



加速度脈波と血管老化度測定
21世紀の健康指標の確立に向けて

高田晴子 著

株式会社 **ユメディカ**
学術部 編

目 次

1. 生活習慣病を予防する：動脈硬化対策

生活習慣病の時代	1
生活習慣病の元凶・動脈硬化に迫る	2
新しい「健康指標」を求めて	3
早期発見と予防に有効な血管老化度診断	4

2. 加速度脈波を理解する：波形の見方

脈波とは？	7
加速度脈波とその波形	10
波形変化の条件	11
加齢に伴う変化（年齢別代表波形）	11
ニトログリセリン効果	12
ニコチン効果	12
寒冷効果	13
起立効果	13
運動効果	13
波形の意義：パラメータの特徴	14

3. 血管の老化度をチェックする：血管老化スコア法

加齢波形を定量化する：Waveform index [1] & [2]	17
血管老化偏差値（スコア）を求める	20
動脈硬化の進行（動脈硬化リスク）予測	21
健康指標としての血管老化偏差値（スコア）評価	26
参考文献	27

A large, stylized ECG line graphic on the left side of the page, consisting of multiple overlapping lines that form a series of peaks and troughs.

1 生活習慣病を予防する —動脈硬化対策—

生活習慣病の時代

●「生活習慣」のあり方が問われる時代

私たちの多くは、健康が失われてはじめて回復への切実な願いを自覚します。増加の一途をたどる生活習慣病の場合も同じで、体のどこかが決定的に損なわれないかぎり、生活習慣の改善や予防にあまり気をつけないものです。

現在、生活習慣病の予防は、他の先進諸国と同様に日本でも重要な問題です。1996年（平成8年）、従来の「成人病」にかえて、「生活習慣病」という新しい疾病概念を厚生省が提唱して以来、各種の対策が講じられてきました。

しかしながら、依然として心臓・脳血管疾患や高血圧の発症頻度は高く、糖尿病も年々増加しています。このような動脈硬化性疾患の頻度は、人がどのようなライフスタイルを選ぶかということと大いに関係があります。

●医療費増大＝健康増進ではない

現在、国民の20～30%が太りすぎといわれ、60歳以下の人々の15～30%が運動不足です。

また、喫煙者も多く、60歳以下の男性の55%が、女性では13%が喫煙者です。そのうえに急速な高齢社会を迎え、1996年には15%であった60歳以上の人口は、2039年には30%に達するであろうといわれています。

これらの状況を反映して、医療費とヘルスケア関連の費用は過去10年間増加し続けています。このような投資にもかかわらず、健康統計によれば、私たちはそれほど健康というわけではないのです。

●動脈硬化はどんな病気？

とくに心血管系の疾患の背景には動脈硬化があります。動脈硬化が起きると、血管が狭くなったり、詰まったりして、その部分から

わが国の現状

- ・肥満 20～30%
- ・運動不足 15～30%
- ・高齢者 15% (1996年)
30% (2039年)
- ・糖尿病 600万人
- ・死因
第一位 がん
第二位 心臓病
第三位 脳血管病

動脈硬化が進行 するとどうなる？

- ・高血圧 (早期死亡)
- ・心筋梗塞 (医療費増加)
- ・狭心症 (健康寿命低下)
- ・脳梗塞 (健康寿命低下)
- ・脳出血 (健康寿命低下)
- ・痴呆

先の血液の流れが悪くなり、各臓器に障害が現れてきます。狭心症や心筋梗塞などの虚血性心疾患、脳梗塞、脳出血などを引き起こします。その結果、心不全や不整脈、痴呆なども起こります。また、閉塞性動脈硬化症（四肢とくに下肢の循環障害）、大動脈瘤、腹部狭心症（食後に起こる腹痛）、腎硬化症、腎不全など、全身にわたる症状をもたらします。

生活習慣病の元凶・動脈硬化に迫る

●コレステロールの種類は？

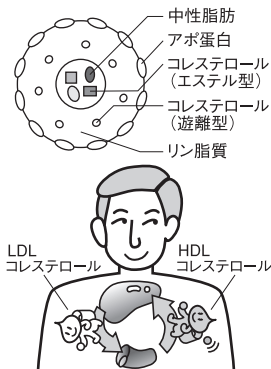
動脈硬化の発生には、血液中の脂肪、とくにコレステロールが大きく関与しています。コレステロールは油性で水には溶けません。血液中では蛋白と結合し、粒子となって移動しています。これがリポ蛋白と呼ばれるもので、LDL（低比重リポ蛋白）、HDL（高比重リポ蛋白）をはじめ、中性脂肪に富むVLDL（超低比重リポ蛋白）、カイロミクロンなどの種類があります。

主としてLDLが、体の各組織にコレステロールを運ぶ役割をしています。逆にコレステロールを回収し、肝臓へと運び込む役割をしているのがHDLです。LDL、HDLのコレステロールは、一般にそれぞれ悪玉、善玉と呼ばれています。

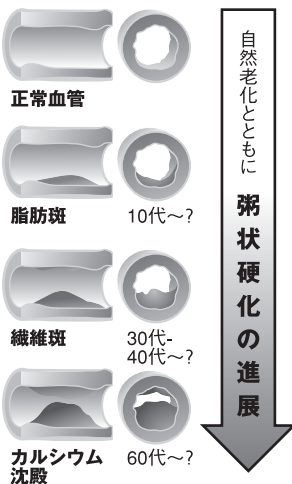
●動脈硬化はなぜ起こるのか？

コレステロールは一方で、細胞膜をつくり、ホルモンの原料にもなる重要な栄養素です。したがって、細胞はコレステロールを効率よく取り込むメカニズムをそなえています。

そのコレステロールが血管壁に沈着すると、他の成分や細胞が集積して壁が肥厚してきます。おかゆのようなドロドロの状態になり、これを粥状硬化と呼んでいます。粥状硬化の状態になれば、血管壁が厚くなり内径が狭くなると同時に傷つきやすくなります。さらにその傷を修復しようと血小板が集まり、固まって血栓ができます。



動脈硬化の進展



こうなると悪循環で、血管は一層狭くなり、血液を十分供給できなくなって、先にあげた症状を引き起こします。

●動脈硬化を起こす危険因子は？

動脈硬化の原因となる危険因子は、さまざまな疫学調査や研究で明らかにされています。まず、高血圧、高脂血症、喫煙があげられます。また、肥満、糖尿病、高尿酸血症、痛風、運動不足、ストレス、A型性格（行動パターン）、過度の飲酒など。また、近年では、肥満、高血圧、耐糖能異常、高中性脂肪血症が同時に存在するシンドロームXが複合危険因子として注目されています。これらは管理・予防が可能な危険因子です。

女性と男性を比べると、男性のほうが動脈硬化が進みやすく、女性でもホルモンのはたらきが低下する閉経後は男性並みに進行するといわれています。年齢（高齢者はハイリスク）や、家族に動脈硬化性疾患の人がいる場合も、危険因子となります。

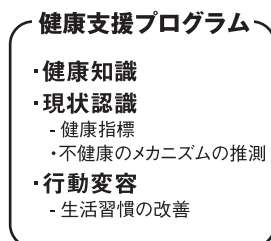
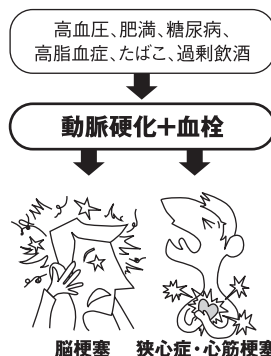
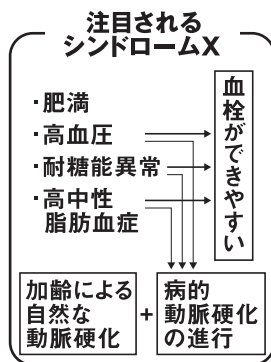
新しい「健康指標」を求めて

●原因は「生活習慣」とわかっている

生活習慣病は、「食習慣、運動習慣、休養、喫煙、飲酒などの生活習慣が、その発症・進行に関与する疾患群」と定義されているように、その予防対策には生活習慣の改変が要求されます。そのためには、予防や自主的な健康管理を促す動機づけと、社会的なサポート体制も必要となります。

健康管理を促進する新しい支援プログラムを考えるにあたって重要なことは、どの分野により多くを投資すれば、より効果的に集団の健康状態を改善できるかを考えることです。もし私たちが、不健康な人々の行動を変えるという点に効果的に投資できるなら、健康状態をよりよい状態に導くことが可能となります。

よい習慣とは何かをよく理解できるならば、それは人々の行動を変



これまでの健康指標

- ・体重・BMI
- ・血圧
- ・血液検査
- ・肺機能
- ・心電図
- ・画像診断

—etc.

新しい健康指標

・加速度脈波 (APG) 波形解析



- 血行動態
- 循環機能
- 血管情報
- メンタルコンディション

容させ、人々を病院から遠ざけることに役立つはずでず。結果として、医療費の限りない増大を抑止する方向にはたらくでしょう。

●改善実行のために必要な「健康指標」

しかし実際のところ、これまでも、よい習慣とは何かを知っている人々が「よい習慣」を実践して、その結果健康な生活を送ってきたというわけではありません。よい習慣の重要性を知っていても、自分の悪い習慣を変えるという行動にむすびつきにくいのです。

私たちが悪い生活習慣や行動を改善するためには、自分の現在の状態を客観的に評価できる「健康指標」が必要です。

●今までの健康指標と新しい健康指標

これまでも私たちは、自分の健康状態を把握するためにいくつかの「健康指標」を持ってきました。例えば、血圧や肥満度、血清脂質の値は、健康状態を示す指標となっています。これらの指標の異常は、ときに動脈硬化性疾患の発症の危険性について忠告する役割を果たしています。

このような「健康指標」を持つ意義は、その指標を時々チェックして、自分の状態をふりかえり、なぜ、今この状態にあるのかという不健康のメカニズムをも推測することができるという点にあります。その反省が、日常の行動を見直し、変えることにつながります。

私たちは、指先容積脈波 (DPG) の二次微分波である加速度脈波 (APG) を、新たな「健康指標」を提供するための手段として提案します。

早期発見と予防に有効な血管老化度診断

●加速度脈波で血管の状態がわかる

加速度脈波 (APG) は指先で測定できる脈圧の波ですから、この波形は循環機能についての多く情報を含んでいます。とくに血管の情報、たとえば血管の硬さや緊張状態に関して多くの情報を含

むことは、その原理からいって当然です。

だから、もし加速度脈波（APG）の波形を一定の基準で、適切に分析できるなら、私たちは自分の指先で得られた波形によって、自分の血管の状態がどうなっているのか、どれくらい動脈硬化が進んでいるのかを予測することが可能になります。

●加速度脈波で生活習慣改善を動機づけよう

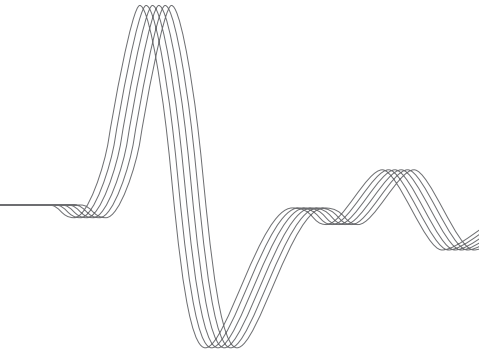
もちろん、自分の動脈硬化の進行度について、もっと正確に知る方法は他にもあります。しかし、それは大きな器械が必要であったり、痛みを伴ったり、時間がかかったりします。また、より侵襲の少ない方法として、血圧や肥満度、血清脂質の値から動脈硬化の危険性を察知することも可能でしょう。しかし、これらは余りに間接的な情報です。

新たに提案する加速度脈波（APG）を用いる方法は、動脈硬化のレベルについて人々にもっと直接的な情報を、血管老化度というわかりやすい指標とともに提供し、人々の習慣や行動を改善するための強い動機づけになることが期待されます。

●加速度脈波で動脈硬化を早期発見しよう

動脈硬化とそれに伴う疾患も、多くは軽いうちならば治すことが可能です。危険因子を早期に見つけて処置すればよいからです。

しかし、動脈硬化は、かなり進行して各臓器にある程度の障害を与えるようになってはじめて症状が出てくる場合が多いのです。手軽な検査で動脈硬化の状態を察知することが望まれます。加速度脈波（APG）による診断は、その有力な手段となります。



2 加速度脈波を理解する —波形の見方—

脈波とは？

●脈波の成り立ちを理解しよう

加速度脈波の原理を理解するには、まず脈波を理解することが必要です。脈波は脈圧の波です。動脈の内圧変化によって生じる経時的な血管伝導波を脈波といいます。

1回の心臓収縮により、血液ひとかたまりが心臓から駆出されると、大動脈の根元の壁はこのひとかたまりの血流により伸展して内圧は上昇し、隣接部よりも高い圧となります。この圧差に助けられて血液のかたまりはスピードをあげながら、隣接部に流入し、その壁を伸展させます。このように次々と血管壁の伸展は末梢に波動として伝播していきます。これが圧脈波です。

●脈圧の伝わる速度と血流速度

脈圧の伝わる速度（脈波伝播速度）と血流速度とはイコールではありません。血流速度は末梢に行くにつれて低下しますが、大動脈から駆出された血液によって生じる脈圧の伝播速度は、大動脈から末梢に行くにつれ速くなります。たとえば大動脈では毎秒4m、大きな動脈では毎秒8m、より小さな動脈では16mといわれますが、この速さは血流速度の15～100倍速い速度です。

大動脈の圧脈波は、左室収縮期初期には急な上昇を示し、次にゆるやかなカーブを経てピークに達します。この後は拡張期のゆるやかな減少カーブを示しますが、その直前の収縮期終期には短い下向きのノッチを生じます。これは、心室圧が大動脈圧よりも低くなって血流が逆流することによって起こる短い圧の上昇と考えられます。心室圧がゼロに近くなっても大動脈や大きな動脈の圧力が保たれるのは、動脈壁が弾性的に復元するためと末梢抵抗のためです。従って、測定される脈圧は1回拍出量と動脈系のコンプライアンス（弾性）の関数であるといえます。

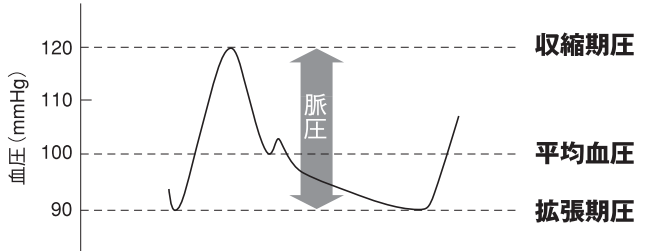
脈波の特徴

- ・脈波は脈圧の波動である
- ・脈圧の伝わる速度は血流速度よりも速く、大動脈から末梢に行くにつれ速くなる

- 大動脈	4m/sec.
- 大きい動脈	8m/sec.
- 小さい動脈	16m/sec.
- ・脈圧は1回拍出量と動脈系コンプライアンスの関数である



上腕動脈の脈圧



●容積脈波と圧脈波

脈圧の波動である脈波の測定方法には、大きく分けて、圧脈波そのものを測定する方法と、容積脈波を測定するふたつの方法があります。

容積脈波は動脈内圧の変動を血管の容積変化に置き換えて観察するものであり、同じ動脈で記録されれば圧脈波と容積脈波の両者の波形は酷似しています。容積脈波で1拍ごとに観察できる波形の変化は、通過する血流の容積変化そのものです。しかも、この容積変化は内径の変化によって引き起こされたものですから、同時に内圧変化を起こしているはずですが、従って容積変化と内圧変化は連動した変化です。

動脈の特定部位における内圧と容積の関係は、動脈特性が一定であれば、一定の関係をもつはずですが、実際には個々の動脈特性が異なるために個々で異なります。従って、容積脈波は圧脈波そのものではないのです。

●容積脈波は動脈系のすべての情報を含む

容積脈波を指先で測定する場合には、脈波が大動脈から末梢へ伝播する過程で投射波と反射波の合成や共鳴が起こるため、その形は修飾され変容しているものと考えなければなりません。変容の程度は血管の性状または特性の影響の総和です。つまり、

容積脈波はいわば大動脈以降の動脈系すべての情報、すなわち内圧、血管の性状、血管壁の硬さ、血液粘性などのあらゆる情報を含んだものと考えられます。さらに指先で測定される指先容積脈波は、大動脈脈波が中枢から末梢に伝播される過程で生ずる“ゆがみ”で修飾されていることとなります。

このように、非常に多くの要因によって支配されている情報ゆえに、指先容積脈波の波形を合理的に解析すれば、動脈系の器質的または機能的な「総体としての特性」を判断できる材料となるにちがいません。「血管内径の波動が容積脈波」であるから、個人の指先容積脈波波形の特徴を把握できれば、その人の心臓からの拍出の様態や血管の性状、血管壁の状態、血流の粘性が、総体として理解されることとなります。

●容積脈波の不安定さを克服するために

指先容積脈波波形の記録法としては、指先に、ヘモグロビンに特異的な吸光係数をもつ波長光をあて、吸収光、または反射光を電気信号に変えてアナログ波形を求める光電法があり、測定が簡便なためこれまでも多くの分野で用いられてきました。

光電容積脈波 (PhPG) の波形は心臓収縮時の波と拡張時の二種類の波から成り立っています。この波形は大動脈の圧波形と非常に似通った形をしており、直感的に理解しやすいのです。ただ、PhPGの波形は、記録波形が非常に不安定という点に問題があります。とくに、基線が不安定であり、波形も1拍ごとに変わりやすいために、波形を平均的に定量表現することが困難であり、パターン認識に頼らざるを得ず、どれを本人の基礎波形として認識するのかは必ずしも明瞭というわけではありませんでした。

そこで、「本来の波」を取り出すために、適切なフィルターやデジタル回路を通す方法と共に、微分回路を通して、基線を安定させるという方法が普及してきたのです。

容積脈波を指先で測定する

- ・大動脈から抹消へ伝播する過程で投射波と反射波の合成・共鳴が起こるので、波形は修飾され変容する
- ・波形の変容の程度は血管の性状や特性の影響の総和である
- ・容積脈波の二次微分波形は基線が安定し、変曲点が明瞭で波形解析に適している



加速度脈波とその波形

●2度微分で得られる加速度脈波の特性

加速度脈波 (APG) 波形は指先容積脈波 (DPG) の波形を数学的に2度微分することによって得られる微分波形です。従って、数学的には、加速度脈波 (APG) は血管の断面積または容積が増加する速度の変化率を示す波であるといえます。

微分することにより、基線は安定し、また同時に波形はいっそう識別しやすい形になりました。適正なフィルターやデジタル化法を用いれば、よりよい再現性が得られます。このようにして得られた加速度脈波では、波形の合理的な定量評価が可能となります。

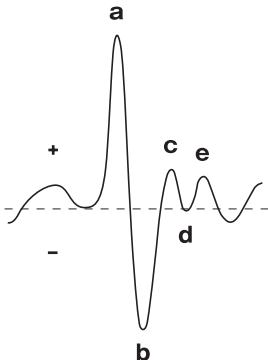
●加速度脈波の5つの要素波とは？

加速度脈波 (APG) の標準的波形を図に示します。

加速度脈波 (APG) は a, b, c, d, e波と名づけられている5つの明確な要素波を持っています。DPGとは異なり、これらすべての要素波は心臓収縮期の波です。APG波形の頂点aはDPGの収縮期波の最初の立ち上がり点と一致します。また、頂点eはDPG拡張期波の始まり、すなわちノッチ部と一致します。だから、頂点aから頂点eまでの時間は、心臓の収縮時間の長さに対応します。前述のとおり、APGはa, b, c, d, e波の5つの要素波からなっています。波形は要素波の5つの頂点の位置によって識別されます。基線から上をプラス、基線から下をマイナスとすると、a波は、その頂点が常にプラスに位置している陽性波です。b波はその頂点が常にマイナスで位置している陰性波です。c波とe波は共に上向きの陽性波ですが、生理条件が変化するにつれて、その頂点の位置をプラスからマイナスへと変えます。d波は下向きの陰性波ですが、やはり、生理条件が変化するにつれて、マイナスからプラスへとその頂点の位置を変えます。

これらAPGの要素波は、それぞれ関連を持ちながら、あるいは単独で、生理条件の変化によって容易にその位置を変えます。例えば、

加速度脈波はこんな形をしている



期外収縮時の波や頻脈時の波では、a-e間隔は短くなり、b波の頂点は容易に基線から深い位置をとり、d波の頂点は基線から浅い位置をとります。

●波形評価のためのパラメータ

波形を定量表現するためには、波形を説明するパラメータが必要です。そこで、波形の5つの要素波のa, b, c, d, e波の基線から各頂点までの距離を測定し、それぞれ、距離a, b, c, d, eとします。そして、基線から頂点aまでの距離aを分母として、基線からb波、c波、d波あるいはe波の頂点への距離b, c, d, eを分子として、 b/a , c/a , d/a , e/a の各比をパラメータとして求めます。また、時間軸情報としては、頂点aから頂点a, b, c, d, eまでの時間をすなわち、a-b, a-c, a-d, a-e, a-a間隔（単位msec.: Tab, Tac, Tad, Tae, Taa）として測定します。これらの9個のパラメータが、波形評価の基本パラメータとなります。

これらのパラメータが動脈の器質的・機能的変化をどのようにとらえるのか、また単独でとらえるのか、それとも共同してとらえるのかという点については、これまでも多くの研究報告があり、今後もっと明らかになる点もあるでしょう。

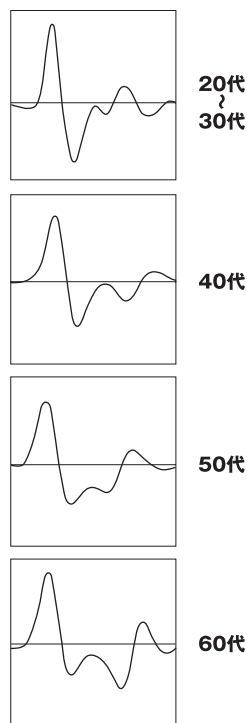
波形変化の条件

ここでは、現在のところ明らかになっている、加齢現象を含めた主な生理機能変化と波形の関連性について述べます。

●年齢別波形の特徴は？

■加齢に伴う変化

加速度脈波（APG）の波形は、どのような年齢層の人でも、姿勢、温熱条件、寒冷条件、運動など種々の身体生理条件変化によって容易に変化します。





それでも条件を整えて、安静時で記録される加速度脈波（APG）波形を見ると、年齢によって、はっきりその形が異なっているのがわかります。逆にいえば、波形をみれば年齢が推測できるのです。これは、加速度脈波（APG）波形が動脈の器質的または機能的な状態を説明するという点についての、間接的なひとつの証拠です。一般に若い人の標準的な波形は、深いb波と浅いd波を持ちます。動脈が老化するにつれ、b波は浅くなり、d波は深くなってきます。つまり、 b/a 値はその値が大きくなり、 d/a 値はその値が小さくなるのです。

年齢別の代表波形を図に示します。この波形の性質が、新しい「健康指標」としての加速度脈波（APG）の最も重要な部分です。

●ニトログリセリンの影響は？

■ニトログリセリン効果

若年正常者へのニトログリセリン経口投与によって、投与前よりもb波は深くなると同時に、d波は浅くなります。つまり、 b/a は減少し、 d/a 値は増加することになります。

正常者にニトログリセリンを経口投与する場合には、血圧は際立っては変化しないけれども、心拍数は増加して、指先の皮下血流も増加します。これら生理変化から考えると、血圧に影響を与えないようなわずかな血管の拡張や静脈系プーリングを反映して、加速度脈波（APG）が b/a の減少と d/a 増加を示すと考えられます。

●ニコチンの影響は？

■ニコチン効果

若年正常者がニコチンチューインガムをかんで20分たつと、心拍数が増加し、指先の皮下血流は減少します。しかし、血圧には著明な変化はみられません。

この時、加速度脈波（APG）は、ニトログリセリン効果とは逆方向の反応を示します。加速度脈波（APG）のb波は浅くなり、c波の頂点の位置は下がり、そしてd波は深くなります。つまり、 b/a は増

加し、 c/a と d/a は減少します。

ニコチンにより、血圧に著明な影響を与えないようなわずかな血管の収縮が起こるときでさえ、加速度脈波 (APG) はそれを b/a 増加と c/a および d/a の減少によって表現し得ると思われま

●寒冷の影響は？

■寒冷効果

寒冷負荷時にも、ニトログリセリン効果とは逆の反応がみられます。

つまり、ニコチン負荷時と同様に、寒冷による自律神経緊張反応が波形で観察されるのです。 b 波は浅くなり、 d 波は深くなります。

つまり、 b/a は増加し、 d/a は減少します。

このときも、若年正常者の場合には血圧は際立って変化しないけれども、心拍数は増加して、指先の皮下血流は減少します。寒冷により血圧に影響を与えないようなわずかな血管の収縮が起こるときでさえ、加速度脈波 (APG) はその反応を b/a 増加と c/a および d/a の減少によって表現し得ると考えられます。

●起立の影響は？

■起立効果 (自律神経緊張)

若年正常者が起立した状態 (反応性自律神経緊張時:直後から1分) でAPGを記録すると、座位測定時よりも、 b 波は浅くなり、 b/a は増加します。 b 波は自律神経緊張の初期でも反応を示します。

●運動の影響は？

■短時間運動の効果

短時間 (15分程度) ランニングすると、ランニング開始前よりも心拍数の増加と収縮期血圧上昇が観察されます。心拍出量増加に伴う生理反応ですが、このとき加速度脈波 (APG) の b 波は深くなり、 b/a の減少が観察されます。



波形の意義：パラメータの特徴

● [b/a] と [d/a] との違いは？

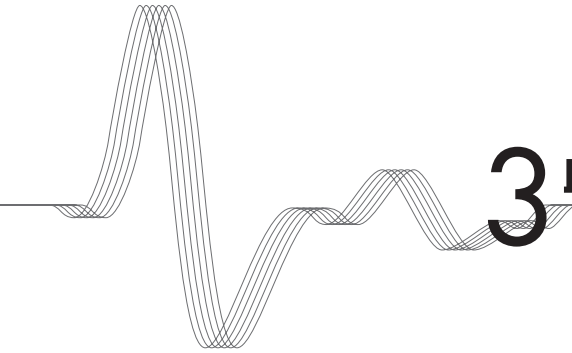
加速度脈波 (APG) 波形は血管の加齢現象を説明できますが、上記の負荷試験から明らかのように、血圧の上昇あるいは心拍数増加、自律神経緊張などの生理学的変化によって敏感にその波形を変化させます。

波形の日内変動について5人の被験者で検討しましたが、安静時測定で [b/a] の絶対値の変動係数 (CV%) は、人によってそれほど相違はなく、すべて10%内でした。しかし、[d/a] の絶対値のCV%は人により相違が大きく、50%を超えた人さえありました。また、左室収縮時間に対応する [a-e間隔] のCV%の値は、人により5.0%から17.0%までとかなり幅がありましたが、これは心拍変動と関連する変動です。このような心拍のゆらぎに呼応して [b/a] と [d/a] はともに連動して変化しましたが、[b/a] の変動は [d/a] の変動ほど大きくありませんでした。つまり、[b/a] は安定したパラメータであり、[d/a] は非常に日内変動しやすいパラメータであるといえるでしょう。年齢変化の検討や負荷試験の結果から、[b/a] は血管の器質的伸展性をよく反映し、[d/a] は血管の拡張、収縮から生じる末梢抵抗の増減によく反応すると考えられます。

● 加速度脈波の不安定性は？

血管の加齢現象を加速度脈波 (APG) 波形で判断する時には、このAPG特性がマイナスにもはたらく可能性があります。しかし、こういった種類の不安定性があるからといって、加齢評価するのに信頼性が乏しいというわけではありません。測定条件を守って、安静時に慎重に波形を記録するならば、私たちはその記録波形に明らかな血管老化の影響を観察することができます。加速度脈波は、加齢以外の生理的条件変化による影響を念頭においてその波形を観察するならば、血管老化を観察するツールとしてその意義は大きいのです。





3 血管の老化度をチェックする —血管老化スコア法—

加齢波形を定量化する :Waveform index [1] & [2]

●波形による血管老化度診断の前提条件

これまでの研究によって、加速度脈波が血管の老化度を表すことができることは明らかです。つまり、器質的・機能的な動脈系のコンプライアンスの変化によって波形が変化するので、この波形を合理的に評価できれば、波形による血管の老化度診断または動脈硬化度診断が可能です。

しかし、加速度脈波の標準波形は、器械の種類、すなわち光源、フィルター、波形よみとり方式、信号処理などの条件の違いによって微妙に異なります。また加齢によって変化してゆくので、生理的变化と病的変化の判別も難しくなります。波形に男女差もみられます。このように器械、測定環境、年齢などによって異なる波形を評価するには、どのような条件にも適応できるような共通の波形評価法を策定しなければなりません。すなわち、加齢波形を定量化するための基準作成が必要です。

●従来の加齢波形定量化の試みは？

加齢波形を定量化する試みは、これまでもなされてきました。

波形計測には各波高比である b/a , c/a , d/a , e/a を用いることが定着しています。

波形全体を評価する方法としてAPG indexが用いられたこともありました。特定の人を数回測定した場合でも、変動幅が大きくて、一定の評価が難しかったのです。これは c/a の変動が激しいためで、このパラメータの意義についてもいまだ明確な説明はできていません。



●新しい複合波形パラメータとは？

そこで、加速度脈波の波形評価の共通基準として、2種類の複合波形パラメータを提案しています。

まず波形定量化のために、波形の基線からそれぞれの要素波の頂上までの距離を測り、a波頂点への距離aを分母として、b波、c波、d波あるいはe波頂点までの距離b, c, d, eを分子として、b/a, c/a, d/a, e/a比を求めます。a波頂点からe波頂点までをa-e間隔と呼びます。b/a, c/a and d/aという単一のパラメータから、複合パラメータであるWaveform index [1] (波形指数Ⅰ)とWaveform index [2] (波形指数Ⅱ)を作成します。

Waveform index [1]は式 $[d/a-b/a]$ から得られ、Waveform index [2]は式 $[c/a-b/a]$ から得られます。

加齢波形を定量化できないか

- b/a, c/a, d/a, e/a
- b/a 血管壁弾力性を反映か
- d/a 末梢血管抵抗を反映か

新しいAPG parameterの提案

- Waveform index [1]
 $d/a-b/a$
- Waveform index [2]
 $c/a-b/a$

a b/a, c/a, d/a, e/a

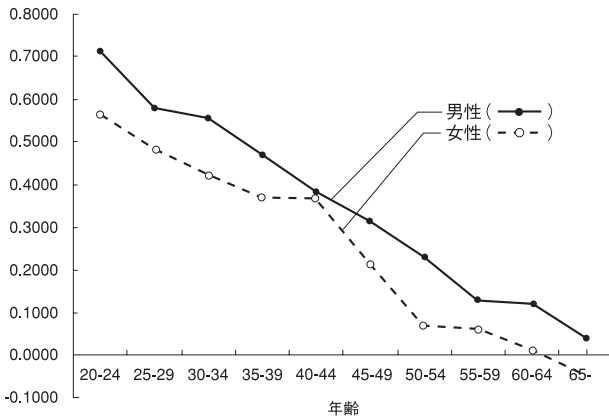
●新パラメータで加齢波形を定量化してみよう

この新しい波形パラメータを用いて、波形を定量化し、それぞれの年齢別の平均値をとります。男女別に、20歳から80歳までを5歳毎に層化します。

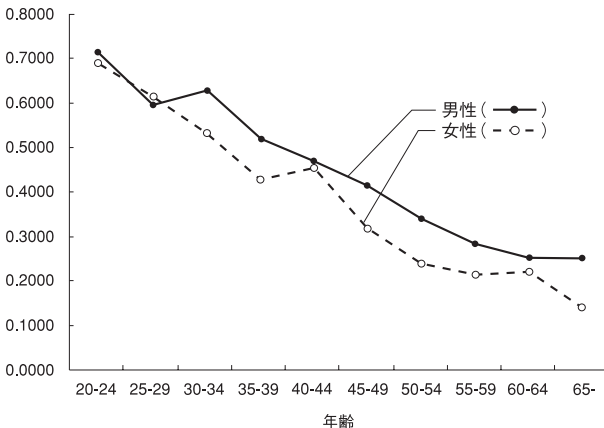
図のように、男女ともに、加齢が進むにつれ、Waveform index [1] と Waveform index [2] は、値が小さくなります。

Waveform index [1] と、Waveform index [2] の加齢変化

Waveform index [1]



Waveform index [2]





血管老化偏差値(スコア)を求める

●血管老化偏差値(スコア)の算出方法は？

Waveform indexの年齢別偏差値をとれば、生活年齢(実年齢)に対して血管年齢ともいうべきものが得られることになります。この偏差値を血管老化偏差値(スコア)と呼ぶことにします。血管老化偏差値(スコア)を求めるためには、各年齢層における脈波波形からWaveform index [1]の平均値と標準偏差を求めておきます。被測定者の脈波波形のWaveform index [1]を求めて、次式に従って、血管老化偏差値(スコア) [1]を算出します。

$$* \text{血管老化偏差値 (スコア) [1]} = \frac{[\text{X1の平均値}] - [\text{X1の記録値}] * 10 + 50}{[\text{X1の標準偏差}]}$$

ただしX1=d/a-b/a (Waveform index [1])

血管老化偏差値(スコア) [2]の場合も同じです。

$$\left(* \text{血管老化偏差値 (スコア) [2]} = \frac{[\text{X2の平均値}] - [\text{X2の記録値}] * 10 + 50}{[\text{X2の標準偏差}]} \right)$$

ただしX2=c/a-b/a (Waveform index [2])

得られた血管老化偏差値(スコア)が、血管の老化度、つまり各年齢層における相対的な動脈壁の硬化度および機能的緊張度を表すことになります。

動脈硬化の進行（動脈硬化リスク）予測

●血管老化偏差値（スコア）と他の検査所見を比べよう

血管老化偏差値（スコア）によって動脈硬化の進行をどれくらい予測することができるでしょうか。それを見るために、ここでは動脈硬化に関する他の検査所見との関連性を考察します。

対象人数は1,544人（男性950人、女性594人）

950 Men

	N	Mean	SD
Age		49.7	13.2
Height		168.4	6.3
Weight		65.2	9.4
BMI		23.0	2.9
Body fat (%)		20.2	4.5
SBP		124	18
DBP		77	12
Heart rate		62	9
			594

954 Women

	N	Mean	SD
Age		46.9	13.0
Height		155.9	5.9
Weight		53.0	7.6
BMI		21.8	2.9
Body fat (%)		26.6	5.1
SBP		122	18
DBP		74	11
Heart rate		65	8

研究:対象 N=1,544

Waveform indexの
年齢別偏差値を
血管老化偏差値と呼ぶ
Aging score method

そこで

- ・大動脈弓突出
- ・高血圧
- ・眼底動脈硬化



これらの検査結果との
関係は？



●大動脈弓突出所見と比較すれば？

■大動脈弓突出所見（胸部写真）との関連

対象について、大動脈弓突出所見とハイスコアとの関係を多変量解析で示した分析結果です。血管老化偏差値（スコア）[1]および[2]の、どの組み合わせが最も大動脈弓突出所見と関連するかを検討したものです。これによると血管老化偏差値（スコア）[1]だけが低い場合に、最も高い関連性が見られます。オッズ比は約2倍です。

胸部写真 左第一弓突出所見あり

	[score 1] (+): 血管老化偏差値(スコア) [1] >=60		[score 2] (+): 血管老化偏差値(スコア) [2] >=60	
	B	SE	Odds ratio	p-value
Sex (1 : men; 2 : women)	-0.660	0.137	0.517	P<0.01
Combination of the two scores				
[score 1] / [score 2] : (-) / (-)			1.000	
[score 1] / [score 2] : (-) / (+)	0.104	0.248	0.902	n.s.
[score 1] / [score 2] : (+) / (-)	0.638	0.210	1.894	p<0.01
[score 1] / [score 2] : (+) / (+)	0.132	0.249	1.142	n.s.
Constant	-1.178	0.085	0.308	p<0.01

多重ロジスティック分析

● 高血圧所見と比較すれば？

■ 高血圧所見との関連

対象について、高血圧所見とハイスコアとの関係を示した分析結果です。血管老化偏差値（スコア）[1] および [2] の、どの組み合わせが最も高血圧所見と関連するかを検討したものです。この場合、血管老化偏差値（スコア）[1]と血管老化偏差値（スコア）[2]が両方ともハイスコアであるときよりも、血管老化偏差値（スコア）[1]が単独で高い場合に、高い関連性が見られます。オッズ比は約4倍です。

血圧異常あり:SBP140以上またはDBP90以上

[score 1] (+): 血管老化偏差値 (スコア) [1] >=60	[score 2] (+): 血管老化偏差値 (スコア) [2] >=60		Odds ratio	p-value
	B	SE		
Sex (1 : men; 2 : women)	-0.618	0.168	0.539	P<0.01
Combination of the two scores				
[score 1] / [score 2] : (-) / (-)			1.000	
[score 1] / [score 2] : (-) / (+)	0.443	0.273	1.558	n.s.
[score 1] / [score 2] : (+) / (-)	1.372	0.231	3.940	p<0.01
[score 1] / [score 2] : (+) / (+)	0.726	0.281	2.046	p<0.05
Constant	-1.401	0.109	0.183	p<0.01

多重ロジスティック分析



●眼底動脈硬化所見と比較すれば？

■眼底動脈硬化所見との関連

対象について、眼底動脈硬化所見とハイスコアとの関係を示した分析結果です。同様に、血管老化偏差値(スコア) [1] および [2] の、どの組み合わせが最も眼底動脈硬化所見と関連するかを検討したものです。やはり、血管老化偏差値(スコア) [1] と血管老化偏差値(スコア) [2] が両方ともハイスコアであるときよりも、血管老化偏差値(スコア) [1] が単独で高い場合に、高い関連性が見られます。オッズ比は約3.5倍です。

眼底動脈硬化所見あり:Scheie,Keith-Wagner

	[score 1] (+): 血管老化偏差値(スコア) [1] >=60		[score 2] (+): 血管老化偏差値(スコア) [2] >=60	
	B	SE	Odds ratio	p-value
Sex (1 : men; 2 : women)	-0.868	0.140	0.420	P<0.01
Combination of the two scores				
[score 1] / [score 2] : (-)/(-)			1.000	
[score 1] / [score 2] : (-)/(+)	0.277	0.234	1.319	n.s.
[score 1] / [score 2] : (+)/(-)	1.259	0.218	3.522	p<0.01
[score 1] / [score 2] : (+)/(+)	0.995	0.242	2.704	p<0.01
Constant	-0.834	0.086	0.434	p<0.01

多重ロジスティック分析

●血管老化偏差値(スコア)が示す動脈硬化リスクは?

これらの結果をまとめますと、血管老化偏差値(スコア) [1]も[2]も、他の動脈硬化に関する検査結果と深く関連していますが、血管老化偏差値(スコア) [1]が単独高値を示す場合、とくに関連性が高いといえます。

APG検査で血管老化偏差値(スコア) [1]が高いと判定された場合には、大動脈硬化リスクは約2倍、高血圧リスクは約4倍、眼底動脈硬化リスクは約3.5倍です。

これらを検討した結果、血管老化スコア法によるAPG波形評価は、血管老化の進行をよく予測できるという結論に至りました。

結果のまとめ

・血管老化偏差値(スコア) [1] 単独で60以上の場合

- 大動脈硬化リスク 1.9倍
- 高血圧リスク 3.9倍
- 眼底動脈硬化リスク 3.5倍

・血管老化偏差値(スコア) [1]と血管老化偏差値(スコア) [2]の両方が60以上の場合

- 高血圧リスク 2.0倍
- 眼底動脈硬化リスク 2.7倍

提 案

- ・スコア法によるAPG波形評価は他の動脈硬化関連検査の結果とよく関連し、血管老化度(動脈壁弾力性)を予測できるので、新しい健康指標としてこれを提案する
- ・ただし、血管老化偏差値(スコア) [1]を用いた方が血管老化偏差値(スコア) [2]を用いるより血管老化度を予測しやすい

第43回日本人間ドック学会 2002年



健康指標としての血管老化偏差値(スコア)評価

●新しい健康指標で血管老化度を見よう

加速度脈波測定に基づく血管老化スコア法により、血管老化すなわち動脈硬化の進行の度合いを把握できます。血管老化度(動脈壁弾力性)を予測することが、加速度脈波を新しい健康指標として用いることを可能にします。

その際、血管老化偏差値(スコア)を7段階の偏差値に分けてランク付けし、それぞれ評価基準を示すことによって、わかりやすい健康指標の目安として、診断や予防に役立てることができます。

血管老化偏差値(スコア)の評価案 ランク4が普通です

ランク	血管老化偏差値	評価
ランク7	70点以上	老化進行度が早く、血管弾力性が平均よりも著しく低下している
ランク6	70点未満 65点以上	老化進行度が早く、血管弾力性が平均よりも非常に低下している
ランク5	65点未満 60点以上	老化進行度が早く、血管弾力性が平均よりもやや低下している
ランク4	60点未満 40点以上	年齢に応じた普通の血管弾力性である
ランク3	40点未満 35点以上	老化進行度は遅く、血管が平均よりもやや弾力性に富んでいる
ランク2	35点未満 20点以上	老化進行度は遅く、血管が平均よりも非常に弾力性に富んでいる
ランク1	20点未満	老化進行度は遅く、血管が平均よりも著しく弾力性に富んでいる

ランク5以上は原疾患や生活習慣上の原因をさぐる





著者 高田晴子

医学博士 岐阜大学医学部卒
内科 予防医学
認定産業医
日本加速度脈波研究会主宰

参考文献

- 1) 吉村正治: 脈波判読の実際. 中外医学社 東京 1968: pp1-7,
- 2) Millasseau S C et al: Noninvasive Assessment of the digital volume pulse comparison with the peripheral pressure pulse. Hypertension 2000, December: 952-956.
- 3) 西尾豊: 指尖容積脈波の微分波形について. 脈波 1973, 3 (2): 127-130.
- 4) 向平淳ら: 高血圧者における指基細動脈の壁特性. 日本臨床生理誌 1994, 24 (2): 101-113.
- 5) 佐野祐司ら: 加速度脈波による血液循環の評価とその応用. 労働科学 1985, 61 (3): 129-143.
- 6) 川本篤彦ら: 指先容積脈波のデジタル信号処理二次微分波に関する検討. 日本臨床生理誌 1992, 22: 183-189.
- 7) 川本篤彦ら: デジタル信号処理二次微分指先容積脈波による循環胴体評価に関する研究. 奈良医誌 1992, 43: 136-149.
- 8) 高田晴子ら: 加速度脈波の4種類の波形型を特徴づける要因の検討. 日本臨床生理誌 1996, 26 (4): 245-252.
- 9) 鷺野嘉映、高田晴子ら: 加速度脈波に及ぼすニトログリセリン負荷、寒冷負荷及び起立負荷の影響. 日本臨床生理誌 1996, 26 (3): 271-279.
- 10) Takada H et al: Acceleration plethysmography to evaluate aging effect in cardiovascular system. Med. Prog. Technol. 1997, 21: 205-210.
- 11) 高田晴子ら: 加速度脈波による末梢血行動態の評価: ニコチン摂取と無酸素運動の影響. 日本臨床生理誌 1998, 28 (5): 257-265.
- 12) Takada H et al: The relative vascular age derived from acceleration plethysmogram: A new attempt. Jpn. J. Appl. Physiol. 1998, 28: 115-21.

- 13) 高田晴子ら: 加速度脈波と血管年齢. 教育医学 1998, 44: 353-359.
- 14) 鷺野嘉映、高田晴子ら: 加速度脈波の成分波とa-e間隔の変動. 日本臨床生理誌 2000, 30 (1): 27-34.
- 15) 高田晴子ら: 加速度脈波の波形再現性:血管年齢評価法策定のための基礎情報として. 教育医学: 2001, 47 (2): 171-179.
- 16) Yoko Aiba et al: Peripheral hemodynamics evaluated by acceleration plethysmography in workers exposed to lead: Indust. Health 1999, 37:3-8.
- 17) Takada H: Proposal of Aging Score Method by Acceleration Plethysmograph. 日本総合健診医誌 2002, 29 (5): 23-29.
- 18) 高田晴子ら: 加速度脈波・血管老化指数で判断する糖尿病患者の治療効果 第44回日本糖尿病学会抄録 (2001.4)
- 19) 高田晴子ら: The evaluation method for vascular aging by acceleration plethysmography: 第9回日・韓健康教育シンポジウム抄録 (2001.8)
- 20) 高田晴子ら: 加速度脈波・血管老化スコアの健康指標としての妥当性の検討. 第43回日本人間ドック学会抄 (2002. 8)

U-Medica Inc.