

平成 30 年 6 月 15 日現在

機関番号：32104

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26350855

研究課題名(和文) 歩行速度が著しく低下した高齢者においても利用可能な歩数計の開発

研究課題名(英文) Development of a novel pedometer for ultra-low speed walking

研究代表者

関根 正樹 (Sekine, Masaki)

つくば国際大学・医療保健学部・教授(移行)

研究者番号：50373494

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：現在市販されている歩数計の多くは、高齢者の特徴であるゆっくりとした歩行や不規則な歩行には対応しておらず、歩数が正確にカウントされないことがしばしば見受けられる。本研究では角速度センサから得られる情報に基づく歩数カウントアルゴリズムを提案し、超低速度歩行に対応した歩数計を開発した。提案したアルゴリズムと開発した歩数計は、2 km/h未満の歩行においても実歩数との平均誤差が10%未満になり、角速度センサは超低速度歩行時の歩数カウントに有用であると示唆された。

研究成果の概要(英文)：Most of the commercially available pedometers are not able to count steps accurately for ultra-low speed walking or irregular walking that are seen in elderly. In this study, we attempted to propose a novel step counting algorithm based on a gyroscope output and to develop a novel pedometer dealing with ultra-low speed walking. The algorithm and the pedometer had the average error rates of step counts were less than 10% for walking at less than 2 km/h. This suggests that a gyroscope is useful for step counting when subject walks at ultra-low speed.

研究分野：生体医工学

キーワード：歩数計 角速度センサ 高齢者

1. 研究開始当初の背景

歩数計は、身に付ける健康管理機器としては類を見ないほど広く普及している。その理由として指標がわかりやすいこと、安価であること、携帯性に優れていることなどが挙げられ、一般的なユーザーだけではなく、生活習慣病をはじめとする様々な疾患と身体活動量との関係を解明する研究においても広く利用されている。また、リハビリテーション施設や高齢者福祉施設、転倒予防教室などで高齢者の運動指導を行う際にも歩数計が利用されていることがある。

現在市販されている歩数計は、Micro Electro Mechanical Systems (MEMS) 技術によって作製された加速度センサを内蔵したものが一般的になってきており、従来の機械式歩数計に比べて歩数カウントの精度が大幅に向上している。しかしながら、その多くは、高齢者の特徴であるゆっくりとした速度の歩行や不規則な歩行には対応しておらず、歩数が正確にカウントされないことがしばしば見受けられる。歩数計の精度に関する先行研究では、歩行速度が 54 m/min (≒ 3.24 km/h) 以下の場合、市販されている多くの歩数計で誤差が大幅に増加することが報告されている。

2. 研究の目的

近年の著しい MEMS 技術の進歩にともない、加速度センサ以外にも多種多様で高精度、小型・軽量、低消費電力なセンサが開発されている。

本研究は、これらの MEMS センサの情報を利用した歩数カウントアルゴリズムを提案し、17 m/min (≒ 1.0 km/h) 以上の歩行速度では誤差 10%以内、33 m/min (≒ 2.0 km/h) 以上の歩行速度では誤差 5%以内となる超低速度歩行に対応した歩数計の実現を目的とした。

3. 研究の方法

【歩行動作とセンサ情報との関係の解明】

超低速度歩行に対応した歩数計を開発するにあたり、そのベースモデルとして、最新の MEMS 技術で開発された動作計測に適したセンサを搭載した小型・軽量の装着型の動作計測装置の設計・開発を試みた。

次に、この装着型動作計測装置とトレッドミル (SPR-7050, 長野酒井医療) を用いて、センサから得られる情報と歩行速度との関係について分析を行った。

対象は健康者成人 7 名 (年齢 19.7 ± 1.0 歳, 身長 173.5 ± 5.5 cm, 体重 69.6 ± 9.8 kg) とし、トレッドミルで速度を 0.5 km/h から 5 km/h まで 0.5 km/h の刻みで変化させ、それぞれの速度で 2 分間の歩行を計測した。装着型動作計測装置は、重心位置に近い腰背部中央と一般的な歩数計の取り付けを想定して腰部左前方に腰ベルトで装着した。

装着型動作計測装置による歩行計測と同

時に、被験者の右後方から足元の映像をビジュアルレコーダ (AQ-VU, TEAC) を用いて記録し、この映像から 1 歩 1 歩の歩行動作と各種センサから得られる信号パターンの関係、歩行速度と信号パターンの関係について分析した。映像とセンサ出力の同期は、装着型動作計測装置が内蔵する光リモコン受光モジュールと同型のモジュールをビジュアルレコーダに接続し、両機器に光トリガを同時入力することで行った。

また、運動障害により歩行速度が低下するパーキンソン病患者や脳卒中片麻痺患者を対象に歩行や関連動作を計測し、身体機能が低下した場合における動作と得られる信号パターンの関係についても分析を行った。

【歩数カウントアルゴリズムの開発】

トレッドミル歩行の実験結果をもとに歩数カウントアルゴリズムを提案し、通所リハビリテーションを利用する高齢者を対象として歩数カウントの誤差を 3 種類の市販の歩数計 (HJA-403C, OMRON, EX-200, YAMASA, FB-731, TANITA) と比較した。この実験では提案するアルゴリズムを実装した実機は試作せず、歩行の計測が終了した後にオフラインでアルゴリズムの評価を行った。

対象は健康者の他に、脳卒中片麻痺者、パーキンソン病患者、変形性膝関節症、膝前十字靭帯損傷患者を含む高齢者 14 名 (年齢 66.0 ± 19.1 歳, 身長 162.1 ± 5.5 cm, 体重 57.9 ± 8.4 kg) とし、個人に適した速度での歩行を計測した。歩行距離は、各被験者の歩行能力に合わせて 1 周 50m の施設内周回コースを 2 周または 4 周とした。装着型動作計測装置と 2 つの市販の歩数計は、伸縮性のあるベルトを用いて腰部左前方に装着した。被験者の安全の確保と歩数の真値 (実歩数) を把握するために、理学療法士が被験者の後方を付いて歩き、手持式数取器にて歩数をカウントした。

歩数カウント精度を評価には、以下の式を用いた。

$$\text{誤差}[\%] = |n - N| / N \times 100$$

ここで、 n は提案した歩数カウントアルゴリズムにより算出した歩数または歩数計によるカウント歩数、 N は理学療法士が目視で記録した実歩数である。

【超低速度歩行に対応した歩数計の開発と検証】

装着型動作計測装置をベースとして、本研究で提案する超低速度歩行に対応した歩数カウントアルゴリズムを実装した歩数計の設計・開発を試みた。

次に、開発した歩数計の性能を検証するために、前述の実験と同様に、通所リハビリテーションを利用する高齢者を対象として 3 種類の市販の歩数計 (HJA-403C, OMRON, EX-200, YAMASA, FB-731, TANITA) とカウント誤差を比較した。

対象は下肢に機能障害を有するものを含む高齢者 11 名 (年齢 73.4 ± 5.0 歳, 身長 157.4 ± 7.3 cm, 体重 55.7 ± 12.1 kg) とし, 個人に適した速度での歩行を計測した. 3 つの市販の歩数計と開発した歩数計は, 伸縮性のあるベルトを用いて腰部左前方に装着した. その他については, 前述の実験方法と同様とした.

4. 研究成果

【歩行動作とセンサ情報との関係の解明】

装着型動作計測装置は, 3 軸加速度センサ (LSM303D, STMicroelectronics), 3 軸角速度センサ (L3GD20, STMicroelectronics), 光リモコン受光モジュール (PIC79603, コーデン), マイクロコントローラ (PIC18F26K22, Microchip), Bluetooth モジュール (ZEAL-S01, ADC Technology) を内蔵し, 各センサ出力は 200Hz で AD 変換した後, Bluetooth を介して PC に送信し, ビデオカメラなど他の外部装置と同期して情報が記録できるような機能をもつ設計とした. 実際に試作した装置は上記の機能を有し, その外形寸法は $63 \times 37 \times 16$ mm, 重量は単 4 電池を含み 40 g であり, 被験者の動作を妨げることなく歩行の計測が可能であった.

試作した装着型動作計測装置を用いてトレッドミル歩行を計測した結果の典型例を図 1 に示す. 1.0 km/h の超低速度歩行において, 加速度信号 ($1.0 \sim 3.0$ Hz) は複雑なパターンとなり, 左右のステップを明確に捉えることは困難であった. 一方, 体軸周り (ヨー方向) の角速度を積分処理した信号 (角度信号) は, 1 歩 1 歩に対応するピークが 1.0 km/h

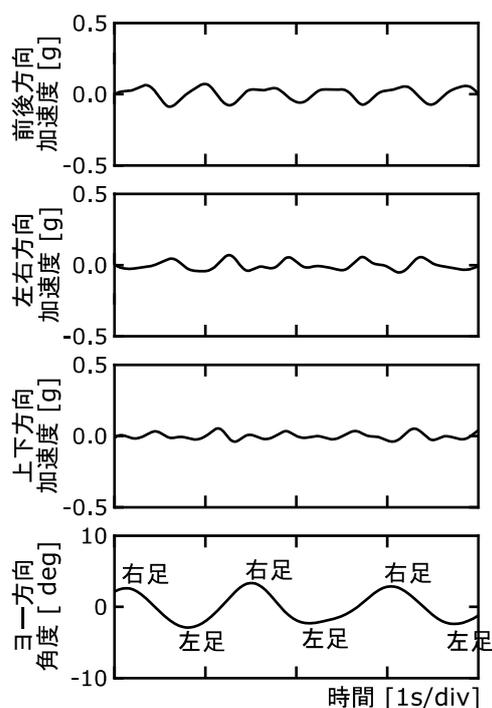


図 1 歩行速度 1.0 km/h における腰部左前方の加速度信号と角度信号の典型例

の超低速度歩行においても確認できることが明らかになった. また, 腰背部中央と腰部左前方の体軸周りの角速度は類似した信号パターンとなり, 体軸周り (ヨー方向) の角速度を利用する場合には装置を腰部周りに装着することで歩数をカウントできる可能性が示唆された.

さらに, 上記の体軸周りの角速度に関する傾向は, パーキンソン病患者や脳卒中片麻痺患者など運動障害をもち歩行速度が低下した被験者の歩行データにおいても同様に確認された.

【歩数カウントアルゴリズムの開発】

トレッドミル歩行の実験データをもとに, 角速度センサのヨー方向出力に対して積分処理・フィルタリング処理を行い体軸周りの角度信号に変換し, その信号にゼロクロス法を適用することで歩数をカウントするアルゴリズムを提案した.

アルゴリズムの評価のため, 高齢者を対象に個人に適した速度での歩行を計測したところ, 歩行速度の範囲は 1.9 km/h から 4.3 km/h であった. この中で歩行速度が 2.0 km/h 未満の場合, 3 種類の市販の歩数計ではカウント誤差 $48 \sim 100\%$ (実際の歩数の $0 \sim 52\%$ のカウント数) を示したが, 提案したアルゴリズムで歩数をカウントした場合, 誤差は最大 13% 程度 (実歩数の 87% 程度) でカウント可能であることが確認された. $2.0 \sim 3.2$ km/h の歩行速度においては, 市販の歩数計でカウント誤差の平均が 19% に対して, 提案したアルゴリズムでは 2.1% であった. また, 3.2 km/h 以上の歩行速度では市販の歩数計と同等以上の歩数カウント精度が得られた. ただし, 立位など歩行以外の状態において, しばしば誤カウントしてしまうことが確認され, 改善の余地を残した.

【超低速度歩行に対応した歩数計の開発と検証】

提案する歩数カウントアルゴリズムを実装した歩数計の実機を図 2 に示す. 歩数計の外形寸法は $63 \times 37 \times 16$ mm, 重量は単 4 電池を含み 37 g であった.

通所リハビリテーションを利用する高齢者を対象に歩数をカウントした結果, 市販されている歩数計で $20 \sim 50\%$ 程度の誤差を示し



図 2 試作した歩数計

た 2.0 ~3.0 km/h 未満の歩行速度に対して、本歩数計では誤差が 10%未満であった。さらに、市販されている歩数計では歩数が全くカウントされなかった 2.0 km/h 未満の歩行速度の場合においても、本歩数計では誤差が 10%未満であった。

提案した歩数カウントアルゴリズムを実装した歩数計は、2.0km/h 以上の歩行速度で誤差 5%以内という当初の目標には到達できなかったが、超低速度歩行に対して歩数カウント精度が向上し有用であることが確認された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 4 件)

- ① Kijima Y, Kiyama R, Sekine M, Tamura T, Fujimoto T, Maeda T, Ohshige T, Estimation of Gait Independence Using a Tri-Axial Accelerometer in Stroke Patients, Journal of Aging and Physical Activity, 査読有, vol. 26(1), 2018, pp. 61-67
doi: 10.1123/japa.2016-0264
- ② 関根正樹, 貴嶋芳文, 桑江豊, 田中則子, 超低速度歩行に対応した歩数カウントアルゴリズムに関する基礎的研究, 医療保健学研究, 査読有, vol. 8, 2017, pp. 11-18
- ③ Tang Z, Sekine M, Tamura T, Tanaka N, Yoshida M, Chen W, Measurement and Estimation of 3D Orientation using Magnetic and Inertial Sensors, Advanced Biomedical Engineering, 査読有, vol. 4, 2015, pp. 135-143
- ④ 桑江豊, 関根正樹, 田村俊世, 藤元登四郎, 兪文偉, ウェアラブルモーションセンサを用いた脳卒中片麻痺者の Four Square Step Test における前後左右移動の評価, 査読有, 生体医工学, vol. 53(1), 2015, pp.32-39

[学会発表] (計 10 件)

- ① 松澤雄太, 貴嶋芳文, 木山良二, 福永誠司, 藤元登四郎, 関根正樹, 田村俊世, 脳卒中片麻痺歩行の加速度指標とリサーチ図形の関係, 九州理学療法士・作業療法士合同学会 2016, 2016 年 11 月, 鹿児島
- ② Sekine M, Kijima Y, Kuwae Y, Tanaka N, Development of Step Counting Algorithm Based on Gyroscope Output for Ultra-Low Speed Walking, 11th TOIN International Symposium on Biomedical Engineering, 2016 年 10 月, 横浜
- ③ 貴嶋芳文, 木山良二, 大重匡, 藤元登四郎, 関根正樹, 田村俊世, リサーチ図形を用いた歩行評価のフィードバック手

段としての可能性, 第 51 回日本理学療法学会, 2016 年 5 月, 札幌

- ④ Tang Z, Tamura T, Sekine M, Hirata D, Yoshida M, Measurement of Genu Valgum during Single-legged Squatting using Motion Sensors, 12th International Conference on Ubiquitous Healthcare (u-Healthcare2015), 2015 年 12 月, Osaka (Japan)
- ⑤ Sekine M, Tanaka N, Tamura T, Yoshida M, Improvement of Step Count Accuracy Using Gyroscope Output for Ultra-low Speed Walking, 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 2015 年 8 月, Milano (Italy)
- ⑥ 桑江豊, 関根正樹, 田村俊世, 藤元登四郎, ウェアラブルモーションセンサを用いた Four Square Step Test における脳卒中片麻痺者の評価, 第 50 回日本理学療法学会大会, 2015 年 6 月, 東京
- ⑦ 関根正樹, 田中則子, 田村俊世, 吉田正樹, 超低速度歩行のための角速度センサを用いた歩数計に関する基礎的研究, 第 54 回日本生体医工学会大会, 2015 年 5 月, 名古屋
- ⑧ 関根正樹, 慣性センサのリハビリテーションへの応用, 2014 年度第 5 回ヒューマンロコモーション評価技術協議会 (招待講演), 2014 年 12 月
- ⑨ Sekine M, Tamura T, Yoshida M, Uchiyama T, Application of Root Mean Square Ratio of Trunk Acceleration for Evaluation of Parkinson's Disease, The 2014 International Conference on Wearable and Implantable Body Sensor Networks (BSN 2014), 2014 年 6 月, Zurich (Switzerland)
- ⑩ Tang Z, Tamura T, Sekine M, Yoshida M, Chen W, An Efficient Method for Assessing the Accuracy of 3D Orientation of Inertial and Magnetic Sensors, The 2014 International Conference on Wearable and Implantable Body Sensor Networks (BSN 2014), 2014 年 6 月, Zurich (Switzerland)

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称: 歩数計測装置, 歩行機能判定装置
および歩数計測システム
発明者: 三好寿頭, 関根正樹
権利者: シャープ株式会社
種類: 特許
番号: 特願 2014-249268
出願年月日: 2014 年 12 月 9 日
国内外の別: 国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

関根 正樹 (SEKINE, Masaki)
つくば国際大学・医療保健学部・教授
研究者番号：50373494

(4) 研究協力者

吉村拓巳 (YOSHIMURA, Takumi)
Metin Akay (AKAY, Metin)
東 祐二 (HIGASHI, Yuji)
辻 美和 (TSUJI, Miwa)