

一般口演

一般口演20

医療データ分析 8（生体情報）

2018年11月25日(日) 09:00 ～ 10:30 G会場 (5F 504+505)

[4-G-1-3] 指先動作解析に基づく手指巧緻運動の評価手法について

○大井川 仁美¹, 梅田 智広² (1.奈良県立医科大学大学院医学研究科, 2.奈良県立医科大学産学官連携推進センター/MBT研究所)

【背景】健康寿命の延伸が掲げられる日本にとって、日ごろからの健康意識の醸成は重要な課題である。そのため、医療機関の受診に限らず、自宅などで生体情報や身体活動を計測し、その解析結果から健康状態を評価する研究に注目が集まっている。しかし、日常生活動作に不可欠と考えられる手指の巧緻運動に関するデータの取得や解析・評価する研究の報告は少ない。そこで本研究では、ウェアラブルセンサを用いて指先動作を取得し、そのデータから手指巧緻運動の評価を行う手法について検討する。【方法】指先動作の取得のために、指先の3軸加速度および接触圧が計測可能なウェアラブルセンサとして HapLog（株式会社資生堂）を用いる。HapLogのサンプリング周波数は200Hz、加速度レンジ4Gであり、各指にセンサを装着することによって動作を計測する。計測対象の動作は、10秒間に可能な限り手を開閉させた回数によって手指巧緻運動障害を診断する、10秒テスト実施時のものとする。取得したデータに対して最大値・最小値などの特徴量の算出や周波数解析を行い、各指あるいは被験者間で解析結果を比較することによって手指巧緻運動の評価を行う。【結果と考察】10秒間中の加速度や接触圧の時系列変化データを解析し特徴抽出を行った結果、本来の10秒テストでは開閉回数20回を境に手指巧緻運動障害の有無を二分するのみであったが、各指で比較を行うことにより特定の指における動作の力強さや滑らかさの評価も可能であった。また、被験者間での比較により、手指巧緻運動と年齢に関係する評価が可能であることが分かった。そして、レーダーグラフなどを用いてこれらの評価をまとめることで、手指巧緻運動の評価を視覚的に表現し、評価の直感的な理解を促すことが可能であることが示唆された。以上より、本研究の手法は有用であると考えられる。

指先動作解析に基づく手指巧緻運動の評価手法について

大井川 仁美*1、梅田 智広*2

*1 奈良県立医科大学大学院医学研究科

*2 奈良県立医科大学産学官連携推進センター/MBT 研究所

The Evaluation of Hand Dexterity based on Fingertip Motion Analysis

Hitomi Oigawa*1, Tomohiro Umeda*2

*1 Graduate School of Medicine, Nara Medical University

*2 Center for Academic, Industrial and Governmental Relations, Institute of Medicine-Based Town,
Nara Medical University

Hand dexterity is important for extending healthy life expectancy. We examined a method to acquire fingertip motions using wearable sensors and evaluate hand dexterity. For getting fingertip motions, we used HapLog which measure three-axis acceleration and contact pressure of the fingertip. The object of motion was a 10-second test. The test is used to diagnose hand dexterity by counting the number of their hand closing as much as possible in 10 seconds. From the acquired data, we calculated the feature quantity: the maximum value, the minimum value, the average, the standard deviation, and the peak frequency. We compared the results between each finger or subject as evaluation. The results of analysis data about the feature quantity of acceleration and contact pressure, they are possible to evaluate the strength and smoothness of motion on a specific finger by comparing with each finger. By comparing between subjects, we found that it is possible to evaluate fingers movement and age-related evaluation. By summarizing these evaluations using radar graph, it was suggested that it is possible to visually express the evaluation of the finger movements and encourage the intuitive understanding of the evaluation.

Keywords: clumsiness, aging, quantitative assessment, wearable sensor

1. はじめに

超高齢社会である日本において、健康上の問題で日常生活が制限されることなく生活できる期間を示す健康寿命の延伸は大きな課題である。そのため、健康意識の醸成や健康維持あるいは疾病の早期発見を目的に、あらゆるデバイスを用いて生体情報や身体活動を取得し、健康状態を推定する研究が多く取り組まれている。

健康である状態を日常生活動作が制限されない状態と捉えると、手指の機能維持と状態把握は重要である。日常生活の食事や整容などにおいて、箸などの道具を扱う手指の細かな動き、すなわち巧緻運動は欠かせない。また、手指の巧緻運動機能の低下がアルツハイマー型認知症など認知機能の障害と関係があることも報告されており¹⁾、手指の定期的な状態把握が望まれる。しかし、手指の状態を把握する方法として、簡易上肢機能検査²⁾やPurdue pegboard test³⁾があるが、医療機関の受診が必要であり、個人で簡単に実施可能な方法は少ない。実施可能な一例として、手指の巧緻運動障害の評価法である10秒テスト⁴⁾が挙げられる。評価としては、10秒間に可能な限り早く実施した手指の開閉回数を数え上げ、20回以下であれば障害有りとする。一方、上肢の神経や筋肉、頸椎が支配する部分によって手指の各部分の動きは異なるため、回数上は正常でも各指の動きに着目すると異常がある場合は把握が困難である。そこで、ウェアラブルセンサを用いて何らかの手指の動作を取得・解析することにより、個人で一定の健康状態の把握を行う試みがある。例えば、親指と人差し指のタップ動作を計測し左右差から認知症をする研究⁵⁾や、手指の形、開閉度を取得可能な手袋型のウェアラブルデバイスの開発が関連研究として挙げられる。ただし、いずれも各指の巧緻性の評価は行われていない。筆者らはこれまでに、すべての指先に装着可能なウェアラブルセンサを利用し

て10秒テスト実施時の指先動作のデータ取得と解析を行うシステムの試作⁷⁾ならびに評価に関する検討⁸⁾をしており、開閉回数の算出に適した指先データの選択や開閉動作の評価に用いることが可能であると考えられる特徴抽出について報告している。しかし、特定の指先データにのみ着目した考察であるため、各指や被験者間における開閉動作の比較ができていないことが課題である。本研究では、手指の開閉時のすべての指先動作のデータを解析し、各指の特徴を用いて手指巧緻運動の評価を行う手法について検討する。

2. 方法

データを取得するウェアラブルセンサとして、接触力センサHapLog(株式会社資生堂およびカトーテック株式会社)を用いる⁹⁾。HapLogは、指先に装着するセンサと接続先である腕輪型のコネクタ、校正ユニットから構成される。センサは、指先の爪側にゴム製の覆いを密着させるように装着する。覆いは、指の大きさに合わせるためにサイズが5種類展開されている。覆い内部には、3軸加速度センサが搭載されており、覆い部分を上にした場合、左右の加速度はx軸加速度、前後の加速度はy軸加速度、上下の加速度はz軸加速度を示す。また、覆い自体もゴム部分の変形を捉えるセンサであり、指にかかる接触圧が計測される。コネクタには、1台につき最大で3本のセンサが接続可能であり、csv形式で取得されたデータには、使用したセンサ情報やx、y、z軸加速度と接触圧に加えx、y、z軸3方向全体の加速度を示す合成加速度が記録される。ここで、サンプリング周波数は200Hz、加速度レンジは4Gとする。

本研究では、左右片方ずつ手指の開閉時の5本の指先すべてのデータを取得するため、3本のセンサを接続したコネクタを2台利用して計測を行う⁷⁾。具体的には、各コネクタから1本ずつセンサを親指に装着し、他の指に1本ずつセンサを装着する。これは、2台間が非連動で計測を実施しており、計測

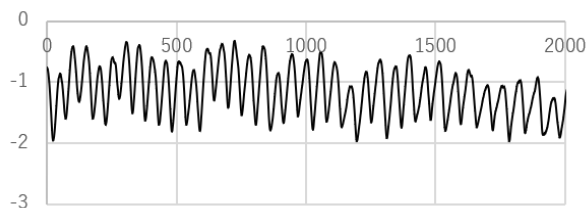


図 1 10 秒間の指のz軸加速度をプロットした例



図 2 HapLog を装着した状態

開始点にずれが生じるためである。したがって、親指に装着した各センサから取得された合成加速度の時系列データに着目し、4 秒間分それぞれのデータをずらしながら相互相関係数を比較し、値が最も 1 に近づいた点を計測開始点とする。そして、新たに設定された開始点をもとに各加速度や接触圧の 10 秒分のデータを切り出す。ただし、開閉開始は開閉が不安定であることが考えられるため、最初の 5 秒分は解析の対象としないこととする。そのため、データ開始点のずれを補正すること、また開始点から安定した開閉動作を取得することを目的に、データの計測と取得は 20 秒間分実施する。

以上より、取得した各データは、図 1 のような時系列変化を示すデータである。これらのデータに対し、特徴量の抽出と周波数解析を行う。特徴量抽出では、対象の時系列データ全体の最大値、最小値、平均値ならびに標準偏差を求める。一方、周波数解析では高速フーリエ変換によって、直行成分を除く、最も大きいパワーの周波数を算出する。手の開閉は、周期的に行われることが想定されるため、最大パワーを持つ周波数はその開閉周期を示すと考えられる⁹⁾。したがって、そのパワーを、直行成分を除く、すべてのパワー合計値で割ることによって、その開閉周期がどの程度特徴的に出現しているのかを算出する。

最後に、特徴抽出や周波数解析結果に対して全体、左右の手別、性別に平均を求め、本研究における指標とし、以下の比較を行う。

比較1. 各指別にまとめた x 、 y 、 z 軸加速度に関する値の比較ならびに被験者別の比較

比較2. x 、 y 、 z 軸加速度、合成加速度、接触圧、周波数解析それぞれの結果別にまとめた各指同士の値の比較ならびに被験者間の比較

比較3. 被験者の年齢に着目した各指あるいは解析結果別の比較

比較 1. では、取得データの値域が同じである x 、 y 、 z 軸加速度を比較し、開閉動作時の指先の 3 次元な特徴を抽出する。比較 2. では、各解析結果を各指別に比較することで各解析結果が示す特徴を抽出する。比較 3. に関しては、疫学調査を行った先行研究¹⁰⁾から、10 秒テストの開閉回数結果は、年齢とともに低下することが報告されている。そこで、具体的にどの要素が低下している可能性があるのか、あるいはその

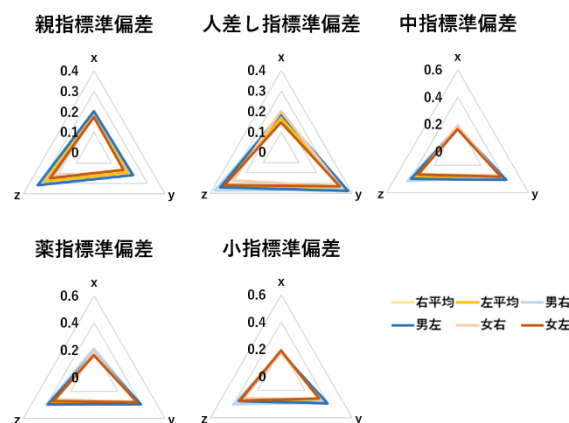


図 3 各指における各加速度の標準偏差の平均

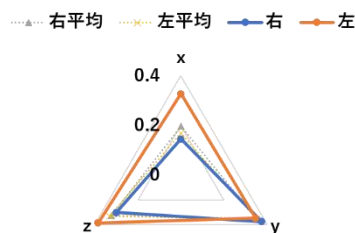


図 4 比較例: 人差し指における平均と被験者

特徴を捉えることが可能であるか検討する。

3. 結果

HapLog を装着した状態を図 2 に示す。被験者は、座位で手指を地面に向けて開いた状態で待機し、開始と同時に 20 秒間、可能な限り素早く手指を握る。試行は、左右の手指で行われる。上記の測定が行われた健常者 18 名 (平均年齢 40.8 ± 13.4 歳、男性 9 名、女性 9 名、右利き 17 名、左利き 1 名) のデータを対象に指先動作の解析と評価を実施する。比較 1. と比較 2. では、特徴量の中でも、動作のばらつきを示す標準偏差の結果について述べる。また比較 3. では、被験者の大半の利き手である右手に関する結果を示す。

比較 1. に関して、各指別にまとめた x 、 y 、 z 軸加速度の標準偏差に関して、左右あるいは男女別に平均を計算しレーダーグラフに表したものを図 3 に示す。男女別で平均をとると男性のほうが女性よりも値が大きい。また、各指におけるいずれの標準偏差の平均も同じ傾向を示しており、親指に関しては x 、 y 軸加速度のばらつきが小さく、そのほかの指に関しては x 軸のばらつきが小さい。また、これらの結果を用いて、ある男性被験者のデータを重ねた結果を図 4 に示す。右手よりも左手のほうがあらゆる方向にばらついており、全体平均に比べてもばらつきが大きい。

比較 2. に関して、それぞれの結果別にまとめた各指同士の標準偏差に関して、左右あるいは男女別に平均を計算しレーダーグラフに表したものを図 5 に示す。男女別で平均を算出すると比較 1. と同様に男性のほうが女性よりも値が大きい。各指でいずれの平均も同じ傾向を示しているが、合成加速度と y 軸加速度、 z 軸加速度に関しては親指の値が小さい。 x 軸加速度に関しては指ごとに差は無いが、レーダーグラフの値域が他の加速度に比べて小さい。接触圧に関しては、標準偏差自体にばらつきがあり、中指が著しく大きい。これらの結果に、ある女性被験者のデータを重ねた結果を図 6 に示す。右手と左手どちらも同じような開閉動作を行っていることがわか

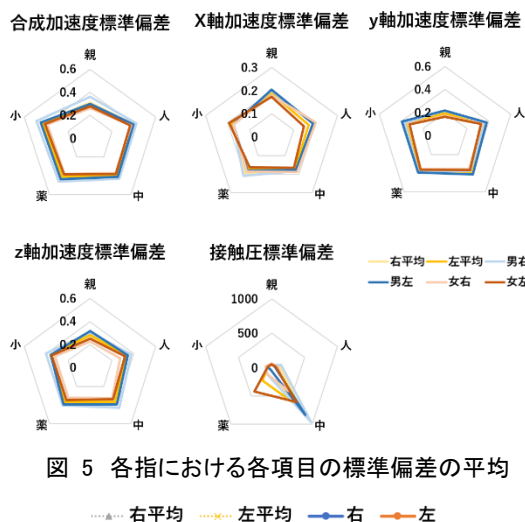


図 5 各指における各項目の標準偏差の平均

..... 右平均 左平均 —●— 右 —●— 左

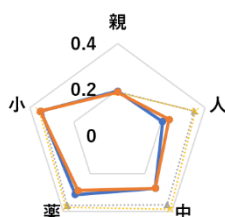


図 6 比較例:y 軸加速度における平均と被験者

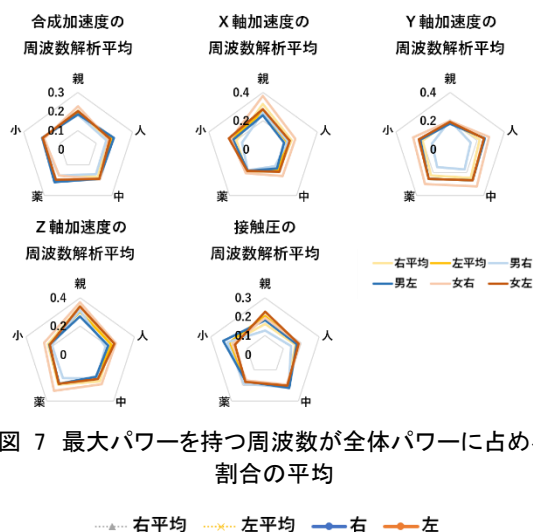


図 7 最大パワーを持つ周波数が全体パワーに占める割合の平均

..... 右平均 左平均 —●— 右 —●— 左

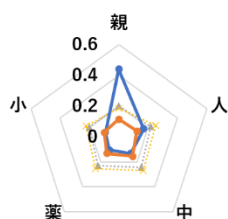


図 8 比較例:y 軸加速度における最大パワーが全体パワーに占める割合と被験者

るが、全体平均に比べてばらつきが少ない。

また、周波数解析で最大パワーを持っている周波数ピークが全体パワーに占める割合を算出し、左右あるいは男女別に平均を計算しレーダーグラフに表したものを図 7 に示す。男性に比べて女性における周波数ピークのパワーが占める割

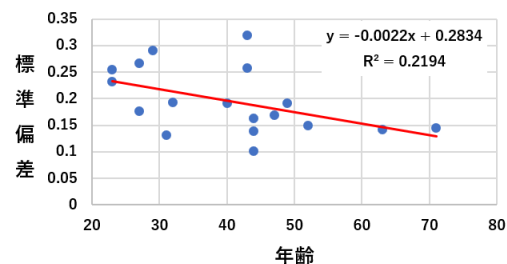


図 9 年齢と各項目の傾向

合が高い。また、y軸加速度以外の親指に関する結果が他の指に比べて高い。これらの結果に、ある女性の被験者のデータを重ねた結果を図 8 に示す。右手親指における割合が平均に比べて高い。

比較 3.に関して、縦軸を各指の各解析結果の値、横軸を年齢としてすべての被験者のプロットを行い、近似曲線と相関係数を求める。そのうち、標準偏差での比較において近似曲線における相関係数が最も高かったものと、周波数ピークのパワーが全体パワーに占める割合について相関係数が高かったものを図 9 に示す。標準偏差の比較において、もっとも相関係数の高かった項目は、人差し指のx軸加速度であり、周波数ピークのパワーが全体パワーに占める割合においては、親指の合成加速度である。ただし、相関係数は高くはないが、このほかにも、人差し指や中指の他の加速度や周波数ピークのパワーが全体パワーに占める割合が減少傾向にある。

4. 考察

比較 1.における男女平均について、比較 2.も同じであるが、標準偏差特徴に関して考察すると、男女別で平均を算出した結果と男性のほうが女性よりも値が大きいのは、男女に筋力の差があることが考えられる。手の開閉動作には手指の筋肉や腕の筋肉が使われており、男女の骨格差は値に影響する可能性がある。この部分については、計測時に握力計などを用いて考察する必要がある。また、握力と各値に相関を見つけ出すことができれば、握力計を用いずに加速度などから間接的に握力や筋力の推定ができると考えられる。一方、標準偏差の平均から親指に関してはx、y軸加速度のばらつきが小さく、そのほかの指に関してはx軸のばらつきが小さいことに関してはx軸加速度が左右の加速度を測定しており、開閉動作に左右方向への運動が少ないことが考えられる。また、図 4 に関しては、ばらつきが大きいほど加速度が変動していることを示しているため、この被験者が平均以上に手指を開閉させていることと、左手のほうがより開閉していることが分かる。

比較 2.に関して、合成加速度とy軸加速度、z軸加速度に関しては親指の値が小さいということから、親指は開閉時にあまり動かされない傾向にあることが分かる。また、比較 1.同様にx軸加速度に関しても、動作にあまりかわりがないことが分かる。接触圧に関しては、5 種類のサイズ展開をしているセンサーと各被験者の指との密着感に差があることが要因で、特

微量に差が生じていることが考えられ、現段階では特徴を捉えられないと考察する。ただし、y軸加速度など他の項目に関して被験者比較を行う図 6 に関しては、人差し指と中指の動きが平均に比べて低い傾向になるなど、各指の特徴や全体の特徴が捉えられていると考えられる。

周波数解析結果に関して、男性と比較して女性の方が全体のパワーに占める周波数の最大パワーが高い割合を示しているが、これは女性の方がより手指全体を使い周期的に開閉をしていたことが要因として考えられる。計測では、可能な限り早く手指の開閉を指示していたが、男性の場合は後半になるにつれて腕の疲労などにより開閉動作に乱れが出る場面が見受けられ、それが周期性に影響を与えた可能性がある。このように、周波数解析結果から、周波数の最大パワーと全体のパワーを比べることで、開閉の滑らかさを測定することが可能であると考えられる。

比較 3.において、人差し指のx軸加速度や親指の合成加速度の周波数解析結果が最も高い相関係数を示したという結果に関しては、動かさない方向や動かさない指がさらに動かなくなるということが加齢の傾向であるということが考えられる。ただし、相関係数の値があまり高くないことや、データ数が少ない点、人差し指や中指の他の加速度や他の周波数ピークのパワーが全体パワーに占める割合が減少傾向にある点を考慮すると、引き続き調査する必要がある。

結果の表示に関して、レーダーグラフや近似曲線等を用いたプロットにより結果の可視化を行っているが、健常者の平均と自身が開閉した結果を比較することで、平均より上か下か、またどの動きに異常があるのかなど、開閉動作特徴の直感的な理解を促すことが可能であると考える。従来の 10 秒テストでは、手指巧緻運動障害の有無のみを評価していたが本研究によって新たな価値が付与できると考えられる。健常者のみのデータに加え、手指巧緻運動障害を持つ被験者のデータを集めることで、特定の指が全く動いておらずどこかの神経が損傷しているなど、手指巧緻運動障害の中でもどの疾患であるかの推定もできる可能性がある。これらを収集し、計測から結果表示も含めたシステムを構築し、自宅または公民館や街なかの健康ステーション等で簡単に実施できるようになれば、日頃の健康状態の把握や医療機関受診の目安の提示が可能になる。また、医療や介護の現場においても、診察前のスクリーニング方法として用いることで医療従事者の診断の補助に役立てることや、リハビリ経過の確認に用いることが期待できる。

5. 結語

本研究では、ウェアラブルセンサ HapLog を用いて手指の開閉動作時の指先データを取得し、指先動作の解析をすることで手指の巧緻運動評価を行った。取得したデータに対しそれぞれに標準偏差の算出と周波数解析を行い、レーダーグラフなどに結果を示し、健常者における平均を算出した場合、左右で行う手指の開閉動作に差はないが、男女により差があることが分かった。また、親指やx軸加速度の動きは他項目に比べて小さいが、加齢の指標になる可能性があることや、周波数解析が手指の開閉動作の滑らかさの指標になると考えられ、従来の 10 秒テストは回数のみでの評価であったが、ウェアラブルセンサを併用し計測することで新たな価値が付与できる可能性が示唆された。

今後は、手指巧緻運動に障害のある被験者も含むデータ数の確保と手法の確立をすすめる。手指巧緻運動障害の原因を推定手法として、波形データに対する特徴量から原因の

分類を考えているが、波形自体を計算機に学習させるなどして特定の波形で異常を検出する手法についても検討していく。

参考文献

- 1) Ott, B. R., Elias, S. A., Lannon, M. C.. Quantitative assessment of movement in Alzheimer's disease. *Journal of Geriatric Psychiatry and Neurology* 1995 ; 8(1) :71-75.
- 2) 金子翼,生田宗博. 簡易上肢機能検査の試作. *理学療法と作業療法* 1974 ; 8(3): 197-204.
- 3) TIFFIN, Joseph, ASHER, Eston J.. The Purdue Pegboard: norms and studies of reliability and validity. *Journal of applied psychology* 1948 ; 32(3): 234-247.
- 4) K Ono, S Ebara, T Fuji, K Yonenobu, K Fujiwara, K Yamashita. Myelopathy hand. New clinical signs of cervical cord damage. *The Journal of bone and joint surgery. British volume* 1987 ; 62(2) : 215-219
- 5) Suzumura, S., Osawa, A., Nagahama, T., Kondo, I., Sano, Y., Kandori, A.. Assessment of finger motor skills in individuals with mild cognitive impairment and patients with Alzheimer's disease: Relationship between finger-to-thumb tapping and cognitive function. *Japanese Journal of Comprehensive Rehabilitation Science* 2016 ; 7 : 19-28.
- 6) James Connolly, Joan Condell, Brendan O' Flynn, Javier Torres Sanchez, Philip Gardiner. IMU sensor-based electronic goniometric glove for clinical finger movement analysis. *IEEE Sensors Journal* 2018 ; 18(3): 1273-1281.
- 7) 大井川仁美, 石川由羽, 梅田智広, 高田雅美, 城和樹. 上肢神経系セルフチェックのための HapLog を用いた評価システムの試作. *研究報告数値モデル化と問題解決* 2015 ; 14 : 1-6.
- 8) 大井川仁美, 梅田智広. 指先データを用いた 10 秒テストの評価に関する研究. *IT ヘルスクエア第 12 回学術大会抄録集* 2018 ; 13(1) : 117-120.
- 9) カトーテック株式会社. HapLog. <http://www.keskato.co.jp/products/haplog.html> (cited 2018-Sep-3)].
- 10) 立原久義, 菊地臣一, 紺野慎一, 大谷晃司. 健常者に対する 10 秒テストの疫学調査—圧迫性頰髄症患者との比較. *臨床整形外科* 2006 ; 41(12): 1275-1279.