研 究

球形囊斑部分破壊後の眼運動に関する研究

米 田 敬

Eye Deviation and Compensatory Ocular Counterrolling after
Regional Destruction of the Sacculus by Laser Spot Irradiation

Takashi Yoneda

(Yamaguchi University)

Eye deviation and ocular counterrolling in guinea pigs after regional destruction of the sacculus by Laser spot irradiation was investigated qualitatively and quantitatively.

1. Eye deviation in normal head position: guinea pigs with destruction of 1/3 of the anterior portion of the sacculus, showed peculiar eye deviation even when the head position was normal; i.e. the eye on the side of destruction deviated downward and laterally, while the eye on the non-operated side deviated slightly laterally.
2. Eye position and counterrolling when the head and body were tilted showed two different patterns depending on the direction of the tilt. When the tilt was down towards the damaged side, the eye position appeared "fixed" and counterrolling was scarcely observed. However, counterrolling occurred when the tilt was towards the intact side in an "almost normal manner" or "increased counterrolling".
3. Follow-up observations for 3 weeks postoperatively showed that the abnormal eye deviation and ocular counterrolling subsided and gradually improved.

These results indicate that regional destruction of the sacculus disturbs fixation of the eyes and ocular counterrolling of the eye on the same side and then causes deviation of the contralateral eye. These results and the facts reported by other investigators suggest that the sacculus on the lower side during head-body tilt acts as the primary and leading factor in vestibulo-ocular reflexes.

Key words: sacculus, regional destruction, Laser spot irradiation, eye deviation, ocular counterrolling

目 次

I. 緒言

II. 研究方法

1. 実験動物

2. 実験手技

1) 眼位測定方法

2) 眼球反対回旋測定方法

3. 標本作製

1) Surface preparation 法

2) Hematoxylin Eosin 染色法

III. 研究成績

1. 正常モルモットにおける成績

1) 正頭位 (傾斜角 0 度) の眼位

2) 傾斜刺激による眼球反対回旋

2. 右側アブミ骨摘出群における成績

1) 正頭位 (傾斜角 0 度) の眼位

2) 傾斜刺激による眼球反対回旋

3. 右側球形囊斑部分的破壊群における成績

1) 正頭位 (傾斜角 0 度) の眼位

2) 傾斜刺激による眼球反対回旋

4. 経日的変化について

1) 正頭位 (傾斜角 0 度) 眼位の変化

2) 傾斜刺激による眼球反対回旋の変化

5. 組織学的検索

IV. 考按

1. 前庭迷路破壊法 (耳石器球形囊斑破壊法) に
ついて

2. 眼球偏位, 及び眼球反対回旋について

V. 結語

謝辞

参考文献

I. 緒 言

前庭は耳石系と半規管系よりなり, 特に眼球運動や身体の静的・動的運動では反射的に関与し, それらは前庭性眼反射, 前庭脊髓反射として知られる. 前庭性眼反射に関与する耳石機能の研究には, 傾斜刺激, 直線加速度刺激, 遠心性加速度刺激などが用いられる.

頭部傾斜刺激により誘発される眼球反対回旋については, 古く 1786 年 Hunter J¹⁾ が初めてその存在を報告し, それはその後, Magnus R²⁾ により, 代償性眼球偏位として報告され, 以後多くの研究がなされている. 我が国では, 星野, 長谷川ら³⁾ の研究があるが特に佐々木ら⁴⁾ は直線加速度刺激, 遠心性加速度刺激時の反応について詳細に報告している.

従来より前庭機能を知るための破壊実験には, 全迷路破壊によるものが多く, それぞれの耳石器官だけを障害した報告は少ない事, 1 つの耳石器官において, その部分的障害をおこさせることがなかなか困難である事, また, 臨床で問題になるのは, 動物実験と異なり, 一側の完全な破壊例は少なく, Macula の中の部分的障害例が, かなりあると考えられる事, また, 球形囊斑の部分的破壊による眼球偏位についての報告は見られない.

今回, 著者は, 耳石器, 特に球形囊斑で比較的に局限した破壊巣を作るために接触型 Nd-ヤグレーザーを用いた. すなわち, レーザースポット法により, モルモットの球形囊斑を部分的に破壊する方法を考按した.

また, 眼位を測定するにあたり, 球形囊斑に対しては, 左右側方傾斜刺激が適刺激となり, その際に出現する眼位, 及び眼球反対回旋を測定する事とした.

側方傾斜時, 眼球反対回旋における眼位の方
向には動物種差がある. すなわち, 人間や猿の
ような視軸が前方を向いている動物では眼球は
傾斜方向と反対方向に回旋し, 家兎, モルモ
ットのような視軸が側方を向いている動物では,
上下方向へ偏位することは従来よく知られてお
り, また, 体長軸, あるいは前頭面頭部傾斜に
て, 傾斜側眼球の外眼筋は, 上直筋と上斜筋,
反対側眼球の外眼筋は, 下直筋と下斜筋の組み
合わせにより, 眼球反対回旋が起こる^{5) 6) 7) 8)} と
いう点には, 留意しておかなければならない.

また, 従来より, 一側前庭障害をきたした場
合, 一定期間をすぎると代償機構が働いてくる
ことは良く知られているが, 実際にはその状態
が出現するか否かの確認も重要である.

よって以上より, 今回著者は, レーザースポ

ット法によりモルモットの球形囊斑を部分的に破壊し、術前・術後、および経日的に眼球偏位、並びに傾斜刺激により誘発される眼球反対回旋を観察し、耳石器、特に球形囊斑の機能につき、文献的考察を加え、報告した。

II. 研究方法

1. 実験動物

実験動物は、体重400～500 gの神経耳科学的に正常の黒目モルモットを用いた。

対象の群別は、正常群、右側アブミ骨摘出群（骨板摘群と略す）、右側球形囊斑部分的破壊群（破壊群と略す）の三群とした。

手術に際してはネンブタール 25～30mg/kg にて腹腔内注射麻酔した。右耳後部切開にてアプローチした。骨板摘群はアブミ骨摘出後は、骨ロウにて卵円窓の閉鎖を行ない作成した。破壊群は、アブミ骨摘出後、右側球形囊斑を顕微鏡下に明視し、Aloka 製接触型 Nd-ヤグレーザー治療装置 LMY-1001 を使用、チップ先端径が 0.3mm のものを作製し、出力 5 w、照射時間 0.1 秒にて右側球形囊斑前部 3 分の 1 の部分破壊術を施行したものとした（図1）。

2. 実験手技

1) 眼位測定方法

眼位測定のために角膜に視標を作製した両側眼を Dental-Eye カメラで撮影計測した。その際、角膜は 4%キシロカインにて点眼麻酔した後、十字マークを付けた。写真上では十字の交点を 0 点とし、0 点からの偏位量は X 軸、Y 軸上の偏位として表わす。この場合、X 軸とは、内嚙部と外眼角を結ぶ線をいい、この X 軸に直行する線を Y 軸とする（以下、水平成分、垂直成分とする）。

計測は、右眼で鼻側、左眼で耳側、また、上方への偏位をプラスとし、その各々の反対方向をマイナスとした（図2）。

2) 眼球反対回旋測定方法

眼球反対回旋測定は、当科にて作製した 360 度回転可能な傾斜台を使用した。モルモットは躯幹を布でくるみ、なるべく圧迫しないよう、熱可塑性プラスチック・スプリントにて躯幹を固定、頭部と一体に傾斜できるよう、固定した。傾斜、及び測定方法は、体の長軸に対し、左傾斜 0 度から 180 度、一端傾斜角 0 度にもど

図1

左：正常モルモット右側球形囊斑，卵円窓縁は情況を示すため広く削開している。

右：レーザースポット法により前部 $\frac{1}{3}$ 部分破壊後の右側球形囊斑（術後7日目）。1%オスミウム酸にて固定後のものである。

し、右傾斜を同様に行ない、各傾斜角において20秒以上固定し、眼位を観察、撮影計測した。

計測時期は、術後1日目、3日目、7日目、及び3週目に測定、正頭位、並びに傾斜刺激により誘発される眼球反対回旋の眼位を比較、検討した。

また、それぞれの測定値に対しては、小標本法・t検定(Welchの検定)により、統計処理を行なった⁹⁾。

3. 標本作製

レーザースポット法による球形囊斑の破壊部位、及びレーザーの深達度による他の部位への影響を確認するため、次の2法を行なった。

1) Surface preparation 法¹⁰⁾

断頭後、packingした骨ロウを取り除き、卵円窓より、1%オスミウム酸塩酸緩衝液(pH 7.2)注入し、30分間固定、顕微鏡下にて球形囊斑を取り出し、グリセリン封入し、観察した。

eye position	Amount of eye deviation
Rt (X_0, Y_0)	$R(X_1 - X_0, Y_1 - Y_0)$
Lt (x_0, y_0)	$L(x_1 - x_0, y_1 - y_0)$
Rt ₁ (X_1, Y_1)	
Lt ₁ (x_1, y_1)	

図2 眼球偏位計測法

2) Hematoxylin Eosin 染色法

実験動物を、0.01Mリン酸緩衝食塩水(pH 7.2)、10%中性緩衝ホルマリンにて、生体還流した後、断頭、側頭骨を取り出し、脱灰、パラフィン包埋を施行、薄切切片を作製、Hematoxylin Eosin 染色を施行した。

III. 研究成績

1. 正常モルモットにおける成績 (n=20)

1) 正頭位(傾斜角0度)の眼位(図3)

正頭位にて、左右眼球はそれぞれの内嘴部と外眼角のほぼ中央に位置する。

2) 傾斜刺激による眼球反対回旋

① 水平成分の偏位(図4)

a) 右傾斜時、眼球は両側共に、傾斜角が増加するに従い、鼻側に偏位し、傾斜角180度においては、正頭位の位置に復帰する傾向を持つ。

b) 左傾斜時においても、同様の反応を示す。

② 垂直成分の偏位(図5)

a) 右傾斜時、傾斜角が増加するに従い、右眼球は上方へ、左眼球は下方へ偏位し、その程度も増加する。右眼球は、また、傾斜角150度において最大の偏位を示し、両側眼球共に、傾斜角180度において、正頭位の位置に復帰する

図3 正常モルモットにおける眼球反対回旋

図4 正常モルモットの水平成分における眼球偏位

図5 正常モルモットの垂直成分における眼球偏位

傾向を持つ。

b) 左傾斜時，右傾斜時と同様，傾斜側眼球が上方へ偏位し，反対側眼は下方へ偏位し，傾斜角 180 度において，正頭位の位置に復帰する傾向を持つ。

2. 右側アブミ骨摘出群における成績

(術後 1 日目) (n=13)

1) 正頭位 (傾斜角 0 度) の眼位 (図 7, 8)

左右眼球の眼位は，正常群に比し，統計学的に有意な差を認めない。

2) 傾斜刺激による眼球反対回旋

① 水平成分の偏位 (図 7)

a) 右傾斜時，右眼球の正常群に認められた鼻側への偏位は，軽度低下するも，正常群に比し，統計学的に有意な差を認めない。左眼球の偏位においても，正常群に比し，統計学的に有意な差を認めない。

b) 左傾斜時，両側眼の水平成分における偏位は，正常群に比し，統計学的に有意な差を認めず，正常群と同様の反応を示す。

② 垂直成分の偏位 (図 8)

a) 右傾斜時，傾斜角が増加するに従い，右眼球は上方へ，左眼球は下方へ偏位し，正常群に比し，統計学的に有意な差を認めない。

図 6 右側球形囊斑前部 $\frac{1}{3}$ 部分破壊後の眼球反対回旋

図 7 右側球形囊斑前部 $\frac{1}{3}$ 部分破壊群，及び右側アブミ骨摘出群における水平成分の眼球偏位。(術後 1 日目)

b) 左傾斜時, 右傾斜時と同様, 傾斜側眼球が上方へ, 反対側眼球が下方へ偏位し, 正常群に比し, 統計学的に有意な差を認めない.

3. 右側球形囊斑部分的破壊群における成績 (術後1日目) (n=9)

1) 正頭位(傾斜角0度)の眼位(図6, 7, 8)

右眼球は, 骨板摘群に比し, 明らかな有意差をもって, 耳側下方に偏位する. 左眼球は, 鼻側上方へ偏位する傾向を持つが, 骨板摘群に比し, 有意差は認めない.

2) 傾斜刺激による眼球反対回旋

①水平成分の偏位(図7)

a) 右傾斜時, 右眼球の鼻側への偏位は, 骨板摘群に比し, 有意に低下しているが, 傾斜角150度, 180度では, 有意差はなくなってきている. 左眼球に関しては, 骨板摘群に比し, 有意差は認められない.

b) 左傾斜時, 右眼球の鼻側への偏位は, 傾斜角30, 45, 60度において骨板摘群に比し, 有意に低下しているが, その後, 傾斜角が増加するに従い, 鼻側への偏位が, 認められる. 左眼球においては, 骨板摘群と同様, 鼻側への偏位が認められる.

②垂直成分の偏位(図8)

a) 右傾斜時, 右眼球の上方への偏位は, す

図8 右側球形囊斑前部1/3部分破壊群, 及び右側アブミ骨摘出群における垂直成分の眼球偏位。(術後1日目)

図9 正頭位（傾斜角0度）の眼位における水平成分の経日的変化。

図10 正頭位（傾斜角0度）の眼位における垂直成分の経日的変化。

すべての傾斜角において低下し、左眼球の下方への偏位は、傾斜角30度を除き、やはり、骨板摘群に比し、有意に低下している。傾斜角 150, 180 度では、両側眼の上下方向における眼位の逆転が認められる。

b) 左傾斜時、右眼球の下方への偏位は、傾斜角120, 135, 150, 180度において、むしろ骨板摘群に比し、有意に増加しており、その傾向は、左眼球にも認められる。

4. 経日的変化について

1) 正頭位 (傾斜角 0 度) 眼位の変化

①水平成分の偏位の変化 (図9)

破壊群における右眼球は、1 日目、3 日目において、骨板摘群に比し、有意に耳側へ偏位していたが、7 日目にその傾向は弱くなり、3 週目には、骨板摘群に比し、有意差は認められなくなった。破壊群における左眼球は、鼻側に偏位する傾向を持つものの、3 週目には、軽度、耳側に偏位する傾向を示した。

②垂直成分の偏位の変化 (図10)

破壊群における右眼球は、1 日目、3 日目に

において下方へ、また、左眼球は、3 日目において上方へ、骨板摘群に比し、有意に偏位していたが、7 日目には、その傾向を残すものの、骨板摘群に比し、有意差は認められず、3 週目においては、正常の眼位に復帰する傾向を示した。

2) 傾斜刺激による眼球反対回旋の変化

①水平成分の偏位の変化 (図7, 11, 12, 13)

a) 右傾斜時、破壊群における右眼球の鼻側への偏位は、経日的に傾斜角の大きい状態より回復しはじめ、3 週目には、すべての傾斜角において、右眼球の鼻側への偏位が認められるようになる。破壊群における左眼球の鼻側への偏位は、右眼球に比べると良く認められ、3 週目においては良く保たれている。

b) 左傾斜時、破壊群における右眼球の鼻側への偏位は、経日的に、徐々に回復し、3 週目には、ほとんど正常に復す。破壊群における左眼球の鼻側への偏位は、どの時期においても良く保たれている。

図11 右側球形囊斑前部1/3部分破壊群、及び右側アブミ骨摘出群における水平成分の眼球偏位。(術後3日目)

図12 右側球形嚢斑前部 $\frac{1}{3}$ 部分破壊群, 及び右側アブミ骨摘出群における水平成分の眼球偏位。(術後7日目)

図13 右側球形嚢斑前部 $\frac{1}{3}$ 部分破壊群, 及び右側アブミ骨摘出群における水平成分の眼球偏位。(術後3週目)

②垂直成分の偏位の変化(図8, 14, 15, 16)

a) 右傾斜時, 術後1日目に認められた, 破壊群における右眼球の状態は, 各傾斜角において持続し, 3日目, 7日目においてもいまだ認められるが, その程度は徐々に軽減し, 3週目には, 正常群, 骨板摘群と同様に上方への偏位が認められる. 破壊群における左眼球の下方への偏位は, 術後1日目, 傾斜角が増加するに従い, 認められるものの, 骨板摘群に比し, その程度は有意に低下しており, 3日目, 7日目においてもその傾向は持続する. しかし, 3週目においては, その傾向は減少し, 各傾斜角に対

する下方への偏位が認められる.

b) 左傾斜時, 術後1日目に認められた破壊群における右眼球の状態は, 経日的に徐々に回復し, 3週目には, 正常群, 骨板摘群に比し, 有意な差は認められなくなる.

破壊群における左眼球においても同様の所見を得た.

5. 組織学的検索

レーザースポット法による球形囊斑の破壊部位, 及びレーザーの深達性による他の部位への影響を確認するため, 次の2法による標本で検討した.

図14 右側球形囊斑前部 $\frac{1}{3}$ 部分破壊群, 及び右側アブミ骨摘出群における垂直成分の眼球偏位. (術後3日目)

1) Surface preparation 法¹⁰⁾ (図17)

レーザースポット法による球形囊斑破壊部位は、図に示す如く、約前方3分の1の部位であった。

2) Hematoxylin Eosin 染色法 (図18)

球形囊斑破壊部位においては、耳石膜、感覚細胞層は消失している。

レーザーによる中枢側への骨破壊は認められない。

IV. 考 按

耳石器官は、重力、直線加速度、遠心力を感受し、眼筋、躯幹、四肢などの筋緊張並びに位置の感覚に影響を及ぼすもので、中枢機構の関与により、身体の姿勢の保持や、運動を円滑にするのに役立っており、三半規管とともに、前庭眼反射、前庭脊髄反射として出現する。

前庭眼反射は、耳石眼反射、半規管眼反射

からなり、半規管眼反射については、古くより、Purkinje (1825) が回転運動をさせた人におこる“めまい”と眼振について記載した事、また Ewald (1892) はハトの半規管を刺激し、刺激された半規管の面に一致して、頭および眼が動くことを報告し、Ewald の法則を確立し、本邦においては鈴木⁵⁾¹¹⁾¹²⁾により詳細に追及解明されている。

耳石眼反射の研究については、本邦では長谷川ら³⁾に始まり Magnus R²⁾らの遠心回転によるモルモット耳石膜剝離実験を追試した。即ち耳石膜剝離を行ったところ、Magnus R²⁾が半規管機能と考えた直線運動反射がまったく消失し、体軸方向の直線運動は卵形囊、背腹軸方向の直線運動は球形囊で感受されるとし、背腹軸方向の直線運動に際し、球形囊耳石膜のずれる可能性を考えた。また、佐々木ら⁴⁾は直線

図15 右側球形囊斑前部 $\frac{1}{3}$ 部分破壊群、及び右側アブミ骨摘出群における垂直成分の眼球偏位。(術後7日目)

加速度刺激により，正常家兎卵形囊への刺激は眼球の車軸回転を引き起こし，球形囊への刺激は垂直偏位を引き起こさせるとしている。

今回著者は，耳石器球形囊斑機能を知るために，レーザースポット法を用い，耳石器球形囊

斑前部 3 分の 1 を破壊し，耳石眼反射における眼球偏位，並びに傾斜刺激により出現する眼球反対回旋を測定し，耳石器球形囊斑に対する考察を行なった。

図16 右側球形囊斑前部 $\frac{1}{3}$ 部分破壊群，及び右側アブミ骨摘出群における垂直成分の眼球偏位。(術後3週目)

図17 Surface preparation 法

レーザースポット法施行後の右側球形囊斑 (術後7日目)。DR : destroyed region.

1. 前庭迷路破壊法（耳石器球形囊斑破壊法）について

従来、前庭迷路破壊法には、機械的方法として、平衡斑搔爬¹³⁾、labyrinthectomy¹⁴⁾、神経切断¹⁵⁾、耳石膜除去、また、超音波、cryo-surgery、X線、強大音響、遠心力²⁾³⁾などの物理的エネルギーによるもの、また、SM⁷⁾¹⁶⁾などの pharmacological なもの、xylocaine を用いた reversible pharmacological labyrinthectomy（関谷1972）等がある。

今回、著者は、前庭迷路のうち、特に球形囊斑の機能を知るために、球形囊斑を明視下に確実に、部分的に破壊することが可能であると考えられる、レーザースポット法を用いた。その結果、図1に認められる如く、部分的にはっきりとした破壊巣を得ることができ、また、組織学的にも破壊部位が明確で、レーザーによる深達性も、耳石膜、感覚細胞層にとどまり、骨を破壊して中枢側に深達している像は認められなかった。

以上より、後述する眼球偏位、及び傾斜刺激による眼球反対回旋の状態は、球形囊斑部分的破壊によるものと考えられ、また、その反応を知るために充分良い方法であると考えられた。

図18 Hematoxylin Eosin 染色法
DR: レーザースポット法による破壊部位（術後7日目）。S: sacculus.

2. 眼球偏位、及び眼球反対回旋について

眼球偏位を測定するにはなんらかの視標が必要となる。二木¹⁷⁾によれば、主観的な観察法としては、①垂直残像、②閉眼閃光移動、③astigmatic axis の変化があり、客観的な方法としては、①レンズを通して直接眼球を観察する方法があり、結膜血管、光彩紋理、入墨²⁰⁾や網膜全体²¹⁾がある。また、②卵膜²²⁾²³⁾、ゼラチン膜²⁴⁾、絹糸²⁵⁾やコンタクトレンズ²⁶⁾を付着させて観察する方法、③写真撮影²³⁾や赤外線TV²⁷⁾による観察と、多種多様である。

今回、著者は、可及的正確な眼球偏位を計測するために角膜マーク法を接用した。即ち、両眼球の角膜上に十字の視標をつけ、写真撮影にて、両眼球の偏位、及び眼球反対回旋の状態を観察した。

眼球偏位、並びに頭部傾斜刺激に誘発される眼球反対回旋については、古く1786年 Hunter J¹⁾ がはじめてその存在を報告し、それはその後 Magnus R²⁾、de Kleyn A ら²²⁾、は哺乳動物の実験で迷路破壊、遠心回転による耳石膜剝離、薬物の迷路内注入などの結果、耳石器官は位置変化のみに反応するとし、特に球形囊は、非対称性の向位反射、及び垂直性の代償性眼球偏位を行なうと考えた。

眼球偏位、及び頭部傾斜刺激により誘発される眼球反対回旋の障害は：

①球形囊斑によるものか、卵形囊斑によるものか。

②患側下位におこるか、健側下位にておこるか。

③患側眼だけにおこるか、それとも両側眼におこるのか。

④一側球形囊斑障害後、どのように変化するか。

という問題がある。

一般的に①の問題については、Magnus R²⁾、椎津³⁾に代表される如く、前額面における傾斜により生じた眼球反対回旋は球形囊斑が関与するとし、広岡⁸⁾の卵形囊斑と球形囊斑の機能は

重複するという説や、また、神埼ら²¹⁾の仮説がある。②の問題については、患側下位にて障害されるという報告は、Magnus R²⁾に始まり、実験的には椎津¹⁴⁾、草刈⁷⁾らが、臨床例においては、de Kleyn A and Versteegh C²⁸⁾、Hannen RA²⁹⁾、Nelson JR³⁰⁾、朴沢²⁶⁾、神埼²¹⁾、調ら²⁷⁾の報告がある。一方、反対に Gollas E³¹⁾や Jongkees LBW³²⁾は健側下位にて障害され、Bárány R¹⁸⁾は眼球反対回旋の障害と患側は一致しないと報告、また、山形¹³⁾、本田³³⁾は家兎の球形囊斑を一側破壊してもまったく正常状態に復すとした。

③の問題については、鈴木¹¹⁾が、一側の卵形囊神経の電気刺激で両側の眼球反対回旋が生ずること、また Fluor E³⁴⁾、Miller II, EF¹⁹⁾も眼球反対回旋は一側迷路障害で両側に影響され得る可能性、また神埼ら²¹⁾もこの可能性を示唆し、森³⁵⁾や市川ら³⁶⁾も両側の眼球反対回旋の変化について着目している。

本研究では、球形囊斑前部3分の1の部分的破壊においても、正頭位にて、術側眼の耳側下方への偏位、健側眼の鼻側上方への偏位が出現した。

また体長軸の傾斜刺激に対する眼球反対回旋の変化は、術側傾斜にて障害され、術側眼だけでなく、健側眼にも眼球反対回旋の障害が認められた。これは、すなわち一側球形囊斑の障害により、健常モルモットにみられた、傾斜側主導型逆方向偏位の傾向が出現せず、対側眼においても服従的反対方向偏位性が働かなくなっていることを示唆する。

以上の球形囊斑と正頭位、及び傾斜刺激により誘発される眼球反対回旋の状態より、一側球形囊斑は、同側眼球の反対方向への偏位あるいは回旋を起こさせるものであり、また、対側の眼球偏位にも影響を及ぼし体長軸あるいは前額面での傾斜時、傾斜側球形囊斑が耳石眼反射でより主導性をもつと推定される。

④の問題については、従来より、一側迷路破壊後、一定期間をすぎると代償機構が働いてく

ることは、良く知られており、草刈⁷⁾は、代償の機構としては、頭位の変化を中枢へ伝えるのは、勿論、残された健常の耳石器官であるが、前庭神経核の域値の変化なども考えられるとし、また、McCabe BF ら³⁷⁾は、代償の鍵は前庭神経内側核にあるとし、障害側内側核の *resting activity* の回復と、健側内側核での小脳抑制の解除によって代償が完了するとし、この回復機構は、一部脳幹網様体、及び交叉神経を介した健側前庭神経核に、一部は障害側内側核自身の自己調節に由来すると推論している。

また、鈴木³⁸⁾の報告にある如く、Precht W ら³⁹⁾と、Flohr H ら⁴⁰⁾による一側内耳破壊後のカエル頭部の傾斜にみる中枢前庭系の代償の証明、また Carpenter RHS⁴¹⁾は、耳石器が他の迷路に比べ、回復が早いのか、あるいは、健側耳石眼運動系からの代償、頸筋眼反射の代償、または、*habituation* により、眼球反対回旋の正常化が認められるとし、鈴木⁴²⁾は、球形囊斑と卵形囊斑は耳石器障害時、互いに機能の補い合いをし、代償機構に関与していると報告している。

これらの文献並びに本研究の成績を見る時、術後3週目には、正頭位での眼位の異常は判別できなくなり、また、眼球反対回旋においても、より速やかな代償が認められることから、頭位の変化を感知する耳石器官が健存することが *autoregulative* な代償機構が働く上で重要であろうと推論した。今後、更に検討すべき問題と考える。

V. 結 語

耳石器、特に球形囊斑機能を知るために、レーザースポット法を用い、モルモット右側球形囊斑前部3分の1を破壊し、術前・後の正頭位の眼位と傾斜刺激により誘発される眼球反対回旋を、経日的に観察した。

1. 正頭位の眼位について

1) 術後1日目、3日目例で、破壊群術側眼は著明に耳側下方に、健側眼は明らかに上方に

偏位する。

2) この傾向は術後7日目においても認められるが骨板摘群に比し、有意差はない。

3) 術後3週目には、この傾向は認められなくなる。

2. 破壊群の術後に出現する眼球反対回旋について

1) 術側傾斜時、両側眼に眼球反対回旋の障害が認められ、その程度は術側眼に強い。

(術後1日目、3日目間では著差を見ない。) 術後7日目においても、眼球反対回旋の障害は、若干回復するが、尚、傾斜刺激に影響されず、特に術側眼に持続している。

3) 術後3週目においては、眼球反対回旋の障害はほとんど回復した。

以上より、一側球形囊斑の限局部分破壊は、同側眼の反対方向への偏位あるいは回旋を障害するものであり、また、対側眼の偏位にも影響を及ぼす。

これらの結果及び文献的考察より、体長軸での傾斜時、傾斜側球形囊斑が耳石眼反射の主導性を有するものと考察した。

謝 辞

稿を終えるにあたり終始懇切なる御指導と御校閲を戴きました恩師 関谷 透教授に深甚なる謝意を表します。

また御助言、御協力下さいました耳鼻咽喉科教室各位に深く感謝致します。

尚、本論文の要旨は第34回日本基礎耳科学会(1987年、福井)、第88回日本耳鼻咽喉科学会総会・学術講演会(1987年、東京)において発表した。

参考文献

- Hunter J: Observations on certain parts of the animal economy. London, 1786.
- Magnus R: Körperstellung. Julius Springer. Berlin, pp 148~172, 1924.
- 長谷川高敏: 迷路刺激とその影響. 日耳鼻 51: 1; 7~14, 1948.
- 佐々木寛: 耳石器官の基礎と臨床. 耳鼻 16: 2; 73~123, 1970.
- 鈴木淳一: 機械的刺激を適刺激とする前庭・半規管系反射の特徴. 神経進歩 14: 1; 107~114, 1970.
- 草刈 潤, 他: 耳石器官の形態と機能(第一報). 耳鼻臨床 65: 515~522, 1972.
- 草刈 潤, 他: 耳石器官の形態と機能(第二報). 耳鼻臨床 65: 615~621, 1972.
- 広岡 修: 内耳性筋反応に関する研究. 体位変化による前庭性眼球偏位. (Vestibular positional eye-deviation) の実験的研究. 奈良医誌 12: 180~205, 1960.
- 小林充尚, 芦田 廣: 医学のためのパーソナルコンピュータ. プログラミングの基礎と実際の応用. 丸善, 1983.
- 綿貫幸三, 他: 前庭耳石器官における耳石分布様式. 日耳鼻 74: 1608~1613, 1971.
- 鈴木淳一: 前庭生理に関する新知見単一半規管神経刺激による眼球および頸運動. 耳喉 38: 147~156, 1966.
- 鈴木淳一, 徳増厚二: 半規管眼反射のベクトル表現. 耳鼻咽喉科 41: 239~244, 1969.
- 山形雅俊: 球形囊作用に関する実験的研究, 日耳鼻 61: 1631~1654, 1958.
- Versteegh C: Ergebnisse partieller labyrinthexstirpation bei kaninchen. Acta Otolaryng (Stockh) 11: 393~408, 1927.
- 椎津重彦: 家兎球形囊機能に関する実験的研究. 日耳鼻 62: 1~11, 1959.
- 鈴木政昭, 他: 耳石器の構造ならびに機能についての研究補遺. 耳鼻臨床 63: 1005~1011, 1970.
- 二木 隆: 耳石機能検査法. 耳鼻臨床 76: 1715~1723, 1983.
- Bárány R: Über die vom ohrlabyrinth ausgelöste gegenrollung der augen bei normalhörenden; ohrenkranken und taubstummen. Arch klin exp Ohr-, Nas- u. Kehlk heilk 68: 1~30, 1906.
- Miller I, EF: Counterrolling of the human eyes produced by head tilt with respect to gravity. Acta Otolaryng 54: 439~501, 1962.
- Krejčová H, et al: Labyrinthine and extra-

- labyrinthine effects on ocular counter-rolling. *Acta Otolaryng* 72 : 165~171, 1971.
- 21) 神崎 仁, 大内利昭 : 眼底カメラを用いた眼球反対回旋の測定と耳石機能. *耳鼻臨床* 69 : 397~404, 1976.
- 22) de Kleyn A, et al : Method of determining the compensatory positions of the human eye, *Acta Otolaryng* 6 : 170~174, 1924.
- 23) 坂田英治 : 耳石器反射に関する臨床的研究—眼球代償性反対回旋測定の診断的意義の検討と臨床検査法の工夫並びに末梢前庭性眼振における耳石器の影響—. *日耳鼻* 65 : 1166~1177, 1962.
- 24) Benjamins CE : Eine einfache methode zur messung der gegenrollung des auges. *Arch FOH* 115 : 210~215, 1926.
- 25) Jongkees LBW : On the function of the sacculus. *Acta Otolaryng (stokh)* 38 : 18~26, 1950.
- 26) 朴沢二郎 : Contact lens による眼球偏位の測定 (その1) 動物編. *日耳鼻* 59 : 1031~1034, 1956.
- 27) 調 重昭, 他 : 耳石機能検査のための傾斜装置と眼球反対回旋. *耳鼻* 29 : 347~352, 1983.
- 28) de Kleyn A and Versteegh C : Labyrinthine compensatory eye positions in patients. *Proc Royal Soc Med* 17 : 17~20, 1924.
- 29) Hannen RA, et al : Experimental determination of a portion of the human vestibular system response through measurement of eyeball counterroll. *IEEE Trans Bio-Med Eng*, Vol. BME 13 : 65~70, 1966.
- 30) Nelson JR, et al : The otoliths and ocular counter torsion reflex. *Arch Otolaryng* 94 : 40~50, 1971.
- 31) Gollas E : Untersuchung der raddrehung augen bei einseitigen labyrinthatsfall. *Arch Ohren Nasen Kehlk heilk* 140 : 340~354, 1936.
- 32) Jongkees LBW : Positional nystagmus of peripheral origin. *J Physiol* 110 : 47~449, 1950.
- 33) 本田 弘 : 経卵円窓球形囊手術による内耳障害の臨床病理学的研究. *日耳鼻* 76 : 1323~1337, 1973.
- 34) Fluor E : A comparison between subjective and objective recording of ocular counter-rolling as a result of tilting. *Acta Otolaryng* 79 : 111~114, 1975.
- 35) 森 礼子 : 頭部傾斜による両眼の反対回旋に関する研究. 第2報 正常者における両眼の反対回旋について. *眼紀* 27 : 76~83, 1976.
- 36) 市川理恵, 他 : 一側内耳障害例における反対回旋について. *眼臨* 76 : 12 : 135~141, 1982.
- 37) Mc Cabe BE, Ryu JH and Sekitani T : Further experiments on vestibular compensation. *Laryngoscope* 72 : 3 : 381~396, 1972.
- 38) 鈴木淳一 : めまいの生理—最近の研究の動向—. *耳喉* 58 : 10 : 719~729, 1986.
- 39) Precht W, Dieringer N : Neuronal events paralleling functional recovery (compensation) following peripheral vestibula lesions. In *Adaptive Mechanisms in Gaze Control. Facts and theories* (ed by Berthoz A). pp 251~268, Elsevier Sci, Amsterdam, 1985.
- 40) Flohr H, Abeln W and Luneberg U : Neurotransmitter and neuromodulator systems involved in vestibular compensation. In *Adaptive Mechanisms in Gaze Control. Facts and Theories* (ed by Berthoz A). pp 269~277, Elsevier Sci, Amsterdam, 1985.
- 41) Carpenter RHS : Movements of the eyes. pp 22~35, Pion, London, 1977.
- 42) 鈴木政昭 : 前庭迷路路の形態学および組織化学的研究並びに前庭末梢受容機構についての考察. *日耳鼻* 73 : 26~58, 1970.

(原稿採択 : 昭和63年1月26日
別刷請求先 : 米田 敬
〒755 山口県宇部市小串1144
山口大学医学部耳鼻咽喉科学教室)