

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 3 日現在

機関番号：32660

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2011～2013

課題番号：23680022

研究課題名(和文) 高齢者転倒抑制のための足底触覚感度強化と足底皮膚変形計測による転倒歩行モデリング

研究課題名(英文) Development of Sensorimotor Enhance Device for Fall Prevention and Investigation of Plantar Skin Deformation and Variability in Young and Elderly

研究代表者

竹村 裕 (Takemura, Hiroshi)

東京理科大学・理工学部・講師

研究者番号：60408713

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 18,300,000円、(間接経費) 5,490,000円

研究成果の概要(和文)：足底触覚感度強化のための振動刺激装置を開発した。被験者実験の結果、適切な部位に適切な刺激を与えれば開発した振動装置で高齢者の立位バランスの向上、凹凸不整地で歩幅を増加させることを確認し、転倒抑制への応用の可能性を示唆した。さらに、足底接触面皮膚変形手法を開発し、被験者実験の結果より、高齢者と若齢者では、歩行時の接触面積変化、足底皮膚移動傾向が有意に異なることを発見した。外部からは容易に判断できない歩行の微細な変化が計測できることを実証し、足底の皮膚計測から将来、転倒リスクの高い歩行をスクリーニングすることが可能であることを示唆した。

研究成果の概要(英文)：We developed the wearable sensorimotor enhance device for fall prevention and investigated an effect for walking of elderly. The experimental results of the plantar tactile enhanced test show that the mechanical vibration noise on the tarsal tunnel by the developed device can enhance the plantar tactile sensitivity. The experimental results of the standing posture stabilizing test and the gait motion test show the device can improve the static and dynamic balance control ability of the elderly subjects. These results suggest that the proposed device has a potential of reducing the risk of fall accident of elderly person. Furthermore, we also developed the plantar skin deformation measurement system and investigated the plantar skin deformation and variability in young and elderly. The experimental results suggested that the plantar skin deformation measurement can potentially calculate undetectable walking features by appearance and screen people who have potential risk of falling.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：歩行解析 足底皮膚変形 確立共鳴 転倒予防

## 1. 研究開始当初の背景

高齢者の10~40%が年間に一回以上の転倒を経験しており、約5%が骨折に結びついており、骨折は寝たきりに繋がる大きな要因である。転倒後の医療・介護費用として年間約7,300億円が費やされており、この費用は国民に年間使われる医療・介護費用約37~8兆円のおよそ5%に相当する。一度転倒すると、転倒への恐怖心から日常生活を制限してしまうだけでなく、うつ病などを患う原因となることもあり、転倒要因の解明、転倒および転倒による怪我の予防対策は急務である。日本人成人男性10人に一人が患っているといわれている糖尿病に良く見られる末梢性神経障害患者は、健康な高齢者に比べて6倍もの転倒を経験し、15倍もの転倒による怪我をしている。このことから、足裏などの末梢からの神経刺激がバランスコントロールに深く関与していることは明らかであるが、このことに関する研究はほとんど無く、触覚刺激に着目して、非常に複雑な歩行運動のメカニズムの解明や転倒の抑制を試みることは極めて価値が有る。また、将来転倒のリスクがある不安定歩行者を早期に発見できれば、早期介入によりリスク回避の可能性が期待できる。

## 2. 研究の目的

本研究では、既往研究成果を踏まえて高齢者転倒抑制のために足底触覚情報処理と歩行動作との関係に着目し、以下の二点を明らかにすることを主な目的とする。

(1) 足底触覚刺激の積極的利用により転倒抑制の可能性を明らかにする。確率共鳴を応用したノイズ振動刺激による足底触覚感度強化と歩行動作向上との関係を明らかにし、触覚刺激による転倒抑制の可能性を探る。

(2) 歩行時足底皮膚変形計測による不安定歩行の早期スクリーニングの可能性を明らかにする。歩行時足底皮膚変形と将来転倒リス

クのある不安定歩行との関係を明らかにし、“転ばぬ先の杖“になるように転倒リスクのある歩行者の早期検出の可能性を探る。

## 3. 研究の方法

(1) 足底触覚刺激の積極的利用により転倒抑制の可能性の検討

確立共鳴を利用した足底触覚感度強化のために、ピエゾアクチュエータを応用した振動刺激装置を試作する。異なる振動強度や振動を与える部位の違いにより足底の触覚感度に及ぼす影響を被験者実験により検討する。また、足底触覚が優位に影響する状況を再現した路面での静止立位バランス測定実験と整地と凹凸のある路面での歩行計測実験を実施し、開発した振動刺激装置が静止立位バランス及び歩行動作への影響を計測する。

(2) 歩行時足底皮膚変形計測による不安定歩行の早期スクリーニング手法の検討

足底の特徴点を計測・追跡するのに適した手法を提案し、マーカーレスで足底接触面皮膚変形を計測する手法を開発する。既存の装置は、透明なフォースプレートの下にカメラを置き、足の接触状態を計測していた。しかし、これでは連続的な歩行を計測することが出来ない。そこで、透明なトレッドミルを作成し、連続的に歩行中の足底接触面が撮影可能な装置を開発する。さらに、健常成人、健常高齢者等によるさまざまな条件下での歩行実験を実施し、歩行時の足底接触面皮膚変形を計測し、データを蓄積する。蓄積されたデータから、若齢者と高齢者との歩行時の接触面積変化や足底皮膚移動の特徴を分析し、外見には表れにくい歩行の微細な変化の抽出を目指し、足底の皮膚から計測から将来、転倒リスクの高い歩行をスクリーニングすることの可能性を検討する。

## 4. 研究成果

(1) 足底触覚刺激の積極的利用により転倒抑

制の可能性

足底触覚感度強化のための確立共鳴を利用した piezoアクチュエータによる振動刺激装置を作成（図1）し、確立共鳴理論を利用した足底触覚感度強化実験を実施した。健常若年者 10 人による被験者実験の結果、開発した装置での足底触覚感度が向上するという知見を得え、基本的な考え方を実証した。さらに、試作した振動装置により直接足底部に刺激を与えるのではなく、離れた部位（足根管，図2）に振動を与えた場合にでも足底触覚感度が向上されるという新たな知見を得た。さらに、クッションで不安定立位面を模擬し足底触覚が優位に影響する状況を再現した状態での静止立位バランス測定実験（図3）と、整地と凹凸のある路面での歩行計測実験（図4）を、健常若年者 11 名（ $22.6 \pm 0.6$  歳）と健常高齢者 21 名（ $73.3 \pm 4.6$  歳）により実施し、振動装置の静止立位バランス及び歩行動作への影響を計測した。実験結果より、開発した振動装置により若年者群、高齢者群ともに静止立位バランスが向上し、特に高齢者群では不整地での歩幅が有意に増加し、歩行能力が向上したことが示唆された。また、健常高齢者 13 名（年齢  $72 \pm 9$  歳）で刺激強度が歩行に及ぼす影響を調査した。触覚閾値の 0.9 倍以下の弱い刺激では、歩行への影響がほぼなく、1.0～1.2 倍程度の振動刺激では、歩幅、歩調が有意に増加し、1.5 倍以上の強い刺激では歩調が有意に減少し、左右移動軌跡長が有意に大きくなった。この結果から、適切な刺激を与えれば開発した振動装置で高齢者の歩行をコントロールすることができるという知見を得た。開発した振動装置により無意識のうちに歩幅がより大きい、歩調をより速い歩行に変化させることができることを実証し、転倒抑制の可能性を示唆した。

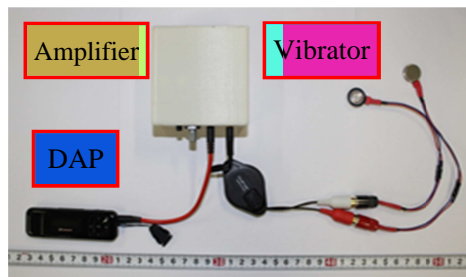


Fig.1 Configuration of vibration device

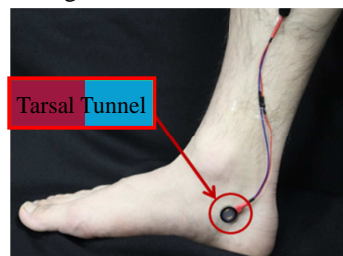


Fig.2 The position of the vibrator



Fig.3 Standing posture stability

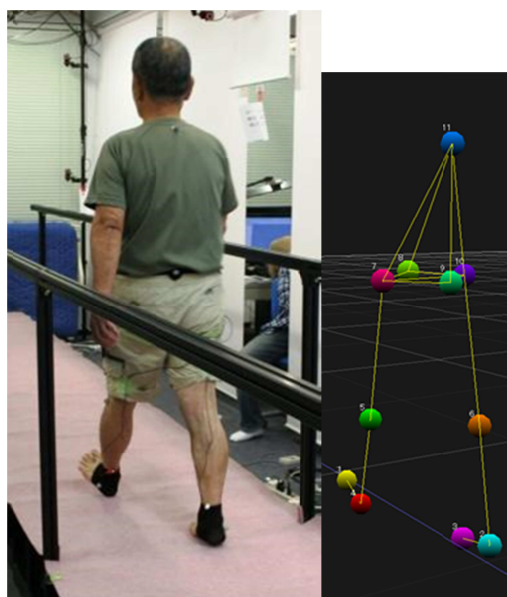


Fig.4 Gait stability test

(2) 歩行時足底皮膚変形計測による不安定歩行の早期スクリーニングの可能性

Harris コーナー検出手法と KTL 追跡手法を組み合わせた特徴点検出・追跡手法を応用して、マーカーレス足底接触面皮膚変形手法を開発した。これにより、これまで計測の準備や片付けに時間がかかり被験者に負担をかける上に計測精度がマーカーの空間分解能に依存するという欠点が解消され、素足のままの状態での被験者の歩行中の足底接触面皮膚変形の計測が可能となり、歩行時の接触面のすべり状態の定量化(図5)を実現した。また、透明なトレッドミルを作成し、床板の下に設置したカメラより連続的に歩行時の足底画像を計測できる装置を世界で初めて開発した。さらに、健常成人男性10名(平均22.8歳)、健常高齢者20名(平均73.2歳)を対象として行った歩行時足底皮膚変形計測実験を実施した。高齢者と若齢者では、歩行時の接触面積変化(図6)、足底皮膚移動傾向(図7)が有意に異なることを発見した。提案した足底の画像からの特徴点の追跡法や面積変化測定法により外部からは容易に判断できない歩行の微細な変化が計測できることを実証し、足底の皮膚計測から将来、転倒リスクの高い歩行をスクリーニングすることが可能であることを示唆した。

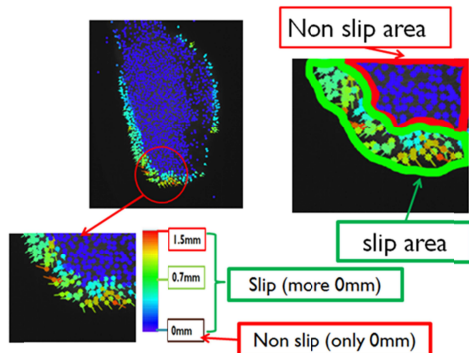


Fig.5 Planter skins image processing

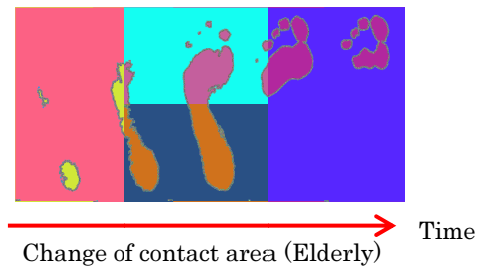
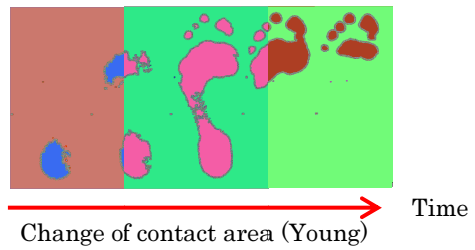


Fig. 6 Changes of plantar skin contact

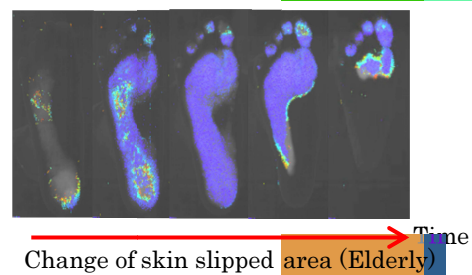
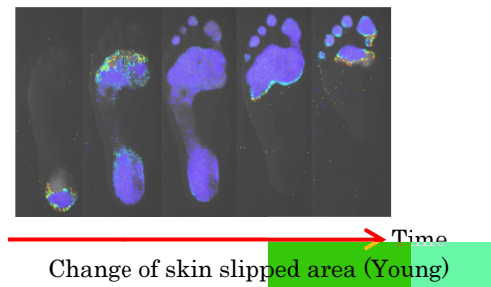


Fig. 7 Result of plantar skin deformation

## 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7件)

- (1). Satoshi KUDOH, Akira OBARA, Yuu SATOH, Ming DING, Hiroshi MIZOGUCHI and Hiroshi TAKEMURA, "Enhancement of Plantar Tactile Sensitivity by Wearable Stabilization Device based on Stochastic Resonance for Fall Prevention," Journal of Robotics and Mechatronics, Vol. 26, No. 6, pp. 888-896, 2013. (査読有)
- (2). 小杉真一, 田中康仁, 竹村裕, 小原晃, 椎名崇之, 池田篤俊, 小笠原司, "足底皮膚変位・床反力同時計測装置を用いた歩行時足部アーチ機構の評価", 日本整形外科学会誌, Vol. 87, No. 8, p. S1365, 2013. (査読無)

- (3). 小原晃, 竹村裕, 溝口博, "冷却による下腿筋筋紡錘機能低下状態での不整地歩行変化", 生体医工学, Vol. 50, No. 6, pp. 693-699, 2012. (査読有)
- (4). Shinichiro SUZUKI, Akira CHAKI, Kentaro SEKIGUCHI, Ming DING, Hiroshi TAKEMURA and Hiroshi MIZOGUCHI, "Effect of Reduced Plantar Sensation on Human Gaits on Various Terrains," Journal of Robotics and Mechatronics, Vol. 23, No. 2, pp. 258-265, 2011. (査読有)
- (5). Obara Akira, Yamakoshi Takeshi, Shina Takayuki, Takemura Hiroshi, Mizoguchi Hiroshi, "Influence of Lower-Leg Muscle Spindle Function in Irregular Surface Walking", Proceedings of The 15th International Conference on Biomedical Engineering, pp. 387-390, 2013. (査読有)
- (6). Takayuki Shiina, Akira Obara, Hiroshi Takemura, and Hiroshi Mizoguchi, "Measurement of Undetectable Walking Feature by Appearance Based on Plantar Skin Deformation", Proceedings of The 15th International Conference on Biomedical Engineering, pp. 116-119, 2013. (査読有)
- (7). Satoshi Kudoh, Ming Ding, Hiroshi Takemura, Hiroshi Mizoguchi, "Improvement of Plantar Tactile Sensitivity by Stochastic Resonance for Prevention of Falling", Proceedings of The 4th International Congress on Image and Signal Processing, pp. 187-190, 2011. (査読有)
- [学会発表] (計 15 件)
- (1). 小杉真一, 田中康仁, 竹村裕, 小原晃, 椎名崇之, 池田篤俊, 小笠原司, 春日照之, "高速度カメラを用いた歩行時足底皮膚変位の計測", 第 20 回 横浜・京都・奈良 バイオメカニクスカンファレンス, 2013 年 12 月 21 日, 奈良県立医科大学.
- (2). 小杉真一, 田中 康仁, 竹村 裕, 椎名 崇之, 小原 晃, 池田 篤俊, 小笠原 司, "高速度カメラを用いた歩行時足底皮膚移動による足部アーチ機構の評価", 第 40 回日本臨床バイオメカニクス学会抄録集, p. 118, 神戸国際会議場, 2013 年 11 月 22 日~11 月 23 日.
- (3). Akira Obara, Takayuki Shiina, Hiroshi Takemura, Hiroshi Mizoguchi, "GAIT DIFFERENCE ON IRREGULAR SURFACE UNDER COOLING LOWER-LEG MUSCLE", 24th Congress of The International Society of Biomechaics (ISB2013), pp. BGL-WALKING1.08 (CD-ROM), August 4-9, 2013. ( Natal, Burazil)
- (4). Takayuki Shiina, Akira Obara, Hiroshi Takemura, Hiroshi Mizoguchi, "EVALUATION OF WALKING STABILITY BASED ON PLANTAR SKIN DEFORMATION MEASURED BY FEATURE POINTS", 24th Congress of The International Society of Biomechaics (ISB2013), pp. BGL-WALKING3.03 (CD-ROM), August 4-9, 2013. ( Natal, Burazil)
- (5). Takayuki Shiina, Akira Obara, Hiroshi Takemura, Hiroshi Mizoguchi, "WALKING STABILITY MEASUREMENT BASED ON PLANTAR SKIN DEFORMATION", 2013 Congress of International Society for Posture and Gait Research, Jun 22-26, 2013. ( Akita view hotel, Akita)
- (6). Akira OBARA, Takayuki SHINA, Hiroshi TAKEMURA, Hiroshi MIZOGUCHI, "Effect of icing lower-leg muscle during walking on irregular surface", 2013 Congress of sInternational Society for Posture and Gait Research (ISPGR2013), Jun 22-26, 2013. ( Akita view hotel, Akita)
- (7). 椎名崇之, 小原晃, 竹村裕, 溝口博, "歩行安定性評価を目的とした特徴点検出を用いた足裏皮膚変形計測に関する研究", 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2013 (ROBOMECH2013) 講演論文集, 2P1-G01 (CDROM), May 22-25, 2013. (つくば国際会議場, 茨城県つくば市)
- (8). 椎名崇之, 竹村 裕, 溝口 博, "特徴点検出を用いた足裏皮膚変形計測による歩行安定性の評価に関する研究", 関東学生会第 52 回学生会卒業研究発表講演会講演前刷集, pp. 235-236, 2013.
- (9). 小原晃, 竹村裕, 溝口博, "冷却による下腿筋筋紡錘機能低下状態での不整地歩行変化", 生体医工学シンポジウム 2012 (JSMES2012), pp. 1-2-04, September 7-8, 2012. (大阪大学 豊中キャンパス, 大阪府豊中市)
- (10). 小原晃, 竹村裕, 溝口博, "剛性変化のある路面における歩行動作が下腿筋冷却によって受ける影響", 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2012 (ROBOMECH2012) 講演論文集, pp. 2A2-A01 (1)-(4) (CDROM), May 27-29, 2012. (アクトシティ浜松, 静岡県浜松市)
- (11). 工藤聡, 丁 明, 竹村 裕, 溝口博, "確率共鳴を利用した足底触覚感度の向上による立位安定性への影響", 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2012 (ROBOMECH2012) 講演論文集, pp. 2A1-A08 (1)-(4) (CDROM), May 27-29, 2012. (アクトシティ浜松, 静岡県浜松市)
- (12). Akira Obara, Hiroshi Takemura,

Hiroshi Mizoguchi, "GAIT DIFFERENCE ON STIFFNESS CHANGE SURFACE UNDER LOWER-LEG MUSCLE", 2012 Northwest Biomechanics Symposium (NWBS2012), May 18-19, 2012. (University of Oregon in Eugene, OR, USA)

- (13). 小原晃, 竹村裕, 溝口博, "下腿筋冷却による筋紡錘機能低下が不整地歩行動作に及ぼす影響", 日本機械学会関東支部 第51回学生員卒業研究発表講演会, pp. 401-402, March 9, 2012. (日本大学 津田沼キャンパス, 千葉県習志野市)
- (14). 茶木亮, 鈴木信一郎, 丁明, 竹村裕, 溝口博, "不安定歩行早期発見を目的とした足裏接触変形・床反力同時計測装置の開発", 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2011 (ROBOMECH2011) 講演論文集, pp. 2P2-007(1)-(4) (CDROM), May 26-28, 2011. (岡山コンベンションセンター, 岡山県岡山市)
- (15). 工藤聡, 鈴木信一郎, 丁明, 竹村裕, 溝口博, "確率共鳴を利用した転倒予防のための足底触覚感度の向上", 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2011 (ROBOMECH2011) 講演論文集, pp. 2P2-P01(1)-(4) (CDROM), May 26-28, 2011. (岡山コンベンションセンター, 岡山県岡山市)

[その他]

研究室ホームページ:

<http://www.rs.noda.tus.ac.jp/brlab/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

竹村 裕 (TAKEMURA HIROSHI)

東京理科大学・理工学部・講師

研究者番号: 60408713