

平成 30 年 6 月 16 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2017

課題番号：16K12949

研究課題名(和文) 糖尿病足病変予防のための靴装着型センサデータからの日常生活下足部負荷推定システム

研究課題名(英文) Daily living foot load estimation system using shoe attachable sensor data for prevention of diabetic foot lesion

研究代表者

森 武俊 (MORI, Taketoshi)

東京大学・大学院医学系研究科(医学部)・特任教授

研究者番号：20272586

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：フットウェアの甲の部分に簡便に装着可能な小型薄型計量なセンサデバイスを作製し、その歩行時データから日常的な生活のもと足底部にかかる負荷を推定するシステムを構築した。前足部にかかる圧・ずれ力と、歩行様態・運動との関係を相関をまず明らかにした。続いてシステムを健常者に貸与して、いつどこで足裏に大きな力負荷がかかるか、どのような状態でどの程度継続するかを対照しつつ記録できるようにした。フットウェア種、インソール素材、身長・体重などの基礎データ、他動関節可動域などと合わせ、手法を詳細化し妥当性・信頼性を改善した。糖尿病患者の短距離日常歩行での力負荷と脚・足の動きを同時計測し、歩容特性を確認した。

研究成果の概要(英文)：We fabricated a compact, thin weighing sensor device that can be easily attached to the footwear, and estimated the load applied to the foot in daily life. We also tried to clarify the gait where an excessive load occurs and the situation where the high load continues, and the load reduction method and prevention method. We showed the correlation between daily walking of healthy volunteers, in particular the pressure applied to the forefoot. Subsequently, we carried out unrestrained long-time measurement accumulation to find when and where, under what circumstances the large force occurs. Altogether, the method to estimate the force load of the sole forefoot force load was designed, and the validity and reliability were improved. Furthermore, the gait characteristics of diabetic patients were confirmed by simultaneous measurement of force load and leg / foot movement by the examination measurement of diabetic patients' short distance daily walking.

研究分野：センサ医療情報工学

キーワード：歩容計測 フットウェア 靴 装着型センサ 看護工学 看護理工学 糖尿病足病変

1. 研究開始当初の背景

歩行において、足底にかかる圧力の分布特に第 1,2 中足骨頭部の圧力極大と足底の前足部第 1,2,5 中足骨頭部における踏切時剪断力極大とが、糖尿病患者の足病変・足潰瘍の主なパスである胼胝形成に大きく関わっていることが、申請者らをはじめとする研究により明らかになってきている(図 1) 近年の薄型ずれ力センサの進歩が、靴やスリッパの中で足にかかる力を計測可能なインソール型力センサシステムの製作を可能とした。ただ、これらのセンサシステムは患者には安全性の面で装着困難だったり、装着に時間がかかりケーブル等で歩行時も煩わしかったり、病院外来や病棟での検査目的時はともかく日常的に屋内外で使用するのは困難である。



図 1. 糖尿病性足潰瘍

病院外来や病棟での間欠的な計測においては必ずしも足裏に過剰な圧やずれ力がかかっていない糖尿病患者でも、しばしば中足骨頭部に足病変リスクのある胼胝が形成するのが、看護師や医師の疑問である。そこで、簡易に装着でき日常的に計測可能な、長時間いつでも足にかかる負荷を把握できるようにするというニーズが生まれた。圧力センサ・せん断力センサはどうしても面積が必要で装脱着に手間暇がかかり、センサやケーブルでふだん通りの歩容を長時間続けることを困難とするので、簡易装着可能なモーションセンサ・振動センサのデータのみから足負荷を推定できると良い。

2. 研究の目的

靴・フットウェアの甲部に簡便に装着可能な小型薄型軽量のセンサデバイスを作製し、その計測データから日常生活のもと屋内外で足部にかかる負荷を推定するシステムを構築する。それにより糖尿病足病変の主因とされる足部胼胝の形成・再形成の実態を掴み、過大負荷が起こる歩容や高負荷が継続する状況を明らかにし、負荷軽減手法と胼胝形成予防法の構成すに寄与する。

健康青年・高齢者の日常歩行・階段歩行・高負荷模擬歩行、糖尿病患者の外来通院時の検査計測歩行時に、足力負荷と脚・足の動きを同時に計測して、足裏力負荷および特に前足部にかかる圧力・ずれ力と、歩行様態・運動との関係(主に相関)を解明する。構築す

るシステムを日常的な生活下で糖尿病患者に装着していただき、上記関係性により日常歩行の動きデータから足負荷を推定し、過大負荷の状態の発生時・場所や、高負荷が続く場面や歩き方を明確化する。得られる知見を基に安心感の持てる安定歩行に結びつくフットウェア設計法・歩き方指導法を提案する。そこで、1)まず、足にかかる圧・ずれ力負荷と脚・足の動きの関係を明らかにし、2)これに基づきフットウェアにつけたセンサの動きデータから足にかかる力負荷を推定することで、日常生活におけるどのような場面で、どんな歩き方、いかなる状況が過剰な力負荷を起こしているかを把握することとする。

3. 研究の方法

日常生活の下で足特に足裏前足部にかかる力負荷を足の運動・振動データから推定する手法の確立を目指す。これにより軽量簡易靴装着型センサで長時間常時計測して、過大負荷の瞬時発生や高負荷の継続の状況を把握する。

まず、健康青年と高齢者の日常・階段歩行、高負荷模擬歩行につき、足裏前足部圧力・ずれ力と、歩行スタイル・運動との関係を解析する。

続いて、糖尿病患者の外来通院時の検査計測歩行時に足力負荷と脚・足の動きを同時に計測して、同様に力負荷と歩行動作時の歩行様態・運動の関係を解析する。



図 2. 開発した検証システムを装着した歩行

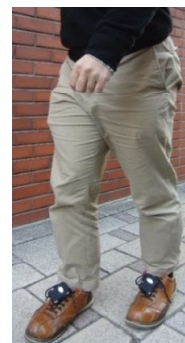


図 3. 開発した日常生活計測用システム

構築する小型軽量システムを日常的な生活

下で糖尿病患者に装着していただき、上記関係性により日常歩行の動きデータから足負荷を推定し、過大負荷の状態の発生時・場所や、高負荷が続く場面や歩き方を明確化する。得られる知見を基に安心感の持てる安定歩行に結びつくフットウェア設計法と歩行動作指導法を提案する。

4. 研究成果

まず予備的に簡易型として制作を進めていた試作版に歩行運動計測システムを利用して、足底圧力/せん断力フットウェア型計測システムと組み合わせることで、加速度・角速度センサで構成される運動センサと歩行時のフットウェア内の足底前足部力負荷の同時計測システムとして構成した。これにより突き合わせ計測と解析が可能となった。健常青年、高齢者に装着してもらい、短距離平地歩行や斜面歩行、階段歩行などで関連が得られるような同時測定データを収集した。特に平地歩行において、関連のパラメータを得た。相関性の確認も行った。

糖尿病患者にも低負担で装着可能なシステムの小型化、薄型化と装着性のアタッチメントを新たに開発した。これを用い、健常青年の日常歩行、階段歩行、高負荷模擬歩行、高齢者の日常歩行、特に前足部にかかる圧力・ずれ力と、歩行様態・運動との関係を相関を中心に示した。

つづいて、さらにシステムを改良して研究協力者が自由に歩き回って歩行時の負担にならないよう靴・フットウェアの甲の部分に装着可能な薄型小型機器を構成した。健常青年、健常高齢者に貸与して、無拘束長時間計測蓄積を行って、日常生活環境下においていっどこでどのような状況で足裏に大きな力不可がかかるか、どのような状態でどの程度継続するかを対照しつつ記録できるようにした。

立位時、平地歩行時、階段昇降時について調査し、ふだん履いている靴・フットウェアの種類、インソール素材、身長・体重などの基礎データ、他動関節可動域、足変形などの調査結果と合わせ、足裏前足部力負荷を推定する手法を詳細化し、妥当性・信頼性を改善した。

さらに、糖尿病患者の検査計測歩行や短距離日常歩行の際に足への力負荷と脚・足の動きを同時計測し、糖尿病患者の歩容特性を確認した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計7件)

1. Ayano Watanabe, Hiroshi Noguchi, Makoto Oe, Hiromi Sanada, and Taketoshi Mori, “Development of a Plantar Load Estimation

Algorithm for Evaluation of Forefoot Load of Diabetic Patients during Daily Walks Using a Foot Motion Sensor.” *Journal of Diabetes Research*, vol. 2017, Article ID 5350616, 8 pages, 2017. doi:10.1155/2017/5350616. 査読有。

2. 森武俊, 真田弘美. 下肢救済における看護工学の現状と未来. *J Jpn Soc Limb Salvage Podiatr Med* 9:3-10, 2017. 査読有.
3. 野口博史, 雨宮歩, 大江真琴, 竹原君江, 真田弘美, 森武俊. 工学技術に基づく足のアセスメント—歩き方, 足底の圧とずれの客観計測—. *Jpn Soc Limb Salvage Podiatr Med*. 9:42-49, 2017. 査読有.
4. 大江真琴, 濱谷雅子, 野口博史, 大場美穂, 竹原君江, 大橋優美子, 植木浩二郎, 門脇孝, 森武俊, 真田弘美. 糖尿病患者における足部胼胝の要因: カルテ調査による検討. *日本創傷・オストミー・失禁管理学会誌*. 20 (4) 426-433. 査読有.
5. 森武俊. 工学技術による歩行測定 ~歩容計測と足底力負荷計測~. *日本フットケア学会雑誌*. 2016: 14(1); 1-10. 査読有
6. Amemiya A, Noguchi H, Oe M, Takehara K, Ohashi Y, Suzuki R, Yamauchi T, Kadowaki T, Sanada H, Mori T. Shear stress-normal stress (Pressure) Ratio (SPR) decides forming callus in patients with diabetic neuropathy. *J Diabetes Res*, vol. 2016, Article ID 3157123, 10 pages, 2016. doi:10.1155/2016/3157123. 査読有.
7. Masako Hamatani, Taketoshi Mori, Makoto Oe, Hiroshi Noguchi, Kimie Takehara, Ayumi Amemiya, Yumiko Ohashi, Kohjiro Ueki, Takashi Kadowaki, and Hiromi Sanada. Factors Associated With Callus in Diabetic Patients, Focused on Plantar Shear Stress During Gait. *J Diabetes Sci Technol* 1932296816648164, first published on May 8, 2016 as doi:10.1177/1932296816648164. 査読有.

〔学会発表〕(計2件)

1. Ayumi Amemiya • Rena Okonogi • Hiroki Yamakawa • Kaori Susumu • Tatsuya Jitsuishi • Hisayoshi Sugawara • Yuji L. Tanaka • Masatoshi Komiyama • Taketoshi Mori. The External Force Associated with Callus Formation under the First Metatarsal Head is Reduced by Wearing Rocker Sole Shoes. *Human Performance II. 39th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 2017.
2. Ayumi Amemiya, Hiroshi Noguchi, Makoto Oe, Hiromi Sanada and Taketoshi Mori. Establishment of a measurement method for in-shoe pressure and shear stress in specific

regions for diabetic ulcer prevention, In proceedings of 38th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Bilogogy Society, pp. 2291-2294, 2016

6 . 研究組織

(1)研究代表者

森 武俊 (Taketoshi MORI)

東京大学・大学院医学系研究科・特任教授

研究者番号： 20272586

(2)研究分担者

野口 博史 (Hiroshi NOGUCHI)

東京大学・大学院医学系研究科・特任講師

研究者番号： 50431797

大江 真琴 (Makoto OE)

東京大学・大学院医学系研究科・特任准教授

研究者番号： 60389939

雨宮 歩 (Ayumi AMEMIYA)

千葉大学・大学院看護学研究科・助教

研究者番号： 90778507