野球選手2名、バスケットボール1名、そして運動を行っていない者1名である。被検者の年齢、身長、体重、および Body Mass Index (BMI) の平均値 (標準偏差) は、それぞれ 19.9 (1.12) 歳、171.4 (4.85) cm、63.6 (6.31) kg、21.6 (1.89) であった。また安静時 SBP と最大酸素摂取量 (HR と酸素摂取量の関係より推定) の平均値 (標準偏差) は、それぞれ 121.0 (12.56) mmHg と 47.1 (5.59) ml/kg/min であった。これらの被検者について、運動時の HR, SBP, 酸素摂取量および血中乳酸濃度を測定した。実験は午後からとし、測定開始予定の3時間前には食事を終え、また食後はできるだけ安静状態をとるように指示した。なお被検者には事前に実験目的と内容を詳しく説明し、同意を得た。

2. 運動負荷法

運動として電気制動式サイクルエルゴメーターによるペダリング運動を実施した。負荷には漸増負荷法を用い、3分間安静座位後、最初に30ワットの運動を3分間行った。その後も連続的に3分間隔で30ワットずつ負荷を増加させ、被検者が止めたいと意志表示するまで行った。

3. 測定項目及び方法

心電図を胸部双極誘導で連続的に記録し、HR を心拍数モニターで常時監視した。血圧は各負荷毎に2分10秒からマンシュート(カフ)に加圧して測定を開始し、負荷の切り替わる10秒前までに測

定を終了した。聴診法による運動時の血圧測定にはいろいろと測定精度の問題が指摘されている¹⁵⁾。血管内圧から記録した直接法は一拍動毎の血圧を測定しているのに対して、聴診法では SBP と拡張期血圧 (DBP) は少なくとも数十秒は異なる時点で測定することになり、その間に数十拍動の差が生じることはどうしても避けられない条件である。また、聴診法では血管音 (Korotkov 音; 以下 K 音) の第一音の小さいことや聴診間隙が生じる²⁷⁾こともあることから SBP の判定に誤差を生む原因にもなっている。運動時の DBP はスワンの第4点といわれているが、それを瞬時に判定することは困難である。これらのことが運動時の聴診法による血圧測定の難しさであろうが、本研究ではカフ圧と K 音を記録紙に記録してから判定する聴診記録法²³⁾を用いて測定精度を高めるよう配慮した。しかし、DBP についてはこの測定法でも判定困難な例があったので、今回は SBP についてのみ検討した。

本装置による血圧測定を図1のようにおこなった。全被検者に対してカフを左上腕に装着し、その圧を圧トランスデューサー (PS-2 KB, 共和) によって記録した。K 音を記録するために心音マイクロフォン (MA-250, フクダ電子) を左肘窩部の上腕動脈の上部に固定し、心音計により増幅して記録した。水銀柱の高さを目測で読み、10 mmHg 単位で手動によりマイクロスイッチをオン、オフさせて電氣的シグナルを発生させ記録した。これらのカフ圧、K 音、10 mmHg 毎の水銀柱の高さを示すシグナル、そして心電図の4つの信号は、電磁オシログラフ (ビジグラフ, NEC三栄) に記録すると同時に、データレコーダ (A-44, SONY) にも記録した。その例を図2に示す。もし、ノイズのため SBP の判定が困難な場合には、データレコーダのテープ速度を変えて波形がよくわかるように再生して正確な SBP の判定を行えるようにした。尚、K 音の第一音が現れた後、次の1~2拍動の部分で K 音が消失する (聴診間隙) こともあるが、その場合でも K 音の第一音が現れた時のカフ圧を SBP とした。

血中乳酸濃度は各負荷における血圧測定終了

Fig. 1. An apparatus for measuring blood pressure.
1, pressure transducer; 2, microphone; 3, microswitch.

Fig. 2. A sample of simultaneous recording of Korotkov's sounds (K's sounds), electrocardiogram (ECG), cuff pressure and artificial signal. Numerals written below the signals are readings of the sphygmomanometer expressed in mmHg. Exercise was performed as 120 w. Arrow indicates the first K's sound, and corresponding to the systolic blood pressure (SBP).

後、すぐに指尖に採血用針を刺し、毛細管に約 $40 \mu\text{l}$ の血液を採集して直ちにラクテートアナライザー (YSI, model 23 L) で分析した。

酸素摂取量は被検者に呼気マスクを装着させ、呼吸代謝モニター (エアロモニター, AE-10) を用

いミキシング法により30秒間隔で運動終了まで連続的に測定した。なお測定開始前に毎回標準ガスによる測定装置の調整を行った。HR と酸素摂取量を基に回帰式を求め、年齢から最大 HR を推定してそれに対応する酸素摂取量を最大酸素摂取量

とした。

HR(X)とSBP(Y)の関係については全被検者において最小自乗法により回帰式を求めた。その回帰式を用いてHRが100, 110, 120, 130, 140, 150, および160拍/分の時のSBPを算出した。それをSBP@HR#と表記する。血中乳酸濃度と酸素摂取量の関係は簡単な回帰式で表すことができないので市販のコンピュータソフトによるスムージング(カレイダグラフ, マッキントッシュ対応)を行い, 乳酸濃度4mMの時の酸素摂取量をグラフ上より読み取った。

統計処理において, 相関はPearsonの相関係数を求め危険率5%水準を有意とし, また回帰式は最小自乗法で求めた。

Ⅲ. 結 果

1. 収縮期血圧(SBP)の上昇パターン

運動時のSBPは運動負荷の増加に伴い上昇した。全被検者32名の安静時のデータを除く運動時の全データからHRとSBPの関係を検討するために2次および3次の回帰式を求めた。相関係数はそれぞれ0.75と0.76であり, いずれも危険率1%以内で有意な相関が見られた。しかし, 緒言のところで述べたように先行研究から考えてSBPは, HRがある程度増加してから上昇し始め, またHRがかなり増加してくるとSBPの上昇が抑えられると推定されるが, この条件にあう傾向を示したのは3次式であった。2次式ではXの2次の項が負となり, 上に凸となる曲線を示し, HRが低い時点でのSBPの変異点は見られず, HRの高いところでSBPが頭打ちになる傾向を強調した曲線を示した。3次回帰式ではHRが75拍/分と175拍/分でSBPに変異点が見られ, HRが75拍/分を超えるとSBPは急激に増加していくが, HRが175拍/分に達するとその増加率がゼロになるという傾向を示した(図3A参照)。また各個人毎に3次回帰式が適用できるかを検討したが, いずれも1%水準で有意であった。この結果は運動時のHR-SBP関係を示すのに2次式よりも3次式の方が妥当であることを示している。図3Bには図の煩雑さを避けるために20名の被検者

Fig. 3. A: Relationship between HR and SBP in all subjects ($n = 238$, $r = 0.76$, $p < 0.01$). B: Regression curves related to heart rate (HR) and systolic blood pressure (SBP) in 20 subjects. The regression curves were drawn with cubic equations.

について個々の3次回帰曲線を示した。

この結果に基づき, 健康な青年男子のベダリング運動時の平均的なSBPを得るために, 各被検者毎の3次回帰式を用いて32名全員の実測の範囲に近いHR100~160拍/分間における10拍ごとのSBPを推定し, それを表1に示した。SBP@HR100は143.9mmHgで, SBP@HR160は189.7mmHgとHRが100拍/分から60拍増加する間にSBPの増加は45.8mmHgであった。

2. 収縮期血圧(SBP)と有酸素的能力との関係

HR100~160拍/分間でのSBP@HR#と有酸素的能力の指標である体重当たりの推定最大酸素摂取量, PWC170および乳酸濃度4mM時の酸素摂取量との間には有意な相関は見られなかった。

3. ダブルプロダクト(DP)の変動パターン

Table 1. Mean value and SEM of systolic blood pressure (SBP) at heart rate of 100 ~ 160 bpm.

	SBP@HR100	SBP@HR110	SBP@HR120	SBP@HR130	SBP@HR140	SBP@HR150	SBP@HR160
mean(mmHg)	143.9	152.9	161.6	170.0	177.8	184.5	189.7
SEM	2.49	2.79	3.02	3.16	3.25	3.34	3.45

Fig. 4. Relationship between heart rate and double product (the product of heart rate and systolic blood pressure) ($n=238$, $r=0.95$, $p<0.01$). The regression curve was drawn with quartic equation.

SBP と HR の関係が 3 次式であるので、DP は HR の 4 次式で表すことができる。それを図 4 に示したが、全体として本実験での測定範囲である HR 80~190 拍/分の間では DP は増加傾向を示した。個人毎に検討すると HR の低い時点で変異点が見られたのは 32 名中 13 名で、他の 19 名については確認できなかった。また HR の高い時点で SBP のように頭打ち現象が明らかに確認できたのは 5 名であった。

Ⅳ. 考 察

運動時の血圧測定を聴診法でおこなうことには問題があることはすでに指摘されている^{15,24)}。SBP は K 音の第一音が聞こえたときの水銀柱の高さとされているが、聴診間隙が存在する²⁷⁾こともあり従来の聴診法で運動時の SBP を決定するのは測定精度上問題がある。それで本研究では聴診法に従ってはいるが、判定に必要なカフ圧、血管音、心電図、そして水銀柱の高さを同時に記録し、かつノイズの混入が大きい場合はデータレコーダからの再生により血管音を正しく判定する

方法を用いた。先行研究において観血的方法で血管内圧を測定して求めた SBP と聴診法による SBP とは有意な相関があると報告されており^{15, 21, 25)}、また一般的に安静時も運動時も聴診法で SBP の測定がなされているので、本研究の結果は実用的な価値があると言える。

血圧は心拍出量、末梢血管抵抗、血液量、血液の粘性そして血管の硬さに影響されるが、これらの作用因子の中で特に一過性の運動に影響されるものは心拍出量と末梢血管抵抗の 2 つであり、血液量、血液の粘性および血管の硬さは短時間の間に血圧値に変動をもたらすほど変化するとは考えられない⁴⁾。よって本研究でおこなった 30 分以内の漸増負荷運動での SBP の変動は主として心拍出量と末梢血管抵抗が変化したために生じたと推定してよいであろう。運動時には交感神経の緊張増加や血中ノルエピネフリン濃度の増加^{6,26)}により血管系に収縮が起こると考えられるが、実際には総末梢血管抵抗は運動強度の増大と共に減少することが知られている³¹⁾ので、骨格筋周辺に分布する血管系では炭酸ガスの増加、酸素の減少、乳酸の増加などにより拡張作用が現れ、結果的には血管系全体として断面積が大きくなっていると考えられる⁵⁾。

先行研究^{2,14)}から推定して、SBP は軽強度では上昇率は小さく、強度がある程度まで高まってから上昇傾向が現れ、さらに血圧が過度に上昇すると圧受容器の興奮が高まり交感神経活動を抑制することが知られている¹⁹⁾ことから運動強度がかなり高くなると血圧の増加傾向は抑制されと考え、本研究では SBP は HR に対して 2 つの変異点を持つと仮定した。この仮説を説明できる式は 3 次式であるので 32 名の被検者についてこの回帰式の妥当性を検討した結果、各被検者毎の回帰式においても、また被検者全員のデータについての

回帰式においても非常に高い有意な相関が見られた。2次式についても検討した。2次式でも有意な相関はみられるが、個々の例をみるとHRの2次の項が負となった場合HRの高い時点ではSBPが頭打ちになるという傾向には適合するがHRが低い時点での急激なSBPの上昇傾向には適合しない例や2次の項が正となった場合にはSBPの明らかな頭打ち現象に適合しない例がみられ、全体として共通する回帰式は3次式であることがわかった。

3次回帰式におけるSBPの第一および第二の変異点のHRはそれぞれ75拍/分と175拍/分であった。しかし、HR75拍/分はかなり低いHRであり実際第一負荷の30ワットで80拍/分以下のHRを示したものは3名であり、また個々の被検者のデータからみて明確な第一変異点を見出すことは困難であった。Saito and Nakamura²⁶⁾は最大酸素摂取量の18.7% (HR 75.3拍/分に相当) から42.9% (HR 105.0拍/分に相当) の強度にかけて運動時の交感神経活動や副交感神経活動の指標が変化することを報告している。図3からその傾向を窺うことができるが、運動時のHRが低い時点で自律神経等の作用によりSBPの上昇傾向に変化がおこる可能性は十分考えられる。図3Bの中ではじめからSBPが上昇している例もあるがこれらはHRが80拍/分以上であり、もっと低いHRでのSBPを計測すればなだらかな上昇傾向が見られるのか、あるいはそのような傾向を示さない例もあるのか検討する必要がある。一方、圧受容器の活動による心臓血管系への作用としてSBPの上昇が抑制されることが知られているが^{19, 29)}、ヒトにおいて運動によりHRがどの程度まで増加したときにSBPの上昇が抑制されるかということはまだ不明である。この点を検討するために全データでのHRとSBPの回帰曲線から変異点を求めると、それはHRが175拍/分のときであった。しかし、個人毎に見るとSBPの変異点の現れるポイントには差がある。被検者32名中11名では変異点の存在を確認できなかったが、21名の被検者ではHRが140～190拍/分の間でSBPの上昇率抑制の傾向が見られた。その内

の10名の被検者では負荷の最後の3段階においてSBPがほぼ同じか最後の負荷で僅かに低下するという結果も得られた。このように運動時に圧受容器などによる血圧の調節機構が働き出すポイントには個人差があるが、平均的にはHRが175拍/分付近であるという点が明らかになった。

本研究で得られた3次回帰式から男子大学生におけるHR100拍/分から10拍刻みで160拍/分までの各SBPの平均値を求めた(表1)。年齢層が限られてはいるが、ペダリング運動において各HRでSBPがどの程度まで上昇するかを示したのは本研究の知見の一つである。それらを同年齢の被検者を対象としてほぼ同じ方法で測定した生山ら¹⁰⁾の報告と比較した。生山らは非鍛練者についてHR102拍/分でSBP133.1 mmHg (本実験での3次回帰式から求めた同一HRでのSBPは144 mmHg, 以下同じ)、および138.9拍/分で154.4 mmHg (本実験では177 mmHg) という値を、また鍛練者についてはHR98.3拍/分で154.0 mmHg (本実験では142 mmHg) および140.3拍/分で203.7 mmHg (本実験では178 mmHg) という値を得ているが、本実験で得た結果は両者のほぼ中間の値に相当することがわかった。一方、Miyazawa and Yamaguchi¹⁸⁾は19才から37才の男子20名について、仰臥位でのペダリング運動時に観血的方法で上腕動脈で血圧測定を行い、HR100拍/分でSBPは143 mmHg (本実験では143 mmHg)、134拍/分で172 mmHg (本実験では172 mmHg)、155拍/分で187 mmHg (本実験では189 mmHg) という平均値を報告しており、本研究の結果とは測定方法と測定時姿勢の違いにも関わらずほぼ同じである。生山らは被検者の体力差を考慮してグループ分けしているが、本研究の結果はHRが100～160拍/分でのSBPと推定最大酸素摂取量などの有酸素作業能力の指標との有意な相関は見られなかった。またMiyazawa and Yamaguchiの被検者は鍛練者ではないが、本研究の被検者が鍛練者に位置づけられるにも関わらず、SBPは同じ値であった。よって運動時の同一HRにおけるSBPを決定する要素は体力水準とは無関係であると考えられる。しかし、田中³⁰⁾は長期のトレ

ニングに伴い、血液量が増加する可能性を指摘しているので、今後個人の身体的特性により運動時のSBPがどのように変化するか詳しく検証していく必要がある。

アメリカスポーツ医学会(ACSM)は運動負荷テストでSBPが225 mmHg以上、あるいはDBPが90 mmHg以上に上昇した場合を異常反応と定義し、SBP 250 mmHg以上、あるいはDBP 120 mmHg以上になったときにはテストを中止するよう勧告している¹⁾。本実験においては被検者が健康な青年であったため、SBPが250 mmHgを越えたものはいなかった。本研究でのSBPの最高値として、HRが163拍/分の時に230 mmHgという例があった。松井らもこの様な例を報告している¹⁶⁾。さらに中高年者のジョギングにおいても200 mmHgを超えた者がいたという報告がある^{3, 11, 32)}。

Miyazawa and Yamaguchi¹⁸⁾は前述の論文の中で、70才から78才の7名の平均で、HR 105拍でSBPは210 mmHgとかなり高い値を報告している。加齢や疾病に伴う安静時血圧上昇が運動時のSBP上昇パターンにどのように影響するのか、この点についても今後検討する必要がある。

SBPとHRの積であるダブルプロダクト(DP)と心筋の酸素消費量との間に相関が認められる^{12, 13)}ことから、運動時のDPの変化をとらえることは運動処方作成上、重要なことである。HRとDPの関係は図4に示したようにHRの増加と共にDPは上昇を示した。このことは運動強度の増加に伴い、心筋の酸素消費量も増加しつづけることを示唆していると考えられるが、高いHRにおいてSBPのようにDPに頭打ち現象の見られた5名の被検者で心筋の酸素消費量も頭打ちになっているのか否かについて興味を持たれることであるが本研究ではその点は明らかにできない。

V. ま と め

32名の男子大学生を被検者として、3分間隔の漸増負荷法によるベダリング運動を実施し、次の結果を得た。

1) SBPは運動強度の増加と共に上昇し、HRに

対する3次式によく適合した。その式より変異点を求めるとHRが75拍/分と175拍/分であった。すなわち運動強度に伴うHRの増加がみられてもSBPの上昇には頭打ち現象があることを示した。

- 2) HRが100から160拍/分までの10拍間隔のSBP値はそれぞれ144, 153, 162, 170, 178, 185, そして190 mmHgであった。
- 3) SBP@HR 100~160と有酸素的作業能力との有意な相関はみられず、ベダリング運動時の血圧調節機構は有酸素的作業能力とは無関係に働いていることが示唆された。
- 4) DPは運動に伴うHRの増加に比例して増大する傾向を示し、SBPのような頭打ち現象を示したのは5名であった。

(受理日 平成8年10月9日)

文 献

- 1) American College of Sports Medicine. Guideline for Exercise Testing and Prescription, 4th ed. (Pate R. R. et. al. ed.), Lea & Febiger, Philadelphia, (1991), 55-91.
- 2) Andersen, P., Adams, R. P., Sjogaard, G., Thorboe, A., and Saltin, B. Dynamic knee extension as model for study of isolated exercising muscle in humans. J. Appl. Physiol., (1985), **59**(5): 1647-1653.
- 3) 麻生 幸. 外科入院患者のトレッドミル運動負荷時血圧応答とその意義, 体力科学, (1988), **37**, 367-375.
- 4) Åstrand, P.-O. and Rodahl, K., Textbook of Work Physiology. 3rd. ed. McGraw-Hill, New York, (1986), 144-202.
- 5) Folkow, B. and Neil, E. 著, 内内島十郎訳. 循環, 真興交易医書出版部, 東京, (1973), 256-272.
- 6) 藤井宣晴, 鍋倉賢治, 権 五晟, 山崎文夫, 本間幸子, 池上晴夫. 運動強度に対する心拍数および血漿カテコールアミンの応答, 体力科学, (1992), **41**, 313-321.
- 7) Galbo, H., Hormonal and Metabolic Adaptation to Exercise. Georg Thieme, Verlag. Stuttgart. New York, (1983), 2-27.
- 8) Gleim, G. W., Stachenfeld, N. S., Coplan, N. L., and Nicholas, J. A., Gender differences in the systolic blood pressure response to exercise. Am. Heart J. (1991), **121**, 524-530.
- 9) 外須美夫. 圧受容器, 化学受容器反射による静脈還流量の調節, Cardiac Practice, (1993), **4**, 323-328.
- 10) 生山 匡, 荒尾 孝, 今野廣隆, 片岡幸雄, 和田光明, 佐野裕司, 小山内博. 中高年者, 青年長距

- 離走鍛練者及び一般青年の運動中の血圧変動, 体力研究, (1979), **42**, 34-46.
- 11) 片岡幸雄, 生山 匡, 和田光明, 佐野裕司, 今野廣隆, 川村協平, 渡辺 剛, 西田明子, 小山内博. 中高年高血圧者の長時間ランニングに伴う血圧変動, 体力研究, (1985), **60**, 13-24.
 - 12) Kitamura, K., Jorgensen, C. R., Gobel, F. L., Taylor, H. L., and Wang, Y., Hemodynamic correlates of myocardial oxygen consumption during upright exercise. *J. Appl. Physiol.*, (1972), **32**, 516-522
 - 13) Kiyonaga A., Arakawa K., Tanaka H., Shindo M., Blood pressure and hormonal responses to aerobic exercise. *Hypertension*, (1985), **7**, 125-131.
 - 14) Kiyonaga A., Brubaker, P. H., Tanaka, H., Matrazzo, B., Pollock, W. E., Shindo, M., and Miller, H. S. JR., Determination of ventilatory threshold using double product during ramp treadmill testing of cardiac patients. *Proceedings of FISU/CESU conference. The 18th Universiade 1995 Fukuoka*, (1995), 456-457.
 - 15) Lightfoot, J. T., Can blood pressure be measured during exercise? A review. *Sports Medicine*, (1991), **12**, 290-301.
 - 16) 松井 健. 運動と血圧, 保健の科学, (1995), **37**, 370-377.
 - 17) 三浦伸一郎, 荒川規矩男. 高血圧の運動療法, からだの科学 [増刊] 高血圧, (1993), 112-116.
 - 18) Miyazawa K. and Yamaguchi, I., Cardiovascular response to exercise in the healthy male septuagenarians: With reference to plasma norepinephrine. *Tohoku J. Med.*, (1984), **143**, 177-183.
 - 19) 森田啓之, 細見 弘. 交感神経活動の調節機構と心臓血管中枢, *Cardiac Practice*, (1993), **4**, 257-261
 - 20) 本山 貢, 角南良幸, 木下藤寿, 入江 尚, 清永明, 田中宏暁, 進藤宗洋. Lactate threshold を指標とした長期トレーニングとその中止が薬物療法下の高血圧症患者の血圧に及ぼす影響について, 体力科学, (1994), **43**, 300-308.
 - 21) Nelson, R. R., Gobel, F. L., Jorgensen, C. R., Wang, K., Wang, Y., and Taylor, H. L., Hemodynamic predictors of myocardial oxygen consumption during static and dynamic exercise. *Circulation*, (1974), **50**, 1179-1189.
 - 22) 慮 昊成, 田中喜代次, 竹田正樹, 海野英哉, 檜山輝男. 本態性高血圧症女性に対する運動療法の血圧および活力年齢への効果, 体力科学, (1996), **45**, 91-100.
 - 23) Obara, S., Yamaguchi, H., Bando, E., and Miyamoto, H., An auscultatory recording method for blood pressure measurement during exercise. *Jpn. J. Physiol.*, (1987), **37**, 757-760.
 - 24) Palatini P., Blood pressure behaviour during physical activity. *Sports Medicine*, (1988), **5**, 353-374.
 - 25) Robinson, T.E., Sue, D. Y., Huszczuk, A., Weiler-Ravell, D., and Hansen, J. E., Intra-arterial and cuff blood pressure responses during incremental cycle ergometry. *Med. Sci. Sports Exerc.*, (1988), **20**, 142-149.
 - 26) Saito, M. and Nakamura, Y., Cardiac autonomic control and muscle sympathetic nerve activity during dynamic exercise. *Jap. J. Physiol.*, (1995), **45**, 961-977.
 - 27) 芝山秀太郎, 江橋 博. コロトコフ音の聴診間隙, 体力研究, (1977), **36**, 16-25.
 - 28) 進藤宗洋, 田中宏暁, 田中 守, 山内美代子. 高血圧の運動療法, 体育の科学, (1989), **39**, 105-110.
 - 29) Strange, S., Rowell, L. B., Christensen, N. J. and Saltin, B., Cardiovascular responses to carotid sinus baroreceptor stimulation during moderate to severe exercise in man. *Acta Physiol. Scand.*, (1990), **138**, 145-153.
 - 30) 田中宏暁. 運動による血圧降下と体液因子の変化, 体育の科学, (1992), **42**, 174-180.
 - 31) Torok, D. J., Duey, W. J., Bassett, JR., D. R., Howley, E. T., and Mancuso, P., Cardiovascular responses to exercise in sprinters and distance runners. *Med. Sci. Sports Exerc.*, (1995), **27**, 1050-1056.
 - 32) 渡辺郁雄, 宮本洋通, 諸岡一泰. 中高年ジョギング愛好家における運動負荷時にみられる循環諸量の変化の特性, 臨床スポーツ医学, (1993), **10**, 1250-1255.