

200821021B

厚生労働科学研究費補助金
長寿科学総合研究事業

高齢者の転倒予防に関する研究

平成18年度～20年度 総合研究報告書

研究代表者 田村 俊世

平成 21(2009)年 3 月

厚生労働科学研究費補助金
長寿科学総合研究事業

高齢者の転倒予防に関する研究

平成18年度～20年度 総合研究報告書

研究代表者 田村 俊世

平成 21(2009)年 3 月

目 次

I. 総合研究報告書	
高齢者の転倒予防に関する研究	5
田村俊世	
(資料) 水平外乱刺激時における姿勢応答の計測 及び動的バランス評価の検討	
(資料) 高齢期疑似体験システム装着時における水平外乱刺激に 対する姿勢応答	
(資料) 足底刺激装置の開発とその高齢者の歩容への影響	
(資料) 体性感覚振動刺激に対する姿勢応答	
(資料) 加速度と角速度を用いた転倒検出の検討	
(資料) 転倒防護エアバッグの開発	
(資料) A Discussion on the Direction for the Study of Architectural Planning and Design	
(資料) 転倒予防のための最適空間設計 — 認知症者のための空間・環境認知的視点から —	
(資料) ウエアラブルセンサの臨床応用	
(資料) 装具効果判定および転倒リスクアセスメントシート	
II. 研究成果の刊行に関する一覧表	39
III. 研究成果の刊行物・別刷	45

I. 総合研究報告書

高齢者の転倒予防に関する研究

研究代表者 田村俊世 千葉大学大学院工学研究科・教授

研究要旨 身体機能が低下した高齢者人口の増加と介護保険の導入による原則身体拘束廃止によって転倒が増加している。転倒を防止するためには、外因としての福祉用具の導入や施設の居住環境といった、「ハード」面での支援ならびに社会的側面、個々人の心理面のケアも重要となってくる。そこで学際的に機器開発を中心とした転倒予防プロジェクトとして、転倒予防、予測によるQOLの向上、転倒後の疾病を防止する総合的な支援システムを考案した。転倒予防のためバランス保持に着目し、バランス機能測定装置を開発し、外乱発生時の身体平衡機能の特徴を角速度の左右方向の回転角（ピッチ）の計測で確認できた、またバランス機能維持のための姿勢調整に足底や腰、足首への振動刺激が有効であることが示された。加速度・角速度センサによる転倒の予測とエアバッグの開放による骨折予防のための転倒衝撃吸収システムを考案し、試作器が完成した。さらに、回想的空間・環境を提供することによって転倒事故の防止につながることを示された。最後に定量的でかつ経時的な転倒リスクアセスメント評価法を確立した。

〔研究組織〕

田村 俊世 千葉大学大学院工学研究科・教授

中山 茂樹 千葉大学大学院工学研究科・教授

東 祐二 藤元早鈴病院・セラピスト室室長

吉村 拓巳 東京都立産業技術高等専門学校・准教授

関根 正樹 千葉大学大学院工学研究科・助教

A. 研究目的

身体機能が低下した高齢者人口の増加と介護保険の導入による原則身体拘束廃止によって転倒が増加している。転倒は、環境因子が重大な影響を与えるが、加齢にともなう身体バランス機能の低下が大きい要素を占めることが云われている。そこで1) 動的なバランスを簡便に評価できるシステムの開発（田村）、2) バランス機能維持のための訓練システムの開発（関根）、3) 骨折予防のための転倒衝

撃吸収システムの開発（吉村）、4) 転倒リスクのない住宅環境の改善の提言（中山）、5) 作業療法士を中心とした転倒のリスクアセスメントの作成（東）、の課題についてそれぞれ研究を遂行した。

身体バランスは、一般には足関節戦略、股関節戦略、ステップング戦略と順次移行し、転倒を予防しているといわれている。高齢者になると、躓きや滑りが原因で股関節戦略やステップング戦略にスムーズに移行しないことが知られている。ここでは、立位状態から外乱を加えたときの身体加速度や角速度を計測できる機器を開発し、バランス機能の評価をまず行うことにした。バランス機能が低下した高齢者には、訓練が必要となる。そこで足裏刺激により重心位置が変化することに着目し、歩行中、あるいは立位で、バランスが崩れた場合、崩れた方向に刺激をあたえることで重心位置が回復すること

が知られているので、その原理を歩行に応用しようとするものである。

これらの支援により転倒を防ぐことができれば良いが、それでも転倒は生じるので、転倒しても怪我や骨折をしない支援システムが必要となる。これまでヒッププロテクタが有用であることは知られているが、着用にかかるなどの問題があることが多く、また、着用していないときに転倒事故が生じることもある。そこで、われわれはヒトにエアバッグを装着できないかを考えた。

さらに、癒しを目的に、過去の心地よい空間を作り、落ち着いた気分で過ごせるような仮想空間を設立し、居住者の反応を観察することにした。

転倒は、虚弱高齢者のみならず、脳卒中片麻痺患者にも共通する課題である。リハビリテーションでは転倒リスクを知るための検査法として Time Up Go (TUG) 検査が良く用いられている。椅子での座位から立ち上がり、歩行、回転、歩行、座位の複合動作から転倒リスクを推測するものである。従来は、遂行時間のみであったが、われわれは、歩行時の評価をより定量的に行い、その結果を、転倒リスクアセスメントに導入しようと試みた。

B. 研究方法

1) 動的バランスを簡便に評価できるシステムの開発(田村)

ここでは立位状態で床面を急激に移動させる装置を開発し、大きさの異なる外乱を与えることにより、姿勢戦略の変化を観察することとした。すなわち、外乱の定義を「立位姿勢における支持基底面を後方に水平に動かすこと」とし、後方向に外乱を発生させる水平外乱刺激発生装置を試作した。装置は前後に移動する床面、床面を駆動する AC サーボシステムから構成される。床面の前後方向の駆動にはボールねじ機構 (KR45H10A + 940LH0-100C, THK) と AC サーボモータ (MV-M40, KEYENCE) を採用し、再現性の高い位置制御、速度制御が行える。

この装置を用いて、外乱の大きさを変えてそのときの加速度、角速度、圧力中心などを計測し、有効なパラメータの抽出を行った。そこで姿勢戦略が足関節からステップに移行する仮定に着目し、上述のパラメータの変化を解析した。

その結果をもとに、外乱を与えるプロトコールをランダムと漸増と変えることによってパラメータが異なるかを検証した。

2) バランス機能維持のための訓練システムの開発 (関根)

バランスを保持できない高齢者のためにバランスを保持するように振動刺激を与える装置を開発した。足底に振動子を埋め込み、歩行中の体幹の揺れに対し、振動刺激を与える小型装置を開発し、評価を行った。同時に、振動刺激の有効な部位についても検証した。

3) 骨折予防のための転倒衝撃吸収システムの開発 (吉村)

骨折を予防するヒトが装着するエアバッグを開発した。

3-1 模擬転倒による転倒の検出

転倒がどのように起こるかを観察した。被験者は若年健康成人として前後、左右に転倒してもらい、そのときの加速度、角速度を計測した。

3-2 検出アルゴリズムの作成

3-1 の実験結果より転倒アルゴリズムを作成した。アルゴリズムの基本は閾値法で、ある加速度値、角速度値が閾値を超えた場合、転倒とみなす。そのアルゴリズムの有用性、すなわち誤動作の回避を日常行動中に検証した。すなわち、アルゴリズムを実装した加速度、角速度検出器を被験者に装着し日常行動中の誤動作について検討した。

3-3 エアバッグシステムの開発

模擬転倒の結果から、転倒の衝撃が加わる 100~300 ms 前に特徴的な波形が検出されることが明らかとなった。この波形をトリガとしてエアバッグを膨らませる機構を試作した。被験者がバランスを崩した際に、トリガ信号からエアバッグの膨張を開始

する。転倒を開始してから転倒の衝撃が加わる間にエアバッグを膨らませる構成とする。試作した装置はセンサ部、ガスボンベ、レギュレータ、電磁弁、エアバッグより構成されている。センサ部には 16 ビット CPU (H8 3048 Renesas Technology) を用いた。加速度センサの出力を CPU 内蔵の 10 bit A/D 変換器でデジタルデータに変換し、閾値を超えた場合に電磁弁にトリガを出力する構成とした。ガスボンベにはガスによる火災を防止するため、CO₂ ガス (グリーンガス、サンプロ) を用いた。ガスボンベのガスはそのままでは圧力が高すぎ危険なため、レギュレータ (可変レギュレータ、サンプロ) により減圧される。減圧されたガスは電磁弁 (VZ312-9HS-M5, SMC) によりトリガ信号が発生した場合にエアバッグにガスを供給する。エアバッグには試作品 (婦トップ) を用いた。

改良を重ね、電磁弁を用いた場合は、操作が安定せず、最終的には、火薬を用いてガスをエアバックに供給することとした。

試作器を完成させたのち、実際に、エアバックを装着した被験者 4 名について後方転倒実験を試みた。

4) 転倒リスクのない住宅環境の改善の提言 (中山)

回想的空間における認知症高齢者の行動を観察することにより、空間認知力の変化により、より現実にいる空間を把握し、それによって転倒・転落等の事故予防につなげられる可能性を探ることを第一の方法とした。

5) 作業療法士を中心とした転倒のリスクアセスメントの作成 (東)

5-1 加速度、角速度信号による評価指標の検討

片麻痺患者を対象に、TUG テストを試み、加速度、角速度信号の揺らぎを計測した。

5-2 転倒リスクアセスメントの作成

3 ヶ年の研究成果をもとに、総合的な転倒アセスメントシート原案を作成した。

(倫理面への配慮)

臨床における機器の評価・実験に関しては、その安全性について十分検討を行った。また、実施機関の倫理委員会による承認を得た後、被験者およびその家族に対し、実験内容と意義および生じうる危険性について書面ならびに口頭で十分に説明を行い、書面にて同意を取った。原則としてスタンドアロンの PC を用い、パスワードで保護された USB メモリを用いて情報漏えいがないように配慮した。情報の管理にはセキュリティ対策を十分に行い、プライバシーの保護を最優先とした。また、学会等でデータを発表する際には、個人が特定されないように配慮した。

C. 研究結果

1) 動的バランスを簡便に評価できるシステムの開発

水平外乱刺激発生装置の外乱の値を加速度で計測し、姿勢戦略を最も顕著にあらわしたのが左右方向の回転角 (pitch 方向) であった。この値の位相変化や大きさがステップ戦略に至る過程をもっとも顕著に表していた。

プロトコルを比較した場合、同一被験者では、ステップ戦略に移行する外乱は同じ値であった。

2) バランス機能維持のための訓練システムの開発

歩行時の足底振動刺激においては、体幹の左右方向の揺らぎが減少し、重心移動に伴う、体幹の揺れを補償する動きがみられたといえる。しかしながらデータの個人差が大きく、刺激の入り方も統一されていなかった。

そこで、刺激の大きさと部位との関係を見ると足首、腰部が顕著に刺激に反応した。

3) 骨折予防のための転倒衝撃吸収システムの開発

模擬転倒実験では、すべての加速度が $\pm 3 \text{ m/s}^2$ 以下、角速度が 30 deg/s 以上になった場合、転倒を検出し、この値は、日常行動でも誤作動を生じな

かった。

試作器の転倒実験では4名とも転倒前にエアバッグが開放した

4) 転倒リスクのない住宅環境の改善の提言

老人病院(療養型病床)の病棟に和室の雰囲気をもつコーナーを設置し、さらに異なる病院の認知症患者デイケア施設において、全面的な改装環境を設けることにより、認知症高齢者の行動の変化を観察し、併せてMOSESスケールによって客観的な評価を行ったものである。

その結果、回想環境における心理療法は必ずしも全員に効果があるわけではないが、明らかな改善がみられる高齢者もいて、相応に効果があるらしいことが判明した。特に女性高齢者において「抑うつ感」や「引きこもり」の点において著しい改善がみられる高齢者がおり、より積極的な日常生活の展開がみられる。また周囲の変化への気づきもみられ、こうした環境とその変化をとらえる能力の維持は、事故防止につながるものと思われる。

5) 作業療法士を中心とした転倒のリスクアセスメントの作成

TUG 検査において角速度信号で動作の切り分けが可能となり、各動作で加速度信号の評価が可能となった。

TUG のトータルタイムを、自立群と監視群と比較すると、監視群は有意に、遂行時間が長かった。

($P < 0.05$) 動作別の遂行時間の比較では、往路歩行と復路歩行それぞれにおいて、監視群は、有意に遂行時間が長かった ($P < 0.01$) が、他の動作に差がなかった。

RMS 値は、全体的に自立群は、監視群に比べて大きかった。歩行を除いて他の動作フェーズでは有意差が認められなかった。

歩行時の左右方向と上下方向の比較では、監視群は、有意に RMS 値が少なかった。 ($P < 0.01$)

変動係数の比較では、監視群は、左右方向で、有意に変動係数が大きかった。 ($P < 0.01$)

歩行サイクルごとに算出した RMS 値は歩行監視

者は自立者に比べて、値にばらつきが多かった。

転倒のリスクアセスメントおよびその対策においては、これまで、歩行時のリスク軽減を主たる方法として対応されていた。しかし、これまで3ヵ年の研究から、歩行場面や環境場面によるリスクの抽出に加えて、歩行能力の客観的な評価法を確立し、総合的な観点からリスクアセスメントすることが重要であることが示唆され、今回、これに対応するアセスメントシート原案を作成できた。

D. 考察

転倒を予防、予測ならびに転倒時の疾病の防止や怪我をしない環境について検討した。まず、水平外乱刺激発生装置を開発し、これを用いて外乱刺激時の pitch 方向の身体動揺から3つの姿勢制御戦略(足関節戦略・股関節戦略・ステップング戦略)の特徴を確認できることを示した。今後、pitch 角の大きさがバランス評価の標準値となりうるかのさらなる検証を必要とする。将来的には、朝、起床した時点で、バランス発生刺激装置によりバランス能力を評価し、もし、その能力が平常より何らかの理由で劣っているとすれば、使用者が1日の行動になんらかの注意を払うことができる。そのような簡便な機器開発を最終目標とする。

また、足裏刺激装置については姿勢調整に影響を与える振動パラメータとして刺激部位と周波数が有効であることを明らかにした。さらに、バランス機能を改善するためには足底以外に、足首、腰の刺激が有効であったことから、バランス機能が低下した高齢者により効果的な刺激を与えるためにウェアラブル刺激装置の開発が有効であることが示唆された。

転倒時の骨折防止用エアバッグについては、転倒検出アルゴリズムの誤動作防止のため、加速度、角速度信号の計測が有効であり、精度の高い転倒検出が可能になったことにより転倒予防のためのヒトエアバッグのプロトタイプが完成した。骨折防止用エアバッグをより普及させるためにエアバックの

エア開放部分のさらなる開発が必要であることが示された。

一方、施設の改善を回想法をもとに行った結果、「懐かしい事物」のインストールや、「回想ストリート」の制作、およびその環境の中での回想法（環境回想法）は多くの認知症の方に有効であると考えられた。

このことから、廉価で、効果的な在宅での仮想環境を作る工夫が必要となった。

最後に、これまでの転倒リスク検査に加速度測定を用いた動作評価は転倒のリスクを定量的に評価することが可能であることが示唆され、転倒リスクアセスメントに有用な情報を提供できることが示唆された。今後のデータ収集が期待される。

さらに、計測記録、解析ソフトの開発等臨床場面で効率的に使用されるための検討の必要性が示唆された。

今回の開発で、多くの研究は対象者を若年健常者とした。本来であれば高齢者を対象とすべきであるが、倫理上、実験計画を作成することは、不可能であった。有用性は示されたといえるが、高齢者用のプロトコルの作成、安全面の課題などが残った。

E. 結論

高齢者のバランス機能を計測し、機能低下を予測し、予防のために体感刺激を与えることを提案した。また、転倒時の骨折予防のためにヒトに着用できるエアバッグを開発した。さらに回想法を利用して転倒しない仮想環境を作り上げた。

これまでの定性的な情報が多かった転倒リスク、転倒の評価に少なくとも定量的な情報を加えることができた。まだまだ、多くの問題を含んでいるが定量的な評価にむけての第一歩は踏み出せたと考える。

F. 研究発表

1. 論文発表

- Ichinoseki-Sekine N, Kuwae Y, Higashi Y,

Fujimoto T, Sekine M, Tamura T. Improving the accuracy of pedometer used by the elderly with the FFT algorithm. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. Sep;38(9):1674-81, 2006.

- 山本弘毅, 吉村拓巳, 関根正樹, 田村俊世. 高齢者のバランス機能改善を目的とした足裏刺激装置の開発. 第21回生体・生理工学シンポジウム論文集, pp413-414, 2006.
- 関根正樹, 木内尚子, 前田祐佳, 田村俊世, 桑江 豊, 東 祐二, 藤元登四郎, 大島秀武, 志賀利一. 高齢者の歩容に対応した歩数計の開発—カウントアルゴリズムの検討—. 第21回生体・生理工学シンポジウム論文集, pp521-522, 2006.
- 吉村拓巳, 山本弘毅, 関根正樹, 田村俊世. 転倒エアバッグ開発のための転倒検出方法の検討. 第21回生体・生理工学シンポジウム論文集, pp523-524, 2006.
- 飯島賢一, 柳田純一, 関根正樹, 田村俊世. 角速度を用いた水平外乱刺激時の姿勢応答の計測. *生体医工学*, 45(4): 285-291, 2007.
- 東 祐二, 山越憲一, 藤元登四郎, 関根正樹, 田村俊世. 脳卒中片麻痺者における Timed up and Go Testの動作フェーズの検出に関する検討. *生体医工学*, 44(4): 739-746, 2006.
- 関根紀子, 関根正樹, 田村俊世, 内藤久士, 形本静夫. 高齢者における杖歩行時の歩数計測法の開発. *デサントスポーツ科学*, 28:155-161, 2007.
- Nakayama S, A Discussion on the Direction for the Study of Architectural Planning and Design – Towards Establishing the Healing Power of the Environment on a Scientific Basis, *Symposium on Healthcare Architecture in ASIA 2007*, 37-42, 2007.
- Higashi Y, Yamakoshi K, Fujimoto T, Sekine M,

Tamura T, Quantitative evaluation of movement using the timed up-and-go test, *Engineering in Medicine and Biology Magazine*. 27(4): 38-46, 2008.

- 堀田庸介, 関根正樹, 田村俊世, 桑江豊, 東祐二, 藤元登四郎, 大島秀武, 志賀利一, 高齢者に対応した歩数カウントアルゴリズムの開発, *生体医工学学会誌*, 46(2):283-288, 2008.
- 吉村拓巳, 山本弘毅, 関根正樹, 田村俊世, 転倒エアバッグのための転倒検出方法の検討, *ライフサポート学会誌*, 20(3):11-16, 2008.
- Rajendra A U, Goh S C, Iijima K, Sekine M, Tamura T. Analysis of body responses to an accelerating platform by the largest-Lyapunov-exponent method. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: Journal of Engineering in Medicine*. 223(1): 111-120, 2009.
- 飯島 賢一, 関根 正樹, 田村 俊世: 漸増する水平外乱刺激に対する姿勢応答. *生体医工学*. 47(1): 70-76, 2009.

2. 学会発表

- 吉村拓巳, 関根正樹, 田村俊世. 加速度センサを用いた転倒防止用エアバッグの開発. 第45回日本生体医工学学会大会, 福岡, p706, 2006.
- 吉村拓巳, 山本弘毅, 関根正樹, 田村俊世. 転倒防止用エアバッグの開発と評価. *生体医工学シンポジウム 2006*, 新潟, CD-R, 2006.
- 湯地忠彦, 桑江豊, 新地友和, 鷹居彩子, 東祐二, 藤元登四郎, 関根正樹, 田村俊世. 湯地忠彦, 桑江豊, 新地友和, 鷹居彩子, 東祐二, 藤元登四郎, 関根正樹, 田村俊世. デイサービス利用者における10m歩行速度, Timed up & go testの関連について. 第41回日本理学療法学会大会, 2006.
- 桑江 豊, 新地友和, 湯地忠彦, 鷹居彩子, 東

祐二, 藤元登四郎, 関根正樹, 田村俊世, 加速度計による片麻痺歩行の評価ー加速度と減速度の出力に着目してー. 第41回日本理学療法学会大会, 2006.

- 湯地忠彦, 東祐二, 藤元登四郎, 関根正樹, 田村俊世. リハビリテーション在宅医療制度とME. 日本生体医工学学会専門別研究会「在宅医療とME技術」, 2006.
- 飯島賢一, 柳田純一, 関根正樹, 田村俊世. 水平外乱刺激における立位姿勢応答. *生体医工学シンポジウム 2007*, CD-ROM, 2007.
- 山本弘毅, 新地友和, 吉村拓巳, 関根正樹, 田村俊世. 足底刺激装置の開発とその高齢者の歩容への影響. *生体医工学シンポジウム 2007*, CD-ROM, 2007.
- 新地友和, 福永誠司, 湯地忠彦, 東祐二, 山本弘毅, 関根正樹, 吉村拓巳, 田村俊世. 立脚相での足底刺激が高齢者の歩行に与える影響. 第42回日本理学療法学会大会, 666, 2007
- 吉村拓巳, 山本弘毅, 関根正樹, 田村俊世. 加速度センサを用いた転倒検出方法の検討. 第46回日本生体医工学学会大会. 271, 2007.
- Tamura T, Yoshimura T, Sekine M. A Preliminary Study to Demonstrate the Use of an Air Bag Device to Prevent Fall-Related Injuries. 29th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. 3833-3835, 2007.
- 吉村拓巳, 関根正樹, 田村俊世. 加速度と角速度を用いた行動計測装置の開発. システム・情報部門学術講演会 2007 講演論文集, 407-408, 2007.
- 関根正樹, 田村俊世, 桑江豊, 東祐二, 藤元登四郎. 角速度センサを用いた歩行の自立度の評価. *生体医工学シンポジウム 2007*, CD-ROM, 2007.

- 堀田庸介, 関根正樹, 田村俊世, 桑江 豊, 東祐二, 藤元登四郎, 大島秀武, 志賀利一. 高齢者に使用できる歩数計の開発-3軸合成アルゴリズムおよび装着部位についての検討-. 生体医工学シンポジウム 2007, CD-ROM, 2007.
 - 緒方 匡, 清藤早弥香, 海蔵和香, 東 祐二, 湯地忠彦, 藤元登四郎, 関根正樹, 田村俊世. 脳卒中片麻痺者における乗用車への移乗動作の評価〜手すり設置位置の違い〜. 第 46 回日本生体医工学学会大会. 131, 2007.
 - 飯島賢一, 関根正樹, 田村俊世. 水平外乱刺激時における動的バランス評価の検討. 生体医工学シンポジウム 2008, CD-ROM, 2008.
 - 飯島賢一, 関根正樹, 田村俊世. 高齢期疑似体験システム装着時における水平外乱刺激に対する姿勢応答. 第2回横幹連合総合シンポジウム, 53-54, 2008.
 - Tamura T, Yoshimura T, Sekine M, A Study to Demonstrate the Used of an Air Bag Device to Prevent Fall-related Injuries. The 8th IEEE International Conference on BioInformatics and BioEngineering (BIBE 2008), CD-ROM (BE-3.1.6), 2008.
 - 吉村拓巳, 山本弘毅, 関根正樹, 田村俊世, 加速度と角速度を用いた転倒検出の検討, 第 47 回日本生体医工学学会大会, 233, 2008.
 - 吉村拓巳, 関根正樹, 田村俊世, 内田光也, 田中理. 転倒防護エアバッグの開発. 生体・生理工学シンポジウム 2008, 151-152, 2008.
 - 吉村拓巳, 関根正樹, 内田光也, 田中 理. 転倒防護エアバッグのための転倒検出方法の改善. 生体医工学シンポジウム 2008, CD-ROM (1-08-10), 2008.
 - 東 祐二, 桑江 豊, 緒方 匡, 藤元登四郎, 関根正樹, 田村俊世, 山越憲一, 第 47 回生体医工学学会大会, 196, 2008.
 - 永井麻衣, 清藤早弥香, 緒方 匡, 老川大輔, 東 祐二, 藤元登四郎, 関根正樹, 田村俊世, 角速度センサを用いた脳卒中片麻痺者における畳からの立ち上がり動作の定量評価の試み-第 2 報-, 第 47 回生体医工学学会大会, 676-677, 2008.
 - 小林淳史, 関根正樹, 田村俊世, 三好寿顕, 依田成司, 花田恵太郎. 取り付け位置に依存しない歩数カウント方法の検討. 第6回生活支援工学系学会連合大会・日本機械学会福祉工学シンポジウム 2008, 128, 2008.
- H. 知的所有権の取得状況
1. 特許取得
 - 内田光也, 田中 理, 永田久雄, 吉村拓巳, 田村俊世, 高橋幸利. 人体用エアバッグ装置. 特許公開 2008-22943.
 - 内田光也, 田中 理, 深谷 潔, 吉村拓巳, 田村俊世, 高橋幸利, 人体用エアバッグ装置, 特願 2009-27147
 2. 実用新案登録
 - なし
 3. その他
 - なし

研究背景

高齢者の増加→超高齢社会
生活の質(QOL)の維持・向上が課題

高齢者…身体のバランス機能が低下

転倒の危険性が增大

- ・大腿骨頸部骨折などの大きなケガ
- ・転倒への恐怖
- ・寝たきり
- ・日常生活動作(ADL)の能力低下

転倒の予防が重要

研究背景

高齢者の転倒原因…50%以上が滑りや躓きといった外乱
→外乱に対する身体の姿勢応答の計測・評価が必要



研究背景

高齢者の転倒原因…50%以上が滑りや躓きといった外乱
→外乱に対する身体の姿勢応答の計測・評価が必要

- ・ステッピング戦略に関する動作分析研究が少ない
- ・動的なバランス評価に有用な指標は確立していない

将来臨床で用いるためには、簡便な計測法が必要

角速度: バランス障害のある患者のスクリーニングに有用
"Balance Control Analysis as a Method for Screening and Identifying Balance Deficits", 2001, Algom et al.

→姿勢応答の計測にも角速度が有用ではないか

研究目的

外乱時の姿勢応答の計測において角速度センサを用いた計測手法を提案し、本手法にて外乱時の姿勢動揺を計測するとともに、動的バランス機能の評価に対する検討を行う

水平外乱刺激発生装置

外乱: 支持基底面の後方への水平移動



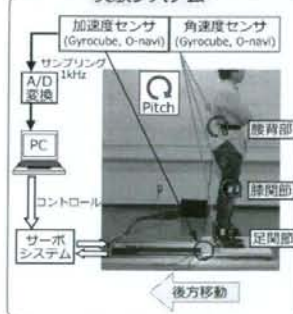
装置の外観

滑らか、再現性のある
水平駆動が可能

- ・最大加速度: 5m/s^2
- ・最大速度: 0.5m/s
- ・テーブル駆動範囲: $\pm 0.40\text{m}$ (端では 0.8m)

実験方法

実験システム



被験者

健康成人10名(男7名,女3名)
年齢 21.3 ± 1.6 歳
身長 $169.2 \pm 6.9\text{cm}$
体重 $58.8 \pm 5.4\text{kg}$
※当該倫理委員会の承認を得た後、全ての被験者から書面によりインフォームドコンセントを得て実施

- ・腕組み
- ・閉眼

計測項目

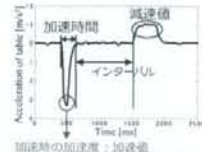
- ・テーブルの加速度
- ・膝背部・膝関節・足関節のPitch方向の角速度

実験方法

実験プロトコル

- 初期姿勢(腕組,閉眼)
- 合図
- 10秒以内に外乱刺激

外乱の大きさ
= 加速値の大きさ
ランダム, 計20試行

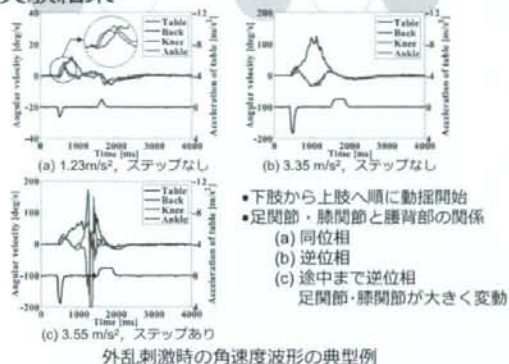


加減時の加速度: 加速値
外乱刺激の加速度波形
加速値: $0.6 \sim 4.4\text{m/s}^2$ の20段階
加速時間: 100ms
インターバル: 1000ms
減速値: 1.0m/s^2

解析項目

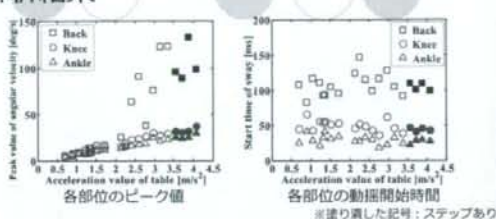
- ・各部位の角速度ピーク値
- ・加速開始時間を基準とした各部位の動揺開始時間

実験結果



外乱刺激時の角速度波形の典型例

解析結果



項目	足関節・膝関節	腰部
ピーク値	単調に増加	ある大きさ以上の加速値で急激に増加
動揺開始時間	値：一定 ばらつき：小	値：一定 ばらつき：大

考察

- 足関節・膝関節と腰部の姿勢動揺の比較
 (同位相……………足関節戦略
 逆位相……………股関節戦略
 逆位相の崩れ…ステッピング戦略)
- 角速度ピーク値
 腰部…足関節戦略から股関節戦略への移行
 Pitch方向の角速度で各姿勢制御戦略を確認
 角速度センサでの姿勢動揺の計測が可能
- 外乱刺激に対する腰部の変動やばらつきが大きい
 腰の動揺が外乱刺激に対する姿勢調節に影響

まとめ

- 外乱刺激に対する姿勢動揺の簡便な計測法として角速度センサを用いた計測法を提案
- 角速度センサで外乱刺激に対する姿勢動揺の計測が可能
- 外乱刺激時の腰の動揺が姿勢調節に影響

今後の展望

- 角速度センサを用いた動的なバランス評価指標の検討
 → バランス機能という観点からの解析・検討
- 実験プロトコル
 ランダム：1つ前の試行が次の試行に影響
 → 順次増大：より正確な姿勢制御戦略の移行期の検討
- 足圧分布測定システム(F-SCAN)との統合的な評価



↓
 バランスの善し悪しを判断する評価指標の提案
 実際の高齢者のバランス機能の改善に貢献

高齢期疑似体験システム装着時における水平外乱刺激に対する姿勢応答

飯島 賢一, 関根 正樹, 田村 俊世
千葉大学大学院

背景

高齢者の増加→超高齢社会
生活の質(QOL)の維持・向上が課題

高齢者・・・身体バランス機能が低下
転倒の危険性が増大

・大腿骨頸部骨折などの大きなケガ
・転倒への恐怖

・寝たきり
・日常生活動作(ADL)の能力低下

転倒の予防が重要

背景

主な転倒原因・・・踏きや滑りなどの外乱

先行研究:
若年者における外乱刺激に対する動的バランス実験

→腰部・大腿・足首に角速度センサを装着し、Pitch方向の角速度により、姿勢制御戦略の特徴を確認

足関節戦略
股関節戦略
後方外乱に対する姿勢制御戦略

背景

外乱刺激に対する動的バランス実験

高齢者への適用 → ?

→大きな外乱: 転倒の危険性あり
→簡便な実験系を目指す

本研究: 高齢者への適用を踏まえて...

- 健康若年者に高齢期疑似体験システムを装着
- 疑似高齢者とした際の外乱に対する姿勢応答の計測
- 健康若年者との動きの違いを比較・検討

姿勢制御戦略における角速度の特徴

● 足関節戦略

身体を1本の剛体としてバランスを保持
・・・「各部位の角速度は同方向」
「角速度のピーク値がほぼ同値」

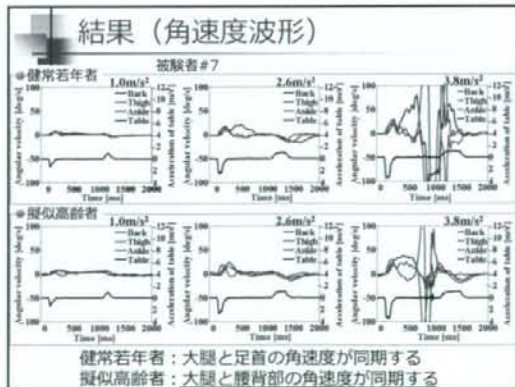
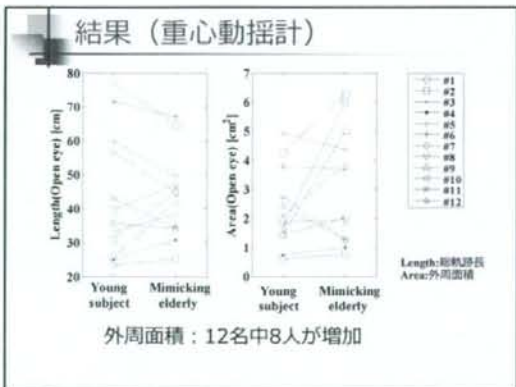
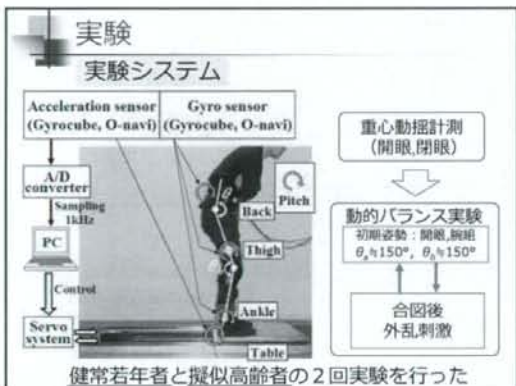
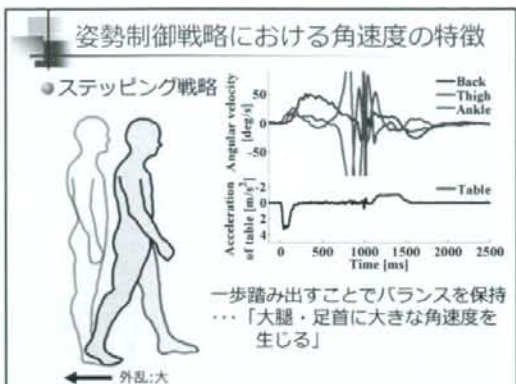
← 外乱:小

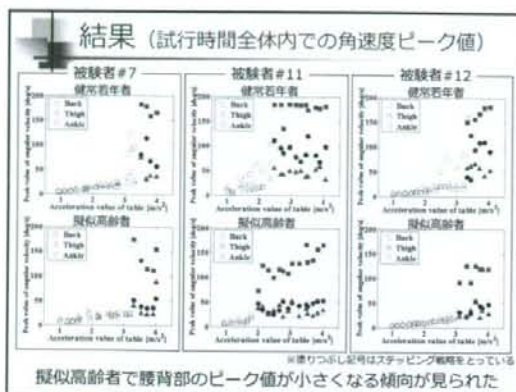
姿勢制御戦略における角速度の特徴

● 股関節戦略

体幹と下肢の2本の剛体としてバランスを保持
・・・「腰部部と大腿・足首は逆方向の角速度」
「腰部部の角速度ピーク値が大腿・足首に比べて大きい」

← 外乱:中





考察

- 角速度波形
 - 疑似高齢者：腰背部と大腿の同期
 - 膝より上が1つの剛体
 - 膝を優位に働かせたバランス保持
 - 腰背部と足首の波形パターンは健康若年者と類似
 - 膝屈曲からの姿勢制御戦略
- 角速度ピーク値
 - 疑似高齢者：腰背部のピーク値が小さい
 - 動きに制限
- Step-Acc
 - Step-Accが低くなった→バランス能力の一時的低下
 - より低い外乱による評価が必要

まとめと今後の展望

- 高齢期疑似体験システムを健康若年者に装着し、動的バランス実験を行った。
- 疑似高齢者において、健康若年者とは異なる姿勢応答を示した。
- 今後、高齢者を対象とした実験において、より低速外乱での実験を行う必要がある。

背景

進行する高齢社会

65歳以上の高齢者人口…2560万人(人口の20%)

平成19年度版 高齢社会白書より

高齢者の加齢に伴う身体機能低下
立位バランス能力、歩行能力 etc...

歩行等における転倒の発生・危険性の増大

ADL(Activities of Daily Living:日常生活動作)の狭小化
寝たきり状態への移行

転倒の防止が必要

転倒防止

バランス機能の維持・改善

- 運動面…筋骨格系, 神経筋協同収縮系
- 感覚面…視覚系, 前庭迷路, 体性感覚系

刺激入力の容易な体性感覚への刺激に着目

足底への振動刺激…静的立位で効果有り

"Vibrating insoles and balance control in elderly people"
2003 James J Collin et al.

歩行時のバランス機能の維持・改善を目的
とした足底振動刺激装置の開発

足底振動刺激装置

装置開発における検討

- 開発のポイント
操作性の良さ, 履きやすさ(形状)



靴型



インソール型

取り回しのよさからインソール型

装着者により足のサイズが違うため
振動刺激部を独立

足底振動刺激装置

- 振動刺激部
フレキシブル基板上に回路をプリント、素子を実装



- 振動モータ (FM34F, 東京パーツ工業)
- タクトスイッチ (SKQGAD, ALPS)

- 仕様

駆動電圧[V]	動作電圧[V]	振動数[mm]	振動量[m/s ² g]	刺激部[mm]	コントロールボックス[mm]	連続駆動時間
9.0	2.5	13000	17.6(1.8)	126×5	114×64	約4分間


- 足底振動刺激装置
振動刺激部

振動刺激部をスポンジに組み込み
インソール型の足底刺激装置とした

刺激箇所: 踵骨, 第1, 第5中足骨付近
刺激タイミング: 立脚期

実験方法

- 測定方法



加速度センサ(腰部部中央 H48A, 日立金属)

信号はテレメータ (WEB-5000, 日本光電)で収集される (サンプリング周波数 128[Hz])

足底刺激装置(両足)

- 対象

高齢者12名
(年齢79.4±7.5歳
歩行中杖などの支持不必要)

※当該倫理委員会の承認を受け、
全ての被験者から書面によりイン
フォームドコンセントを得て実施

- 実験プロトコル

座位 → 予備路3[m] → 歩行計測区間10[m] → 予備路3[m] → 座位

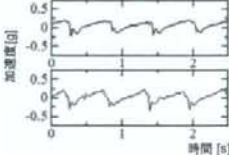
歩行条件: 刺激無し/刺激有り

- 測定項目

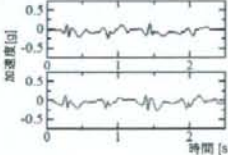
加速度(前後, 左右, 上下方向)

測定結果例

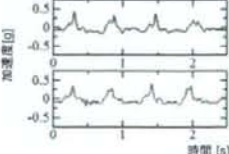
前後方向



左右方向



上下方向



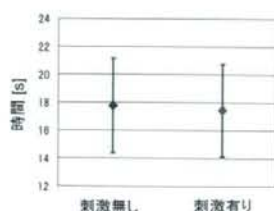
Legend: — 刺激無し, — 刺激有り

■ 解析方法

- 10m歩行…10mの歩行計測区間の歩行時間
- 一步周期…自己相関から一步周期を算出(周期の変化を評価)
- RMS値…0.5~16[Hz]でバターワースフィルタをかけ、加速度波形から10歩分を切り出して算出(加速度の大きさを評価)

各項目について対応のあるt検定を行った

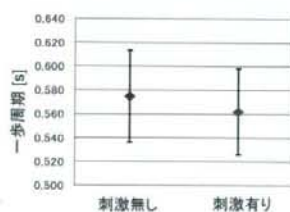
■ 実験結果(10m歩行)



有意差無し ($p > 0.05$)

歩行時間の変化なし

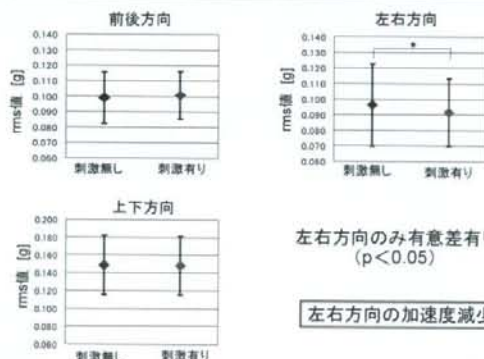
■ 実験結果(一步周期)



有意差無し ($p > 0.05$)

歩行周期の変化なし

■ 実験結果(RMS値)



左右方向のみ有意差有り ($p < 0.05$)

左右方向の加速度減少

■ 考察

- 足底刺激の高齢者における影響

有意差無し…10m歩行、一步周期、RMS値(前後・上下方向)
有意差有り…RMS値(左右方向)

歩行時に動作効率を落とすことなく
側方への重心の移動を抑制

現在の振動刺激装置では振動強度、パターンは一定
個人の体性感覚の閾値の違い

振動強度・パターンの変更を可能に

■ 足底振動刺激装置の改良

- 振動強度・パターンの変更

振動強度…ボリュームによって電圧値を変化
振動パターン…マイコンを使用することでパターンを変化

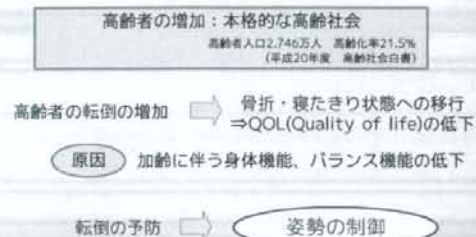
コントロールボックスを作製



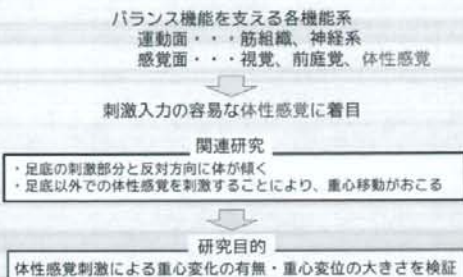
使用マイコン	H8/3048F
使用電源	9V乾電池
駆動電圧[V]	2.5-6.5
コントロールボックス[mm]	119×86

今後はこれを使用して実験を行う

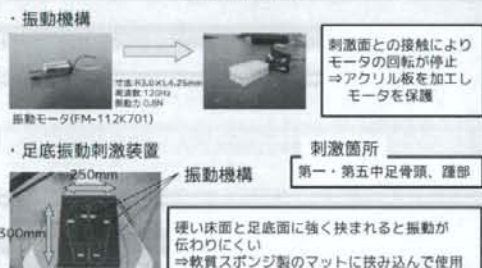
研究背景



研究目的



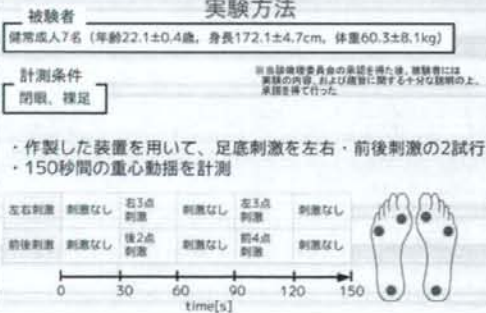
振動刺激装置



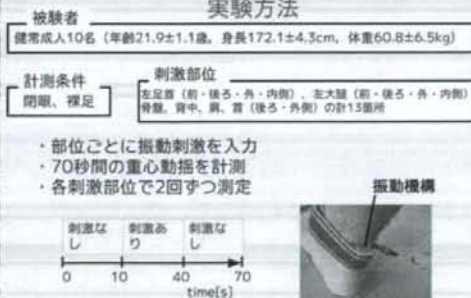
計測装置



足底振動刺激 実験方法



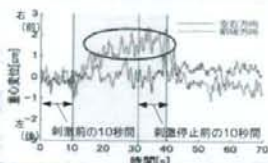
足底以外での体性感覚振動刺激 実験方法



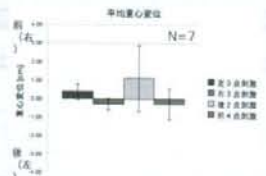
解析方法

重心変位 = (刺激終了直前の10秒間の平均変位) - (刺激開始直前の10秒間の平均変位)

- ・重心移動が振動刺激によるものかの検討
⇒刺激なしと刺激ありで対応のあるt検定
- ・再現性の検証(足底以外での部位)
⇒測定1回目と2回目で対応のあるt検定



足底振動刺激
解析結果



刺激部位と反対の方向への重心移動を確認
t検定

右足3点刺激以外では有意差なし
($p > 0.05$)

足底以外での体性感覚振動刺激
解析結果 (1)



足首・骨盤・・・10人中9人の同方向への重心移動を確認
その他の部位・・・標準偏差大 ⇒ 被験者により効果にばらつきあり

足底以外での体性感覚振動刺激
解析結果 (2)

- ・足底以外での振動刺激による重心移動を確認
- ・重心移動が振動刺激によるものかの検討
有意差あり・・・足首全方向(1,2)、骨盤(1,2)、首後部(1)、首側方部(1)
有意差なし・・・大腿全方向(1,2)、背中(1,2)、肩(1,2)、首後部(2)、首側方部(2)

※()内は測定回数

- ・再現性の検証
首後部以外で有意差なし (⇒) 再現性あり
($p > 0.05$)

まとめ

足底振動刺激実験

- ・足底振動刺激により、反対方向への重心移動を確認

足底以外での振動刺激実験

- ・足底以外の部位での振動刺激による重心移動を確認
- ・足首、骨盤での振動刺激において・・・
刺激時の顕著な重心変化を確認
再現性を確認

静止立位における姿勢制御の可能性