

〔総 説〕

加齢に伴うバランスの低下と高齢者のバランス運動の効果

竹島 伸生
禿 隆一

(朝日大学保健医療学部健康スポーツ科学科)

Age-associated decline of balance ability and the effects of balance exercise in older adults

Nobuo TAKESHIMA and Ryuichi KAMURO¹⁾

【Abstract】

The static and dynamic balance abilities clearly decrease with age. Although the direction of the center of gravity (COG) movement was examined using the limits of stability (LOS) test by Balance Master System, the relative decrease rates of moving the COG in left, right, front and back directions were almost similar. It has been found that falling to the left, right, or backward directions can lead to serious physical injuries. We also determined that the age-related decline of LOS balance parameters such reaction time (RT), movement velocity (MVC), and directional control (DCL), endpoint excursion (EPE), and maximum excursion (MXE). Of these, the age-related changes in RT were the largest. This requires not only the ability to move the center of gravity, but also response and agility training.

Several studies showed that customized balance exercises could prevent falls. However, it is considered that a combined exercise mode such as balance exercise and resistance training is appropriate for healthy older adults. However, to date, effects of these trainings on persons with Parkinson's disease or cognitive impairment remain unclear, and some observers suggested that there is little evidence available about exercise effects on survivors of stroke or on subjects immediately after their discharge from hospitals. Further research is needed to explore the benefits of physical exercises on these older adults.

Keyword : balance, aging, exercise, older adults

¹⁾ School of Health Science, Dep. of Health and Sport Science, Asahi University

I. 緒言

転倒とは、「人が地面や床、またはその他低いレベルで予期しない状況でバランスを崩し、倒れること」として定義されており、この転倒は偶発的または予測できない負傷により死亡の2番目の主要原因となっている (WHO, 2018 : <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/falls>). 世界において毎年推定で600,000人を超える人が死亡しているという。転倒を引き起こす可能性のある危険因子は、外的な要因と内的な要因に大別でき、複雑である (竹島とロジャース, 2010) (表1). 内的な要因には、身体の虚弱、疾病、体力の低下、視覚障害、聴覚障害や他の障害、服用している特定の薬物 (降圧剤、睡眠薬、向精神薬など) の使用などが挙げられている。薬物使用においては、複数の薬を併用している療法 (ポリファーマシー) を行なっているケースや関節炎、失禁、痛みなどの特定の健康問題を抱えている場合は転倒のリスクが高まる原因ともみられている (Krucke, et al., 2017). 外的な要因も大きな影響を与える (表1). 滑りやすいシューズを履いて天候の悪い中を外出する、買い物で使用したビニール袋などを床に放置した状態で電話の応対で立ち上がった際に滑って転倒を来すなどもあり、転倒予防に対する教育も重要である (竹島とロジャース, 2010). このように個人に関連するリスク要因が多いほど、転倒のリスクが高くなる。さらに、過去に転倒した人は、以前に転倒していない人よりも高い割合で再び転倒すると予測されている。また不安 (anxiety) と大きく関わっていることが示されており、こうした心理的な影響は日常生活活動の減退なども憂慮されていることから高齢期の大きな課題ともいえる (Hallford, et al., 2017). その上で「転倒—骨折—寝たきり」という負のスパイラルが生じ、機能的自立を損なう深刻な問題を生むことになるためその予防が世界的な課題となっている。

これまでは、とりわけ筋力の低下が最も高いリスクとされ (American Geriatrics Society, 2011), 転倒予防のための運動としては筋力向上が有効なものとみられてきた。一方、既述のように加齢に伴う体力の低下、視覚系、前庭系、体性感覚系の機能減退なども転倒に大きく関与しており、サルコペニア、歩行能力、神経感覚機能やバランス (平

衡性) の低下などが複雑に関与している。このために筋力に加えてバランスの維持向上が叫ばれ、アメリカスポーツ医学会 (American College of Sports Medicine : ACSM) の高齢者に対する運動処方ガイドライン (Position Stand, Chodzko-Zajko, et al., 2009) では、転倒予防にバランス運動が重要であるという見方が支持されている。

バランスとは、身体のバランスを保ち調整された運動を行なう基礎となる感覚としてみられており、人は地球上では重力の影響を受けるために静かに立っている時でも完全に静止することは不可能であり、動揺しながらも安定した姿勢を維持している。姿勢調節 (postural control) と表記されるが、静的バランス (static balance) という表現もされている。一方、走ったり、歩いたりしても倒れることなく、姿勢を保ちながら移動する能力を動的バランスとしている (中村, 2009). 安定性が妨げられた状態に対して身体や筋活動をうまく予測調整して姿勢を維持する能力といえるが、一般には前後左右に傾く状況をさすという表現でも表すことができる。これは、神経生理学的に「姿勢の安定を保つ能力、平衡能」として定義づけられ、姿勢保持のための筋収縮調整能として捉えられており、反射性、反応性、予測性の姿勢調整能力の要素から構成されている (杉山と木村, 2012)。

人は、常に重力の影響を受けて地球上で生活しているが、立位安静姿勢においても微妙な身体の揺れを伴い、神経機能を調節し、姿勢を保持している。これは静的バランスと呼ばれる。一方、安定性が妨げられた状態 (一般には左右前後に傾く状態) に対して身体や筋活動を予測調整して姿勢を維持する能力を動的バランス (dynamic balance) と称している (前阪ら, 2015). 静的バランスは、重心を支持基底内面に維持する能力であり、動的バランスは重心を支持基底面の境界線まで移動できる能力または重心の移動に合わせて支持基底面を移動する能力ということになる。また、静的と動的バランスという2分類に加えて、4つに分類するという考え方もある (島田ら, 2006). 1) 静的姿勢保持、2) 外乱負荷応答 (外乱に対する姿勢を保持する能力)、3) 支持基底面固定での随意運動中のバランス (足底を床につけた支持基底面を固定した状態で可能な限り重心の支持基底

表 1 転倒の内的要因と外的要因について（竹島とロジャース，2019）

<u>内的要因</u>	
一般属性	年齢
	性
	未治療
	低収入
	低い教育歴
生物的要因	急病
	慢性疾患（パーキンソン病，アルツハイマー，糖尿病等）
	低血圧，起立性低血圧
	身体障害／虚弱
	筋力の低下
	移動能力と歩行能の低下
	姿勢調節とバランス能の低下
	視力の低下，明暗反応と奥行き感覚の適応能
	白内障と緑内障
	前庭機能の低下
	神経機能（末梢感覚神経）の低下
	下肢機能の低下
	認知機能の低下
	転倒への恐怖心
<u>外的要因</u>	
環境	不安定なカーペットや電気コードなどの配線
	暗い照明 Dim lighting
	ビニールやリノリウム（床仕上剤の一種）などの床
	風呂場の床（とくに濡れている場合）
	浴槽などに入出する際（とくに一歩目）
	家庭の内外での手すりの不足
	平坦でない歩行路（廊下や家屋内外）
行動	転倒歴
	身体活動の不足
	治療
	靴や服装
	なにか物を持っでの移動
	階段昇降や物を持ち上げるなどの危険な動作

面の境界線まで移動する能力），および4）支持基底面の移動を伴う随意運動中のバランス（歩行のような重心の移動に合わせて支持基底面を移動する能力）などとしている。

これまでバランス能の評価は，国内外で主観的評価（Guralink Test Battery, Berg Balance Scale, Tinetti Balance test, など）やパフォーマンステスト（両手または一方の手による Functional Reach），異なる条件下（両足立ち，セミタンデム立ち，タンデム立ち，片足立ちなど）での測定（重心動揺や姿勢の維持時間など），および安定性の限界値（Limits of Stability）あるいは移動能

力評価（歩行テスト，Timed Up and Go など）が用いられてきた（竹島とロジャース，2010）。

本稿では，加齢に伴うバランスの変化と高齢者におけるバランス運動についてこれまでの研究を概観し，超高齢社会を目前とした中で，また寝たきりからスーパー老人と呼ばれる人が存在する極めて個人差が大きい高齢者の健康と自立維持のための運動方法について考えてみたい。

Ⅱ．バランスの加齢に伴う変化

静的および動的バランスは，いずれも全身持久性や筋力の諸指標と同様に加齢とともに低下する

とみられてきた。静的バランス指標である片脚立位試験では、Bohannon, et al. (1984) によると20-79歳の対象者に片脚立位試験による開眼および閉眼時のバランス測定を試み、片脚立位時間(秒)が30秒未満である相対的な割合は、50-59歳で6%程度であるが、70-79歳で90%へと大きく増大したという。また、開眼時の片脚立位時間が5秒以内の人では転倒ハイリスク者であったとの報告もある(Vellas, et al., 1997)。こうしたパフォーマンステストは、文部科学省の新体力テストでも利用されており、一般にも馴染みがあるものとなっている。また、静的な条件下でのバランス指標としては、重心動揺測定が行われてきた。従来の重心動揺計は、重心動揺の軌跡を調べ、軌跡長や面積によって評価されることが多い。この方法は、本邦では1994年バランス(平衡機能)の臨床検査法として保険診療適用となり、一般診療に利用されており、利用者も多い。しかし、国際的な基準は統一されていないためにゴールドスタンダードとしての活用は制限されている。海外では、後述するバランスマスターなどを用いて静的バランスを評価している(図1)。

Choy, et al. (2003) は、20歳から80歳までの女性を対象として静的バランス(開眼と閉眼および固い台と柔らかい台(高さ13cm)の4種類の

条件)を測定し、重心動揺は60歳以降の低下が顕著であり、閉眼時のバランスの減退が大きいと指摘している。著者らは同様に同じ機器を用いて60歳以上の邦人女性1,075人を対象にChoy, et al.と同じ方法で測定したところ、個人差が大きい、60歳以降でSVcomp(開眼と閉眼および固い台と柔らかい台の4種類の条件での総合評価)と年齢との相関は、 $r = -0.32$ の有意な関連性が認められ、平均で1.6%/年という低下率を報告した(Takeshima, et al., 2014)(図2)。一般的に加齢に伴う最大酸素摂取量や筋力などが1%/年の低下率であることを考えると静的バランスはそれらと同じかまたは高齢期ではそれ以上の低下の可能性が示唆される。

動的バランス指標としては、Timed Up & GoテストやFunctional Reachが用いられてきた。我々は、静的バランスと同様にバランスマスターを用いて60歳以上の邦人高齢女性を対象に動的バランスの加齢変化について検討した。これは、安定性の限界値(Limits of Stability: LOS)と称するもので左右前後斜めの8方向に対して身体を傾斜させ、重心を支持基底面の境界線まで移動できる能力を評価する方法である(図3)。

このテストは、フォースプレートの上に立ち、足を踏み出すことやバランスを失うことなく、立

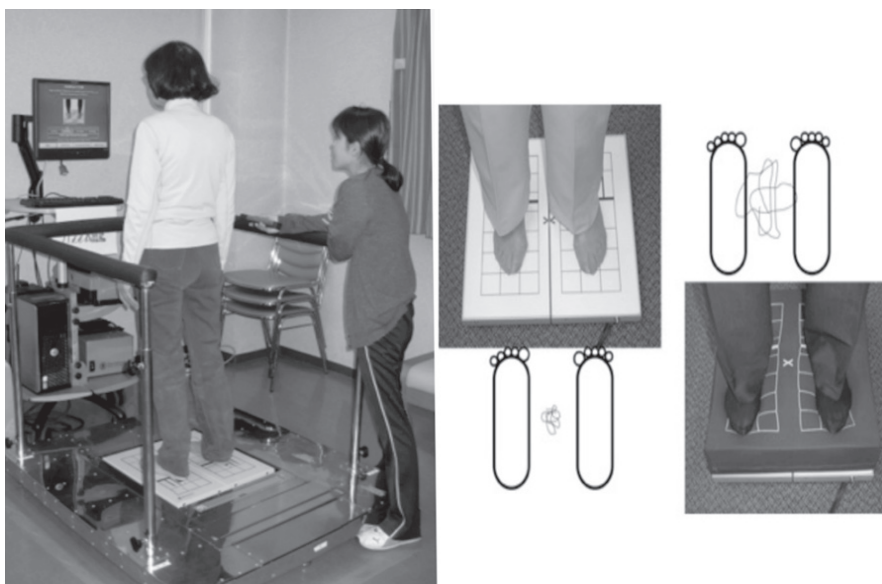


図1 バランスマスターによる静的バランス(重心動揺:Sway velocity)の評価

位姿勢から身体を傾斜することができる最大の重心移動位置を評価するものである。実際の測定では、備え付けのコンピュータモニター上に示される被験者の重心（人形で表示され、画面中央に表示される）を開始の合図が出たらできるだけ速く、目標位置（ボックス表示される）まで移動させ、移動速度が0になるかまたは移動方向の反転できた点までの距離を初期到達点（EPE）と称し

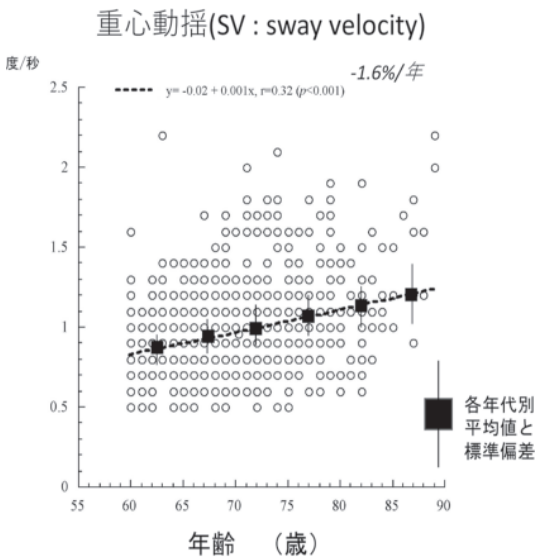


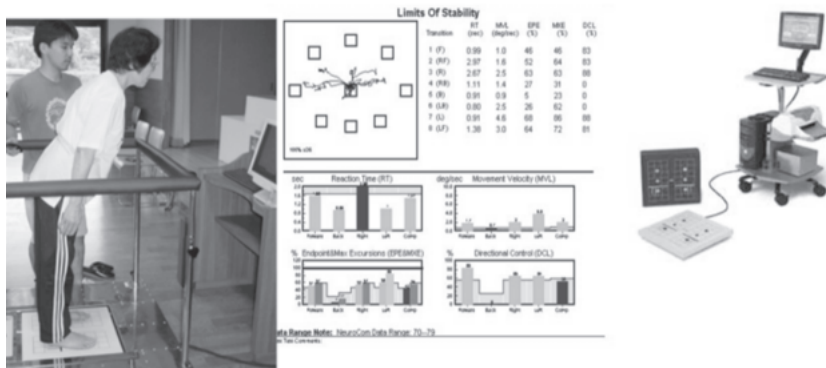
図 2 加齢に伴う重心動揺（静的バランス，SV）の変化 (Takeshima et al., 2014)

ている。時計回りの順（0度、45度、90度、135度、180度、225度、270度、315度）にそれぞれの方向において10秒間の測定で行うが、ヒトはテスト開始後EPEまで重心を素早く移動し、その後微調整を行いながら、最終的に身体を最大限に傾斜する。この立位姿勢の保持が到達できたところを最高到達点（MXE）と称す。一般には、EPEとMXEの双方をLOSの指標としていることが多い。我々の成績では、左右前後斜めの8方向の総合評価（comp）では、EPEcompが1.3%/年、MXEcompが0.8%/年の低下率が示された (Takeshima, et al., 2014) (図4)。

既述のようにこれまでのLOSの評価では、主に重心移動の距離（EPEやMXE）のみを取り扱う研究が多いが、このテストでは反応時間（RT）、移動速度（MVC）、方向制御（DCL：目標に対して直線的に重心が移動できているか）なども含まれている。しかし、これらの指標の加齢変化や低下の様相については不明であった。RTは、コンピュータモニター上にスタートの合図として○が表示される。いわば重心移動を始めるまでの時間を指す。MVCは画面中央の枠からEPEまでの距離の中で移動開始5%の距離から95%の距離までの平均移動速度を表示している。DCLは、画面中央のボックス（測定開始時の重心の位置）と目標のボックスに対する直線から重心の移動の際に外れた距離を評価して相対的割合で表す。い

バランスマスター(動的バランス)

- ・ 足底位置を変えずに身体を最大限傾斜する。



(Balance Master 8.0.2, NeuroCom International, Inc, Clackamas, OR, USA)

図 3 バランスマスターによる動的バランス（安定性の限界値：Limits of Stability (LOS)）の測定

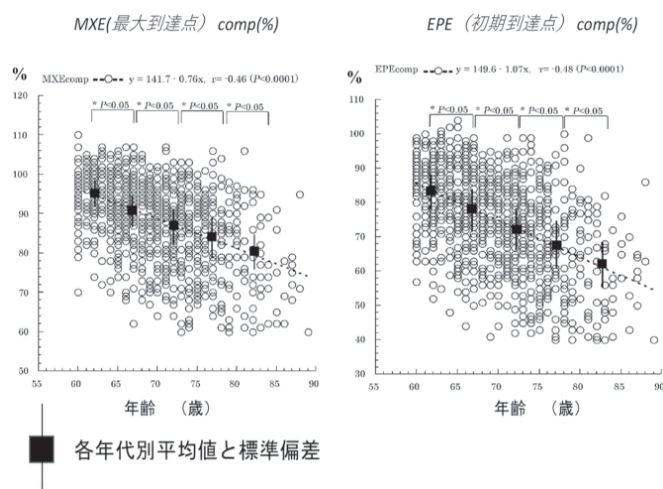


図 4 加齢に伴う安定性の限界値（最高到達点（MXE）と初期到達点（EPE））の変化（Takeshima et al., 2014）

表 2 対象者の年齢群別平均年齢と測定人数

年齢群	平均年齢 (歳)	人数
60-64 歳(グループ 1)	62.1 ± 1.4	155
65-69 歳(グループ 2)	66.9 ± 1.3	177
70-74 歳(グループ 3)	71.7 ± 1.4	128
75-79 歳(グループ 4)	76.5 ± 1.4	67
80 歳以上(グループ 5)	83.7 ± 3.4	31
計	68.7 ± 6.1	558

注：平均値±標準偏差

ずれも測定機器の中で自動計算されている。

そこで、今回これまでに得られたバランスマスターのデータ（女性，558人）を用いて，分析を行なった．対象者の年齢群別平均年齢と測定人数は表2に示した．LOSの左右前後の4方向で，RT，MVC，EPE，MXEおよびDCLと年齢との相関を検討したところ，年齢とRT ($r = 0.18 \sim 0.34$, $p < 0.001$)，年齢とMVC ($r = -0.13 \sim -0.30$, $p < 0.001$)，年齢とEPE ($r = -0.27 \sim -0.49$, $p < 0.001$)，年齢とMXE ($r = -0.27 \sim -0.43$, $p < 0.001$)，および年齢とDCL ($r = -0.11 \sim -0.38$, $p < 0.001$)の有意な関連性が認められた（表3）。

分散分析の結果から，年齢はすべてのバランス指標で有意な関連性が認められたが，相対的低下

率という点では他の指標に比べてRTの低下率（1.7%/年～3.3%/年）が大きい傾向がみられた（表4）．しかし，4方向（左右前後）でいずれの方向に対する加齢の影響を受けるかという点では明らかな違いはみられなかった．また，ポストホックテストから隣接する年齢の群でみると，70歳台後半からそれ以前の年齢群と比較するとバランス指標で大きな低下がみられる．こうしたことから，加齢に伴うLOS（動的バランス）は，左右前後のいずれも同様の低下が示されるが，後期高齢者（70歳台後半から）の低下が大きくなるものと推察できる．

一方，著者らが長期に亘って運動指導のフォローアップをしてきた高齢女性（ $n = 7$ ）で平均

表 3 年齢と安定性の限界値 (LOS) の各変数との相関

変数	r	p-値	n
RT1	-0.275	p<0.001	558
RT3	-0.255	p<0.001	558
RT5	-0.182	p<0.001	558
RT7	-0.304	p<0.001	558
MVL1	-0.239	p<0.001	558
MVL3	-0.210	p=0.002	558
MVL5	-0.131	p<0.001	558
MVL7	-0.298	p<0.001	558
EPE1	-0.306	p<0.001	558
EPE3	-0.292	p<0.001	558
EPE5	-0.265	p<0.001	558
EPE7	-0.319	p<0.001	558
MXE1	-0.287	p<0.001	558
MXE3	-0.284	p<0.001	558
MXE5	-0.274	p<0.001	558
MXE7	-0.277	p<0.001	558
DLC1	-0.202	p<0.001	558
DLC3	-0.145	p=0.001	558
DLC5	-0.252	p<0.001	558
DLC7	-0.107	p=0.012	558
RTcomp	-0.343	p<0.001	558
MVLcomp	-0.282	p<0.001	558
EPEcomp	-0.487	p<0.001	558
MXEcomp	-0.428	p<0.001	558
DCLcomp	-0.377	p<0.001	558

注： RT1: 反応時間前方向; RT3: 反応時間右方向; RT5: 反応時間後方向; RT7: 反応時間左方向;
MVL1: 平均移動速度前方向; MVL3: 平均移動速度右方向; MVL5: 平均移動速度後方向; MVL7:
平均移動速度左方向; EPE1: 初期到達点前方向; EPE3: 初期到達点右方向; EPE5: 初期到達点後
方向; EPE7: 初期到達点左方向; MXE1: 最高到達点前方向; MXE3: 最高到達点右方向; MXE5: 最
高到達点後方向; MXE7: 最高到達点左方向; DCL1: 方向制御前方向; DCL3: 方向制御右方向;
DCL5: 方向制御後方向; DCL7: 方向制御左方向; comp: 左右前後の総合評価

14年後にバランスマスターの再測定を試み、1年あたりの静的および動的バランスを検討したところ、図5に示す結果が得られた。最初の測定の際の平均年齢は、62歳であった。対象者は、バランス運動の必要性や意義または運動方法を理解して筋力トレーニングなども非監視型運動を定期的に取り組んできた人々であるが、EPEcompやMXEcompなどの重心移動距離は変化が小さいとみられたが、SVcompで3.3%/年、RTcompが3.9%/年と比較的大きな低下率が示された。

以上のように横断的資料と縦断的資料の双方からみると、高齢者の動的バランスは、重心移動（距

離）能力よりも反応時間の低下が大きいとみられる。従来から、バランスはパフォーマンステスト（Functional Reach）などを含めて重心の移動距離（足位置が動くことや、足を踏み出す、または転倒することなどがなく、重心の移動ができる最大値）などで評価されてきた。また、近年、サルコペニアやフレイルの予防などから高齢期の筋力や筋量の低下を問題視し、レジスタンス運動（筋力づくり）が重要視される傾向が強いが、今回の結果からみると反応時間の低下が最も大きく、バランス調整のために神経機能や神経-筋調節などの評価やこれらの改善のための指導が求められる

表 4 安定性の限界値 (LOS) の各変数における重心移動の左右前後方向の加齢変化

変数	年齢群					相対的 変化率 (%/年)	主効果 (年 齢)	群間比較 (post hoc test) - 隣接する群間の 比較
	60-64 (1)	65-69 (2)	70-74 (3)	75-79 (4)	80-84 (5)			
人数	155	176	128	67	31			
RT1(秒)	0.66±0.25	0.72±0.30	0.77±0.37	0.95±0.36	1.07±0.70	2.7	P<0.05	(1)=2)=(3)<(4)=(5)
RT3 (秒)	0.62±0.24	0.68±0.37	0.73±0.38	0.79±0.35	0.96±0.34	2.3	P<0.05	(1)=2)=(3)<(4)=(5)
RT5 (秒)	0.64±0.27	0.69±0.31	0.71±0.33	0.86±0.39	0.84±0.48	1.7	P<0.05	(1)=2)=(3)<(4)=(5)
RT7 (秒)	0.63±0.25	0.74±0.34	0.74±0.36	0.96±0.46	1.06±0.67	3.3	P<0.05	(1)=2)=(3)<(4)=(5)
MVL1(秒)	5.64±2.57	4.92±2.53	5.19±2.73	3.80±1.98	3.46±2.60	1.7	P<0.05	(1)=2)=(3)<(4)=(5)
MVL3 (秒)	3.23±1.50	3.05±1.56	3.16±1.60	2.78±2.39	2.06±0.84	1.6	P<0.05	(1)=2)=(3)<(4)=(5)
MVL5 (秒)	7.11±2.78	6.41±3.02	6.62±3.01	5.32±2.9	4.75±3.37	1.0	P<0.05	(1)=2)=(3)=(4)=(5)
MVL7 (秒)	7.21±3.23	6.22±3.45	5.77±2.85	5.03±3.03	3.79±3.13	2.1	P<0.05	(1)>2)=(3)<(4)=(5)
EPE1(%)	74.3±15.6	68.1±18.3	66.7±19.2	61.3±18.7	50.1±19.6	1.2	P<0.05	(1)>2)=(3)=(4)>(5)
EPE3 (%)	61.6±15.4	54.7±15.3	53.8±17.4	48.6±14.6	46.7±19.0	0.9	P<0.05	(1)=2)=(3)<(4)=(5)
EPE5(%)	91.2±13.7	86.6±17.5	83.4±18.6	80.7±20.5	70.6±24.0	1.2	P<0.05	(1)=2)=(3)=(4)=(5)
EPE7(%)	91.4±13.3	89.1±16.0	83.3±19.8	79.0±21.2	68.5±28.3	1.0	P<0.05	(1)=2)>(3)=(4)=(5)
MXE1(%)	90.1±11.2	87.6±13.1	87.3±13.0	80.1±15.9	70.3±19.6	0.7	P<0.05	(1)=2)=(3)>(4)>(5)
MXE3 (%)	78.7±10.5	74.7±12.8	75.9±15.6	64.9±17.3	66.6±20.0	0.5	P<0.05	(1)=2)=(3)=(4)=(5)
MXE5 (%)	100.1±6.9	97.5±9.1	94.9±13.5	93.0±14.1	87.2±21.1	0.8	P<0.05	(1)=2)=(3)>(4)=(5)
MXE7 (%)	91.4±13.3	89.1±16.0	83.3±19.8	79.0±21.2	68.5±20.3	0.5	P<0.05	(1)=2)=(3)=(4)>(5)
DCL1 (%)	84.8±7.3	86.2±7.1	85.1±8.1	83.4±11.7	80.6±13.1	0.3	P<0.05	(1)=2)=(3)=(4)=(5)
DCL3 (%)	76.5±11.8	72.7±16.1	72.2±13.2	67.4±16.8	63.6±18.8	0.2	P<0.05	(1)=2)=(3)=(4)=(5)
DCL5(%)	84.3±7.3	85.7±6.8	82.9±8.1	81.7±13.2	81.8±13.2	0.8	P<0.05	(1)=2)=(3)=(4)=(5)
DCL7 (%)	86.7±5.0	86.9±5.4	85.6±7.2	86.6±5.4	83.9±7.4	0.1	P<0.05	(1)=2)=(3)=(4)=(5)

注： RT1: 反応時間前方方向; RT3: 反応時間右方向; RT5: 反応時間後方向; RT7: 反応時間左方向; MVL1: 平均移動速度前方方向; MVL3: 平均移動速度右方向; MVL5: 平均移動速度後方向; MVL7: 平均移動速度左方向; EPE1: 初期到達点前方方向; EPE3: 初期到達点右方向; EPE5: 初期到達点後方向;

EPE7: 初期到達点左方向; MXE1: 最高到達点前方方向; MXE3: 最高到達点右方向; MXE5: 最高到達点後方向; MXE7: 最高到達点左方向; DCL1: 方向制御前方方向; DCL3: 方向制御右方向; DCL5: 方向制御後方向; DCL7: 方向制御左方向; comp: 左右前後の総合評価;

=: 有意差なし; < または >: 有意差あり (5%水準)

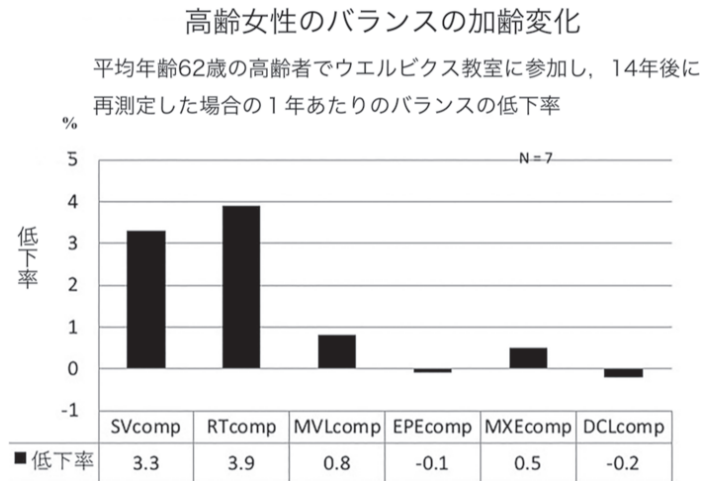


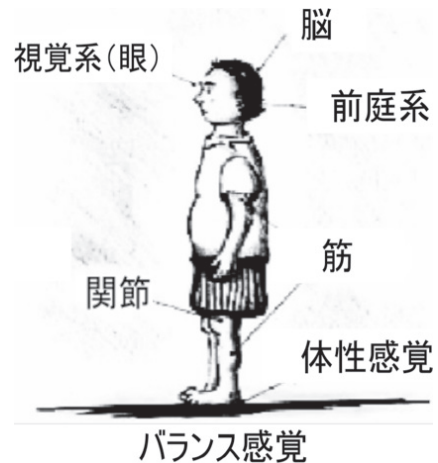
図 5 運動習慣のある高齢女性の安定性の限界値の諸指標の変化—縦断的観察による—

かもしれない。体性感覚の低下や視覚系の情報の有無などによって影響を受ける静的バランスの加齢による低下率も大きいと考えられる。従って、バランスへの加齢に伴う低下の要因を踏まえて、身体機能の維持のための運動方法を再考することが求められよう。

Ⅲ. バランス運動とその効果

高齢者が自立できなくなる要因に転倒が挙げられているが、加齢とともに既述のようにバランスは低下していくことが明らかである。バランスに影響する要因としては、三半規管などの前庭系感覚機能、視覚情報（眼）、体性感覚系、脳（認知）の機能が複雑に関与している（図6）。さらに筋萎縮や歩行能力の減退、神経感覚機能の低下が顕著になると転倒のリスクが一層高まるものとみられる。こうしたことからこれらの要因に対して維持や改善を可能とするという仮設から積極的に運動が取り上げられ、その効果が検討されてきた。

竹島らは、2010年に「転倒予防のためのバランス運動の理論と実際」と称する著書を発表し、国内外のバランス運動の効果と具体的な運動方法について例示してきた（竹島とロジャース、2010）。この中で世界的にみた介入研究結果から2000年ごろまでの成果では、運動の実践によってむしろ転倒数が増加したということもあり、全体的には転倒予防に対する運動の効果については確定できず、限定的なものであろうという見方があること

図 6 バランスに影響を与える要因
（竹島とロジャース、2014）

を紹介した。Gregg, et al. (2000) やオーストラリアの国立加齢研究センターも同様の報告を出している。しかし、運動効果が認められたものを整理すると、単純に一つの運動方法によって効果が得られるものでなく、複合的な様式、とりわけレジスタンス運動とバランス運動（実際には筋力づくりが含まれるが）の導入の重要性が指摘されていた。国内外でも複合運動（バランス、コーディネーション運動、視力トレーニングなど）が取り組まれ、筋力増加とともに転倒率の低下、バランスの向上、あるいは両者の改善が報告されている（Suzuki, et al., 2004 ; Load, et al., 1994 ; Carter,

et al., 2002). こうした複合様式による運動の必要性は, ACSM 運動処方ガイドライン (position stand, 2009) でも指摘されている.

一方, 太極拳などの運動が怪我の予防や転倒予防に効果的であるという報告が散見される (Li, et al., 2004). Woo, et al. (2007) は, 高齢男女 (65~74 歳, 180 人) を対象に 1 年間に亘る太極拳の指導を試みたが, バランス, 柔軟性と転倒数に対して運動効果が認められなかったことを報告している. 我々も邦人高齢者 (運動群: 平均年齢 72 ± 5 歳 ($n=25$); 対照群: 73 ± 6 歳 ($n=24$)) を対象に 12 週間に亘り, 太極拳 (Yang-style, 108 式) による運動効果を調べたところ, 筋力の向上が得られたが, 静的 (SVcomp) や動的 (EPEcomp, MXEcomp, RTcomp, MVCcomp および DCLcomp) バランスに改善が認められなかった (Takeshima, et al., 2017). Penn, et al. (2019) によれば, 伝統的な太極拳 (Yang-style) を実施した群と太極拳の動作を分析 (4 つの足の位置 (平行, 足を肩幅) での前, 後, 左右方向やいずれかの足を前に出すかなど 16 の足支持パターンに分類し, フォースプレートを使って重心移動から 4 つの難易度レベルに分類) してその特徴を個別処方として太極拳を行った群の 2 群による運動効果の比較から, 伝統的な太極拳を行った群では筋力のみに改善効果が生じたという. 本来武術は, 敵との戦いを考えると, バランスを崩すことや姿勢を不安定な状態に置くことがない. 常にどの状況にあっても敵と対峙するためには重心の位置を保っている姿勢を保持するという安定感が要求されるのではないかと察する. このために, 徐々に重心の位置を不安定な状況に置き, 倒れないように調節を求めていくバランス運動とは運動自体が異なるという考えもできる. しかし, こうした見方以上に, とりわけ初心者では太極拳の運動様式を学ぶまでに時間がかかることもあり, 正しい運動方法の習得もその効果に影響することが考えられる. 怪我や転倒を避けることができるという点では太極拳などの運動もさらに研究を進める必要がある.

一方, 我々は, 地域在住高齢者を対象に 12 週間に亘り, 2 日 / 週, 60 分間のバランス運動 (特に筋力づくりに加えて視覚系, 前庭系, 体性感覚系への刺激を高めるプログラム) を導入し, その結果 MXEcomp が 21.6% 改善し, 左右と後方へ

の改善が大きかったことを報告した (Islam, et al., 2004). さらに, バランスが低下している高齢者 (MXEcomp が 70% 以下で 75 歳以上, 平均 78.8 ± 4.2 歳, 運動群 $n=12$, 対照群 $n=12$) に対して 12 週間の運動指導を行なったところ, 運動群で MXEcomp が運動前 $55.5 \pm 11.0\%$ から運動後 $75.2 \pm 14.3\%$ へと約 20% の改善が認められ, EPEcomp, RTcomp, SVcomp, そして Timed Up & Go など有意に改善した (Narita, et al., 2015). 高齢者の転倒で左右また後方に倒れて重大な事故 (骨折等) となっている (Schwartz, et al., 1998; Greenspan, et al., 1998; Nankaku, et al., 2005) ことを考えれば重篤な怪我や転倒リスクを低下させるものと思われる. バランス運動の介入研究は, アメリカウイチタ大学加齢と身体運動研究センター (センター長, Rogers 教授) らとの国際共同研究も展開するとともに国内では名古屋, 長野飯田市, 島根安来市, 福岡香春町, 鳥取江府町などで展開してきている (図 7).

表 5 に示すようなバランス運動の組み立て方の基本を示し, 地域在住高齢者においては立位姿勢で, 静的または動的なバランス運動を定期的に指導している. バランスに影響する要因は, 前庭系感覚機能, 視覚系 (眼), 体性感覚系, 筋や関節の動きが関与し, さらにその上位である脳など高次機能の関与で複雑になっているが, これらに対して刺激を試みるというものである. 静的運動プログラムでは, 1) 立位姿勢において支持基底面の大きさを変える (難易度: 両足肩幅→セミタンデム (両足をやや前後に位置する)→タンデム (完全に足を前後にする)→片足), 床面の硬さを変える (硬い台→柔らかい台), 2) 感覚系への刺激: 開眼→閉眼, 動きの速度 (難易度: ゆっくりした速度→速い動き), 腕や上肢の動きを使用する, 3) 道具を使って難易度や強度を高める, 4) 徐々に速い反応を求める, 5) 日常生活動作の中でバランスを高める動作を取り入れる (難易度: 単純→複雑, 椅子から立つ→水の入ったコップを持って立つ), など. 動的運動プログラムでは, 1) 前後左右に歩くようにして重心位置を移動する, 2) 膝まげや方向転換, 横歩き, タンデム歩き, かかと歩き, つま先歩きなど加える, 3) バランスパッドや布団など柔らかい床面を使用するなど, 4) 注意力や認知への刺激を加える (計算や記憶など



図 7 地域在住高齢者を対象としたバランス運動の様子

表 5 バランス運動の組み立て方

バランス能が低い人は、転倒の危険性が高いために一人で行わせない

優しい	→	難しい	へと工夫する
● 遠位	→	近位へ（手の動きを利用するなど）	
● 支持あり	→	支持なし	
● 開眼	→	閉眼	
● 頭を動かさない	→	頭を動かす	
● 固いフロアー	→	柔らかいフロアー	
● 小道具なし	→	小道具あり（ボール、ゴムバンド、タオル等）	
● 静的	→	動的（重心移動や動きを伴う）	
● 単純	→	複雑（脳、認知への刺激）	

の脳への働きかけを行う）。詳細は他誌（竹島とロジャース編，2010）に譲る。バランス運動は，Gschwind, et al. (2013) によっても類似した興味ある内容が示されているが，最近では摂動運動（perturbation, 外乱（他の力）を加える）の有効性が検討されている（Gerards, et al., 2017）。今回紹介した反応時間の遅延も加齢による特徴でもあることを踏まえると姿勢調整を図るバランス運動において，脳機能や神経機能に対しても刺激を与えるような素早い動きや速い反応を求める内容

を積極的にプログラムにおいて取り入れるべきであろう。

健康づくりと自立維持のためには単独の運動様式よりも複合様式による方法が望まれ，バランス運動は well-rounded exercise (WRE) とする複合運動の一部の要素と考えることが望ましい。この WRE は Pollock ME (University of Florida 教授，故人) が 1984 年心臓リハビリテーションの運動療法において有酸素性運動，レジスタンスの双方の効果を得るために必要な運動様式であると

して表現した言葉であるが、1998年ACSMの運動処方ガイドライン(position stand)で使用され、世界的に使用されている。すなわち、運動効果には特異性があり、有酸素性運動、レジスタンス、柔軟性の効果をうまく取り入れることで最大限の効果を導き出そうとするものである。そして、高齢者に対してはこの3種類に加えてバランス運動の実践が追加された。竹島は、Pollock教授のもとで在外共同研究を行った経験からこのWREを「ウエルビクス」と名付け、4種類の運動を推奨してきた(竹島, 2001; 2006; 2017)。バランス運動の合言葉は、“strong standing”と称し、強く立てることを推奨している。これまでの介入研究から、高齢者における運動の継続性を検討すると、特別の運動施設(例: フィットネス施設)などで行うよりも通い易い場所の設定が何より重要である。具体的には公民館やコミュニティーセンターで行う様式が望ましいとみられる。島根県の安来市布部地区では、冬期は降雪があり、公民館にいけない時期はより家から通いやすい集会所や場合によっては個人の家で友人らが集まって運動を行うケースも展開していると聞く。こうした様式は、地域型運動(community-based exercise: CBE)と称するが、米国でもその有効性が示されているが、国内でも地域に在住する高齢者(community-dwelling older adults)への長期的有効性が示めされている(Islam, et al., 2015; 北林ら, 2014)。また、CBEと家庭型運動(home-based exercise)を併用するなどを計画すればより高い継続率が得られるという報告もある(Yamauchi, et al., 2005)。

PubMedによって、balance exerciseとolder adultsというwordで検索を行うと2013年あたりから世界中で公表される論文数が100を超えるようになった。Sherrington, et al. (2008)は、公表された44の研究論文を使用し、9,603人の対象者のデータを元にメタアナリシスを行なったところ、運動が高齢者の転倒を17%程度低下させるとしている。このうち、特に運動効果が得られたのは、全指導期間で50時間以上の運動時間(量)とバランス運動(challenging balance exerciseと称し、片脚バランスや重心移動などのプログラム)の併用による実践が大きな効果をもたらしているとしている。また、歩行プログラムは重要な

ものでないという結果も示している。さらにSherrington, et al. (2017)は、その後、2010年から2016年までに発表された88の研究論文を元に19,478人を対象に再度メタアナリシスを試みている。その結果、地域在住高齢者の転倒率は運動の実践によって21%の低下が示されたとしている。加えて、週に3時間以上の運動実践がより大きな効果をもたらしているとしている。こうしたメタアナリシスの結果から、以下のようにまとめている。転倒予防のための運動プログラムは、バランス運動を積極的に取り入れることを推奨し、立位姿勢で支持基底面を小さくする(タンデムスタンスやセミタンデムスタンス、片足で立つ)という静的バランスの実践、重心を移動させてバランスを維持する(例: 手を伸ばす、片方の足から別の足に体重を移す、踏み替え動作を行う、階段を上がる)。その際に初めは手を使い、支持をすることから、徐々に手を使わないで立つ。こうした運動を毎週少なくとも3時間の運動を行う必要があり、運動への継続的な参加が必要であると示唆している。そして、これらの運動は、地域の住民が集って行うグループエクササイズ(community-based exercise)の必要性を指摘している。また、2008年の論文とは異なり、バランスに加えて、ウォーキングトレーニングの効果を加えている。また、バランスに加えて筋力トレーニングが含まれる効果も認めている。これらの内容は、すでに我々が紹介し、地域で指導している内容そのものである。一方、パーキンソン病または認知障害を伴う対象者への効果については明らかでなく、脳卒中の生存者または退院直後の対象者に対する運動効果については証拠が乏しいと指摘している。他方、Morris, et al. (2015)らは監視型運動によるパーキンソン病患者のバランストレーニングの有効性を示し、Flynn, et al. (2019)は、1,396題の研究タイトルリストから139の研究論文を検討し、最終的に16の研究論文を対象にパーキンソン病患者の運動療法(ここでは家庭型運動)についてメタアナリシスを行い、歩行速度やバランス関連指標の改善を示唆するなど徐々に介入研究も増加している。しかし、臨床的な意義のある効果にまでは至っていないとの限界も明らかにしており、こうした対象者への研究と長期的な観察の必要性を述べている。

ACSM の高齢者用運動処方ガイドライン (position stand, 2009) では、バランス運動の必要性は認めているが、それまでの研究のエビデンスレベルからは4段階のうち下から2番目 (Cレベル) という見解が示され、研究の質的、量的向上が必要であることが示唆されていた。それからすでに10年が経過したが、有酸素性運動やレジスタンス運動に比べてバランス運動の介入研究は以前少ないのが現状とみられ、さらなる研究が必要である。今後一層高齢人口が増加することが予測されており、それは体力や健康度の個人差が大きくなることを意味する。このため、運動プログラムはより細かな、かつ幅広いメニューの作成が求められる。特に、本邦は世界に例のない超高齢社会を迎えるわけであり、世界の最先端で高齢者の健康づくりと自立維持のための研究が必要といえる。多くの研究者がバランス運動の研究に取り組むことを期待したい。

引用文献

1. American Geriatrics Society, British Geriatrics Society, and American Academy of Orthopaedic Surgeons Panel on Fall Prevention (2001) Guideline for the prevention falls in older persons. *J. Am. Geriatric Soc.*, 49: 664-672.
2. Bohannon, R. W., Larkin, P. A., Cook, A. C., Gear, J., and Singer, J. (1984) Decrease in timed balance test scores with aging. *Phys. Ther.*, 64: 1067-1070.
3. Carter, N., Khan, K. M., McKay, H. A., Waltermann, C., Heinonen, A., Janssen, P. A., Donaldson, M. G., Mallinson, A., Riddell, L., Kruse, K., Orior, J. C., and Flicker, L. (2002) Community-based exercise program reduces risk factors for falls in 65- to 75-year-old women with osteoporosis: randomized controlled trial. *CMAJ*, 167: 997-1004.
4. Chodzko-Zajko, W. J., Proctor, D. N., Fiatarone Singh, M. A., Minson, C. T., Nigg, C. R., Salem, G. J., and Skinner, J. S. (2009) ACSM position stand: Exercise and physical activity for older adults. *Med. Sci. Sports. Exer.*, 41 (7): 1510-1530.
5. Choy, N. L., Brauer, S., and Nitz, J. (2003) Changes in postural stability in women aged 20 to 80 years. *J. Gerontol. Med. Sci.*, 58 A (6): 525-530.
6. Conradsson, D., Lofgren, N., Nero, H., Hagstormer, M., Stahle, A., Lökk, J., and Franzen, E. (2015) The effects of highly challenging balance training in elderly with Parkinson's disease: A randomized control trial. *Neurorehabil. Neural Repair*, 29: 777-785.
7. Flynn, A., Allen, N., Dennis, S., Canning, C. G., and Preston, E. (2019) Home-based prescribed exercise improves balance-related activities in people with Parkinson's disease and has benefits similar to centre-based exercise: a systematic review. *J. Physiother.*, 65(4): 189-199.
8. Gerards, M. H. G., McCrum, C., Mansfield, A., and Meijer, K. (2017) Perturbation-based balance training for falls reduction among older adults: Current evidence and implications for clinical practice. *Geriatr. Gerontol. Int.*, 17: 2294-2303.
9. Greenspan, S. L., Myers, E. R., Kiel, D. P., Parker, R. A., Hayes, W. C., and Resnick, N.M. (1998) Fall direction, bone mineral density, and function: risk factors for hip fracture in frail nursing home elderly. *Am. J. Med.*, 104: 539-545.
10. Gregg, E. W., Pereira, M. A., and Caspersen, C. J. (2000) Physical activities, falls, and fractures among older adults: A review of the epidemiologic evidence. *J. Am. Geriatr. Soc.*, 48 (8): 883-893.
11. Gschwind, Y. J., Kressg, R., Lacroix, A., Muehlbauer, T., Pfenninger, B., and Granacher, U. (2013) A best practice fall prevention exercise program to improve balance, strength / power, and psychosocial health in older adults: study protocol for a randomized controlled trial. *BMC Geriatrics*, 13: 105. <http://www.biomedcentral.com/>

- 1471-2318/13/105
12. Hallford, D. J., Nicolson, G., Sanders, K., and McCabe, M. P. (2017) The association between anxiety and fall: A meta-analysis. *J. Gerontol. Psychol. Sci.*, 72 (5): 729-741.
 13. Islam, M. M., Koizumi, D., Kitabayashi, Y., Kato, Y., Rogers, M. E., and Takeshima, N. (2015) Decline in age-associated functional fitness after a 10-year peer-instructed community-based exercise program. *Int. J. Sport Health Sci.*, 3: 61-67.
 14. Islam, M. M., Nasu, E., Rogers, M. E., Koizumi, D., Rogers, N. L. and Takeshima, N. (2004) Effects of combined sensory and muscular training on balance in Japanese older adults. *Prev. Med.*, 39 (6): 1148-1155.
 15. 北林由紀子, 小泉大亮, 加藤芳司, 岡田壮市, 竹島伸生 (2014) 長期間に亘る住民主導型による高齢者の地域型運動の継続率と出席状況からみた運動教室のあり方に関する研究. 介護福祉・健康づくり研究, 1 (2) : 1-4.
 16. Kruschke, C. (2017) Evidenced-based practice guideline: Fall prevention for older adults. *J. Gerontol. Nursing*, 43 (11): 15-21.
 17. Li, F., Harmer, P., Fisher, K. J., McAuley, E. (2004) Tai Chi: Improving functional balance and predicting subsequent falls in older persons. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 36 (12): 2046-2052.
 18. Load, S. R. and Castell, S. (1994) Physical activity program for older persons: effect on balance, strength, neuromuscular control, and reaction time. *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, 75 (6): 648-652.
 19. 前阪茂樹, 木原健太, 藤田英二, 竹中健太郎, 下川美佳, 竹島伸生 (2015) 大学剣道および柔道競技者のバランス能の比較について. スポーツパフォーマンス研究, 7 : 381-389.
 20. 中村隆一 (2009) 基礎運動学, 第6版, 医歯薬出版 : 東京, pp. 152-155.
 21. Nankaku, M., Kanzaki, H., Tsuboyama, T., and Nakamura, T. (2005) Evaluation of hip fracture risk in relation to fall direction. *Osteoporos. Int.*, 16: 1315-1320.
 22. Narita, M., Islam, M. M., Rogers, M. E., Koizumi, D., and Takeshima, N. (2015) Effects of customized balance exercises on older women whose balance ability has deteriorated with age. *J. Women Aging*, 27 (3): 237-250.
 23. Penn, I. W., Sung, W. H., Lin, A. C., Chuang, E., Chuang, T. Y., and Lin, P. H. (2019) Effects of individuals Tai-Chi on balance and lower-limb strength in older adults. *BMC Geriatrics*, 19: 235. <https://doi.org/10.1186/s12877-019-1250-8>
 24. Schwartz, A. V., Kelsey, J. L., Sidney, S., Grisso, J.A. (1998) Characteristics of falls and risk of hip fracture in elderly men. *Osteoporos. Int.*, 8 (3): 240-246.
 25. Sherrington, C., Michalef, Z. A., Fairhall, N., Paul, S. S., Tiedemann, A., Whitney, J., Cumming, R. G., Herbert, R. D., Close, J. C. T., and Load, S. R. (2017) Exercise to prevent falls in older adults: an updated systematic review and meta-analysis. *Br. J. Sports Med.*, 51: 1749-1757.
 26. Sherrington, C., Whitney, J. C., Lord, S. R., Herbert, R. D., Cumming, R. G., Close, J. C. T. (2008) Effective exercise for the prevention of falls: A systematic review and meta-analysis. *JAGS*, 56: 2234-2243.
 27. 島田裕之, 内山靖, 原田和宏, 大淵修一, Lord Stephen, 鈴木隆雄 (2006) 姿勢バランス機能の因子構造 : 臨床的バランス機能検査による検討. 理学療法, 33 (5) : 283-288.
 28. 杉山恭二, 木村佳記 (2012) 動的バランス評価方法の提案, スポーツ障害フォーラム, 17 : 40-42.
 29. Suzuki, T., Kim, H., Yoshida, H., and Ishizaki, T. (2004) Randomized controlled trial of exercise intervention for the prevention of falls in community-dwelling elderly Japanese women. *J. Bone Miner. Metab.*, 22 (6): 602-611.
 30. 竹島伸生監修 (2001) ウエルビクス. NHK出版 : 東京.
 31. 竹島伸生編 (2017) ウエルビクス運動のすすめ

- め. ナップ：東京.
32. 竹島伸生, マイケルロジャース編 (2006) 健康づくりと機能的自立維持を目指すための地域型運動プログラムの理論と実践—自分と隣人の活力を高めるために—. ナップ：東京.
33. 竹島伸生, マイケルロジャース編 (2010) 転倒予防のためのバランス運動の理論と実際. ナップ：東京, pp. 6-9.
34. Takeshima, N., Islam, M. M., Rogers, M. E., Koizumi, D., Tomiyama, N., Narita, M., and Rogers, N. L. (2014) Pattern of age-associated decline of static and dynamic balance in community-dwelling older women. *Geriatr. Gerontol. Int.*, 14: 556-560.
35. Takeshima, N., Islam, M. M., Kato, Y., Koizumi, D., Narita, M., Kitabayashi, Y., Rogers, N. L., and Rogers, M. E. (2017) Effects of 12 weeks of Tai Chi Chuan training on balance and functional fitness in Japanese older adults. *Sports*, 5 (2): 32. doi: 10.3390/sports5020032 PMID: PMC5968980
36. Vellas, B. J., Wayne, S.J., Romero, L., Baumgartner, R.N., Rubenstein, L.Z., and Garry, P.J. (1997) One-leg balance is an important predictor of injurious falls in older persons. *J. Am. Geriatr. Soc.*, 45: 735-738.
37. WHO (2018) <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/falls>, 閲覧日 2020/01/25
38. Woo, J., Hong, A., Lau, E., and Lynn, H. (2007) A randomized controlled trial of Tai Chi and resistance exercise on bone health, muscle strength and balance in community-living elderly people. *Age Ageing*, 36 (3): 252-268.
39. Yamauchi, T., Islam, M. M., Koizumi, D., Rogers, M. E., Rogers, N. L., and Takeshima, N. (2005) Effect of home-based well-rounded exercise in community-dwelling older adults. *J. Sports Sci. and Med.*, 4 (4): 563-571.