



# 血管剛性測定

基礎フェーズ

応用フェーズ

実用化フェーズ

特許5062809

広島大学 大学院先進理工系科学研究科 生体システム論研究室 辻 敏夫

ここに注目!! 非侵襲・リアルタイムに「血管のかたさ」を測定し不安や痛みを可視化

指先や手首に装着したデバイスで血圧と血管容積を測定し、リアルタイムに血管の硬さを定量評価できる世界初の技術。血圧や脈拍を測定できるウェアラブルデバイスで、ストレス、痛みなどを評価するデータを経時に取得可能。簡便に健康やメンタルヘルスに関する情報が得られる。

【用途】ヘルスケア用デバイス、診断機器、マーケティング・製品開発、リスク管理など。



辻 敏夫  
Toshio Tsuji

広島大学大学院先進理工系科学研究科教授。  
1985年広島大学大学院工学研究科博士課程  
前期修了。同年広島大学工学部助手。

1994年同助教授。2002年から教授。現在に  
至る。

研究領域は工学からヒューマンサイエンス  
にわたる学際的なもので、特にサイバネティ  
クス、医用電子工学、計算論的神経科学、生体  
感性モデリングに興味を持つ。これまでに  
IEEE Robotics and Automation SocietyのK.  
S. Fu Memorial Best Transactions Paper  
Award (2003)やグッドデザイン賞(2006)な  
ど52件の賞を受賞。また156編の国際学術雑  
誌論文、182編の国内学術雑誌論文、330編の  
国際会議論文を発表(2021年7月30日現在)。



「痛み」は病気の診断・治療を行ううえで非常に大切な情報ですが、痛みの強さは数値化したり客観的に評価することができません。この測定ツールは、痛みの数値化を実現しようとする取り組みから生まれました。鍵になるのは血管の硬さ(血管剛性)。痛みや不快な刺激を受けると自律神経の働きで末梢血管の壁(筋肉)が硬くなります。これは命を守るための反応で、痛みが大きいほど血管剛性の値が大きくなるため、痛みの指標として使えるのです。精神的なストレスによっても血管剛性に変化が出ることを確認しています。血管剛性の値は血圧と血流量から算出しますが、今、この2つのデータは非侵襲で簡単に得ることができます。スマートウォッチなどのウェアラブルデバイスに血管剛性測定機能を持たせることも可能で、プロトタイプの開発を進めています。痛みや不安の強さの定量評価は、痛みを伴う病気の診断・治療やメンタルヘルス分野で役立つだけでなく、社会の様々な場面で人びとが感じているストレスを測定し、誰もが生きやすい社会の実現に役立てることができるでしょう。また、加齢や生活習慣などによる血管剛性の変化を評価することで、動脈硬化など循環器系疾患の予防や早期治療が可能になることも期待されています。

## ネガティブ感性を測る



血管剛性を利用した感性計測 (イメージ図)



## 実用化レベル

指先や手首に、血圧および血流量の測定器を装着することで、リアルタイム評価（経時変化の評価）が可能です。計測から結果の表示までに要する時間は1秒以下。高性能な血圧計を用いれば1ミリ秒ごとの血管剛性値を取得することもできます。

## 活用シーン

- 健康管理、メンタルヘルス（うつ予防など）
- 痛みを伴う病気の診断・治療
- モニター評価（商品、サービス、動画、エンタメなど）
- 生産性の向上、技能の習得
- 介護、看護、教育

## 技術概要

血管の壁は心拍リズムにあわせて伸び縮みしています。血管が硬いときは伸びが小さいため血流量は少なくなり、逆に血管が柔らかいときは伸びが大きくなり血流量は増えます。つまり、血圧と血流量を同時に測ることができれば、その時点の血管の硬さは比較的簡単な計算式で算出することができます。血圧は1拍ごとに最高血圧から最低血圧まで変動しますが、最高と最低をつなぐ値も含めて連続的に測定する血圧計が市販されていますので、目的に応じた機能・精度を持つ血圧計を活用できます。血流量は測定する部位（指や手のひらなど）に、血液によく吸収される波長の光を当て、反対側に透過した光をフォトダイオードで検出することで測定できます。痛み刺激による血管剛性の変化については、fMRIで同時に脳活動を測定する実験も行っており、痛みを表す指標として使えることを確認しています。

### 必要機器

連続測定が可能な血圧計を腕に、プレチスモグラム（血流を測定）を指先に装着。取得したデータはノートパソコンなどで処理。血管剛性の値をリアルタイムで表示できます。

《ウェアラブル装置を開発中》血圧測定が可能な既存のスマートウォッチをベースに、血流測定機能を加えた装置の開発を進めています。スマートウォッチ単体での計算・表示も可能。24時間連続で測定しスマホやPCにデータを同期させ、健康管理に活用できます。

### 出力データ

血管剛性（血管のかたさ）を表す「標準化血管剛性」の値、 $\beta_{art}$ を出力します。

連続的な変化を測定したデータを、ほぼリアルタイムに出力。

高性能な血圧計を用いれば毎秒1000データを取得することも可能です。

《用途に応じた出力》測定器と同様に、用途に応じたデータ取得・可視化・出力を行うシステムの開発が可能です。

### 測定方法

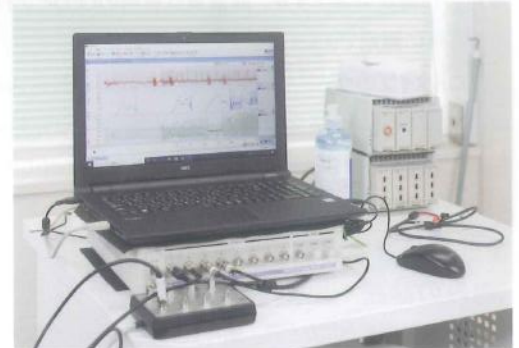
キャリブレーションなどを行うことなく装着後すぐに測定を行えます。ただし、被検者によっては、計測に臨む緊張や身体活動による血圧や心拍の変化が落ち着くまでの時間を要することがあります。

### 推奨したい他ツールとの統合解析

- 感性メーター
- 顔カメラ・顔血流心拍
- 顔表情認識解析



実験室で使用する高精度血圧計

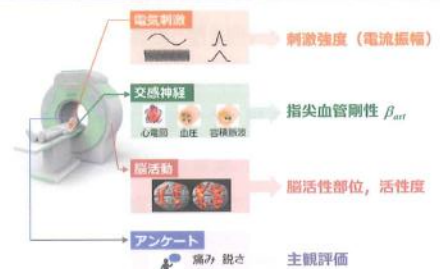


血管剛性のリアルタイム計測



血圧計での計測画面

### fMRI環境下における疼痛評価実験



fMRIとの同時計測・主観評価により指標としての正確性を確認

### 疼痛評価応用 (4倍速再生)



実験イメージ

## 社会実装に向けた取り組み

### ●ウェアラブルデバイスのプロトタイプを開発中

ウェアラブルデバイスを健康管理や生活習慣改善のツールとして使う人が増えてきました。心拍や活動量に加えて体温や血中酸素濃度、さらに体脂肪率まで計測可能だと謳う製品も登場しています。

このような流れを受けて、血管剛性を継続的に測定できるウェアラブルデバイスの開発を進めています。手首で正確に血圧を測るためには最新の技術が必要ですが、血流量は専用のLEDとフォトダイオードを使えば容易に測定できます。

プロトタイプウェアラブルデバイスを数十～数百人のモニターに常時装着してもらい、精度や機能性の検証を行うと同時に、健康な人たちの日常のデータを収集して、血管剛性測定技術の今後の応用に活かしていきたいと考えています。

### ●医療分野での応用も検討中

#### [痛みの診断・治療への活用]

診断・治療をおこなう際、痛みの強さやその増減が重要な情報となる病気は少なくありません。これまで痛みを客観的に測ることができなかったのが、辛抱強い人が痛みを我慢した結果、治療が遅れることもありました。血管剛性を測定することで、痛みを数値化し診断や治療の判断材料として活用できるようになります。

#### [麻酔やペインクリニックで]

血管剛性測定の研究は、麻酔科医から「痛みを測りたい」という相談を受けたことがきっかけで始まりました。痛みをとまなう慢性疾患の治療や終末医療で重要となる「痛みのコントロール」は麻酔科医が担っています。これに、血管剛性測定によって得られた情報が役立ちます。もちろん、痛みを伴う処置で麻酔を行う際にも、血管剛性の値が活用できるはずです。

#### [動脈硬化の予防にも活用可能]

血管内皮細胞（血管内側を覆う細胞）は血管の健康を維持するための物質を放出しています。この血管内皮機能が衰えると動脈硬化が進展したり、血液に関わる様々な病気に繋がります。動脈硬化が起きた血管は元に戻りませんが、血管内皮機能は改善することができます。血管剛性を継続的に測定することで血管内皮機能の衰えを早期に見できれば、予防医療に大きく貢献することが可能です。

## 今後の応用可能性

### STEP 1 健康とストレスをモニタリング

血管剛性測定機能を持つウェアラブルデバイスを装着することで、継続的にストレスの有無や血管の健康度をモニタリングすることができます。

#### [平常時の血管の硬さを知る]

健康でリラックスしている時の血管の硬さ、日々の変動幅などについてデータを予め収集していると、何らかの病気を発症した時に痛みやス



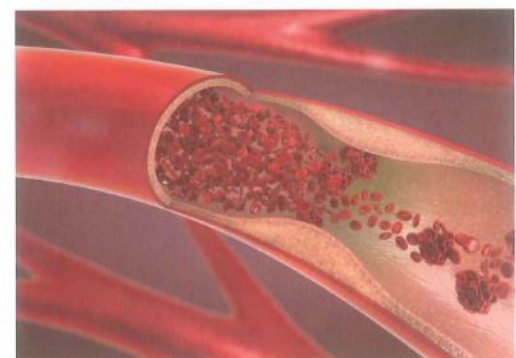
ウェアラブルデバイス (イメージphoto)



痛みの強さやその増減は重要な情報です (イメージphoto)。



医療現場での活用 (イメージphoto)



動脈硬化の予防 (イメージphoto)



日常生活の中でも測定可能 (イメージphoto)

ストレスの度合いを正確に評価することができます。

### [ストレスの有無を知る]

ストレスや緊張状態も痛みと同様に血管を硬くします。血管剛性を測定し緊張状態が長く続いていると判断した場合に気分転換を奨めるなどして、仕事や勉強の効率をあげたり、運転中のトラブルを防ぐ効果が期待できます。

### [年齢による血管の衰えを知る]

数年にわたって血管剛性を測定しつづけることで、内皮機能の低下など血管の衰えを発見できます。生活習慣の改善や健診を提案して予防医療に貢献できます。

## STEP 2 製品や職場への不満を探る

製品やサービス、あるいは職場などの環境に対する不満やストレスの有無を測定して、商品・サービスの開発や環境改善に役立てることができます。

### [商品やサービスの評価に]

商品やサービスを使う時のストレス度を測定することで、満足度の高い商品・サービスを開発することができます。第一印象ではなく、実際に使用したり体験したりするなかで、いつ、どんな場面でストレスや緊張を感じているかをリアルタイムに評価できるため、きめ細やかな改善が可能になります。

### [職場のリスク管理・合理化に]

製造業などの現場で継続的に血管剛性を測定することで、職場に潜むリスクや改善点を見いだすことができます。どんな職場にも、働いている人たちが意識していない、あるいは大きな問題とは考えていないけれど、使いにくい場所や装置、危険を感じる場面などがあります。

血管剛性測定によって、スタッフがストレスや緊張を感じている場面を抽出し改善することで、職場の安全、効率、快適性を高めることができます。

## STEP 3 Big Dataで未来を拓く

心身の健康状態を知るために血管剛性の値を測定するのは、これまでになかったアイデアです。24時間、継続的に測定した場合にどのようなデータが得られるのか、やってみないとわかりません。痛みや不安以外にも、様々な刺激に対する反応を測定できると考えていますが、まだまだ研究途上です。つまり、このデータの活用方法は未知数です。ウェアラブルデバイスの開発が進んだ暁には、利用者の同意を得て匿名化したデータを収集したBigDataが構築されることが望ましいと考えています。

様々な病気の予防、診断、治療に役立つのはもちろん、人びとの生活のあらゆる場面で、ストレスや不安、リスクを軽減し、よりよい社会をつくるのに役立つことを期待しています。



ストレスの有無を察知、気分転換や休憩を奨めます(イメージphoto)。



日常のちょっとしたストレスも可視化(イメージphoto)



職場のメンタルヘルス危機対策に(イメージphoto)。

◆論文1/掲載雑誌:Scientific Reports、タイトル:Quantitative Evaluation of Pain during Electrocutaneous Stimulation using a Log-Linearized Peripheral Arterial Viscoelastic Model、著者:Hiroki Matsubara, Hiroki Hirano, Harutoyo Hirano, Zu Soh, Ryuji Nakamura, Noboru Saeki, Masashi Kawamoto, Masao Yoshizumi, Atsuo Yoshino, Takafumi Sasaoka, Shigeto Yamawaki, and Toshio Tsuji

◆論文2/掲載雑誌:Scientific Reports、タイトル:Peripheral Arterial Stiffness During Electrocutaneous Stimulation is Positively Correlated with Pain-related Brain Activity and Subjective Pain Intensity: An fMRI Study、著者:Toshio Tsuji, Fumiya Arikuni, Takafumi Sasaoka, Shin Suyama, Takashi Akiyoshi, Zu Soh, Harutoyo Hirano, Ryuji Nakamura, Noboru Saeki, Masashi Kawamoto, Masao Yoshizumi, Atsuo Yoshino, and Shigeto Yamawaki