

# 深呼吸および膝屈伸運動負荷テストが加速度脈波に及ぼす影響 -脈拍、血圧および加速度脈波の変化の相互関係-

佐野裕司<sup>1</sup> 片岡幸雄<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>東京大学 <sup>2</sup>千葉大学

Effects of deep breath and knee flex./ext. on accelerated plethysmogram  
- Correlation among pulse rate, blood pressure and accelerated plethysmogram  
in the recovery phase after deep breath and knee flex./ext. -

Yuji SANO<sup>1</sup> and Yukio KATAOKA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>The University of Tokyo, <sup>2</sup>Chiba University

## 目 的

身体トレーニングがヒトの健康維持のための手段として有用で、広くすすめられていることは周知の事実である。

身体トレーニングに際しての安全性や効果判定のためのPhysical Checkとして循環器系の検査の中でも血圧測定は一般的によく実施されている項目の一つである。

著者らは末梢循環動態の指標として指尖容積脈波の二次微分波である加速度脈波検査が有用であることを提案してきた<sup>1, 2)</sup>。加速度脈波は全身の循環動態の指標になり得ると考えられ<sup>3, 4)</sup>、血圧より高年齢者の身体状態をうまく反映していることから<sup>5, 6)</sup>、高齢化社会に向かって有用な検査になるとも考えられる。また、加速度脈波の改善には身体トレーニングが有効であることが明らかとなり<sup>1, 2, 7, 8)</sup>、その検査を簡単にできる機器も開発されたので、身体トレーニングの際のPhysical Checkとして利用されるようになってきた<sup>9, 10, 11, 12, 13)</sup>。

ところで、身体トレーニングを課する場合には、安全性の面から考えても運動負荷テストを行うことが望ましいと思われる。運動負荷時の脈拍、血圧および心電図などを検査する目的で自転車エルゴメーターやトレッドミルなどで測定が行われることがある。しかし、これらの負荷テストを実施するには、施設や設備も必要で、時間もかかり、簡単に行うことはできない。

そこで、著者らはこれまでに身体トレーニングのPhysical Checkの際に、安静時の測定に加えて、深呼吸および膝屈伸運動の2種類の簡単な負荷による血圧測定の実験を行ってきた。そして、高血圧者の降圧効果との関係を検討した結果、それらの負荷直後に拡張期血圧の低下が大きいほど、身体トレーニングによる降圧効果が大きい傾向にあることが明らかとなった<sup>14)</sup>。いわゆる、深呼吸や膝屈伸運動のような簡単な負荷による血圧測定によって、身体トレーニングによる高血圧症改善の難易性を予測できるのである。

本研究ではこのような簡単に実施できる深呼吸および膝屈伸運動負荷テストに関する基礎的な資料をさらに得ることを目的とした。特に今回は深呼吸および膝屈伸運動負荷が加速度脈波に及ぼす影響、並びに、その負荷による脈拍、血圧および加速度脈波の変化の相互関係について検討することにした。

## 方 法

### 1、対象

対象は某金融機関職員で、男女34名である。年齢は46.9±10.31(平均±標準偏差)歳、範囲が22~67歳であった。対象者には、事前に内容を十分に説明し、測定の同意を得た。

### 2、安静および負荷の条件

安 静：約5分の安静をとらせた。

深呼吸負荷：深呼吸をゆっくりと10回負荷した。

膝屈伸負荷：足を軽く開いて直立し、踵をつけたままの姿勢で膝を深く曲げて伸ばす膝屈伸運動を約2秒に1回のペースで20回負荷した。

### 3、測定方法

測定項目は脈拍、血圧および加速度脈波 (Accelerated Plethysmogram; APG) であった。はじめに安静時、次に深呼吸負荷直後、最後に膝屈伸負荷直後を測定した。全て閉眼開口による座位姿勢で測定した。

深呼吸および膝屈伸直後の脈拍、血圧および加速度脈波の測定は、負荷後おおむね15秒から1分の間で行われた。

血圧は日本コーリン社製の血圧計 (BP-203) を用いて測定した。深呼吸および膝屈伸負荷はマンシェットを装着したままで行ない、負荷後、直ちにマンシェットの加圧を220mmHgまで上げてから測定した。

加速度脈波は、プレソグラフ社製の加速度脈波計 (model 500) を使用して測定した。測定部位は指尖部の第 指で、心臓位で行った。脈拍は加速度脈波計に記録されたものを採用した。

### 4、加速度脈波の分析方法 (図1)

加速度脈波の波形には幾つかの波の山がある。著者らはそれをa~e点と命名し<sup>1, 15)</sup>、基線からのaの高さを基準に相対的なb、c、dの高さの様相によって、A~Gの7種類の波型に分類した<sup>2)</sup>。また、加速度脈波の指数として、b/a比、c/a比、d/a比、e/a比お

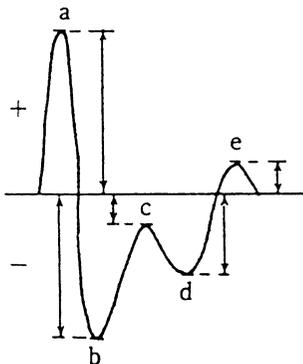


図1 加速度脈波の模式図

よび総合的な指標としての加速度脈波係数；

$$APG \text{ Index} = (c+d-b)/a \times 100$$

を提案した<sup>1, 15)</sup>。

今回は加速度脈波の基線から上部をプラス (+) 領域、下部をマイナス (-) 領域と定めて、b/a比、c/a比、d/a比、e/a比およびAPG Indexについて検討した。

### 5、統計処理

データの結果は平均値±標準誤差で表した。対応のある2群間の平均値の差の検定はpaired t-testで行った。また、平均値の差の検定および相関係数は危険率5%未満を有意とした。

### 結果

1、安静時の値と深呼吸および膝屈伸負荷直後の値の比較 (図2)

a) 脈拍

安静時の70.1±1.55拍/分に比較して、深呼吸後に74.7±1.65拍/分、膝屈伸後に94.7±1.84拍/分と、それぞれ有意に上昇した。

b) 血圧

収縮期血圧は安静時の149.4±4.13mmHgに比較して、深呼吸後に138.1±3.40mmHgと有意に低下し、膝屈伸後に163.0±4.72mmHgと有意に上昇した。

拡張期血圧は安静時の94.1±2.71mmHgに比較し、深呼吸後に91.5±2.66mmHg、膝屈伸後に86.0±2.62mmHgと、それぞれ有意に低下した。

c) 加速度脈波

b/a比は安静時の-52.8±2.24%と比較し、深呼吸後に-55.8±2.02%で有意な変化が認められなかったが、膝屈伸後に-57.9±2.23%と有意に低下した。

c/a比は安静時の-20.7±2.13%に比較し、深呼吸後に-28.1±2.19%、膝屈伸後に-32.5±2.37%と、それぞれ有意に低下した。

d/a比は安静時の-47.7±2.91%に比較し、深呼吸後に-39.1±2.68%、膝屈伸後に-37.7±2.19%と、それぞれ有意に上昇した。

e/a比は安静時の8.8±1.50%に比較し、深呼吸後に9.2±1.31%、膝屈伸後に9.1±1.11%で、それぞれ有意な変化が認められなかった。

APG Indexは安静時の $-15.6 \pm 5.61$ に比較し、深呼吸後に $-11.4 \pm 5.43$ 、膝屈伸後に $-12.3 \pm 5.20$ で、それぞれ有意な変化が認められなかった。

2、安静時に対する負荷後の脈拍、血圧の変化量と加速度脈波の変化量との関係

a) 深呼吸負荷 (表1)

$\Delta$ 脈拍は $\Delta c/a$ 比と有意な相関関係が認められ、脈拍の上昇が大きいほど $c/a$ 比で低値への変化が大きい傾向にあった (図3)。

$\Delta$ 収縮期血圧は $\Delta b/a$ 比、 $\Delta d/a$ 比および $\Delta$ APG Indexとに有意な相関関係が認められ、収縮期血圧の低下が大きいほど $b/a$ 比で低値へ、 $d/a$ 比およびAPG Indexで高値への変化が大きい傾向にあった (図4~6)。

$\Delta$ 拡張期血圧は $\Delta d/a$ 比および $\Delta$ APG Indexとに有意な相関関係が認められ、拡張期血圧の低下が大きいほど $d/a$ 比およびAPG Indexで高値への変化が大きい傾向にあった (図5、6)。

b) 膝屈伸負荷 (表2)

脈拍、収縮期血圧および拡張期血圧の変化量と加速

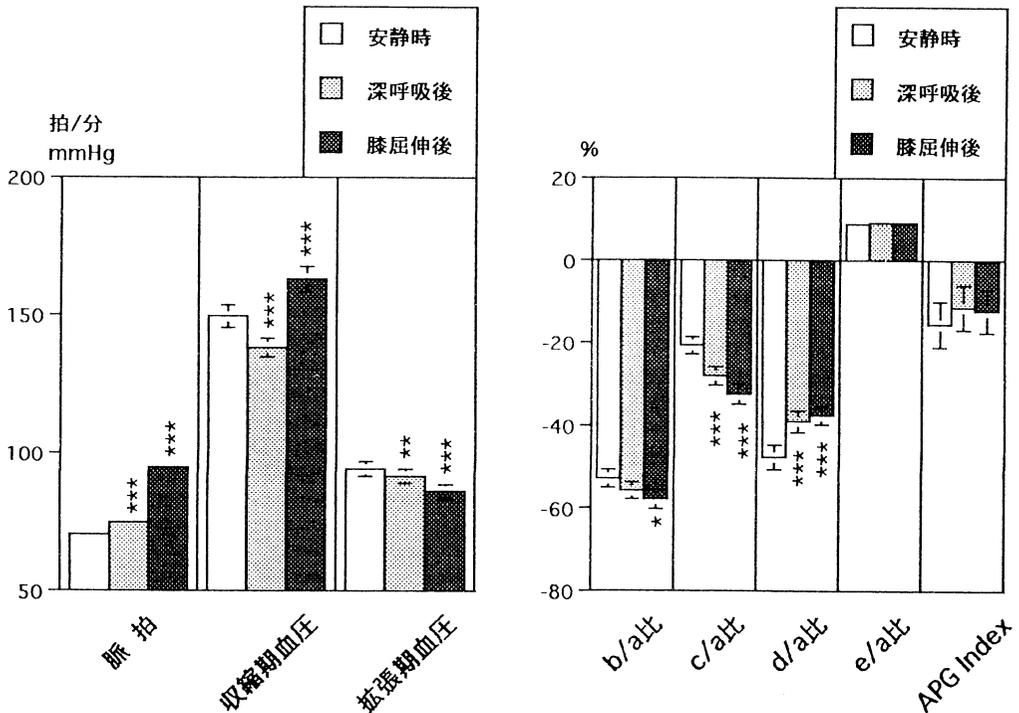


図2 安静時、深呼吸10回および膝屈伸運動20回負荷直後の脈拍、血圧および加速度脈波の各指数 (平均値±標準誤差) \*;  $p < 0.05$  \*\*;  $p < 0.01$  \*\*\*;  $p < 0.001$

表1 安静に対する深呼吸10回負荷直後の脈拍、血圧の変化量と加速度脈波の各指数の変化量との関係の相関係数

	$\Delta$ 脈拍	$\Delta$ 収縮期血圧	$\Delta$ 拡張期血圧
$\Delta b/a$ 比	0.133	0.501**	0.158
$\Delta c/a$ 比	-0.348*	0.118	0.184
$\Delta d/a$ 比	0.043	-0.374*	-0.550**
$\Delta e/a$ 比	-0.158	0.076	0.237
$\Delta$ APG Index	-0.182	-0.501**	-0.398*

\*;  $p < 0.05$  \*\*;  $p < 0.01$   $\Delta$ ; 安静時に対する負荷直後の変化量

度脈波のいずれの指数の変化量とも有意な関係が認められなかった。

考 察

近年、身体トレーニングの安全性や効果の判定のためにPhysical Checkが行われるようになってきた。どのようなPhysical Checkが実施されるべきかについてはさまざまな問題があり、意見の別れるところであろう。しかし、どのようなPhysical Checkにせよ、有用

な検査であることは無論のこと、施設、設備、経費および時間の面で経済的であることが望まれるところである。これは運動負荷を加えるようなテストでも同様であろう。

呼吸による胸郭運動のポンプ作用や骨格筋の運動による筋ポンプ作用は、静脈環流を促進させて、血圧のみならず末梢循環動態の指標である加速度脈波にも影響を与えることが考えられる。そこで本報では、その反応をみる負荷テストとして安静時に加えて深呼吸と

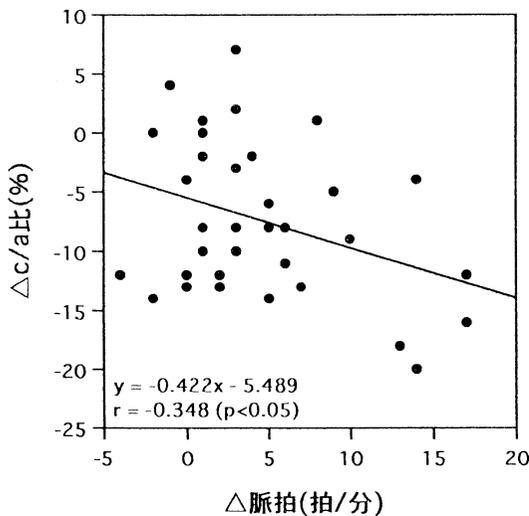


図3 安静に対する深呼吸10回負荷直後の脈拍の変化量とc/a比の変化量との関係

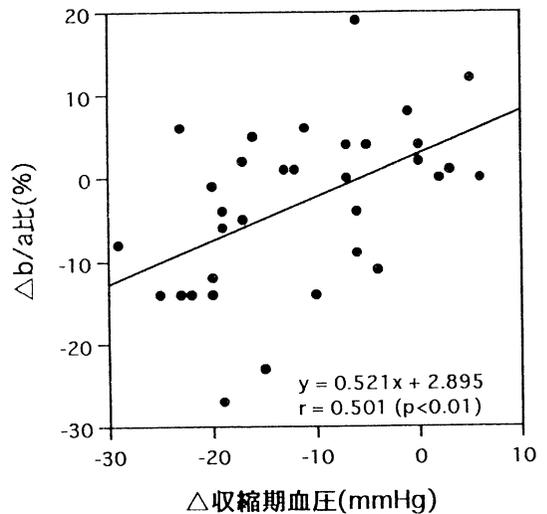


図4 安静に対する深呼吸10回負荷直後の収縮期血圧の変化量とb/a比の変化量との関係

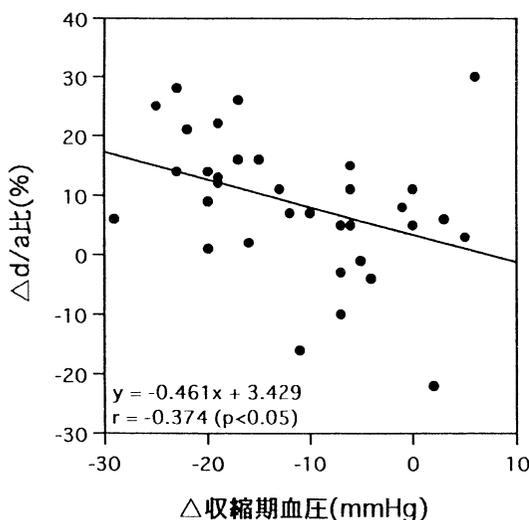
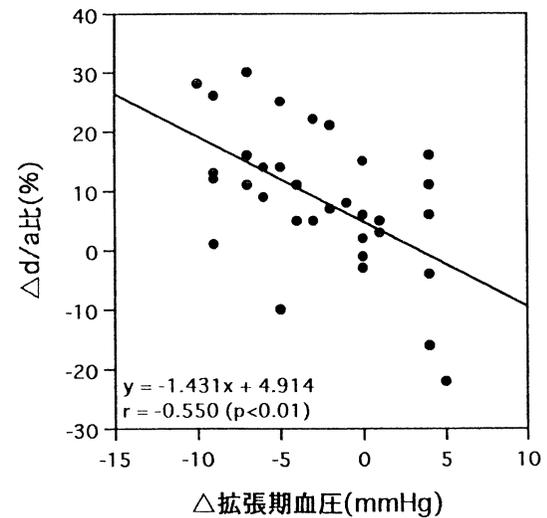


図5 安静に対する深呼吸10回負荷直後の血圧の変化量とd/a比の変化量との関係



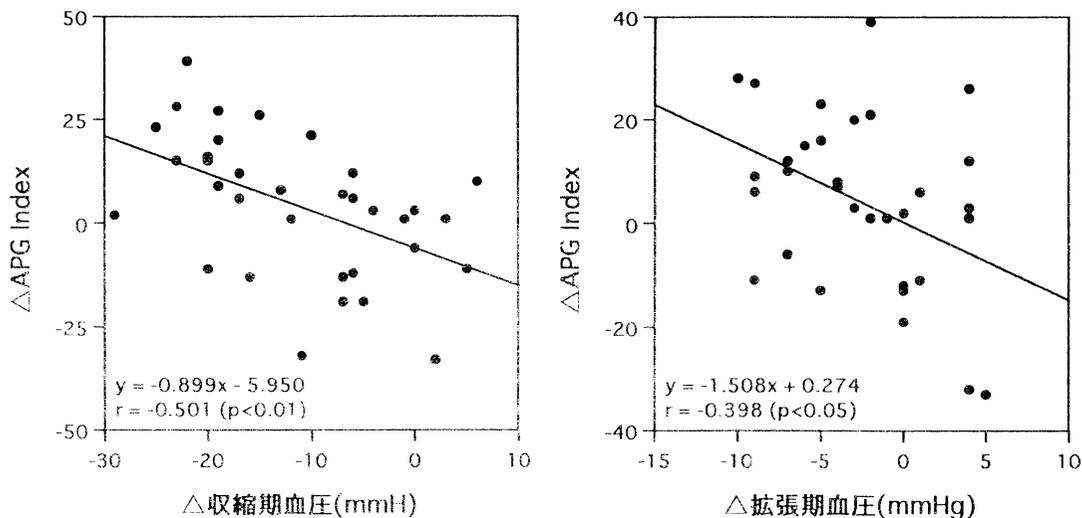


図6 安静に対する深呼吸10回負荷直後の血圧の変化量とAPG Indexの変化量との関係

表2 安静に対する膝屈伸20回負荷直後の脈拍、血圧の変化量と加速度脈波の各指数の変化量との関係の相関係数

	△脈 拍	△收缩期血圧	△拡張期血圧
△ b / a 比	0.264	0.006	-0.083
△ c / a 比	-0.213	0.157	0.006
△ d / a 比	-0.055	-0.129	-0.307
△ e / a 比	0.200	0.002	0.054
△APG Index	-0.242	-0.020	-0.147

△；安静時に対する負荷直後の変化量

膝屈伸運動を実施させて検討した。

今回の測定は全て閉眼開口による座位で行ったが、閉眼開口で測定を行った目的は視覚的刺激といきみを除くために良いと考えられたからである。座位による測定は面接やカウンセリングを行いながらの検査を想定したもので、そのような場合には座位姿勢での検査の方が容易と思われたからである。この程度の検査であれば施設や設備をそれほど必要とせず、短時間で実施できるので、フィールドでも簡単に行えるであろう。

深呼吸および膝屈伸の負荷回数については検討の余地があるが、今回は以前の報告<sup>14)</sup>に基づいて実施した。

具体的には、脈拍は深呼吸後に僅かな上昇が、膝屈

伸後に大きな上昇がみられた。血圧は深呼吸後に收缩期および拡張期血圧がともに低下、膝屈伸後に收缩期血圧が上昇、拡張期血圧が低下し、それぞれ有意な変化が示された。これらの結果はこれまでの報告と同様であった<sup>14)</sup>。

これまでに加速度脈波に関する深呼吸および膝屈伸負荷の影響を検討したものはない。本報の結果では、深呼吸後にc/a比が低値へ、d/a比が高値へ、膝屈伸後にb/a比およびc/a比が低値へ、d/a比が高値へそれぞれ顕著な変化が示された。いわゆる深呼吸後にc点が降下し、d点が上昇した。膝屈伸後にb・c点が降下し、d点が上昇した。これらはc点を除けば、若者の値や波型<sup>15)</sup>へ向かった良好な変化と考えることができる。

このように深呼吸や膝屈伸負荷によって加速度脈波の波形（指数）に変化が示された。しかし、加速度脈波の総合的な指標である加速度脈波係数（APG Index）には変化が示されなかった。これはAPG Indexの算出式の特性上によるものである。例えば、負荷後のb/a比に変化がないが、c/a比が低値、d/a比が高値となって波形に変化がみられても、c/a比、d/a比の高低値が同程度の変化であるならば、それが相殺されてAPG Indexには変化が表れないのである。

また、b/a比は深呼吸後に変化が示されなかったが、収縮期血圧の変化量とb/a比の変化量とに有意な相関関係が認められている。APG Indexも深呼吸後に有意な変化が示されなかったが、収縮期および拡張期血圧の変化量とAPG Indexの変化量とに有意な相関関係が認められている。これらは深呼吸および膝屈伸負荷による個々人の波形（指数）が安静時よりプラスの方向にも、またマイナスの方向にも変化しているので、集団の平均値ではそれが相殺されてうまく捉えられないことを意味している。

脈拍と加速度脈波との関係については、安静時の脈拍と加速度脈波の指数の中で特にc/a比とに大きな相関係数が示され、脈拍が多いほどc/a比が低値傾向にある<sup>16)</sup>。これは加速度脈波に加齢現象がみられることから年齢を考慮に入れた検討結果でも同様である<sup>16)</sup>。本結果をみると、脈拍の上昇が僅かな深呼吸負荷では、c/a比が有意に低値となり、また脈拍の上昇が大きいほどc/a比で低値への変化が大きい傾向がみられた。しかし、脈拍の上昇が大きい膝屈伸負荷では、c/a比が低値となるがそのような関係が認められなかった。これらのことから加速度脈波のc点は脈拍の影響を受け易く、脈拍のある範囲までは脈拍の上昇に伴って基線から降下するが、ある範囲を越えるとそれ以上の降下が示されなくなる動きをすると推察することができる。

負荷後の血圧の変化と加速度脈波の各指数の変化との関係を見ると、深呼吸負荷では、特にAPG Indexを除けば、収縮期血圧がb/a比、拡張期血圧がd/a比と最も大きな相関係数が得られた。このことは加速度脈波のb～e点の中では収縮期血圧がb点、拡張期血圧がd点と最も深い関係にあることを意味する。

著者らは、止息中には血圧の上昇と同時にd/a比が低値となり、加速度脈波の波形がA→Cに向かって変化すること、回復時には血圧が復帰すると同時にd/a比が高値となり、波形も復帰することが明らかにした<sup>17)</sup>。これは今回の結果を肯定するもので、今回の結果と合わせて、呼吸ポンプ作用による末梢循環動態の変化を捉える負荷テストとして深呼吸負荷による加速度脈波の測定が有効であると同時に、その変化が血圧と密接に関係していることを示唆するものである。

これまでに安静時のレベルにおいても、血圧と加速度脈波の波形<sup>2)</sup>および加速度脈波の指数の中でも特にd/a比<sup>19)</sup>とに強い関係が認められている。さらに、ランニングを中心とした身体トレーニング<sup>7, 8)</sup>および末梢血管の収縮と拡張薬であるアンジオテンシンの静入とニトログリセリンの投与<sup>18, 19)</sup>による血圧の変化と加速度脈波の変化とにそれぞれ関係があると考えられる結果が得られている。そして、身体トレーニングおよびニトログリセリンによって加速度脈波のAPG Index、b/a比、d/a比が若者の方に改善する変化は細小動脈の拡張によるもので、それは反射波の位相が後へ遅れることに由来していると考えられている<sup>20)</sup>。しかし、今回の深呼吸および膝屈伸後の加速度脈波の変化がそれによるものかは今後の検討が必要である。

これまでに高血圧者を対象に検討し、身体トレーニング前のPhysical Checkで深呼吸および膝屈伸直後に拡張期血圧の低下が大きいほど3カ月間の身体トレーニング後の血圧降下が大きい傾向にあった<sup>14)</sup>。いわゆる、深呼吸および膝屈伸負荷テストによる拡張期血圧の変化から身体トレーニングによる高血圧症改善の難易性を予測できると考えられる結果が得られている。本報では深呼吸負荷で拡張期血圧の低下が大きいほど加速度脈波のd/a比およびAPG Indexが高値への変化がそれぞれ大きい傾向にあり、有意な相関関係が認められた。さらに、身体トレーニングによる加速度脈波の改善の変化と血圧の低下とに関係があると考えられる結果が得られていること<sup>7, 8)</sup>を加えて考えるならば、深呼吸後にd/a比およびAPG Indexが高値への変化が大きいほど、身体トレーニングによる高血圧症や加速度脈波の改善が大きい可能性が考えられる。いわゆる、深呼吸負荷直後の加速度脈波の反応から、身体トレー

ニングによる高血圧症や加速度脈波の改善の難易性を予測できる可能性がある。

このように、これまでの結果<sup>1,4)</sup>や今回の結果から、深呼吸および膝屈伸運動の2種類の簡単な負荷テストによる血圧と加速度脈波の測定にはPhysical Checkとしての有効性が高いと考えられる。

#### まとめ

簡単に実施できる深呼吸および膝屈伸運動負荷テストが加速度脈波に及ぼす影響を検討することを目的に、安静時、深呼吸10回および膝屈伸運動20回を実施させ、その直後に脈拍、血圧および加速度脈波の測定を行った。対象は年齢 $46.9 \pm 10.31$  (平均 $\pm$ 標準偏差)歳の男女34名であった。その結果は以下のようにまとめられる。

1) 深呼吸負荷では、安静時に比べて脈拍が僅かな上昇、収縮期、拡張期血圧がともに低下、加速度脈波のc/a比が低下、d/a比が上昇を示し、それぞれ有意な変化が認められた。しかし、b/a比、e/a比およびAPG Indexには有意な変化が認められなかった。また、負荷による脈拍、血圧の変化量と加速度脈波の各指数の変化量との関係では、脈拍とはc/a比  $r = -0.348$  ( $p < 0.05$ )とに、収縮期血圧とはb/a比  $r = 0.501$  ( $p < 0.01$ )、d/a比  $r = -0.374$  ( $p < 0.05$ )およびAPG Index  $r = -0.501$  ( $p < 0.01$ )とに、拡張期血圧とはd/a比  $r = -0.550$  ( $p < 0.01$ )およびAPG Index  $r = -0.394$  ( $p < 0.05$ )とにそれぞれ有意な相関が認められた。

2) 膝屈伸負荷では、安静時に比べて脈拍および収縮期血圧が上昇、拡張期血圧が低下、加速度脈波のb/a比およびc/a比が低下、d/a比が上昇し、それぞれ有意な変化が認められた。しかし、e/a比およびAPG Indexには有意な変化が認められなかった。また、負荷後の脈拍、血圧の変化量と加速度脈波の各指数との変化量との関係では、いずれも有意な関係が認められなかった。

3) 以上のことから、深呼吸および膝屈伸運動負荷直後の加速度脈波の測定は、呼吸および筋ポンプ作用による末梢循環動態の変化を捉える負荷テストとして有効であると考えられる。特に、深呼吸負荷による脈拍、血圧の変化と加速度脈波の変化とに関係があり、

加速度脈波のb~e点の中では脈拍がc点、収縮期血圧がb点、拡張期血圧がd点とに最も深い関係があると考えられる。

#### 参考文献

- 1) 佐野裕司、片岡幸雄、生山 匡、荒尾 孝、和田光明、今野廣隆、川村協平、渡辺 剛、小山内 博：血液循環の評価法としての加速度脈波、昭和56年度科学研究費補助金(総合研究A)研究成果報告書、高血圧症改善の運動処方作成に関する生理学的・生化学的並びに病理組織学的研究(課題番号56380017、研究代表者：小山内 博)、59-68、1982。
- 2) 佐野裕司、片岡幸雄、生山 匡、和田光明、今野廣隆、川村協平、渡辺 剛、西田明子、小山内 博：加速度脈波による血液循環の評価とその応用、労働科学、61(3)、129-143、1985。
- 3) 佐野裕司、片岡幸雄、小山内 博：指尖と耳朶の加速度脈波波形の比較、千葉体育学研究、15、71-75、1992。
- 4) 佐野裕司、片岡幸雄、小山内 博：右手と左手の加速度脈波波形の比較、千葉体育学研究、15、71-75、1992。
- 5) 生山 匡、佐野裕司、片岡幸雄、和田光明、今野廣隆、川村協平、渡辺 剛、小山内 博：寝たきり老人と非寝たきり老人の加速度脈波からみた血液循環動態、体力研究、74、18-30、1990。
- 6) 佐野裕司、片岡幸雄、小山内博：高齢者の歩行能力と加速度脈波からみた末梢循環動態、柔道整復・接骨医学、1(1)、39、1993。
- 7) 佐野裕司、片岡幸雄、小山内 博：身体トレーニングが加速度脈波に及ぼす影響(その1)ーランニング後の回復経過における脈拍、血圧および加速度脈波の相互関係一、千葉体育学研究、16、3946、1993。
- 8) 佐野裕司、片岡幸雄、小山内 博：身体トレーニングが加速度脈波に及ぼす影響(その2)ー長期トレーニングの影響一、千葉体育学研究、16、4753、1993。
- 9) 小山内 博、和田光明、片岡幸雄、生山 匡、佐野裕司、今野廣隆、渡辺 剛、川村協平、西田明子：スポーツ会館における運動療法、クリニカ、11(7)、462-466、1984。

- 10) 島崎あかね、戸塚 学、橋口剛夫、久保田みはる、諸富嘉男、広田公一：水泳運動の継続が中高年女性の主として循環機能に及ぼす影響、日本体育大学紀要、20(2)、153-160、1991.
- 11) 佐野裕司、片岡幸雄、生山 匡、小山内 博：健康教育セミナーの参加が血圧と加速度脈波に及ぼす影響、千葉体育学研究、17、39-48、1993.
- 12) 佐野裕司、鈴木隆広、片岡幸雄：健康体づくり教室への参加が形態、肺機能、血圧および加速度脈波に及ぼす効果-身体状態の違いによるグループ別にみた検討-、千葉体育学研究、18、57-66、1994.
- 13) 渡辺 剛、堀松英紀、町田 茂、佐野裕司、片岡幸雄：羽村市スポーツセンターにおける健康体づくり教室への参加が、体組成、血圧および加速度脈波に及ぼす影響、千葉体育学研究、18、67-72、1994.
- 14) 今野廣隆、片岡幸雄、生山 匡、和田光明、佐野裕司、渡辺 剛、川村協平、西田明子、小山内 博：身体トレーニングによる高血圧症改善の予後予測のための血圧測定法について、体力研究、59、27-39、1985.
- 15) 佐野裕司、片岡幸雄、生山匡、和田光明、今野廣隆、川村協平、渡辺剛、西田明子、小山内 博：加速度脈波による血液循環の評価とその応用(第2報) - 波形の定量化の試み-、体力研究、63、17-25、1988.
- 16) 佐野裕司：未発表
- 17) 小山内 博、片岡幸雄、佐野裕司、西田明子、藤田幸雄、高岸陽子：血圧及び加速度脈波の変化に及ぼす止息の影響-特に血圧と加速度脈波のd/a比との関係-、健康体力相談に関する報告書、(財)東京都教育文化財団多摩スポーツ会館、54-57、1993.
- 18) 高沢謙二、伊吹山千春：加速度脈波、現代医療、20、948-955、1988.
- 19) 高沢謙二、前田和哉、瀬戸俊邦、藤田雅巳、内野秀治、矢部 潔、佐藤信也、芦矢浩章、今泉 満、伊吹山千春：加速度脈波、現代医療、20、1716-2720、1988.
- 20) 小沢禎治：加速度脈波の若返り機序のモデルとしてのニトログリセリン(NTG)の加速度脈波に対する効果、日本臨床生理学会雑誌、24(5)、301-325、1994.

(平成6年12月15日受付)