

加速度脈波による継続的な トレーニングの評価

西村 千尋

I. はじめに

高血圧症、高脂血症、動脈硬化症、高血糖症、肥満症など生活習慣病に起因する血管内圧の上昇、血管の狭窄や閉塞、血管弾性の減少などの血管機能の低下や、動脈壁の平滑筋細胞の増殖や脂肪沈着による血管組織の器質的変化は心筋や骨格筋などへのエネルギー基質や酸素の供給低下をもたらすと考えられる。しかし、血圧が正常であるからといって血液循環が良いとは限らないし、また狭心症の患者ですら安静時の心電図に変化がみられない例が認められること、さらに冠動脈の狭窄が強い状態でなければ安静時や運動負荷時の心電図に虚血性の変化が現れないといった例から、動脈壁組織の器質的変化が生じる前の段階で血液循環の良否を左右する末梢血管の機能的変化を判断することは、予防の点からも重要である。

これまで酸素や栄養の交換が行われている毛細血管の血液含有量の時間的推移をとらえる指尖容積脈波やその1次微分から得られる指尖容積微分脈波（速度脈波）が末梢循環機能の評価法として用いられてきたが、これらの方法では基線の動揺が激しく、測定上の条件設定が難しいこと、さらに波形の変曲点の様相が起伏に乏しく微妙で、その解釈も困難であるといった問題点から一般的な評価法として定着していなかった。そこで、指尖容積脈波を2回微分して得られた波形、すなわち加速度脈波から血液循

環の評価が試みられるようになった。また、今日では、加速度脈波に関する研究はいくつか存在し、新たな評価法を案出している報告もある^{1,2,4,24,25)}。他の波形分類法では、本間らの24細分法²⁾や高田らの4カテゴリー法²⁴⁾がある。また、勝木らは、新たに加速度脈波指数による評価法を案出し、検討を行っている⁴⁾。

加速度脈波を用いたこれまでの報告では、その評価法と年齢^{3,6,9,12,19,20)}、血圧^{2,6)}、疾病^{5,20)}、身体トレーニング^{8,10,11,13,15,16,17,18,19,20,21,26)}、メンタルストレス⁷⁾などとの関係が検討され、メディカル・チェックや身体トレーニングの効果の判定を判定する際の指標となり得ることが示唆されている。

そこで、本論では、運動療法や健康教室をはじめとする継続的なトレーニングにおける評価法のひとつとして、加速度脈波を用いることの妥当性を、これまでの事例を通して検討するものである。

II. 評 価 法

1985年、佐野らは「加速度脈波による血液循環の評価と応用」において、加速度脈波の意義について検討を行った²⁰⁾。図に示すように、加速度脈波の波形は、a, b, c, dの変曲点があり、aの高さに対する変曲点b, c, dの高さの様相によって評価がなされる(b/a, c/a, d/a)。これまでの研究の成果から、動脈系の収縮や拡張による動脈内圧の変化をb, c, d波は反映することが推察されている。特に、b/aは主に末梢動脈の器質的变化を、d/aは主に動脈壁の機能的緊張を反映することが報告されている^{1,25)}。

佐野ら²⁰⁾は、多数の測定例から波形の分類を行い、加齢など様々な観点から波形の特徴を検討し、個人の血液循環動態の差をより明確に示す指標となることを示した。さらに、図に示すように、加速度脈波の波形を、血液循環がよいと思われるAタイプから、悪いと思われるGタイプまでの7タイプに分類している。さらに、佐野らは波形の定量化を試み、加速度脈波係数を案出した¹⁹⁾。加速度脈波係数は、b/aの波高からc/a, d/aの波高を

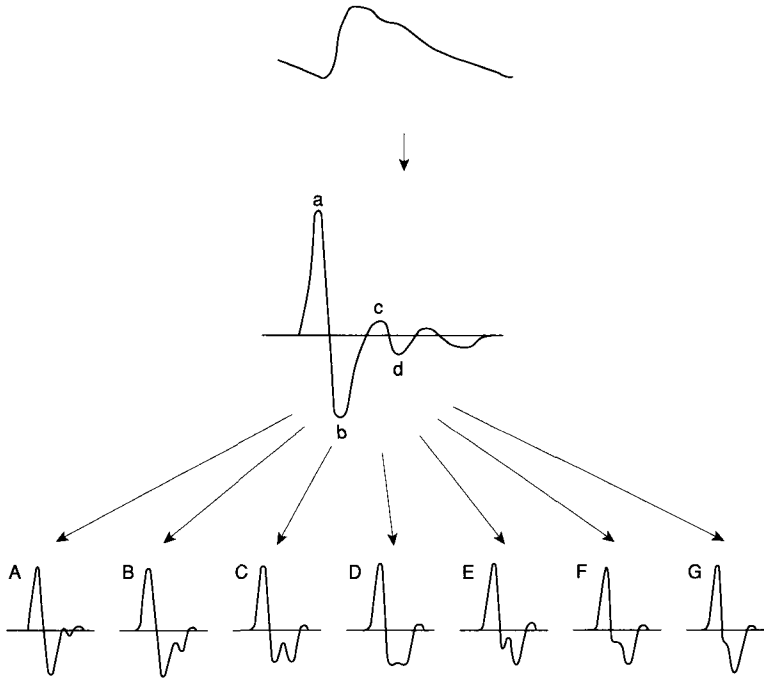


図 加速度脈波の基本波形と変曲点および波形のタイプ
 (上から, 指尖容積脈波, 加速度脈波, 各波形タイプ)

差し引いて求められる。

$$\text{加速度脈波係数} = (b/a - (c/a + d/a)) \times 100$$

これまで年齢と加速度脈波係数の関係について検討した報告では、いずれも年齢と強い負の相関を示した。著者らが以前行った報告¹²⁾でも、年齢とともに加速度脈波係数が低下し、両者の間に $r = -0.806$ ($p < 0.001$) の有意な高い負の相関が得られた。また、波形のタイプがAからGになるにつれて加速度脈波係数が低下する傾向が認められている¹⁷⁾。

III. 最大酸素摂取量との関係

身体活動量の低下が最大酸素摂取量の低下を招くことはよく知られており、最大酸素摂取量が一定水準以上の者には肥満症、高血圧症、高脂血症、虚血性心疾患の罹患率も低いことが明らかにされている。このことから厚生省は平成元年7月に発表した「健康づくりのための運動所用量」²²⁾の中で、健康維持のために一定水準以上の最大酸素摂取能力を有することが必要であるとし、各年齢に応じた最大酸素摂取量の維持目標値を設定している。

したがって、加速度脈波係数と最大酸素摂取量との関係について検討することは意義のあるものと思われる。加速度脈波係数と最大酸素摂取量の低下率について検討¹²⁾したところ、加速度脈波係数の年間の低下率が5.4%であるのに対し、最大酸素摂取量は0.6%の低下率であった。したがって、加速度脈波係数の加齢による低下率は最大酸素摂取量よりも顕著であることが認められ、末梢循環機能は全身の呼吸循環機能に比べて加齢変化が顕著であることを報告した。また、最大酸素摂取量と加速度脈波係数の間には、有意な正の相関が認められ($r=0.440$, $p<0.001$)、最大酸素摂取量と末梢循環機能とが密接な関係にあることが示唆された。

前述したように加齢が末梢循環機能に強い影響を及ぼすことを考慮し、年齢を補正した上で再検討した結果、やはり加速度脈波係数と最大酸素摂取量の間には有意な相関関係が認められた^{6,9)}。前出の報告¹²⁾と同様の結果が得られ、やはり両者の間に密接な関係があることを示唆するものであった。しかし、加速度脈波が器質的な変化よりも機能的変化をとらえる²⁾ことを考慮するならば、安静時だけでなく体位変換法、下半身陰圧負荷法や指尖の高さを変化させて行う位置負荷法などによって末梢循環系に物理的的刺激を与え、循環調節機能の動特性に対する加齢の影響について検討を加えるなどさらに詳細に検討する必要があることも指摘されている。

ところで、この報告⁹⁾では、加速度脈波係数の年間の低下率が2.8%であ

るのに対し、最大酸素摂取量は0.8%であった。これは、前述した著者らの結果¹²⁾と比較すると、最大酸素摂取量の低下率はほぼ同様であったが、加速度脈波係数の低下率は半減していた。この件に関しては、先の報告より対象者数を55名から446名に増やし、また30歳未満の若年女性のデータを増やし検討したことを考えれば、この報告の低下率の方がより妥当性のあるものと考えられる。いずれにしろ、加速度脈波は最大酸素摂取量より年齢の影響を強く受けていることが再確認された。

以上のように、加速度脈波係数と最大酸素摂取量は年齢の影響を補正しても有意な正の相関関係が認められた。したがって、末梢循環機能の評価にとどまらず、広く健康度の評価法のひとつとして有効であることが示唆された。

IV. 継続的なトレーニングの影響

一過性の運動^{13,14,18)}や短期間の健康セミナー参加¹⁶⁾の加速度脈波への影響について、いくつかの報告がある。また、運動療法や健康教室などの前後で加速度脈波を測定し、末梢循環機能への影響を検討している報告もある。本論では、後者に焦点を当て、継続的なトレーニングの効果判定とし

表 継続的なトレーニングと加速度脈波について検討した研究報告

報告者	報告年	期間	運動種目	波形タイプ	加速度脈波係数	b/a	c/a	d/a
島崎ら ²¹⁾	1991	3ヶ月間	水泳	改善	↑			
佐野ら ¹⁷⁾	1993	3ヶ月以上	ランニング中心	改善	↑	↓	↑	↑
佐野ら ¹⁸⁾	1994	3ヶ月	体操・ランニング等	改善				
渡辺ら ²⁶⁾	1994	3ヶ月間	ウォーキング・ランニング等	改善				
城寺ら ²³⁾	1997	9週間	ウォーキング			-		↑
西村ら ¹⁰⁾	1998	3ヶ月間	ウォーキング	改善	↑			
西村ら ¹¹⁾	1998	3ヶ月間	ウォーキング	不変	-	-	↑	-
西村ら ¹¹⁾	1998	3ヶ月間	ウォーキング・自転車エルゴメータ	不変	↑	↓	↑	-

↑：上昇， ↓：低下， -：不変， 空欄は報告なし

ての加速度脈波の意義について探ることとする。これまで報告されている研究の一覧を表に示した。

加速度脈波の評価法を案出した佐野らの報告¹⁷⁾では、トレーニング前の加速度脈波の波形がC～Gパターンを示した37～58歳の女性15名を対象としている。被検者は、3ヶ月以上のトレーニングを行っていた。その結果、体重は減少し、安静時の収縮期および拡張期血圧は低下した。特に拡張期血圧の低下は顕著であった。また、 b/a は小さく、 c/a 、 d/a および加速度脈波係数は大きくなった。波形タイプはC～Gの割合が低下し、A～Bの割合が増大した。したがって、ランニングを中心とした長期間のトレーニングは個人差があるが加速度脈波からみた末梢循環動態を改善する効果があり、その改善の様相を波形パターンのみならず定量化して判断できると報告している。

また、佐野ら¹⁵⁾は、東京都立多摩スポーツ会館における健康体力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影響について、身体状態の違いによるグループ別に検討している。教室は週1回、3ヵ月間である。対象は教室の前後の両健康チェックを受けた中年齢者127名である。グループは教室開始前の健康チェックを基に健康や体力の状態を出来るだけ均一に分けた。特に、健康や体力の低いグループには健康チェックとカウンセリングが毎週行われた。その結果、健康や体力の低いグループほど教室後に体重と皮下脂肪厚が減少、努力性肺活量と一秒量が増加、血圧が低下する傾向が認められた。また、加速度脈波が改善を示す者が多く認められた。

城寺ら²³⁾は、9週間にわたる包括的健康教育の介入効果の判定・評価において、加速度脈波を用いている。その結果は、 d/a が有意に上昇し、末梢循環状態の改善を示唆する所見を認めている。また、この所見は、特に介入中の歩行量が多いほど顕著であり、継続的な運動により末梢動脈壁の機能的緊張の改善を加速度脈波が捉えたものと報告している。さらに、心理的な緊張や不安感に由来する交感神経の緊張および末梢血管抵抗の緩和状況

をも加速度脈波は捉えていると述べている。したがって、城寺らは、加速度脈波で得られるデータの中でも、d/aの計時的な測定が介入効果の評価に有用であると提言している。

著者ら¹¹⁾は、運動療法が加速度脈波に及ぼす影響について検討することを目的として、49～71歳までの中高年女性21名を対象に健康教室を実施した。対象者の安静時心拍数、最大酸素摂取量、摂取エネルギー量に変化はみられなかったものの体重、BMI (Body Mass Index: 体重(kg)/身長(m)²)、収縮期血圧は有意に低下したことから、本研究における教室が肥満解消や血圧の改善に有効であったことを確認した上で、加速度脈波について言及している。すなわち、健康教室後に、b/a ($p < 0.01$) が有意に低下し、加速度脈波係数 ($p < 0.01$)、c/a ($p < 0.01$) が有意に増加した。また、加速度脈波の波形タイプも有意に改善した ($p < 0.01$)。すなわち、21名中10名が加速度脈波の波形に改善がみられた。さらに、対象者を1回50～60分間のエアロビックダンスと1日1万歩を目標とした群(A群13名)とA群の運動量にさらに定期的に週3回、自転車エルゴメータで40分の運動を付加した群(B群8名)とに分け、健康教室前後で比較検討した。加速度脈波の波形タイプでは、A群、B群とも有意な変化はみられなかったものの、A群ではc/aが有意に増加し ($p < 0.05$)、B群では加速度脈波係数とc/aが有意に増加し ($p < 0.01$)、b/aが有意に減少した ($p < 0.01$)。したがって、加速度脈波係数や波形タイプの改善がみられたことから、運動療法により末梢循環機能が改善されていることが示唆された。

さらに、著者ら¹⁰⁾は、耐糖能異常と判定された地域住民を対象に運動・食事併用療法が加速度脈波に及ぼす効果について検討している。インスリン非依存型糖尿病の患者で1日の平均歩数が7,000歩未満をI群 ($n = 6$)、7,000歩以上をII群 ($n = 12$)として糖尿病教室前後で比較したところ、II群において体重、BMI、ヘモグロビンA_{1c} (HbA_{1c})、動脈硬化指数及びクレアチニンが有意に低下し、最大酸素摂取量及び善玉コレステロールである高比重リポたんぱくコレステロール (HDL-C) が有意に上昇した。すな

わち、II群でのみ血糖コントロールが改善された。糖尿病教室終了後に加速度脈波係数の有意な変化は認められなかったが、I群では悪化傾向を示し、II群では改善傾向を示した。また、II群でのみ加速度脈波波形パターンが改善する傾向を認めた。したがって、耐糖能異常者でも運動・食事併用療法により末梢循環機能が改善されることが示唆された。また、その改善のためには少なくとも7,000歩以上の運動量が必要であることも示唆された^{8,10)}。

渡辺ら²⁶⁾の報告は、羽村市教育委員会が主催した3ヵ月間の健康体力づくり教室に参加した女性115名の形態、血圧および加速度脈波について検討している。結果は、形態は教室開始前に対し教室終了時には、除脂肪体重の変化がなく、体重および体脂肪率の低下が認められた。また、血圧の改善も認められている。加速度脈波は、教室開始前にD～G波型が38.3%認められたが、教室終了時には2.3%へと減少した。

島崎ら²¹⁾は、水泳運動の効果判定に加速度脈波を用いている。被検者は某スイミングスクールに通う中高年女性であり、個人の所属する練習曜日および泳力別クラスに応じて、3ヵ月間の水泳運動を行っていた。測定項目は、身長・体重・皮下脂肪厚・血圧・加速度脈波であり、3ヵ月間の前後に測定を行い、運動強度および運動量による検討を加えている。その結果、血圧については収縮期血圧の改善を示す者があった。加速度脈波の波形タイプは、被検者全体、泳力別クラスの影響および週のレッスン回数による影響のいずれにおいても、改善の傾向がみられた。また、加速度脈波係数においても、被検者全体での得点に有意な上昇が認められた。したがって、中高年女性において個人の泳力に合わせた水泳運動の継続が、循環機能をはじめとする健康の維持増進により効果を及ぼす可能性があることが示唆された。

以上の報告は、いずれも体重や血清脂質などの検査値において、トレーニングの効果が認められている。また、これらの報告では、末梢循環機能の評価法として、加速度脈波測定は採用されており、その結果においても

やはり改善を認めている。したがって、加速度脈波による継続的なトレーニングによる効果判定も妥当なものと考えられる。

V. ま と め

継続的なトレーニングの評価における加速度脈波の意義について検討してきた。その結果、加速度脈波は、継続的なトレーニングの結果としての生理学的変化を客観的に評価しうることが明らかとなった。また、加速度脈波は、被検者に対して非侵襲的であり、かつ測定が簡便で、さらに機器も安価である。したがって、今後臨床的な側面だけでなく、運動療法や健康教育の現場においても、積極的に活用していく価値を有するものと思われる。

参考・引用文献

- 1) 長谷充康, 高澤謙二, 伊吹山千晴: 加速度脈波の年齢階層における平均値の設定. 東医大誌 54(2): 94-102, 1996.
- 2) 本間幸子, 伊藤昭治, 古藤高良, 池上晴夫: 指尖容積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: 98-107, 1992.
- 3) 生山 匡, 佐野裕司, 片岡幸雄, 和田光明, 西田明子, 渡辺 剛, 今野廣隆, 川村協平, 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.
- 4) 勝木健一, 山本敏義, 遊津隆義, 田中弘之, 岡野亮介, 平田耕造, 宮地元彦, 小野寺昇, 小野三嗣: 新しい加速度脈波指数とその臨床生理学的評価. 日本生理誌 56: 215-222, 1994.
- 5) 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: 229-235, 1989.
- 6) Nishimura C, Imamura H., Kamihama T., Sakamoto K.: Relationship between maximal oxygen intake and peripheral circulatory function evaluated by accelerated plethysmogram in women. Health Evaluation and Promotion 29(4): 806-808, 2002.
- 7) Nishimura C.: Effects of mental stress on peripheral circulation evaluated by accelerated plethysmogram. 長崎県立大学論集 35(4): 403-409, 2002.

- 8) 西村千尋, 今村裕行, 森脇千夏, 二神友美, 宮本徳子, 内田和宏, 上濱龍也, 嶋田良子, 城田知子, 中田健次郎, 今村英夫: 1日の平均歩数が加速度脈波からみた末梢循環機能に及ぼす影響について. 日健診誌 27(2): 148-153, 2000.
- 9) 西村千尋, 今村裕行, 森脇千夏, 二神友美, 宮本徳子, 内田和宏, 上濱龍也, 嶋田良子, 城田知子, 中田健次郎, 今村英夫: 加速度脈波からみた末梢循環機能と最大酸素摂取量との関係. 日健診誌 26(4): 401-405, 1999.
- 10) 西村千尋, 今村裕行, 森脇千夏, 二神友美, 城田知子, 今村英夫, 嶋田良子, 内田和宏: 運動・食事併用療법이耐糖能異常者の加速度脈波に及ぼす効果について. 日健診誌, 25(2): 160-166, 1998.
- 11) 西村千尋, 今村裕行, 森脇千夏, 二神友美, 城田知子, 今村英夫, 嶋田良子, 内田和宏: 運動療法が中高年女性の加速度脈波に及ぼす効果について. 日本運動生理学雑誌 5(2): 145-152, 1998.
- 12) 西村千尋, 芹沢幹雄, 中田健次郎: 加速度脈波からみた末梢循環機能の加齢変化. 東海保健体育科学, 16: 1-6, 1994.
- 13) 佐野裕司, 杉下知子, 片岡幸雄: ウォーキングが中高年高血圧者の血圧と加速度脈波に及ぼす影響. 家族看護学研究 2(1): 28-35, 1996.
- 14) 佐野裕司, 片岡幸雄: 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—. 千葉体育学研究 19: 31-38, 1994.
- 15) 佐野裕司, 鈴木隆広, 片岡幸雄: 健康体力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影響—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.
- 16) 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.
- 17) 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)—長期トレーニングの影響—. 千葉体育学研究 16: 47-53, 1993.
- 18) 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)—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—. 千葉体育学研究 16: 39-46, 1993.
- 19) 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 68: 17-25, 1988.
- 20) 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: 129-143, 1985.
- 21) 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.
- 22) 進藤宗洋：厚生省の「健康づくりのための運動所用量」について—『身から錆を出さない，出させない』暮らし方の原理の提案—，保健の科学 32(3) : 139-156, 1990.
- 23) 城寺賢二，藤枝賢晴，波多野義郎，高澤謙二，内田信二，藤枝順子，寺内節雄，竹内 徹，曾根裕二：健康教育の効果判定・評価における加速度脈波測定の意義，Circular 58: 45-51, 1997.
- 24) 高田晴子，鷺野嘉映：加速度脈波と血管年齢，教育医学 43(4) : 353-359, 1998.
- 25) 高澤謙二，伊吹山千晴：加速度脈波，現代医療 20 : 126-133, 1988.
- 26) 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力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効果，千葉体育学研究 18 : 67-72, 1994.