
身体トレーニングが加速度脈波に及ぼす影響

(その1) -ランニングの回復過程における脈拍、血圧および加速度脈波の相互関係-

佐野裕司¹ 片岡幸雄² 小山内博³

¹東京大学 ²千葉大学 ³健康づくり研究会

Effects of Physical Exercise on Accelerated Plethysmogram(Report1)
- Correlation Among Pulse Rate, Blood Pressure and Accelerated Plethysmogram
in the Recovery Phase after Running -

Yuji SANO¹, Yukio KATAOKA² and Hiroshi OSANAI³

¹The University of Tokyo ²Chiba University ³The study group for Health Development

Abstract

To clarify the effect of exercise on peripheral blood circulation, Accelerated plethysmogram (APG) was measured together with blood pressure and heart rate on thirteen women (aged 23-58 yrs) with C-G pattern of APG while at rest and 1st, 5th and 10th minute after 10-15 minute jogging. Five waves (a-e) were discriminated in APG shape and the area above the baseline of APG were defined as positive area (+) which included a and e waves, and the area below including b, c and d wave was defined as the negative area (-). The ratios of the height of b, c, and d waves to that of "a" wave were calculated. APG Index was formulated as $(-b+c+d)/a \times 100$.

The results obtained are summarized as follows,

- 1) Systolic pressure was higher at 1st, and lower at 5th and 10th minute after jogging than the resting value. Diastolic pressure and the ratio of b/a and c/a of APG were smaller at 1st, and higher at 5th and 10th minute after jogging than the resting values. APG index and the ratio of d/a at 1st, 5th and 10th min. after jogging maintained higher level than the resting values. The APG pattern of all subjects changed from 4 of C pattern, 5 of D pattern and 1 of F pattern at rest to 13 of B pattern at 1st and 5th min., and to 10 of B pattern and 3 of C pattern at 10th min. after jogging.
- 2) In the relationship between heart rate and APG after jogging, there were a tendency that the higher heart rate increase, the lower the ratio of b/a and c/a of APG change and the higher APG index and the ratio of d/a of APG change. In the recovery of 5th and 10th minute after jogging, the ratio of b/a of APG recovered toward lower level, and also the ratio of c/a and d/a of APG changed toward higher level. Consequently, APG index maintained higher level.
- 3) There were a significant correlation between changes of the ratio of d/a of APG and changes of systolic and diastolic pressure after jogging. In particular, significant negative correlations in diastolic pressure were recognized during resting and at 5th and 10th minute after jogging.
- 4) In conclusion, quantitative analysis and pattern analysis of APG waveform showed that aerobic exercise like jogging is effective to improve temporarily peripheral blood circulation.

目的

指尖容積脈波は、末梢循環動態の一つの指標で

あるが、基線の動揺が大きく、波形の中に含まれる波の起伏も乏しいので、波形パターンの認識や

解析が難解であった。しかし、指尖容積脈波を微分波に変換することによって、基線が安定し、また、指尖容積脈波の中に隠されていた微妙な波の起伏が拡大強調される。著者らは、このような微分波の特徴を利用し、指尖容積脈波の二次微分波である加速度脈波 (Accelerated plethysmogram; APG) に変換して検討してきた。特に加速度脈波の中に含まれる波を a～e 波に分類し、その波の様相のパターン化⁷⁾と数量化⁸⁾を提案し、それを指標に加齢、血圧、疾患などの関係を明らかにしてきた^{2,3,5,6,7,8,9,10)}。今日では、著者ら以外にも加速度脈波に関する研究が行われ^{1,3,4,11,12,13,14)}、その利用範囲が広がってきている。

ところで、加速度脈波と身体トレーニングの関係は、これまでは単に波形パターンからの検討⁷⁾で、定量的な検討や関連因子との検討はなされていない。そこで今回は、身体トレーニングが加速度脈波に及ぼす影響について、特に一回のランニングの影響を波形パターンからの検討のみではなく定量的な検討を加えると同時に、脈拍や血圧との関係を明らかにすることにした。

方 法

1) 対象

対象は、東京都立多摩スポーツ会館で実施されている健康体力づくり教室の参加者で、加速度脈波の波形パターン (図2) が安静時で C～G を示した者である。対象者の年齢は、28～58歳の範囲で、 47.3 ± 9.00 (平均値 $\pm$ 標準偏差) 歳の女性 13名であった。

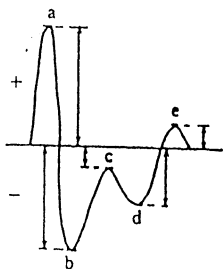


図1 加速度脈波波形の a～e 波
Fig. 1. Components (a～e) of accelerated plethysmogram (APG).

2) ランニングの方法

一回のランニングは、10～15分のランニングである。ランニングのスピードは各個人のペースで行わせたが、被検者にはゆっくりと楽なペースでランニングを行うように指示した。

3) 加速度脈波と血圧の測定方法

加速度脈波の測定装置は日本光電工業社製の AA-601H と AR-650H に微分回路 ED-601G (時定数 0.01 sec) を2個直列に接続したものある。記録は、従来の指尖容積脈波とその速度脈波および加速度脈波の3波形を同時記録し、ペンオシログラフで行った。ペーパースピードは 50mm/sec であった。その際に、それぞれの脈波の波高をそろえるように記録した。ピックアップは、日本光電工業社製の MP P-3B を用いた。測定は、座位で、指の高さを心臓位とし、左手III指で行った。

血圧の測定は日本コーリン社製の自動血圧計を使用して、右手で行った。

加速度脈波と血圧の測定は、ランニング前の安静時とランニング後の回復1分、5分および10分に行った。ランニング前の測定は、10分以上の安静をとらせた後に行った。

4) 加速度脈波波形の分析

著者らは、加速度脈波波形の中に含まれる波を図1に示すように a～e 波に分類した^{7,8)}。基線から上部をプラス (+) とし、下部をマイナス (-) と定めた。今回の加速度脈波の分析は、これまでの著者らの方法に準じ、波形の定量化⁸⁾とパターン化⁷⁾である。波形の定量化は b/a 比、 c/a 比、 d/a 比および加速度脈波の総合的な指標としての $APG\text{Index} = (-b+c+d)/a \times 100$ について行った。波形のパターン化は図2に示すように A～G の7種類であった。

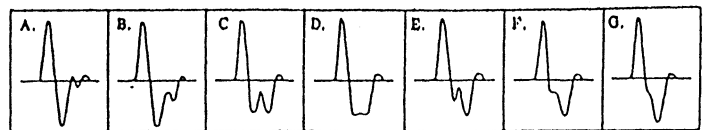


図2 加速度脈波波形のパターン分類
Fig. 2. Typical patterns (A～G) of accelerated plethysmogram (APG)

表1 安静時とランニング後の脈拍、血圧、b/a比、c/a比、d/a比及びAPG Index (女13名)

Table 1. Pulse rate, blood pressure, b/a, c/a, d/a and APG Index at rest and after running (female n=13).

	Rest	Recovery (After running)		
		1 min.	5 min.	10 min.
PR(beats/min.)	68.1±2.13	104.4±2.22***	92.9±2.40***	87.5±2.17***
sBP(mmHg)	134.8±5.91	149.5±4.35*	126.5±4.31*	124.2±4.33*
dBp(mmHg)	90.3±4.52	85.5±2.94*	87.7±3.14	89.0±3.36
b/a(%)	-37.0±3.08	-62.3±2.31***	-59.8±3.55***	-56.3±2.96***
c/a(%)	-20.0±2.34	-28.9±2.51**	-22.3±2.19	-21.4±2.12
d/a(%)	-50.7±2.34	-31.0±1.40***	-29.3±1.10***	-32.7±1.81***
APG Index	-33.7±4.24	2.5±4.28***	8.3±5.39***	2.3±5.83***

Values are mean±SE. Asterisk denotes significant difference from the rest. *:p<0.05

:p<0.01 *:p<0.001 PR:Pulse Rate. sBP:Systolic Blood Pressure. dBp:Diastolic

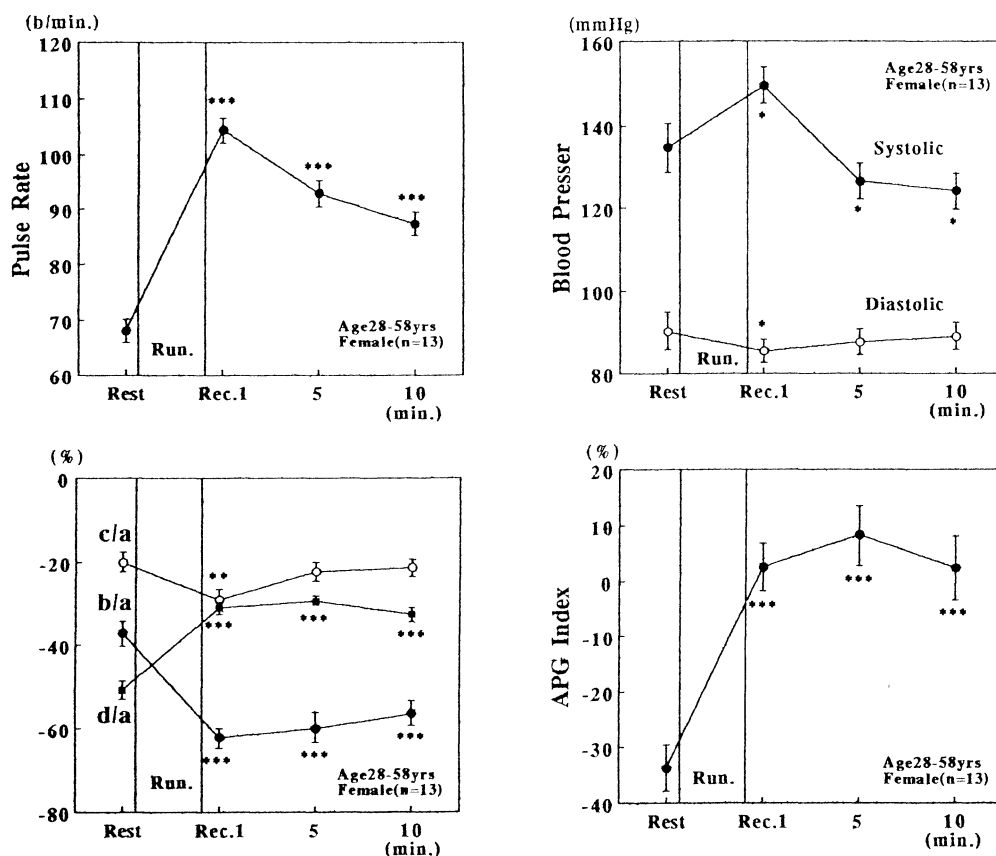
Blood Pressure. b/a,c/a and d/a: ratio of each component (b~d) to "a" component of accelerated plethysmogram(APG). APG Index; $(-b+c+d)/a \times 100$ 

図3 安静時とランニング後(回復1分、5分、10分)の脈拍、血圧、b/a比、c/a比、d/a比、APG Index (平均値±標準誤差)

Fig. 3. Pulse rate, blood pressure, b/a, c/a, d/a and APG Index at rest and after running. Values are mean±SE. Rec.; Recovery. b/a, c/a and d/a; ratio of each component (b~d) to "a" component of accelerated plethysmogram(APG). APG Index; $(-b+c+d)/a \times 100$. Asterisk denotes significant difference from the rest. *:p<0.05 **:p<0.01 ***:p<0.001

5) 統計学的処理

得られた結果は平均値±標準誤差で表し、対応のある2群間の検定にはpaired t-testを用いた。

結 果

1) 一回のランニングによる脈拍、血圧および加速度脈波波形の変化

ランニング前の安静時とランニング終了後の回復1分、5分および10分の脈拍、血圧および加速度脈波の数量値を表1および図3に示した。

脈拍は、ランニング後の回復1分が最も高く、5分、10分と回復の経過にともない低下した。安静時に比較して回復時の脈拍はそれぞれ有意に高かった。収縮期血圧は、安静時と比較し回復1分では有意に高く、5分および10分では有意に低かった。拡張期血圧は、回復1分が最も低く、5分そして10分と安静時の水準に向かって変化した。安静時と比較すると回復1分に有意な低下が認められた。

加速度脈波の各数量値をみると、b/a比は回復1分が最も低値で、5分、10分と順に大きく

なり、安静時の水準に向かって変化した。安静時と比較するとそれぞれ有意に小さかった。c/a比は回復1分が最も低値で、5分そして10分と大きくなり安静時の水準に向かって変化した。安静時と比較しすると回復1分のみ有意に小さかった。d/a比は回復1分、5分、10分がそれぞれ同じ水準で、安静時と比較するとそれぞれ有意に大きかった。APG Indexも同様で安静時と比較するとそれぞれ有意に大きかった。

時間経過に伴う加速度脈波の波形パターンの変化を図4に示した。ランニング前の安静時には、Cが4名(30.8%)、Dが8名(61.5%)、Fが1名(7.7%)であったが、ランニング後の回復1分、5分には、いずれもBが13名(100%)となり、回復10分には、Bが10名(76.9%)、Cが3名(23.1%)となった。

2) 脈拍と血圧、加速度脈波の各数量値との関係

図5は、脈拍と血圧、加速度脈波の各数量値との関係を安静時、ランニング後の回復1分、5分および10分について、それぞれ平均値と標準誤差で示した。

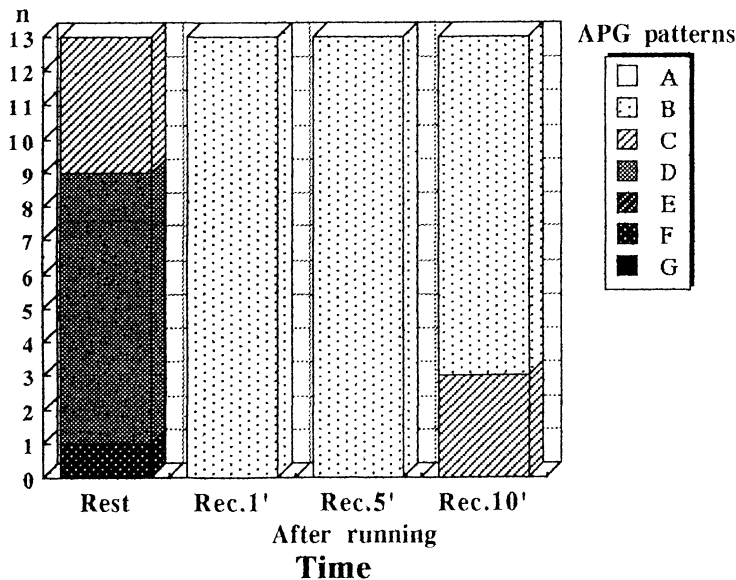


図4 安静時とランニング後(回復1分、5分、10分)の加速度脈波の波形パターン
Fig. 4. Typical patterns (A~G) of accelerated plethymogram (APG) before and after running (female n=13).
Rec.1'; Recovery 1 min. Rec.5'; Recovery 5 min. Rec.10'; Recovery 10 min.

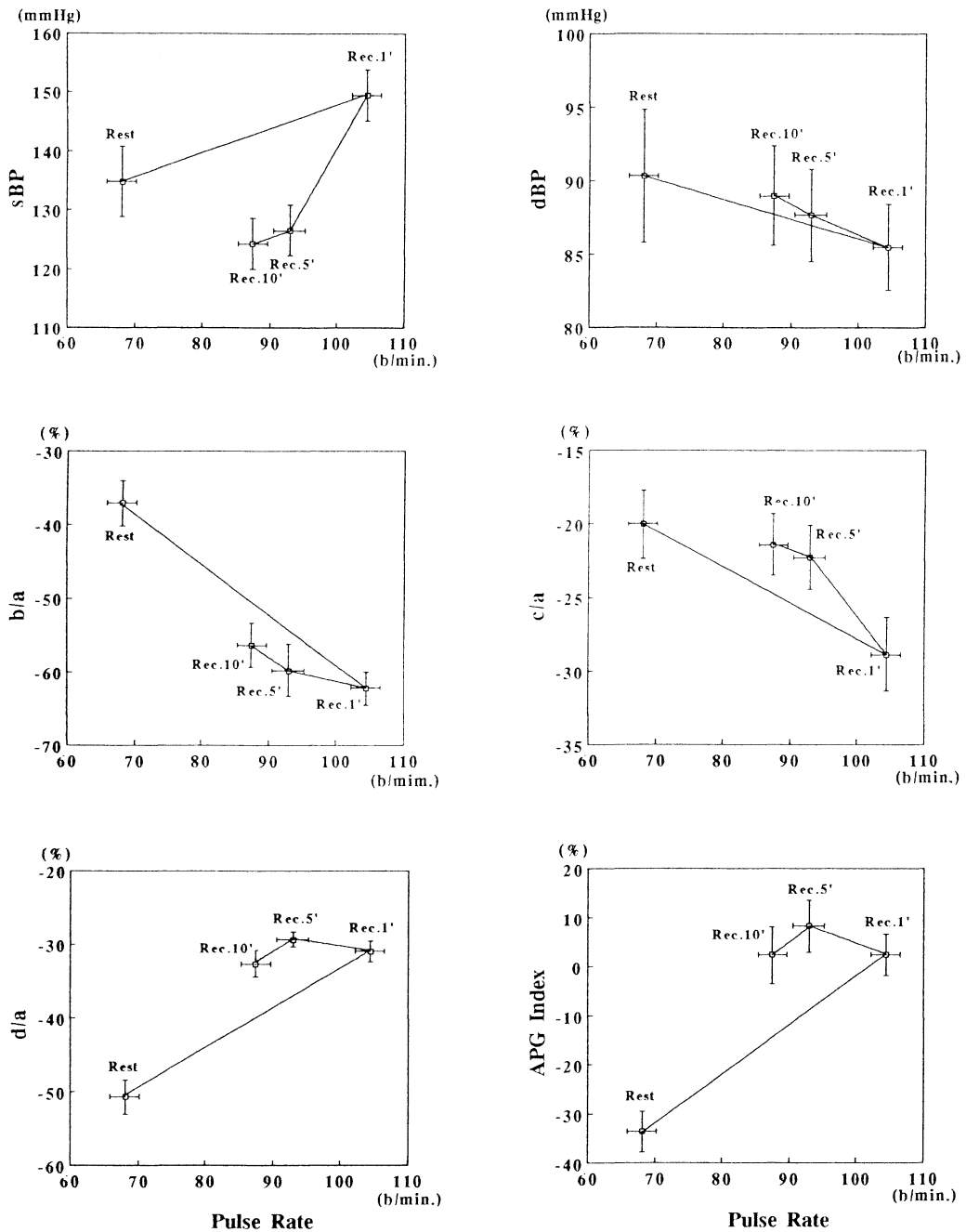


図5 脈拍と血圧、b/a比、c/a比、d/a比、APG Indexとの関係(平均値±標準誤差)
 Fig. 5. Relationship among pulse rate and blood pressure, b/a, c/a, d/a, APG Index.
 Values are mean±SE. sBP; Systolic Blood Pressure, dBP; Diastolic Blood Pressure. b/a, c/a and d/a; ratio of each component (b~d) to "a" component of accelerated plethysmogram (APG). APG Index; $(-b+c+d)/a \times 100$.
 Rec.1'; Recovery 1 min. Rec.5'; Recovery 5 min. Rec.10'; Recovery 10 min.

表2 ランニングによる血圧の変化量 ($\Delta sBP, \Delta dBP$) と加速度脈波の数量値の変化量 ($\Delta b/a, \Delta c/a, \Delta d/a$) の相関係数Table 2 Correlation coefficient between amplitude of $\Delta sBP, \Delta dBP$ and $\Delta b/a, \Delta c/a, \Delta d/a$.

	ΔsBP Rec.1'	Rec.5'	Rec.10'	ΔdBP Rec.1'	Rec.5'	Rec.10'
$\Delta b/a$	-0.084	0.019	-0.241	-0.324	0.239	0.037
$\Delta c/a$	0.185	0.141	0.090	0.037	0.138	-0.134
$\Delta d/a$	-0.514	-0.377	-0.399	-0.490	-0.593*	-0.578*

*; $p < 0.05$. ΔsBP ; Changes on Systolic Blood Pressure at Rest and Recovery.

ΔdBP ; Changes on Diastolic Blood Pressure at Rest and Recovery.

Rec.1'; Recovery 1 min.- Rest, Rec.5'; Recovery 5 min.- Rest, Rec.10'; Recovery 10 min.- Rest

$\Delta b/a$; Changes on b/a for Rest and Recovery. $\Delta c/a$; Changes on c/a for Rest and Recovery.

$\Delta d/a$; Changes on d/a for Rest and Recovery. b/a, c/a and d/a; ratio of each component (b~d) to "a" component of accelerated plethysmogram (APG).

収縮期血圧は回復1分では脈拍の増加に対応して安静時より高い水準に変化したが、回復5分および10分では安静時より低い水準が示された。それに対し拡張期血圧は回復1分から5分、10分と安静時の値に向かってほぼ直線的な回復がみられ、脈拍数が多いほど低い値が示された。

b/a比、c/a比は脈拍数が多いほど小さい値が示され、d/a比およびAPG Indexは大きな値が示される傾向であった。また、回復5分および10分値は1分値から安静値への直線的に結んだラインよりb/a比がやや小さい値を示し、c/a比およびd/a比が大きな値を示しながら回復した。その結果としてAPG Indexは大きな値を示して回復した。

3) 安静時からランニング後(回復1分、5分、10分)の血圧の変化量と加速度脈波の各数量値の変化量との関係

収縮期と拡張期別に血圧の変化量 (ΔsBP , ΔdBP) と加速度脈波の数量値の変化量 ($\Delta b/a$, $\Delta c/a$, $\Delta d/a$) との相関係数を表2に示した。

$\Delta d/a$ 比は、 $\Delta b/a$ 比、 $\Delta c/a$ 比と比較して ΔsBP , ΔdBP ともに大きな相関係数が示された。特に、 ΔdBP の「回復5分-安静時」および「回復10分-安静時」で負の有意な相関係数が認められた。

考 察

指尖容積脈波の二次微分波である加速度脈波は、末梢循環動態の一拍動の中に含まれている微妙な差を拡大強調してしており、全身の末梢循環動態の一つの指標になり得るものと考えられる^{9,10)}。

これまでの加速度脈波の検討結果では、加齢にともないb/a比は大きくなり、c/a比およびd/a比は小さくなる。また、それを反映している波形パターンは、D~Gの出現割合が高くなる^{7,8)}。そのことから考えると今回検討したランニング後の回復には一見、b/a比、d/a比および波形パターンが、一時的に若年者の方向に向かって変化しているようにみえる。しかし、これは脈拍数の増加に対応した変化とも考えられる。

そこで、脈拍と加速度脈波の各数量値との関係から検討してみると、ランニング後の5分および10分値の回復過程は1分値から安静時へ直線的に結んだラインと一致しない。b/a比はやや小さな値を示しながら、c/a比およびd/a比は大きな値を示しながらいずれも良好な回復を示し、その結果としてAPG Indexも大きな値を示しながら回復している。これは加速度脈波が一時的に若年者の方向に向かって改善したことを示すと同時に、ランニングのような持続的トレーニングの継続が安静時レベルの加速度脈波を改善させる効果があることを暗示させる結果である。

血圧と加速度脈波との関係を見ると、安静時から回復期における血圧の変化量と d/a 比の変化量との関係で血圧の低下に伴って d/a 比が高値となる傾向がみられた。これと同じ様な結果がある。その一つとが息こらえで、息こらえ中は血圧の上昇と同時に d/a 比が低値となり、加速度脈波の波形パターンがA→Cに向かって変化するが、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、波形のパターンが復帰する^{3, 5)}。また、虚血性心疾患患者を対象に薬剤投与による末梢血管収縮薬であるアンジオテンシンの静入によって昇圧した場合では d/a 比が低値となるが、末梢血管拡張薬であるニトログリセリンの舌下投与による降圧時の場合には d/a 比が高値となる傾向にある^{13, 14)}。これらのケースは末梢抵抗が関係していると考えられているが、これらのことは、今回の結果が一時的な反応であるにせよ、それがニトログリセリンの様な薬物の投与を受けずに同様な効果が得られることを考えさせるものである。

しかし、これらの結果と逆のケースもある。その一つとして上腕部をカフで収縮期血圧値に近い位にかなり圧迫を加えた時^{15, 6)}で、指動脈血圧の低下と同時に d/a 比が低値となる¹⁾。また腕を挙げていく場合⁶⁾も同様と考えられる。これらのケースでは、腕の循環血流量が関係していると考えられ、それが極端に低い水準になった際に血圧が低下して、 d/a 比が低値となり波形パターンがA→Gに向かうと考えられる。

また、安静時の血圧水準別に加速度脈波との関係をみても複雑である。正常血圧、境界域血圧、高血圧の3群では血圧の高い群ほどC～Gの加速度脈波のパターンを示す割合が多いが、いずれの群にもA～Gのさまざまなパターンが認められている⁷⁾。このことは、血圧と加速度脈波とは関係があるものの単純ではないことを意味している。したがって、血圧と加速度脈波の水準、それらの構成因子を考慮に入れた検討が必要と考えられる。

また、今回は測定が回復10分までであったので脈拍数が安静時のレベルまで回復していなかったこと、ランニングの時間や強度も規定しなかつ

たことなど、今後それらの点を考慮した検討も必要と思われる。

結 論

加速度脈波波形がC～Gパターンを示す28～58歳の女性13名を対象に、10～15分のランニングを行わせて、安静時、回復1分、5分、10分の経過の加速度脈波、脈拍および血圧について検討した結果は以下のごとくまとめられる。

1) 収縮期血圧は安静時より回復1分で高く、5分および10分で低かった。拡張期血圧は回復1分が最も低く、5分そして10分と安静時の水準に向かって回復した。 b/a 比および c/a 比は回復1分が最も低値で、5分、10分と順に大きくなり、安静時の水準に向かって回復した。 d/a 比およびAPG Indexは回復1分、5分、10分がそれぞれ安静時より大きく、はっきりした回復が示されなかった。加速度脈波の波形パターンは、安静時にはCが4名(30.8%)、Dが8名(61.5%)、Eが1名(7.7%)であったが、ランニング後の回復1分、5分には、いずれもBが13名(100%)となり、回復10分には、Bが10名(76.9%)、Cが3名(23.1%)となった。

2) 脈拍と加速度脈波の関係でみると、脈拍数が多いほど b/a 比、 c/a 比が小さく、 d/a 比およびAPG Indexが大きな値が示される傾向であった。また回復5分および10分値は1分値から安静値へ直線的に結んだのラインより、 b/a 比が小さく、 c/a 比および d/a 比が大きな値を示して回復した。その結果としてAPG Indexは大きな値を示して回復した。

3) 安静時からランニング後の回復の血圧の変化量(ΔsBP , ΔdBP)と加速度脈波の数量値の変化量($\Delta b/a$ 比, $\Delta c/a$ 比, $\Delta d/a$ 比)との関係では、 $\Delta d/a$ 比は $\Delta b/a$ 比, $\Delta c/a$ 比と比較して ΔsBP , ΔdBP ともに大きな相関係数が示された。特に、 ΔdBP の「回復5分-安静時」および「回復10分-安静時」で負の有意な相関係数が認められた。

4) 以上のことから、一回のランニングのよう

な持久的トレーニングは加速度脈波からみた末梢の血液循環動態を一時的に改善させる効果あり、それを波形パターンのみではなく定量的にも捉えることができると考えられる。また、ランニングによる血圧の変化が d/a 比の変化と関係があると考えられる。

参考文献

- 1) 本間幸子, 古藤高良, 池上晴夫, 伊藤昭治: 指尖加速度脈波と血圧および動脈弾性率との関係に関する研究, 体力科学, 41(1):98-107, 1992
- 2) 生山匡, 佐野裕司, 片岡幸雄, 和田光明, 西田明子, 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
- 3) 西田明子, 小山内博, 片岡幸雄, 生山匡, 佐野裕司, 今野廣隆, 渡辺剛: 血圧及び加速度脈波の変化に及ぼす止息の影響, 東京都立多摩スポーツ会館館報, 19号:11-14, 1989
- 4) 加瀬知男: 糖尿病における加速度脈波の臨床的検討, 糖尿病, 32(4):229-236, 1989
- 5) 片岡幸雄, 西田明子, 小山内博, 佐野裕司, 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(その2), 東京都立多摩スポーツ会館館報, 20号:14-17, 1990
- 6) 佐野裕司, 小山内博, 片岡幸雄, 生山匡, 今野廣隆, 西田明子: 血液循環検査装置としての加速度脈波計, 東京都立多摩スポーツ会館館報, 15号:33-41, 1983
- 7) 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
- 8) 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
- 9) 佐野裕司, 片岡幸雄, 小山内博: 指尖と耳葉の加速度脈波波形の比較, 千葉体育学研究 15号:71-75, 1992
- 10) 佐野裕司, 片岡幸雄, 西田明子, 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号:73-78, 1992
- 11) 鈴木明裕, 山川和樹, 藤沼秀光, 須藤秀明, 小川研一: 弾性動脈の伸展度(Distensibility)と加速度脈波との関係についての検討, - 完全房室ブロック患者のVVIペースティング時の特徴的循環動態を用いて -, 日本臨床生理学雑誌, 20(2):113-123, 1990
- 12) 鈴木仁, 加瀬知男, 麦原匡史, 菱沼昭, 土屋時彦, 村松弘章, 金澤寛樹, 鈴木義信, 下田新一: 加速度脈波による糖尿病性神経障害の検討, 日本臨床生理学会雑誌, 19(5):445-452, 1989
- 13) 高沢謙二, 伊吹山千春: 加速度脈波, 現代医療, 20:948-955, 1988
- 14) 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, 20:1716-1720, 1988

(平成4年12月10日受付)