The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	高齢者における平衡機能
Author(s)	佐藤, 信次
Citation	大阪大学, 1993, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.11501/3067957
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

大 阪 大 学 医 学 雑 誌
第45巻第1～2号　平成5年2月

主論文

高齢者における平衡機能

Equilibrium function in the elderly individuals

大阪警察病院耳鼻咽喉科
Department of Otolaryngology, Osaka Police Hospital

佐　藤　信　次
Sato Shinji

(平成4年11月11日受付)

大 阪 大 学 医 学 雑 誌
第45巻第1～2号　平成5年2月

高齢者における平衡機能
Equilibrium function in the elderly individuals

大阪警察病院耳鼻咽喉科
Department of Otolaryngology, Osaka Police Hospital

佐　藤　信　次
Sato Shinji

(平成4年11月11日受付)

The purpose of this study was to study the effect of ageing on equilibrium function. Three experiments were performed, on both young and elderly individuals, and the results were as follows :

Ageing was found to have no effect on vestibulo-ocular reflex (VOR) gain value, not only in the pseudorandom acceleration test, but also in centric and eccentric rotation tests. The rate of recognition of velocity change for elderly individuals in a pseudorandom acceleration rotation test was significantly lower than that for young individuals.

In centric and eccentric rotation tests, the VOR gain values for elderly individuals during fixation on near and far imaginary stationary targets in the dark increased more than during the carrying-out of mental arithmetic, though less so than in young individuals.

These results suggest that for elderly individuals, a delay in the prosessing of vestibular information exists in the central nervous system and also that control of the central nervous system on VOR deteriorates in the aged.

Key Words : Vestibulo-ocular reflex, Rotational perception, Spatial orientation, Ageing

はじめに

近年，日本では急速に高齢化社会が進行しつつある．このため，老人のめまい，平衡障害の患者が増加している．バランスを保持する能力は加齢とともに障害され，筋力低下と相まって平衡障害を引き起こしたり，転倒の原因ともなりうる[1]．高齢者の転倒はしばしば骨折の主原因であり，quality of life 上重要な問題である．本研究では平衡機能の加齢による変化を検討した．

体のバランスの維持や固視は，前庭系，視覚系，体性感覚系からの身体の位置や運動などの情報が脳幹や小脳に伝達され，反射により眼運動系，脊髄運動系の筋緊張が変化し保たれている[2,3] (Figure 1)．本研究では，まず内耳前庭受容器の老化を検討する目的で前庭－動眼反射の利得の加齢変化を検討した．前庭－動眼反射は内耳－脳幹－動眼系の回路を介しているが，主に内耳前庭受容器の機能を反映してものと考えられる．内耳前庭受容器には半規管と耳石器があり，それぞれ角加速度と直線加速度を感知する．半規管－動眼反射の検討には被検者の予測が排除でき純粋に反射のみを検討できる pseudorandom acceleration 法を用いた．耳石－動眼反射の検討には中心性および偏中心性回転検査における利得を比較する方法を用いた．

前庭，視覚，深部知覚情報は高次中枢で統合され，運動感覚として知覚されるとともに，自己の空間に対する位置の認知(空間認知)が形成され，それに基づいて，眼運動系，

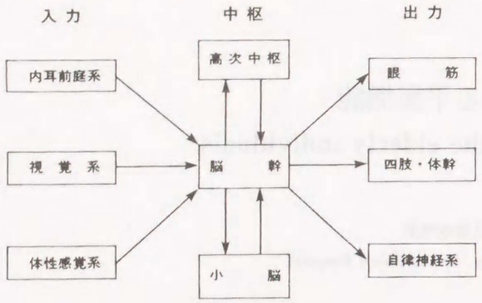

Figure 1. Schema of equiriburium reflex

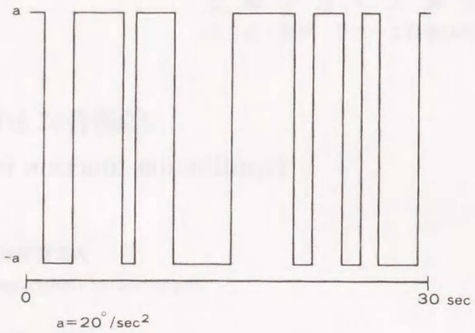

Figure 2. Diagram of angular acceleration in pseudorandom binary sequence
a : angular acceleration (deg/sec^2)
Direction of angular acceleration changes at random

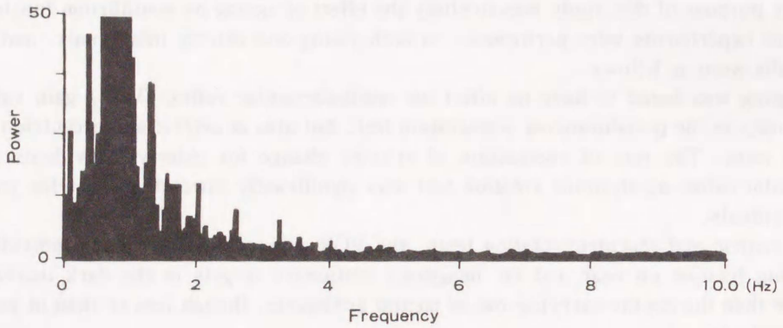

Figure 3. Power spectrum of pseudorandom acceleration stimulation

脊髄運動系への修飾が行われる[2] (Figure 1). そこで前庭情報の求心性処理能力として，被検者の予測が排除できるpseudorandom acceleration 法による回転時の回転速度の変化の認知率を用い，その加齢変化を検討した．また，前庭－動眼反射は，被検者がどのような自己と空間との相対的位置関係を想定するかにより利得が変化する．これは前庭－動眼反射に対する高次中枢からの遠心性制御が存在するためである．そこで，中心性および偏中心性回転検査において，被検者にさまざまな空間認知を選択させて前庭－動眼反射の利得を変化させ，前庭系への高次中枢からの遠心性制御機能の加齢変化を検討した．

対象および方法

1）前庭－動眼反射の加齢変化

(1) 半規管－動眼反射の加齢変化

対象：若年者群11人(男5人，女6人(24歳～34歳，平均年齢28.1歳))と高齢者群14人(男9人，女5人(60歳～79歳，平均年齢66.8歳))である．両群ともめまい，耳疾患，中枢神経系疾患，代謝疾患，視力等に異常のない健康者を対象とした．

方法：回転装置は永島医科機械製の総合的平衡機能検査装置 MVM-C2，回転椅子の制御および眼振の検出，解析には日本電気三栄のシグナルプロセッサー7T17を用いた[4]．座位にて被検者の頭部を回転椅子のヘッドレストに，胸部，腹部，下肢を回転椅子にマジックベルトで固定した．被検者に Conrad Wall ら[5] による pseudorandom binary sequence に準じて一定の角加速度(20deg/sec^2)の方向を正方向と負方向にランダムに切り替えて生じるさまざまな周波数の正弦波の混合した回転刺激を与えた．角加速度はランダムに方向を正負方向に転換しており(Figure 2)，このため回転椅子はランダムな回転速度，周波数で回転する．刺激時間は30秒で，その間の角加速度の総転換回数は44回である．刺激系のパワースペクトルは主に2.0Hz 以下に認められ，特に0.54～1.0Hz にかけて大きなパワーが認められる(Figure 3)．そこで，0.6Hz，0.8Hz，1.0Hz での前庭－動眼反射の利得を求めた．前庭－動眼反射の利得は暗所，開眼にて ENG (electronystagmography)で記録した水平方向の眼球運動をシグナルプロセッサー7T17で解析し，眼振の緩徐相速度の頭部速度に対する比で求めた．

(2) 耳石－動眼反射の加齢変化

対象：若年者群10人(男4人，女6人，平均年齢28.1歳(23歳～32歳))と高齢者群7人(男5人女2人，平均年齢67.8歳(64～71歳))である．両群ともめまい，耳疾患，中枢神経系疾患，代謝疾患，視力等に異常のない健康者を対象とした．

方法：回転装置は永島医科機械製の総合的平衡機能検査装置 MVM-C2，回転椅子の制御および眼振の検出，解析には日本電気三栄のシグナルプロセッサー7T17を用いた．座位にて被検者の頭部を回転椅子のヘッドレストに，胸部，腹部，下肢を回転椅子にマジックベルトで固定した．被検者を回転軸中心にて回転刺激を与える中心性回転刺激と，被検者を回転軸中心から90cm 離して回転刺激を与える偏中心性回転刺激を用いた[6,7] (Figure 4)．刺激条件は周波数0.64Hz，総振幅10度，最大角加速度20deg/sec^{2}の振子様回転である．暗所，開眼で行い，周囲空間を意識させぬようまた覚醒度を保つために被検者に暗算を負荷した．前庭－動眼反射の利得は ENG で記録した眼球運動より急速相を除いた緩徐相成分の眼球偏位の頭部偏位に対する比で求めた．偏中心性回転刺激による利得から中心性回転刺激による利得を引くことにより，耳石－動眼反射の利得を求めた．

2）回転感覚の加齢変化

対象と方法は1）の(1)の半規管－動眼反射の加齢変化の場合と同じである．暗所での30秒間のランダムな44回の角加速度の正負転換中に，被検者が速度変化を認知した回数をカウントさせた．覚醒と集中力を維持するために被検者に実験内容を十分に説明した後に直ちに刺激を行った．44回の角加速度方向転換回数に対する認知した速度変化回数の比率を速度変化の認知率とした．同時に前庭－動眼反射の利得と速度変化の認知率の間の相関も検討した．

3）前庭－動眼反射に対する被検者の空間認知による影響の加齢変化

対象と方法は1）の(2)の耳石－動眼反射の加齢変化の場合と同じである．被検者に以下のような指示を与えることにより，被検者の自己と空間との相対的位置関係(空間認知)を想定させた．

1：眼前60cm の地上に固定した近位視標を想定し回転中注視し続けた場合(imaginary stationary near target)

2：眼前6m の地上に固定した遠位視標を想定し回転中注視し続けた場合(imaginary stationary far target)

被検者に実験内容を十分に説明し，視標を想定しやすいように現実視標として10w の赤色電球を暗所で約10秒間注視させ，その後消灯し想定視標とした．暗算負荷は行わず，回転中，想定視標を注視するよう努力させた．刺激時間は覚醒と集中力を保つために10～20秒とした．

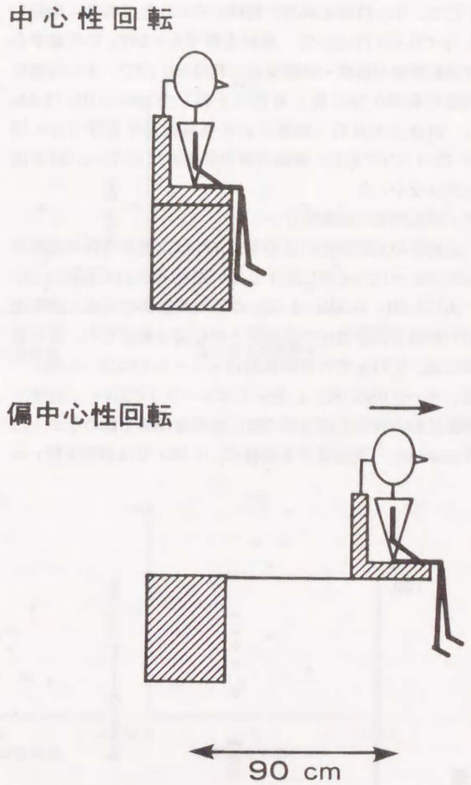

Figure 4. Position of rotatory chair in centric and eccentric rotation

結　果

1）前庭－動眼反射の加齢変化

(1) 半規管－動眼反射の加齢変化

0.6Hz，0.8Hz，1.0Hz の各周波数別の前庭－動眼反射の利得を Table 1に示す．若年者群の前庭－動眼反射の利得は，0.6Hz で0.33，0.8Hz で0.23，1.0Hz で0.45であった．高齢者の前庭－動眼反射の利得は0.6Hz で0.35，0.8Hz で0.25，1.0Hz で0.49であり，若年者群と高齢者群の間に有意な差を認めなかった．

(2) 耳石－動眼反射の加齢変化

周囲空間を意識しない暗算負荷時，若年者群では0.64Hz での偏中心性回転刺激の前庭－動眼反射の利得は

0.73で，中心性回転刺激の利得0.57に比して有意に増加した($p<0.01$)(Table 2)．高齢者群でも0.64Hzでの偏中心性回転刺激の前庭－動眼反射の利得は0.72で，中心性回転刺激の利得0.58に比し有意に上昇した($p<0.01$)(Table 3)．計算上の耳石－動眼反射の利得は若年者群では0.16(0.73-0.57)であり，高齢者群の利得0.14(0.72-0.58)と比べ差はなかった．

2）回転感覚の加齢変化

高齢者の速度変化の認知率51.6%は，若年者群の認知率は82.8%と比べ有意に低下していた($p<0.01$)(Figure 5)．

次に0.6Hz，0.8Hz，1.0Hzの各周波数別の前庭－動眼反射の利得と速度変化の認知率との相関を検討した．若年者群では，0.6Hzでの相関係数は$r=-0.126201$，0.8Hzでは$r=-0.0867782$，1.0Hzでは$r=0.350568$と，前庭－動眼反射の利得と認知率の間に有意な相関を認めなかった(Figure 6a)．高齢者でも同様に，0.6Hzでは相関係数$r=$

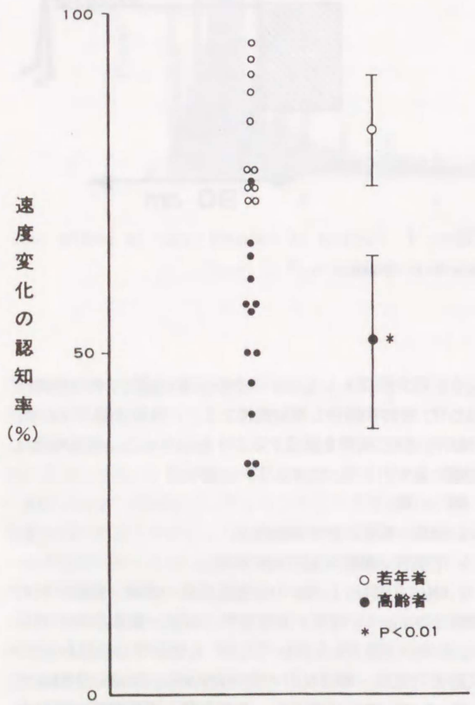

Figure 5. Mean value and ±1 SD and each one's plotts of recognition rate of velocity change in young individuals and elderly individuals
○: young individuals ●: elderly individuals

Table 1. Comparison of mean value and ±1SD of VOR gain at pseudorandom acceleration rotation test between young individuals and elderly individuals

	Frequency (Hz)		
	0.6	0.8	1.0
若年者 (n=11)	0.33±0.14	0.23±0.14	0.45±0.16
高齢者 (n=14)	0.35±0.12	0.25±0.11	0.49±0.27

Mean±S.D.

Table 2. Mean value and ±1 SD of VOR gain of young individuals at centric and eccentric rotation during in mental arythmetic, during fixating imaginary stationary near target and during fixating imaginary stationary far target in the dark
* $p<0.01$, ** $p<0.05$

	VOR gain (0.64Hz)	
	中心性回転	偏中心性回転
暗算負荷時	0.57±0.11	0.73±0.13
近位視標想定時	0.96±0.12	1.21±0.14
遠位視標想定時	0.95±0.12	1.07±0.11

n=10 Mean±S.D. * P<0.01 ** P<0.05

Table 3. Mean value and ±1SD of VOR gain of elderly individuals at centric and at eccentric rotation during in mental arythmetic, during fixating imaginary stationary near target and during fixating imaginary stationary far target in the dark * $p<0.01$

	VOR gain (0.64Hz)	
	中心性回転	偏中心性回転
暗算負荷時	0.58±0.10	0.72±0.10
近位視標想定時	0.86±0.11	1.05±0.20
遠位視標想定時	0.82±0.10	0.87±0.07

n=7 Mean±S.D.
* P<0.01

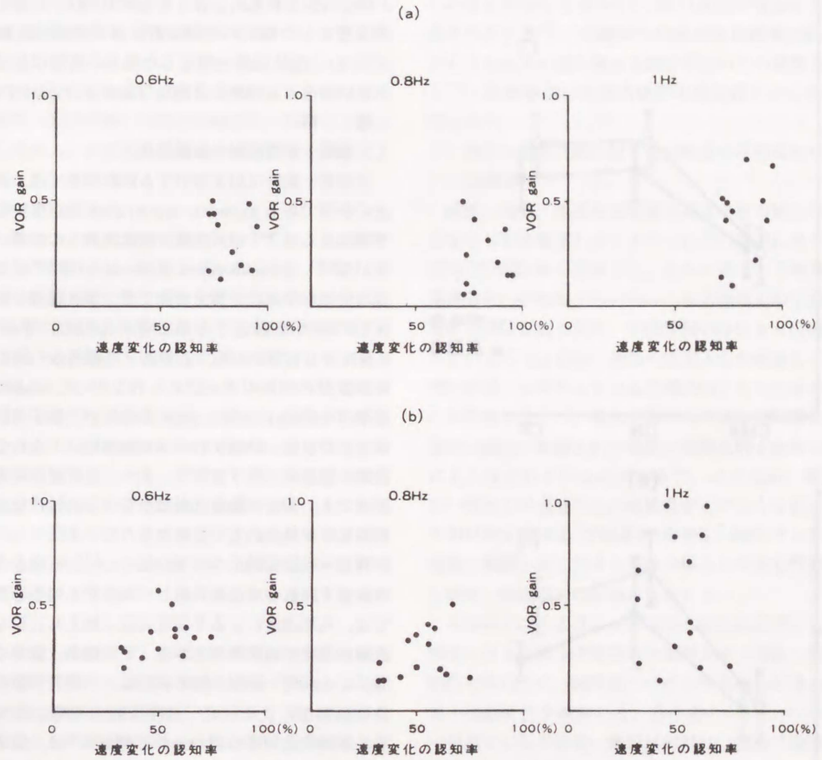

Figure 6 a, b.
(a) Correlation between recogintion rate of velocity change and VOR gain in young individuals
No correlation was found between recogintion rate of velocity change and VOR gain at 0.6, 0.8 and 1.0Hz
(b) Correlation between recogintion rate of velocity change and VOR gain in elderly individuals
No correlation was found between recogintion rate of velocity change and VOR gain at 0.6, 0.8 and 1.0Hz

0.348751，0.8Hzでは$r=0.325274$，1.0Hzでは$r=0.0483658$と有意な相関を認めなかった(Figure 6b)．

3）前庭－動眼反射に対する被検者の空間認知による影響の加齢変化

若年者群では，0.64Hzの中心性回転刺激による前庭－動眼反射の利得は，周囲空間を意識しない暗算負荷時の0.57に対し，近位および遠位視標を想定した場合にはそれぞれ0.96，0.95と有意に上昇し($p<0.01$)，想定する視標との距離にかかわらず1に近い値をとった(Table 2)(Figure 7a)．高齢者群でも，中心性回転刺激による前庭－動眼反射の利得は，周囲空間を意識しない暗算負荷時の0.58に対し，近位および遠位視標を想定した場合にはそれぞれ0.87，0.82と有意に上昇した($p<0.01$)．しかし，遠位視標を想定した場合の利得は若年者群と比べ有意に低く($p<0.01$)，近位視標を想定した場合の利得は若年者群と比べ低い値をとる傾向を認めた(Table 3)(Figure 7a)．

若年者群では，0.64Hzの偏中心性回転刺激による前庭－動眼反射の利得は，周囲空間を意識しない暗算負荷時の0.72に対し近位および遠位視標を想定した場合にはそれぞれ1.21，1.07と有意に上昇した($p<0.01$)．近位視標を想定した場合でも遠位視標を想定した場合でも利得は共に1を越え，また，近位視標想定時の利得が遠位視標想定時の利得と比べ有意に大きかった($p<0.05$)(Table 2)(Figure 7b)．高齢者群でも，偏中心性回転刺激による前庭－動眼反射の利得は，周囲空間を意識しない暗算負荷時の0.72に対し近位および遠位視標を想定した場合にはそれぞれ

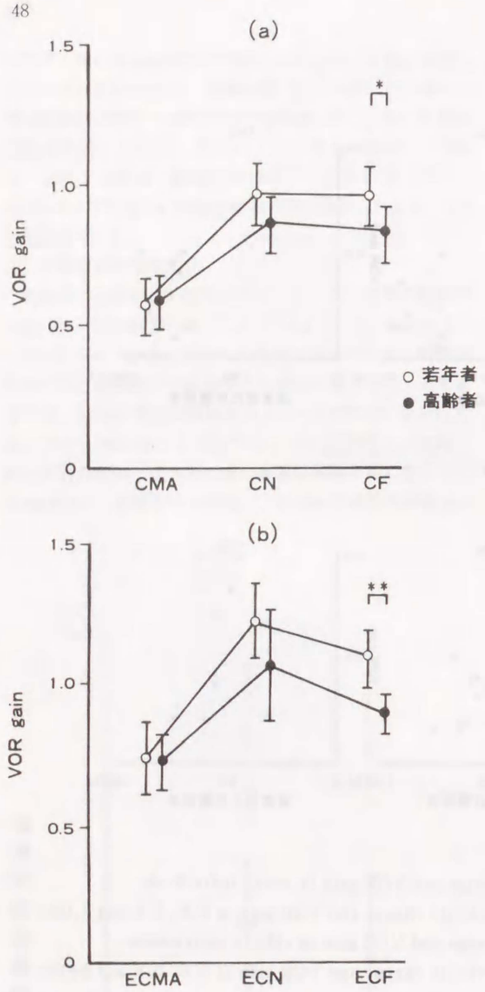

FIgure 7 a, b.
(a) Mean value ±1SD of VOR gain at centric rotation CMA ; during in mental arythmetic at centric rotation in the dark, CN ; during fixating imaginary stationary near target at centric rotation in the dark, CF ; during fixating imaginary stationary far target at centric rotation in the dark
(b) Mean value ±1SD of VOR gain at eccentric rotation ECMA ; during in mental arythmetic at eccentric rotation in the dark, ECN ; during fixating imaginary stationary near target at eccentric rotation in the dark, ECF ; during fixating imaginary stationary far target at eccentric rotation in the dark
* $p<0.01$, ** $p<0.01$
○: young individuals ●: elderly individuals

1.05, 0.87と有意に上昇した($p<0.01$). しかし, 遠位視標を想定した場合の利得は若年者群と比べ有意に低く($p<0.01$), 近位視標を想定した場合の利得は若年者群と比べ低い値をとる傾向を認めた(Table 3, Figure 7b).

考　察

1) 前庭－動眼反射の加齢変化

半規管－動眼反射を検討する回転検査では, 通常, 正弦波の刺激である harmonic acceleration 法が用いられるが, 予測による高次中枢の前庭－動眼反射への影響が推定されている[8,9]. pseudorandom acceleration 法[5,9]はこのような高次中枢の予測の影響を排除でき, より純粋な前庭－動眼反射の利得を測定できると考えられる. 本研究では, 0.6Hz から1.0Hz の間で若年者と高齢者との間に半規管－動眼反射の利得の差は認められなかった(Table 1). この結果は harmonic acceleration 法を用いた振子用回転検査で測定した前庭－動眼反射では加齢変化はみられないとする従来の報告と一致する[8,10]. また, 温度眼振検査を用いた研究でも, 前庭－動眼反射はかなりの高齢にならないと加齢の影響は見られないと報告されている[8].

耳石－動眼反射については偏中心性回転検査を用いた. 被検者を回転の中心から離して刺激する偏中心性回転刺激では, 角加速度による半規管刺激に加え耳石器を刺激する直線加速度が被検者が加わる. その結果, 偏中心性回転刺激による前庭－動眼反射の利得は, 半規管刺激のみの中心性回転刺激による前庭－動眼反射の利得と比べて増大する. 本研究と同様の刺激条件で肥塚ら[6]は, 健常成人において0.01Hz から0.16Hz の低周波数帯では利得の差はなく, 高周波数の0.64Hz で偏中心性回転刺激による前庭－動眼反射の利得が中心性回転刺激による利得と比べて有意に増大することを報告している. これは, 高い周波数での偏中心性回転刺激により, より大きな接線加速度が生じて耳石器, 特に卵形嚢を刺激し, 耳石－動眼反射による水平性の眼球運動が半規管－動眼反射による代償性眼球運動に加わり, 前庭－動眼反射の利得が増大するとしている. また, 武田ら[11]はリス猿を用いた1.0Hz の偏中心性回転検査で観察される前庭－動眼反射の利得の増大が両側の耳石器の選択的破壊により消失することを報告し, 偏中心性回転検査が耳石器機能検査として用いられる可能性を示唆している. 本実験では, 0.64Hz の中心性回転検査による半規管－動眼反射の利得は若年者では0.57, 高齢者では0.58と差がなく, pseudorandom acceleration 法による結果と一致した. また, 若年者, 高齢者ともに偏中心性回転刺激による前庭－動眼反射の利得が中心性回転刺激による利得と比べて有意に増大し, 耳石－動眼反射の機能にも差がないものと考えられる. さらに, 偏中心性回転刺激の利得から中心性回転刺激の利得を引いた計算上の耳石器－動眼反射の利得でも若年者群と高齢者群との間に差はなかった(Table 2, 3).

前庭－動眼反射は半規管や耳石器の内耳前庭受容器から前庭神経核, 動眼神経核, 外転神経核などを介して外眼筋に至る反射弓で構成されている. それゆえ, 前庭－動眼反射は純粋に内耳前庭受容器の機能を反映しているわけではないが, 前庭－動眼反射の利得に加齢変化が見られなかった本研究結果から, 内耳前庭受容器の加齢による機能低下は認められないと考えられる.

2) 回転感覚の加齢変化

受動的回転により被検者の頭部が回転すると, 角加速度により半規管が刺激され, 脳幹レベルでの前庭－動眼反射により代償的眼球運動が起こると同時に回転感覚が知覚される. これは前庭情報が前庭神経核を経て中枢神経内で伝達, 処理され, 最終的に大脳皮質で回転感覚として知覚されたためである. すでに述べたように内耳前庭受容器および脳幹レベルでの前庭－動眼反射には加齢の影響が観察されなかったこと, pseudorandom acceleration 法では被検者の予測が排除できることから, 本研究での回転速度の変化の認知は前庭情報の求心性処理能力を反映していることになる. 高齢者では若年者と比べ速度変化の認知率が有意に低下しており(Figure 5), この結果は高齢者では前庭情報の求心性処理能力の低下ないしは遅延があるものと推定できる.

また若年者でも高齢者でも前庭－動眼反射の利得と速度変化の認知率との間には相関を認めなかった(Figure 6). このことは高齢者の速度変化の認知率の低下は, 内耳および脳幹よりもさらに高次中枢における前庭情報の処理の遅延があることを示唆している.

自己の運動感覚(ego-motion sensation)は, 視覚, 前庭, 体性感覚よりの情報から引き起こされる[12-14]. 日常生活の能動的運動では, 頭位や姿勢の変化に伴う前庭系, 視覚系, 体性感覚系からの感覚情報には一定のパターンが確立されており, 自己の空間における相対的位置関係(空間認知)が3次元の生体内座標軸として中枢神経内に記憶されている. 過去に経験している日常生活での能動運動では, 運動に伴って入力される感覚情報はパターンは記憶されている空間認知と一致し, 座標軸上でのプログラムされた運動が出力されて平衡は保たれる. このために回転感は意識されない[2]. ところが, 受動運動では座標軸の移動をきたし受動的回転感覚を生じる[15]. 高齢者ではこのような感覚情報の統合, 処理, 記憶の過程での機能低下あるいは伝達, 処理の遅延があるものと推定される.

回転感覚を知覚する大脳皮質野は皮質前庭野と呼ばれている. サルの前庭神経を刺激すると側頭頭頂連合野の吻側にある2V 野や中心溝の深部, 運動皮質と感覚皮質の移行部にある3a 野で誘発電位が記録される[16]. ヒトでは, Penfield が人の大脳皮質に電気刺激を行った研究で聴覚中枢に近い頭頂葉(Broadman 分類で41野の隣)に回転感を誘発できる部位があるという[17]. また, カロリー刺激によりめまいをおこさせると2V 野の血流が増加することが報告されている[18]. 高齢者では温度眼振検査で眼振が解発されてもめまい感を訴える割合が低いとの荻野らの報告から[19], 高齢者では皮質前庭野の機能低下が存在する可能性もある.

3) 前庭－動眼反射に対する被検者の空間認知による影響の加齢変化

前庭, 視覚, 深部知覚情報は高次中枢で統合され, 運動感覚として知覚されるとともに自己の空間に対する位置の認知(空間認知)が形成され, それに基づいて眼運動系, 脊髄運動系への修飾が行われる. 日常動作での平衡は決して前庭－動眼反射や前庭－脊髄反射のみにより反射的に保たれているのではない. 複数の感覚入力を統合して中枢神経内に形成, 記憶されている空間認知としての3次元の生体内座標軸をもとに, 高次中枢からの遠心性制御を介して予測的に前庭－動眼反射や前庭－脊髄反射が修飾されることにより保たれているのである[15]. そのため, 視覚情報のない暗所での実験では, 被検者がどのような自己と空間との相対的位置関係(空間認知)を想定(選択)するかにより, 前庭－動眼反射に対する高次中枢からの遠心性制御が変化し前庭－動眼反射の利得が変化する.

本実験では中心性および偏中心性回転検査において, 被検者にさまざまな空間認知を選択させて前庭－動眼反射の利得を変化させ, 前庭系への高次中枢からの遠心性制御機能の加齢変化を検討した. 若年者の0.64Hz の中心性回転に刺激による半規管－動眼反射では, 暗所で周囲の空間を意識しない純粋な反射のみの利得は0.57であった. しかし, 暗所で地上に静止した近位あるいは遠位視標を固視するように想定すると利得は上昇してともに1に近い値をとった(Table 2). 中心性回転では, 明所で近位あるいは遠位視標を固視するための眼の動きは視標との距離によらず一定で, 利得が1になる必要があり, たとえ視覚入力がなくとも高次中枢によるおそらく脳幹レベルでの遠心性制御により利得を高めたものと考えられる. ところが, Table 2には示さないが, 暗所での中心性回転刺激中に被検者に頭部に固定した近位視標を固視するように想定させると, 逆に利得は0.38に著明に低下した. 明所で中心性回転中に固定した視標を固視するためには利得は0, すなわち半規管－動眼反射は完全に抑制される. これは固視による前庭－動眼反射の抑制(visual suppression)と呼ばれ, 視覚情報が主に小脳を介して前庭機能に影響するためである. しかし, たとえ視覚入力がなくても, 半規管－動眼反射の抑制が必要な空間認知を被検者が選択すれば高次中枢による遠心性制御により利得を下げることができるものと考えられる.

同様の高次中枢からの遠心性制御が耳石－動眼反射にもある. 若年者の0.64Hz の偏中心性回転刺激による前庭－動眼反射では, 暗所で周囲の空間を意識しない純粋な反射のみの利得は0.73であった. 中心性回転刺激の利得と比し

偏中心性回転刺激で利得が増加するのは，すでに述べたように耳石－動眼反射により誘発された水平性眼球運動が半規管－動眼反射により誘発された代償的眼球運動に加算されるためである．ところが，暗所で地上に静止した遠位視標を想定し固視するようにすると利得は上昇して１を越え，近位視標を想定し固視するようにすると利得はさらに増大した(Table 2)．偏中心性回転では，明所で遠位視標を固視するためには，本実験条件では計算上利得が1.15になる必要があり，近位視標を固視するためにはさらに大きな眼の動きが必要である．視覚入力がない条件下でも近位あるいは遠位視標を想定することにより遠心性制御の賦活化され半規管－動眼反射は利得が１に近づく．さらに利得が１を越えて上昇することから耳石－動眼反射にも同様に空間認知である座標軸に基づいて利得を調節する遠心性制御機構が存在するものと考えられる．

半規管－動眼反射や耳石－動眼反射が随意的に(voluntary) mental set や frame of references の選択により影響を受けることがさまざまな実験系で報告されている[20-26]．

高齢者では，すでに述べたように，暗所で周囲の空間を意識しない場合の純粋な反射では中心性および偏中心性回転刺激による前庭－動眼反射の利得は若年者と比べ差がなかった．しかし，0.64Hz の中心性回転刺激による半規管－動眼反射では，暗所で地上に静止した近位あるいは遠位視標を固視するように想定すると利得は上昇するものの若年者と比べ低く，１を下回る値をとった(Table 3, Figure 7a)．0.64Hz の偏中心性回転刺激による前庭－動眼反射でも，暗所で地上に静止した遠位視標を固視するように想定すると利得は上昇し，近位視標を固視するように想定すると利得はさらに増大したものの，若年者と比べて利得は低く１を大きく越える値をとらなかった(Table 3) (Figure 7b)．このことから，高齢者では，半規管－動眼反射，耳石－動眼反射そのものの機能低下はほとんど認められないが，高次中枢が空間認知である座標軸に基づいて前庭－動眼反射を調節する遠心性制御機構の機能低下があるものと考えられる．

4）感覚機能の加齢について

特殊感覚の視覚，聴覚における加齢について言及すると，視覚系では角膜，硝子体などの光学系の加齢変化は60～90歳にみられる指数関数的な視覚能力の低下の一部にしかすぎないとされており[27]，視覚誘発電位，事象関連電位などの潜伏時間，振幅等の加齢変化から，中枢視覚情報処理の減少が主な原因とされている[27,29]．聴覚系においても加齢現象が聴覚系全てにみられる．聴覚受容器の伝音系，内耳と，聴覚伝導路，聴中枢の全ての段階で加齢現象が見られる．高齢者の聴力の高音域の聴力低下はおもに内耳の内リンパ液の変化，コルチ器の退行変性，基底板，血管条の萎縮などによる内耳の加齢が原因とされている．さらに高齢者は歪語弁別能力，両耳合成能，方向感弁別能などの低下がみられ，また聴性脳幹誘発電位反応(auditory brainstem response, ABR)におけるⅠからⅦ波の頂点潜時は加齢にともない延長するとされている[29]．これらは中枢聴覚伝導路の障害を示唆するものと考えられる．最近では，老人性難聴は後迷路性難聴が主因であり，中枢聴覚伝導路と聴中枢の機能障害が老人性難聴の原因と考えられている[28,29]．回転感覚や空間認知においては前述したように，視覚や聴覚に見られるような，中枢における情報処理の遅延が，受容器の解剖学的変化，神経伝導速度の低下による前庭情報の入力の低下よりも，前庭情報の求心性処理能力の低下や空間認知による遠心制御能力の低下の主因となっていると考えられる．

まとめ

1．pseudorandom acceleration 法を用いて検討した半規管－動眼反射の利得と中心性および偏中心性回転刺激における利得を比較する方法を用いて検討した耳石－動眼反射の利得には若年者と高齢者の間に差はなく，内耳前庭受容器の老化による機能低下は認められなかった．

2．pseudorandom acceleration 法による回転時の回転速度の変化の認知率を検討すると，高齢者では若年者と比べ速度変化の認知率が有意に低下していた．高齢者では前庭情報の求心性処理能力の低下ないしは遅延があるものと考えられた．

3．中心性および偏中心性回転検査において，被検者にさまざまな空間認知を選択させて前庭－動眼反射の利得を変化させ，前庭系への高次中枢からの遠心性制御機能の加齢変化を検討した．中心性および偏中心性回転刺激時に暗所で地上に静止した近位あるいは遠位視標を想定し固視するようにさせると，高齢者では前庭－動眼反射の利得が上昇するものの若年者と比べ低い値であった．高齢者では高次中枢が空間認知である座標軸に基づいて前庭－動眼反射を調節する遠心性制御機構の機能低下があるものと考えられた．

稿を終えるにあたり御指導，ご校閲いただきました大阪大学医学部耳鼻咽喉科教室松永亨教授に深く感謝します．また直接御指導いただきました武田憲昭先生，肥塚泉先生，ご協力いただきました教室諸先生方に謝意を表します．

本論文の一部は，第１回耳鼻咽喉科と老化の研究会(東京)，第２回耳鼻咽喉科と老化の研究会(東京)，第３回耳鼻咽喉科と老化の研究会(東京)，第49回日本平衡神経科学会(大宮)，第50回日本平衡神経科学会(横浜)，第１回小児と高齢者の平衡の研究会(大阪)にて発表した．

文　献

1）神田健朗．運動調節系の加齢変化．朝長正徳，佐藤昭夫編．脳・神経系のエイジング．東京　朝倉書店，1989：107-123．

2）武田憲昭．講座　症候の生化学(18)めまい．代謝 vol．29：49-57．

3）松永亨．老人の前庭機能　病態．耳鼻咽喉科・頭頚部外科 MOOK No．12，46-55，1989．

4）肥塚泉，武田憲昭，荻野仁，久保武，松永亨．総合的平衡機能の検査装置(MVM-C2)による前庭機能異常患者の評価．Equilibrium Res Suppl 2：92-98，1987．

5）Wall C，Black FO，O' Leary DP．Clinical use of pseudorandom binary sequence white noise in assessment of the human vestibulo-ocular system．Ann Otol Rhinol Laryngol Suppl：861-868，1984．

6）肥塚泉，武田憲昭，荻野仁，久保武，松永亨．総合的平衡機能の検査装置(MVM-C2)による Centric 及び Eccentric VOR 検査．Equilibrium Res Suppl 4：63-67，1988．

7）肥塚泉，佐藤信次，武田憲昭，荻野仁，久保武，松永亨．Centric 及び Eccentric VOR 検査による前庭機能異常患者の評価．Equilibrium Res Suppl 5：143-146．

8）Peterka R．J，Black F．O，Schoenhoff M．B．Age-related changes in human vestibulo-ocular reflexes：sinusoidal rotation and caloric tests．Journal of Vestibular Research，Vol．1，49-59，1990．

9）Peterka R．J，Black F．O，Schoenhoff M．B．Age-related changes in human vestibulo-ocular and optokinetic reflexes：pseudorandom rotation tests．Journal of Vestibular Research，Vol．1，61-71，1990．

10）徳増．老人の前庭機能　病態．耳鼻咽喉科・頭頚部外科 MOOK No．12，56-64，1989．

11）Noriaki Takeda，Makoto Igarashi，Izumi Koizuka，Se-Yong Che，Toru Matunaga．Effects of otolith stimulation in eccentric rotation on the vestibulo-ocular reflex in squirrel monkeys．Acta Otolaryngol (Stockh) Suppl．481：27-30，1991．

12）Dichgans J，Brandt T．Visual-vestibular interaction：Effects on self-motion perception and postural control．In：Held R，Leibowitz H，Teuber HL，eds．Handbook of Sensory Physiology．New York：Springer-Verlag；1978：755-804．

13）Lackner JR．Some mechanisms underlying sensory and postural stability in man．In：Held R，Leibowitz H，Teuber HL，eds．Hand book of Sensory Physiology．New York：Springer Verlag；1978：805-844．

14）Brandt T，Buchele W，Arnold F．Arthrokinetic nystagmus and ego-motion sensation．Exp Brain Res．30：331-338，1977．

15）高橋政紘，岡田行弘，斉藤晶，武井泰彦，神崎仁他．生体内座標軸理論．日本耳鼻咽喉科学会会報 vol 94，2：161-169，1991．

16）内野善生．平衡覚の中枢機能．新生理学体系９，医学書院，449-458，1989．

17）Penfield W．Vestibular sensation and the cerebral cortex．Ann Otol 66：691-698，1956．

18）Friberg L et al．Focal increase of blood flow in the cerebral cortex of man during vestibular stimulation，Brain 108：609-623，1985．

19）荻野仁，島田久美．温度眼振の最大緩徐相速度とめまい感との関係について．第51回日本平衡神経科学会総会予稿集．168，1992．

20）笠井健．頭部回転運動時および直線運動時における補償性眼球運動．神経進歩27巻６号：886-893，1983．

21）Robert W．Baloh，Kim Lyerly，Robert D．Yee，Vicente Honrubia．Voluntary control of the human vestibulo-ocular reflex．Acta Otolareyngol (Stockh) 1984：97：1-6．

22）Birgitta Larsby，Dag Hydén，Lars M．Ödkvist．Gain and phase characteristics of compensatory eye movements in light and darkness．Acta Otolaryngol．(Stockh) 97：223-232，1984．

23）Claes Möller，Val White，Lars M．Ödkvist．Plasticity of compensatory eye movements in rotatory tests．Acta Otolaryngol．(Stockh) 109：168-178，1990．

24）Michael A．Grestry，Adolfo M．Bronstein．Otolith stimulation evokes compensatory reflex eye movements of high velocity when linear motion of the head is combined with concurrent angular motion．Neuroscience Letters，65：149-154，1986．

25）Skipper J．J．and Barnes G．R．Eye movements induced by linear acceleration are modified by visualization of imaginary targets．Acta Otolaryngol (Stockh) Suppl．468：289-293，1989．

26）Barr C．C，Schltheis L．W，Robinson D．A．Voluntary，non-visual control of human vestibulo-ocular reflex：Acta Otolareyngol (Stockh) 81：365-375，1976．

27）J M Ordy and K R Brizze．Sensory systems and communication in the elderly (Aging Vol．10)．Raven Press，New York，13-50，1979．

28）川端五十鈴．聴力の年齢変化　病因と病理．耳鼻咽喉科・頭頚部外科 MOOK No．12，1-10，1989．

29）鈴木はる江．感覚機能の加齢変化，朝長正徳，佐藤昭夫編．脳・神経系のエイジング．東京　朝倉書店，1989：135-145．

抄　録

高齢者の平衡機能を検討する目的で以下の３点に付き若年者と高齢者で検討を行った．１．pseudorandom acceleration 法及び中心性，偏中心性回転刺激による前庭－動

眼反射の利得では加齢の影響は認められなかった．2．pseudorandom acceleration 法による回転刺激での回転速度の認知率の比較で高齢者では若年者に比し有意に低下していた．3．中心性，偏中心性回転刺激において被検者に暗所下で近位，及び遠位の静止視標を想定し固視させると，高齢者の前庭－動眼反射は暗算負荷時より上昇したが若年者に比して低い値であった．以上より高齢者では前庭情報の中枢処理機能の低下および中枢による前庭動眼反射の遠心性制御機構の機能低下が考えられた．