

高齢者のバランス機能評価のための靴型重心動揺計の開発

Development of postural control evaluation system of the elderly

- 安在 絵美 (東京医療保健大学), 中嶋 香奈子 (お茶の水女子大学),
 児玉 美幸 (株式会社ピーベリー), 岩上 優美 (東京医療保健大学),
 太田 裕治 (お茶の水女子大学), 井野 秀一 (産業技術総合研究所),
 伊福部 達 (東京大学), 山下 和彦 (東京医療保健大学)

- Emi ANZAI, Tokyo Healthcare University, Kanako NAKAJIMA, Ochanomizu University,
 Miyuki KODAMA, Peaberry Corporation, Yumi IWAKAMI, Tokyo Healthcare University,
 Yuji OHTA, Ochanomizu University, Shuichi INO, AIST,
 Toru IFUKUBE, University of Tokyo and Kazuhiko YAMASHITA, Tokyo Healthcare University

Abstract: Aging has become the social problem recently. One of the contributing factors that the elderly falls down is postural control depression, but the evaluation index has not established yet. The aim of this study was evaluating postural control to prevent falling, so we developed 'Shoes type stabilometer' and postural control evaluation system. First, we conducted comparative tests between stationary type stabilometer and shoes type stabilometer to evaluate the accuracy of shoes type. Second, we conducted field tests with healthy young adult, the healthy elderly and the frail elderly.

As a result, comparative experiments revealed high correlations between stationary type and shoes type in the indexes told to be important by postural control. Consequently, Shoes type stabilometer enables to evaluate postural control on equality with stationary type. Furthermore, the results of field tests revealed availability of the evaluation system we developed in this present study.

Key Words: The elderly, Postural control, Shoes type stabilometer, Falling,

1. はじめに

日本の高齢化率は2010年が23.1%, 2035年には33.7%, 2055年には40.5%と予測されている⁽¹⁾。高齢化の社会的問題の1つとして転倒が挙げられ、転倒事故の年間件数の約80%が65歳以上である⁽²⁾。さらに、介護認定の要因について着目すると、転倒事故は要介護要因の9.3%を占めている⁽³⁾。つまり、介護認定を受ける10人に1人は転倒事故によるものである。これら転倒事故・転倒骨折は寝たきりの要因であり、QOL低下を招くだけでなく、医療費・介護費増加の大きな要因であることから、転倒予防に対する効果的な対策が急務である。

転倒の要因には、身体的要因を主とする内的要因と生活環境要因を主とする外的要因に大別される。バランス機能は内的要因の一つであり、その機能低下による転倒の相対危険率は高く、これを維持・向上させることが転倒予防では重要である⁽⁴⁾。さらにバランス機能は加齢に伴い、下肢能力・歩行能力等の身体機能と共に低下する⁽⁵⁾。これによりADLの低下、さらに転倒事故による寝たきりおよび廃用症候群等によるさらなる身体機能の低下が危ぶまれる。

転倒予防・介護予防への取り組みの一つとしては、「65歳以上で生活機能が低下し、近い将来介護が必要となるおそれがある高齢者」とされる特定高齢者事業がある。これは介護予防事業の一つであり、特定高齢者として認定を受けると運動指導を始めとする転倒予防教室などの介護予防プログラムを受けることができる。しかし、その対象者の把握は本人へのアンケートが主であり、客観的・定量的な評価はほとんど行われていない。さらに都道府県・市町村においても基準が異なることから、対象者の認定の度合いは様々である。したがって、主観評価だけでなく、簡便な身体機能計測による定量的評価を行い、その上で認定を行うことが必要だと考える。

そのため、日常的な高齢者の身体機能計測を行うことで姿勢安定性を評価し、転倒リスクに関する情報提供を行う

ことで、転倒予防・介護予防につなげていくことが求められる。また、このような定量的な転倒リスク評価を行うことによって、主観的に偏りがちな健康観を改善し、効果的な予防につなげられると考える。しかし、姿勢制御能の評価において様々な手法が提案されているが、明確な手法は明らかではなく、転倒予防に対する評価法も未確立である。

現在の姿勢制御能の評価の1つとして、重心動揺計や床反力計を用いた計測が行われている。これらは精度が高いが、高額・大型であり、測定を行う現場では持ち運びがしづらいため、明確な数値を導出しがたいなど、簡便性に欠けており、軽量・小型かつ安価なものが望まれている。

以上のような背景から、本研究では現場で簡便に行える定量的なバランス機能評価を目的とし、靴型重心動揺計および無線機、データ取得アプリケーション、解析システムの開発を行った。そして、靴型重心動揺計の精度検証を行うために、従来の据置型重心動揺計との比較実験を行った。また、本研究で開発を行ったシステムの有効性を検討するため、特定高齢者を含む高齢者および若年者に対し、本システムを用いたフィールド実験を行った。

2. 高齢者のバランス機能評価のための靴型重心動揺計の開発

2-1. 開発の概要

本研究で開発を行った靴型重心動揺計を Fig.1 に示した。バランス機能の検知のために、インソールには感圧導電ゴムを用いた圧力センサを片足7点ずつ、計14点のセンサを組み込んだ。センサの大きさは16×11×0.8[mm]で、その配置を Fig.2 に示した。被験者の足の大きさに合わせるために靴のサイズは複数構成した。

Fig.3 に示した無線機を装備したことで、圧力データの無線伝送が可能となるよう構成した。無線の通信方式は Bluetooth を使い、サンプリング周波数は100Hzとした。計測システムの全体構成を Fig.4 に示した。



Fig.1 Shoes type stabilometer

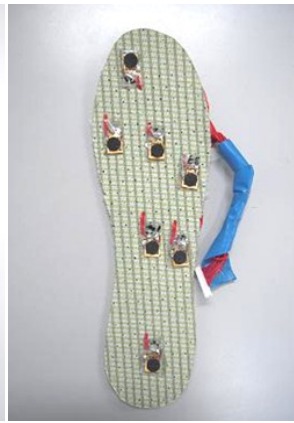


Fig.2 Insole



Fig.3 Wireless Device

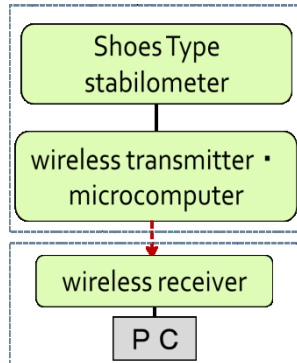


Fig.4 System configuration

2-2. 通信データの受信システムと解析システムの開発

靴型重心動揺計から得られたデータを取得・出力するシステムの開発を Microsoft Visual C#2010 にて行った。Fig.5 にデータ取得の画面の一例を示した。通信のポートを設定することで特定の無線機から 1 対 1 で受信を行うことを可能とした。

Fig.5 に示された画面左側に左足のセンサ出力値、右側に右足のセンサ出力値を表示している。取得したデータはテキストデータとしてファイル出力し、オフラインで解析が可能となるよう構成した。また、靴のサイズを選ぶとポートを自動選択できることや、保存をする際に予め入力されている ID 等をファイル名に残し、個人データの識別を簡単に行えるよう工夫した設計を行った。

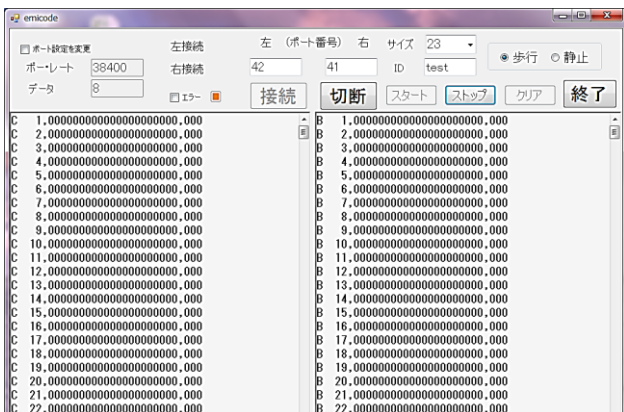


Fig.5 screen of receiving System

そして、バランス機能の解析のために、Microsoft Excel VBA で解析システムの開発を行った。本システムは受信システムで得られたテキストデータから座標値の導出を行い、バランス機能における各パラメータの自動解析・グラフ等の作成を行うものである。このシステムによって従来、1 被験者に対し手動解析に要していた時間の 5 分の 1 程度の時間で、解析やグラフ作成等を行うことが可能となった。

3. 実験方法

3-1. 開発した靴型重心動揺計の精度検証の実験

ここでは、本研究で開発した靴型重心動揺計の精度を検証するために、靴型重心動揺計と従来の据置型重心動揺計の比較実験を行った。据置型重心動揺計として用いたのは、Midi Captures 社製の Twin99 である。

被験者は健康な 20 代女性 4 名 (21.7 ± 1.7 歳) と健康高齢者 5 名で、開眼および閉眼の両足静止立位を各 45 秒間計測した。計測回数は、若年者は開眼・閉眼それぞれ 2 回、高齢者は 1 回ずつとした。計測中の視線は 2m 離れた 1 点を注視することとし、立位の足幅についてつま先を 12cm、踵を 8cm とし、すべての被験者で統一することで、可能な限り条件を揃えた。

両足の静止立位状態では、外部からの擾乱がない限りは計測結果について大きな変化がないと仮定し、若年者および高齢者ともに靴型重心動揺計と据置型重心動揺計の同時計測ではなく、別々に計測を行い、得られた結果からバランス機能のパラメータを比較することで、靴型重心動揺計の精度を検証することとした。

解析を行うにあたり、比較するパラメータは総軌跡長、外周矩形面積、前後方向(AP)長、左右方向(ML)長を用いた。これらのパラメータはこれまでの研究においても姿勢制御で重要とされており、主に用いられているパラメータである^{(6)~(8)}。

3-2. 開発した靴型重心動揺計の有効性評価のためのフィールド実験

本システムの実用性の検証を目的とし、高齢者 77 名 (健康高齢者 38 名 (75.8 ± 6.4 歳), 特定高齢者 39 名 (77.2 ± 5.4 歳)) と若年者 10 名 (21.5 ± 1.2 歳) を対象に、開眼・閉眼の静止立位を計測した。計測時間は各 45 秒間である。立位姿勢は精度検証の実験と同じ条件で、つま先の間隔を 12cm、踵の間隔を 8cm として条件を統一した。

本研究は東京医療保健大学の倫理委員会の承認を得た後、計測前に、対象者に研究の内容について十分に説明を行うとともに、同意を得た上で実施した。実験の様子を Fig.6 に示した。



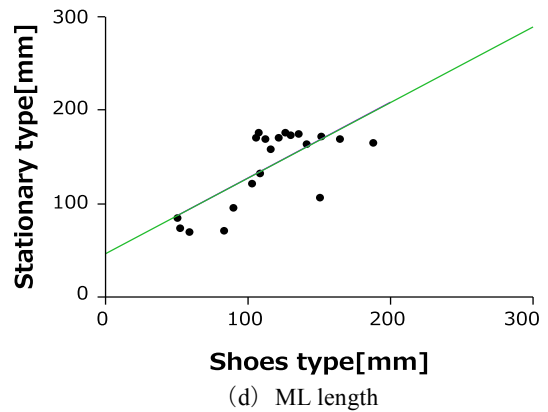
Fig.6 experimental methodology

4. 実験結果

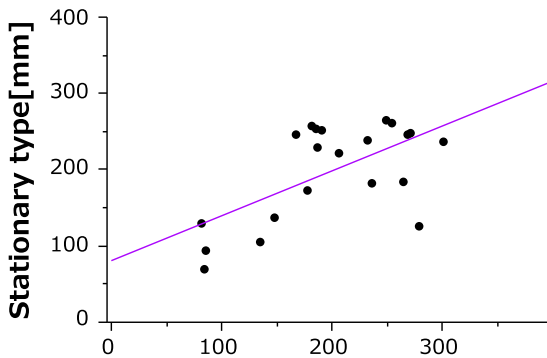
4-1. 開発した靴型重心動揺計の精度検証実験の結果

Fig.7 の(a)~(d)に本計測システムを用いて解析を行った各パラメータの結果を示した。(a)は総軌跡長, (b)は矩形面積, (c)は前後方向(AP)長, (d)は左右方向(ML)長の結果である。グラフの横軸は本計測システムから得られたバランス機能のパラメータを示し, 縦軸は据置型重心動揺計から得られた同様のパラメータを示した。

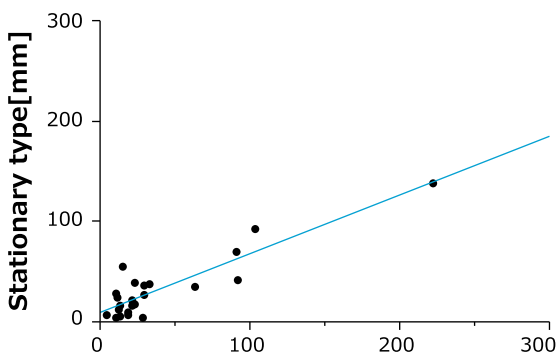
その結果, それぞれの相関係数は, 総軌跡長では 0.53, 矩形面積は 0.89, AP 長は 0.78, の ML 長は 0.74 となった。これらすべてのパラメータにおいて有意差が確認された。特に矩形面積, AP 長および ML 長においては高い相関が認められた。



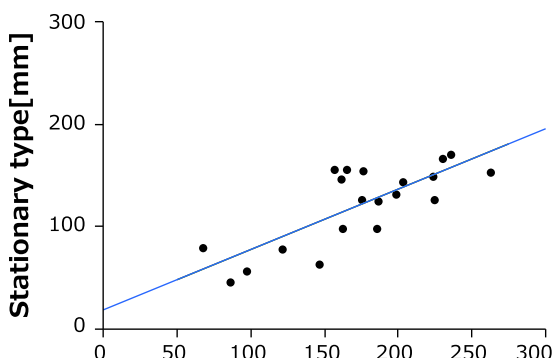
(d) ML length
Fig.7 Comparison Of Shoes type and stationary type



(a) Total length



(b) area



(c) AP length

4-2. 靴型重心動揺計の有効性評価のためのフィールド実験の結果

高齢者 77 名, 若年者 10 名, 全ての被験者において, 開眼・閉眼時における静止立位時の計測を行うことができ, データを取得することができた。

若年者と高齢者の比較を行った。Table.1 に若年者群 (Younger) および高齢者群 (Elderly) の開眼時の重心動揺総軌跡長 (Length), 外周矩形面積 (area), AP 長 (A-P), ML 長 (M-L) の平均値と標準偏差を示した。すべてのパラメータにおいて高齢者群が若年者群を上回った。特に総軌跡長および AL 長においては高齢者が若年者を有意に上回った。

Table.1 Younger and Elderly (Opened Eyes)

| | Younger (n=10) | Elderly (n=77) | p Value |
|------------------------|-------------------|-------------------|---------|
| Length[cm] | 20.0±4.4 | 31.5±1.6 | 0.02 |
| Area[cm ²] | 1.9±2.1 | 3.9±0.8 | NS |
| A-P[cm] | 17.5±3.6 | 25.4±1.3 | 0.04 |
| M-L[cm] | 13.0±2.8 | 17.9±1.0 | NS |

次に健常高齢者と特定高齢者の比較を行った。Table.2 に開眼時, Table.3 に閉眼時の健常高齢者 (Normal) および特定高齢者 (Particular) の各パラメータにおける平均値と標準偏差を示した。すべてのパラメータにおいて特定高齢者が健常高齢者を上回った。特に閉眼時の ML 長では特定高齢者が健常高齢者を有意に上回った。

Table.2 The elderly (Opened Eyes)

| | Normal (n=38) | Particular (n=39) | p Value |
|------------------------|------------------|----------------------|---------|
| Length[cm] | 29.5±14 | 33.4±15.4 | NS |
| Area[cm ²] | 2.9±4.8 | 4.7±8.8 | NS |
| A-P[cm] | 24.8±12.1 | 26.0±11.9 | NS |
| M-L[cm] | 16.4±9.6 | 19.3±8.6 | NS |

Table.3 The elderly (Closed Eye)

| | Normal (n=38) | Particular (n=39) | p Value |
|------------------------|------------------|----------------------|---------|
| Length[cm] | 44.4±28.8 | 58.6±43.1 | NS |
| Area[cm ²] | 4.3±5.8 | 6.8±6.9 | NS |
| A-P[cm] | 36.9±23.7 | 46.9±30.2 | NS |
| M-L[cm] | 21.4±14.3 | 32.1±24.7 | 0.02 |

5. 考察

据置型重心動揺計との比較実験により、バランス機能評価で重要とされる指標において、高い相関が示された。このことから、本研究で開発した靴型重心動揺計でも据置型重心動揺計と同じように静止立位時のパラメータを得ることができること、およびバランス機能評価が可能であることが示された。さらに、据置型重心動揺計では明確な数値をその場で得ることができないが、靴型重心動揺計では、得られた圧力値から座標値の換算を行っているため、それらの明確な数値を得ることが可能となる。そのため、静止立位時においてバランス機能における新たなパラメータの導出が可能となる他、転倒リスクの評価につながれると考えた。

また、若年者・健常高齢者・特定高齢者を対象としたフィールド実験により、それぞれの対象者の静止立位時における特徴を捉えることができた。若年者群より高齢者群が、総軌跡長およびAL長において有意に上回っていたことから、加齢によるバランス機能の変化が伺えた。健常高齢者と近い将来介護が必要となるおそれがあるとされる特定高齢者との比較では、明確な傾向は認められなかったが、今回の実験では、有用性の検討を目的としたため、これらの厳密なコントロールは行わなかった。

そして、健常な高齢者、特定高齢者、あるいは杖を使用しているような人でも、本システムの靴を履くことだけで、日常生活での計測が簡便かつ確実にできることが確かめられた。さらに、従来の据置型重心動揺計は計測装置が大型で高額であり、操作も複雑であり、定量的評価を行うことが難しいが、それに代わるような計測を、安価で軽量・小型である靴型重心動揺計を用いて、誰でも、スペースが少ない場所でも行うことが可能であることが本実験より推察できた。

これらの実験・検証により、靴型重心動揺計は無拘束にかつ簡単な操作で、対象者に合わせてバランス機能を簡単に評価することができ、今後の有用性が確認された。さらに、安価で軽量であるため、被験者の自然な動作環境下での計測を行うことができ、日常的なバランス機能評価、転倒リスク評価を行うことが可能になると示唆された。また、本システムでは、Fig.8に示したように歩行時のバランス機能、歩行機能も測定可能であるため、今後、歩行機能評価と静止立位時のバランス機能評価を併せて評価することで、新たなパラメータを含めて評価を行うことも可能になると考える。

そして、今後、本システムにおいて、得られたデータをわかりやすい形で提示することが重要であると考えた。その場でわかりやすいフィードバックを行うことで、介護予防における対象者個々にあった改善点を提示でき、対象者本人の意識向上につながる他、それぞれの特性にあった指導を行うことができ、これまでできていなかった運動指導等の介護予防策介入前後の変化の評価を行うことが可能となる。今後、このような運動指導の介入前後の追跡調査も行う予定である。

以上より、これらのシステムを用いて簡便なバランス機能評価および転倒リスク評価を行うことによって、多くの高齢者のなかからリスクの高い高齢者を効果的に抽出するポピュレーションアプローチを行うことが可能となり、特定高齢者事業等の転倒予防・介護予防に対する取り組みの向上や健康増進の対策へ役立つと考える。したがって、現場にあった簡便なシステムを用いて、個人個人を適切に評価し、それぞれにあった支援を行っていくことが介護予防

において重要であり、本研究で開発を行ったシステムは有用であると考えられる。



Fig.8 The measurement of ambulatory function

6. まとめ

バランス機能評価のための靴型重心動揺計および無線機、データ受信アプリケーション、得られたデータから解析を行う解析システムの開発を行った。靴型重心動揺計の精度検証を行うため、据置型重心動揺計との比較実験を行った結果、バランス機能評価で重要とされる指標において高い相関が得られたことから、据置型重心動揺計と同等に静止立位時のバランス機能評価が可能であることが示された。

また、高齢者を対象としたフィールド実験において、靴を履くだけで簡便な計測が確実にできることが確かめられた。

以上のことより、本システムを用いることにより、バランス機能の定量評価を簡便に行うことが可能となり、今後、転倒予防および介護予防における現場での評価に有用であることが示された。

謝辞：本研究の一部は、文部科学省科学研究費基盤(B)(課題番号：23300213)、財団法人双葉電子記念財団、財団法人骨粗鬆症財団の研究助成にて行われた。

参考文献

- (1)共生社会政策統括官：高齢社会対策 平成23年版 高齢社会白書 高齢化の現状と将来像、http://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2011/zenbun/pdf/1s1s_1.pdf, 参照年月日 2011年9月6日
- (2)厚生労働省：平成21年人口動態統計年報 主要統計表 家庭内における主な不慮の事故の種類別にみた年齢別死亡数・構成割合
- (3)厚生労働省：平成19年国民生活基礎調査 要介護者等の状況
- (4)猪飼哲夫，高齢者における転倒の要因と対策，福祉のまちづくり研究，vol.6, no.1, pp.1-5, 2004
- (5) Sandra M.S.F. Freitas et al., Age-related changes in human postural control of prolonged standing, Gait and Posture, vol22, pp322-330, 2005
- (6)Goldie PA, Bach TM, et al., Force platform measures for evaluating postural control: reliability and validity, Arch Phys Med Rehabil, vol70, no.7, pp510-517, 1989
- (7)Black FO, Wall C, Rockette HE, Kitch R, Normal subject postural sway during the Romberg test, AM J Otolaryngol, vol.3, pp.309-318, 1982
- (8)Lord SR, Clark RD, et al., Postural stability and associated physiological factors in a population of aged persons, J Gerontol. vol46, no.3, pp69-76, 1991