

運動療法による降圧効果出現機序の解明
—Force-Arterial pressure 応答定量化装置の開発—

木更津工業高等専門学校	清野哲也
(共同研究者) 東京慈恵会医科大学	鈴木政登
同	須藤正道
同	横田邦信

Mechanism of Antihypertensive Action in Exercise Therapy
—Development of an Apparatus System to
Determine Force-Arterial Pressure—

by

Tetsuya Seino

Kisarazu National College of Technology

Masato Suzuki

Department of Laboratory Medicine, The Jikeikai University School of Medicine

Masamichi Sudoh

Division of Aerospace Medicine, Department of Physiology 2,

The Jikeikai University School of Medicine

Kuninobu Yokota

Department of Internal Medicine III,

The Jikeikai University School of Medicine

ABSTRACT

The purpose of this study was to develop an apparatus system which could measure blood pressure and cardiac function during an isometric incremental handgrip exercise (IHG), and then distinguish whether the elevated blood pressure during IHG is caused by an

increase of cardiac output or by an increase of peripheral vessel resistance. The study involved 27 healthy men who were aged between 23-73 years old. They attended this study as voluntary subjects and were divided into two groups, Y group and MO group, which were made up of their respective average ages (Y; age \leq 41.8 years, MO; age over 41.8 years).

They performed IHG at intensities of 12.5%, 25%, 37.5%, 50%, 62.5%, and 75% of maximum voluntary contraction (MVC) in a sitting position. IHG was measured in ten seconds of each percentage continuously, and was completed within 1 minute through all intensities. Cardiac output and arterial blood pressure were recorded on beat-by-beat basis during the IHG. The adequate data were gathered from 12 subjects, therefore the data analysis was carried out on the data of these 12 people. The systolic (SBP) and diastolic (DBP) blood pressures increased with intensity of exercise in a similar manner with the mean blood pressure (MBP) changes, in both groups. The arterial blood pressure response (C_{F-AP}) during IHG was determined as the blood pressure change ($\Delta AP/Force$) from 25% MVC to 62.5% MVC. It was indicated that C_{F-SBP} , C_{F-DBP} and C_{F-MBP} were higher in MO group (n=6) than in Y group (n=6) and that the difference between both groups at C_{F-SBP} was more remarkable than at C_{F-DBP} and C_{F-MBP} , but not significant. Cardiac output at rest in MO group resulted lower than in Y group, and significant changes were not observed during IHG in both groups. Total peripheral resistance (TPR) at rest was significantly higher in MO group than in Y group. TPR during IHG in Y group significantly increased at 75% MVC, and that in MO group showed significant increase at 62.5% and 75% MVC.

These results suggest that pressor response (C_{F-AP}) during IHG was influenced by age due to the elevation of peripheral vessel resistance. It was concluded that the apparatus system developed in this study might have possibilities to clarify the factor of blood pressure response during IHG. It was also suggested that it is necessary to develop an apparatus which can measure more stable values of artery blood pressure and cardiac function on beat-by-beat basis during IHG, and to devise appropriate measurement conditions.

要 旨

本研究では等尺性漸増負荷運動時の動脈圧応答 (Force-Arterial pressure) を beat by beat で測定し、さらに心機能を同位相で記録し、等尺性負荷漸増運動時の血圧上昇が心拍出量の増加に起因するのか、末梢血管抵抗増大に起因するのかを鑑別する装置の開発を試みた。被験者は健康な男性27名 (23~73歳) とし、平均年齢 (41.8歳) を境とし

て若齢群 (Y群) と中・高年齢群 (MO群) の2群に分けた。被験者は12.5, 25, 37.5, 50, 62.5, 75% MVCでの等尺性掌握運動を椅座位で1分間行わせた。本研究の全被験者27名のうち等尺性漸増負荷運動時のデータ全てが得られた者は12名であり、これら12名のデータについて整理した。若齢群、中・高年齢群のSBP, DBP, MBPはいずれも負荷強度漸増に伴って上昇した。動脈圧応答 (C_{F-AP}) を25%~62.5% MVC時の

Forceに対する血圧の変化量 ($\Delta AP/Force$) として定量した結果, C_{F-SBP} , C_{F-DBP} , C_{F-MBP} は若齢群 ($n=6$) に比べ中・高齢群 ($n=6$) で高値傾向を示し, 両群間の差は C_{F-SBP} で最も高かった. しかし, いずれも両群間に有意差はなかった. 安静時の CO は若齢群に比べて中・高年齢群で低く, また運動中は両群ともに変化がみられなかった. 安静時 TPR は若齢者に比較し中・高年齢者の値が有意に高値であった. 等尺性漸増負荷運動時の TPR は, 若齢群では 75% MVC 発揮時に, 中・高年齢群では 67.5% および 75% MVC 発揮時に有意な上昇を示した.

以上のことから, 等尺性漸増負荷運動時の動脈圧応答は加齢に伴って亢進し, その原因は末梢血管抵抗の増大であることが示唆された. またこれらの結果から, 本研究で試作した装置システムは, 動脈血圧応答と循環応答を同位相で定量し個々の等尺性漸増負荷運動時における動脈血圧応答の要因を鑑別する方法として有益であると考えられた. さらに, 等尺性漸増負荷運動時でより安定した測定値が得られる beat by beat による橈骨動脈血圧および心機能測定装置の開発が期待されるとともに, 測定条件を工夫する必要性が示唆された.

緒言

生活習慣病と言われる慢性疾患の多くに関連する高血圧の発症には遺伝と環境要因の関与が知られ, 両者の要因が満たされた場合に発症すると考えられている. 血圧は心拍出量と末梢血管抵抗により規定され, この両者に影響する諸因子により調整されている. よって, 高血圧は心拍出量の増大か末梢血管抵抗の増大, またはその両者が要因となって惹起される. 高血圧症の頻度は加齢とともに増加するが, その成因, 病態は若・中年者と高齢者では大きな差異があり, 高齢者では動脈硬化を基盤とした心血管系の構造的な変化が病態の主体となって末梢血管抵抗が増大すると考えられ

ている^{1,2)}. 一方, 高血圧の遺伝的素因を有する者では運動時の血圧反応が亢進 (昇圧反応亢進) していることが報告されている³⁾.

高血圧症に対する薬物療法においては, Ca拮抗薬, アンジオテンシン変換酵素 (ACE) 阻害薬, アンジオテンシン II 受容体拮抗薬, 利尿薬などが主に用いられ, 疾患の要因や各病態に合わせて最も適するものが選択される^{3,4)}. Ca拮抗薬は糖・脂質代謝への影響が少なく, ACE阻害薬は心血管系の肥厚を改善させ, 動脈硬化の進展抑制効果を有することから, 高齢者にも安全に使用できると考えられている⁴⁾. これに対し, 高血圧症に対する運動療法では運動強度は十分吟味されるが, 運動に対する動脈圧応答の要因が考慮されることはほとんどない. それは運動施設等において動脈圧応答の要因を鑑別することは容易でないためであるが, 血圧応答のタイプに応じて運動の種類や時間および強度などが吟味される必要があると思われる.

一方, 等張性運動に比較し等尺性運動時の昇圧反応が亢進し, とくに中・高齢者^{5,6)} や高血圧患者^{7,8)} において顕著であることが知られている. さらに, インピーダンス法により非侵襲的に心拍出量 (CO) が測定され, 1拍動ごと (beat by beat) に橈骨動脈血圧が測定される装置も市販されている.

そこで, 本研究では握力計による定量的等尺性筋力発揮時の動脈圧応答 (Force-Arterial pressure) を beat by beat で測定し, さらに心拍数や CO を同位相で記録し, 等尺性運動時の血圧上昇が CO 上昇に起因するのか, 末梢血管抵抗増大に起因するのかを鑑別する装置の開発を試みた. さらに, 若齢者と中・高年齢者の等尺性運動時の昇圧反応性の相違を調べた.

1. 研究方法

1.1 動脈圧応答 (Force-Arterial pressure) 定量装置

等尺性筋力発揮時の動脈圧応答 (Compliance ; $C_{F-AP} = \Delta AP/Force$) 記録装置を試作した。1拍動ごとの収縮期血圧 (SBP), 拡張期血圧 (DBP) および心拍数 (HR) の測定には, 非観血的動脈圧 (トノメトリ法) 測定装置 (JENTOW-7700 : 日本コーリン社製) を使用した⁹⁾。等尺性筋力発揮装置には, デジタル握力計 (ED-D100 : ヤガミ社製) を用いた。血圧および等尺性筋力は A/D 変換装置 (MacLab System : AD Instruments) を介して A/D 変換し, データを連続的にコンピュータに取り込んだ (Chart ver 3.6.3 : AD Instruments)。記録された測定値から各心周期の最大値と最小値をそれぞれ収縮期血圧, 拡張期血圧とし, 各心周期の収縮期に同期する握力値を等尺性筋力として用いた。なお, SBP, DBP から平均血圧 ($MBP = (SBP - DBP) / 3 + DBP$) および脈圧 ($PP = SBP - DBP$) を求めた。

1. 2 循環応答測定装置

動脈血圧と同時に, Impedance 法により一回拍出量 (SV), 心拍数 (HR) および心拍出量 (CO) を測定した。測定装置には NCCOM3 (Noninvasive continuous cardiac output monitor : BoMed Medical

Manufacturing Ltd.) を用いた¹⁰⁾。なお, 動脈血圧および心機能測定装置システムの概要を図 1 に示した。

1. 3 被験者

被験者は, 23歳から73歳の健康な男性27名であった。各被験者は研究の主旨, 内容等について十分説明を受けた後任意に参加した。

1. 4 等尺性漸増負荷運動時の動脈圧, 一回拍出量 (SV), 心拍数 (HR) および心拍出量 (CO) 応答試験

試作した動脈圧応答定量装置および心拍出量測定装置を用い, おおむね午前中 (9時~12時) に等尺性漸増負荷運動時の動脈圧および心機能応答を観察した。各被験者は30分以上の椅座位安静維持後, 体重測定等を行った。次いで, Impedance 法心拍出量測定装置 (NCCOM3)¹⁰⁾ による安静時心機能 (SV, HR, CO) 測定後, デジタル握力計を用い掌握運動を負荷した。掌握運動には椅座位姿勢で右手を用い, 左手首には圧脈波センサーを装着した。掌握漸増負荷運動に先立ち最大握力 (Maximum voluntary contraction,

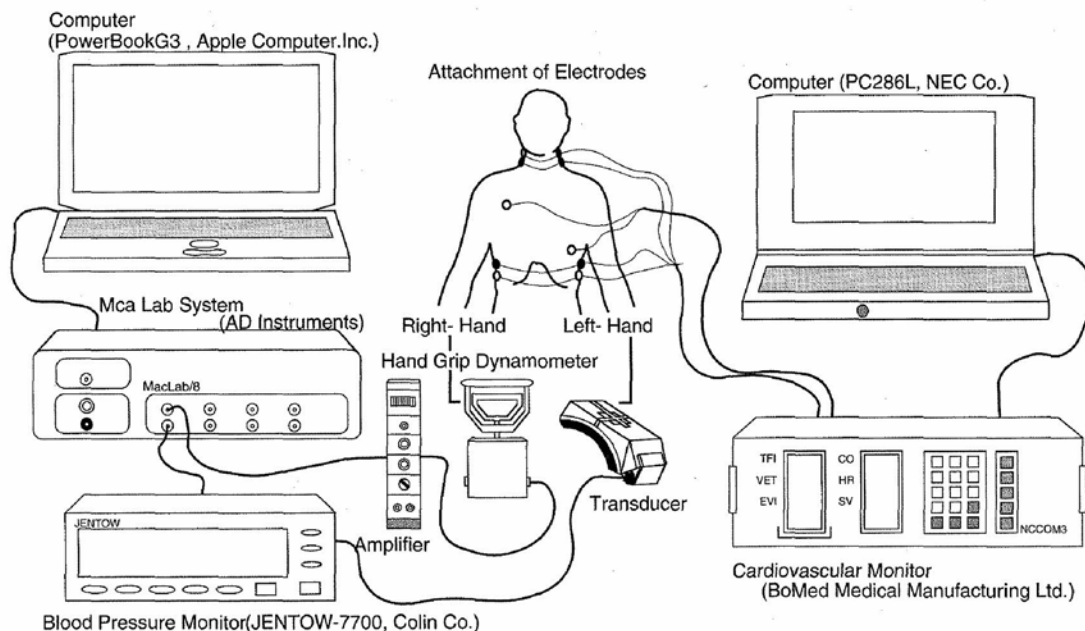


図 1 Apparatus system of measuring blood pressure and cardiac function.

MVC) を測定し、これを基に負荷強度 (12.5, 25, 37.5, 50, 67.5, 75% MVC) を決定した。掌握漸増負荷運動は、まず弱い負荷強度から漸増し、各強度の掌握運動を10秒間ずつ連続負荷し、合計1分間負荷した。掌握負荷強度の調整は、パソコン画面上に示されたターゲット強度レベルを目標になされた。怒責等による心臓循環系への影響を避けるため、掌握運動時には噛みしめや止息等は避けるよう事前に注意した。安静時血圧値には、掌握漸増負荷開始前20秒間の平均値を採用した。掌握漸増負荷運動時の等尺性筋力および血圧値は、各強度の掌握運動負荷10秒間の平均値とした。SV, HRおよびCOの安静値は運動負荷開始前5分間の平均値とし、掌握運動時の値は各負荷強度10秒間の平均値を用いた。総末梢血管抵抗値 (TPR) は、平均血圧 (MBP = (SBP - DBP) / 3 + DBP) を心拍出量 (ml/min) で除して算出した¹¹⁾。

1. 5 統計処理法

各測定値は、平均値±標準誤差 (SE) で表した。群別平均値の差の検定には、等分散検定 (F検定) 後、等分散の場合には対応のない Student の t-test を、そうでない場合には Welch の t-test を用いた。安静値に対する掌握負荷時の平均値の差の検定には、対応のある t-test を採用した。等尺性発揮筋力と血圧応答との関連解析には単回帰分析を用い、相関係数 (r) の検定にはピアソンの相関係数検定法を採用した。統計学的有意水準は、いずれの検定法においても危険率5%を有意限界水準とした。

2. 研究結果

2. 1 等尺性漸増負荷運動時の動脈圧、一回拍出量 (SV)、心拍数 (HR) および心拍出量 (CO) 応答測定結果

本実験の全被験者27名のうち等尺性漸増負荷

時のデータ全てが得られた者は、20~30歳代では8名中6名、40~50歳代では7名中4名、60歳以上では12名中2名の合計12名であった。データが安定しなかった者では、掌握運動に伴った体動、あるいは血管の動揺特性等が影響したと考えられ、ここではこれら12名のデータについて整理することにした。

まず、12名の年齢、身長、体重、BMIの平均値±標準偏差 (SD) は、41.8±14.3歳、167.5±6.7 cm、68.5±9.7 kg、20.4±2.3であった。次いで、平均年齢 (41.8歳) に基づいて若年齢群6名 (30.8±10.9歳、168.5±7.2 cm、69.3±9.5 kg、20.5±2.1) と中・高年齢群6名 (52.7±10.9歳、166.4±7.2 cm、67.7±9.5 kg、20.3±2.1) の2群に分けて比較することにした。

2. 2 等尺性漸増負荷運動時の血圧変化

若年齢群および中・高年齢群の等尺性漸増負荷運動時血圧応答 (SBP, DBP, MBP, PP) を図2に示した。安静時血圧は、中・高年齢群が高値傾向であったが、有意差はなかった。両群ともに負荷

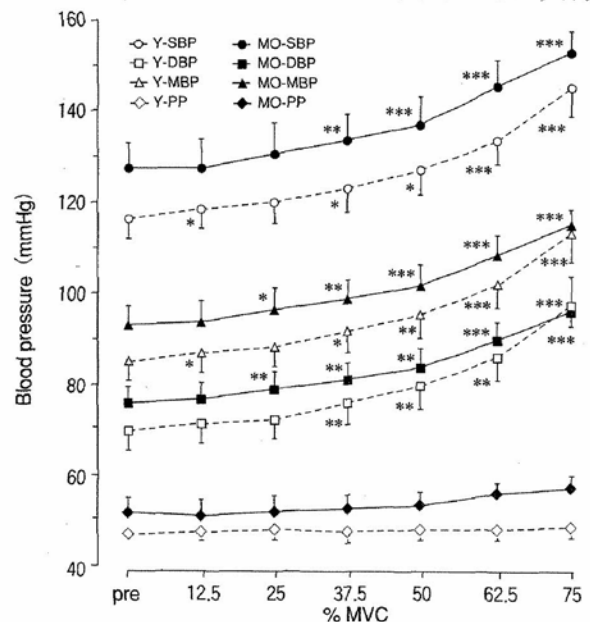


図2 Changes in blood pressure during hand grip exercise. Filled symbols, MO group; Open symbols, Y group. Abbreviations: SBP = systolic blood pressure (● & ○); DBP = diastolic blood pressure (■ & □); MBP = mean blood pressure (▲ & △); PP = pulse pressure (◆ & ◇). *p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001 vs. corresponding resting values.

強度の漸増に伴ってSBP, DBPおよびMBPが上昇した。若齢群ではSBP, DBP, MBPともに安静値に比べると, 37.5% MVC以上で有意な上昇が持続し, 中・高年齢群のSBPは37.5%MVC以上で, DBPおよびMBPは25%MVC以上で有意な上昇が観察された。安静時のPPは, 若齢群で 46.4 ± 0.9 mmHg, 中・高年齢群で 51.6 ± 3.3 mmHgで, 2群間に有意差はなく, 等尺性漸増負荷運動時にも有意な変動は認められなかった。

2.3 等尺性筋力発揮時の動脈圧応答

本研究では等尺性筋力発揮刺激に対する血圧応答性(昇圧反応性)の指標として, 等尺性筋力値(Force)に対する動脈圧変化量(ΔAP) ($C_{F-AP} = \Delta AP/Force$)を用いた。すなわち, Forceと ΔAP との間の単回帰係数を C_{F-AP} (昇圧反応指標)とした。12.5% MVC発揮時には昇圧反応がほとんど見られず, また75% MVC発揮時には測定値が動揺し, 安定した記録が得られなかった。そこで, 25%~67.5% MVC掌握負荷時のデータを用いて C_{F-AP} を算出した。図3には, 被験者個々人の掌握負荷漸増(Force)に対する収縮期血圧の安静時から増加量(ΔSBP)および若齢者と中・高年齢者のForceと ΔSBP 間の回帰直線を示した。

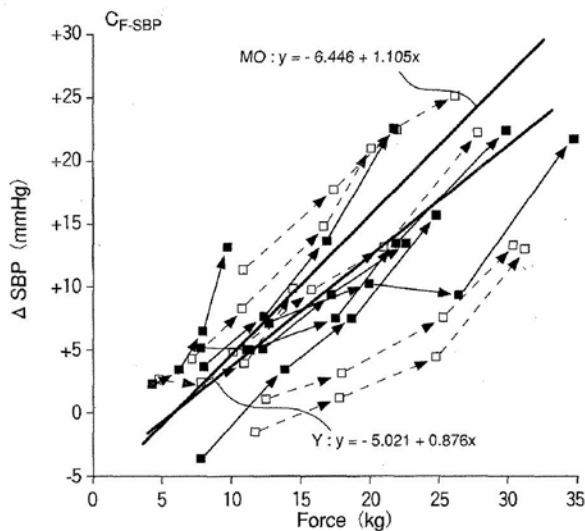


図3 Blood pressure response ($\Delta SBP/Force$) during hand grip exercise. Filled squares, MO group; Open squares, Y group.

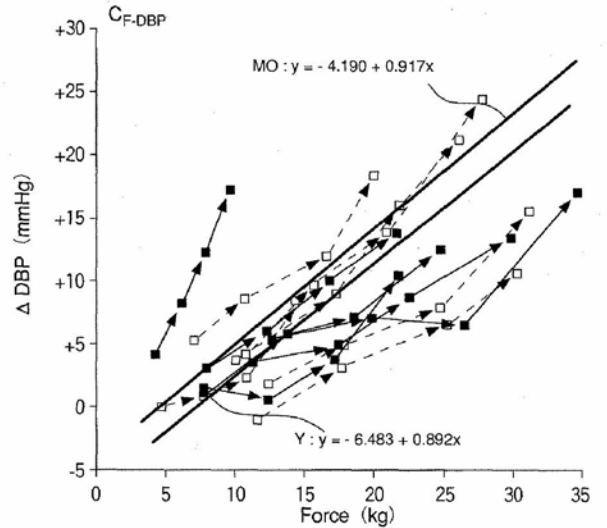


図4 Blood pressure response ($\Delta DBP/Force$) during hand grip exercise. Filled squares, MO group; Open squares, Y group.

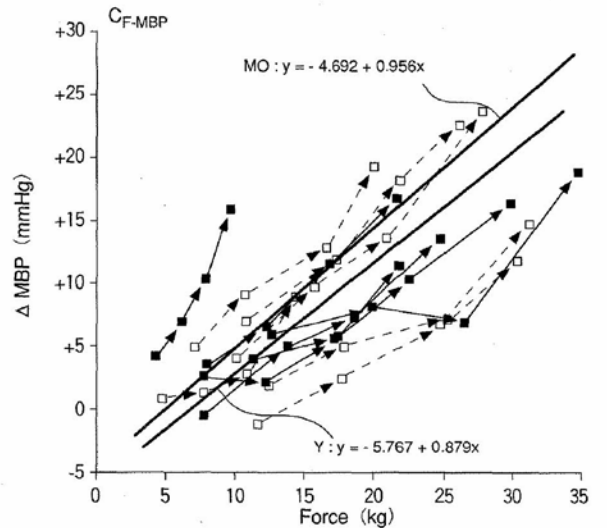


図5 Blood pressure response ($\Delta MBP/Force$) during hand grip exercise. Filled squares, MO group; Open squares, Y group.

若齢者と中・高年齢者のそれを比較すると, 若齢群は 0.876 ± 0.219 であり, 中・高年齢群の 1.105 ± 0.516 に比べて低値傾向(昇圧反応性僅少)にあった。Forceと拡張期血圧(ΔDBP)との関連(C_{F-DBP})を図4に, 平均血圧(ΔMBP)との関連(C_{F-MBP})を図5に示した。 C_{F-SBP} ほど顕著ではなかったが, 若齢者群に比較し中・高年齢群の昇圧反応性(C_{F-DBP} , C_{F-MBP})が亢進傾向にあった。

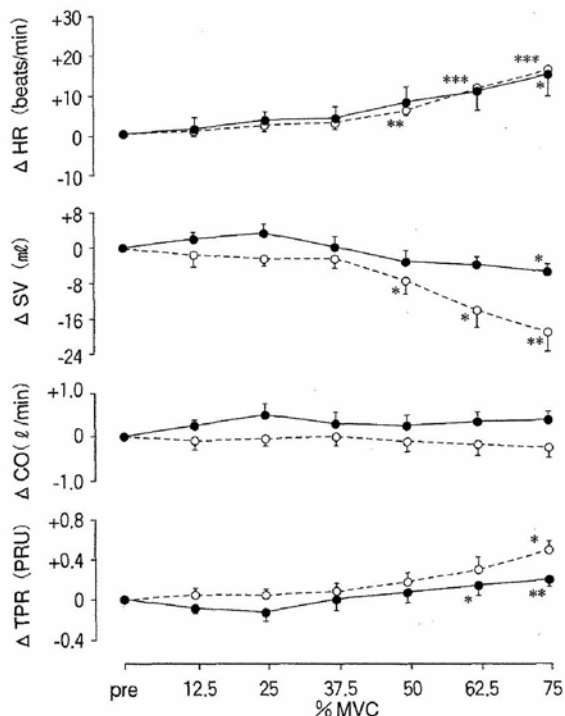


図6 Changes in heart rate (Δ HR), stroke volume (Δ SV), cardiac output (Δ CO) and total peripheral resistance (Δ TPR) during hand grip exercise. Filled circles, MO group; Open circles, Y group.
* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$ vs. corresponding resting values.

2. 4 等尺性漸増負荷運動時の循環応答

若齢群および中・高年齢群のHR, 一回拍出量, 心拍出量, および末梢血管抵抗の安静値からの変化量 (Δ HR, Δ SV, Δ CO, Δ TPR) を図6に示した。安静時HRは若齢群 59.4 ± 3.8 拍/分, 中・高年齢群は 70.5 ± 6.4 拍/分で, 2群間に有意差はなかった。両群ともに等尺性負荷漸増に伴いHRも漸増し, 安静値に比較し若齢群では50% MVC以降, 中・高年齢群では75% MVC発揮時に有意な高値となった。若齢群の安静時SVは 71.7 ± 5.4 mlであり, 中・高年齢群の値 (51.9 ± 4.2 ml) に比較し有意 ($p < 0.05$) に高値であった。等尺性負荷漸増運動時には, 強度上昇に伴い Δ SVは低下する傾向がみられ, 若齢群は50% MVC以上で, 中・高年齢群は75% MVCで有意な低値を示した。75% MVC発揮時の Δ SV低下は, 若齢群では 18.9 ± 4.4 ml (26.3%), 中・高年齢群では 5.4 ± 1.9 ml (10.4%) であった。安静時COは若齢群 4.2 ± 0.2 l/min, 中・高年齢群 3.6 ± 0.2 l/min

であり, 若齢群での値が有意 ($p < 0.05$) に高値であった。等尺性負荷漸増運動時には若齢群および中・高年齢群ともに有意な変化は示さなかった。一方, 安静時末梢血管抵抗 (TPR) は若齢者 (1.23 ± 0.09 PRU) に比較し中・高年齢者 (1.59 ± 0.05 PRU) の値が有意 ($p < 0.01$) に高値であった。等尺性漸増負荷運動時には, 両群ともに漸増傾向を示し, 若齢群では75% MVC ($p < 0.05$) 発揮時に, 中・高年齢群では67.5% ($p < 0.05$) および75% ($p < 0.01$) MVC発揮時に有意な上昇を示した。

以上の研究結果から, 等尺性漸増負荷運動時の血圧上昇はCOの上昇ではなく, 総末梢血管抵抗 (TPR) の上昇に起因していることが明らかにされ, とくに中・高年齢者において顕著であることが示された。

3. 考 察

高血圧は心拍出量の増大あるいは末梢血管抵抗の増大に起因し, 薬物療法では諸種合併症の有無などを含め高血圧の要因, 病態を十分に考慮して処方される。一方, 高血圧症の運動療法においては血圧応答のタイプ, つまり運動に対する動脈圧応答の要因を考慮して処方されることはない。運動指導の現場において, 動脈圧応答の要因を鑑別する簡易な方法がなかったためと思われる。そこで, 本研究では比較的血圧が上昇しやすいことが知られている等尺性運動を採用し, 等尺性漸増負荷運動時の動脈圧応答 (C_{F-AP}) およびHR, SVやCOを beat by beatで測定する装置を開発し, 漸増負荷運動時の血圧上昇が心拍出量増大に起因するのか, 末梢血管抵抗増大に起因するのか, その鑑別を試みた。

本研究では, 一拍動ごとの連続した測定が可能なトノメトリ法による非観血的装置を用いて動脈圧応答を測定した。測定の結果, 安静時には全被験者とも安定した記録が得られたが, 掌握運動時

には高齢になるほど測定値が動揺した。運動時に、いらつき、怒責などによる体動、あるいは高齢者の血管自体の変化（動脈硬化に伴う血管の易動揺性亢進）等がある場合には測定への影響がある、と考えられた。

次に動脈圧応答性 (C_{F-AP}) の算出方法および C_{F-AP} の測定結果について考えてみる。運動時の循環調節には筋交感神経活動 (MSNA) が関与し、運動様式により MSNA が亢進する相対的運動強度は異なるが^{12,13)}、等尺性運動では 20% MVC 以上で筋収縮強度に比例して亢進する¹³⁾。MSNA 亢進による血管収縮は血圧を上昇させ、等尺性運動時には 30% MVC を越える強度から顕著な上昇が起こる¹⁴⁾。これらのことから、動脈圧応答性を求めるには、血圧上昇が始まる変化点を確認し考慮する必要があると思われる。本研究では、若齢群、中・高齢群とも 25% MVC 以下の低い強度では SBP の有意な変化はみられず、37.5% MVC 以上の強度で有意に上昇した (図 2) ので、25% MVC が血圧の上昇点と考えられた。先行研究では、20% MVC を MSNA の亢進ポイントとしており¹³⁾、この判定は妥当と考えられる。一方、30% MVC 以上の筋力発揮では筋力増加に比例して血圧は高まるが¹⁴⁾、最大強度に近づくほど怒責による腹腔内圧の上昇等の影響が増大すると考えられる¹⁵⁾。本研究では、75% MVC 発揮時における血圧の動揺が著しく、腹腔内圧上昇等の影響が考えられた。これらのことから、動脈圧応答性 (C_{F-AP}) を算出する範囲を 25% ~ 62.5% MVC とした。

C_{F-AP} を測定した結果、 C_{F-SBP} 、 C_{F-DBP} 、 C_{F-MBP} は、いずれも若齢者に比べ中・高齢群で高い傾向にあった (図 3 ~ 図 5)。しかし有意差は認められず、図に示されるように (図 3 ~ 図 5) 血圧応答には個人差が著しいことがその理由として考えられた。中・高齢群で発揮筋力に対する動脈圧応答性が最も高かったのは C_{F-SBP} であった。DBP、

MBP に比べ SBP の動脈圧応答性が高かった理由として、加齢に伴って動脈硬化が進展し動脈壁の伸展性が低下していることが考えられた¹⁶⁻¹⁹⁾。

血圧は循環血液量と末梢血管抵抗の積として表されるように、心拍出量を構成する心拍数と一回拍出量、総末梢血管抵抗の調節を受けている。したがって、動脈圧応答 (C_{F-AP}) の違いが何に起因したものであるかを明らかにするためには、これら因子を同時に測定する必要がある。本研究では、一回拍出量は若齢群、中・高齢群ともに高い強度で有意な低下を示した。これに関連して、静的掌握運動時の一回拍出量は変わらないとする報告が幾つかみられる^{20,21)}。しかし、清水ら²²⁾は、30% MVC (約 1 分間) と 50% MVC (約 30 秒間) の動的掌握運動時に一回拍出量が低下することを報告し、Jones ら²³⁾は、30% および 50% MVC での静的掌握運動中に左室駆出分画 (%) が低下することを報告している。Grucza ら²⁴⁾も 25% MVC での静的掌握運動時に一回拍出量の低下を認め、動脈血圧上昇に伴う左室後負荷の増大が駆出分画の低下を招き、さらに HR の増加により左室の充満に必要な時間が確保できなかったため、と考えている。しかし、その掌握時間は 4 分以上であり、筋力発揮時間の延長に伴い HR の増加と一回拍出量の低下が顕著になるが、掌握 1 分時では心拍数、一回拍出量の変化量はともに小さい。本研究では、 Δ HR は若齢群で 16.0 ± 2.0 拍/分、中・高齢群で 14.8 ± 5.2 拍/分であり、HR の増加が左室充満効率に大きく影響する程であったとは考え難い。一回拍出量は静脈環流血液量 (前負荷) によっても調整され、呼吸のみだれや力みによる腹腔内圧の上昇が生じ¹⁵⁾、心拡張終期容積量が減少する可能性も考えられるが、本研究手法の範疇では明らかでない。心拍出量 (CO) は若齢群、中・高齢群ともに運動中に変化がみられなかった。運動中に低下した一回拍出量は上昇した心拍数に補償され、心拍出量はほぼ一定

レベルに維持された。これに関し静的掌握運動中、心拍出量は軽度に増大するとの報告^{20, 21)}がみられる。これら報告では一回拍出量が一定であり、心拍数の増加分が心拍出量に反映され、増加を示している。筋出力を一定時間維持する運動方法と1分間中に漸増する本研究方法とでは循環応答特性に差が生じるのかもしれない。

本研究では、動脈圧応答性 (C_{F-AP}) は若齢群に比べ中・高年齢群で高く両群間の差は C_{F-SBP} で最も高かった。しかし、被験者数が少なく、血圧応答の個体差が大きいため有意差はみられなかった。安静時のCOは若齢群に比べて中・高年齢群で低く、また運動中は両群ともに変化がみられなかったにも関わらず、このように中・高年齢者で C_{F-SBP} が高い傾向を示したことは、中・高年齢者では動脈硬化が進展し末梢血管抵抗が高まっていることを示唆している、と考えられた。

まとめ

本研究では等尺性漸増負荷運動時の動脈圧応答を beat by beat で観察し、しかも、一回拍出量、心拍出量および末梢血管抵抗 (TPR) 等の指標を算出できる測定システムの開発を試みた。測定の結果、中・高年齢者では等尺性漸増負荷運動時の動脈圧応答は亢進し、その要因は末梢血管抵抗の増大であることが示唆された。これらのことから、本研究で試作した装置システムは、動脈血圧応答と循環応答を同位相で定量し、個々人の等尺性漸増負荷運動時における動脈圧応答の要因を鑑別する方法として有益であると考えられた。しかし、中・高年齢者に到るほど諸測定値の動揺が顕著となり、信頼性に乏しくなることが明らかとなった。今後、安定した測定値が得られる beat by beat による橈骨動脈血圧およびSV、CO測定装置の開発が期待され、それら装置の組み合わせによって等尺性漸増負荷運動時の昇圧反応性 (C_{F-AP}) およびSV、CO、TPR等の指標が得られれば、動脈圧

応答の要因を明らかにでき、安全で適切な運動の種類や強度設定に資する知見が得られるものと期待される。

謝 辞

本研究に対し助成を賜りました財団法人石本記念デサントスポーツ科学振興財団に厚くお礼申し上げます。また、本研究の実施にあたり、多大なご協力をいただきました國學院大学栃木短期大学、石山育朗先生に心から感謝致します。

文 献

- 1) 熊原雄一, 萩原俊男: 図説高血圧, 朝倉書店, 東京, 19-22 (1985)
- 2) 杉本恒明, 小俣政男, 水野美邦: 内科学第8版, 朝倉書店, 東京, 724-761 (2003)
- 3) 萩原京子, 和田高士, 池田義雄: 高血圧遺伝素因を有する正常血圧者のトレッドミル運動負荷試験における昇圧反応について, 日本総合健診医学雑誌, 28-30 (1995)
- 4) 日本高血圧学会高血圧治療ガイドライン作成委員会: 高血圧治療ガイドライン2000年版, 日本高血圧学会, 東京, (2000)
- 5) 小沢利男, 岩本昌昭: 加齢と血圧, 日本老年医学会雑誌, 14 (1) 14-20 (1977)
- 6) Petrofsky, J. S. and Phillips, C. A.: The physiology of static exercise. *Exercise and Sport Science Reviews*, 14, 1-44 (1986)
- 7) Brorson, L., Wasir, H. and Sannerstedt, R.: Haemodynamic effects of static and dynamic exercise in males with arterial hypertension of varying severity. *Cardiovasc. Res.*, 12, 269-275 (1978)
- 8) Shen, W. F., Fletcher, P. J., Roubin, G. S., Choong, C. Y. P., Hutton, B. F., Harris, P. J. and Kelly, D. T.: Comparison of effects of isometric and supine bicycle exercise on left ventricular performance in patients with aortic regurgitation and normal ejection fraction at rest. *Am. Heart J.*, 109, 1300-1305 (1985)
- 9) 中川常雄, 劔持 修: トノメトリ法による連続血圧測定CBMシリーズ, *Clinical Engineering*, 1 (5) 369-374 (1990)
- 10) 松浦雄一郎, 田村陸奥夫, 山科秀機, 肥後正徳, 藤井隆典: 新しく開発されたNCCOM (Noninvasive continuous cardiac output monitor) による心拍出量

- 測定の評価, 呼と循, 31 (9) 973-977 (1983)
- 11) 日本体力医学会学術委員会: スポーツ医学 [基礎と臨床], 朝倉書店, 東京, 390 (1998)
 - 12) Saito, M., Tsukanaka, A., Yanagihara, D. and Mano, T.: Muscle sympathetic nerve response to graded leg cycling. *J. Appl. Physiol.*, 75 (2) 663-667 (1993)
 - 13) Seals, D. R. and Victor, R. G.: Regulation of muscle sympathetic nerve activity during exercise in humans. *Exercise and Sport Science Reviews*, 19, 313-349 (1991)
 - 14) Kagaya, A. and Kuno, M.: Brachial artery blood flow, measured using doppler ultrasound method, and blood pressure during static hand grip contraction at different exercise intensities. *J. Exerc. Sci.*, 3, 13-20 (1993)
 - 15) 塩田正俊, 松本信雄: 運動時の自律神経応答—心電図 R-R 間隔変動係数を指標として—, *Health Science*, 4 (1) 36-45 (1988)
 - 16) 嶋田和幸, 老年者高血圧症の病態整生理—特に交感神経系を中心に— 高血圧の基礎から臨床まで, 1986 第6回高血圧シンポジウム, 26-36 (1981)
 - 17) 吉村正蔵, 長谷川元治, 中山 淑, 八木晋一, 林知己夫, 駒沢 勉, 矢部喜正, 荒井親雄, 柏倉義弘, 相沢義則, 川崎 健, 阿部正威, 木下重博: 動脈硬化に関する研究—脈波速度法による大動脈硬化の定量的評価と病態について—, *脈管学*, 18 (7) 863-870 (1978)
 - 18) 柿山哲治, 時松陽介, 大澤清二, 小関 迪, 松田光生: 成人男性における運動習慣および大動脈伸展性が収縮期血圧に及ぼす影響—大動脈脈波速度による検討—, *体力科学*, 47, 313-326 (1998)
 - 19) O'Rourke, M.: Arterial stiffness, systolic blood pressure, and logical treatment of arterial hypertension. *Hypertension*, 15, 339-347 (1990)
 - 20) Martin, C. E., Shaver, J. A., Leon, D. F., Thompson, M. E., Reddy, P. S. and Leonard, J. J.: Autonomic mechanisms in hemodynamic responses to isometric exercise. *J. Clin. Invest.*, 54, 104-115 (1974)
 - 21) Grossman, W., McLaurin, L. P., Saltz, S. B., Paraskos, J. A., Dalen, J. E. and Dexter, L.: Changes in the inotropic state of the left ventricle during isometric exercise. *British Heart J.*, 35, 697-704 (1973)
 - 22) 清水静代, 本間幸子, 加賀谷淳子, 片側および両側掌握運動に対する心拍出量と活動体肢血流量の応答, *体力科学*, 50 (5) 633-642 (2001)
 - 23) Jones, R. I., Lahiri, A., Cashman, P. M. M., Dore, C., Raftery, E. B.: Left ventricular function during isometric hand grip and cold stress in normal subjects. *Br. Heart J.*, 55, 246-252 (1986)
 - 24) Grucza, R., Kahn, J. F., Cybulski, G., Niewiadomski, W., Stupnicka, E. and Nazar, K.: Cardiovascular and sympatho-adrenal responses to static handgrip performed with one and two hands. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 59, 184-188 (1989)