論 説

サルの選択的半規管遮断 Canal Plugging

鈴木 淳 一

Selective Canal Plugging in Monkeys

Jun-Ichi Suzuki

(Teikyo University)

Plugging of a pair of the semicircular canals causes a specific condition, “no dynamic inputs with normal static inputs from the paired canal-organs.” Plugging of the semicircular canals is believed to be one of the most useful techniques for the investigation of the semicircular canals and their interactions with the otolith organs as well. Previous papers and the results of the author’s international cooperation with the groups of B. Cohen and V. Henn for the past 15 years are reviewed. The studies of ours were exclusively on rhesus and sinomolgus monkeys. Since the eye movements that are mobilized by 6 semicircular canals are in 3 dimensions, recent achievements have been due mostly to sophisticated 3-dimensional stimulators and to the analysis of 3-dimensional recordings of eye movements.

Key words: canal plugging, otolith organs, semicircular canals, canalotolith interaction, velocity storage

はじめに一歴的研究など

半規管の感覚装置は膨大部にある。膨大部に影響を与えずに半規管の疎通を遮断できれば、感覚装置から中枢へ向う tonic impulse に変化を与えずに dynamic impulse だけを除くことができる。すなわち、回転加速度がひき起こす信号は失われるが、100 Hz 前後の“自発信号”はそのまま存続するので、術後、頭位や姿勢の変化、そして自発眼振も生じないのである。(Durchschneidung, plugging, blockade の和訳を、生理学的意味を強調して「遮断」とした)

前庭器は左右内耳に対称的に存在する。対称的半規管疎通遮断は、対称的にある感覚装置の

何れをも障害することなく、すなわち、半規管からの静的信号を変えずに、動的信号だけを遮断する。

半規管遮断実験は1882年の Ewald¹⁾ のハトの実験を嚆矢とするようである。ハトの骨迷路は、スポンジのような頭蓋骨の中に浮彫りになっていて、アプローチが容易である。膜迷路は逆に強靱で糸でしばることさえ可能である。残念ながら、ハトの眼球運動に関係する中枢は未発達で、中枢の抑制や変換など高度な前庭系の実験には向かないと思われる。

不思議なことに、前庭系研究に有力な手段を提供することは明らかなのに、今日まで、半規

管遮断を利用した実験は多くはない。Money ら²⁾は6半規管を遮断し回転加速度にたいする反応が欠如すると報告し、Correia ら³⁾は、鉛直軸回りの回転で眼振反応はないが、水平軸回りの回転では正常より低下した眼振反応があったと述べている。Schor⁵⁾は、6半規管を遮断しても前庭神経核のニューロンが頭部傾斜に反応したと報告している。Baker ら¹²⁾は、ネコで半規管遮断後、数日で頸眼反射(COR)が上昇しはじめること、また両外側半規管遮断をするとstereotaxic horizontalから'30°鼻先下げ'の位置で回転反応がゼロになるとしている。

著者は、1980年頃から今日まで約15年間に15頭余の赤毛ザル(少数のシノザル)に選択的半規管遮断を行った。ニューヨークのCohenグループ、チューリヒのHennグループが、術前検査を詳細に行い、それぞれのサルに数カ月から年余にわたる術後の観察・検査を行った。これらの研究室には、数年前三次元の回転装置が完成し、またRobinsonコイルが改良され眼球の三次元記録が比較的容易に正確に行われるようになった²³⁾。一次ないし二次元記録では見逃されてきた現象が発見されるようになった。

Cohen ら⁸⁾は、彼らのいう“velocity storage”が、視運動性後眼振OKANの説明に役立ち、温度眼振・回転眼振など前庭動眼反射にも同じように有用であることを、主としてサルの実験について説明を試みてきた。

次章では、選択的半規管遮断の内耳機能研究における位置づけについて述べる。

半規管遮断とその意義づけ

1) 選択的半規管遮断

左右合計6個の半規管の選択的遮断には、左右の対称性および2組のペア垂直半規管すなわち左右斜め方向の対称性を考慮に入れると、遮断の組合せは35となる。半規管遮断は、対称的遮断(図1a)と非対称的遮断(図1b)とに大別される。対称的遮断と非対称的遮断を区別するのは、引き起こされる変化が両者間で大変異なると考えられるからである(後述)。

これらの組合せのうち、特徴的かつ重要な組合せを一べつしたい。耳石器動物(図1c0 Dimensions)、外側半規管動物(LC, 図1c1 Dimensions)、垂直半規管動物(4VCs, 図1c2 Dimensions)、1ペア垂直半規管動物(RALP-右前左後半規管、またはLARP-左前右後半規管, 図1c2 Dimensions)、前半規管なし動物(図1a no-RALA)などは対称的遮断動物であり、一側の3半規管、2半規管、1半規管を遮断すると非対称的遮断動物となる(図1b)。何れも代表的なものだけを図示した。

2) 半規管遮断と膨大部破壊との違い

前庭の感覚装置からは常時自発放電があって、3個のペア半規管からの緊張はそれぞれの平面内で均衡を保っている⁹⁾¹⁰⁾。この均衡を保ったままで、頭に加わる回転加速度にたいする信号を途絶させる、これが半規管遮断で、これに加えて自発放電をも断つのが膨大部破壊である。

膨大部の感覚装置を1個破壊すると、中枢への入力欠如が前庭系に大きな変化をもたらす。対称的破壊の場合でも、そのペアに特徴的な全身の筋緊張低下が生じ、はなはだしい非生理的状況となる。非対称的破壊では、自発眼振や姿勢の偏りに表現されるように著しい中枢の非対称を生じ、その他の前庭生理実験実施をほとんど不可能にするほどになる。

半規管遮断は、理想的に行われても膨大部の感覚装置に多少の影響を及ぼすことは当然考えられる(図2)。これは手術方法に関係すること大である。サルでは組織反応が小さいので、膨大部から十分離れた部位で遮断する限り感覚装置の変化は僅かで、光頭ではこれを認めることができない程度である(図6)。もちろん、これはその度ごとに個々のサルについて常に検討すべき重要項目である。膨大部の変化は、術後、姿勢の変化、自発・頭位眼振、回転検査などの所見から、生前にもある程度は察知することができる。

対称的遮断と非対称的遮断とでは、術後の回復がかなり異なるようである(後述)。この差は、

当該2個の半規管の膨大部の何らかの変化によるものか、動的入力 dynamic input の非対称だけによるものか、今のところ十分に明らかではないが、後者の可能性が大きいと考えている。

対称的遮断は、体動にさいし、ペアの一方の半規管に信号の増加を、他方の半規管に信号の低下をもたらしていた動的入力を断つことになる。これは、当然そのペア半規管面内での姿勢の不安定をもたらすが、この不安定は一兩日中に消失して、動物が静止しているかぎり正常動物との区別は困難になる。術後数日で、動物が動くとき慣れた観察者にだけ分る程度となり、数カ月たつと正常の動物との区別はまったく困

難となる。この時点で、半規管欠如動物の生理実験が可能になるわけである。

半規管遮断と三次元分析

15年前の Cohen グループとの半規管遮断の研究は、それまでの彼のグループの研究とからみ合せて興味ある発展を示すことになった⁴⁾⁶⁾⁷⁾。同時に、Cohen と当時から研究協力の関係にあったチューリヒの Henn の研究室に、筆者がニューヨークで手術したサルが空輸され、実験が2カ所で行われた。その後、筆者は両地を時時訪問して手術例の追加を行い、それぞれ別に研究が行われることになった。

a) right-left symmetric:

no-Canals or Otolithic*#
RLLL or no-Verticals*#
no-RLLL or 4-Verticals*#

RALA, RPLP*
no-RALA, no-RPLP*

RALP, LARP#
no-RALP, no-LARP#

b) right-left asymmetric:

R-3-Canals, L-3-Canals**

RARP, LALP**
no-RARP, no-LALP**

RL, LL**
RA, LA**
RP, LP**

no-RL, no-LL**
no-RA, no-LA**
no-RP, no-LP**

c) 0-3 dimensions:

0 Dimension:

no-Canals or Otolithic*#

1 Dimension:

RLLL or no-Verticals*#
RALP, LARP#

2 Dimensions:

no-RLLL or 4-Verticals*#
no-RALP, no-LARP#

3 Dimensions:

no-canals plugged or normal

図1 有用な代表的 Canal-Plugging の組合せ

a : 左右対称的遮断 right-left symmetric, b : 左右非対称的遮断 right-left asymmetric

c : 0 ~ 3 次元別の遮断

R : 右, L : 左, L : 外側半規管, A : 前半規管, P : 後半規管, * : 左右対称, ** : 左右非対称

: 対半規管(遮断)

1) 半規管遮断と OKAN (非鉛直軸回転) (1982~1983)

6 個の半規管を遮断した赤毛ザルは、もちろん通常の回転刺激には無反応であるが、OKN, OKAN とともに障害はない¹⁴⁾¹⁶⁾(図 3 a). 両側外

側半規管神経を切断したサルで水平方向の OKAN が認められないことが分っているので、半規管遮断はこれらとは異なった障害であることが分った¹⁴⁾.

両側迷路破壊, 両側前庭神経破壊でも OKAN が消失することが分っている⁴⁾. このように、前庭反射と OKN とくに OKAN は密接に関連していることが分る.

6 半規管遮断ザルで、鉛直軸回りの回転では眼球反応はないが、鉛直軸より 30° 傾斜した軸で回転 (off-vertical axis rotation, OVAR) したときは、暗所で水平方向に活発な眼振が生じ (図 3 b), これは耳石器からの信号によるものと結論された.

この論文には、以上の他にも興味ある結果が幾つか記されている. 半規管遮断実験は、OKN, OKAN の説明に考えられた速度蓄積 velocity storage の概念確立や発展にも大いに役立つことになった.

図 2 半規管疎通遮断と膨大部

半規管遮断(矢印)は膨大部から少しでも遠い場所で行うことが望ましい.

図 3 6 半規管遮断赤毛ザルの OKN・OKAN・OVAR

a) OKN と OKAN (水平方向ドラム回転, 座位) 上・中・下の記録は、それぞれ水平方向の眼球運動, 眼球速度, ドラムの回転.

b) 暗所の非鉛直軸回転刺激 (OVAR 暗所, 矢印: 左右方向に眼振解発) 記録は、上より、水平方向の眼球運動, 眼球速度, サルの回転角度, 照明の点 (on) 減 (off).

(Cohen B, et al: 1983¹⁶⁾ より改変)

2) 外側半規管遮断サルの“垂直軸回転中の矢状面内振子様回転” sinusoidal pitch while rotating (1983)

垂直軸回りの等速回転，すなわち通常の回転を暗所で行うと回転中眼振はやがて減少し消失する．この回転中眼振が消失した時点で矢状面内の振子様刺激を加えると，水平性の眼振が再び出現してくる¹⁷⁾．この刺激方法“sinusoidal pitch while rotating”は中々に興味ある刺激方法といえる．両側外側半規管を遮断したサル(4 VCs, 図1 a, c)でこの刺激を加えると，再び

水平方向の眼振が誘発されてくる(図4)．これも velocity storage で説明されている．振子様に加えられた pitching によって垂直半規管にも回転刺激が加わり，その入力が中枢に蓄積され水平方向に放出されると考えるのである．この現象 cross-coupling (“交叉連結”とでも云うべきか)には，耳石器機能との関連が示唆されている．

3) 両外側半規管遮断ザルの高頻度振子様回転刺激にたいする反応(1982~1983)

ニューヨークで手術しチューリヒに空輸され

図4 両側外側半規管遮断ザルの pitch while rotating

一方向回転(60°/sec)で回転中眼振が消失した後，矢状面内で前後方向に40°の振子様回転を加えた．

(Raphan T, et al : 1983¹⁷⁾ より改変)

図5 坐位赤毛ザルの鉛直軸回転による眼球偏倚

一方向回転(100°/sec²)後の後眼振を平均．4垂直半規管遮断後，10カ月(□)，16カ月(■)，両外側半規管遮断後，7カ月(●)両外側膨大部神経切断後，3カ月(△)，10カ月(▲)

--- 正常サル3頭の平均

(Böhmer A, et al 1985¹⁸⁾ より改変)

たサルを用いた実験である。鉛直軸回り 0.5 Hz から 6 Hz の高頻度までの振子様回転を、頭部、胴体、頭胴一体の 3 種類に分けて与えた。振幅は $6^{\circ} \sim 48^{\circ}$ 。外側半規管面で一方向回転し $100^{\circ}/\text{秒}$ で急停止にたいする反応は認められなかったが、術後数カ月で、振子様回転にたいする反応 (VOR) が、高頻度 (2, 4 Hz) では 70% まで回復し、頸反射 (COR) が 30% 増加することが分った¹³⁾¹⁵⁾。迷路破壊後にはこのような変化を認めていない。

4) 半規管遮断ザルを用いた回転反応面の決定 (1985)

回転刺激には 2 種、一方向回転刺激 ($100^{\circ}/\text{秒}$)、振子様回転刺激 ($1 \text{ Hz} \pm 6^{\circ}$) を用いた。両外側半規管遮断ザル (4VCs) (図 1 a) に、これら 2 種の回転刺激で最小の反応を示す角度は、何れの方法の回転についても「 33° 鼻先下げ」の位置であった。因みに正常のサルおよび 4 垂直半規管遮断ザルでは「 15° 鼻先下げ」で最大の反応を示した¹⁸⁾。すなわち、回転で外側半規管を刺激するときには、同時に垂直半規管を刺激していることが分る (図 5)。

2 年前に、ニューヨーク、チューリヒの両研究室に精巧な三次元回転刺激装置が完成した。またチューリヒでは 3 個のコイルを用いて三次元眼球運動記録が精密に行われるようになった²⁵⁾。温度眼振の研究も加わり、術前術後の検査もより充実して行われることになった。

5) 非対称的遮断は長期間頭位眼振をもたらすか? (1989)

上記 1) ~ 4) の研究は、何れも対称的半規管遮断であったのにたいし、5) では、右・前後半規管遮断という非対称的遮断ザル (すなわち LALP) で術後数カ月続いた頭位眼振についての報告がなされた²³⁾。同じ時期に対称的遮断を行ったサル (LARP サル) では LALP 遮断ザルとは比較にならないほど軽度の頭位眼振所見を示した。

非対称的遮断を行ったサルに頭位眼振が多いとすれば、動的入力非対称がまず有力な原因

と考えられる。頭位眼振は重力と直交する水平面内で多く激しくみられ、velocity storage の関与が考えられた。術前から暗所ではかなり活発な頭位眼振を示すサルが少なくないので、本実験結果の再確認は必ずしも容易ではないが、興味ある命題である。

対称・非対称を問わず、遮断術を行った場合、膨大部感覚装置への損傷は常に考慮におく必要がある。同じ迷路への 2 つ遮断と両側に 1 つずつの遮断とでは、仮に同じ程度の侵襲としても、前者の内耳への侵襲の方が当然大きいと考えられる。図 6 に、遮断した半規管と膨大部の所見を示した。光頭では病変はほとんど認められないが病変を否定することはできない。

以下、口演ないしは論文作成中と思われる最近の研究 (1992 ~ 1993) を示す。興味あるものが多い、文献の一部について簡単に紹介する。

6) 三次元記録による半規管遮断ザルの温度眼振 (1992)

サルの温度眼振は、何れの頭位で解発しても三次元、すなわち、水平、垂直、回旋それぞれ十分な大きさの要素を含んでいることが注目される²⁴⁾³⁴⁾³⁶⁾³⁷⁾。4 垂直半規管遮断ザル (LC サル)、両外側半規管遮断ザル (No-LC サル)、両外側半規管・左前右後半規管遮断ザル (LARP サル) の何れについても、遮断後、温度眼振に量的に減少はあるが、質的には変化を認めなかった³⁰⁾。OKAN の場合と同様に垂直方向へ眼振軸が移動する傾向があり、これも velocity storage で説明されるのではないかと考察されている。

7) 1 ペア垂直半規管ザル (RALP) にそれぞれ異なった種類の回転刺激を与えた 3 つの発表が行われた (1992)

(i) 回転中の前後頭振り³²⁾

かつて垂直半規管 2 ペアのサルで行った実験¹⁷⁾ (Raphan 他, 1983) を、垂直半規管 1 ペアのサルを用いて行い、水平方向の眼振が誘発されることを証明した。1 ペアの垂直半規管の存在に耳石器が必要か否かについては未解決である。垂直半規管からの速度入力が中枢に蓄積し

a) 右前半規管膨大部

b) 右前半規管(遮断部)

c) 右卵形囊斑

d) 右外側半規管膨大部

e) 右外側半規管(非遮断)

f) 右球形囊斑

g) 右後半規管膨大部

h) 右後半規管(遮断部)

図6 右側前・後垂直半規管遮断赤毛ザル(1130)の側頭骨所見

(velocity storage), これが水平方向に放出されると説明している。

(ii) 非鉛直軸回転(OVAR)³³⁾

回転後眼振の回転軸が鉛直方向に向きを変え、傾向が認められた。velocity storage の特性が働いていると述べている。

(iii) 振子様回転³⁵⁾

頭位を変えて振子様回転刺激をRALPサルに与えた。垂直半規管から、水平および回旋方向への眼振が形成される(cross-coupling)と結論している。

半規管遮断法の利点と問題点

1) 半規管遮断は動物によって異なる

サルとハトの場合をみると、極端ではあるが、動物によって異った方法をとる必要があることが分る。赤毛ザルの側頭骨はヒトに較べてはるかに小さく、先の小さなバーだけで手術する。半規管はかなり細いので、顕微鏡下40倍に拡大しても見逃す心配がある。術前、解剖学的特徴の熟知、十分拡大した視野、リンパの連絡を利用した開口部の確認などが必要である。

サルでは、半規管壁をバーで削り開口部を骨粉・骨小片で閉じ、メスの先、あるいは最小のダイヤモンドバーで膜半規管を確実に切断し、骨粉、さらに軟組織で覆う。サルでは、手術にたいする組織反応が弱いのが大変幸いである。

サルの前半規管については、解剖学的制約があって、膨大部から十分離れた部位で半規管遮断をすることが必ずしも容易でない。この認識は、結果から結論を導く上で大変重要である。

2) 実験動物は研究目的によって選択

半規管からの動的入力を選択的遮断による中枢の変化をみるためにはサルを必要とする。

半規管遮断の物理学的効果をみるためであれば、下等の単純な動物を選んでよいであろう。そのさい、結論は当然ある範囲に止まるべきで、より高等な動物での再確認も必要であろう。小型の動物であれば、簡単な刺激装置で十分である。サルの回転刺激にはかなり大規模な機械を必要とする。

眼球運動の記録装置の精密化も進んだが、小動物では十分な眼球運動の分析は難しいので、ネコ、サルなどある程度以上大型の動物が必要となる。また、前庭動眼系の中樞の研究には、ヒトに近い高等動物が望まれるであろう。

おわりに

半規管遮断術は、半規管生理、半規管・耳石器相互作用などの研究に有用である。半規管遮断は、原理が明快、手術法も比較的簡単であるが、その源流Ewald以来の研究は意外なことに大変少ない。筆者は、十数年来サルを用いた研究をニューヨーク、チューリヒ2つの研究グループと協力して行って来た。彼ら神経生理学グループの精巧な回転刺激装置、精密な眼球運動記録装置、研究者のマンパワーと、当方の神経耳科学的診断・手術・側頭骨病理標本作成と、両者の協力で研究が進められた。

今日、宇宙医学研究の機会がわが国にも訪れているようである。耳石器研究の数は多いが、昨今、新しい視点から新しい方法論による研究が再開されつつある³⁸⁾。関連してこの綜説が諸賢の目にとまれば幸いである。

引用文献

- 1) Ewald JR : VI-B. Die Durchschneidung der Bogengänge (l'ombirungs-methode). Physiologische Untersuchungen über das Endorgan des Nervus Octavus. pp 120~187, Bergmann, Wiesbaden, 1892.
- 2) Money KE and Scott JW : Functions of separate sensory receptors of nonauditory labyrinth of the cat. Am J Physiol 202 : 1211~1220, 1962.
- 3) Correia MJ and Money KE : The effect of blockage of all six semicircular canal ducts on nystagmus produced by dynamic linear acceleration in the cat. Acta Otolaryngol (Stockh) 69 : 7~16, 1970.
- 4) Cohen B, Uemura T and Takemori S : Effects of labyrinthectomy on optokinetic nystagmus (OKN) and optokinetic after-nystagmus (OKAN). Equil Res 3 : 88~93, 1973.

- 5) Schor RH : Responses of cat vestibular neurons to sinusoidal roll tilt. *Exp Brain Res* **20** : 347~362, 1974.
- 6) Takemori S : The similarities of optokinetic after-nystagmus to the vestibular nystagmus. *Ann Otol Rhinol Laryngol* **83** : 1~9, 1974.
- 7) Uemura T and Cohen B : Loss of optokinetic after-nystagmus (OKAN) after dorsal medullary reticular formation (MedRF) lesions. *Proceedings of the 5th Extraordinary Meeting of the Bárány Society. Equil Res*, pp 101~105, 1975.
- 8) Cohen B, Matsuo V and Raphan T : Quantitative analysis of the velocity characteristics of optokinetic nystagmus and optokinetic after-nystagmus. *J Physiol* **270** : 321~344, 1977.
- 9) Wilson VJ and Melvill-Jones G : Mammalian vestibular physiology. Plenum Press, New York, 1979.
- 10) Henn V, Cohen B and Young LR : Visual-vestibular interaction in motion perception and the generation of nystagmus. *Neurosci Res Program Bull* **18** : 457~651, 1980.
- 11) Korzenszky L and Simon L : Labyrinth plugging as a model of suspended vestibular sensory input. *The Physiologist Suppl* **23** : 127~128, 1980.
- 12) Baker J, Goldberg J, Peterson B et al : Oculomotor reflexes after semicircular canal plugging in cats. *Brain Res* **252** : 151~155, 1982.
- 13) Böhmer A, Henn V and Suzuki JI : Compensatory eye movements in the monkey during high frequency sinusoidal rotations. *Physiological and Pathological Aspects of Eye Movements* (ed by Roucoux A and Crommelinck M). pp 127~130, Dr W Junk Pub, The Hague, 1982.
- 14) Cohen B, Suzuki JI, Raphan T, et al : Selective labyrinthine lesions and nystagmus induced by rotation about off-vertical axes. *Functional Basis of Ocular Motility Disorders* (ed by Lernerstrand G et al). pp 337~346, Pergamon Press, Oxford, 1982.
- 15) Böhmer A and Henn V : Compensatory eye movements during high angular accelerations in the monkey. *Adv Otorhinolaryngol* **30** : 174~176, 1983.
- 16) Cohen B, Suzuki JI and Raphan T : Role of the otolith organs in generation of horizontal nystagmus ; effects of selective labyrinthine lesions. *Brain Res* **276** : 159~164, 1983.
- 17) Raphan T, Cohen B, Suzuki JI et al : Nystagmus generated by sinusoidal pitch while rotating. *Brain Res* **276** : 165~172, 1983.
- 18) Böhmer A, Henn V and Suzuki JI : Vestibulo-ocular reflexes after selective plugging of the semicircular canals in the monkey ; response plane determinations. *Brain Res* **326** : 291~298, 1985.
- 19) Parnes LS and McClure JA : Effect on brainstem auditory evoked responses of posterior semicircular canal occlusion in guinea pigs. *J Otolaryngol* **14** : 145~150, 1985.
- 20) Barmack NH : The influence of temporary blockage of semicircular canals on the loss and recovery of vestibuloocular reflexes. *J Neurosci* **8** : 2816~2826, 1988.
- 21) Barmack NH and Pettorossi VE : The induction and compensation of asymmetric eye movements following unilateral blockage of a horizontal semicircular canal in the rabbit. *J Neurosci* **8** : 2836~2843, 1988.
- 22) Zee DS : New concepts of vestibular nystagmus. *Vestibular Disorders* (ed by Barber HO, Sharpe JA). pp 189~200, Yearbook Pub, Chicago, 1988.
- 23) Arai Y, Henn V, Böhmer A, et al : How could canal-pluggings result in intensive direction changing type of positional nystagmus? *Acta Otolaryngol (Stockh) Suppl* **468** : 159~164, 1989.
- 24) Arai Y, Suzuki J and Hess BJM, et al : Caloric nystagmus in three dimensions under otolithic control in rhesus monkeys ; preliminary report. *ORL* **52** : 218~225, 1990.
- 25) Hess BJM : Dual-search coil for measuring 3-dimensional eye movements in experimental animals. *Vision Res* **30** : 597~602, 1990.

- 26) Parnes LS and McClure JA : Posterior semicircular canal occlusion for intractable benign paroxysmal positional vertigo. *Ann Otol Rhinol Laryngol* **99** : 330~334, 1990.
- 27) Yamanobe S, Taira S, Morizono T, et al : Eye movement analysis system using computerized image recognition. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* **116** : 338~341, 1990.
- 28) Pace-Balzan A and Rutka JA : Non-ampullary plugging of the posterior semicircular canal for benign paroxysmal positional vertigo. *J Laryngol Otol* **105** : 901~906, 1991.
- 29) Suzuki JI, Kodama A, Cohen B, et al : Canal-plugging in the rhesus monkey ; a tool to study the contribution of individual canals to nystagmus generation. *Acta Otolaryngol (Stockh) Suppl* **481** : 91~93, 1991.
- 30) Arai Y, Suzuki JI, Dai M, et al : Three-dimensional caloric nystagmus in canal plugged monkeys. Contribution of Velocity Storage to Caloric Nystagmus. pp 8~9, XVIIth Bárány Society Meeting Abstracts, Prague, 1992.
- 31) Böhmer A, Straumann D and Kawachi N, et al : Three-dimensional analysis of caloric nystagmus in the rhesus monkey. *Acta Otolaryngol (Stockh)* **112** : 916~926, 1992.
- 32) Dai M, Raphan T, Suzuki JI, et al : Contribution of individual vertical semicircular canal pairs to estimation of yaw eye velocity during pitch while rotating. pp 25~26, XVIIth Bárány Society Meeting Abstracts, Prague, 1992.
- 33) Raphan T, Dai M, Suzuki JI, et al : Semicircular canal input and the spatial orientation of the vestibulo-ocular reflex. pp 97~98, XVIIth Bárány Society Meeting Abstracts, Prague, 1992.
- 34) Yagi T, Kurosaki S, Yamanobe S, et al : Three-component analysis of caloric nystagmus in humans. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* **118** : 1077~1080, 1992.
- 35) Yakushin S, Dai M, Suzuki JI, et al : Contribution of the vertical semicircular canals to the horizontal and roll components of the vestibuloocular reflex. pp 162, XVIIIth Bárány Society Meeting Abstracts, Prague, 1992.
- 36) Clarke AH, Teiwes W, Oelhafen P, et al : Three-dimensional aspects of caloric nystagmus in humans ; I. The influence of increased gravito-inertial force. *Acta Otolaryngol (Stockh)* **113** : 687~692, 1993.
- 37) Clarke AH, Waldmann K and Scherer H : Three-dimensional aspects of caloric nystagmus in humans ; II. Caloric-induced torsional deviation. *Acta Otolaryngol (Stockh)* **113** : 693~698, 1993.
- 38) Angelaki DE, Hess BJM and Suzuki JI : Gravity-centered spatial reference for the central vestibular system in rhesus monkeys ; II. Role of otolith inputs. (in preparation)

(別刷請求先：鈴木淳一
〒173 東京都板橋区加賀2-11-1
帝京大学医学部耳鼻咽喉科学教室)