

モバイル端末を用いた手根管症候群患者 スクリーニングアプリケーション

鳥海 まどか^{1,a)} 渡辺 拓郎¹ 佐々木 亨² 藤田 浩二² 杉浦 裕太^{1,b)}

概要: 手根管症候群は、手指の痺れや母指の運動機能障害を引き起こす疾患である。母指の運動機能に障害が生じた場合、ペンや箸を握る、服のボタンをかけるといった日常生活に不可欠な動作に支障をきたす。本研究ではスマートフォンを用いたゲームアプリケーションを開発し、ゲーム中の親指の動きから手根管症候群のスクリーニングを行うシステムを実装した。本システムを用いて実際に手根管症候群患者と健常者の分類精度評価実験を行ったところ、平均精度は86%となった。

キーワード: SDGs, 生活支援, 医療

1. はじめに

手根管症候群は、加齢や手の使い過ぎにより手関節部における正中神経が圧迫されることで発症する末梢神経障害で、中高年に好発する疾患である。症状としては母指から環指にかけての痺れや母指の根元にある筋肉（母指球筋）の委縮が挙げられる。母指球筋の委縮は母指の運動機能障害を引き起こすため、ペンや箸を握る、服のボタンをかけるといった日常生活に不可欠な動作に支障をきたす。治療法としてビタミン剤や消炎鎮痛剤の服用、手根管内ステロイド注射といった保存療法が行われるが、重度の症状が表れている場合には手術が必要となる。日本における手根管症候群の有病率については未調査だが、ヨーロッパにおける有病率は約2~4%とされており、日本でも同様に相当数の患者がいると推定されている [1]。また、高齢者が増加している日本では今後も患者の増加が見込まれる。

現在の手根管症候群の検査方法としては、皮膚に電気刺激を与えて筋肉や神経の反応速度を求める神経伝導速度検査が使用されている。一方で、検査機器が高価であることや検査に約1時間と長い時間がかかること、検査の際に患者が痛みを感じる事が難点である。また、手根管症候群の診断には整形外科医の中でも手外科専門医が望ましいとされるが、その人数は整形外科医 19350名 [2] に対して 972名 [3] と少ない。よって、手外科専門医が在籍してお



図 1 システムの外観

らず、神経伝導速度検査のような高価な設備を導入できない小規模の病院では医師の主観的評価に大きく依存している。また、手根管症候群の患者に対して医師や病院の数が不足していること、地域によっては医療機関へのアクセスが良くないことから、患者が十分な診察を受けられない可能性もある。

そこで本研究では、スマートフォンを用いた手根管症候群患者スクリーニングアプリケーションを提案する (図 1)。安価で広く普及しているスマートフォンを使用することで、容易に導入でき客観的なスクリーニング環境を構築することが可能となる。

2. 関連研究

2.1 手根管症候群の診断方法

神経伝導速度検査に代わる検査方法として、超音波検

¹ 慶應義塾大学

² 東京医科歯科大学

^{a)} madoka-toriumi@keio.jp

^{b)} sugiura@keio.jp

査が研究されている。Kuo ら [4] は手首の神経の運動量を超音波画像から確認し、手根管症候群の診断を行った。Fowler ら [5] は超音波検査と神経伝導速度検査の精度を比較し、感度がともに 91%，特異度がそれぞれ 94%，83%であったことから、神経伝導速度検査は必要ではないとしている。超音波検査では、患者が痛みを伴わないという利点がある。しかし中道 [6] は、超音波検査では正中神経の認識が難しい部分の腫大を見逃しやすいため、腫大が偏在している位置を考慮した上で超音波検査を行う必要があると述べている。また、超音波検査は神経伝導速度検査ほどではないものの依然として設備が高価という課題がある。

その他の手根管症候群の評価方法として Perfect O Sign が挙げられる。患者は母指と示指で正円が作れず、健常者と比較して潰れたような形になることが知られている。白須ら [7] は Perfect O Sign をカメラで撮影し、示指と母指で囲まれた部分の面積を求めて定量評価を行った。結果として、術前の観察と比べ術後は面積が平均 1.38 倍増加したことを確認した。また、Baic ら [8] はサーモグラフィを用いて患者の手の温度分布を計測した。患者の術前と術後の手の温度分布には違いがあり、術後の手の温度分布は健常な手の温度分布と類似していることが確認された。

2.2 モバイル端末を用いた診断

近年、モバイル端末に内蔵されているカメラや各種センサは小型化、高性能化が進み、ユーザの状態を計測できるようになった。そこで既存のモバイル端末を身体情報の取得や疾患の診断に用いる研究が行われている。Wang ら [9] は、スマートフォンに内蔵されたセンサを使った血圧測定技術 Seismo を開発した。Mathew ら [10] は、スマートフォンのカメラを用いて心拍数を計測し、既存の心電計との精度比較を行った。実験の結果、スマートフォンによる心拍数の計測は心電計に劣らず実用的であることを示した。Kim ら [11] は、スマートフォンにマルチスペクトル画像を撮影できるアタッチメントを装着し、皮膚病変を定量的に診断するシステムを開発した。マルチスペクトル画像は人間の目で見ることでできない不可視光線の波長も画像として記録できるため、皮膚病変の診断に重要な皮膚の色情報を正確に観察できる。

既存のモバイル端末を用いた手根管症候群のスクリーニングとしては、当研究グループの渡辺ら [12] によるタブレットを用いた診断アプリケーションが挙げられる。このシステムの平均精度は 83%であった。しかし手根管症候群の患者は中高年以上の年代に多いとされているが、40 代以上のタブレットの使用率は約 4 割 [13] (図 2) とされており、導入が容易でないことが課題である。

そこで本研究では、スマートフォンを用いた手根管症候群患者スクリーニングアプリケーションを提案する。スマートフォンの使用率は 40 代以上で約 7 割 [13] (図 2) と

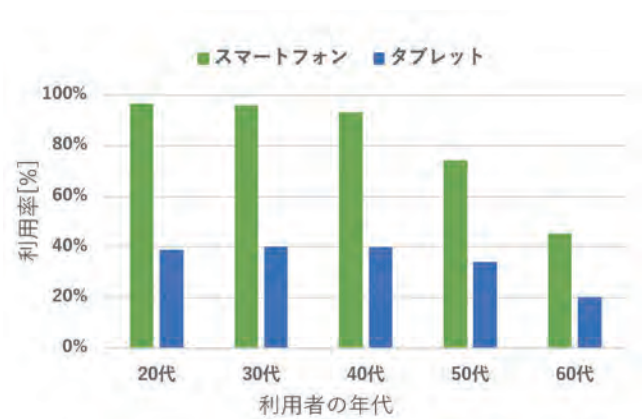


図 2 スマートフォンとタブレットの年代別利用率

されており、各家庭や小規模の病院だけでなく、自覚のない手根管症候群患者がいる可能性が高い老人ホームや工場での定期健診など、医師のいない環境でも導入が容易かつ客観的なスクリーニングを提供できると考えられる。

3. スクリーニングアプリケーション

本研究では、母指でゲームを行いプレイ中の母指の動きを記録するアプリケーションを開発した。手根管症候群の患者は母指の運動機能障害が起こることから、健常者と患者では母指の動きに違いがあると考えられる。システム全体の流れを図 3 に示す。

3.1 ハードウェア

ハードウェアの外観を図 4 に示す。スマートフォンは HUAWEI P10 lite (Android7.0) を使用し、アプリケーションの開発には Unity を使用した。また、アプリケーションを使用する際に手の位置をスマートフォンに固定するためのパーツを開発し、スマートフォン背面に取り付けた。パーツは 3D プリンターを用いて出力した基板に結束バンドを通して作成した。結束バンドの長さを調整することで被験者の指の太さに対応することが可能となる。

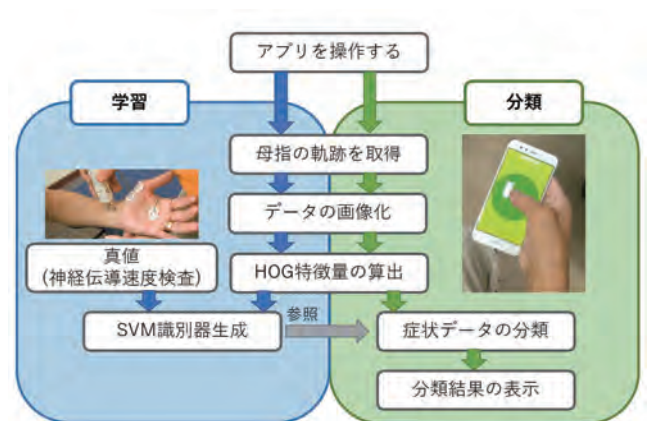


図 3 システムの流れ

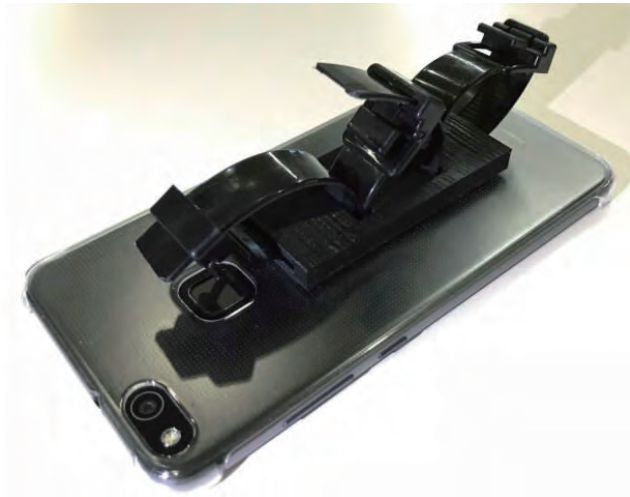


図 4 手を固定するためのパーツ

3.2 アプリケーションデザイン

本研究は中高年以上を対象とすることから、単純な操作でプレイできるゲームアプリケーションを実装した。ゲームの内容は、母指をスマートフォンの画面上で滑らせることでウサギのキャラクタを操作し、画面に出現する野菜を回収するというものである。野菜はランダムな順番で半径 2cm の円に沿って 12 方向に出現する。野菜が出現してから 5 秒以内に回収できなかった場合、その野菜は消えて別の方向に野菜が出現する。また、毎回各方向に野菜が出現する前に画面中央に野菜が出現するため、ユーザは中央と各方向の野菜を交互に回収することになる。ゲームを開始すると練習としてランダムに 4 方向に野菜が出現する。続けて 12 方向に野菜が出現するフェーズを 2 周行うとゲーム終了となる。

アプリケーションではゲーム中の母指の座標を 0.1 秒ごとに記録している。中央の野菜を回収してからある方向の野菜を回収して再び中央の野菜を回収するまでを 1 方向の軌跡として、ゲーム終了後 12 方向 × 2 周分のデータをまとめてサーバへ送信する。サーバにはクラウドサービス (Amazon Web Service) を使用し、取得したデータをデータベースに格納している。

3.3 データからの特徴量算出

取得した座標値から、画面中央までの距離を求め輝度値に変換する。この時、距離として取りうる範囲である 0~2cm を輝度値 0~255 にマッピングしている。次に縦軸を各方向、横軸を時間として求めた輝度値を並べて濃淡画像を生成する。右手、左手それぞれでアプリを操作した際の、画面内と画像中の各方向の対応を図 5 に示す。1 周目と 2 周目の画像を縦につなげて 1 人分のデータとした。生成した画像から Histogram of Oriented Gradients 特徴量 (以下 HOG 特徴量) を算出する。HOG 特徴量は画像内の局所領域での輝度勾配をヒストグラム化したものである。

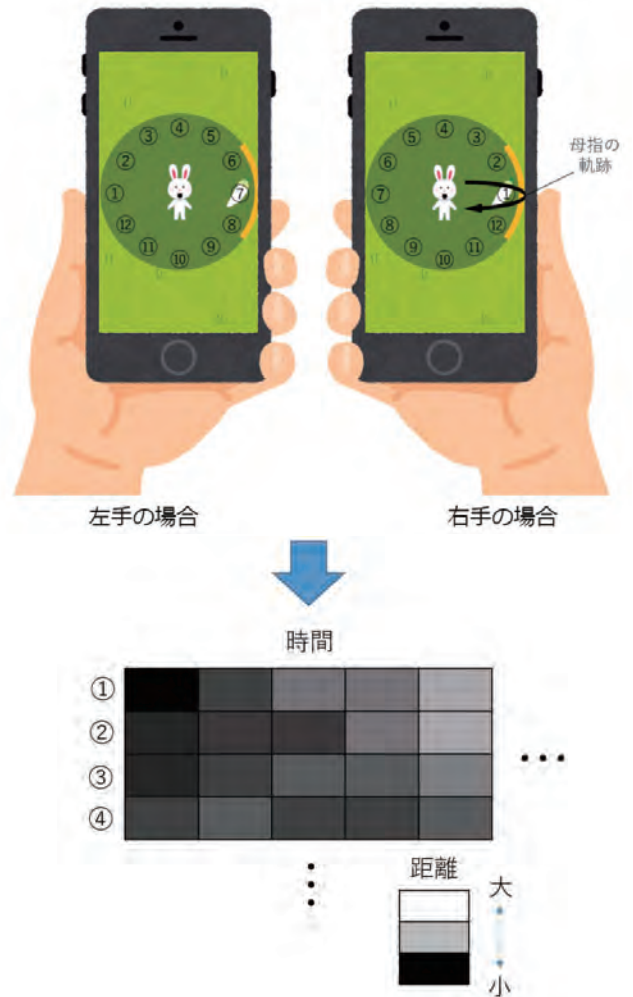


図 5 取得したデータからの画像生成

3.4 スクリーニング

算出した HOG 特徴量を用いて、健常者と患者の分類を行う。真値として従来の手根管症候群の検査方法である神経伝導速度検査を使用した。また、分類には機械学習の手法の一つであるサポートベクターマシン (以下 SVM) を利用した。SVM は他クラスと最も近い位置にあるデータ (サポートベクトル) を基準とし、クラス間を分割する面とサポートベクトルとのマージンが最大となる位置に識別面を設定することで分類を行う。

4. 実験

4.1 実験概要

本システムを東京医科歯科大学病院と都内の整骨院で使用し、患者と健常者のデータを収集した。東京医科歯科大学病院では医師の立ち合いのもと実験を行った。整骨院では現場スタッフの許可を得て、手に痛みや痺れの無い来院者のデータを健常者として収集した。実験参加者の中には、片手のみデータを収集した者と両手のデータを収集した者がいた。収集したデータ数は健常者、患者あわせて 55 個となった。

表 1 実験条件

参加者	健常者 27 手 (平均年齢 66.0 歳, 標準偏差 16.2 歳) 患者 28 手 (平均年齢 66.2 歳, 標準偏差 12.6 歳)
実験時期	2018 年 7 月~2019 年 5 月
実験場所	健常者: 都内整骨院 患者: 東京医科歯科大学病院
評価方法	Leave-One-Out 交差検証

実験では参加者にアプリケーションを操作してもらい、各方向の操作にかかった時間と母指の平均速度、最大速度を求めた。次に取得したデータについて学習を行い、健常者と患者の分類を行った。また、1人あたりゲームを2周行っているため、周ごとの分類精度を比較した。学習時には参加者自身の手のデータが含まれないようにした。よって、片手のデータを収集した参加者を分類する際の学習データは54個、両手のデータを収集した参加者を分類する際の学習データは53個となる。実験条件を表1に示す。

4.2 実験結果

各方向の操作にかかった時間と母指の平均速度、最大速度の中央値を図6に示す。患者は健常者と比較すると手元から遠い方向6~9で回収に時間がかかり、どの方向でも平均速度、最大速度ともに遅かった。

健常者と患者の分類精度を図7に示す。健常者の分類精度は93%、患者の分類精度は79%となり、平均分類精度は

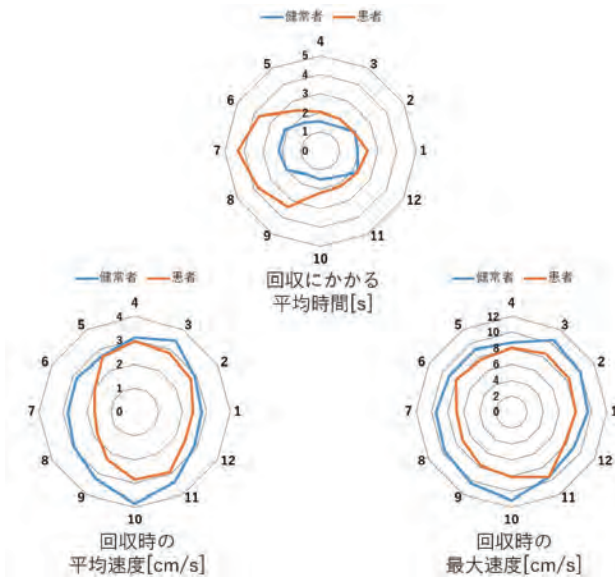


図 6 健常者と患者の比較

	健常者	患者
真値	健常者 25	患者 2
	患者 6	患者 22

図 7 精度評価実験結果

	健常者	患者
真値	健常者 19	患者 8
	患者 10	患者 18

1日目

	健常者	患者
真値	健常者 23	患者 4
	患者 4	患者 24

2日目

図 8 周ごとの精度評価実験結果

86%であった。

また、1日目、2日目それぞれのデータのみを用いて分類した結果を図8に示す。1日目の平均分類精度は67%、2日目の平均分類精度は85%であった。

4.3 考察

医師によると手元から遠い部分は患者が苦手とする母指対立運動に近い動作になっており、本システムの操作でその特徴が出ていることが分かった。しかし、健常者であっても手が小さいため手元から遠い部分の操作に苦戦していた者や、症状が軽度の患者は正しいスクリーニング結果が出ない傾向があった。また、患者を健常者と分類してしまう理由として、患者は母指を動かすににくいため、代わりに腕や肩を使って操作する代償運動が発生していることが考えられる。そのため、代償運動が発生しにくい姿勢を定め、アプリケーションを操作する際に提示する必要がある。

また、2日目のデータを用いた分類精度は、1日目のデータを用いた分類精度よりも高くなっていった。この理由として操作に慣れてからのデータに違いが出ていることが考えられる。実験参加者の中にはスマートフォンを所有していない者もいたため、操作に慣れてもらうための練習フェーズを設けていたが、その時間では不十分であった。一方、今回の実験データには含まれていないが、重症患者の中には疲労からゲームを2周プレイできない者もいたため、今後、練習時間の設定は慎重に行う必要がある。

5. 課題と今後の展望

現状のシステムでは参加者の手の大きさが考慮されていないため、計測前に個々に応じて母指を動かす範囲を設定する必要がある。また、今回手を固定するためにスマートフォン背面のパーツを開発した。パーツ自体は安価なため、スマートフォンとパーツを併せて配布することで小規模の病院への導入は容易だが、各家庭への普及を考えた場合、既に家庭で所有しているスマートフォンと市販のスマート

フォン用落下防止グッズなどを用いてスクリーニングを行うことが望ましい。

今回の実験では健常者と患者の分類を行ったが、今後は患者の中でも軽症患者と重症患者といった症状レベルの分類を予定している。また、リハビリテーションシステムとして患者に配布し、使用してもらうことを検討している。現在、家庭での手根管症候群のリハビリは、良く手を動かすように、といった漠然とした指示しかされておらず、実際に家庭でどの程度リハビリが行われているか医師が把握できていない現状がある。本システムを使用することで、医師が遠隔で患者のリハビリの結果や頻度を把握できると考えられる。

6. まとめ

本研究では、モバイル端末を用いた手根管症候群患者スクリーニングアプリケーションを開発した。このシステムは安価で広く普及しているスマートフォンを用いることで、医師のいない環境でも安価かつ客観的な診断環境を提供することを目的としている。母指の動きを計測するゲームアプリケーションと診断システムを実装し、手を固定するための背面バンドを開発した。その後、本システムを実際に健常者と患者に使用してもらい、計測した母指の動きからスクリーニングを行ったところ、分類精度は平均 86% となった。今後は症状レベルの分類や、リハビリテーションシステムとしての提案を行う。

謝辞 本研究は JST PRESTO JPMJPR17J4 の支援を受けたものです。また、本研究の実験に協力して下さったサジマ整骨院の現場スタッフの皆様、来院者の方々に感謝致します。

参考文献

- [1] 日本神経治療学会：標準的神経治療:手根管症候群, 情報処理学会論文誌, pp. 65-84 (2008).
- [2] 日本整形外科学会：専門医をさがす|公益社団法人日本整形外科学会, 日本整形外科学会 (オンライン), 入手先 (https://www.joa.or.jp/search_doctor.html) (参照 2019-07-05).
- [3] 日本手外科学会：学会について|一般社団法人日本手外科学会, 日本手外科学会 (オンライン), 入手先 (<http://www.jssh.or.jp/ippan/senmon/senmoni-meibo.html>) (参照 2019-07-05).
- [4] Tai-Tzung Kuo, Ming-Ru Lee, Y.-Y. L. J.-P. C. Y.-W. H. C.-K. Y.: Assessment of median nerve mobility by ultrasound dynamic imaging for diagnosing carpal tunnel syndrome, *PLoS One*. (2016).
- [5] John R. Fowler, William Cipolli, T. H.: A Comparison of Three Diagnostic Tests for Carpal Tunnel Syndrome Using Latent Class Analysis, *The Journal of Bone and Joint Surgery*, pp. 1958-1961 (2015).
- [6] 中道健一：手根管症候群の超音波診断, 神経筋疾患の超音波診断 (2013).
- [7] 白須幹啓, 岡島誠一郎, 小田良, 平沢泰介, 勝見泰和：母指対立障害における perfect O sign の定量的解析, 日本手の外科学会雑誌 (2002).
- [8] Agnieszka Baic, Teresa Kasprzyk, M. R. A. S. K. S.-K. S. W. M. A. C.: Can we use thermal imaging to evaluate the effects of carpal tunnel syndrome surgical decompression?, *Medicine* (2017).
- [9] Edward Jay Wang, Junyi Zhu, M. J. T.-J. L.-E. S. L. N. and Patel, S. N.: Seismo: Blood Pressure Monitoring using Built-in Smartphone Accelerometer and Camera, *In Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, (online), DOI: <https://doi.org/10.1145/3173574.3173999>.
- [10] Mathew J. Gregoski, Martina Mueller, A. V. A. S. B. B. J. R. M. F. S. M. S. F. A. T.: Development and Validation of a Smartphone Heart Rate Acquisition Application for Health Promotion and Wellness Telehealth Applications, *International Journal of Telemedicine and Applications* (2012).
- [11] Sewoong Kim, Dongrae Cho, J. K. M. K. S. Y. J. E. J. M. J. D. H. L. B. L. D. L. F. J. Y. H.: Smartphone-based multispectral imaging: system development and potential for mobile skin diagnosis, *Biomedical Optics Express* (2016).
- [12] 藤田浩二, 渡辺拓郎, 杉浦裕太, 黒岩智之, 二村昭元, 大川淳：手根管症候群診断アプリの開発, 日本整形外科学会雑誌 (2019).
- [13] 総務省：平成 29 年情報通信メディアの利用時間と情報行動に関する調査報告書, 総務省 (オンライン), 入手先 (http://www.soumu.go.jp/main_content/000564530.pdf) (参照 2019-07-05).