重心動揺の発達的变化

Developmental Change of Gravity Center Sway

臼井 永男¹⁾

NAGAO USUI

¹⁾The University of the Air, Tokyo 1 Study Center: 4-1-1 Shimouma, Setagaya 154, Tokyo, Japan.
TEL +81 3-3795-5844

Rigakuryoho Kagaku 10 (3): 167-173, 1995. Received May 14, 1995.

ABSTRACT: In view of gravity center sway, developmental changes of postural stability in standing with ages can be summarized as follows: Postural stability markedly improves from childhood to the age of around 10 years, and tends to deteriorate sharply after the age of 60 years. Compared with men, women exhibit better postural stability through life with a smaller gravity sway. The point of gravity center from the heel is gradually shifted towards the toe until the age of young adult, and is unchanged after that. Of infants who have just been able to stand, both the support and motor feet are in the dominant side. The support foot is then dissociated from motor foot to the non-dominant side with motor development.

Key words: upright position, gravity center sway, growth and development

要旨: 重心動揺からみた、立位の安定性の年齢による変化の様相は、おおむね以下のように要約することができる。幼児期から10歳前後までは急速に安定性が向上するが、60歳代以降には再び著しい低下傾向を示す。なお、このいずれの時期も女子の方が男子に比べて重心動揺は小さく安定性に優れている。踵からの重心位置は、年齢に伴って徐々に足先方向に偏倚するが、高齢になっても若年成人の値と変わらない。立ち始めの幼児は、支持脚と運動脚が共に利き手側にあるが、運動発達に伴って支持脚が反対側に分離していく。

キーワード: 直立姿勢, 重心動揺, 発育発達

1) 放送大学東京第一学習センター: 東京都世田谷区下馬 4-1-1 (〒154) TEL 03-3795-5844

受付日 1995年5月14日

I. はじめに

火を操り、言葉を喋ることに加えて、2本の足の裏で立ち、歩くことは、ヒトを他の動物と区別する大きな要因のひとつである。また、ヒトのあらゆる動作の基本は2本の足の裏で立つ、直立姿勢である。小児はこの機能を獲得するため、ながい人類の起源、すなわちヒト化の歴史を繰返すかの如く、乳児期の臥位姿勢から、坐位、起立歩行へと発達していく。

胎内の無重量状態より、出生と同時に地球の重力の場に暴露されるほどの環境変化には及ばないものの、幼児期の姿勢転換の大きさは、生涯に類のないものである。この意味からもヒトの重力との関係を明らかにする意義は大きく、小児期における立位の重心動揺測定から、発達の様相について検討が試みられている所以である。

またヒトは、野生の四足動物にはみられない様々な障害を有することが知られている。脊椎の損傷、ヘルニア、ヘモロイド、胃下垂などを挙げてみてもわかるように、すべてが重力に起因し、立位姿勢を取ることによって始めて生じる障害である。

立位の重心位置、重心動揺の研究は、ヒトの本質に迫

るようなものともいえるが、その調節機構については専門の先生に任せることとして、ここでは発育・発達の面から年齢による特徴について紹介する。また対象の範囲を広げて、加齢 (aging) の問題にも触れることにする。

II. 重心高の差異による重心動揺の補正

Odenrick らのデータの一部を図1に示したり。彼らは、3.5～17歳の小児64名を対象に、重心動揺面積、ならびに重心位置を測定し、その年齢による変化について報告している。それによると、重心動揺面積は、男子においては年齢と逆相関の直線関係が存在するが、女子には年齢差がないこと、また重心位置に、男女共年齢による差異がない、という結果を得ている。

彼らのこの結果に対して、小児神経学的に的確な説明を加えることは、きわめて困難である。第一の問題は、小児の発達が、年齢によって直線的に変化するということは考えにくい。さらに女子に年齢差がないということは、3歳から17歳までの立位の安定性がほとんど変わらないことを意味している。

このような結果を得た理由については、足先を開いた Foot Posture (足位) を用いたことや被験者数が少ないこ

図1 重心動揺面積の年齢変化。Odenrick ら (1984) より引用。

a and b. Total area of sway versus age with eyes open (a) and eyes closed (b) for boys (♂) and girls (♀).

Equations for linear regressions: Eyes open, boys: $\text{Area} = 134 - 6.75 \times \text{age}$ ($R = 0.795$)

Eyes open, girls: $\text{Area} = 58.2 - 0.766 \times \text{age}$ ($R = 0.107$)

Eyes closed, boys: $\text{Area} = 168 - 8.38 \times \text{age}$ ($R = 0.565$)

Eyes closed, girls: $\text{Area} = 108 - 3.62 \times \text{age}$ ($R = 0.298$)

95% confidence intervals are hatched.

となど、測定方法の問題が考えられる。しかし、重心動揺面積に年齢差がなかったという点については、正中方向の重心点について考慮されなかったことが挙げられる。

図2は、重心点の高さによって生じる、足圧中心（重心位置）の差異を示した模式図である。床反力を利用した重心計を使った場合、必ず生じる問題である。この場合、真の重心位置を測定することが出来ないで、われわれは以下の様に、藤原ら²⁾に習って身長による補正を行っている。

$$\text{補正值} = \text{実測値} \times 120 / \text{身長}$$

これによって得た3～11歳の小児男女1188名の測定結果を、図3に示した。

なお、上式に用いた係数(120)は、対象群の身長の中中央値を採用しており、一般成人を対象にした藤原は160を、小学校児童を対象にしたわれわれの場合は130を当てはめている。

幼児期には、プロポーションの変化が大きく、その違いによる真の重心位置の変化は、図4に示されるとおり

図2 重心の高さによって生じる重心位置の差異(同じ揺らぎに対して、重心高が高いほど、重心動揺は大きくなる)。

である。しかし、身長補正による方法は簡便であり、発育・発達に伴った立位の安定性を評価するには、十分であると思われる。

III. 年齢差、性差

図4は、前川らによって報告された、生後1カ月から9歳までの健常小児男女51名の、背臥位における正中方向の重心位置を示したものである³⁾。縦軸は、頭頂から尾骨までの距離を100としたときの、頭頂からの重心位置を%で示している。新生児の重心点は、12胸椎付近(55%)に位置しているが、年齢が高くなるにしたがって、重心点が下降傾向を示してくる。なお成人では、仙骨付近に位置している。この重心位置の年齢変化は、頭部の身長に対する比率の変化によるものと推測される。

さらに、低出生体重児の重心点の測定から、新生児の重心点が頭蓋の発達と関連し、出生後の頭囲の発育がその後の発達に最もよく相関することが判明した⁴⁾。したがって、低出生体重児における新生児期早期の重心点の経時的測定は、その後の発達を評価するうえで参考になり得るものと考えられた。

次に、足長を100としたときの立位における重心位置

図3 身長補正を行った、重心動揺面積の年齢変化。

図4 仰臥位における正中方向の重心位置の年齢変化。前川ら (1986)³⁾ より引用。
○：膝が屈曲の状態で測定。●：膝が伸展の状態で測定。

を、図5に示した。足先を開いた足位による方法で、踵からの重心位置に年齢差がないという報告があるが⁷⁾、図に示したように、ロンベルグの足位によって得た結果では、年齢に伴って足先方向に偏倚していくことがわかる。

近年、小児に対して素足や裸足の生活を体験させる施設が増加しているが、このことによって、立位の重心位置はより足先に位置し、成人に近い値を示すことが判明している。足趾（指）の動き、底屈力などが向上したことによるものと考えられる。しかし、そのことに付随して、幼児に特有な凹円背が改善され、立位姿勢が変わったことが直接の理由であると推測される。

なお、高齢者においては、若年成人とほとんど同じ値を示している。

重心動揺の大きさから立位の安定性を評価し、その年齢による変化については、多くの報告がなされている^{5,6)}。測定方法や、解析方法に違いはあっても、多くの点で一致した傾向が得られている。その一つは、20歳あたりが最も安定していること、小児と高齢者においては、いずれも男子よりも女子の方が重心動揺が小さいこと、そしてこの時期、いずれも年齢変化、個人差がきわめて大きいことなどが挙げられる。

ただ、幼児に対しては、予定された時間、静止状態を保持させることが困難であり、立位の安定性よりも、むしろ集中力を反映している場合が多い。

図6は平沢によって報告された、6歳から88歳までの

健康者1413名の重心動揺面積の平均値である⁷⁾。これによると重心動揺面積は、6～20歳代までは年齢とともに減少し、20歳代で最も小さくなるが、その後50歳代まで漸増し、それ以後急激に増加する傾向がみられた。

また6～9歳までの小学校児童では女子の方が男子よりも動揺が小さく、11～14歳の中学生では反対に男子の方が小さかった。その後、16～30歳代では女子、40～50歳代では男子、60～70歳代では再び女子が小さな値を示した。なお80歳代は、70歳代よりも小さな値を示した。

このことから、70歳代が人生のひとつの峠であり、性差は平均寿命を反映しているものと思われる。

小川ら⁸⁾は、パワースペクトル解析によって、6歳の幼児と、健康成人の比較を行った結果から、発育にともなう重心動揺の変容の意義について、以下のようにまとめている。すなわち、成人において閉眼時の重心動揺の増大は、主として2 Hz以下の要素波によって影響されている。一方開眼において、幼児は成人に比べ2 Hz以下だけでなく、それ以上のパワーも有意に高くなっていた。このことから、発育に伴って、幼児の起立姿勢の動的制御活動は、2 Hz以下だけでなく、それ以上の要素波のパワーが次第に減少しながら、成人の動揺波形に近付いていくものと予想している。

一方、山本⁹⁾によると、健康成人の場合、閉眼時、加齢とともに前後方向よりも、左右方向の動揺が増加するらしい。五島¹⁰⁾は、左右方向において70歳以上が有意に大きいと報告している。八木¹¹⁾も同様の結果を得てい

図5 立位における前後方向の重心位置の年齢変化. 平沢 (1979) より一部引用.

る。さらに、高齢者では、開眼、閉眼ともに、低周波数成分の増大、高周波数成分の減少が認められたと報告している。

直立姿勢を安定保持させるためには、感覚受容器と、大脳、小脳、脳幹の中樞神経系、ならびに骨格筋の運動系が関与していると考えられるが、小児期における立位の安定性の向上、また高齢者における姿勢調節機能の低下に関わる要因については、今後の研究に待たれる。

IV. 生活環境による差異

重心動揺の年齢変化は、地理的環境や社会的環境の違いによって影響を受ける。

平沢は、横浜市、焼津市、長野県の山間僻地に指定されている小学校の3校の児童を比較した結果、立位の安定性は大都市ほど低いと報告している¹²⁾。

地理的環境は、児童生徒の通学距離の差に伴う、運動量と身のこなしの違いによって生じるものと考えられる。山間僻地校に指定されている児童生徒の方が、大都市の小児に比べて、立位の重心動揺が小さいことは、容易に推測できる。

著者らは、長年に渡って学校での素足生活を実施して

図6 重心動揺面積の年齢による変化. 平沢 (1979) より引用.

いる山梨県塩山市の児童を入学から6年間、追跡測定を行った。その結果、他校の児童に比べて立位の重心動揺が小さい傾向を示すことが判明した¹³⁾。このことは、日常生活環境の改善によって、立位の安定性を向上させる可能性を示唆するものである。次に、社会的環境問題として、農薬の空中散布と航空機騒音の、いわゆる公害による影響について紹介する。

まず、殺虫の目的で、有機燐系の農薬を大量散布した地域に生活する小児は、眼科的所見を有するとともに立位の安定性も劣っていた¹⁴⁾。また、空港に隣接する小学校の児童は、他校の児童に比べて、立位の安定性が劣っていたが、校舎移転に伴って向上の様相が観察された¹⁵⁾。

このような環境による影響は、発達期の小児が受けやすく、成人の値に近づく時期に、遅延がみられるという特徴を有する。なお、環境の改善によって、立位の安定性もまた改善される可能性もあるように思われる。

V. 体力、運動能力と立位の安定性との関係

生活環境による差異は、多分に、与えられる運動の質と量による違いによるものと考えられた。このことから、体力、運動能力と立位の安定性との間には、何らかの関係が成立つものと推測される。

しかし、健康成人を対象にした研究から、坂口ら¹⁶⁾、林ら¹⁷⁾、幼児を対象にした研究から、石井ら¹⁸⁾、鷲見ら¹⁹⁾、

のいずれの報告も、両者の間に相関関係が認められてはいない。

坂口は、重心動揺が、生理的諸機能や体力の諸項目に、関連を積極的に示すものはなかったと報告している。林は、立位の身体動揺は筋力面とは関係がないと報告している。

石井は、運動能力要素と静的バランス能では異質の要素が含まれることを示唆する結果を得ている。鷺見は、平衡機能に関連する因子が、体格や、筋・パワー系の運動能力項目とは別に存在するとしている。

これらのことは、立位の重心動揺の測定が、いわゆる体力や運動能力測定によって把握できない機能を評価できるものであるということができる。

VI. 利き手、利き足と支持足の関係

身体各部位の機能的左右差に関する研究は数多くなされているが、重心動揺の測定からも、左右の足にかかる荷重圧に差があること、そしてそれは主として左足荷重であることを確認している。これは主に、右手利きの一般健常成人を対象にした研究結果から得られたものであり、右足は運動性に富み、左足は主として支持足として優れていることから、平沢²⁰⁾は、右足を運動足(脚)、左足を支持足(脚)と規定している。

ところが、立ち始めの幼児の場合、成人とは反対に、右足荷重の様相が観察された。

そこで、前川ら^{21,22)}との共同研究で、重心計付ピドスコープを用いて、直立時の重心点の左右方向への偏倚について検討を試みた。60秒間直立時の接地足底面とそこに投影される重心点を、5秒毎に35mmカメラによって撮影した。

図7は、撮影した写真より、左右方向の優位重心点を括めたものである。318回の測定で1歳は明らかに右側が多く、5歳前後で正中が多くなり、それ以後は重心点は正中より左側となるのがわかる。

また別に、3～6歳の小児246名に物を描かせて利き手、物を蹴とばせて運動足を判定した後、片足立ちの左右差をみた。最初開眼で行い、左右差のない時のみ閉眼でテストした。そして長く立っていられる方の足を支持足とした。

このうち、利き手、運動足ともに右であった者が225名であった。この対象の支持足は、年齢とともに右支持足が減少し、左支持足が増加した。

幼児では、片足立ちも物を蹴る動作も最初は利き手側の足でやってしまうので、3歳児では利き手側が軸足の者が多い。しかし、起立、歩行を始めとする様々な動作を行うためには、軸足が利き足と分離する必要がある。これらの結果から、運動経験に伴う学習効果によって、

Total number of sessions : 318

Gravity center in upright position

図7 立位における左右方向の重心位置の年齢変化。前川(1988)²²⁾より引用。最初右足荷重であったのが徐々に左足荷重に変移していく。

支持足が運動足側から反対側の足に徐々に移行するものと考えられる。このことは、様々な動作を行う上にきわめて都合の良いことである。

VII. まとめ

本邦では、重心計を用いた研究は、平衡神経科学会を中心に、1970年代に入って、急速に普及していった。当初はその臨床的意義について様々な意見が出されていたが、近年、平衡機能検査の一つとして確立されるまでに至った。その過程において、装置の規格化、検査方法の統一、標準値の作成などが、正に産学協同して実施されたようである。重心動揺測定の普及に関する限り、平衡神経科学会の労作に負うところが大きい。

しかし一方では、リハビリテーション分野における治療効果、訓練効果の判定に、立位（あるいは坐位）の定量的評価は欠かせないものであったことは容易に推測される。身体のパランス調節機能を評価するために、本邦においても、古くから重心測定が実施されていた²³⁾。

今回、重心動揺の年齢変化を紹介したが、その機序については、十分に説明を加えることができなかった。姿勢調節の機序については、他の研究者の説明に委ねることとして、重心動揺に関しては、解明されなければならない多くの疑問点が残されている。

様々な分野の、多くの研究者がこの問題に着手されるよう望まれる。

参考文献

- 1) Odenrick P, et al.: Development of postural sway in the normal child. *Human Neurobiol*, 3: 241-244, 1984.
- 2) 藤原勝夫・他: 立位姿勢の安定性における年齢および下肢筋力の関与. *人類誌*, 90 (4): 385-400, 1982.
- 3) 前川奈生子・他: Pedoscopeによる新生児の重心点に関する研究, 第1編—正常新生児の重心点. *慈恵医大誌*, 101 (5): 813-819, 1986.
- 4) 前川奈生子・他: Pedoscopeによる新生児の重心点に関する研究, 第2編—低出生体重児の重心点. *慈恵医大誌*, 101 (5): 813-819, 1986.
- 5) Shambes GM: Static postural control in children. *Am J Phys Med*, 55 (5): 221-252, 1976.
- 6) 白井永男・他: 学校保健学会共同研究『発育発達』発育文献研究班, 中間報告 (4) 姿勢研究最近10年間の動向 (2) —接地足底面ならびに重心動揺の発育・発達の研究. *学校保健研究*, 35 (4): 171-174, 1993.
- 7) 平沢彌一郎: 日本人の直立能力について. *人類誌*, 87 (2): 81-92, 1979.
- 8) 小川昭之・他: 小児期起立姿勢制御の発達特性に関する研究 第1編 正常健康成人と幼児との比較. *日児誌*, 90 (6): 1362-1369, 1986.
- 9) 山本高司: 直立時動揺の年齢による変化. *体力科学*, 28: 249-256, 1979.
- 10) 五島桂子: 重心動揺検査の検討—コンピュータ分析における検査項目と正常域. *Equilib Res*, 45: 368-387, 1986.
- 11) 八木一記・他: ヒト直立時重心動揺図の年齢変化. *Equilib Res*, 46 (4): 343-349, 1987.
- 12) 平沢彌一郎: スタシオロジー (6) —児童の直立能力の発達と生活環境. *静岡大学教養部研究報告 (自然科学編)*, 10: 47-70, 1974.
- 13) 白井永男: 学校での素足生活が、児童の直立時安定保持能力の発達に及ぼす影響. *デサントスポーツ科学*, 16, 1995 (投稿中).
- 14) 小沢治夫・他: 佐久地区児童生徒の平衡機能. *眼科臨床医報*, 70 (6): 679-682, 1976.
- 15) 平沢彌一郎・他: 航空機騒音が児童の直立能力に及ぼす影響について. *大阪国際空港の航空機騒音が市民の健康及び環境に及ぼす影響調査報告書*, 伊丹市空港部, 1983.
- 16) 坂口 明・他: 重心移動量による平衡機能の評価. *体力科学*, 26: 64-69, 1977.
- 17) 林 文代・他: 身体動揺と関連する生体側要因についての予備検討. *三重医学*, 27 (2): 172-177, 1983.
- 18) 石井美晴・他: 幼児の直立時身体動揺度に関する研究. *日本女子体育大学紀要*, 16: 123-130, 1986.
- 19) 鷺見勝博・他: 幼児の直立姿勢保持能力に関する研究—直立時の重心動揺距離について. *小児保健研究*, 47 (3): 383-382, 1988.
- 20) 平沢彌一郎: 直立歩行を支える左足. *サイエンス*, 11 (6): 32-44, 1981.
- 21) 前川喜平・他: 利き手, 利き足と軸足の発達に関する研究. *小児科診療*, 51 (9): 1841-1848, 1988.
- 22) 前川喜平: 小児の起立, 歩行の重心力学的考察. *脳と発達*, 20: 91-102, 1988.
- 23) 月村泰治・他: 足蹠と重心位置—とくに小児を中心に. *臨整外*, 7 (1): 23-34, 1972.