

2008年1月
博士学位論文(要旨)

歩行周期変動評価の実用的な方法の確立

指導 柴田 博 教授

国際学研究科博士後期課程

老年学専攻

20542601

新 井 智 之

本文目次

・ 第1章 高齢者の生活機能と転倒予防	
第1節 高齢者の生活機能	・ ・ 2
第2節 生活機能の定義	・ ・ 4
第3節 要介護の原因と老年症候群	・ ・ 5
第4節 転倒の定義	・ ・ 8
第5節 転倒の実態	・ ・ 10
第6節 転倒の危険因子	・ ・ 13
・ 第2章 高齢者の歩行能力	
第1節 歩行とは	・ ・ 17
第2節 歩行と中枢神経機構	・ ・ 20
第3節 正常歩行の必要条件	・ ・ 22
第4節 高齢者の歩行能力	・ ・ 24
第5節 高齢者歩行の2つの特徴（歩行速度と歩行変動）と生活機能	・ ・ 26
・ 第3章 歩行変動に関する先行研究	
第1節 歩行変動の研究とその問題点	・ ・ 27
第2節 歩行周期変動の測定系の構築に向けて	・ ・ 28
・ 第4章 本研究の目的	・ ・ 30
・ 第5章 歩行周期変動評価の再現性の検討	・ ・ 32
・ 第6章 歩行周期変動評価の妥当性の検討	
第1節 10m歩行時の歩行周期変動と先行研究における歩行周期変動、 その他運動機能との関係の検討	・ ・ 35
第2節 年齢による歩行周期変動の違いの検討	・ ・ 40
第3節 健常高齢者と脳卒中患者、整形外科的疾患患者の 歩行周期変動の比較	・ ・ 47
第4節 転倒発生に関わる運動機能の検討 －歩行周期変動と他の運動機能からの検討－	・ ・ 50
第5節 6ヶ月間の追跡調査による転倒の有無と歩行周期変動との関連	・ ・ 54
・ 第7章 歩行周期変動評価の有用性の検討	・ ・ 57
・ 第8章 総合考察	
第1節 本研究における歩行周期変動研究のまとめ	・ ・ 61
第2節 10m歩行における歩行周期変動評価の有用性の検討	・ ・ 63
第3節 転倒と歩行変動に関する考察	・ ・ 65
第4節 本研究の限界	・ ・ 69
・ 謝辞	・ ・ 70
・ 引用文献	・ ・ 71
・ 附票	・ ・ 78

要 旨 目 次

・ 背景と目的	・ ・ 3
・ 歩行周期変動の測定方法	・ ・ 4
・ 各研究の方法	・ ・ 4
・ 各研究の結果および考察	・ ・ 7
・ 総合考察	・ ・ 10
・ 引用文献	・ ・ 12

【背景と目的】

高齢者の歩行の特徴は、運動速度の低下と変動の増大であるとされている。先行研究では (Ferrandez, 1990)、高齢者の歩行能力を表す指標として、歩行速度を用いていたが、近年、歩行速度とは異なる評価として、歩行変動の研究が行われている。特に歩行周期変動は、歩行速度や Timed up and go test (TUG) に比べ、転倒と密接に関係することが示されている。

しかし、先行研究における歩行周期変動評価は、測定に長時間連続歩行が必要なもの、また床反力計や三次元動作解析装置などを用いるため、研究室でしか測定を行うことができないものが多かった。そのため、長時間歩行が不可能な虚弱高齢者や研究室など測定機器のある場所へ赴くことが制限される施設入所者に対しては、歩行周期変動の測定が困難であったと考えられる。

そこで本研究では、高齢者の歩行速度の測定として、一般的に用いられている 10m 歩行時に、歩行周期変動を測定(以下、10m 測定法)し、先行研究に比べ、実用的であり、簡便に測定可能である歩行周期変動評価を確立することを目的とする。

本研究における歩行周期変動とは、10m 歩行時の連続する 1 歩行周期時間の変動係数を指標として用いることとする。

具体的には、まず 10m 測定法の再現性を確認することとする。

次に、10m 測定法での歩行周期変動と他の運動機能との相関を調査し、本研究における歩行周期変動評価が、歩行周期変動の指標として妥当であるかを検討することとする。また、110m 測定法を用いて、先行研究の追試を行い、同じ結果が得られるかを確かめることと、本法の妥当性を検討することとする。

さらに、本研究の歩行周期変動評価の特徴は、測定距離・測定時間が短いため、施設入所高齢者や虚弱高齢者に対しても応用可能であることである。このことから、虚弱高齢者に対し、10m 測定法での歩行周期変動測定を行い、転倒との関連を調査することで、本測定法の有用性を示すことを目的とする。よって以下の点について検討する。

- 1) 10m 測定法での歩行周期変動評価の再現性を検討する。
- 2) 10m 測定法での歩行周期変動評価の妥当性を検討する。
 - 2-1 10m 測定法での歩行周期変動と先行研究における歩行周期変動、その他運動機能との関係を検討する。
 - 2-2 10m 測定法での歩行周期変動評価を用い、先行研究と同様に、年齢による歩行周期変動の違いを検討する。
 - 2-3 10m 測定法での歩行周期変動評価を用い、自立高齢者と中枢神経疾患患者、整形外科疾患患者の歩行周期変動の比較をし、先行研究と同様の結果になるかを確かめる。
 - 2-4 転倒に影響する運動機能を、10m 測定法での歩行周期変動を含めて検討する。
 - 2-5 6 ヶ月間の追跡調査により、転倒と 10m 測定法での歩行周期変動評価との関係を検討する。
- 3) 虚弱高齢者における転倒と 10m 測定法での歩行周期変動評価との関係を検討する

【歩行周期変動の測定方法】

1 歩行周期時間の測定には 3 軸の加速度計 (MA-3-20AC, マイクロストーン社製: 図 5-1) を用いた。加速度計を対象者の左踵上部に固定し, 測定を行った。対象者は, 助走路と減速路 2m ずつ設けた 14m の直進路を快適速度で歩行し, 測定は 2 回行うこととした。靴は, 計測条件を統一するために同様のものを使用し, それぞれの足のサイズに適したものを選んだ。加速度計のコードは対象者の歩行を拘束しないように, テープで貼り付けた(図 5-2)。

歩行中の加速度データは, データ・データレコーダー (NR-2000, KEYENCE 社製: 図 5-1) に, サンプリング周波数 1000Hz で記録される。1 歩行周期時間の変動係数を算出するため, まず, 歩行中の加速度データから, 踵接地時の衝撃を元に, 目視にて, 1 歩行周期時間を同定した(図 5-3)。加速期と減速期の影響を考慮して, 歩き始めと終わりの 2 歩を除いて 1 歩行周期時間を切り出すこととした。連続する 1 歩行周期時間から平均, 標準偏差を求め, 変動係数を算出した。変動係数(CV 値)は, 標準偏差/平均 $\times 100$ の計算式で求めた。

【各研究の方法】

1) 歩行周期変動評価の再現性

対象は健康成人 29 人(男性 9 人, 女性は 20 人), 自立高齢者 33 人(男性 9 人, 女性 24 人)である。健康成人の平均年齢は 44.1 ± 16.6 歳(21-64 歳)であり, 自立高齢者の平均年齢は 74.2 ± 6.6 歳(66-91 歳)であった。除外基準は 10m 歩行が不可能なもの, 認知障害が疑われるもの(Mini Mental State Examination 23 点以下⁷⁵⁾), 歩行時に疼痛のあるもの, 歩行時に装具や杖を使用するもの, 6 ヶ月以内に骨関節疾患, 神経系疾患などの既往歴があるものとした。また自立高齢者では, 老研式活動能力指標の上位 5 項目が 5 点満点であることを適応基準としている。

同日に 2 度, 10m 測定法での歩行周期変動評価を行い, 級内相関係数(ICC)を算出し, 測定の再現性を検討した。

2) 歩行周期変動評価の妥当性を検討

2-1 10m 歩行時の歩行周期変動と先行研究における歩行周期変動, その他運動機能との関係

本研究では, 10m 測定法での 1 歩行周期時間の変動係数と先行研究で用いられている 40m 歩行(以下, 40m 測定法), 9 分間連続歩行(9 分間測定法)における 1 歩行周期時間の変動係数との関係から基準関連妥当性を検討する。また, 10m 測定法での 1 歩行周期時間の変動係数と他の運動機能との関係から構成概念妥当性を検討することとした。

対象は地域在住高齢者 51 名であった。平均年齢は 71.8 ± 6.8 歳(65-93 歳)であり, 性別は男性 23 名, 女性 26 名であった。除外基準は 10m 歩行が不可能なもの, 認知障害が疑われるもの(Mini Mental State Examination 23 点以下⁷⁵⁾), 歩行時に疼痛のないもの, 歩行時に装具や杖を使用しないもの, 麻痺などによる明らかな異常歩行のないもの, 6 ヶ月以内に骨関節疾患, 神経系疾患などの既往歴がないものとした。

すべての対象者に対し 10m 測定法での 1 歩行周期時間の変動係数を測定する。次に, 先行研究において, 歩行周期変動の指標として用いられている 40m 測定法⁶¹⁾と 9 分間測定法での 1 歩行周期時間の変動係数⁶⁵⁾を算出した。また, 高齢者の運動機能を表す指標として, 10m 快適歩行速度

と 10m 最大歩行速度^{37, 49)}, Timed Up And Go Test⁷⁷⁾, 6 分間歩行距離⁷⁸⁾, Functional Reach Test⁷⁹⁾, 握力, 最大等尺性膝伸展筋力, 30-s Chair Stand Test⁸⁰⁾, 長座位体前屈⁸¹⁾を測定した。

その後, 10m 測定法と 40m 測定法, 9 分間測定法での 1 歩行周期時間の変動係数との相関係数を求め, 基準関連妥当性を検討する。次に, 10m 測定法での 1 歩行周期時間の変動係数と他の運動機能との相関係数を求め, 構成概念妥当性を検討することとした。

2-2 年齢による歩行周期変動の違いの検討

本研究では, 健常成人と高齢者の歩行周期変動の比較をし, 我々の考案した 10m 測定法での歩行周期変動が, 先行研究における歩行周期変動と同様に, 高齢者において増大するかを検討することとした。

対象は健常成人 40 名(平均年齢 44.3±16.3 歳, 男 18 人, 女 22 人), 65 歳以上の地域在住および通所リハビリテーション利用高齢者 161 名(75.5±8.6 歳, 65-95 歳, 男 50 人, 女 100 人)とした。除外基準は 10m 歩行が不可能なもの, 6 ヶ月以内に骨関節疾患, 神経系疾患などの既往歴があるものとした。

10m 測定法にて, 健常成人と高齢者の 1 歩行周期時間の変動係数を算出し, 両群間の比較を行った。統計解析は対応のない T 検定を用い, 有意確率は 5%とした。

2-3 自立高齢者と中枢神経疾患患者, 整形外科疾患患者の歩行周期変動の比較

本研究では, 自立高齢者と脳卒中患者, 整形外科的疾患患者の 10m 測定法での歩行周期変動を比較し, 先行研究と同様に, 中枢神経系疾患患者や整形外科疾患患者において, 歩行周期変動が増大がみとめられるかを検討することとした。

対象は, 自立高齢者 57 人(平均年齢 71.9±6.1 歳, 男 27 人, 女 34 人), 脳卒中患者 36 人(平均年齢 75.4±9.7 歳, 男 15 人, 女 21 人), 整形外科疾患患者 31 名(平均年齢 78.9±8.3 歳, 男 6 人, 女 23 人)である。自立高齢者における適応基準は, 老研式活動能力指標の上位 5 項目が 5 点満点(手段的 ADL 低下のないもの)のものとした。脳卒中患者の適応基準は, 麻痺の程度を表すブルンストロームステージが IV 以上のもの, 屋内での杖歩行または杖なし歩行が自立しているものとした。また, 歩行に短下肢装具を使用するもの, 半側空間無視や失行などの著名な高次脳機能障害を有するものは除外した。整形外科疾患患者の適応基準は, 受傷日もしくは手術日から 2 ヶ月以上経過し, 杖歩行または杖なし歩行が自立しているものとした。また上肢の疾患は除外し, 体幹・下肢の疾患を有するものとした(表 6-5)。また, すべての対象に対し, 認知障害の疑われるもの(MMSE23 点以下)は除外することとした。

10m 測定法にて, 自立高齢者, 脳卒中患者, 整形外科疾患患者の 3 群間で, 1 歩行周期時間の変動係数の比較を行うこととした。

2-4 転倒の発生に関わる運動機能の検討

本研究では, 10m 測定法での歩行周期変動とその他の運動機能から, 高齢者の転倒発生に関わる要因を明らかにすることで, 10m 測定法での歩行周期変動が, 先行研究の歩行周期変動と同様に, 他の運動機能に比べ, 高齢者の転倒に強く影響する要因であるかを検討することとした。

対象は、地域在住および通所リハビリテーションを利用する65歳以上の高齢者107人であった。対象者の平均年齢は74.2±7.7歳(65-93歳)であり、性別は男36人、女71人であった。通所リハビリテーション利用者の介護度は、要支援1~要介護2であった。対象者の除外基準は、10m歩行が不可能なもの、歩行時に疼痛のあるもの、6ヶ月以内に骨関節疾患、神経系疾患の既往歴があるものとした。

すべての高齢者に対し、10m測定法での1歩行周期時間の変動係数、10m快適歩行速度、10m最大歩行速度、Timed Up And Go Test、Functional Reach Test、最大等尺性膝伸展筋力、握力、長座位体前屈を測定した。

その後、各運動機能間の相関係数を検討した。各運動機能間で高い相関関係を示したものは、①10m快適歩行速度と10m最大歩行速度($r=0.93$)、②握力とFunctional Reach Test($r=0.83$)、③長座位体前屈とFunctional Reach Test($r=0.86$)の3つであった。多重共線性の影響を少なくするため、この変数の中から、先行研究において転倒と密接な関係があると報告されている最大歩行速度とFunctional Reach Testをロジスティック回帰分析の独立変数として採用した。

その結果、過去1年間の転倒の有無を従属変数、年齢、性別、最大等尺性膝伸展筋力、10m最大歩行速度、Timed up and go test、Functional reach test、10m測定法での1歩行周期時間の変動係数を独立変数としたロジスティック回帰分析を行った。

2-5 6ヶ月間の追跡調査による、転倒の有無歩行周期変動の関連

本研究では、転倒の追跡調査を行い、10m測定法での歩行周期変動と転倒の発生の関係について検討することを目的とした。

対象は、通所リハビリテーション利用者23名とした。平均年齢は85.4±4.08歳であり、女性18名、男性5名であった。対象の除外基準は、10m歩行が不可能なもの、歩行時に疼痛のあるもの、6ヶ月以内に骨関節疾患、神経系疾患などの既往歴があるものとした。

まず、すべての高齢者に対し、10m測定法での歩行周期変動の測定を行った。その後、6ヶ月間の転倒の追跡調査を行い、転倒した対象者については、基礎情報、運動機能評価などを調査し、転倒と10m測定法での歩行周期変動との関係を示すこととした。

3) 虚弱高齢者における転倒と10m歩行時の歩行周期変動評価との関係を検討する

10m測定法での歩行周期変動評価の特徴は、①測定時間や測定距離が短いこと、②持ち運び可能な機器を用いていることである。そのため、長時間歩行が不可能であった虚弱高齢者や研究室など測定機器のある場所へ赴くことが不可能な施設入所者に対しても、歩行周期変動の測定が可能となると考えられる。そこで、本研究では、虚弱高齢者を対象に、10m測定法での歩行周期変動とその他の運動機能、転倒の有無を調査し、虚弱高齢者の転倒発生に強く関わる要因を明らかにすることをから、虚弱高齢者の転倒に対する10m測定法での歩行周期変動の有用性を検討することとした。

対象は、老人保健施設に通所もしくは入所している65歳以上の虚弱高齢者52名とした(平均年齢は78.5±7.4歳、男性12名、女性40名)であった。本研究における虚弱高齢者とは、老研式活動能力指標¹⁰²⁾のIADL5項目に1点でも減点のある者(IADL障害があるもの)とした。対象の除外

基準は 10m 歩行が不可能なもの、歩行時に疼痛のあるもの、6 ヶ月以内に骨関節疾患、神経系疾患の既往歴があるものとした。歩行に際し補助具が必要な場合は、T 字杖のみとし、シルバーカーや歩行器を使用している対象者は除外した。

測定項目は、10m 測定法での 1 歩行周期時間の変動係数、10m 最大歩行速度、Timed Up And Go Test、Functional Reach Test、最大等尺性膝伸展筋力を測定した。さらに過去 1 年間の転倒の有無を問診によりを調査した。

各運動機能間の相関係数を検討した後、過去 1 年間の転倒の有無を従属変数、年齢、性別、10m 最大歩行速度、Timed up and go test、Functional reach test、最大等尺性膝伸展筋力、10m 測定法での 1 歩行周期時間の変動係数を独立変数としたロジスティック回帰分析を行った。

【各研究の結果および考察】

1) 歩行周期変動評価の再現性

10m 測定法の再現性を検討した。健常成人 29 名と自立高齢者 33 人を対象に、2 回の歩行周期変動測定の内相関係数を求めた。その結果、級内相関係数は健常成人では 0.85 であり、自立高齢者で 0.81 であり、先行研究と同程度の再現性を示す結果となった。

2) 歩行周期変動評価の妥当性を検討

2-1 10m 歩行時の歩行周期変動と先行研究における歩行周期変動、その他運動機能との関係

10m 測定法での歩行周期変動評価の妥当性を検討した。まず、10m 測定法と先行研究で報告されている 40m 測定法⁶⁴⁾と 9 分間測定法⁶⁷⁾との相関係数を算出し、基準関連妥当性を検討した。10m 歩行時の 1 歩行周期時間の変動係数は、先行研究で妥当とされている 40m 測定法との相関係数が 0.72 と高い相関関係を示した。このことから、10m 測定法は、歩行周期変動を表す指標として妥当であると考えられる。一方、別の先行研究で用いられている 9 分間測定法との相関係数を検討したところ、 $r=0.41$ であった。高い相関関係を示さなかった理由としては次のことが考えられた。9 分間という長時間連続歩行時の 1 歩行周期時間の波形には、フラクタルな成分(非周期的で不規則な成分)が含まれている⁸²⁻⁸⁷⁾。しかし、10m 歩行のような短距離歩行での 1 歩行周期時間の波形には、このフラクタルな成分は含まれていないと考えられ、両者間の相関係数は、中等度の相関関係になったと思われる。

また、その他の身体機能との相関関係を検討することから、歩行周期変動評価の構成概念妥当性を示すことを目的とした。その結果、10m 測定法での 1 歩行周期時間の変動係数と有意な相関を示した項目は、10m 快適歩行速度、10m 最大歩行速度、Timed Up and Go Test、6 分間歩行距離、Functional reach test、Chair Stand Test であった。10m 測定法での 1 歩行周期時間の変動係数と有意な相関を示した項目は、すべてバランス機能と移動能力が反映される指標であった。バランス機能と移動能力は、Nutt らが示した正常歩行の必要条件である⁴⁷⁾。1 歩行周期時間の変動係数が、正常歩行の重要な要素であるバランス機能や移動能力の反映される指標と有意な中等度の相関を示したことから、10m 測定法での歩行周期変動は、歩行能力の 1 つの側面を示す指標として妥当であるといえる。

さらに、本研究における歩行周期変動評価の妥当性を示すため、先行研究の追試を行い、10m測定法での1歩行周期時間の変動係数が、先行研究と同様な結果が得られるかどうかを検討した。

2-2 年齢による歩行周期変動の違いの検討

10m測定法での1歩行周期時間の変動係数の値は、健常成人 $1.6\pm 0.5\%$ 、高齢者 $2.1\pm 0.8\%$ であった。両群間の比較では、自立高齢者の1歩行周期時間の変動係数が、健常成人に比べ有意に大きい値を示したこの結果は、先行研究と同様の結果を示したこととなり、10m測定法の妥当性が確認されたといえる。また、先行研究における高齢者の1歩行周期時間の変動係数は概ね $2.1\sim 3.2\%$ であり^{63, 67, 73, 91)}、本研究の高齢者の平均値は、 $2.6\pm 1.7\%$ は妥当な数値であるといえる。

2-3 自立高齢者と中枢神経疾患患者、整形外科疾患患者の歩行周期変動の比較

10m測定法での1歩行周期時間の変動係数の値は、自立高齢者 $1.9\pm 0.7\%$ 、脳卒中患者 $3.4\pm 1.8\%$ 、整形外科疾患患者 $2.8\pm 1.1\%$ であった。1元配置分散分析とその後の下位検定の結果、自立高齢者と脳卒中患者、自立高齢者と整形外科疾患患者との間に有意差をみとめた。なお、脳卒中患者と整形外科疾患患者の1歩行周期時間の変動係数には有意差はみられなかった。

先行研究では、高齢者との比較において、パーキンソン病^{54, 94-95)}、ハンチントン舞踏病^{73-74, 93)}、アルツハイマー型認知症⁹⁶⁻⁹⁷⁾など、中枢神経系の異常を有する疾患の歩行周期変動が有意に大きいと報告されている。また人工股関節前置換術後患者⁹⁸⁾、進行性の筋力低下を示す疾患である筋萎縮性側索硬化症(ALS)患者⁷⁴⁾においても、歩行周期変動が増大することが報告されている。本研究においても、中枢神経疾患である脳卒中患者と整形外科疾患患者では、有意に歩行周期変動が増大しており、先行研究と同様の結果を得た。このことから、10m測定法の妥当性が確認されたといえる。

2-4 転倒の発生に関わる運動機能の検討

ロジスティック回帰分析の結果、転倒発生に関わる因子として、有意であった項目は、10m測定法での1歩行周期時間の変動係数のみであり、オッズ比は $2.18(95\%信頼限界 1.22-3.90, p=0.001)$ であった。

Hausdorffらは、転倒を従属変数としたロジスティック回帰分析を行い、歩行周期変動のみが、転倒を予測する因子として抽出されたと報告している⁶⁸⁾。本研究においても同様の結果を示したことから、10m測定法での1歩行周期時間の変動係数は、歩行周期変動の評価として妥当であるといえる。

また10m測定法での1歩行周期時間の変動係数は、他の運動機能に比べ、より転倒の発生に関わる運動機能であることが示された。最大歩行速度やTimed up and Go Test, Functional Reach Testなどは、今まで転倒の発生に関わるとされてきた。しかし、10m測定法での歩行周期変動は、従来の運動機能評価よりも転倒の発生に密接に関わる運動機能であるといえ、転倒予防のための評価として有効であることが示唆された。

2-5 6ヶ月間の追跡調査による、転倒の有無歩行周期変動の関連

23名の対象者の内、3名が転倒した。転倒した3名における10m測定法での1歩行周期時間の変動係数の値は、それぞれ4.2%、3.3%、3.4%であった。一方、転倒していない20名における1歩行周期時間の変動係数の平均は、 $2.7 \pm 0.9\%$ であった。

本研究における高齢者全体での10m測定法での1歩行周期時間の変動係数の平均が、高齢者 $2.64 \pm 1.67\%$ であり(2-2)、脳卒中患者の平均が $3.37 \pm 1.76\%$ (2-3)である。またHausdorffらの先行研究では、転倒群の1歩行周期時間の変動係数の平均は、 $3.8 \pm 1.2\%$ であったと報告している⁶⁸⁾。本研究において、今回転倒した対象者の10m測定法での1歩行周期時間の変動係数は、いずれも高齢者の平均値より大きく、また転倒群や脳卒中患者に近い値を示していた。それに対し、転倒していない20名における10m測定法での1歩行周期時間の変動係数の平均は、 $2.65 \pm 0.94\%$ であり、転倒した3名に比べ少ない値であった。10m測定法での1歩行周期時間の変動係数が大きい対象者ほど、転倒発生の危険性が高まることが推察される。本研究の結果は、先行研究⁶⁸⁾と同じ傾向を示していると考えられ、10m測定法での1歩行周期時間の変動係数は、歩行周期変動の評価として妥当であるといえる。

3) 虚弱高齢者における転倒と10m歩行時の歩行周期変動評価との関係を検討する

ロジスティック回帰分析を行った結果、転倒発生に関わる因子として、有意であった項目は、10m測定法での1歩行周期時間の変動係数のみであり、オッズ比は3.59(95%信頼限界1.37-9.34, $p=0.01$)であった。このことから、虚弱高齢者においても、転倒に関わる要因は歩行周期変動であるといえる。

虚弱高齢者が転倒率が高く、IADL障害やADL障害などの身体機能制限を呈していることが多く、転倒により、大腿骨頸部骨折や転倒後症候群などの重篤な障害を引き起こす可能性がある。そのため、虚弱高齢者の転倒を予防するための有効な評価方法が必要であるといえる。

歩行周期変動は、先行研究において転倒と密接な関係があり、高齢者の転倒予防のための有効な評価手段として報告されている^{64,67-68)}。しかし、これまでの先行研究における歩行周期変動の評価は、測定時間や測定距離が長いものや床反力形や三次元動作解析装置など研究室でしか測定できないものが多く、地域在住の自立高齢者を対象にした報告がほとんどであった。そのため、長時間歩行が不可能な虚弱高齢者や外出に制限のある施設入所者などは、転倒の危険性が高いにもかかわらず、歩行周期変動に関する報告は見当たらず、研究が進んでいるとはいえない状況であった。我々が考案した10m測定法は、測定距離が短く、持ち運び可能な機器を用いるため、虚弱高齢者を含めた多くの高齢者に対し適応可能な測定方法であるといえる。さらに本研究の結果、10m測定法での1歩行周期時間の変動係数が、転倒の発生に関わる要因として抽出された。このことから、10m測定法は、虚弱高齢者の転倒予防のための運動機能評価として有効であるといえる。

【総合考察】

10m 測定法での歩行周期変動は、先行研究に比べ、測定距離が短く、測定時間も少ない。また、測定機器には小型の加速度計を用いているため、持ち運びが可能であり、研究室などの特定の場所でも歩行周期変動の測定が可能となる利点がある。そのため、歩行周期変動の先行研究では、測定が困難であったと考えられる虚弱高齢者や施設入所者の測定が可能であるといえる。以下に本測定方法の利点と欠点を示す(表 1)。

第 7 章では、本研究における歩行周期変動評価の特徴である測定距離と測定時間が短いこと、持ち運び可能な機器を用いることを生かし、虚弱高齢者に対し、歩行周期変動評価を行い、虚弱高齢者の転倒との関連について検討した。虚弱高齢者の転倒の有無を従属変数、運動機能要因を独立変数としたロジスティック回帰分析を行った結果、10m 測定法での 1 歩行周期時間の変動係数のみが抽出された。このことから、我々の考案した歩行周期変動評価は、他の運動機能評価に比べ、虚弱高齢者の転倒に関わる要因であるといえ、転倒予防のための評価項目として利用できる可能性がある。

10m測定法での歩行周期変動測定(本研究)	従来の歩行周期変動測定(先行研究)
○測定距離(10m)が短い。 測定時間(10~20秒)が少ない。	○測定距離や測定時間が長い
○測定機器(加速度計)が小型。 持ち運びが可能。 ⇒ 虚弱高齢者や施設入所者に測定が可能	○測定機器(床反力計や三次元動作解析機)が大型。 持ち運びが不可能。
○詳細な解析が不可能	○詳細な解析が可能
○長周期的な解析が不可能	○長周期的な解析が可能

表 1 10m 測定法での歩行周期変動測定の利点と欠点

高齢者の転倒は、骨折などの重篤な障害を引き起こす。さらに、高齢者は、1 度転倒が起きると転倒への恐怖心が高まり、活動性の低下につながる。活動性の低下は下肢筋力低下やバランス機能の低下などの廃用性症候群へとつながり、閉じこもりの状態にまで陥る危険がある。このように、転倒は、その場限りの出来事ではなく、骨折などの外傷や転倒後症候群などに繋がり、高齢者の生活機能低下の引き金となるものである。特に、生活機能の低下がみられる虚弱高齢者においては、1 度の転倒で閉じこもりにまで至ることも考えられる。そのため、転倒予防への取り

組みは、高齢者にとって重要な課題である。高齢者の転倒を予防するためには、転倒リスクの高い高齢者を的確に評価する手段が必要である。10m 測定法での歩行周期変動は、バランス機能評価や筋力評価などに比べ、高齢者の転倒と密接に関わる指標である。さらに、これまでの先行研究における歩行周期変動の測定に比べ、測定距離や測定時間が短く、虚弱高齢者を含めた多くの高齢者の転倒予防の評価として有効であると考えられる。

Blin らは、パーキンソン病患者の歩行変動を調査し、健常人に比べ、重複歩距離の変動係数が有意に大きいと報告している⁵⁴⁾。さらに、Hausdorff らは、パーキンソン病やハンチントン舞踏病患者の1歩行周期時間の変動係数が増加することを報告している⁷³⁻⁷⁴⁾。また、Maki らの前向きコホート研究では、転倒した歩行変動が、転倒していない高齢者に比べ有意に増加していることを報告している⁶⁴⁾。また Hausdorff らは、前向きコホート研究により、転倒した高齢者の歩行周期時間の変動係数が、転倒していない高齢者に比べ有意に大きかったとし、さらに、転倒の有無を従属変数にしたロジスティック回帰分析では、歩行周期時間の変動係数のみが転倒を予測する変数として抽出されたと報告している⁶⁸⁾。本研究においても、第6章・第3節において、中枢神経疾患患者や整形外科疾患患者の10m 測定法での歩行周期変動が、自立高齢者に比べ、有意に大きいことを示した。また、第6章・第4節と第7章において、10m 測定法での歩行周期変動が、他の身体機能に比べ、転倒発生の有無に関わる要因であることを示した。一方、Brach らは、379人の地域在住高齢者を対象に、54ヶ月間の前向き研究により、歩行周期変動を含む身体機能と歩行能力低下との関連性を調査し、対象者の身体活動水準や医学的状态、歩行速度などを調整した結果、歩行能力の低下を引き起こす原因として、歩行周期変動が選択されたと報告した。このことから、高齢者の歩行能力の低下には、歩行周期変動の増大が密接に影響しているとしている¹¹¹⁾。以上のことから、歩行変動は、高齢者の転倒予防、歩行能力低下の予測、異常歩行の発見などにおいて有効な指標となりうると思う。

Ferrandez らによれば、高齢者歩行の特徴は、速度の低下と変動の増大の2つであるとされている⁵³⁻⁵⁴⁾。これまで、高齢者の歩行能力を表す指標として広く用いられてきた歩行速度に対し、歩行変動は、その重要性は指摘されながらも、一般的な指標として用いられているとはいえない。歩行変動は、歩行速度とは別の側面から高齢者の歩行能力を示すことができる指標であり、さらに転倒の発生に関わる重要な指標である。歩行能力の低下や転倒は、高齢者の生活機能の低下につながる深刻な問題である。歩行能力の低下や転倒の発生を予防するためには、歩行変動の評価を有効に行い、高齢者の生活機能の維持・向上に生かしていくべきであると思う。

引用文献

- 1) WHO: Official records of the world health organization. World Health Organization, New York, 1946, 2, 100.
- 2) WHO: The uses of epidemiology in the study of the elderly. Technical Report Series 706. World Health Organization, Geneva, 1984.
- 3) 柴田博著: 8割以上の老人は自立している. ビジネス社, 東京, 2002.
- 4) 柴田博: QOL. サクセスフルエイジング 老化を理解するために(東京都老人総合研究所編). ワールドプランニング, 1998, p47-52.
- 5) 野尻雅美: 高齢者のヘルスプロモーション. 老年学テキスト(柴田博・長田久雄・杉澤秀博編). 建帛社, 東京, 2007, p107-111.
- 6) 高橋龍太郎: 高齢者の日常生活的な立場から -QOL の考え方-. 高齢者における運動支援実践ガイド(臨床スポーツ医学編集委員会編). 文光堂, 東京, 2005, p8-12.
- 7) Dowine RS, Tannahill C, et al.: Health promotion, models and values. Oxford University Press, 1996.
- 8) Lawton MP: Assessing the competence of older people. In Kent DP: Reserch planning and action for elderly: The power and potential of social science. Human Science Press, New York, 1972. p122-143.
- 9) 柴田博: 高齢者の体力医学. 体力科学 42: 8-9, 1993.
- 10) 辻一郎: のぼそう健康寿命. 岩波書店, 東京, 2004, p22-23.
- 11) 厚生統計協会: 平成 13 年国民生活基礎調査, 構成労働大臣官房統計情報部, 東京, 2003.
- 12) 古名丈人, 島田裕之・他: 老年学の立場から. 高齢者における運動支援実践ガイド(臨床スポーツ医学編集委員会編). 文光堂, 東京, 2005, p30-35.
- 13) 大内尉義: 老化と老年病の考え方. 標準理学療法学・作業療法学 老年学(大内尉義編). 医学書院, 東京, 2001, p5-9.
- 14) Melton LJ, Chao EYS, et al.: Osteoporosis, Etiology, Diagnosis, and management. Raven Press, New York, 1988, p111-131.
- 15) 荻野浩: 大腿骨頸部骨折対策-全国調査結果からの考察. 関節外科 22 : 1520-1523, 2003.
- 16) 荻野浩: 大腿骨頸部骨折の疫学. Orthopaedics 16 : 1-7, 2003.
- 17) 伊藤博元: 運動器不安定症の概念. 整形・災害外科 50 : 5-9, 2007.
- 18) 大淵修一: 介護予防における理学療法士の役割. 健康増進と介護予防(鶴見隆正, 大淵修一編). 三輪書店, 東京, 2004, p23-29.
- 19) Bucher DM, Hornbrook MC, et al.: Development of the common data base for the FICST trials. J Am Geriatr Soc 41: 297-308, 1993.
- 20) Kennedy TE, Coppard LC.: The prevention of falls in later life: a report of the Kellogg International Work Group on the prevention of falls by the elderly. Dan Med Bull 34 Suppl 4: 1-24, 1987.
- 21) 大高洋平・里宇明元: エビデンスに基づいた転倒予防. リハ医学 43 : 96-104, 2006.

- 22) 鈴木隆雄, 杉浦美穂・他: 地域在住高齢者の転倒発生に関連する身体的要因の分析的研究—5年間の追跡研究から—。日老医誌 36: 472-478, 1999.
- 23) 眞野行生: 高齢者の転倒・転倒後症候群。高齢者の転倒とその対策(眞野行生編)。医歯薬出版, 東京, 1999, p2-7.
- 24) 安村誠司, 芳賀博・他: 地域在住高齢者における転倒発生率と転倒状況。日本公衛誌 38: 735-741, 1991.
- 25) 安村誠司, 芳賀博・他: 農村部の在宅高齢者における転倒発生要因。日本公衛誌 41: 528-537, 1994.
- 26) 新野直明, 安村誠司・他: 農村部在宅高齢者を対象とした転倒調査。-季節別にみた転倒者の割合と転倒発生状況-。日本公衛誌 42: 975-981, 1995.
- 27) 柴田博: 地域高齢者における転倒・骨折に関する総合的研究。平成7年度~平成8年度科学研究費補助金(基盤研究A[1])研究成果報告書, 1997.
- 28) 新野直明, 中村健一: 老人ホームにおける高齢者の転倒調査: 転倒の発生状況と関連要因。日老医誌 33: 12-16, 1996.
- 29) Stolze H, Klebe S, et al: Falls in frequent neurological disease. Prevalence, risk factor and aetiology. J Neurol 251: 79-84, 2004.
- 30) 饗場郁子: 神経疾患における転倒・転落の特徴。IRYO 60: 15-18, 2006.
- 31) 厚生労働省: 高齢者リハビリテーションのあるべき方向。高齢者リハビリテーション研究会, 2004.
- 32) 安村誠司: 高齢者の転倒と骨折。高齢者の転倒とその対策(眞野行生編)。医歯薬出版, 東京, 1999, p40-45.
- 33) 林泰史: 転倒予防。骨粗鬆症治療 5: 48-52, 2006.
- 34) Sorock GS, Labiner DM, et al.: Peripheral neuromuscular dysfunction and falls in an elderly cohort. Am J Epidemiol 136: 584-591, 1992.
- 35) Moreland J, Richardson J, et al.: Evidence-Based Guidelines for the secondary Prevention of falls in older adults. Gerontology 49: 93-116, 2003.
- 36) 鈴木隆雄: 転倒・転落の疫学。総合リハビリテーション 32: 205-210, 2004.
- 37) 中村隆一, 斉藤宏・他: 歩行。臨床運動学 第3版(中村隆一編著)。医歯薬出版, 東京, 2002, p473-588.
- 38) 長崎浩: 動作の意味論 -歩きながら考える-。雲母書房, 2004.
- 39) Bernstein NA: The coordination and regulation of movement. Pergamon Press, London, 1967.
- 40) 中村隆一, 斉藤宏: 歩行。基礎運動学 第5版。医歯薬出版, 東京, 2000, p333-384.
- 41) マイケル・ボランニー: 暗黙知の次元(佐藤敬三訳)。紀伊国屋書店, 東京, 1980.
- 42) 森茂美: 歩行運動の神経生理学。臨床脳波 39: 73-79, 1997.
- 43) 森茂美: 姿勢と歩行の中枢調節。神経科学レビュー(伊藤正夫, 植林博太郎 編)。医学書院, 東京, 1992, 86-99.

- 44) Shik ML, Severin FV, et al.: Control of walking and running by means of electrical stimulation of the mid-brain. *Biophysics* 11, 756-765, 1966.
- 45) Grillner S: Neurobiological bases of rhythmic motor acts in vertebrates. *Science* 228, 143-149, 1985.
- 46) Dimitrijevic MR, Gerasimenko L: Locomotor activity in spinal man. *Lancet* 344, 1260-1263, 1998.
- 47) Nutt JG, Marsden CD, et al.: Human walking and higher-level gait disorders, particularly in the elderly. *Neurology* 43: 268-279, 1993.
- 48) Rubenstein LZ, Josephson KR.: interventions to reduce the multifactorial risks for falling. *Gait disorders of aging, Falls and therapeutic strategies*(ed by Masdeu JC, et al.). Lippincott-Raven, 309-326, 1997.
- 49) 衣笠隆, 長崎浩・他: 男性(18~83歳)を対象にした運動機能の加齢変化の研究. *体力科学* 43, 343-351, 1994.
- 50) 木村みさか: 高齢者への運動負荷と体力の加齢変化および運動習慣. *J J Sport Sci* 10, 722-728, 1991.
- 51) Murray MP, Kory RC, et al.: Walking patterns in healthy old men. *J Gerontology* 24, 169-178, 1969.
- 52) 植松光俊, 塩仲雅博・他: 高齢者の歩行特性. *理学療法* 18: 382-392, 2001.
- 53) Ferrandez AM, Pailhous J, et al.: Slowness in elderly gait. *Experimental aging research* 16: 79-89, 1990.
- 54) Blin O, Ferrandez AM, et al.: Quantitative analysis of in Parkinson patients: increased variability of stride length. *J Neuro Sci* 98: 91-97, 1990.
- 55) Schmidt RA: 個人差と運動能力. *運動学習とパフォーマンス - 理論から実践へ -* (調枝孝治監訳). 大修館書店, 東京, 2003, p125-150.
- 56) 飯島節: 老年病の特徴. *老年学テキスト*(飯島節, 鳥羽研二編). 南江堂, 2006, p5-9.
- 57) Nagasaki H, Itoh H, et al.: The structure underlying physical performance measures for older adults in the community. *Aging Clin Exp Res* 7: 451-458, 1995.
- 58) 新開省二, 渡辺修一郎・他: 地域高齢者における「準ねたきり」の発生率, 予後および危険因子. *日本公衆誌* 48: 741-752, 2001.
- 59) 山崎裕司, 横山仁志・他: 高齢者の膝伸展筋力と歩行速度, 独歩自立との関連. *総合リハ* 26: 689-692, 1998.
- 60) 杉浦美穂, 長崎 浩・他: 地域高齢者の歩行能力-4年間の縦断研究-. *体力科学* 47: 443-452, 1996.
- 61) 樋口由美, 渡辺丈眞・他: 地域に在住する生活自立高齢者の歩行の特徴とその関連要因. *大阪医科大学雑誌* 62: 79-88, 2003.
- 62) Hausdroff J: Gait variability: methods, modeling and meaning. *J NeuroEngineering Rehabil* 20: 1-9, 2005.

- 63) Gabell A, Nayak USL et al. : The effect of age on variability in gait. *J Gerontol* 39 : 662-666, 1984.
- 64) Maki BE : Gait changes in older adult: predictors of falls or indicators of fear. *J Am Geriatr Soc* 45 : 313-320, 1997.
- 65) Grabiner PC, Biswas T et al. : Age-related changes in spatial and temporal gait variables. *Arch Phys Med Rehabil* 82 : 31-35, 2001.
- 66) Owing TM, Grabiner MD. : Step width variability, but not step length variability or step time variability, discriminates gait of healthy young and older adults during treadmill locomotion. *J Biomech* 37 : 935-938, 2003.
- 67) Hausdorff JM, Edelberg HK et al. : Increased gait unsteadiness in community-dwelling elderly fallers. *Arch Phys Med Rehabil* 78 : 278-283, 1997.
- 68) Hausdorff JM, Rios DA et al. : Gait variability and fall risk in community-living older adults: a 1-year prospective study. *Arch Phys Med Rehabil* 82: 1050-1056, 2001.
- 69) Buzzi UH, Stergiou N et al. : Nonlinear dynamics indicates aging affects variability during gait. *Clin Biomech* 18 : 435-443, 2003.
- 70) Menz HB, Lord SR et al. : Age-related differences in walking stability. *Age and aging* 32 : 137-142, 2003.
- 71) 猪岡 光, 石原 正・他 : 加速度計測による高齢者歩行の安定性評価と転倒予防に関する研究. *デサントスポーツ医学* 24 : 61-67, 2003.
- 72) 大瀧保明, ムハマドアリフ・他 : 歩行の周期リズムの非線形時系列解析による高齢者の安定性評価. *第2回福祉工学シンポジウム講演論文集* 2 : 103-106, 2002.
- 73) Hausdorff JM, Mitchell SL et al. : Altered fractal dynamics gait: reduce stride-interval correlations with aging and Huntington's disease. *J Appl Physiol* 82: 262-269, 1997.
- 74) Hausdorff JM, Lertratanakul A, et al. : Dynamic markers of altered gait rhythm in amyotrophic lateral sclerosis. *J Appl Physiol* 88: 2045-2053, 2000.
- 75) 森悦郎, 三谷洋子・他 : 神経疾患患者における日本語版 Mini-Mental State テストの有用性. *神経心理学* 1: 82-90, 1985.
- 76) Stolze H, Kutz-Buschbeck JP, et al. : Retest reliability of spatiotemporal gait parameters in children and adults. *Gait and posture* 7: 125-130, 1998.
- 77) Podsiadlo D, Richardson S, et al. : The timed "Up and Go" . a test of basic functional mobility for frail elderly persons. *J Am Geriatr Soc* 39: 142-148, 1991.
- 78) Butland RJ, Pang J, et al. : Two-six and 12-minute walking test in respiratory disease. *BMJ* 284: 1607-1608, 1982.
- 79) Duncan PW, Winter DK, et al. : Functional reach: a new clinical measure of balance. *J gerontol* 45: M192-197, 1990.
- 80) Jones CJ, Rikli RE, et al. : A 30-s chair-stand test as measure of lower body strength in community-residing older adults. *Res Q Exerc Sport* 70: 113-119, 1999.

- 81) 文部科学省生涯スポーツ課：新体力テスト－有意義な活用のために－，ぎょうせい，東京，2000.
- 82) Peng CK, Hausdorff JM, et al.: Mosaic organization of DNA nucleotides. *Phys. Rev. E* 49: 1685-1689, 1994.
- 83) Buldyrev SV, Goldberger AL, et al.: Fractal landscapes and molecular evolution: modeling the myosin heavy chain gene family. *J Biophys* 65: 2673-2679, 1993.
- 84) 政二慶：歩行リズムのフラクタルゆらぎの解析. 身体運動のバイオメカニクス-第13回日本バイオメカニクス学会大会論文集：140-145, 1997.
- 85) 政二慶：歩行周期変動のフラクタル解析. 第18回バイオメカニクス学術講演会予稿集：223-224, 1997.
- 86) Hausdorff JM, Peng CK, et al.: Is walking a random walk? Evidence for long-range correlations in stride interval of human gait. *J Appl Physiol* 78 : 349-358, 1995.
- 87) Hausdorff JM, Purdon PL, et al.: Fractal dynamics of human gait: stability of long-range correlations in stride interval fluctuations. *J Appl Physiol* 80: 1448-1457, 1996.
- 88) Hausdorff JM, Ashkenazy Y, et al.: When human walking becomes random walking: fractal analysis and modeling of gait rhythm fluctuations. *Physica A* 302: 138-147, 2001.
- 89) Hausdorff JM, Purdon PL et al. : Etiology and modification of gait instability in older adults: a randomized controlled trial of exercise. *J Appl Physiol* 90 : 2117-2129, 2001.
- 90) 栗原慶太, 新井智之・他：高齢者に対する立ち上がり着座テストはどのような体力構成要素を反映しているのか. *理学療法学* 34 Suppl 2: 595, 2007.
- 91) Owing TM, Grabiner MD. : Variability of step kinematics in young and older adults. *Gait and Posture* 20: 26-29, 2004.
- 92) 古名丈人, 長崎 浩・他：都市および農村地域における高齢者運動能力. *日本体力医学会雑誌* 44 : 347-356, 1995.
- 93) Koller WC, Trimble J.: The gait abnormality of Huntington's disease. *Neurology* 35: 1450-1454, 1985.
- 94) Baltadjieva R, Giladi N, et al.: Marked alterations in the gait timing and rhythmicity of patients with *de novo* Parkinson's disease. *Euro J Neurosci* 24: 1815-1820, 2000.
- 95) Schaafsma JD, Giladi N, et al.: Gait dynamics in Parkinson's disease: relationship to Parkinsonian features, falls and response to levodopa. *J Neurol Sci* 212: 47-53, 2003.
- 96) Nakamura T, Meguro K, et al.: Relationship between falls and stride length variability in senile dementia of the Alzheimer type. *Gerontology* 42: 108-113, 1996.
- 97) Sheridan PL, Solomont J, et al.: Influence of executive function on locomotor function: divided attention increases gait variability in Alzheimer's disease. *J Am Geriatr Soc* 51: 1633-1637, 2003.
- 98) Akker-Scheek IVD, Stevens M, et al.: Recovery of gait short-stay total hip arthroplasty. *Arch Phys Med Rehabil* 88 : 361-367, 2007.

- 99) Fkel-Toledo S, Giladi N, et al.: Effects of gait speed on gait rhythmicity in Parkinson's disease: variability of stride time and swing time respond differently. *J NeuroEngineering Rehabil* 23: 1-7, 2005.
- 100) 古谷野亘, 柴田博・他: 地域老人における活動能力の測定—老研式活動能力指標の開発—. *日本公衆衛生雑誌* 34: 109-114, 1987.
- 101) American Geriatrics Society, British Geriatrics Society, and American academy of Orthopaedic Surgeons panel on Falls Prevention: Guideline for the prevention of falls in older persons. *J Am Geriatr Soc* 49: 664-672, 2001.
- 102) Akyol AD: Falls in the elderly: what can be done? *International Nursing Review* 54: 191-196, 2007.
- 103) Moylan KC, Binder EF: Falls in older adults: Risk assessment, management and prevention. *Am J Med* 120: 493-497, 2007.
- 104) Mbourou GA, Lajoie Y, et al.: Step length variability at gait initiation in elderly fallers and non-fallers, and young adults. *Gerontology* 49: 21-26, 2003.
- 105) Dingwell JB, Ulbrecht JS, et al.: Neuropathic gait shows only trends towards increased variability of sagittal plane kinematics during treadmill locomotion. *Gait and Posture* 10: 21-29, 1999.
- 106) Gates DH, Dingwell JB: Peripheral neuropathy does not alter the fractal dynamics of stride intervals of gait. *J Appl Physiol* 102: 965-971, 2007.
- 107) Springer S, Giladi N, et al.: Dual-tasking effects on gait variability: The role of aging, falls, and executive function. *Mov Disord* 21: 950-957, 2006.
- 108) Dubost V, Annweiler C, et al.: Stride-to-stride variability while enumerating animal names among healthy young adults: Result of stride velocity or effect of attention-demanding task? *Gait and Posture* (in Press): 2007.
- 109) Kesler A, Leibovich G, et al.: Shedding light on walking in the dark: the effects of reduced lighting on the gait of older adults with a higher-level gait disorder and controls. *J NeuroEngineering Rehabil* 27: 1-8, 2005.
- 110) Thies SB, Richardson JK, et al.: Effects of surface irregularity and lighting on step variability during gait: A study in healthy young and older women. *Gait and Posture* 22: 26-31, 2005.
- 111) Brach JS, Studenski SA, et al.: Gait variability and the risk of incident mobility disability in community-dwelling older adults. *J Gerontol Med Sci* 22: 983-988, 2007.
- 112) 新井智之, 大淵修一・他: 地域在住高齢者における転倒予防の効果—無作為化比較対照試験による検討—. *北里理学療法学* 6: 17-20, 2003.
- 113) 新井智之, 大淵修一・他: 歩行変動からみた減速刺激付きトレッドミルトレーニングの長期効果の検討—地域在住高齢者を対象にした無作為化比較対照試験—. *理学療法学* 32 Suppl 2: 368, 2005.

- 114) Brach JS, Studenski S, et al.: Stance time and step width variability have unique contributing impairments in older persons. *Gait and Posture* (in Press): 2007.
- 115) Brach JS, Berlin JE, et al.: Too much or too little step width variability is associated with a fall history in older persons who walk at or near normal gait speed. *J NeuroEngineering Rehabil* 21: 1-8, 2005.