

原著論文

受付：2012. 9.21

受理：2013. 1.17

若年者と高齢者の姿勢制御時における空間的身体動揺の検討

丸 山 高 志

桑名東医療センター リハビリテーション室

和 田 郁 雄

名古屋市立大学病院 リハビリテーション部

浅 井 友 詞

日本福祉大学 健康科学部

森 本 浩 之

水谷病院 リハビリテーション科

渡 辺 元 夫・林 史 人

アクティブ いつきシニア倶楽部

Everett B. Lohman, Eric G. Johnson and Naoko Kashiwa

School of Allied Health Professions, Loma Linda University

Spatial body movements in different conditions in healthy young and elderly

Takashi Maruyama

Department of physical therapy, Kuwana East Medical Center

Ikuo Wada

Department of Rehabilitation, Nagoya City University Hospital

Yuji Asai

Faculty of Health Sciences, Nihon Fukushi University

Hiroyuki Morimoto

Department of physical therapy, Mizutani Hospital

Motoo Watanabe, Fumihito Hayashi

Active Ituki senior club

Everett B. Lohman, Eric G. Johnson and Naoko Kashiwa

School of Allied Health Professions, Loma Linda University

Abstract: PURPOSE: The purpose of this study was to investigate muscle activation using electromyography (EMG), postural control using computerized dynamic posturography (CDP) and spatial body movements using accelerometry in different conditions in healthy young and older adults. METHOD: Nine healthy young adults and eight healthy older adults without history of neurological disease or falls participated in this study. Postural control was measured using the NeuroCom Equi-test CDP in 6 different conditions. Spatial body movements were measured by an accelerometer placed on the top of subject's head, sacrum and lateral knee joint. RESULTS: Compared to the young adults, healthy older adults had lower postural control scores in conditions 2, 5 and 6; spatial body movements were larger in forward-backward direction during condition 5 and in vertical direction during condition 6. EMG of Tibialis Anterior, Stenocleidmastoid and Rectus Abdominals in the older adults were more activated. CONCLUSION: Young adults were able to maintain better postural control with lower muscle activation compared to older adults.

Keywords: computerized dynamic posturography, accelerometry electromyography

1. はじめに

姿勢の不安定性や転倒は、高齢者において重大な問題となっている。65歳以上の高齢者の30-50%は年に一度は転倒を経験しており、重篤な怪我や死を招く結果となっている¹⁾。高齢者の転倒は主に歩行や移乗時などに生じ、50%以上が躓きによる外的要因である^{1,2)}。高齢者のバランス機能では、加齢に伴い静止立位時の重心動揺軌跡が増加し³⁻⁵⁾、さらに、重心の前後最大限移動距離は減少する⁶⁻⁹⁾。また、加齢により筋骨格系・神経系・感覚系の退行性変化により、各感覚入力の依存度が変化し¹⁰⁾、姿勢調節機能の低下により転倒が引き起こされる。身体動揺の調節には、主に自動的なフィードバック制御がなされ、安定性が大きく崩れた場合には立位感覚に基づいて随意的な姿勢制御がより必要になる⁷⁾。一方、高齢者においては退行性変化により、前庭覚、体性感覚、視覚が低下するが中でも前庭機能の低下は著しく、その代償として視覚に依存する。従来、姿勢調節に関わる感覚器を選択的に変化させる研究は古くから行われ⁸⁾、近年においては、外乱刺激時の姿勢制御における筋活動と重心動揺についての研究は多く報告されている^{6,8)}。しかし、空間的な身体の動きを解析した研究は少なく、姿勢制御において頭部安定の重要性は知られているなか⁹⁾、重心動揺時の頭部動揺とそれらを制御する筋活動を検討しているものは少ない。そこで我々は、姿勢制御時の感覚入力の違いが重心動揺と頭部の動きに与える影響について重心動揺に加え、加速度計を使用し、感覚刺激時の重心動揺、頭部の動揺および身体各部位の筋活動を求め、若年者と高齢者と比較検討した。

2. 方法

2.1. 対象

対象は、病歴のない健常若年者9名（平均年齢19.33±0.5歳）と中枢神経疾患・整形外科系疾患の既往がない独歩可能な健常高齢者8名（平均年齢67.0±5.1歳）とした。対象者の疾患の有無や病歴の有無は、アンケートや歩行観察、直立検査など簡単な平衡機能検査により判断した。

本研究は、日本福祉大学「人を対象とする研究」に関する倫理審査委員会に承認を得た後、対象者には実施前に本研究の趣旨と実施方法を口頭と書面にて説明し同意を得た。

2.2. 測定方法

測定条件は、静止立位時の感覚入力に変化を与えるものとして Neurocom 社製 EquiTest[®] (図1) を使用し、6条件における感覚統合機能テスト (Sensory Organization Test : 以下 SOT) にて行った (図2)。

SOTの条件は、6条件あり条件1は開眼直立で視刺激装置・起立台ともに固定、条件2は閉眼直立で視刺激装置・起立台ともに固定、条件3は開眼直立で視刺激装置が被験者の前後動揺に同期して傾斜・起立台は固定、条件4は開眼直立で視刺激装置は固定されており、起立台が被験者の前後動揺に同期して前後傾斜、条件5は閉眼で視刺激装置は固定されており、起立台が被験者の前後動揺に同期して前後傾斜、条件6は開眼直立で視刺激装置が被験者の前後動揺に同期して傾斜、起立台も被験者の動揺に同期して前後傾斜するものである。各条件は20秒間を3回測定し、実際の測定に際しては、安全のため専用のハーネスを装



図 1. EquiTest[®] による重心動揺測定風景

着させ転倒を考慮した。

a. 重心動揺

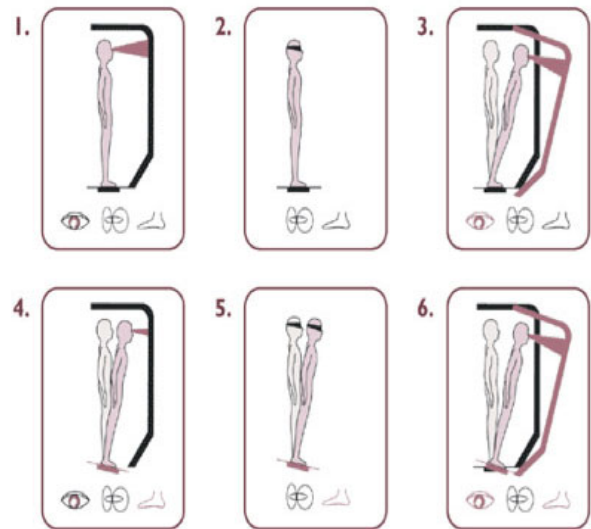
重心動揺の指標としては、Equilibrium score (以下:EQ score) を使用した。EQ score は Neurocom 社が実際の重心動揺の最大振幅の範囲と、姿勢の安定性の限界値を算出した指標値である。全く重心動揺がない場合 EQ score は 100 と記録され、バランスを崩して転倒した場合は 0 と記録される。今回 EQ score は各条件を 3 回施行し、それらの平均値を使用した。

b. 筋電図

筋電図の測定は、筋電計多チャンネルテレメータシステム WEB-7000 (日本光電社製) を使用した。筋電計の装着部位は、僧帽筋、大殿筋、外側広筋、内側広筋、大腿二頭筋、胸鎖乳突筋、腹直筋、前脛骨筋、腓腹筋、脊柱起立筋とした。筋活動は積分値から条件 1 を基準として条件 2 から条件 6 の筋活動の割合を算出した。

c. 加速度

頭部の動きは、加速度センサー多チャンネルテレメータシステム WEB-7000(日本光電社製) を使用し測定した。加速度計は頭頂部に装着し、6 条件の感覚入力時における頭部の前後・左右・上下の加速度から、相方向の最大値を求めた (図 3)。



- 条件 1：開眼，視刺激装置，起立台固定
- 条件 2：閉眼，視刺激装置，起立台固定
- 条件 3：開眼，視刺激装置は被験者に同期して傾斜，起立台は固定
- 条件 4：開眼，視刺激装置は固定，起立台は被験者の前後動揺に同期して前後傾斜
- 条件 5：閉眼，視刺激装置は固定されており，起立台が被験者の前後動揺に同期して前後傾斜
- 条件 6：開眼で視刺激装置は被験者の前後動揺に同期して傾斜，起立台も被験者の動揺に同期して前後傾斜

図 2. 6 条件における感覚統合機能テスト (Sensory Organization Test)

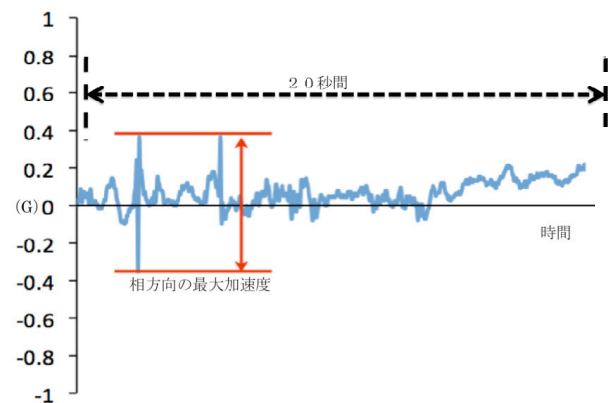


図 3. 最大加速度の算出方法

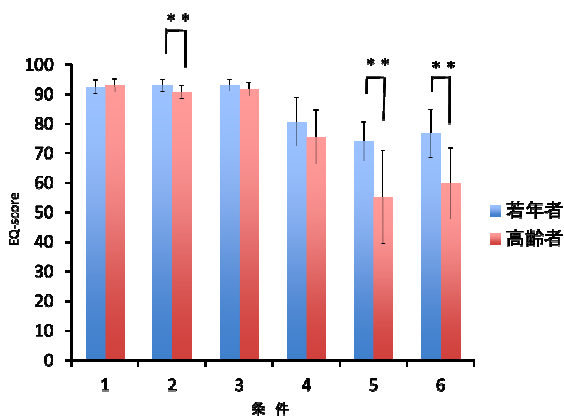
2.3. 解析

統計は、SPSS version17 を使用した。条件間における EQ score の比較には、一元配置分散分析を用い、群間の比較には対応のない t 検定を行った。また加速度、筋電図の比較には Mann-Whitney の検定で、若年者と高齢者間で比較した。有意水準は 5% とした。

表 1. 重心動揺における EQ-Score の若年者と高齢者の比較

	条件 1	条件 2	条件 3	条件 4	条件 5	条件 6
若年者	92.4 ± 2.42	92.9 ± 2.15 *	93.1 ± 1.97	80.6 ± 8.28 **	74.0 ± 6.61 **, *	76.6 ± 8.20 **, *
高齢者	92.9 ± 2.29	90.7 ± 2.17 *	91.7 ± 2.41	74.4 ± 9.25 **	55.2 ± 15.77 **, *	59.7 ± 12.13 **, *

一元配置分散分析 (* : P < 0.05)
対応のない t 検定 (** : P < 0.05)



対応のない t 検定 (** : P < 0.05)

図 4. 若年者と高齢者の EQ-score 比較

3. 結果

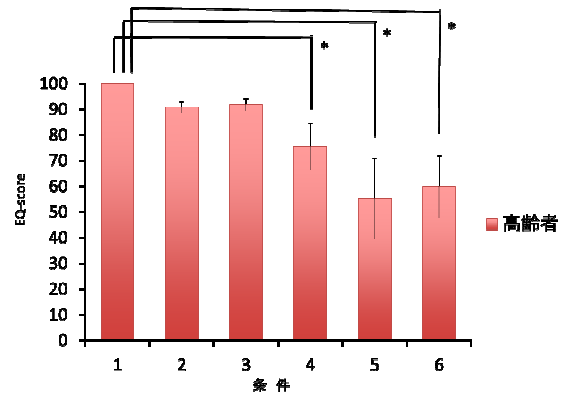
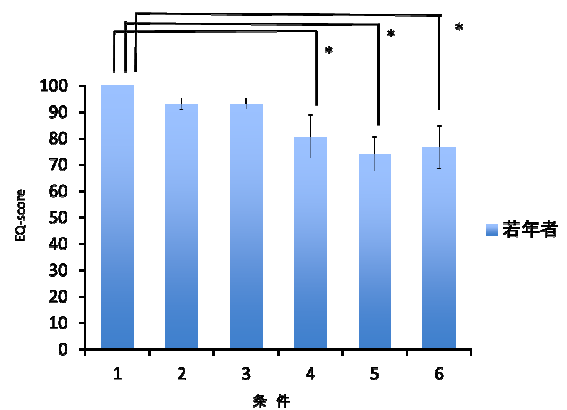
3.1. 重心動揺 (表 1)

若年者では、条件 1 : 92.4, 条件 2 : 92.9, 条件 3 : 93.1, 条件 4 : 80.6, 条件 5 : 74.0, 条件 6 : 76.6 であった。高齢者では条件 1 : 92.9, 条件 2 : 90.7, 条件 3 : 91.7, 条件 4 : 74.4, 条件 5 : 55.2, 条件 6 : 59.7 となり、条件 2, 5, 6 において若年者よりも高齢者の EQ score が有意に低下した (P < 0.05) (図 4)。

また若年者、高齢者ともに条件 1 に対して条件 4, 5, 6 の EQ score が有意に低下した (P < 0.05) (図 5)。

3.2. 筋電図 (表 2)

若年者と高齢者の条件 1 を基準とし、条件 2 から 6 の筋活動を比較した場合、若年者と高齢者で条件 2 から 4 において筋活動は有意差を認めないという結果であった。しかし、条件 5 において前脛骨筋は若年者が 132%, 高齢者が 223%, 胸鎖乳突筋は若年者が 99%, 高齢者が 126% となり条件 1 と比較して高齢者において筋活動が有意に増加した (P < 0.05)。さらに、条件 6 においても腹直筋が若年者で 96%, 高齢者が 103%



一元配置分散分析 (* : P < 0.05)

図 5. 重心動揺における EQ-Score の比較

となり条件 1 と比較して高齢者の筋活動は有意に増加した (P < 0.05) (図 6, 7, 8)。

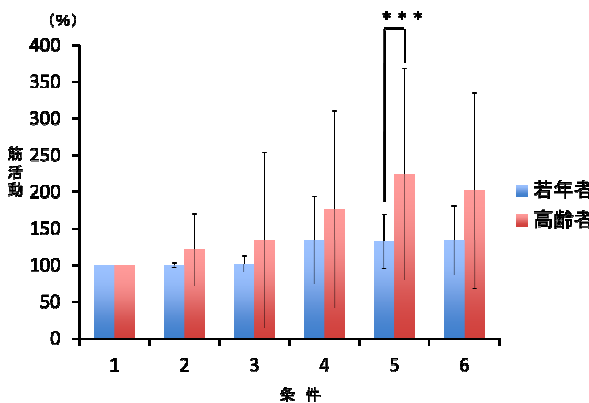
3.3. 加速度 (表 3)

若年者では頭部の Z (上下) 方向の動揺の程度が条件 1 から 4 と 6 において大きいという特徴がみられた。高齢者では、条件 5 のみ頭部の Z (上下) 方向の動揺の程度が若年者よりも大きいという特徴がみられた。さらに、条件 5 の前後方向においては、若年者は

表 2. 筋電図における各条件下の若年者と高齢者の比較

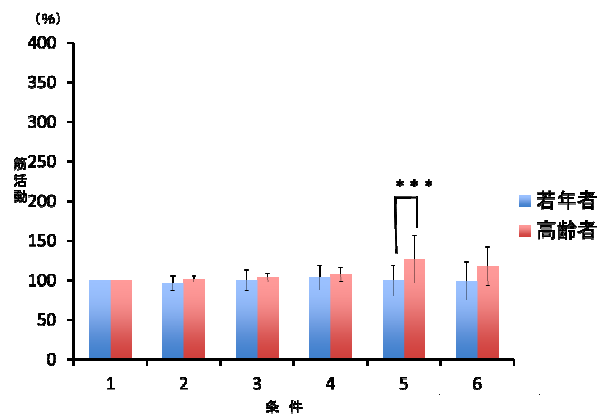
		僧帽筋	腹直筋	大殿筋	外側広筋	内側広筋	大腿二頭筋	腓腹筋	前脛骨筋	胸鎖乳突筋	脊柱起立筋
条件 1	若年者	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	高齢者	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
条件 2	若年者	99.99 ± 1.01	96.47 ± 6.90	99.77 ± 1.58	107.96 ± 12.36	101.62 ± 6.00	98.57 ± 5.40	107.39 ± 13.34	99.89 ± 3.37	96.03 ± 9.47	100.35 ± 8.22
	高齢者	103.56 ± 9.96	104.32 ± 12.16	99.20 ± 2.69	102.63 ± 23.36	102.35 ± 14.36	99.90 ± 2.55	119.66 ± 25.06	121.10 ± 49.41	101.58 ± 4.17	101.03 ± 8.26
条件 3	若年者	100.27 ± 1.64	95.50 ± 8.35	99.34 ± 2.75	108.48 ± 14.45	102.06 ± 8.11	98.28 ± 8.02	91.08 ± 16.92	101.52 ± 11.79	99.93 ± 13.47	93.81 ± 18.59
	高齢者	104.25 ± 10.55	100.78 ± 2.47	102.37 ± 3.81	101.18 ± 30.06	100.11 ± 35.62	99.89 ± 3.13	121.80 ± 27.88	134.08 ± 120.14	103.36 ± 5.77	104.12 ± 12.52
条件 4	若年者	99.35 ± 1.84	103.24 ± 5.94	99.15 ± 1.48	91.70 ± 18.75	95.42 ± 11.73	97.90 ± 7.70	80.75 ± 22.49	101.24 ± 18.73	103.69 ± 10.30	99.80 ± 4.07
	高齢者	98.09 ± 4.45	97.76 ± 4.89	100.30 ± 4.29	83.24 ± 17.51	90.83 ± 14.23	90.51 ± 18.15	80.01 ± 22.88	78.51 ± 17.82	84.79 ± 16.93	94.11 ± 18.19
条件 5	若年者	101.76 ± 3.60	95.76 ± 9.11	101.39 ± 3.00	132.83 ± 37.37	117.14 ± 26.23	103.25 ± 7.59	124.56 ± 46.82	132.64 ± 37.12 ***	99.44 ± 19.37 ***	97.68 ± 13.28
	高齢者	107.08 ± 10.61	103.81 ± 7.86	105.19 ± 8.73	163.38 ± 63.86	132.74 ± 47.52	117.69 ± 30.83	161.09 ± 55.92	223.88 ± 145.03 ***	126.46 ± 30.17 ***	117.85 ± 38.97
条件 6	若年者	101.64 ± 4.24	96.99 ± 5.47 ***	101.32 ± 2.47	122.23 ± 28.66	111.47 ± 19.98	100.68 ± 6.07	102.91 ± 28.42	133.51 ± 47.53	99.04 ± 24.75	95.22 ± 14.20
	高齢者	107.19 ± 11.68	103.81 ± 6.91 ***	104.94 ± 11.72	156.68 ± 84.23	127.85 ± 34.11	109.73 ± 12.83	139.14 ± 41.20	201.28 ± 133.62	117.74 ± 24.44	115.96 ± 109.34

Mann-Whitney の検定 (*** : P<0.05)



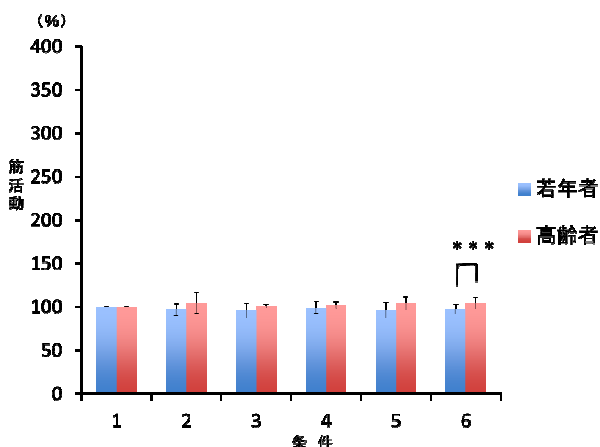
Mann-Whitney の検定 (*** : P<0.05)

図 6. 前脛骨筋の筋活動



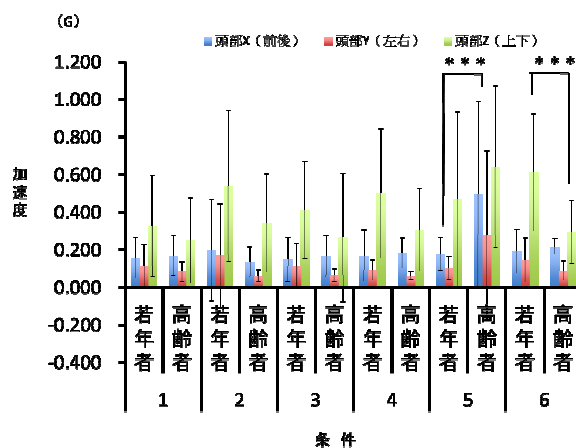
Mann-Whitney の検定 (*** : P<0.05)

図 7. 胸鎖乳突筋の筋活動



Mann-Whitney の検定 (* * * : P < 0.05)

図 8. 腹直筋の筋活動



Mann-Whitney の検定 (* * * : P < 0.05)

図 9. 若年者と高齢者の加速度の比較

表 3. 加速度における頭部動揺の若年者と高齢者の比較

		条件 1	条件 2	条件 3	条件 4	条件 5	条件 6
若年者	頭部 X (前後)	0.1576 ± 0.11	0.1986 ± 0.27	0.1481 ± 0.12	0.1686 ± 0.14	0.1761 ± 0.09 * * *	0.1913 ± 0.12
	頭部 Y (左右)	0.1133 ± 0.12	0.1701 ± 0.28	0.1148 ± 0.12	0.0917 ± 0.05	0.1011 ± 0.06	0.1449 ± 0.12
	頭部 Z (上下)	0.3256 ± 0.27	0.5403 ± 0.40	0.4103 ± 0.26	0.4999 ± 0.34	0.4701 ± 0.46	0.6111 ± 0.31 * * *
高齢者	頭部 X (前後)	0.1691 ± 0.11	0.1358 ± 0.08	0.1651 ± 0.11	0.1814 ± 0.08	0.4970 ± 0.49 * * *	0.2173 ± 0.04
	頭部 Y (左右)	0.0837 ± 0.05	0.0595 ± 0.03	0.0636 ± 0.03	0.0615 ± 0.02	0.2781 ± 0.45	0.0875 ± 0.05
	頭部 Z (上下)	0.2494 ± 0.23	0.3417 ± 0.26	0.2645 ± 0.34	0.3058 ± 0.22	0.6409 ± 0.43	0.2938 ± 0.17 * * *

Mann-Whitney の検定 (* * * : P < 0.05)

0.1761G, 高齢者は 0.4968G であり, 加速度の動揺の程度が高齢者において増加し有意差を認めた (P < 0.05). 一方, 条件 6 の上下方向においては, 若年者 0.6111G, 高齢者 0.2938G で加速度の程度は減少し有意差が認められた (P < 0.05). その他, 有意差は認められなかった (図 9).

4. 考察

加齢とともに重心動揺は増加し, 不安定性は増すがその要因として筋力や体性感覚, 前庭感覚の退行性変化が

挙げられる. その評価方法として, 重心動揺計を用いているが身体を分節的に捉えることはできない. また, 条件設定の違いによる姿勢制御においては, 若年者と高齢者を比較すると動きのパターンに差がみられる.

今回我々の結果では, 静的重心動揺である条件 1 において, 若年者と高齢者を比較して差はみられなかった. しかし, 条件 2, 5, 6 で高齢者が有意に増加していたことから, 視覚と体性感覚の影響が重心動揺に影響し, EQ score が低下するという結果となった. 高齢者における姿勢制御は視覚に頼る傾向があると報告されてお

り¹⁰⁻¹⁹⁾、閉眼による視覚情報の欠如が高齢者のバランス能力の低下を招いたと考えられる。また、Woollacott¹¹⁾らは、身体バランスにおいて2つ以上の要素が制限されると重心動揺は著しく低下することを報告しており、これは条件5, 6の結果を裏付けるものといえる。また、条件2, 5, 6は前庭機能を評価することが可能で²⁰⁾、この条件では、閉眼することにより視覚情報が抑制されるため、前庭機能が低下している高齢者は重心動揺が増加し、EQ scoreが低下したと考えられる^{21, 24-26)}。さらに、条件4, 5, 6では若年者、高齢者ともに条件1に対してEQ scoreが低下しており、田口らは同様の実験において重心動揺が大きくなる場合は姿勢を保持する上で各感覚間の統合に問題があり、有効な感覚情報を選択し姿勢制御できない状態であると報告している²⁰⁾。

次に、筋電図計の結果から条件1と比較して他の条件では前脛骨筋や胸鎖乳突筋、腹筋群の活動性が若年者と比較して高齢者では活動が向上している。Horak²⁵⁾らは前庭機能障害により頭部を固定するために僧帽筋や胸鎖乳突筋の活動高めると報告しており、今回の結果でも胸鎖乳突筋の作用により頭部の安定性が示唆された。胸鎖乳突筋は、高齢者において加速度計の結果からもみられるように身体を固定した直線状の動揺が前後方向の動揺と上下方向の抑制につながったと考えられる。

さらに、加速度計においては、高齢者の条件5で前後方向の加速度が有意に増加しており、条件5が視覚や体性感覚を抑制し前庭感覚が有意な姿勢制御を行っていることより、高齢者の前庭感覚が低下していることが示唆される。これは、Agrawal²⁷⁾らによると前庭感覚が50歳を境に低下し、65歳以降では急激な低下を示すことが報告されていることから示される。

こうしたことから、重心動揺は平面的移動距離にとどまらず、頭部での制御を含めた空間的指標が姿勢コントロールを維持するための理学療法プログラムの要素に必須であるといえる。高齢者では日常生活において、不安定な床面や暗闇での歩行において転倒することが多く、今後は外乱負荷での身体機能の分析を行い、転倒予防等に対する理学療法プログラムの作成に結びつける必要がある。

5. 結語

今回我々は若年者と高齢者の姿勢制御時における空間的身体動揺の違いを、重心動揺、筋電図、加速度を計測

し比較・検討を行った。重心動揺は高齢者では若年者と比較して条件2, 5, 6で増加した。

筋電図計は、条件5における前脛骨筋、胸鎖乳突筋、条件6における腹直筋が、若年者よりも高齢者の筋活動が増加した。また、加速度計は条件5の前後方向では、高齢者が若年者よりも加速度の動揺の程度が増加し、条件6の上下方向では、高齢者が若年者よりも加速度の動揺の程度が減少した。

高齢者は、感覚入力に違いが姿勢コントロールに影響を及ぼすため、詳細な評価のもとに理学療法プログラムの導入が望まれる。

参考文献

- 1) Gabell, A., Simons, M. A. et al.: Falls in the healthy elderly: predisposing causes. *Ergonomics*, 28, pp. 965-975, (1985)
- 2) Lord, S. R., Ward, J. A. et al.: An epidemiological study of falls in older community-dwelling women: the Randwick falls and fractures study. *Aust. J. Public Health*, 17, pp. 240-245, (1993)
- 3) 種田行男: 姿勢調節の加齢変化. *PTジャーナル* 30, pp. 305-310, 1996
- 4) 橋詰謙他: 立位保持能力の加齢変化. *日老医* 23, pp. 85-91, (1985)
- 5) 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係. *人類誌* 90 (4), pp. 385-400, (1982)
- 6) Sheldon JH: The effect of age on the control of sway. *Gerontol Clin* 5, pp. 129-138, (1963)
- 7) Nashner LM: Adapting reflexes controlling the human posture. *Exp Brain Res* 26, pp. 59-72, (1976)
- 8) Nashner LM: Adaptation of human movement to altered environment. *Trends Neurosci*, pp. 358-361, (1982)
- 9) Shumway-Cook A, Horak FB: Assessing the influence of sensory interaction on balance. *Phys Ther* 66, pp. 1548-1550, (1986)
- 10) 石崎久義他: 高齢者の姿勢制御機構? 転倒と視覚の関係について - *Equilibrium Res* 54, pp. 409-415, (1995)
- 11) Woollacott MH, Shumway-Cook A, Nashner L

- M: Ageing and posture control: changes in sensory organization and muscular coordination. *Int J Ageing Hum Dev* 23, pp. 97-114, (1986)
- 12) Peterka RJ, Black FO: Age-related changes in human posture control. *J Vestib Res* 1, pp. 73-85. (1990)
- 13) 上田泰久他：頭頸部アイメントが重心動揺に及ぼす影響，*理学療法学* 27 (3)，pp. 269-272, (2012)
- 14) 石崎久義他：高齢者の姿勢制御機構。転倒と視覚の関係について，*Equilibrium Res Vol.* 54 (5)，pp. 409-415, (1995)
- 15) Teasdale, N., Stelmach, G. E. et al.: Postural sway characteristics of the elderly under normal and altered visual and support surface conditions. *J. Gerontol.*, 46, pp. B238-B244, (1991)
- 16) Ronita L. Cromwell et al: Influence of Vision on Head Stabilization Strategies in Older Adults During Walking; *Journal of Gerontology: MEDICAL SCIENCES* 2002, Vol. 57A, No. 7, pp. M442-M448
- 17) Lord SR, Ward JA: Age-associated differences in sensory-motor function and balance in community dwelling women. *Age Ageing.* 1994 Nov; (6), pp. 452-60
- 18) Colledge NR, et al: Ageing and balance: the measurement of spontaneous sway by posturography. *Gerontology.* 1994; 40 (5) 273-8.
- 19) Wolfson, L., Whipple, R. et al.: A dynamic posturography study of balance in healthy elderly. *Neurology*, 42: 2069-2075
- 20) 田口孝行他：平衡反応検査。理学療法 24 (1)，pp. 148-156, (2007)
- 21) F. B. Horak et al: Postural strategies associated with somatosensory and vestibular loss: *Experimental Brain Research* (1990) 82, pp. 167-177
- 22) 田中繁他：モーターコントロール 運動制御の理論から臨床実践へ 原著第3版 pp 209-298, 医歯薬出版株式会社, (2010)
- 23) 奈良勲他：姿勢調節障害の理学療法 第1版, pp. 256-282, 医歯薬出版株式会社, (2004)
- 24) Peterka RJ, et al: Age-related changes in human posture control: motor coordination tests. *J Vestib Res.* 1990-1991; (1), pp. 87-96
- 25) Horak FB, et al: Vestibular and somatosensory contributions to responses to head and body displacements in stance. *Exp Brain Res* 93, pp. 100, (1994)
- 26) Brandt T et al: The multisensory physiological and pathological vertigo syndromes. *Ann Neurol.* 1980 Mar; 7 (3), pp. 195-203
- 27) Agrawal Y. Zuniga MG, Bichara MD et al: Decline in semicircular canal and otolith function with age. *Otol Neurotol* 33, pp. 832-839, (2012)