

## 手指運動機能の評価に基づく手根管症候群スクリーニング

## A Screening Method for Carpal Tunnel Syndrome Based on the Evaluation of Finger Dexterity

松井 良太<sup>†</sup> 小山 恭史<sup>‡</sup> 藤田 浩二<sup>‡</sup> 杉浦 裕太<sup>†</sup>

Ryota Matsui Takafumi Koyama Koji Fujita Yuta Sugiura

## 1. はじめに

脇から掌にかけて通っている正中神経は、手首付近の部位で、骨と靭帯からなるトンネル状の手根管によって覆われている。手根管症候群 (CTS) は、ホルモンバランスの変化や手の酷使等、何らかの原因によって手根管が狭まり、正中神経の圧迫にともなう機能低下が引き起こされる疾患である。具体的な症状として、手指の痺れや運動障害等がある<sup>[1]</sup>。

CTS の診断にあたっては、電気的刺激の伝わりやすさを測定する神経伝導速度検査がしばしば実施される。また、CTS の症状を簡易に発見するスクリーニング手法として、手根管の周囲を軽く叩いた際の痛みを調べる Tinel 徴候や、手首を掌側に強く曲げて痺れの増強を調べる Phalen テスト等が知られている<sup>[1]</sup>。他方で Sasaki らは、CTS 症状の新たな特徴として、手指で握る動作の素早さが健常者と比べて低下する傾向を示した<sup>[2]</sup>。

本研究では、画像処理や機械学習等を用い、手指動作の運動機能の評価することで、CTS をスクリーニングする手法を提案する。手指を動かす様子を撮影した映像より抽出した、動きの素早さを表現する特徴量を、患者と健常者の 2 クラスに分類する。専用の検査装置と、医師らによる判断のいずれも必要としない手軽な手法として、早期の診断や治療に貢献することを目指す。

## 2. 手法

## 2.1 手指運動の撮影

手指運動の撮影環境として、机の上に置かれたスマートフォンのフロントカメラを用いる。撮影された映像をディスプレイで確認でき、手指が撮影範囲から外れることを防ぐ利点がある。ユーザは手指と掌の全体が映るよう、カメラの直上に片手を構える (図 1a)。

ユーザは構えた側の手指をできるだけ高速に開閉し、その様子を 30 fps のフレームレートで撮影する。この動きは、手指の細かい動きが障害される頸髄症のスクリーニング手法である 10 秒テストで用いられている<sup>[3]</sup>。本研究では、CTS 症状の特徴も手指の開閉運動に現れるとの仮説を立て、10 秒テストの手法を採用した。

## 2.2 データ処理

撮影した映像から特徴量を抽出するため、動画フレームごとに手指の骨格を推定する。Google が提供する画像処理モデルである MediaPipe Hands<sup>[4]</sup>を用い、手首および手指の特徴点 (計 21 点) の座標を推定する (図 1b)。各座標は画像の横 (x) 方向、縦 (y) 方向、奥行き (z) 方向からなる 3 次元座標で表現される。カメラと手指の位置関係による影響を抑えるため、原点を手首にオフセットしたのち、

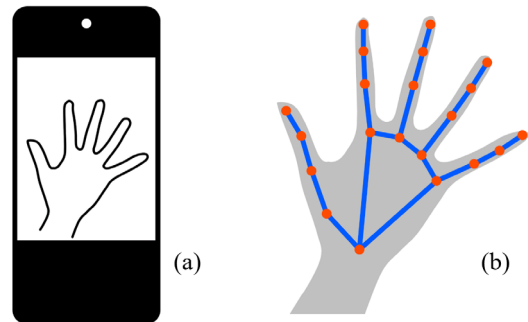


図 1 (a) スマートフォンを用いた手指運動の撮影  
(b) MediaPipe Hands<sup>[4]</sup>を用いた手指の骨格推定

x 成分および y 成分をそれぞれ、示指方向とその直交方向に回転させる。原点の手首を除いた 20 点の 3 次元座標で構成される、60 次元の時系列データを、以後の処理に用いる。

CTS 患者と健常者を区別しやすくするため、データを分類する前に、2 種類の前処理を施す。まず時間軸において、時系列データを 20 個のフレームに分割する。時間軸における各フレームの長さは 64 で固定し、不足する長さの部分はフレームを均等にオーバーラップさせることで補う。これにより、異なる撮影時間の映像から、統一された長さのフレームを取得する。もう一つの前処理として、20 個のフレームおよび 60 次元の特徴量それぞれがもつ 64 個の要素を、周波数成分に変換する。線形トレンドを除去し、窓関数 (ハン窓) を掛けたのち、高速フーリエ変換を用い、折り返し成分を除いた 32 個の振幅成分を取得する。この周波数成分は、手指運動の素早さを表現していると考えられる。

以上の前処理を通して得られる、 $32 \times 60 = 1,920$  の要素からなるフレームをそれぞれ、サポートベクタマシンを用いて患者、健常者の 2 クラスに分類する。なお、20 個のフレームはそれぞれ独立に分類されるため、一つの映像から 20 個の決定関数が得られる。最終的には、これらの平均により分類結果を定める。

## 3. 評価・議論

本研究では、CTS 患者と健常者の双方から手指運動の映像を収集し、交差検証により提案手法の性能を評価した。東京医科歯科大学病院において、患者 15 名および健常者 17 名の被検者 (表 1) による手指運動を、左右の手それぞれ撮影した。10 分割交差検証に基づき、学習データとテストデータに被検者単位で分割し、receiver operating characteristic (ROC) 曲線および 3 種類の評価指標 (感度、特異度、area under the curve (AUC)) を算出した。なお、CTS は片側の手でのみ発症することがあり、その場合は症状がある側の映像のみを用いた。よって、検証に用いた映像の数は、患者  $13 + 11 = 24$  本、健常者  $2 \times 17 = 34$  本である。

<sup>†</sup> 慶應義塾大学 Keio University

<sup>‡</sup> 東京医科歯科大学 Tokyo Medical and Dental University

表 1 被検者の属性情報

	手根管症候群	健常者
人数 (うち右手有症 /左手有症)	15 (13 / 11)	17
年齢 (平均)	64.9	62.8
年齢 (標準偏差)	12.5	13.4
性別 (男性/女性)	3 / 12	8 / 9
利き手 (右手/左手)	15 / 0	17 / 0

交差検証の結果として、ROC 曲線を図 2 に示す。また、感度、特異度、AUC はそれぞれ 79.2%、67.7%、0.787 となった。ここで、感度が特異度と比べて高いことや、ROC 曲線の傾きが大きいことから、健常者と比べて患者を正しく分類しやすい傾向が読み取れる。スクリーニングは一般的に、確定診断の前段階として、疾患の疑いがある人を簡易な手法で発見し、さらなる検査等に繋げる目的で実施される。そのため、スクリーニングにおいては患者をすり抜けさせないことが重要であるといえるが、この点は前述の傾向と合致していると考えられる。

#### 4. おわりに

本研究では、手指運動の様子を撮影した映像を用いた CTS のスクリーニング手法を提案した。交差検証の結果は、感度 79.2%、特異度 67.7% であった。今後はスマートフォン用のアプリケーションとして提案手法を組み込む等、医療従事者やユーザ自身が実際に利用できるようなシステムへの拡張を進める。また、取得した特徴量にみられる患者と健常者の違い等を詳細に解析することで、CTS 症状の特徴に関する新たな知見の獲得に貢献することを目指す。

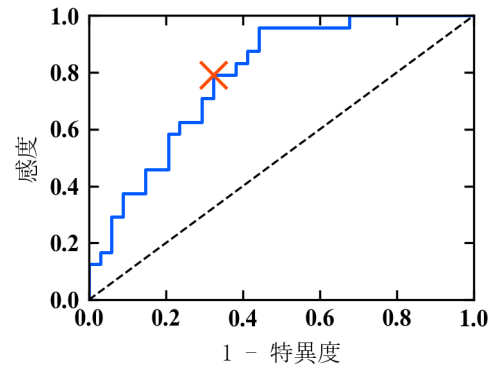


図 2 Receiver operating characteristic 曲線

#### 謝辞

本研究は、JST さきがけ (課題番号: JPMJPR2134) の支援を受けたものである。また、本原稿の執筆にあたり、医学的知見に関するアドバイスをいただいた塚本和矢氏に感謝する。

#### 参考文献

- [1] “手根管症候群”, 手外科診療ハンドブック, 斎藤英彦, 吉津孝衛, 牧裕ほか編, 改訂第 2 版, pp.304-306 (2014).
- [2] Sasaki T., Makino K., Nimura A. et al., “Assessment of grip-motion characteristics in carpal tunnel syndrome patients using a novel finger grip dynamometer system”, Journal of orthopaedic surgery and research, Vol.15, 245 (2020).
- [3] Ono K., Ebara S., Fuji T. et al., “Myelopathy hand. New clinical signs of cervical cord damage”, The journal of bone and joint surgery, British volume, Vol.69-B, No.2, pp.215-219 (1987).
- [4] Zhang F., Bazarevsky V., Vakunov A. et al., “MediaPipe Hands: on-device real-time hand tracking”, CVPR workshop on computer vision for augmented and virtual reality (2020).