

原 著

血管弾性が指尖脈波波形に及ぼす影響 —— 電気回路によるシミュレーションの結果から ——

宮地元彦 小野寺昇

川崎医療福祉大学 医療技術学部 健康体育学科

(平成4年10月31日受理)

Effect of Changes in Arterial Compliance on Finger Plethysmogram.

Motohiko MIYACHI and Sho ONODERA

Department of Health and Sports Sciences

Faculty of Medical Professions

Kawasaki University of Medical Welfare

Kurashiki, 701-01, Japan

(Accepted Oct. 31, 1992)

Key words : finger plethysmogram, arterial compliance, electric circuit

Abstract

We constructed an electric circuit based on the vascular system and performed a simulation to investigate the effect of arterial compliance on the finger plethysmogram. Some little waves (dicrotic waves) were observed on the peak of the large wave in the case of high arterial compliance. The wave form was similar to the plethysmogram of young endurance athletes. However, the dicrotic waves were not observed due to simulating arteriosclerosis. It was similar to the plethysmogram of elderly subjects. These results suggest that the degree of arterial compliance reflects the dicrotic wave form in the plethysmograms.

要 約

血管弾性が指尖脈波波形に及ぼす影響を明らかにすることを本研究の目的とした。動脈管系を模した電気回路を作成し、末梢動脈血管系の弾性を変化させたときの脈波波形の変化をシミュレーションした。その結果、動脈系の弾性が高い場合には末梢の脈波波形頂上付近に波打ち（弾性反動）が顕著に現われるが、動脈の弾性が低下し動脈硬化のような状態になると弾性反動が見られなくなることが明らかになった。長距離走者の実際の容積脈波は血管弾性が大きな状態をシミュレートしたときの出力波形と類似していたおり、また非鍛練者の波

形は血管弾性を減少させたときの出力波形に類似していた。これらの結果から、指尖脈波の頂上付近の波打ち（弾性反動）の程度で動脈系の弾性を評価できる可能性が示唆された。

目 的

指尖脈波波形を末梢循環の状態を知るための指標として用いようという試みが多く行われてきた(1~10)。しかし、これらの先行研究では、実際に脈波波形が末梢血流状態あるいは血管の弾性といった末梢循環状態を反映しているか否かについては、十分な生理学的、基礎的な検討がなされていなかった。

我々は先行研究において(11)、指尖速度脈波波形が末梢動脈血流速度波形と極めて良く類似していることを明らかにし、指尖脈波が末梢動脈血流の状態を良く反映していることを示唆した。しかし、指尖脈波で末梢循環を評価するためには、生理学的な理論に準じた脈波波形の定量方法を確立する必要がある。そこで本研究では、動脈の弾性のような血管系の特性が指尖で観察される脈波波形にどのように反映されるのかを明らかにすることを目的とした。

方 法

本研究では2つの実験を行なった。実験1として、生体の動脈系をシミュレートした電気回路を用いて、動脈の弾性の変化が末梢での血流動態にどのような影響を与えるのかを調べた。実験2として、長期にわたり循環器系のトレーニングを行ってきた一流長距離走者と非鍛練者の脈波の特徴が実験1のシミュレーションの結果とどのように一致するかを調べた。

実 験 1

先行研究(12)をもとに図1に示すような動脈系をシミュレートした電気回路を作成した。この回路は麻酔下で開胸した犬から得られたデータをもとに設計されたものである。図中のR1は動脈弓よりも頭部側の末梢抵抗を、R2は体躯側の末梢抵抗を表している。Lは全身の血液が移動する際の慣性を表している。C1は大動脈のような中心動脈系の弾性を、C2は比較的末梢の動脈系の弾性を表しており、それぞれの弾性はR3、R4の抵抗値を変えることによって

変化させることができる。FHは心臓からの駆出血流量信号で本実験では図1、2に示したような波形を回路に入力した。回路を通過した入力信号FHを末梢部Vで末梢血流量（末梢血管容積変化量）信号として記録、観察した。FHとVから出力された波形は、同時にペンオシロスコプ（日本電気三栄，8K-21-L8）で記録した。

今回の実験ではC1のコンダクタンスを固定し、C2のコンダクタンスを変化させたとき（すなわち末梢動脈血管系の弾性を変化させたとき）のVでの波形を観察した。

実 験 2

12名の一流長距離走者（年齢18~39歳，男性6名，女性6名）と9名の非鍛練者（年齢18~48歳，男性7名，女性2名）を被検者とした。被検者を仰臥位で数分間の安静に保った後，右手第2指指尖部の動脈に流入する血液容積の変化を光電透過式容積脈波計（松下産業機器，試作品）を用いて測定し，さらに得られた容積脈波を10msecの時定数で1回微分して速度脈波を測定した。容積脈波と速度脈波は同時にペンオシロスコプ（日本電気三栄，8K-21-L8）で記録した。

結 果

実 験 1

シミュレーションの結果を図2に示す。R4の抵抗を0Kとし、C2のコンダクタンスを最大にしたときには、Vでの出力波形が大きな山の頂点付近で波打っているのに対して、R4の抵抗を50Kに増加させ、C2のコンダクタンスを低下させると、Vでの出力波形の頂上部の波打ちが全く観察されなくなった。

実 験 2

31歳の一流長距離走者と、同じく31歳の非鍛練者の容積脈波と速度脈波を図3に示す。容積脈波における視覚的・定性的な両者の波形の主な相異点は、1) 波の頂点付近で見られる小さな波打ちが長距離走者の方が著しいこと、2)

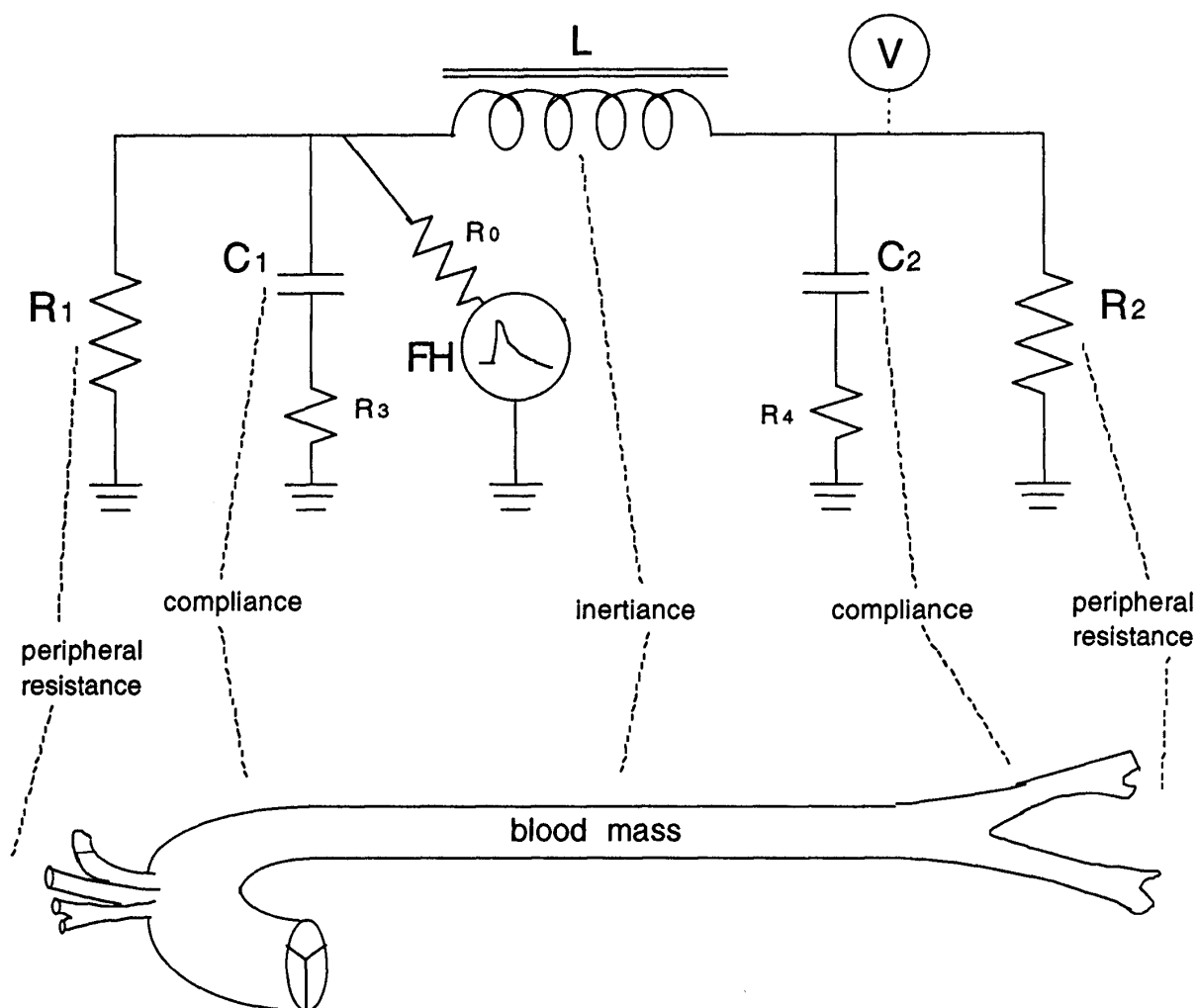


図1 動脈管系のシミュレーションモデル

動脈の弾性を変化させ、動脈硬化などをシミュレーションすることができる電気回路を作成した。今回の実験ではR4の抵抗すなわちC2のコンダクタンスを変化させたときに、末梢(V)での出力波形がそれに伴ってどのように変化するかを観察した。

波の頂点に達するまでの時間が長距離走者の方が短いこと、である。速度脈波においては、上向波の数が長距離走者の方が多いことである。図3の一流長距離走者では、速度脈波に3つの上向波が観察されており、12名の長距離走者のうち上向波が2つしかなかった被検者は1名のみであった。それに対して非鍛練者では、3つ以上の上向波が見られたのは1名のみで、残りの8名では上向波が2つしか観察されなかった。

図2の下段には22歳の長距離走者と48歳の非鍛練者の容積脈波を示した。長距離走者の脈波はC2のコンダクタンスが大きい状態での出力波形と類似していた。非鍛練者の波形はコンダ

クタンスを減少させたときの出力波形に類似していた。

考 察

C2のコンダクタンスを減少させると出力波形の頂上付近に見られた波打ちが消滅した。この回路でのシミュレーションの結果を生体に置き換えてみると、出力波形頂上付近の波打ちは心臓の大動脈弁が閉じた後にも動脈系の弾性反動によって末梢に送られる血流を表しており(13)、動脈系の弾性が高い場合には動脈系の弾性反動が末梢で観察されやすいが、動脈の弾性が低下し動脈硬化のような状態になると弾性反動が見

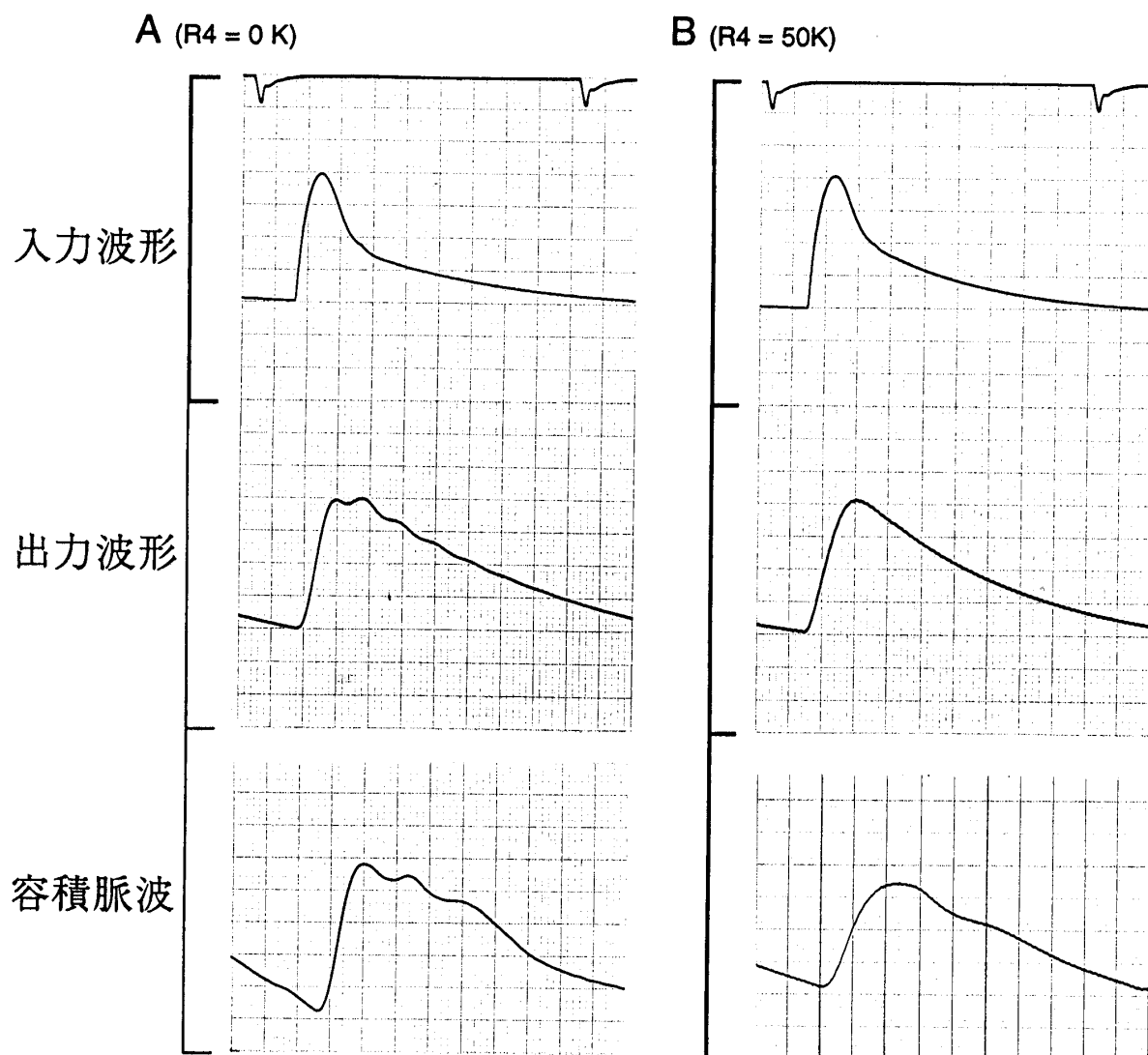


図2 電気回路によるシミュレーションの結果

AはR4の抵抗が0 Kの時（動脈弾性が高い状態）、BはR4の抵抗が50 Kの時（著しい動脈硬化の状態）の結果。上段は入力波形でAもBも同じであるが、中段の出力波形の頂上付近ではAは波状であるのに対してBはほとんど波打っていない。下段は実際の容積脈波で、Aは22歳の長距離走者の波形でBは48歳の非鍛練者の波形である。それぞれ、中段のシミュレーション波形と類似している。これらの結果から、波打ちの度合いが小さな脈波では動脈の弾性が低いと推測される。

られなくなるということを示唆している。したがって、末梢血流波形の弾性反動を調べることで、動脈の弾性を知ることが可能であると推測される。

我々は先行研究において、指尖脈波は末梢動脈血流プロファイルを極めて良く反映していることを明らかにした。さらに、図2に示したように、循環機能に優れ血管系の柔軟性も高いと推測される22歳の長距離走者の脈波はC2のコンダクタンスが大きい状態での出力波形と類似

しており、比較的動脈硬化が進行していると推測される48歳の非鍛練者の波形はコンダクタンスを減少させたときの出力波形に比較的類似していた。小沢らの報告(5)では、本研究でのコンダクタンスを減少させたときの出力波形のような、ほとんど弾性反動が見られない容積脈波（三角波、放物波）も観察されている。したがって、血流計などを用いて動脈血流量や血流速度を定量できなくても、指尖脈波の弾性反動を測定することにより、動脈硬化の程度を知ることが可

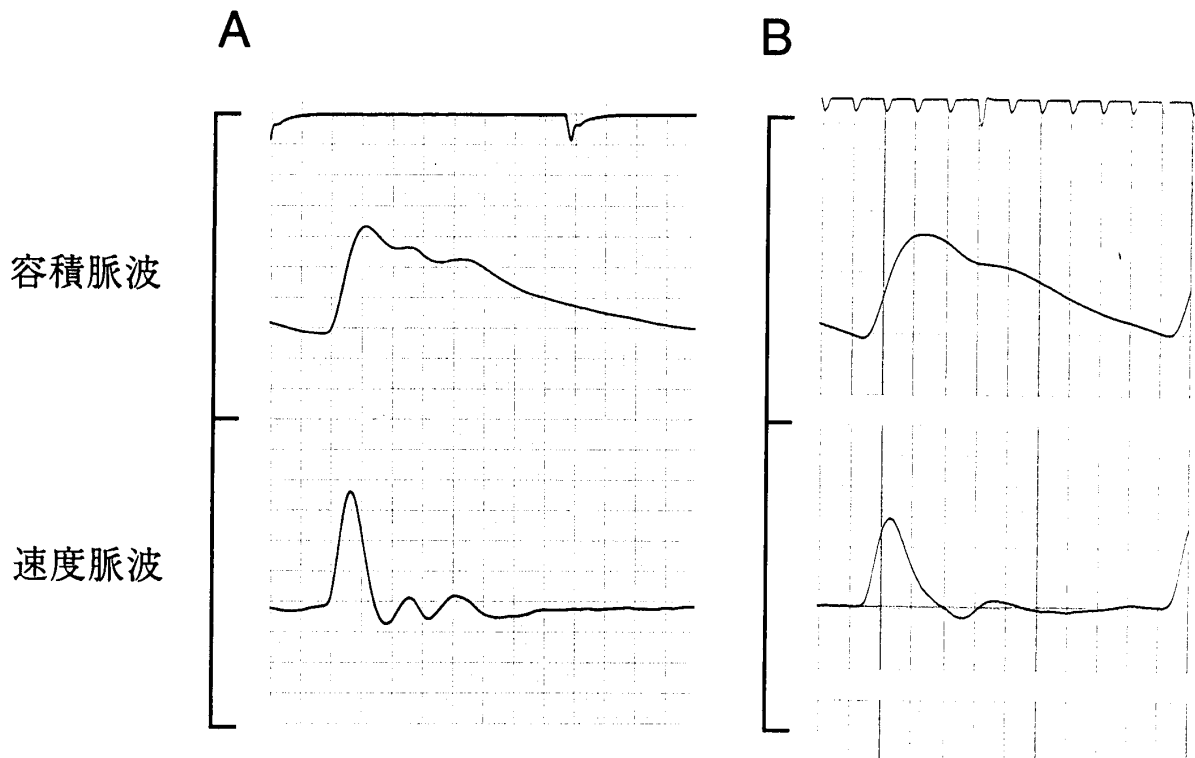


図3 長距離走者と非鍛練者の容積脈波と速度脈波

Aは31歳の長距離走者の指尖脈波, Bは31歳の非鍛練者の指尖脈波. 容積脈波でも速度脈波でも弾性反動は長距離走者の方が顕著である.

能であると考えられる.

長距離走者と非鍛練者の脈波を比較すると, 図3に顕著に見られるように, 同じ31歳の被検者でも長距離走者の容積脈波は弾性反動が著しい. 容積脈波を1回微分し速度脈波に変換すると, 弾性反動を上向波としてより明確に観察することができる. 12名の長距離走者のうち上向波が2つしかなかった被検者は1名のみであった. それに対して非鍛練者では, 3つ以上の上向波が見られたのは1名のみで, 残りの8名では上向波が2つしか観察されなかった. 長距離走者は非鍛練者に比較して優れた中枢・末梢循環機能を有しており, 動脈系の弾性も良好であるので, 脈波も弾性反動に富んだ波形を呈すると思われる. 長距離走者群では全ての被検者が毎日ほぼ同様のトレーニングを行ない, 循環機能にもばらつきが少ないと推測されるため, 18歳から39歳までの被検者に非鍛練者群に見られたように脈波波形の差が見られなかった. これ

らの結果は, 持久的トレーニングが動脈系に何らかの影響を与えていることを示唆している.

脈波を用いて循環動態を知るためには, 今後, 心臓や中心動脈系の特性の違いが脈波波形に及ぼす影響も検討する必要があると考えられる. また, 弾性反動の程度を定量する方法を決定することができれば, 動脈硬化の程度や身体トレーニングが血管に与える効果を知るための簡単かつ有力な指標となりうるので, その点に関してもさらに研究を進める必要がある.

ま と め

電気回路によるシミュレーションの結果, 指尖脈波の頂上付近の波打ち(弾性反動)の程度で動脈系の弾性を評価できる可能性が示唆された. 長距離走者では非鍛練者よりも弾性反動が明らかに顕著なことからこのことが支持された.

文 献

- 1) 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 (1985) 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.
- 2) 吉村正治 (1977) 脈波判読の実際 (第5版), 中外医学社, 東京.
- 3) 小沢禎治 (1973) 波高比も指尖容積脈波のパターン認識における微分脈波の意義. 現代医療, **6**, 845—856.
- 4) 小沢禎治 (1976) 微分容積脈波の定量化と非観血的手法による心機能諸指標との相関. 現代医療, **8**, 1388—1396.
- 5) 小沢禎治 (1978) 指尖容積脈波の二次微分波 (加速度脈波) のパターンと非観血的心機能計測値 (STI) との相関ならびに Preloading の影響. 脈波, **8**, 22—35.
- 6) 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 (1988) 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.
- 7) 関 博人 (1987) 加速度脈波について — 第一報. 日本女子衛生短期大学紀要, **7**, 13—22.
- 8) 関 博人 (1988) 加速度脈波について — 第二報. 日本女子衛生短期大学紀要, **8**, 1—7.
- 9) 西尾 豊 (1973) 指尖容積脈波の微分波形について. 脈波, **3**, 127—130.
- 10) 宮地元彦, 米谷正造, 木村一彦, 小野寺昇 (1991) 運動負荷が指尖脈波波形に及ぼす影響. 川崎医療福祉学会誌, **1**, 101—105.
- 11) 宮地元彦, 米谷正造, 木村一彦, 小野寺昇 (1992) 指尖速度脈波波形と末梢動脈血流動態との関係. 川崎医療福祉学会誌, **2**, 223—227.
- 12) Spencer MR and Denison AB (1973) Pulsatile blood flow in the vascular system. Handbook of Physiology, Circulation, Oxford University Press, pp 893—864.
- 13) 松田幸次郎, 市岡正道, 星 猛, 林 秀生, 菅野富夫, 中村嘉男, 佐藤昭夫 (1990) 医科生理学展望 (原書14版), 丸善株式会社, 東京, pp 529—549.