

D. 考察

I. 歩行運動における頭部の安定化について

歩行をはじめとする日常動作において体平衡が自動的に維持されるためには、脳内において空間識に基づいた運動制御が行われる必要があるとされる。空間識とは、自己と周囲空間の相対的位置関係の認知であり、複数の感覚入力を統合して脳内に周囲の3次元空間を再現することにより達せられる^{18),19)}。

今回の実験では、20代50代ともに歩行時頭部運動のうち、頭部上下動、pitch、roll運動が開眼時に比べて遮眼時に有意に減少した。つまり、遮眼歩行時には垂直方向の成分を含む頭部運動が減少するという結果が得られた。

視覚入力遮断された場合、脳内に再現される3次元空間が不完全なものになり歩行制御に支障を来す。空間識の精度を少しでも高め安定した歩行運動を継続するために、視覚以外の感覚入力の感度(sensitivity)を高める必要が生じる。

ひとつには、運動方向の加速度検出する耳石器(卵形囊斑)の感度を高めるために、頭部の上下動揺を抑え、かつ頭部の鉛直性(verticality)を保つような歩行様式が選択されたのではないかと考えられる。すなわち、まず頭部の安定化を図ることにより体幹部の歩行運動を安定させるというメカニズムである(top-down制御)^{2),4)}。もうひとつは、下肢深部知覚の感度を高めるために、足底の離床時間を短く接地時間を長くするような歩行様式が選択され、その結果として頭部運動が減少した可能性も考えられ

る。つまり、歩行中体幹部の安定を優先させ、その結果頭部も安定化するというメカニズムである(bottom-up制御)²⁾。

耳石器入力依存も下肢深部知覚入力依存も、中枢での空間識の成立に重要な役割を担っており、両者は中枢において複雑に絡み合っていると考えられる^{2),15),16)}。遮眼歩行時にどちらの入力がより優位であるか決定するのは難しいが、今回の実験では、遮眼歩行時に頭部yaw運動には変化がみられなかった。つまり、遮眼時には頭部の上下動揺を抑え、鉛直性を保つことが歩行継続にとってより重要であると推察される。このことはtop-down制御の考えを支持する結果のひとつであると思われる。

II. 歩行時頭部運動に対する加齢の影響について

これまでの歩行解析に関する多くの報告において、頭部は上下動に伴ってその位置が高い時に前屈し低い時に後屈するpitch運動を行い^{4)~7),9)~11)}、一側の下肢接地時には体幹は同方向に、頭部はその反対方向にroll運動を行う^{8)~10)}といった協調運動が観察されている。こうした歩行中の頭部の回転運動は、歩行中の重心の動揺を補償し、体平衡の安定を維持するという生理的な意義を持つとされる^{2),4),5),7),9),10)}。

以前我々が若年層を中心に行った歩行解析においても、同様の協調運動が観察された¹³⁾。また今回の実験においても、上下動に伴ってその位置が高い時に前屈し低い時に後屈するという頭部pitch運動は20代50代ともに確認された。しかし、頭部、体幹roll運動に関しては20代と50代の被験者の間にかかなりの相違がみられた。すな

わち、ほとんどの20代被験者ではこれまでの報告と同様に歩行中頭部と体幹が逆方向に roll 運動を行っている所見（負の相関）がみられたが、50代被験者では、頭部と体幹が同方向に roll 運動する所見（正の相関）が多くみられた。

頭部、体幹 roll 運動が負の相関を示す被験者の場合、頭部と体幹の左右動は相殺され小さくなり、歩行中空間に対して頭部の安定が保たれている。また、ほとんどの20代被験者では遮眼歩行においても頭部、体幹協調運動のパターンは変わらず負の相関を示した。このことは、若年者では中枢での空間識形成において前庭入力への関与が大きく、視覚入力依存度が低いことを示していると考えられる。

これに対して頭部、体幹 roll 運動が正の相関を示す被験者の場合、体幹の roll に頭部の roll が加算され頭部の左右動揺がさらに大きくなり、歩行中頭部は空間に対して不安定となる。また、50代被験者では遮眼時に正の相関を示す被験者がさらに多くなる。このことは、空間識に基づく歩行制御において視覚入力依存度が高いことを示していると考えられる。これらの所見は50代健康成人の潜在的な前庭機能の低下を表していると思われる。すなわち、今回の3次元動作解析システムを用いた歩行解析により、従来の平衡機能検査や歩行検査では検出し得なかった加齢による歩行様式の変化が客観的に示されたものと考えている。

今後はさらに高齢者で解析を行い、歩行運動に対する加齢の影響を力学的な面や平衡神経学的な面から考察し、ひいては高齢者の転倒問題についても検討した

いと考えている。

E. 結論

- 1) 20代と50代の健康成人で歩行時の頭部運動および頭部と体幹の協調運動について3次元解析を行った。
- 2) 20代50代ともに歩行時頭部運動のうち、頭部上下動、pitch、roll運動が開眼歩行時に比べて遮眼歩行時に有意に減少した。視覚入力障害された場合、安定した歩行を継続するためには、耳石器や下肢深部知覚の感度を高める必要が生じ、頭部の鉛直性を保ち上下動揺を抑えるような歩行様式が選択されたものと考えられた。
- 3) ほとんどの20代被験者で、歩行中頭部と体幹が逆方向に roll 運動を行っている所見（負の相関）がみられた。頭部、体幹 roll 運動が負の相関を示す被験者の場合、頭部と体幹の左右動は相殺され小さくなり、歩行中空間に対して頭部の安定が保たれている。また、遮眼歩行でも頭部、体幹協調運動のパターンが変わらないことは、中枢での空間識形成において前庭入力への関与が大きく視覚依存度が低いことを示していると考えられた。
- 4) 50代被験者では、頭部と体幹が同方向に roll 運動する所見（正の相関）が多くみられた。この場合頭部の左右動揺が大きくなり、頭部は空間的に不安定になる。また、遮眼時に正の相関を示す被験者がさらに多くなることは、中枢における視覚依存度が高いことを示していると思われる。これらの所見は50代健康成人の潜在的な前庭

機能の低下を示していると考えられた。

(参考文献)

- 1) 森 茂美： 直立歩行の生理。時田 喬， 鈴木淳一， 曾田豊二編。 神経耳科学 I。 88-103 頁， 金原出版， 東京， 1985
- 2) 平崎鋭矢， 久保 武： 歩行の三次元解析。 五十嵐 眞監。 高橋正紘， 武田憲昭編。 神経耳科学。 139-151 頁， 金芳堂， 京都， 1998
- 3) Grossman GE, Leigh RJ, Abel LA, et al: Frequency and velocity of rotational head perturbation during locomotion. *Exp Brain Res* 70: 470-476, 1988
- 4) Pozzo T, Berthoz A, Lefort L: Head stabilization during various locomotor tasks in humans I . Normal subjects. *Exp Brain Res* 82: 97-106, 1990
- 5) Pozzo T, Berthoz A, Lefort L: Head stabilization during various locomotor tasks in humans II . Patients with bilateral peripheral vestibular deficits. *Exp Brain Res* 85: 208-217, 1991
- 6) Hirasaki E, Kubo T, Nozawa S, et al: Analysis of head and body movement of elderly people during locomotion. *Acta Otolaryngol(Stockh) Suppl* 501: 25-30, 1993
- 7) Assaiante C, Amblard B: Ontogenesis of head stabilization in space during locomotion in children: influence of visual cues. *Exp Brain Res* 93: 499-515, 1993
- 8) Glasauer S, Amorim MA, Vitte E, et al: Goal-directed linear locomotion in normal and labyrinthine-defective subjects. *Exp Brain Res* 98: 323-335, 1994
- 9) 山川純至， 野沢真司， 平崎鋭矢， 他： 三次元解析システムを用いたヒト歩行の研究。 *Equilibrium Res Suppl* 10: 54-57, 1994
- 10) Kubo T, Kumakura H, Hirokawa Y, et al: 3D analysis of human locomotion before and after caloric stimulation. *Acta Otolaryngol(Stockh)* 117: 143-148, 1997
- 11) Hirasaki E, Moore ST, Raphan T, et al: Effects of walking velocity on vertical head and body movements during locomotion. *Exp Brain Res* 127: 117-130, 1999
- 12) Mesure S, Azulay JP, Pouget J, et al: Strategies of segmental stabilization during gait in Parkinson's disease. *Exp Brain Res* 129: 573-581, 1999
- 13) 上村隆一郎， 武井泰彦： 床上歩行時の頭部運動3次元解析。 *Equilibrium Res* 59: 228-235,

2000

- 14) Murrey MP, Korey RC, Clarkson BH: Walking patterns in healthy old men. *J Gerontol* 24: 169-178, 1969
- 15) Hageman PA, Blanke DJ: Comparison of gait young women and elderly women. *Physical Therapy* 66: 1382-1387, 1986
- 16) 宮田英雄, 白戸弘道: 高齢者の歩行. *Equilibrium Res* 53: 449-457, 1994
- 17) Nagasaki H, Itoh H, Furuna T: The structure underlying physical performance measures for older adults in the community. *Aging Clin Exp Res*: 451-458, 1995
- 18) 高橋正紘, 岡田行弘, 齊藤 晶, 他: 生体内座標軸理論. *日耳鼻* 94: 161-169, 1991
- 19) 高橋正紘, 岡田行弘, 武井泰彦, 他: 圧中心軌跡の広がりを目指した起立精度の研究. *Equilibrium Res* 53: 237-246, 1994

F. 健康危険情報

なし

G. 研究発表

1. 論文発表

- ① 上村隆一郎, 武井泰彦: 歩行時頭部体幹運動における加齢の影響. *Equilibrium Res* (投稿中)

2. 学会発表

- ① 上村隆一郎, 武井泰彦: 歩行時頭部運動に対する加齢の影響. 第59回日本めまい平衡医学会総会, 2000.

H. 知的財産権の出願・登録状況
なし

別添 4

厚生科学研究費補助金
感覚器障害及び免疫・アレルギー等（感覚器障害研究分野）研究事業

Ⅱ．研究成果の刊行物・別冊

20000595

以降のページは雑誌/図書等に掲載された論文となりますので、
「研究成果の刊行に関する一覧表」をご参照ください。

「研究成果の刊行に関する一覧表」

床上歩行時の東部運動3次元解析.

上村隆一郎、武井康彦

Equilibrium Res. Vol.59(3); 228-235, 2000