

高齢者における転倒リスクの予防： 姿勢の安定性における筋力と下肢対称性 の妥当性

Prevention of falling risk in elderly people: the relevance of muscular strength and symmetry of lower limbs in postural stability

LUISA PIZZIGALLI^{1, 2} ALBERTO FILIPPINI^{1, 2} SAID AHMAIDI²
HUGUES JULLIEN² ALBERTO RAINOLDI¹

¹Motor Science Research Center, University School of Motor and Sport Science, University of Turin, Turin, Italy

²Exercise Physiological Adaptations and Strain Rehabilitation, University School of Motor and Sport Science, University of Picardie Jules Verne, Amiens, France

【キーワード】 加齢：aging、バランス：balance、筋力低下：muscle weakness、パワー：power

転倒は高齢者において、QOLに影響を及ぼす主要な健康問題のひとつである。老化の過程では、筋力の低下と転倒リスクの増大を伴う。これまで、筋力と姿勢の安定性を定量化するための実験プロトコルにおいて、用いられる変数や方法は様々だった。実際、多くの報告が転倒の危険因子や予測因子について分析してきたが、その結果は未だ不明確である。今日に至るまで、異なる感覚条件下における静的バランス能力に対する大腿四頭筋の筋力の影響について調べた明確かつ決定的な記述やレビューはない。本稿は、高齢者における転倒と、転倒に関連した傷害に関するより深い理解と、予防のための実験研究に関する概説を提供することを目的としている。文献のレビューに基づいて、本研究では高齢者における転倒のリスク、姿勢安定性、下肢の筋力の関連について探る。

諸言

本研究における筆者らの目的は、a) 高齢者における転倒リスクの予防に対する筋力の役割について議論すること、b) 高齢の転倒経験者と非経験者間、および転倒予防を目的とした運動介入による筋力、ステイフネス、下肢の対称性などの神経-筋の違いについて示すこと、c) 危険因子としてのバランスの低下および下肢筋の衰弱を支持する証拠と、転倒予防に対する戦略として、これらの要因にいかに対処するか、について調べることである。

文献分析はPubMed(文献検索サイト)において以下のキーワードを用いて行なわれた。

キーワード：ストレングス、脚筋のパワー、転倒経験者と非経験者の比較、下肢の対称性、転倒経験者における非対称性、中高年者のステイフネス、静的および動的バランス、転倒リスク、姿勢制御

言語は英語に限定した。検索

は2008年3月に終了とし、1980年から2008年の間に出版された研究に限定した。対象の被験者は65歳以上の健常者であった。

背景

健常高齢者においては通常、筋量や筋力の低下が認められるため、老化の過程において筋力を保持することは必須である(1,41)。下肢筋の虚弱やパワー、バランスの低下は転倒を引き起こす主たる内因性の要因であり、介入による影響を受けやすい。転倒は高齢者にとって重大な健康問題である(83)。筋力の段階的な低下は機能低下や転倒リスクの増大につながるが、これまでの研究において姿勢の安定性と下肢の筋力との関係にはほとんど関心が寄せられてこなかった。

高齢者の転倒の多くは、垂直面と水平面上における外乱に対する誤った応答によって引き起こされる(52)。そのような外乱に対する側方への移動を定

量化することで転倒を予測することができる。転倒リスクは過去の転倒経験、筋力低下、歩行機能低下、バランス機能低下、歩行器具の使用、視力障害、運動障害、転倒の恐怖、認知機能低下、座位機能低下、年齢、薬の服用の数、向精神薬の服用、心血管系薬剤の服用、栄養不足、尿失禁、関節炎、住居における危険因子、履き物などの様々な要因と関連している(23,63)。また、転倒は、活動性の低下やQOLに対するマイナスの影響、生存率の低下に関連する(5)。実際に、転倒と移動性の問題は、高齢者における自律性を低下させ、死亡率や疾患の罹患率の向上を招く主な原因となりうる。自宅で生活する65歳以上の健常高齢者の30～40%が1年に1度は転倒を経験し(4,9)、その割合は年齢とともに増加する。転倒の多くは重大な結果には至らないが、自宅において転倒した高齢者のおよそ5%が骨折を伴う、あるいは病院による介入を必要とする。重篤な合併症を伴ってそのような症状の発生率が10～25%となると非常に危険である。なお、死亡を引き起こす転倒の割合は女性よりも男性のほうが高い(4)。

転倒による心理的な影響は身体的な影響と同等に重要である。転倒の恐怖と、転倒後の不安は、自宅生活者と介護施設入所者の双方において自信の喪失と機能的制約をもたらす(6)。

したがって、転倒を監督および防止することは優先すべき課題である。実際、転倒リスクのある高齢者の数は増加している。機能低下は高齢者においてかなり多くみられる。このような機能低下は一般的に、転倒リスクの増大と関連している。ヨーロッパでは、65歳以上の高齢者の30%が、80歳以上では50%以上が1年に1回の転倒を経験している。

筋力とバランス

転倒は安定性の限界(LOS: Limits of Stability)によって制約を受ける様々な

日常の活動の中で起こる。LOSは“意図的に身体重心を変位させ、バランスを崩すことなく、掴まることなく、かつ、ステップを踏むことなく決まった方向に身体を傾けることができる最大の距離”として表現される。Clark&Rose(12)およびHolbein-Jennyら(26)は、加齢に伴ってLOSは低下することを報告している。高齢者は身体重心がLOSに近づくタイミングを適切に同定できないことから、足部の感覚の低下が転倒リスクの増大に寄与している可能性がある(51)。

近年の研究では、姿勢動揺が臨床的なバランス検査の測定結果と相関しないことが示されており、これらの検査ではバランスの異なる要素を測定している可能性がある。Rydwickら(75)のレビューは、ストレングストレーニング単独ではバランスの向上に不十分であることを指摘している。ストレングストレーニングとバランストレーニング双方を組み合わせたことが転倒因子の軽減に最も有用なようである。しかしながら、下肢の筋力と転倒の関連は明確でない。Perry(68)は高齢者における転倒経験者は同年代の非経験者と比較して筋力(-15%)とパワー(-21%)の低下が認められることを報告した。一方で、数多くの研究が転倒経験者と非経験者の間で筋力にほとんど、あるいは全く差がないことを示している。

筋力の衰弱、歩行機能およびバランスの低下は転倒リスクをそれぞれ440%、290%、290%増加させる(74)。これらの危険因子は多元的な転倒防止プログラムにおいてよく標的とされる。しかしながら、これらの因子がどの程度直接的に関係するのか、あるいは他の内在する要因が関係するのかは不確かである。加えて、これらの危険因子による転倒の予測は一貫性がないようにみえる(21)。Pijanappelsら(69)は、つまずきの発生と、レッグプレスによって測定された下肢の筋力低下

が、転倒した高齢者の100%と転倒しなかった高齢者の90%で明確に異なることを示した。

これとは反対に、Pavolaら(66)は、類似の実験において等速性および等尺性運動における下肢の筋力が平均レベルよりも高い群と低い群でともに、つまずきによる転倒を避けることができなかった。高齢者における転倒が若年者よりも頻繁に起こるのは、つまずきやよろめきがより多く起こるからなのか、もしくは、つまずきやよろめきの後にバランスを回復することができないからなのかは疑問である。1つめの仮説では、筋力や反応時間を向上させることにより、加齢によって生じる障害物の発見や回避に必要な視覚や認知機能の低下に対抗する必要がある。2つめの仮説では、ふらつきやつまずき後のバランスの回復をトレーニングしなくてはならない。つまずきやふらつき後にバランスを回復できる確率は若年者と比較して高齢者では著しく低いことが実験的に示されている(86)。

筋力の低下は転倒に対する危険因子であるとの報告を考慮すると、臨床的な観点における重要な疑問は、ストレングストレーニングにより転倒を予防できるかということである。転倒予防に対する筋力強化の効果に関して、ランダム化比較試験の文献検索がMorelandら(60)によって行なわれた。彼らは転倒のリスクがある高齢者において、筋力(特に下肢の)は評価や介入を施されるべき要因のひとつであると結論付けた。下肢の筋力やパワーは歩行の基本的能力を維持する上で必要である。Gravinerら(21)は若年者群と高齢者群においてつまずきやスリップを誘発する実験を行なった。この実験では、歩行中における転倒を回避するための急速な代償応答が必要とされた。結果、動作の回復において、若年者よりも高齢者でパワーがより重要であることが示された。また他の研究では、

独居または地域に暮らす高齢者において数週間の持久性運動、パワー強化運動、バランストレーニングの有用性を見出した(54,58,64,72,75)。

結論として、どのような種類の身体運動が有用で、かつ、筋骨格系の損傷を避けることができるかを確認することは重要である(筋力強化のための運動処方には注意が必要である)。バランストレーニングは、虚弱な高齢者において効果的にするためには、より個人に特化する必要がある。さらなる結論に至る前に、これらの介入の効果について調べるための、より大きなサンプルを対象とした、なお一層の研究が必要である。

多くの研究が、下肢筋における伸張性、短縮性の筋力を高齢者と若年者の双方で調べてきた。伸張性の筋力についても加齢によって低下するが、短縮性筋力では、より顕著な低下が認められる(27,71)。一方でPorter(70)は、若年者と高齢者では背屈中の伸張性筋力に違いがないことを主張した。

大腿四頭筋では、Lordら(49)とTakizawaら(81)は最大随意収縮において若年者と高齢者の間に違いがあることを報告した。これに対して、Daubney&Culham(14)、Skeltonら(79)、Melzerら(55)は違いは認められないとの報告をしている。同様に、転倒経験者と非経験者では底屈筋における筋力に違いがなく、大腿四頭筋では転倒経験者における低下が認められた(15,80)。反対に、Schwenderら(76)とSkeltonらは(79)、大腿四頭筋についてこれらの群間では違いがないことを示している。

下肢における非対称性、対称性

Valderrabanoら(85)は、2007年に発表した研究の中で、中高年の被験者を対象に、足関節まわりの最大随意等尺性トルクと下腿の4筋(前脛骨筋、腓腹筋内側頭、ヒラメ筋、長腓骨筋)の筋電図(平均周波数と強度)を含むバイ

オメカニクスの因子を左右両側について分析した。結果、利き脚は推進局面において使用されることから、非利き脚における筋は、より遅筋線維優位(利き脚の筋はより速筋線維)であることが示された。Skeltonら(79)は、転倒を予測する上で、筋力よりも、下腿の筋の非対称性や瞬発性のパワーのほうが有用であることを明らかにした。老化の過程において、短縮性筋力は伸張性筋力よりも低下する(24,43,70,73)。一方で、転倒経験者では脚の筋におけるパワーと筋力の非対称性に増大が認められることも示されている。同様に、Benjuyaら(3)の研究では転倒経験者と非経験者の間で下肢の筋力に違いはなかった。Arampatzisら(2)は、超音波検査法を用いて等尺性収縮中における腓腹筋内側頭と外側広筋の腱と筋膜の伸張について調べた。彼らは高齢者を対象に、前方へのつまずき後、1ステップ以内で安定した姿勢を回復できた群とできなかった群の間には、脚の伸張筋の筋力と腱のスティフネスに違いがないことを示した。

反対に、Ghulyan&Paolino(19)はバランス障害のある患者群を対象に、転倒経験者と非経験者の動的姿勢制御を比較した。彼らは姿勢動揺をもたらすための外乱刺激を誘発できるプラットフォームを使用して、高齢者において、下肢の非対称的な筋力低下は転倒非経験者よりも経験者でより顕著であり、したがって、将来的な転倒を予測する上で、一般的な兆候である姿勢制御の低下の理由となると、Skeltonら(79)が過去に示した証拠について確認した。

素早く高強度の力発揮を行なう能力は、椅子から立ち上がる、階段を昇る、つまずいた際に転倒しないようにバランスを立て直す、といった場面でのパフォーマンス発揮に重要である。Whippleら(87)とWolfsonら(90)は、転倒経験者における膝と足の筋力が非経験者に比べて有意に低いことを

報告している(ピアソン $R = -0.36$, $p < 0.001$)。最近、Kuramanidisら(34)は、若年者は高齢者と比べて筋力と腱のスティフネスが高いことを示した。また、若年者は高齢者と比べて外乱に対する姿勢動揺の余地が外乱の強度に依存せず高いことがわかった。2008年にArampatzisら(2)が、前方へのつまずき後、1ステップ以内で安定した姿勢を回復できた群とできなかった群間のバランス動態の比較を行なった。群間で脚伸張筋の筋力と腱のスティフネスに違いは観察されなかったことから、筋腱の特性は動的姿勢制御に対して影響がないかもしれない。

筋スティフネスとバランス

乗っているプラットフォームの状態を変化させる、感覚的な外乱を与える、あるいは、プラットフォームの動作に合わせて身体を動揺させる、などの手法はヒトのバランスに対する感覚情報の影響を調べるための手段としてよく用いられる。身体動揺の測定では、プラットフォームは前後(A-P)方向に、ポテンシオメーターによって検出される股関節の変位と同等の角度で回転する。

一般的に、姿勢制御においては能動的な筋制御システムが働いているとされるが、このような筋活動が必要か否かについては議論の余地がある。不安定な発泡体上における姿勢維持中や、プラットフォームの動作に合わせた身体動揺中では、受動的スティフネスの低下や除去の有益性が確認されている(30)。Jekaら(30)は、観察される動揺の増大は、感覚現象よりもむしろ、制御におけるヒトの処理能力に対して、バイオメカニクスのシステムの時定数を変化させることによるものと考えた。同様の理由から、近年、Loramら(45)は、動揺の大きさに対する受動的スティフネスへの依存性を無視すると、外乱、動揺認識、支持面の変化の実験で得られた結果の誤った解釈につ

ながるかもしれないことを指摘している。

いくつかの研究において、立位姿勢の維持は腓腹筋の積極的な役割によって成立することが確認されている。活動した腓腹筋の受動的(神経学的要素を含まない)スティフネスは動的安定性を保つのに十分である(62,88,89)。1999年にMorasso&Schieppati(59)は、足底の皮膚と筋受容器の役割に注目して、動揺の安定性に対する能動的メカニズムの根拠についてまとめた。長い間、下腿に由来する体性感覚入力立位バランスの制御における感覚情報の起源であると認識されてきた(36)。この必須入力の特定の起源は未だ明らかでないが、立脚や動作に関連したフィードバックをもたらす下肢の受容器にはいくつかの種類がある。膝関節や足関節周囲の筋の筋紡錘に由来する固有受容性の情報は、体幹に対する関節角度の変化を符号化し(29)、ゴルジ腱器官は身体の荷重に関する力フィードバックにかかわっている可能性がある(67)。さらに、足底の皮膚受容器は接触圧(51)や圧力分布の変化(35)を知覚している可能性がある。まとめると、これらの体性感覚入力の統合は、支持基底面に対する身体の位置に関する情報を提供していると考えられる。

Loramら(44)は、受動的スティフネスは静的安定性の維持には十分でないが、ヒトにおける倒立振り子に対する重力の影響を減弱させているとの可能性を示唆している。Larkら(37)は、高齢者と若年者の階段下降動作中における膝関節と足関節の関節トルクのパターン、動的関節スティフネスを比較した。彼らは、足関節の最大関節トルクの値が高齢者では顕著に低く、これは、すべてのステップ高を通して背屈角度が大きいことによって起こることを示した。結果、高齢者群は足関節トルクが統計的に有意に低く、下降動作における異なる制御戦略の使用が示唆された。このような理由から、リハビ

リ戦略や運動介入は足部の機能の維持や向上を可能とする活動に焦点をあてるべきである。

転倒防止のための運動に基づいた介入

転倒防止のための運動に基づいた介入プログラム開発のためには、日常生活動作においてバランスの維持にはどのような要素が必須であるかを理解する必要がある。そのようなプログラムを効果的にデザインするためには、バランスを回復し、転倒を防止するためのバイオメカニクスの、神経筋的要因を同定する必要がある。Rydwikら(75)による系統的レビューの中で、高齢者における身体トレーニングによるパフォーマンスへの効果が示唆されている。この研究によると、Ledinらは健常高齢者のバランスに対する身体トレーニングのプラスの効果を実証している(40)。

Chandlerら(11)は、下肢筋力の獲得は歩行速度や、椅子からの立ち上がり、移動課題における向上と関連があり、しかしながら、バランスや持久力の向上には関係しないことを報告している。一方でLordら(48)は、高齢者における身体運動が、協調的な安定性や動的姿勢制御を顕著に向上させることを発見した。彼らはまた、協調的な安定性の向上は股関節屈曲および伸展、膝関節伸展、足関節背屈の向上と関連があることを報告した。Ryushira(84)はChandlerらとLordらの矛盾する結果について、自宅でのレジスタンストレーニングの実施内容の違いによるものと説明した。実際に、Ryushiraの研究の目的は中高齢者における膝関節伸展筋の筋力増大が身体を異なる方向に傾ける際の安定性の限界(LOS)の改善と関連があるかを調べることだった。彼らは、中高齢者における膝関節伸展の抵抗トレーニングが1セットで筋力の増大に十分であることを示唆した。彼らの発見は、大腿四頭筋の筋力増大は質量中心(COM)の、後方のより遠くへ

の正確な動作を可能とし、転倒防止のための知覚に対してプラスの影響があることを示唆している。

Granata&Lockhart(22)は、彼らの予備実験を通して、転倒の傾向がある高齢者群と健常成人を対象に、足圧中心に対する質量中心の動的軌道安定性を示した。被験者がトレッドミル上における3種類の異なる速度で歩行した際の連続した35ステップについて、三次元の動作解析装置による運動学的データの測定を実施した。得られたデータから、著者らは、各足部接地について質量中心から足圧中心へのベクトルを推定した。これらのベクトルについてPoincareの方法により歩行の動的安定性を計算した。そして転倒の傾向がある群では、他の群と比較して歩行の動的安定性が低いことが示された。

太極拳のような、ゆっくりとした動作を伴う運動が高齢者に対する運動介入の例として研究された(42)。この研究で著者らは、転倒防止プログラムに対する太極拳の効果を調べるために1997年から2007年の間に行なわれた研究について分析した。彼らは、転倒関連の結果に対する実際の効果はまだ得られていないが、一定した介入方法による、より大規模かつ長期的な研究が必要、と結論付けた。

本レビュー論文では読者に対して、転倒における危険因子の減弱と防止における運動の類型論的な根拠を提供することを目的としている。身体パフォーマンスを維持することは転倒の防止のみならず、実際の転倒の際に、路面から起き上がり、再び独立性と自信を回復するための機能を維持するという観点からも重要である。筋力の低下はスポーツに参加している高齢者では軽減され、身体活動によって反転もする(7)。バランスへの脅威(狭い支持基底面、外乱、視覚情報や固有感覚の欠如)が起こった際、姿勢の安定性を維持するためには素早い応答が必要で

ある。加齢に伴う応答の遅れは、立て直し動作の時間を低下させる。高強度の筋力を発揮できる速度は、転倒の防止における重要な要素である(65)。素早く大きな力発揮をできる能力は、階段の上昇動作や、つまずきやスリップ後のバランス回復、椅子からの立ち上がり、といった日常動作におけるパフォーマンス発揮に貢献するので、転倒防止のための運動介入プログラムにおいては筋力よりも筋パワー(力×収縮速度)の向上を望むほうが好ましい。Skeltonら(78)は、65～84歳の対象者における筋パワーが、1年あたりおよそ3.5%低下し、等尺性筋力ではおよそ1.5%の低下があったことを示した。この速度の低下は、高齢者におけるType II線維の特性によって説明がつくかもしれない。加齢による最大等尺性筋力の低下は筋群によって異なり、上肢と比べて下肢でより大きい(57)。また、加齢によるType II線維のサイズの減少は、大腿二頭筋よりも外側広筋においてより顕著だった(1)。Merlettiら(56)は非侵襲的な手法を用いて、高齢者における最大随意トルク発揮と、電気刺激によって発現する筋疲労の減少について確認した。加齢に伴う筋線維組成の変化と運動単位の発火頻度の減少が、最大随意トルク発揮と電気刺激によって発現する筋疲労の減少を左右する要因かもしれない。

高齢者の筋は、遅筋線維によって若年者よりも大きい運動単位を伴ってより均一に構成される(25,39)。また、若年者と比べて高齢者では、収縮の際、速筋線維が数とサイズともに減少している。表面筋電図分析は、信号のスペクトルと振幅特性、筋線維における伝導速度に変化があることを示している(57)。結論として、電気刺激によって誘発された筋疲労は若年者よりも高齢者においてより高かったということである。このような現象は、逆説的ではあるが、高齢者は疲労に対する高い耐性と持久性があることを示している。

これまでの説明と同調して、持続的な運動は筋の老化を遅らせるこれらの生理学的効果を妨げることがわかった(10)。

動揺やバランスは歩行トレーニングや筋力トレーニング(32,47)、コンピュータ制御のバランストレーニング(8,17,42,91)によって改善できる。トレーニングの頻度、種類、強度については不一致があるものの、健康を増進させ、転倒の危険因子(筋力、バランス低下など)を改善するためには適度な身体運動が適当である(77)。

結論

数々の研究が、下肢の筋力と椅子からの立ち上がり動作や早歩きなどの移動運動課題における関連性を示してきた。

高齢者における下肢の筋力と姿勢の安定性の関連性はあまり明確ではない。下肢の筋力はフリーウェイトで、ダイナモメータやケーブル張力計を使用して、あるいは、マシンで1～3RMを測定することができる。横断的研究の結果によれば、等尺性および短縮性の発揮筋力は、男性では、10～20歳代、30歳代、あるいは40歳代までは変化がなく、40～70歳代まで、10年ごとに12～15%の割合で低下する(28)。

数々の研究が足関節背屈および底屈、あるいは、大腿四頭筋の筋力に基づいて転倒経験者と非経験者を区別するために、等速運動装置のようなモーター式のダイナモメータを使用している(18,46)。一般的に、筋力に対する加齢の影響を調べた研究では、若年男性と比較して高齢者ではピークトルク発揮により多くの時間がかかることを報告している(61)。これらの結果は、加齢に伴う筋パワーの低下と機能的能力の密接な関係に注目することにより支持されている。この発見は、加齢によるType II線維の選択的な萎縮によって説明がつき(38)、また、そのような筋力の低下は上肢よりも下肢で先に起

こる(16)。

これまでの研究において、高齢者における伸張性の筋力と転倒の関連性についてはあまり注目されてこなかった。このような事実は、伸張性の筋力発揮が階段の下降や座るなどの身体運動課題においてきわめて重要であるとの事実と反する。さらには、伸張性の筋力は、静的、動的な状況におけるバランスの維持に必要である(68)。これは、筋量や筋線維のタイプ、サイズに依存しないとみられる男性と女性間における、加齢に伴う伸張性筋力の相対的な維持を示したHortobagyi(27)の研究の結果に照らし合わせると驚きである。したがって、高齢者における筋力と転倒には一致しない見解が存在し、プロトコルにもあまり一貫性がない。

高齢者の下肢筋力について、ある研究では片側だけの測定が行なわれ、また別の研究では両側の測定が行なわれてきた。高齢者の転倒経験者と非経験者における下肢筋力の非対称性について調べた研究は見当たらない。このような比較は、転倒の原因について理解し、転倒経験者における筋力の非対称性が加齢によるものか、または、他の原因によるものかを知る上で重要かもしれない。

前後方向への外乱によって誘発された応答の研究により、高齢者は若年者と比較して、より低いレベルの不安定性によってステップ動作を開始することが示されている(31,50)。高齢者では若年者と異なり、平衡を回復するために複数ステップを要するか、腕の動作を使用する傾向にある。さらに、バランスの回復に複数ステップを要する傾向は筋力の低下と関連があることが示されてきた。実際、ステッピングの後期における膝関節屈曲筋群などのいくつかの筋では、必要とされるトルクが、高齢者における筋力の限界を超えている(53)。これらの報告は、外側広筋における筋力の低下が高齢者では遊脚期と接地時の姿勢の不安定性に関係する

可能性を示している。脚の筋力はバランスの立て直し能力の決定因子であることが報告されている。本レビュー論文を基に、下肢の筋力はバランスの立て直しにおいて重要な役割を果たすと結論付けられる。高齢者におけるレジスタンストレーニングやパワートレーニングがそのような回復能を向上させるか否かを示すデータはない。また、筋線維タイプと姿勢の安定性の関連を調べた研究は見当たらない。これらの関連性についての検討は、現在、バイオメカニクス的手法や筋電図分析を用いて行なわれている。報告は、最大下レベルの力や力の発生率が、下肢の特定の筋群で必要である可能性を強調しており、ストレングストレーニングは虚弱な対象者にとっては有益である可能性と、バランストレーニングでは感覚運動障害を減弱できる可能性を示している。

本レビューは、加齢に伴う身体機能の低下を防止、もしくは、遅らせることを目的とした適切な運動プログラムの開発に貢献できるかもしれない。筋力における伸張性の要素は多くの身体運動課題の基礎であり、静的、動的バランスの維持において必要な減速の力を与える。姿勢の安定性、また少なからず筋力は、高齢者における機能パフォーマンスに対する重要な要素である。

この研究において集められた情報は、下肢筋の筋力維持は加齢における姿勢安定性の維持に効果的であるとの仮説を支持する。さらなる研究により、様々な異なる感覚条件下で姿勢の安定性および下肢筋力の2つの機能的要因が関連するか示すための比較がなされるべきである。その結果が、高齢者における転倒リスクの軽減に対するさらなる材料となるだろう。◆

References

1. Aniansson, A, Hedberg, M, Henning, GB, and Grimby, G. Muscle morphology, enzymatic activity, and muscle strength in elderly men: A follow-up study. *Muscle Nerve* 9: 585-591, 1986.
2. Arampatzis, A, Karamanidis, K, and Mademli, L. Deficits in the way to achieve balance related to mechanisms of dynamic stability control in the elderly. *J Biomech* 41: 1754-1761, 2008.
3. Benjuya, N, Melzer, I, and Kaplanski, J. Aging-induced shifts from a reliance on sensory input to muscle cocontraction during balanced standing. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 59: 166-171, 2004.
4. Bezon, J, Echevarria, KH, and Smith, GB. Nursing outcomes indicator: Preventing falls for elderly people. *Outcomes Manag Nurs Pract* 3: 112-116, 1999.
5. Bloem, BR, Steijns, JA, and Smits-Engelsman, BC. An update on falls. *Curr Opin Neurol* 16: 15-26, 2003.
6. Brown, A. Reducing falls in elderly people: A review of exercise interventions. *Physioter Theory Pract* 15: 59-68, 1999.
7. Brown, WF, Strong, MJ, and Snow, R. Methods for estimating numbers of motor units in biceps-brachialis muscles and losses of motor units with aging. *Muscle Nerve* 11: 423-432, 1988.
8. Buchner, DM, Cress, ME, de Lateur, BJ, Esselman, PC, Margherita, AJ, Price, R, and Wagner, EH. The effect of strength and endurance training on gait, balance, fall risk, and health services use in community-living older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 52: M218-M224, 1997.
9. Campbell, AJ, Spears, GF, and Borrie, MJ. Examination by logistic regression modelling of variables which increase the relative risk of elderly women comparing to elderly men. *J Clin Epidemiol* 43: 1441-1442, 1990.
10. Casale, R, Rainoldi, A, Nilsson, J, and Bellotti, P. Can continuous physical training counteract aging effect on myoelectric fatigue? A surface electromyography study application. *Arch Phys Med Rehabil* 84: 513-517, 2003.
11. Chandler, JM, Duncan, PW, Kochersberger, G, and Studenski, S. Is lower extremity strength gain associated with improvement in physical performance and disability in frail, community-dwelling elders? *Arch Phys Med Rehabil* 79: 232-236, 1998.
12. Clark, S and Rose, DJ. Evaluation of dynamic balance among community-dwelling older adult fallers: A generalizability study of the limits of stability test. *Arch Phys Med Rehabil* 82: 468-474, 2001.
13. Creatha, R, Kiemel, T, Horak, F, Peterkac, R, and Jekaa, J. A unified view of quiet and perturbed stance: Simultaneous co-existing excitable modes. *Neurosci Lett* 377: 75-80, 2005.
14. Daubney, ME and Culham, EG. Lower-extremity muscle force and balance performance in adults aged 65 years and older. *Phys Ther* 79: 1177-1185, 1999.
15. De Rekeneire, N, Visser, M, Peila, R, Nevitt, MC, Cauley, JA, Tyllavsky, FA, Simonsick, EM, and Harris, TB. Is a fall just a fall: Correlates of falling in healthy older persons. *J Am Geriatr Soc* 51: 841-846, 2003.
16. Evans, WJ. What is sarcopenia? *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 50: 5-8, 1995.
17. Forrest, W. Anticipatory postural adjustment and Tai Chi Chuan. *Biomed Sci Instrum* 33: 65-70, 1997.
18. Gehlsen, GM and Whaley, MH. Falls in the elderly: Part II, Balance, strength, and flexibility. *Arch Phys Med Rehabil* 71: 739-741, 1990.
19. Ghulyan, Vand Paolino, M. Comparative study of dynamic balance in fallers and non fallers. *Fr ORL* 88: 89-96, 2005.
20. Gillespie, LD, Gillespie, WJ, Robertson, MC, Lamb, SE, Cumming, RG, and Rowe, BH. Interventions for preventing falls in elderly people. *Cochrane Database Syst Rev* CD000340, 2003.
21. Grabiner, MD, Donovan, S, Bareither, ML, Marone, JR, Hamstra-Wright, K, Gatts, S, and Troy, KL. Trunk kinematics and fall risk of older adults: Translating biomechanical results to the clinic. *J Electromyogr Kinesiol* 18: 197-204, 2008.
22. Granata, KP and Lockhart, TE. Dynamic stability differences in fallprone and healthy adults. *J Electromyogr Kinesiol* 18: 172-178, 2008.
23. Guideline for the prevention of falls in older persons. American Geriatrics Society, British Geriatrics Society, and American Academy of Orthopaedic Surgeons Panel on Falls Prevention. *J Am Geriatr Soc* 49: 664-672, 2001.
24. Hakkinen, K, Kraemer, W, and Newton, R. Muscle activation and force production during bilateral and unilateral concentric and isometric contractions of the knee extensors in men and women at different ages. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 3: 131-142, 1997.
25. Henriksson-Larsen, K, Friden, KJ, and Whetling, M. Distribution of fiber sizes in human skeletal muscle. An enzyme histochemical study in muscle tibialis anterior. *Acta Physiol Scand* 123: 171-177, 1985.

26. Holbein-Jenny, M, McDermott, K, Shaw, C, and Demchak, J. Validity of functional stability limits as a measure of balance in adults aged 23–73 years. *Ergonomics* 50: 631–646, 2007.
27. Hortobagyi, T, Zheng, D, Weidner, M, Lambert, NJ, Westbrook, S, and Houmard, JA. The influence of aging on muscle strength and muscle fiber characteristics with special reference to eccentric strength. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 50: B399–B406, 1995.
28. Hurley, BF. Age, gender, and muscular strength. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 50: 41–44, 1995.
29. Ivanenko, YP, Grasso, R, and Lacquaniti, F. Influence of leg muscle vibration on human walking. *J Neurophysiol* 84: 1737–1747, 2000.
30. Jeka, J, Kiemel, T, Creath, R, Horak, F, and Peterka, R. Controlling human upright posture: Velocity information is more accurate than position or acceleration. *J Neurophysiol* 92: 2368–2379, 2004.
31. Jensen, J, Brown, L, and Woollacott, M. Compensatory stepping: The biomechanics of a preferred response among older adults. *Exp Ageing Res* 27: 361–376, 2001.
32. Judge, JO, Whipple, RH, and Wolfson, LI. Effects of resistive and balance exercises on isokinetic strength in older persons. *J Am Geriatr Soc* 42: 937–946, 1994.
33. Kado, DM, Huang, MH, Barrett-Connor, E, and Greendale, GA. Hyperkyphotic posture and poor physical functional ability in older community dwelling men and women: The Rancho Bernardo Study. *J Gerontol Ser A: Biol Sci Med* 60: 633–637, 2005.
34. Karamanidis, K, Arampatzis, A, and Mademli, L. Age-related deficit in dynamic stability control after forward falls is affected by muscle strength and tendon stiffness. *J Electromyogr Kinesiol* 24–30, 2007.
35. Kavounoudias, A, Roll, R, and Roll, JP. The plantar sole is a 'dynamometric map' for human balance control. *Neuroreport* 9: 3247–3252, 1998.
36. Kennedy, PM and Inglis, JT. Distribution and behaviour of glabrous cutaneous receptors in the human foot sole. *J Physiol* 538: 995–1002, 2002.
37. Lark, S, Buckley, J, Bennett, S, Jones, D, and Sargeant, A. Joint torques and dynamic joint stiffness in elderly and young men during stepping down. *Clin Biomech* 18: 845–855, 2003.
38. Larsson, L, Grimby, G, and Karlsson, J. Muscle strength and speed of movement in relation to age and muscle morphology. *J Appl Physiol* 46: 451–456, 1979.
39. Larsson, L and Karlsson, J. Isometric and dynamic endurance as a function of age and skeletal muscle characteristics. *Acta Physiol Scand* 104: 129–136, 1978.
40. Ledin, T, Kronhed, AC, Moller, C, Moller, M, Odkvist, LM, and Olsson, B. Effects of balance training in elderly evaluated by clinical tests and dynamic posturography. *J Vestib Res* 1: 129–138, 1990.
41. Lexell, J. Human aging, muscle mass, and fiber type composition. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 50: 11–16, 1995.
42. Harmer, PA and Li, F. Tai chi and falls prevention in older people. *Med Sport Sci* 52: 124–134, 2008.
43. Lindle, RS, Metter, EJ, Lynch, NA, Fleg, JL, Fozard, JL, Tobin, J, Roy, TA, and Hurley, BF. Age and gender comparisons of muscle strength in 654 women and men aged 20–93 yr. *J Appl Physiol* 83: 1581–1587, 1997.
44. Loram, ID, Maganaris, CN, and Lakin, M. Human postural sway results from frequent, ballistic bias impulses by soleus and gastrocnemius. *J Physiol* 564: 295–311, 2005.
45. Loram, ID, Maganaris, CN, and Lakin, M. The passive, human calf muscles in relation to standing: The non-linear decrease from short range to long range stiffness. *J Physiol* 584: 661–675, 2007.
46. Lord, SR, Clark, RD, and Webster, IW. Physiological factors associated with falls in an elderly population. *J Am Geriatr Soc* 39: 1194–1200, 1991.
47. Lord, SR, Lloyd, DG, Nirui, M, Raymond, J, Williams, P, and Stewart, RA. The effect of exercise on gait patterns in older women: A randomized controlled trial. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 51: M64–M70, 1996.
48. Lord, SR, Ward, JA, and Williams, P. Exercise effect on dynamic stability in older women: A randomized controlled trial. *Arch Phys Med Rehabil* 77: 232–236, 1996.
49. Lord, SR, Ward, JA, Williams, P, and Anstey, KJ. Physiological factors associated with falls in older community-dwelling women. *J Am Geriatr Soc* 42: 1110–1117, 1994.
50. Madigan, ML and Lloyd, EM. Age and stepping limb performance differences during a single-step recovery from a forward fall. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 60: 481–485, 2005.
51. Magnusson, M, Enbom, H, Johansson, R, and Pyykko, I. Significance of pressor input from the human feet in anterior-posterior postural control. The effect of hypothermia on vibration-induced body-sway. *Acta Otolaryngol* 110: 182–188, 1990.
52. Maki, BE, Holliday, PJ, and Topper, AK. A prospective study of postural balance and risk of falling in an ambulatory and independent elderly population. *J Gerontol* 49: M72–M84, 1994.
53. Maki, BE and McIlroy, W. Control of compensatory stepping reactions: Age-related impairment and the potential for remedial intervention. *Physiother Theory Pract* 15: 69–90, 1999.
54. Mattacola, CG and Lloyd, JW. Effects of a 6-week strength and proprioception training program on measures of dynamic balance: A single-case design. *J Athl Train* 32: 127–135, 1997.
55. Melzer, I, Benjuya, N, and Kaplanski, J. Postural stability in the elderly: A comparison between fallers and non-fallers. *Age Ageing* 33: 602–607, 2004.
56. Merletti, R, Farina, D, Gazzoni, M, and Schieroni, MP. Effect of age on muscle functions investigated with surface electromyography. *Muscle Nerve* 25: 65–76, 2002.
57. Merletti, R, Lo Conte, LR, Cisari, C, and Actis, MV. Age related changes in surface myoelectric signals. *Scand J Rehabil Med* 24: 25–36, 1992.
58. Messier, SP, Royer, TD, Craven, TE, O' Toole, ML, Burns, R, and Ettinger, WH Jr. Long-term exercise and its effect on balance in older, osteoarthritic adults: Results from the Fitness, Arthritis, and Seniors Trial (FAST). *J Am Geriatr Soc* 48: 131–138, 2000.
59. Morasso, PG and Schieppati, M. Can muscle stiffness alone stabilize upright standing? *J Neurophysiol* 82: 1622–1626, 1999.
60. Moreland, JD, Richardson, JA, Goldsmith, CH, and Clase, CM. Muscle weakness and falls in older adults: A systematic review and meta-analysis. *J Am Geriatr Soc* 52: 1121–1129, 2004.
61. Murray, MP, Gardner, GM, Mollinger, LA, and Sepic, SB. Strength of isometric and isokinetic contractions: Knee muscles of men aged 20 to 86. *Phys Ther* 60: 412–419, 1980.
62. Nashner, LM. Adapting reflexes controlling the human posture. *Exp Brain Res* 26: 59–72, 1976.
63. Todd, C and Skelton, D. What are the main risk factors for falls amongst older people and what are the most effective interventions to prevent these falls? Copenhagen, WHO regional Office for Europe, 2004.
64. Nowalk, MP, Prendergast, JM, Bayles, CM, D' Amico, FJ, and Colvin, GC. A randomized trial of exercise programs among older individuals living in two long-term care facilities: The Falls FREE program. *J Am*

- Geriatr Soc* 49: 859–865, 2001.
65. Orr, R, de Vos, NJ, Singh, NA, Ross, DA, Stavrinou, TM, and Fiatarone-Singh, MA. Power training improves balance in healthy older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 61: 78–85, 2006.
 66. Pavol, MJ, Owings, TM, Foley, KT, and Grabiner, MD. Influence of lower extremity strength of healthy older adults on the outcome of an induced trip. *J Am Geriatr Soc* 50: 256–262, 2002.
 67. Pearson, KG. Proprioceptive regulation of locomotion. *Curr Opin Neurobiol* 5: 786–791, 1995.
 68. Perry, MC, Carville, SF, Smith, IC, Rutherford, OM, and Newhom, DJ. Strength, power output and symmetry of leg muscles: Effect of age and history of falling. *Eur J Appl Physiol* 100: 553–561, 2006.
 69. Pijnappels, M, van der Burg, PJ, Reeves, ND, and van Dieen, JH. Identification of elderly fallers by muscle strength measures. *Eur J Appl Physiol* 102: 585–592, 2008.
 70. Porter, MM and Vandervoort, AA. Standing strength training of the ankle plantar and dorsiflexors in older women, using concentric and eccentric contractions. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 76: 62–67, 1997.
 71. Poulin, MJ, Vandervoort, AA, Paterson, DH, Kramer, JF, and Cunningham, DA. Eccentric and concentric torques of knee and elbow extension in young and older men. *Can J Sport Sci* 17: 3–7, 1992.
 72. Province, MA, Hadley, EC, Hornbrook, MC, Lipsitz, LA, Miller, JP, Mulrow, CD, Ory, MG, Sattin, RW, Tinetti, ME, and Wolf, SL. The effects of exercise on falls in elderly patients. A preplanned meta-analysis of the FICSIT Trials. Frailty and Injuries: Cooperative studies of intervention techniques. *JAMA* 273: 1341–1347, 1995.
 73. Rogers, MA and Evans, WJ. Changes in skeletal muscle with aging: Effects of exercise training. *Exerc Sport Sci Rev* 21: 65–102, 1993.
 74. Rubenstein, LZ and Josephson, KR. The epidemiology of falls and syncope. *Clin Geriatr Med* 18: 141–158, 2002.
 75. Rydwick, E, Frandin, K, and Akner, G. Effects of physical training on physical performance in institutionalised elderly patients (70+) with multiple diagnoses. *Age Ageing* 33: 13–23, 2004.
 76. Schwendner, KI, Mikesky, AE, Holt, WSJ, Peacock, M, and Burr, DB. Differences in muscle endurance and recovery between fallers and non fallers, and between young and older women. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 52: M155–M160, 1997.
 77. Skelton, DA and Beyer, N. Exercise and injury prevention in older people. *Scand J Med Sci Sports* 13: 77–85, 2003.
 78. Skelton, DA, Greig, CA, Davies, JM, and Young, A. Strength, power and related functional ability of healthy people aged 65–89 years. *Age Ageing* 23: 371–377, 1994.
 79. Skelton, DA, Kennedy, J, and Rutherford, OM. Explosive power and asymmetry in leg muscle function in frequent fallers and non-fallers aged over 65. *Age Ageing* 31: 119–125, 2002.
 80. Studenski, S, Duncan, PW, and Chandler, J. Postural responses and effector factors in persons with unexplained falls: Results and methodological issues. *J Am Geriatr Soc* 39: 229–234, 1991.
 81. Takazawa, K, Arisawa, K, Honda, S, Shibata, Y, and Saito, H. Lower extremity muscle forces measured by a hand-held dynamometer and the risk of falls among day-care users in Japan: Using multinomial logistic regression analysis. *Disabil Rehabil* 25: 399–404, 2003.
 82. 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.
 83. Tinetti, M. Prevention of falls and fall injuries in elderly persons: A research agenda. *Prevent Med* 23: 756–762, 1994.
 84. Ryushi, T, Kumagai, K, Hayase, H, Abe, T, Shibuya, K, and Ono, A. Effect of resistive knee extension training on postural control measures in middle aged and elderly persons. *J Physiol Anthropol Appl Hum Sci* 19: 143–149, 2000.
 85. Valderrabano, V, Nigg, BM, Hintermann, B, Goepfert, B, Dick, W, Frank, CB, Herzog, W, and von Tscharner, V. Muscular lower leg asymmetry in middle-aged people. *Foot Ankle Int* 28: 242–249, 2007.
 86. Van Dieen, JH, Pijnappels, M, and Bobbert, MF. Age related intrinsic limitations in preventing a trip and regaining balance after a trip. *Safety Sci* 43: 437–453, 2005.
 87. Whipple, RH, Wolfson, LI, and Amerman, PM. The relationship of knee and ankle weakness to falls in nursing home residents: An isokinetic study. *J Am Geriatr Soc* 35: 13–20, 1987.
 88. Winter, DA, Patla, AE, Prince, F, Ishac, M, and Gielo-Periczak, K. Stiffness control of balance in quiet standing. *J Neurophysiol* 80: 1211–1221, 1998.
 89. Winter, DA, Patla, AE, Rietdyk, S, and Ishac, MG. Ankle muscle stiffness in the control of balance during quiet standing. *J Neurophysiol* 85: 2630–2633, 2001.
 90. Wolfson, L, Judge, J, Whipple, R, and King, M. Strength is a major factor in balance, gait, and the occurrence of falls. *J Gerontol* 50: 64–67, 1995.

From *Journal of Strength and Conditioning Research*:
Volume 25, Number 2, pages 567-574.