原 著

体性感覚入力が耳石一眼反射に及ぼす影響

宮本 康裕・三上 公志・鈴木 一輝・深澤 雅彦
肥塚 泉

Somatosensory induced adaptation in the human otolith-ocular reflex

Yasuhiro Miyamoto, Koshi Mikami, Kazuteru Suzuki,
Masahiko Fukasawa, Izumi Koizuka

Department of Otolaryngology, St. Marianna University School of Medicine

The vestibulo-ocular reflex (VOR) generates smooth eye movements that compensate for head movements to ensure gaze stabilization during head rotation. The VOR is under adaptive control and corrects VOR performance when visual-vestibular mismatch arises during head movement. During normal visual-vestibular interaction, cooperation between the VOR and vision results in stabilization of the retinal image. Adaptive VOR recalibration occurs when visual-vestibular mismatch arises through the manipulation of visual feedback during head movement. In consideration of how important VOR is in stabilizing gaze, it could be predicted that when VOR is lost, patients would be severely disabled by retinal image movement due to head movement. The vestibular center uses substitutes such as visual and somatosensory information to compensate for lost vestibular signals. In the present study, to investigate the contribution of somatosensory signals to VOR, especially the otolith-ocular reflex (OOR), we examined the plasticity of the OOR using vestibular-somatosensory interaction and the effect of the adaptive plasticity of the OOR by somatosensory stimulation using alternative pressure stimulation on the outer side of the bilateral upper arms for 20 seconds. To study the influence of somatosensory input on the otolith-ocular reflex, we used sinusoidal off-vertical axis rotation at a tilt angle of 30 degrees. Subjects were rotated with their eyes open in complete darkness at frequencies of 0.32 Hz with a maximum angular velocity of 60 o/s. Results showed a significant gain decrement in EVAR after somatosensory adaptive stimulation, whereas gain change was not significantly different in OVAR. We suggest that somatosensory input had an additive effect on the otolith-ocular reflex in this study. This result could be applied to vestibular rehabilitation using somatosensory input.

Key words: otolith ocular reflex, plasticity, somatosensory input, neural storage, velocity storage mechanism

緒 言

一側前庭機能が急激に低下すると、激しいめまいや平衡障害が出現する（めまい急性期）。めまい急性期の治療は、心身の安静、鎮暈薬や制吐薬などの薬物による対症療法が主体となる。急性期を脱しても通常の代償過程と比較してめまいや平衡障害の程度が強い、あるいは改善が遅れている症例には前庭訓練（めまいリハビリテーション）が適応となる。一側障害例に対して行われる前庭訓練は、前庭系からの入力低下により生じた前庭入力と視覚入力との乖離を、前庭代償によって是正することを目的としている。両側障害例に対して行われる前庭訓練は、極度に低下あるいは欠落した前庭入力を、視覚情報や体性感覚情報など、他の感覚情報での代替えが可能な状態にすることを目的としている。いずれも、視覚入力が重要な役割を果たしているが、視覚系は加齢とともに劣化することより、高齢者においては前庭訓練の治療効果に限界が生じる可能性が示唆される。また視覚障害も同時に有する患者に対しては、その適用自体が不可能となってしまう。我々は先行研究において、体性感覚刺激が半規管-眼反射に可塑性を引き起こすことを報告した¹⁾。本研究では体性感覚入力が、前庭-眼反射を構成するもうひとつの要素である耳石-眼反射に対する影響について検討を加えた。

対 象

めまいや難聴などの神経耳科学的疾患の既往を有さない、21歳から36歳（平均28.7歳）の健康被験者16名（男性13名、女性3名）を対象とした。被験者には実験の内容について十分に説明を行い、文書による承諾を得たうえで実験を施行した。なお本研究は、聖マリアンナ医科大学倫理規程審査委員会の承認を得て行なわれた（承認番号1147）。

方 法

1) 刺激条件、解析方法

回転刺激には、聖マリアンナ医科大学に設置してある回転椅子（FVV-3000 A、第一医科器械）を用いた。回転様式は振子様回転刺激を用いた。周波数は0.32 Hz、最大角速度は60度/秒、振幅60度で行った。回転椅子に傾斜を加えない状態で回転刺激を加える垂直軸回転（earth vertical axis rotation: EVAR）と、回転椅子に30度の傾斜を加

図1 回転刺激様式

- a 中心軸回転刺激（Earth Vertical Axis Rotation: EVAR）
b 偏中心軸回転刺激（Off-vertical Axis Rotation: OVAR）

えた状態で回転刺激を加える偏垂直軸回転（off-vertical axis rotation: OVAR）の2通りで刺激を加えた（図1）。OVARを行う際は図1 bに示すよう、nose-upの状態で行った。すべての検査は暗所開眼下で行い、回転刺激中の被験者の注視点については、特に指示は与えなかった。回転刺激中は被験者に暗算負荷を与えて覚醒を保った。また頻回に声をかけて、被験者の不安を取り除くよう心掛けた。眼球運動の記録には赤外線眼球運動記録装置（2D VOG-Video-Oculography, version 3.2, SensoMotoric Instruments）を用いた（サンプリング周波数60 Hz）。水平眼球運動について解析した。眼球および椅子の速度波形に対して、高速フーリエ変換（FFT）で周波数を特定し、眼球速度波形の絶対値と椅子の速度波形の絶対値の比より前庭-眼反射の利得を求めた。なお、FFTはハニング窓により切り出されたデータに対して行われ、切り出し窓長512点、窓のシフト幅30点（0.5秒）とした。これらの解析にはオリジナルコンピュータソフトを用いた。2群間の検定にはWilcoxonの符号順位検定、3群間の検定にはKruskal-Wallis検定を用いた。P<0.05を有意差ありとした。

2) 体性感覚触覚刺激装置

回転椅子に電磁式の体性感覚刺激装置を設置して刺激を加えた¹⁾（図2）。この装置は、被験者の

図2 体性感覚刺激装置

被験者の上腕外側に“コの字型”アームの先に設置した圧力子を軽く接触させ、これ全体を電磁石の力で被験者の左右方向に動かし、上腕外側に交互に疼痛を与えない程度の圧刺激を加えることができる。回転椅子の動きに同期して作動する。(文献¹⁾より引用)

上腕外側に“コの字型”アームの先に設置した圧力子を軽く接触させた後、これ全体を電磁石の力で被験者の左右方向に動かし、上腕外側に交互に疼痛を与えない程度の圧刺激を、回転椅子の動きに同期して加えることが可能である。本装置が被験者に疼痛や不快感などを与えないこと、安全性を確認したうえで実験に用いた。

3) 実験方法

被験者を回転椅子に座らせた後、5点式シートベルトを用いて体幹を回転椅子に固定した。外側半規管の平面が地表と平行になるように頭部を垂直位置から約30度前傾させた後、ヘッドバンドを用いて回転椅子のヘッドレストに固定した。目線30 cmの位置に置いたパネル状に上下左右方向にそれぞれ視角10度の位置を示す赤色のドットを注視させて、較正を行った。次にEVARとOVARを行い、前者を半規管-眼反射の“刺激前利得”、

図3 回転イスの運動と体性感覚刺激の関係（体性感覚同方向刺激）

図4 回転イスの運動と体性感覚刺激の関係（体性感覚逆方向刺激）

後者を半規管-眼反射+耳石-眼反射の“刺激前利得”とした。その後、①体性感覚同方向刺激、②体性感覚逆方向刺激、③体性感覚刺激を与えない状態、の3つの条件下で、回転刺激を加えた。それぞれの刺激終了直後、最小限度の明度のもとで再度較正を行った後、再度、EVARとOVARを

表 1 中心軸回転刺激 (earth vertical axis rotation: EVAR) の結果
半規管-眼反射の利得の変化を示す

	刺激前利得 (平均±S.D)	刺激後利得 (平均±S.D)	検定結果
同方向刺激	0.73±0.24	0.46±0.20	有意差あり (p=0.04)
逆方向刺激	0.67±0.25	0.30±0.14	有意差あり (p=0.04)
刺激なし	0.54±0.20	0.45±0.08	有意差なし (p=0.17)

注 「刺激なし」については、体性感覚刺激を与えない状態で回転刺激を20分間与えた前後の利得を示した。

表 2 偏中心軸回転刺激 (off-vertical axis rotation: OVAR) の結果
半規管-眼反射の利得と耳石-眼反射の利得の和の値となる

	刺激前利得 (平均±S.D)	刺激後利得 (平均±S.D)	検定結果
同方向刺激	0.69±0.44	0.53±0.28	有意差なし (p=0.69)
逆方向刺激	0.49±0.29	0.51±0.27	有意差なし (p=0.89)
刺激なし	0.52±0.19	0.46±0.17	有意差なし (p=0.60)

注 「刺激なし」については、体性感覚刺激を与えない状態で回転刺激を20分間与えた前後の利得を示した。

行い前者を、半規管-眼反射の“刺激後利得”，後者を半規管-眼反射+耳石-眼反射の“刺激後利得”とした。

①体性感覚同方向刺激

被験者5名を対象とした（男性4名，女性1名）。暗所開眼下で，回転椅子が被験者に対して右回りの際は右上腕部外側部に圧刺激を，左回りの際は左上腕部外側に圧刺激を加えながら周波数0.32 Hz，最大角速度は60度／秒で20分間，回転刺激を加えた（図3）。

②体性感覚逆方向刺激

被験者5名を対象とした（男性5名）。暗所開眼下で，回転椅子が被験者に対して右回りの際は左上腕部外側部に圧刺激を，左回りの際は右上腕部外側に圧刺激を加えながら周波数0.32 Hz，最大角速度は60度／秒で20分間，回転刺激を加えた（図4）。

③体性感覚刺激を与えない状態

前庭-眼反射には可塑性があることが知られている。視覚情報の変化や覚醒状態の違いによりその利得は大きく変動する。今回の研究では，20分間という長時間にわたって体性感覚刺激を与えながら連続して回転刺激を加えるため，覚醒状態の低下による前庭-眼反射の利得の変化が生じる可能性がある。そこで体性感覚刺激を加えず，暗所開眼の状態で回転刺激のみを20分間加えた前後の半規管-眼反射と耳石-眼反射の利得を，被験者6名(男性4名，女性2名)を対象として測定した。上腕部圧迫による体性感覚刺激を加えないことを除いては，体性感覚刺激時と全く同様の方法で行った。

結 果

表1に EVAR の結果，表2に OVAR の結果を示す。刺激前の EVAR の利得と OVAR の利得に

は、有意な差を認めなかった $\{p=0.50$ (体性感覚同方向刺激), $p=0.69$ (体性感覚逆方向刺激), $p=0.60$ (体性感覚刺激を与えない状態) $\}$ 。また、体性感覚同方向刺激、体性感覚逆方向刺激、体性感覚刺激を与えない状態の各群における刺激前の半規管-眼反射の利得にも、有意な差を認めなかった $\{p=0.29$ (EVAR), $p=0.72$ (OVAR) $\}$ 。

①体性感覚同方向刺激

体性感覚刺激を回転方向と同方向に体性感覚刺激を20分間加えると、EVARの利得の有意な低下を認めた ($p=0.04$)。一方、OVARの利得には有意な変化を認めなかった ($p=0.69$)。

②体性感覚逆方向刺激

体性感覚刺激を回転方向と逆方向に体性感覚刺激を20分間加えると、EVARの利得の有意な低下を認めた ($p=0.04$)。一方、OVARの利得には有意な変化を認めなかった ($p=0.89$)。

③体性感覚刺激を与えない状態

体性感覚刺激を与えない状態で回転刺激を20分間与えた前後のEVAR, OVAR共、利得に有意な変化を認めなかった $\{p=0.17$ (EVAR), $p=0.60$ (OVAR) $\}$ 。

考 察

一側前庭機能が急激に低下すると、激しいめまいや平衡障害が出現する (めまい急性期)。めまい急性期の治療は、心身の安静、鎮暈薬や制吐薬などの薬物による対症療法が主体となる。急性期を脱しても通常の代償過程と比較してめまいや平衡障害の程度が強い、あるいは改善が遅れている症例には前庭訓練 (めまいリハビリテーション) が適応となる。前庭訓練はこれまで、前庭代償を促進することを主目的に行われてきた。前庭代償の促進を目的にこれまでは主に、視覚入力を利用したものが施行されてきた。視覚系は加齢とともに劣化することより、高齢者においては治療効果に限界が生じる可能性が示唆される。また視覚障害も同時に有する患者に対しては、その適用自体が不可能となってしまう。我々は先行研究において、振子様回転刺激と体性感覚刺激を40分間同時に加えると、刺激後の半規管-眼反射の利得が低下することを報告した¹⁾。今回の研究では、体性感覚刺激の刺激時間を20分間に短縮して行ったが、40分間刺激の際と同様、半規管-眼反射の利得の有意な低下を認めた。半規管-眼反射の利得

は被験者の覚醒状態に強く依存することが知られている²⁾³⁾。以前我々が用いていた40分間の刺激では、単調な振子様刺激によって生じる覚醒状態の低下の影響を必ずしも無視することが出来なかった。今回の研究では、刺激時間を前回の半分である20分間にしても、同様の結果を得ることが出来た。上腕外側部に対する横方向の圧刺激による半規管-眼反射の抑制は、体性感覚刺激によるものであることを確認することが出来た。

逆転プリズム、あるいはレンズを装着して、視覚入力を変化させて振子様回転刺激などの前庭刺激を一定時間加えると、変化した視覚入力に適應するように半規管-眼反射の利得および位相が変化する。Melvill Jones ら⁴⁾⁵⁾ は、猫に逆転プリズムを装着して長時間にわたって視覚-前庭矛盾刺激を加えると、半規管-眼反射の利得は徐々に低下し、ついには眼振方向が逆転することを報告している。人においても同様に逆転プリズム、レンズ装着により半規管-眼反射の利得および位相が変化することが知られている^{6)~14)}。この現象は半規管-眼反射の適應現象と呼ばれており、その発現には、速度蓄積機構 (velocity storage mechanism: VSM) が強く関与している¹⁵⁾。半規管-眼反射の利得は、個体間あるいは同一個体内においても検査日の違い等で、大きく変動することが知られている。また被験者に眼前の壁に視標が固定されているという状況 (imaginary earth fixed target) を想定させて回転検査を行うと、暗所で検査を行っているにも関わらず、固定視標を想定せずに回転刺激を加えた時よりも利得は有意に上昇する。また想定視標が被験者の眼前に固定されており、被験者頭部の回転と共に動いているという状況 (imaginary head fixed target) を想定させて回転検査を行うと、反対に利得は低下することが知られている^{17)~19)}。つまり前庭-眼反射は、それ自身は open loop 系であるがゆえに、多種多様な因子による制御を受け、この制御にも適應現象と同じく、VSM が関与していると考えられている¹⁸⁾。またこれら多種多様な因子の一つとして、体性感覚入力も前庭-眼反射に大きく影響すると考えられる。視運動眼振の刺激に用いる回転ドラムの中に被験者を座らせて暗所下で、回転ドラムの内面に手のひらを接触させた状態で回転ドラムを回転させて、被験者が上腕を受動的に回転ドラ

ムと一緒に動かす行為を繰り返すと、視運動刺激や前庭刺激がないにも関わらず、上腕の回転方向と反対方向への急速相を有す眼振 (arthrokinetic nystagmus: AKN) が解発され同時に、yaw 方向の自己回転感が出現することが知られている²⁰⁾。我々はさらに、回転椅子の前方に床と天井の間で固定した棒を立てて、これを被験者片手に握らせた状態で振子様刺激を加えると、低周波数 (0.2 Hz) における半規管-眼反射の利得が有意に上昇することを報告している²¹⁾。また暗所下で、小半径の円形のトレッドミル上を歩行させると同様に、眼振 (apparent stepping around nystagmus: ASAN) が解発され、自己回転感も出現する²²⁾²³⁾。AKN および ASAN は刺激開始後数秒の潜時を有して解発され、その眼振緩除相速度は徐々に増大する傾向を示す。また刺激停止後は回転刺激後あるいは視運動刺激後に認められる回転後眼振や視運動後眼振と同様に後眼振が解発される。以上より、これら体性感覚刺激の半規管-眼反射への強い影響は、VSM が強く関与していると考えられている。

今回我々は、被験者の上腕外側部を左右方向に、交互に圧迫することによる体性感覚刺激が、耳石-眼反射の利得におよぼす影響について検討を加えた。体性感覚刺激を20分間加えながら回転刺激を加えると、EVAR の利得は体性感覚刺激の方向と関係なく有意な低下を認めた。一方、OVAR の利得には有意な変動を認めなかった。OVAR を振子様刺激で行うと被験者頭部には、回転角加速度と直線加速度が同時に加わるため、半規管-眼反射由来の眼振と耳石-眼反射由来の眼振とが重畳した眼振が解発される。回転椅子に傾斜を加えても、外側半規管に加わる回転角加速度は EVAR と同様なので、OVAR で解発される眼振のうち、半規管-眼反射によって解発される眼振は、EVAR で解発される眼振と理論上は同等と考えられる。体性感覚刺激を加えると、半規管-眼反射の利得を反映する EVAR の利得は低下したが、半規管-眼反射と耳石-眼反射両者の利得を反映する OVAR の利得には変化を認めなかったことより体性感覚刺激後、耳石-眼反射の利得は増加し、これによって EVAR の利得低下が相殺された結果、OVAR の利得自体は体性感覚刺激前後で差を認めなかったと考えられる。

AKN や ASAN は、被験者が実際に回転した場合や回転歩行をした場合、また視運動刺激を与えた場合と同様の特徴を有することから、情報の欠落を補う合目的な代償性眼振と考えられる。一方、今回我々が用いた体性感覚刺激は、被験者の体幹 (両肩) 左右方向の直線加速度に相当する刺激となるので、回転角加速度が適刺激である半規管-眼反射に対しては、非合目的な感覚情報として脳内で処理された結果、これを抑制する方向に可塑性が生じ、EVAR の利得は低下したと考えられる。一方、直線加速度が適刺激である耳石-眼反射には対しては、左右方向の体性感覚刺激は合目的な感覚情報として脳内で処理された結果、これを促進する方向に可塑性が生じ、OVAR における耳石-眼反射の利得増加が生じたと考えられる。今回の検討では前庭-眼反射の利得には総利得を用い、右回転時と左回転時のそれぞれの利得については検討を加えていない。圧刺激が右上腕に加わっている場合と左上腕に加わっている場合の影響が、左右方向どちらかの眼振にのみ及んだ可能性が示唆される。その結果、圧刺激の方向に関係なく総利得としてこれが増減したと思われる。左右方向それぞれの眼振に対する影響を、別個に検討することが今後必要と思われる。なお今回の検討では、回転刺激を加えるにあたっては最初に EVAR、次に OVAR という順序で行った。2つの異なる刺激を一定の順序で行うタスクにおいて、その順序を逆にすると異なった結果が得られることがあり、順序効果と呼ばれている。EVAR、OVAR の順で検査を行った場合、両者の利得に有意な差を認めないことを我々は報告している²⁴⁾。今回の測定も同様の順序で行い、EVAR の利得は低下、OVAR の利得は不変という結果を得た。つまり、今回の結果に対する順序効果の関与については、ほぼ無視できる程度であったのではないかと推察される。しかしながら、順序効果の関与を完全に否定することを目的に、検査の順序を入れ替えたパラダイムの検討も今後必要と考えられる。今回の検討では、体性感覚同方向刺激、体性感覚逆方向刺激、体性感覚を与えない状態の3つの刺激条件について、それぞれ別個の被験者を用いて検討を加えた。今後は同一被験者に対して、各々3つの刺激条件を付加する実験系を追加して、各被験者の個体差が結果に及ぼす影響を考慮

した検討も必要と考えられる。

今回我々は、耳石-眼反射の可塑性に、体性感覚入力がおよぼす影響について検討を加えた。その結果、体性感覚入力が半規管-眼反射のみならず耳石-眼反射の可塑性にも影響を与える可能性が示された。これまでの視覚入力を主体とした運動療法に加え、体性感覚など他の感覚入力を積極的に活用して行う運動療法の有用性が示唆される結果となった。

謝 辞

本研究の一部は、平成20年度科学研究費補助金(基盤研究(C) 課題番号20591994)の補助を受けた。

文 献

- 1) 三上公志, 鈴木一輝, 宮本康裕, 他: 体性感覚入力が半規管-眼反射に及ぼす影響. *Equilibrium Res* 68: 28-33, 2009
- 2) Matta FV, Enticott JC: The effects of state of alertness on the vestibulo-ocular reflex in normal subjects using the vestibular rotational chair. *J Vestib Res* 14: 387-391, 2004
- 3) Möller C, Odkvist L, White V, et al.: The plasticity of compensatory eye movements in rotatory tests. I. The effect of alertness and eye closure. *Acta Otolaryngol.* 109: 15-24, 1990
- 4) Melvill Jones G, Davis P: Adaptation of cat vestibulo-ocular reflex to 200 days of optically reversed vision. *Brain Res* 103: 551-554, 1976
- 5) Melvill Jones G, Davis P, Gonshor A: Long term effects of maintained vision reversal: Is vestibulo-ocular adaptation either necessary or sufficient? In ed Baker R, Berthoz A. *Control of gaze by brain stem neurons.* pp 59-68, Elsevier, Amsterdam, 1977
- 6) Demer JL, Porter FI, Goldberg J, et al.: Adaptation to telescopic spectacles: Vestibulo-ocular reflex plasticity. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 30: 159-170, 1989
- 7) Gauthier GM, Robinson DA: Adaptation of the human vestibuloocular reflex to magnifying lenses. *Brain Res* 92: 331-335, 1975
- 8) Paige GD, Sargent EW: Visually-induced adaptive plasticity in the human vestibulo-ocular reflex. *Exp Brain Res* 84: 25-34, 1991
- 9) Istl-Lenz Y, Hyden D, Schwartz DWF: Response of the human vestibulo-ocular reflex following long-term 2 X magnified visual input. *Exp Brain Res* 57: 448-455, 1985
- 10) Demer JL, Goldberg J, Jenkins HA, et al.: Vestibulo-ocular reflex during magnified vision: adaptation to reduce visual-vestibular conflict. *Aviat Space Environ Med* 58 Suppl : A 175-A 179, 1987
- 11) Gonshor A, Melvill Jones G: Short term adaptive changes in the human vestibulo-ocular reflex arc. *J Physiol* 256: 361-379, 1976
- 12) Collewijn H, Martins AJ, Steinman RM: Compensatory eye movements during active and passive head movements: fast adaptation to changes in visual magnification. *J Physiol* 340: 259-286, 1983
- 13) 清水元博: 左右逆転プリズム装着下の前庭動眼反射における適応現象の臨床的応用. *日耳鼻会報* 83 : 775-786, 1980
- 14) Yagi T, Shimizu M, Sekine S, et al.: A new neurotological test for detecting cerebellar dysfunction; Vestibulo-ocular reflex change with horizontal vision reversal prisms. *Ann Otol-Rhinol-Laryngol* 90: 276-280, 1981
- 15) Bello S, Paige GD, Highstein SM: The squirrel monkey vestibulo-ocular reflex and adaptive plasticity in yaw, pitch, and roll. *Exp Brain Res* 87: 57-66, 1991
- 16) Barr CC, Schuitheis LW, Robinson DA: Voluntary non-visual control of the human vestibulo-ocular reflex. *Acta Otolaryngol* 81: 365-375, 1976
- 17) Baloh BW, Lysterly K, Yee RD, et al.: Voluntary control of the human vestibuloocular reflex. *Acta Otolaryngol* 97: 1-6, 1984
- 18) Möller C, White V, Odkvist LM: Plasticity of compensatory eye movements in rotator tests. II. The effect of voluntary, visual, imaginary, auditory and proprioceptive mechanisms. *Acta Otolaryngol* 109: 168-178, 1990
- 19) Raphan T, Cohen B: Velocity storage and the

- ocular response to multidimensional vestibular stimuli. *Rev Oculomotor Res* 1: 123–143, 1985
- 20) Brandt T, Büchele W, Arnold F: Arthrokinetic nystagmus and ego-motion sensation. *Exp Brain Res* 30: 331–338, 1977
- 21) Sugita-Kitajima A, Koizuka I: Somatosensory input influences the vestibulo-ocular reflex. *Neurosci Lett* 463: 207–209, 2009
- 22) Bles W, Klören T, Büchele W, et al.: Somatosensory nystagmus: physiological and clinical aspects. *Adv Otorhinolaryng* 30: 30–33, 1983
- 23) Bles W, van der Heijde GL, Kotaka S, et al.: Some modeling aspects of nystagmus due to somatosensory-visual-vestibular interactions in stepping around. In ed Igarashi M, Black FO. *Vestibular and visual control of posture and locomotion equilibrium*. pp 38 – 42, Karger, Basel, 1985
- 24) Sugita-Kitajima A, Azuma M, Hattori K, et al.: Evaluation of the otolith function using sinusoidal off-vertical axis rotation in patients with benign paroxysmal positional vertigo. *Neurosci Lett* 422: 81–86, 2007
-
- 別刷請求先：宮本康裕