

福祉現場で役に立つ虚弱高齢者の転倒予防支援システムの開発

Development of fall prevention system for frail elderly on nursing home

○山下和彦(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)

Kazuhiko YAMASHITA(Tokyo Healthcare University), Kanako NAKAJIMA(Ochanomizu University),
Miyuki KODAMA(Peaberry), Yumi IWAKAMI(Tokyo Healthcare University), Yuji Ota(Ochanomizu University),
Shuichi INO(AIST), Toru IFUKUBE(The University of Tokyo)

Key Words: Fall prevention, Lower limb muscular strength, Balance function, Assessment of fall risk

1. はじめに

高齢者施設や医療機関, 在宅で生活する高齢者にとって転倒は骨折を引き起こす主要な要因であることから, 予防が望まれる⁽¹⁾. 転倒骨折の中で最も重症なもの1つに大腿骨頸部骨折が挙げられ, 年間約14万人に発生していると推定される⁽²⁾. 転倒骨折は主に歩行中に発生するため, これまで自分で歩行できていた対象者が転倒により突然骨折し, 寝たきりになることも多く, 医療機関や高齢者施設から自宅に戻る割合は4割程度と考えられる.

効果的な転倒予防の推進には, 大勢の高齢者の中から対象者を探し出すポピュレーションアプローチとそれぞれの対象者の特性に整合した身体機能向上のためのハイリスクアプローチが必要となる. さらに, ハイリスクアプローチを効果的に実施するための支援者・対象者双方への支援システムが求められる. 効率よくポピュレーションアプローチを実施し, 抽出された対象者のハイリスクの点に介入するには, 主観的評価方法ではなく, 定量的で誰が行っても計測誤差が少なく, 標準化された計測・評価手法や指標が必要である.

また, 介入を継続的に実施するためには, 計測結果のフィードバックシステムと計測・評価された結果から自動的に運動・ケア項目を抽出する運動支援システムも求められる.

そこで本研究では, 定量的に身体機能の計測・評価を行うという考えから, 計測誤差が少なく, 標準化がしやすいスタティックな計測系に着目し, 下肢筋力を定量的に評価する機器を開発した. 本報告では開発した下肢筋力計測器を用いて, 多くの高齢者の中から特に転倒リスクが高い対象者を抽出する手法を開発するために, 健常高齢者と虚弱高齢者の下肢筋力を計測し, 機器の有効性を確認するとともに, 得られた計測結果から転倒リスク推定のための閾値を設定することを目的とした. さらに, 運動・ケア支援のための結果のフィードバックシステムについても試作を行った.

2. 下肢筋力を用いた高転倒リスク者の抽出手法の開発

2-1 高転倒リスク者抽出手法の開発の対象者

対象者は, 健常高齢者群 25 名 (平均年齢 80.9±3.2 歳), 虚弱高齢者群 23 名 (平均年齢 82.7±3.5 歳) である. 虚弱高齢者群には特定高齢者と要支援 1, 2 および要介護 1 までの高齢者が含まれる. 両群ともに年齢の範囲は 77~87 歳であった. 健常高齢者群と虚弱高齢者群間の年齢差は確認されなかった(F 値: 3.59, p<0.06).

以下解析では, 転倒リスクの低い群を健常高齢者群, 転倒リスクの高い群を虚弱高齢者群 (特定高齢者群と要介護高齢者群) と定義して行った.

特定高齢者は, 地方自治体の特定高齢者事業に選定された人を対象者とした. すべての対象者は自立歩行が可能であり, 車いすなどを利用する人は含まれていない.

実験の開始および参加にあたり, 事前に実験の主旨を対象者に説明し同意を得た上で実験を行った. 本研究は東京医療保健大学の倫理委員会の承認を得て行った.

2-2 高転倒リスク者抽出手法の開発の実験方法

計測方法について述べる. 下肢筋力を調べる方法として, 本研究で我々の開発した, Fig.1 の足指力計測器と Fig.2 の膝間力計測器を用いた.

Fig.1 の足指力計測器は膝下の筋力を総合的に反映すると考えられる^(3,4). また, 足指力は前後方向の姿勢制御を行う前頸骨筋と足底腱膜, 足関節周辺の筋や前足部の筋機能と関係がある⁽⁵⁾と考えられる. 足指力は一般的に行われる 10m 歩行とも相関が高く, 足指力が大きいと 10m 歩行速度も大きいことが報告されている⁽³⁾.

Fig.2 の膝間力計測器は, 股関節内転筋力を計測する機器である⁽⁶⁾. 股関節内転筋群は, 日常生活動作に密接な股関節の屈筋としても作用するとともに, 歩行中の骨盤の支持や階段の上り下りにも関与していると考えられる⁽⁷⁾. そして, 姿勢制御への関与として立位中の前後方向の重心の制御は前足部が行い, 左右方向の制御は股関節周辺の筋群が行うことが報告されている⁽⁸⁾. また, 10m 障害物歩行との相関が高いことが明らかになっている⁽⁶⁾.

2-3 高転倒リスク者スクリーニング手法の開発の結果

Fig.3 に各計測項目の結果を示した. その結果, 足指力右足は健常高齢者群 27.7±12.3 N, 虚弱高齢者群 22.3±12.6 N, 左足は健常高齢者群 26.7±9.7 N, 虚弱高齢者群 20.7±10.7 N,



Fig.1 Toe-gap force measurement device

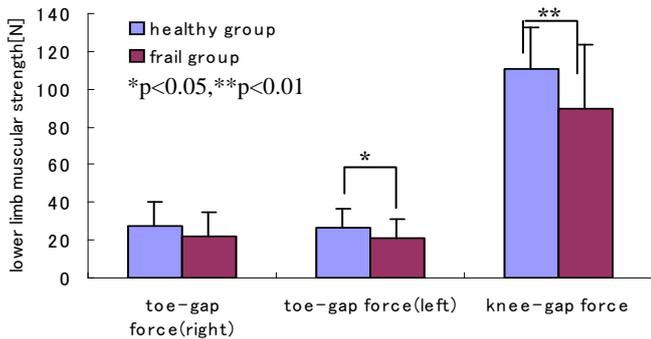


Fig.2 Knee-gap force measurement device

膝間力は健康高齢者群 110.8±21.8 N, 虚弱高齢者群 89.4±34.1 Nであった。すなわち, 虚弱高齢者群は健康高齢者に比べて, 足指力の右足で約20%, 左足で23%, 膝間力で20%低いことがわかった。

Table 1 には, 健康高齢者と虚弱高齢者に分けた各計測結果の相関係数を示した。その結果, 健康高齢者群は, 年齢と各項目の間には相関が認められなかった。足指力の左右足の間には0.5, 足指力の右左足と膝間力の間には, どちらも約0.4で相関が認められた。

それに対し虚弱高齢者群は, 年齢と足指力の右足の間には-0.4の逆相関が認められた。足指力の右左足の間には約0.8と高い相関が認められた。足指力の右足と膝間力の間には相関は認められなかったが, 足指力の左足と膝間力の間には約0.5の相関が認められた。



N: healthy group: 25 people, frail group: 23 people
Fig.3 Result of lower limb muscular strength for estimation of fall risk

Table 1 Coefficient of correlation between each parameter

		aged	toe-gap force (right)	toe-gap force (left)	knee-gap force
healthy group	aged	1	-0.27	0.03	-0.30
	toe-gap force (right)	-0.27	1	0.51**	0.39 *
	toe-gap force (left)	0.03	0.51**	1	0.42 *
	knee-gap force	-0.30	0.39 *	0.42 *	1
frail group	aged	1	-0.44**	-0.29	-0.40
	toe-gap force (right)	-0.44**	1	0.75**	0.34
	toe-gap force (left)	-0.29	0.75**	1	0.48 *
	knee-gap force	-0.40	0.34	0.48 *	1

*p<0.05, **p<0.01

2-4 高転倒リスク者スクリーニングのための閾値の導出

健康高齢者を低転倒リスク群, 虚弱高齢者を高転倒リスク群と定義した場合について, 得られた計測結果より, 下肢筋力から見た高転倒リスク群抽出のための閾値の導出を試みた。各計測結果の閾値の導出には, オッズ比を求めることによる最も分離能が高いものを採用した。

各パラメータを単独で検討した場合の結果を Table 2 に示した。足指力の右足は転倒リスク値の閾値が 22N と算出された。低転倒リスク群である健康高齢者で 22N を超えたのは 17 人, 超えなかったのは 8 名であった。高転倒リスク群である虚弱高齢者群で 22N を超えたのは 11 名, 超えなかったのは 12 名であった。その際のオッズ比は 2.32 であり, 感度 (sensitivity) は 52.2%, 特異度 (specificity) は 68.0% であった。

左足の閾値は 24N であり, 健康高齢者群で 24N を超えたの

は 14 名, 超えなかったのは 11 名であった。虚弱高齢者群で 24N を超えたのは 5 名, 超えなかったのは 18 名であった。オッズ比は 4.58, 感度は 78.3%, 特異度は 56.0% であった。

膝間力の閾値は 100N であり, 健康高齢者群で 100N を超えたのは 21 名, 超えなかったのは 4 名であった。虚弱高齢者群で 100N を超えたのは 11 名, 超えなかったのは 12 名であった。オッズ比は 5.73, 感度は 52.2%, 特異度は 84.0% であった。

各パラメータのみでもある程度の高転倒リスク者のスクリーニングが可能であるが, 抽出精度を高めるために, これら 3 項目を合わせて検討を試みた。その結果, 足指力の左足と膝間力を組み合わせることでオッズ比が最も高く, 効率よくスクリーニングできることがわかった。結果を Table 3 に示す。すなわち, 足指力の左足を 24N, 膝間力を 100N と設定した場合, この両方を超えたのは健康高齢者群で 14 名, 超えなかったのは 11 名であった。虚弱高齢者群で超えたのは 4 名, 超えなかったのは 19 名であった。オッズ比は 6.05 であり, 感度は 82.6%, 特異度は 56.0% であった。

Table 2 Threshold value of each parameter for evaluation of fall risk

	toe-gap force (right) 22N and less than over 22N	toe-gap force (left) 24N and less than over 24N	knee-gap force (left) 100N and less than over 100N
healthy group	17	14	21
fail group	8	11	4

odds ratio: toe-gap force:right2.32, left:4.58,knee-gap force:5.73

Table 3 Threshold value using left toe-gap force and knee-gap force for evaluation of fall risk

	toe-gap force(left) 24N and over, knee-gap force 100N and over	Other than that
healthy group	14	11
fail group	4	19

odds ratio:6.05, 95% confidence interval:3.80-9.62

3. 計測結果フィードバックシステムの概要

ここでは, 得られた計測結果をわかりやすくフィードバックする方法について述べる。福祉現場等で計測された結果はノートパソコンや PDA でその場で入力可能である。Fig.4 は対象者への結果のフィードバックフォームの一例である。

本研究では, 下肢筋力以外に歩行機能, バランス機能, 足部の機能や形状等の評価も行っており, 総合的に転倒リスク評価, 継続的な介入の効果についても検討を進めている。



Fig.4 Feedback form of measurement data

これらの結果を用いることで、対象者へのフィードバックだけではなく、行政などの介入のアウトカム評価、施設等の評価にも活用可能であると考えられる。

4. 考察

4-1 開発した下肢筋力計測機器の有効性の考察

本研究では、効率よく、かつ定量的評価の結果を基に高転倒リスク者を抽出するための手法を提案するために、転倒誘発要因の1つである下肢筋力に着目し検討を行った。

すなわち、本研究により開発した足指力計測器と膝間力計測器を用い、健常高齢者と虚弱高齢者（特定高齢者と軽度要介護高齢者）をそれぞれ、転倒の低リスク群と高リスク群と定義し、下肢筋力の計測結果を比較した。

高齢者の転倒発生率は加齢が進むことで急激に増加し、健常高齢者でも転倒で突然、骨折が発生する。すなわち、健常な後期高齢者でも下肢筋力が低下することで転倒リスクが高まることが推測される。そこで、大腿骨頸部骨折などが原因で要介護状態になることが危惧されるため、簡便にどこでも計測が可能で、定量的にそれぞれの対象者の下肢筋力がわかれば、高転倒リスク者が容易にスクリーニングできることから、転倒予防に有効であると考えられる。

さらに、健常高齢者に分類される対象者が、虚弱高齢者のレベルにまで下肢筋力が低下していることは、転倒のリスクを高めることが予測されることから、健常高齢者と虚弱高齢者を分ける閾値を明らかにできれば、ポピュレーションアプローチのために最初のスクリーニングとして、転倒ハイリスク群を見出すことに有効である。その結果、どのような介入をすべきか、あるいは同じような身体機能を持つ対象者でグルーピングできるかを検討できることから、効果的な介入の実施とハイリスクアプローチが実現できると考えられる。

まず、足指力計測器および膝間力の利用の有効性について述べる。本研究では、健常高齢者と特定高齢者および要介護高齢者を対象に計測を行うことができた。転倒リスクが高いと考えられる特定高齢者や要介護高齢者は、歩行機能などを計測するための10m歩行を実施することは、計測中の転倒を誘発する可能性がある。そのため、そのような対象者の最大の力を発揮した状態での評価は、現場の心理的、身体的負担が大きいと考えられる。

これまでの転倒予防のための運動指導などの報告では、横川らは後期高齢者に対する運動指導の介入効果としてBMI、握力、Time up and go testに向上が認められたが、膝伸展筋力、単脚起立時間等には効果が認められず、転倒回数も変化が認められなかったと報告⁽⁹⁾し、Campbellらは自宅訪問による運動指導の介入を実施し、バランス機能の向上と転倒発生率が低下したと報告している⁽¹⁰⁾。しかし、大高らはRandomized controlled trialsとmeta-analysesによる報告を調べたところ、明確な身体機能の向上および転倒発生率の減少は認められず、定性的に元気になった程度であることを報告した⁽¹¹⁾。

このように運動指導の効果は十分明らかにされていない。この理由の1つとして計測・評価手法の問題が挙げられると考える。例えば10m歩行やTime up and go testなどの歩行が関係する評価手法は、対象者の生活中的活動度を推定することには有効である⁽¹²⁾が、厳密な意味で、どの部位が改善したために、複合動作であるTime up and go testなどが改善

したのかを解析できない。さらに、動的計測項目であることから、対象者の心理的状態や身体的変化に容易に左右され、データにばらつきが大きく、擾乱が含まれると考えられる。

本計測機器は椅座位で計測を行い、簡便であることから高転倒リスク群であっても、容易に最大の力を発揮した状態を評価できる。本計測機器は、身体機能計測を行う上で、環境誤差、計測誤差が混入しないよう計測手法を定義し、実施することで正しい評価が可能なるよう構成した。

また、1名にかかる計測時間は、足指力、膝間力を合わせても1~2分程度であり、計測にかかわる補助者も非専門家1名程度でよいと、現場で実施する場合にも計測実施者、計測される対象者の双方に負担が小さいと考える。

福祉現場には計測等を行える専門家がそろっているとは限らない。したがって、従来の計測・評価項目に加え、誰でも簡単に扱える開発した下肢筋力計測機器を合わせることで、幅広い見地から身体機能や転倒リスクを評価できると考えられる。以上のことから本計測機器のフィールドでの有効性が考えられた。

4-2 下肢筋力計測による高転倒リスク者の下肢筋力の評価の考察

これまで足指力計測器、および膝間力計測器を用いることで、健常高齢者と、転倒リスクの高い虚弱高齢者でも安定に下肢筋力が計測・評価が可能であることを述べた。

ここでは、これら計測機器を用いて健常高齢者群と虚弱高齢者群の下肢筋力評価から比較について検討した。その結果、Fig. 3より、虚弱高齢者群は健常高齢者群に比べて、足指力、膝間力ともに約20%低下していることが示唆された。両群間に年齢差は見られないため、年齢の影響がない状況下においても、虚弱高齢者は下肢筋力が低下していることが明らかになり、転倒リスクが高いことが示唆された。

次にTable 1の両群の各計測パラメータの相関を調べた結果から、健常高齢者群では年齢と足指力、膝間力の間に相関は認められなかった。加齢による下肢筋力との相関が認められないのは、本研究で対象とした健常高齢者群が、ある程度のアクティビティを確保しており、閉じこもり等がないため、下肢筋力が日常生活の中で確保されていることが要因であることが考えられる。

一方で、Table 1の虚弱高齢者群では年齢と足指力の右足で-0.4の逆相関があり、加齢とともに下肢筋力が低下する傾向がうかがえた。ある範囲の年齢を限定した状況下では、身体機能が低下した虚弱高齢者の場合、アクティビティが比較的高い健常高齢者と異なり、家などに閉じこもる傾向が強いと推測される。そのため、加齢や虚弱な状況が長く続くことで廃用症候群の傾向になることから、下肢筋力が低下する悪循環となり、加齢とともに下肢筋力が低下することも一因として考えられる。

足指力と膝間力の間には一定の相関が認められ、足指力の高い対象者は膝間力も高い傾向にあることが健常高齢者群、虚弱高齢者群双方に当てはまるのがわかった。以上の結果より、虚弱高齢者群は、健常高齢者よりも足指力、膝間力が低下し、転倒リスクが高い状態にある可能性が定量的計測結果より示唆された。

4-3 下肢筋力計測による高転倒リスク者抽出手法の考察

ここまで特定高齢者や軽度要介護高齢者のような身体機能

が虚弱である対象者は下肢筋力が低いことがわかった。ここでは、このような転倒リスクが高い対象者群に分類される高齢者を容易にスクリーニングするための指標として転倒リスクの閾値を導出することを試みた。

その結果、Table 2 より足指力の左足を 24N、膝間力を 100N としたときの分離能が高く、オッズ比が 4.5 以上であることがわかった。さらに Table 3 より、これら 2 つを組み合わせることでオッズ比が 6.1 まで高められることがわかった。

この組み合わせが高転倒リスク者のスクリーニングに有効である理由について述べる。足指力の左右足はそれぞれ同じ部位の筋力を見ていることになるため、この 2 つを同時に採用すると統計学上、多重共線性が発生することが考えられる。多重共線性の可能性については、Table 1 の健常高齢者群の足指力の左右の相関係数が 0.5 以上、虚弱高齢者群が 0.75 と高い相関関係にあることから伺える。また、同じ意味合いであれば、両方採用する必要はなく、Table 2 からオッズ比が高い足指力の左足と膝間力を組み合わせることが妥当であると考えられる。

以上の結果より、足指力の左足を 24N、膝間力を 100N と設定して、この両方の値を下回る対象者を抽出することで 82% の確率で高転倒リスク者をスクリーニングできることが明らかになった。特異度は 56% であるが、健常高齢者群にも下肢筋力の低下から高転倒リスク者が含まれている可能性が高いことから、ここでは特異度には言及せず、敏感度のみで議論することが適切であると考えた。

もちろん高い精度で高転倒リスク者のみをスクリーニングできることが理想であるが、転倒リスクを高める要因は様々であり、下肢筋力の観点から定量的計測結果に基づいて、広い枠のスクリーニングを行えるだけでも意義があると考えられる。以上の見解より、多くの高齢者の中から、効率よく高転倒リスク者をスクリーニングするための閾値が導出された。

転倒リスク指標において、下肢筋力はその一部として考えるべきであり、歩行機能やバランス機能とも組み合わせることが必要である。さらに筋力のみではなく、足部や足裏の機能も転倒リスクに影響を与え、これら機能はバランス機能にも影響すると考えられる。すなわち、高齢者の足部や足爪に着目した研究から、足部や足爪の変形、変色、白癬菌等の感染が、高齢者全体の 6 割以上に達し⁽⁴⁾、これら異常は下肢筋力とバランス機能を低下させ、転倒発生率を増加させることが報告されている⁽³⁾。

そこで、Fig. 4 に示した計測結果のフィードバックシステムには下肢筋力の計測結果のみではなく、複数の計測指標と足部や足爪などを観察した結果を合わせて取り入れることを試みた。以上より、より精度の高い転倒リスク評価指標が構築できると考えられる。

5. まとめ

本研究では、転倒リスクの高い高齢者を効率よくスクリーニングするために、定量的下肢筋力計測装置を開発し、その有効性を示すとともに、下肢筋力からみた転倒リスクの閾値の導出を試みた。その結果、以下の知見が得られた。

- ① 下肢筋力計測を行った結果、虚弱高齢者は健常高齢者よりも、約 20% 低下していることがわかった。
- ② 足指力、膝間力は椅座位で計測可能であることから、安全かつ簡便に計測が実施でき、計測スタッフ数も少数で

よい。また計測にかかわる時間は 1~2 分程度であり、容易に定量的な計測・評価が実施できることがわかった。

- ③ 各計測パラメータから転倒リスクのオッズ比を求めたところ、足指力の左足を 24N、膝間力を 100N とし、その両方を超えない群を転倒リスク群とすることで、オッズ比が 6.05、敏感度が 82.6% の結果が得られた。すなわち、これを転倒リスク値として設定することで、82% の確率で高転倒リスク者を抽出できることが示唆された。
- ④ わかりやすいフィードバックシステムを開発できた。

以上の結果より、足指力と膝間力を用いることで、高転倒リスク者を容易にスクリーニングできる可能性が示唆された。本研究で得られた転倒リスク指標を用いることで、下肢筋力が低下している対象者を効率よく抽出でき、それぞれの特性に応じて介入する方法のきっかけが見出せる可能性が明らかになったことから、ハイリスクアプローチにつなげられると考えられる。これは、介護予防を効果的に実施するために重要であり、福祉現場の転倒予防のニーズに整合していると考えられる。

謝辞：本研究の一部は、文部科学省科学研究費若手(B) (課題番号 21700586)、文部科学省科学研究費補助金 (B) (課題番号 18300191) の研究助成にて行われた。

参考文献：

- (1)厚生労働省：国民生活基礎調査，2000
- (2)介護予防の推進に向けた運動疾患対策に関する検討会：介護予防の推進に向けた運動疾患対策について報告書. 2008, p. 3
- (3)山下和彦，斎藤正男：高齢者転倒予防能力の足指間圧力計測による推定. 計測自動制御学会誌. 38(11)：952-957, 2002
- (4)山下和彦，野本洋平，梅沢淳，宮川晴妃，川澄正史，小山裕徳，斎藤正男：高齢者の足部・足爪異常による転倒への影響. 電学誌 C. 124(10)：2057-2063, 2004
- (5) Winter DA, Patla AE, Prince F, Ishac M, Giolo- porczak k: Stiffness control of balance in quiet standing. J Neuro-physiol. 80: 1211-1221, 1998
- (6)山下和彦，今泉一哉，岩上優美，佐藤満，中島佐和子，井野秀一，小山裕徳，川澄正史，伊福部達：高齢者の定量的下肢筋力評価のための膝間力計測器の開発. 電学誌 C. 130(2)：267-274, 2010
- (7)Jacquelin Perry, 武田功 (監訳)：ペリー歩行分析，医歯薬出版社，2007, pp. 67-76
- (8) Runge CF, Shupert CL, Horak FB, Zajac FE: Ankle and hip postural strategies defined by joint torques. Gait posture. 10: 161-170, 1999
- (9)横川吉晴，甲斐一郎，白井弥生，小須田文俊，古田大樹，小中一輝：農産部後期高齢者における転倒と関連する身体機能の低下を遅延するための介入研究. 日本老年医学会雑誌. 40(1)：47-52, 2003
- (10) Campbell AJ, Robertson MC, Gardner MM, Norton RN, Tilvard MW, Buchner DM: Randomized controlled trial of a general practice programme of home based exercise to prevent falls in elderly women. BMJ. 315: 1065-1069, 1997
- (11)大高洋平，里宇明元，宇沢充圭，千野直一：エビデンスからみた転倒予防プログラムの効果-1. 狭義の転倒予防. リハ医学. 40：374-388, 2003
- (12) Shumway-cook, A., Brauer, S, Woollacott, M: Pre- dicting the probability for falls in community-dwelling older adults using the Time Up & Go Test. Phys Ther. 80: 896-903, 2000