

関節可動域 (ROM) と運動技術

— 平衡能の測定から —

早稲田大学人間科学部

永田 晟

北里大学メディカルセンター病院

内山 靖

緒言

高齢者の日常生活の自立を具体的に支援する運動技術は、医学・工学・体育学的な計測・評価に基づく効果的な治療に加えて周辺の機器開発や生活技術の養成、いたわりの環境づくりに通じる。高齢者の体力、その中の平衡機能に焦点をしぼり、バランス機能との関連において体力・健康の維持増進、そして生活上の運動技術について考察する。健康にかかわる体力を考える際には、しばしば防衛体力と行動体力に大別され、各々の形態的・機能的側面が評価される。しかし高齢者の場合、この体力分類はあてはまらない。この場合、高齢者の平衡機能を生活の自立性 (autonomy) と日常生活行動 (ADL) の基本的な能力として捉え、健康・体力の構成要素の一つとみなしていく。人間の平衡機能は、姿勢や体位を保持し、合目的的な感覚情報の入力や四肢運動を調節して、生活環境に適応していく上で大切な運動機能の一要素でもある。こうした平衡機能は脳幹を中心とした平衡反射にとどまらず多くの感覚情報と大脳を含めた神経調節学習の結果であり、効果器としての筋・骨・関節を含めた広範な運動機能系を反映した指標ともいえる。それ故に平衡機能がその他の体力要素に比較して高齢者の健康・体力を表す指標としての価値を見いだすことができ、それを客観的に計測し、診断し、運動処方していくことは重要な高齢者健康のデータともなり、体力づくりのための資料ともなるだろう。

健常な高齢者の平衡機能は坐位・立位重心動揺によって定量的に捉えることができ、坐位姿勢は純粋な暦年齢との相関が高く、立位姿勢では年齢に加え

て運動習慣や下肢筋力などの影響を受けていることが考えられる。他方平衡障害を呈する疾患は多岐にわたり、2次元的なバランス障害を含めた治療には運動療法が極めて重要であることが序々にわかってきつつある。

高齢者の日常生活活動 (Activity of Daily Living; ADL) の自立を具体的に支援する取り組みと環境整備は大切であり、体育人が積極的に関与できる体力づくりの基本的役割の一つともいえる。ADLは食事や整容・更衣などの身の回りの動作と歩行・移動動作に大別されるが、種々の動作を保証し生活範囲を決定する身体的要因の一つに姿勢調節にかかわる平衡機能を取り上げられる⁶⁾。平衡機能は二足立位・歩行を獲得したヒトの特徴でもあり、加齢変化や疾病によってこの機能不全が顕在化すると同時に生活行動範囲が狭小化し、ある場合には転倒などの事故によって動きが制約されると種々の廃用性萎縮症候群 (Disuse Atrophy Syndrome) を惹起して、精神力や社会的活動にも拘束された状態を引き起こすことになりかねない。

そこで本稿では健常高齢者と有病高齢者の平衡機能を中心とした健康・体力について運動生理学的に検討することを目的とする。

方法

坐位および立位重心動揺の実験について 65歳から89歳までの健常高齢者55名 (平均75.4歳; 男22名・女33名) を対象として坐位および立位重心動揺をフォースプレート (アニマ製 G-6100) 上で計測した。高齢者の健常性を厳密に定義することは容易

ではなく、ここでは明らかな疾病（特に神経学的疾患）を有さず、ADLが完全に自立している者とした。したがってごく軽度の腰痛や変形性関節症・骨粗鬆症を有する例は含まれているが、全例ともに屋外の不整地歩行や交通機関の利用と移動が可能であった。計測肢位と方法は図1に示したとおりで、坐位は足指を浮かせた背もたれのない椅子に大腿の3分の1が接するように腰掛け、上肢を胸部で軽く組んだ姿勢（躯幹坐位）で計測した。立位は開扇角0度の15cm開脚立位とした。重心動揺の計測は被験者が正しい検査肢位を保持して測定開始の合図をした後、姿勢調節の初期応答を除外した30秒間をサンプリングし、周波数200Hzで解析した。得られたバランス軌跡から、体位保持中の動揺面積と動揺変位（軌跡長）を算出して被験者の日常活動レベル別に比較した。

結果

1) 重心動揺

坐位重心動揺は動揺面積（平均±標準偏差） $0.31 \pm 0.15\text{cm}^2$ ・軌跡長（平均±標準偏差） $300.3 \pm 84.9\text{mm}$ 、立位重心動揺は動揺面積 $3.00 \pm 1.83\text{cm}^2$ ・軌跡長 $322.8 \pm 130.6\text{mm}$ であった。これは同一条件

で計測した青年群20名（21-35歳；平均27.8歳）の平均値に比べてそれぞれ1.63（坐位面積）・1.41（坐位軌跡長）・2.29（立位面積）・1.39（立位軌跡長）倍を示し、統計学的にも有意な動揺増加量であった（ $p < 0.01$ ）。

また高齢者を年齢群ごとに比較すると、図2に示すように加齢とともに有意な増加動揺を示すとともに、高齢群ほど計測範囲（最大値と最小値の差）が増加した。このことは加齢とともに全体としての姿勢調節機能は低下するが、個人差が大きくなり、高齢でも良好な調節機能を維持できる例も存在することを示している。

2) 活動別の動揺軌跡

次に、個人差の影響を及ぼす要因として日常生活の活動性に着目して重心動揺の計測値を整理した。問診から、週1回以上の外出や軽スポーツを実施している積極群と屋内や家屋周辺に限定した生活が中心の非積極群に分類して動揺軌跡とを比較した。その結果、各年齢群とともに積極群で小さい動揺値を示し、特に立位で両者の差は顕著であった（図3）。また立位に対する坐位動揺面積の相対値の平均は、青年群が15%、高齢群（積極群）が13.5%、高齢群

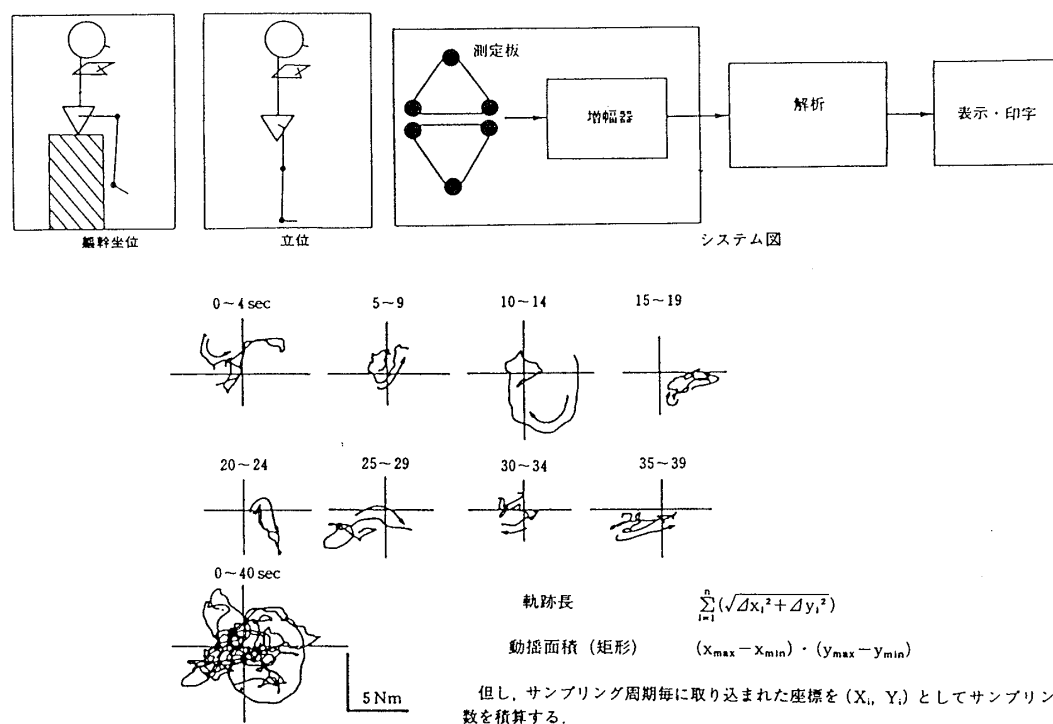


図1 坐位および立位重心動揺の計測肢位と解析方法ならびに年齢別の動揺軌跡例と計算

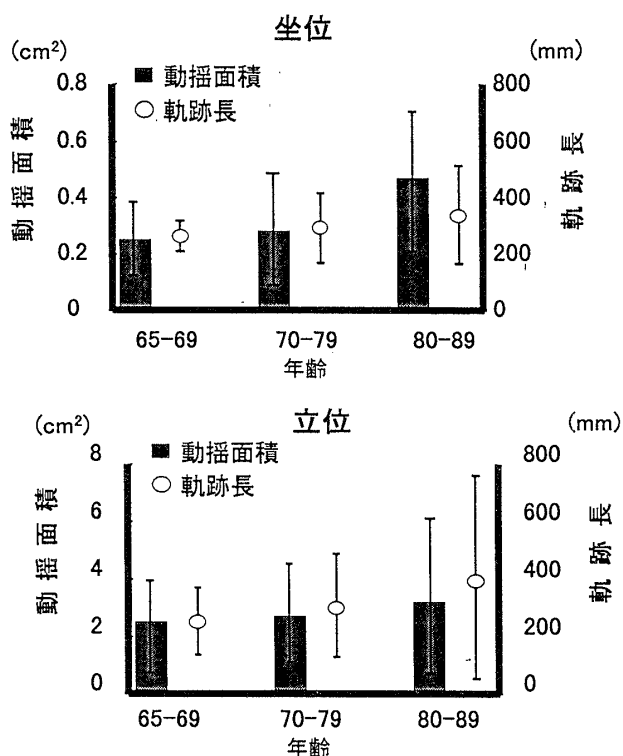


図2 坐位および立位時の動揺面積と軌跡長の加齢変化 (n=60)

(非積極群) が6.6%と、積極群では青年群に近似した値であったが、非積極群では相対的に平衡機能の低下を示す値であった。

3) 筋機能とバランス (平衡機能)

重心動揺装置を用いない実際の平衡機能の計測には、一定肢位での保持時間を測定する方法が利用されている。これには閉足両脚立位 (Romberg 肢位)・継ぎ足立位 (Mann 肢位) 片脚立位などが挙げられ、後者ほど支持基底面が狭いために不安定な姿勢となる。健常な高齢者のバランス指標として最もよく用いられる片脚立位保持と支持脚の中殿筋 (股関節外転筋) との関係を見ると、図4に示すように両者に高い相関を認めている。高齢者の脚筋力が姿勢保持の必要条件として大きな役割を果たすようになり、日常生活の中での活動性の多少が脚筋力の強弱に影響し、さらにバランス能力を左右していることが考えられる。さらに高齢者の筋力が十分に保たれていても姿勢保持に著しい低下を認める例の場合は、純粋に平衡機能の障害を示し、末梢筋よりもさらに上位の神経系に問題を持っていることが考えられる。

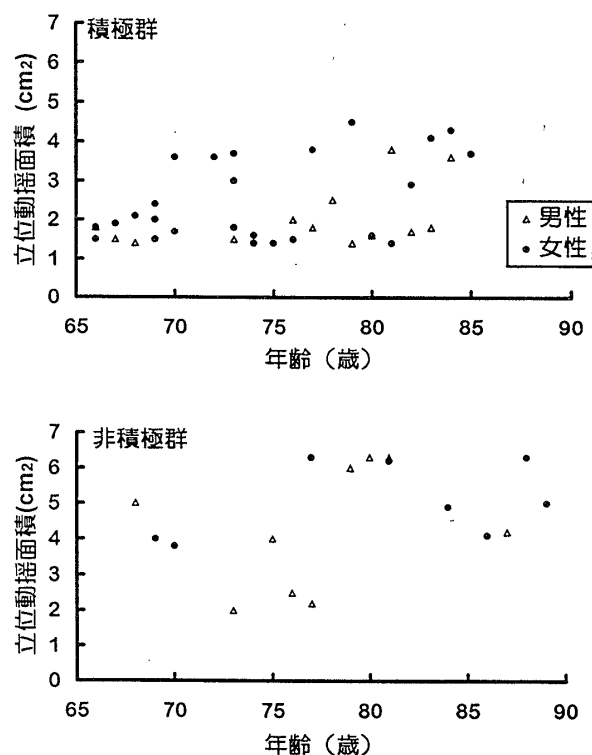


図3 日常生活活動強弱別 (積極群と非積極群) にみた年齢と立位動揺面積の関係

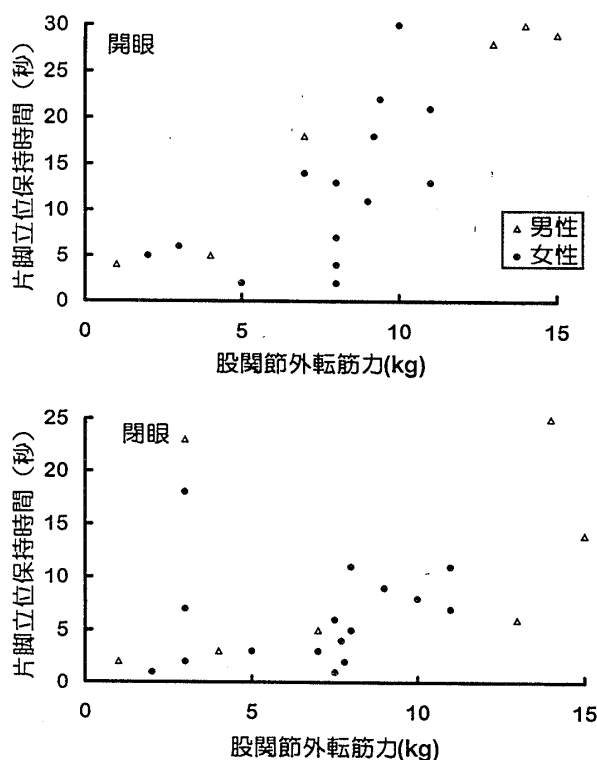


図4 股関節外転筋力と開眼・閉眼別片脚立位保持時間の関係

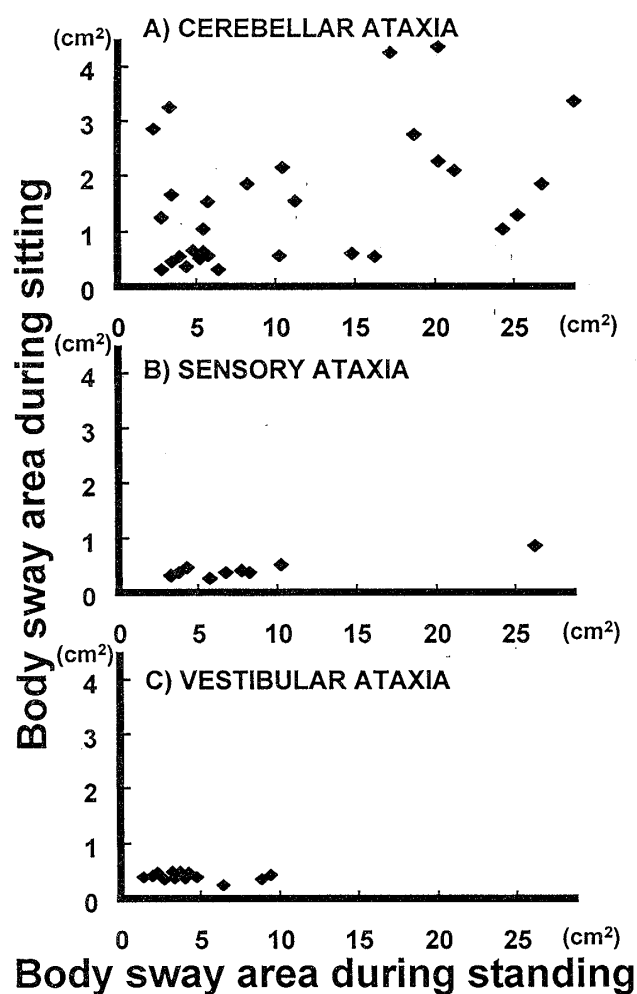


図5 疾患（小脳性，脊髄性，前庭性）別，立位と座位の身体動揺面積との関係

論議

1) 高齢者と平衡障害

高齢者で罹患した患者が若年者と同一の平衡機能であっても，その機能と病態には若干の違いがみられる。高齢者の場合，その疾患症候が非定型的であり，個人差が大きく，本来の疾患とは直接関係の少ない合併症を併発しやすい状態を示し，予後の経過は医学生物学的側面に加えて社会・環境的要因，特に日常生活条件に大きく影響を受けることが知られている。

平衡機能を低下させる病態には多くの疾患があげられる。第1に感覚入力に関連した視覚障害（白内障・糖尿病性網膜症・ニューロパチー・多発性硬化症・脳血管障害にともなう視野狭窄や複視），前庭障害（メニエール病・良性発作性頭位めまい症），体性感覚障害（ニューロパチー・脳血管障害，偽脊

髄癆）などがあげられる。また中枢神経障害には，脳血管障害（特に小脳－脳幹系）・腫瘍・脊髄小脳変性症などが高齢者に多く見られる疾患である。さらに2次的なバランス障害を呈する疾患には，脊柱の変形や多くの骨・関節疾患，自律神経障害，全身消耗疾患による体力低下と運動能力の減少など数多く知られている。

平衡機能の低下によって，めまい，眼球運動障害などの身体活動に障害があらわれ，高齢者ではしばしば姿勢調節の低下のみならず移動・歩行能力の制限がみられる。さらに，近位の軀幹が不安定なために上肢の運動性や巧緻性が低下する場合も少なくなく，ADL活動に支障をきたすことになる。そして坐位姿勢が安定しなくなれば，呼吸や摂食能力などきわめて広範囲の活動性を低下せしめることとなる。これらの制限はさらに能力低下や関節可動域の制限を惹起して，加えて精神活動も抑圧され，日常生活活動全般が著しく狭小化せざるを得ない状態となる。

2) 有病高齢者の運動療法

平衡障害の治療には病因に対する根治療法とともに運動療法が治療上極めて重要な位置を占める。運動療法の意義は疾患によって異なるが，末梢受容器と効果器への適度な運動刺激を与えることで中枢神経系の再構築や代償能力を高め，残存能力を効果的に引き出す回復過程となる。運動療法によって回復が期待できる疾患（特に末梢前庭疾患）では治療期間の短縮化と早期の社会復帰を促し，また進行性疾患（特に脊髄小脳変性症やパーキンソン病）では歩行能力障害の軽減と廃用症候群の可及的予防が期待される。

末梢前庭疾患に対して運動療法が効果的であることは多くの報告¹⁾がなされているが，65歳以上の片側性良性発作性頭位めまい症でも薬物（鎮暈剤）のみの投与に比して運動療法を併用した群が有意に高い改善率を示した（ $p < 0.01$ ）結果が報告されている²⁾。高齢者に対する運動療法は，重複した症状の場合には注意を要する。例えば前庭疾患に変形性関節症を伴う例では，平衡機能を改善させる運動中に，関節に過度の負担を強いて疼痛を増強させる可能性のある場合もある。転倒などの事故や危険を少なくして，軽い運動を継続し得る動機づけと生活環境設定が重要である。

また、姿勢調節に重要な役割を果たす小脳の疾患では躯幹平衡障害が顕著（図6，7）であり⁸⁾，従来の下肢・立位中心の運動療法に加えて，躯幹機能の改善を念頭に置いた関節運動療法プログラムの作成が不可欠である。また高齢者の転倒によって生じる大腿骨頸部骨折は整形外科疾患であるが，術後の運動療法には従来の関節可動域や筋力増強の訓練に加えてバランス訓練を行う必要も生じている。

3) 健康・体力づくりと平衡機能

健康にかかわる体力を考える際には，しばしば防衛体力（fitness for protection）と行動体力（fitness for performance）に大別され，各々の形態的・機能的側面が評価される。この際高齢者の平衡機能は特に生活の自立性（autonomy）と日常生活行動（ADL）の重要な基本的な位置を占め，健康・体力の構成要素の一つとなっている。

人間の平衡機能は，姿勢や体位を保持し，合目的な感覚情報の入力や四肢運動を保证する姿勢調節（postural regulation）に深くかかわっている。また，積極的に空間を移動し，生活環境に適応していく上で大切な運動機能と技術の一部でもある。こうした平衡機能は脳幹を中心とした平衡反射にとどまらず，多くの末梢感覚情報と脳を含めた神経調節の学習結果であり，自己受容性の反射機能と効果器としての筋・骨・関節を含めた広範な運動機能系を反映した指標ともいえる。それ故に平衡機能がそのほかの体力要素に比較して高齢者の健康・体力を表す指標としての価値を見いだすことができ，それを客観的に計測し，診断し，運動処方していくことは重要な診断データともいえるだろう。

高齢者の健康・体力づくりを考える際には，顕在的な疾患や症状のみならず潜在的な病態の把握が重要である。本研究のような非侵襲的で精度の高い客観的な計測・評価は，高齢者の研究においては不可欠であり，培われた医療診断と治療の技術を応用・適応していく上では必須の手段ともいえる。また一見健常な高齢者でも個人差が大きく，基準範囲の明示と諸運動機能に影響を与える環境要因との相互関係を分析する上で有効な計測方法ともなる。同時に学際的な思考も不可欠であり，高齢者では既往症や過去の運動習慣が重要な意味を持つとともに，現在の生活習慣の調査などの両側面からのアプローチが大切だろう。生理的な加齢的退行を免れない高齢者

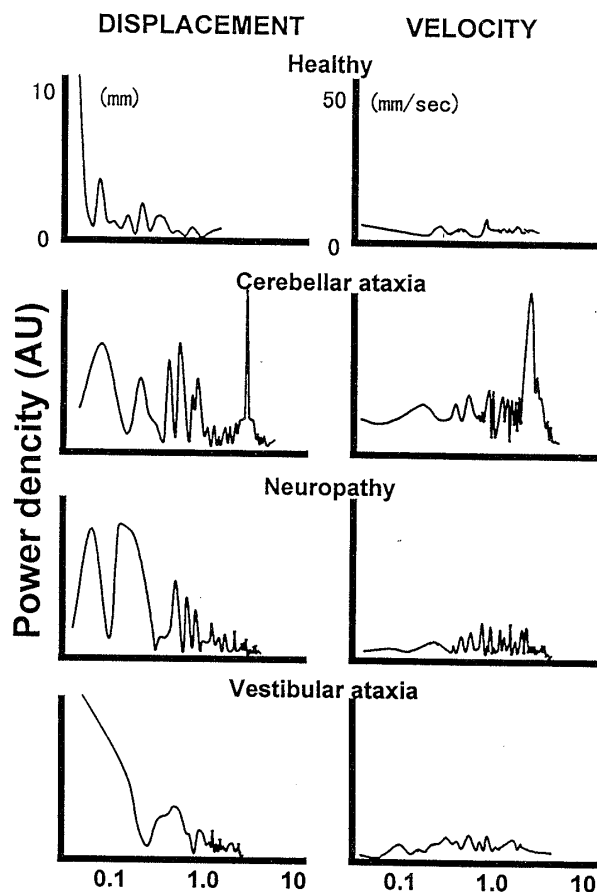


図6 疾患別座位動揺軌跡の変化スペクトルと速度スペクトル

高齢者平衡能の重回帰分析

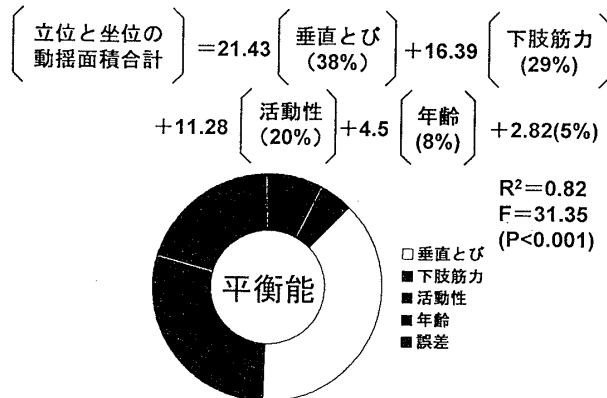


図7 高齢者の平衡能の重回帰分析—垂直とび，下肢筋力，活動性，年齢の順で強い回帰係数を示す

においては，QOLの向上と積極的な活動レベルを具体的に支援する対策が望まれる由縁である（図3参照）。そして高齢者自身の生きがいと生きる価値

観の充実意識が大切で、体力づくりの根幹をなしているともいえるだろう。

4) 平衡機能と生活・運動の環境因子

姿勢調節には、平衡反射を中心とした感覚入力と統合にかかわる中枢神経系の機能が重要である。特に高齢者では実際の生活活動や運動成績を左右する出力器官である効果器（筋・骨・関節）の役割が大きい。さらに高齢者では本来独立した機能系である体力や運動能力の構成因子である筋力（脚伸展力）・敏捷性（反応時間）・平衡能（バランス）などの相互相関が高くなる傾向にある。特に生活内の運動習慣が体力全般に与える影響は大きく、図3に示したように平衡機能は活動レベルによって左右される。

前田（1995）⁵⁾の報告によると高齢者約1400人の体力測定結果を運動習慣の有無で比較している。それによれば、運動習慣のある群では握力・長坐位体前屈・閉眼片脚立ちとも有意に優れた結果であり、運動習慣のない群に比べておおむね暦年齢5歳程度若い結果を示している。このデータは本研究結果と一致するものであり、生活上の運動習慣実施の必要性が高まったことになるだろう。今後はさらに妥当性の高い評価法の確立と同時にトレーナビリティの特異性の検証にも興味をもたれるだろう。

実際の生活では様々なレベルの平衡機能が要求され、最終的には生活の活動性や行為の実用性（安全性・正確性・時間の効率性などの要因を含む）によって捉えられる。高齢者雇用開発協会が作成した「日常生活における身のこなし能力の」調査があるが、25の質問項目と年齢・性別・就労や運動習慣の有無と比較した結果が報告されている³⁾。10～89歳までの健常人1079（男500，女579）名の調査において、60歳代から徐々に動作に支障が生じたり遂行できない項目が増加し、80歳代ではすべての項目ができると答えた人は43.6%に過ぎなかった。また仕事と運動習慣の有無の関係では、仕事をしている群と運動している群においては、身体活動をしていない群に比較して「身のこなし能力」は有意に高い値を示していた（ $p<0.01$ ）。また足腰に弱いところがあると自覚している人は「身のこなし能力」が有意に低下していた。他方、目や耳の不自由さを訴えた人たちの「身のこなし能力」は必ずしも低下しなかったと報告されている。

このように「身のこなし能力」は高齢者の平衡機

能に直接関係し、生活上の身体活動と運動習慣の確立が、本機能を左右することが結論づけられるだろう。本実験の立位と坐位のデータを重回帰分析した結果（図7），脚力中心の説明因子が3個あらわれ、統計上有意であった（ $p<0.05$ ）。

結語

実際の日常生活において様々なレベルの平衡機能が要求され、最終的には生活の活動性や行為の実用性（安定性・正確性・時間の効率性などの要因を含む）によって捉えられる。「身のこなし能力」は高齢者の平衡機能に直接関係し、生活上の身体活動と運動習慣の確立、そして運動技術が、生活上の身体機能を左右することが結論づけられる。

高齢者の生活体力を研究する上で、平衡機能を取り上げ、坐位と立位時の動揺軌跡を計測し、動揺の総軌跡長と動揺面積を算出した。その結果以下のことがわかった。

- 1) 健常高齢者は、60歳代から80歳代へと坐位動揺面積は 0.22cm^2 から 0.47cm^2 に増大し、軌跡長は 212.9mm から 354mm に増加した。また立位の動揺面積は、 2.28cm^2 から 3.90cm^2 に、軌跡長は 263.1mm から 412.9mm へと増加した。姿勢調節機能は加齢とともに低下し、日常生活活動に支障をきたす恐れが生じた。
- 2) 日常生活の活動別にみた平衡機能は、積極的な活動群では非積極的な群よりも、6.9%から15%の範囲で優れた能力を示した。
- 3) 健常高齢者は片脚立位保持時間と股関節外転筋力の間に有意な相関が見られた。
- 4) 有病高齢者のうち小脳系疾患者は躯幹平衡障害が顕著で、坐位重心動揺面積（IVステージの場合）は 7.6cm^2 を示した。健常者と比較すると31倍も平衡能が低下していた。
- 5) 高齢者の姿勢調節は神経系の統合機能が影響するが、運動機能（筋力・敏捷性・平衡能など）のトレーニングと日常生活における運動習慣の確立によって改善される可能性を知った。
- 6) 高齢者の体力づくりは、各人の運動実施する意識と動機付けによって左右され、運動療法は疾患からの最善の回復方策であろう。

参考文献

- 1) Brandt, T (1991): Vertigo its multisensory syn-

- dromes. Springer-Verlag, London.
- 2) 藤野明人 (1993): 高齢者における BPPV の平衡訓練効果と薬物療法の比較. *Equilibrium Research* 52, 559-564.
 - 3) 藤野信哉 (1994): 平衡機能に関連するヒトの身のこなし能力の加齢変化のアンケート調査. *Equilibrium Research* 53, 289-298.
 - 4) Goldstein J.C (Ed) (1991): *Geriatric Oto-rhinolaryngology* (野村恭也監訳; 老年耳鼻咽喉科学, 東京医学社, 60-68).
 - 5) 前田 清 (1995): 老年者の運動と QOL. *Gerontology* 7, 285-291.
 - 6) Massion J (1993): Movement, posture and equilibrium: interaction and coordination. *Prog in Neurobiol.* 38, 33-56.
 - 7) 内山 靖, 松田尚之, 菅野圭子, 種田谷由美 (1994): 体平衡機能における坐位重心動揺の測定意義と臨床応用. *理学療法学* 21, 177-185.
 - 8) 内山 靖, 松田尚之, 竹内孝二 (1990): 運動失調症の躯幹協調能と歩行・移動能力. *総合リハビリテーション* 18, 715-721.