正常者の側臥位における温度眼振反応 ——速度蓄積機構など内リンパ対流以外の因子の関与を探る——

東京女子医科大学附属第二病院耳鼻咽喉科（部長：荒牧 元教授）

土 屋 由 子

CALORIC NYSTAGMUS IN THE LATERAL RECUMBENT POSITION IN NORMAL SUBJECTS —— THE POSSIBILITY OF A PARTICIPATION OF VELOCITY STORAGE AND OTHER NON-CONVECTION FACTORS ——

YOSHIKO TSUCHIYA, M.D.

Department of Otolaryngology, Tokyo Women's Medical College, Daini Hospital, Tokyo

To clarify the role of central velocity storage in caloric nystagmus, 20 normal subjects in the lateral recumbent position underwent recording and analysis using ENG and an infra-red video camera in darkness. The caloric stimulus was applied by pouring 10 ml of water at 20°C for 20 seconds into the ear canal. After irrigation, each subject then turned to an ear-up or an ear-down lateral position. Ninety-nine percent of the rapid phases of the horizontal components were directed to the up-side ear with no relation to the irrigated ear. Sixty-six percent of the vertical components showed vertical nystagmus toward the lower eyelid, and the remaining 34% of the vertical components showed no vertical nystagmus. The direction of the torsional components was from the up-side ear to the leg with no relation to the irrigated ear. After the first phase, the nystagmus was more significantly reversed in the ear-up lateral position than in the ear-down lateral position ($p < 0.01$). The maximum slow-phase velocity of the first phase horizontal component and the nystagmus frequency of the first phase horizontal and vertical components were significantly smaller in the irrigated ear-up lateral position than in the ear-down lateral position ($p < 0.01$). The maximum slow-phase velocity of the first phase vertical component was also smaller in the ear-up lateral position ($p < 0.05$). However, the duration of the first phase vertical component revealed no difference between the two positions.

These findings indicate that factors other than endolymph convection are involved in the first phase horizontal and vertical components. A role for central velocity storage in the vertical components was suggested. When caloric nystagmus was analyzed as one response, including not only the horizontal component but also the vertical and torsional components, the possibility of otolithic involvement was suggested as one of the non-convection factors.

Key words: 温度眼振, 健常者, 側臥位, 速度蓄積機構, 半規管耳石器連関 A 98—1006—24020

緒 言

温度眼振反応は1906年バラニー¹⁾により臨床に導入

され, 主に外側半規管の内リンパ対流による半規管眼
反射と考えられてきた。しかし von Baumgarten ら²⁾

は宇宙の無重力状態でも地上と同様の温度眼振反応を得たことを報告しており、内リンパ対流以外の因子が温度眼振反応にどの程度影響しているか問題となっている。

前庭眼反射および視運動反射モデルはいくつか提唱されてきた³⁾⁻⁶⁾。Raphan と Cohen のモデル⁴⁾によれば、半規管において角加速度信号は速度信号に変換され direct vestibular pathway を駆動させる。平行して中枢の積分器の1つである速度蓄積機構 (velocity storage) を内包する indirect pathway も駆動させる。この両回路の活動の総和により緩徐相速度が形成される。速度蓄積機構は前庭眼反射回路と視運動反射回路で共役的に働くだけでなく、耳石からも入力を受けていることが明らかになっている^{3,4)}。そして解剖学的には、サルの前庭核の限局した領域が速度蓄積機構に密接に関連していると報告されている^{7,8)}。速度蓄積機構は Raphan⁴⁾らによれば、どのような頭位においても生体が空間内で重力方向に対して適切な眼位をとり続けるように、gyroscope のような働きをしているという。たとえばサルを坐位にして視運動刺激ドラムを水平回転させると、左右方向の OKN・OKAN が得られる。ところがサルの頭部垂直軸とドラムの回転軸とともに重力方向から傾けた側臥位や背臥位で同様の左右方向の視運動刺激を与えると、OKAN にはそれぞれ垂直成分や回旋成分も混入するようになる。すなわち地面に平行な面に OKAN が出現するようになる。彼らはこの現象を cross-coupling と呼び、速度蓄積機構の発現と考えた。ヒトにおける速度蓄積機構の発現は Gizzi らにより OKN の眼振回転軸の変化として報告されているのみである⁹⁾。

新井らは、赤毛ザルを用いた温度眼振反応の3次元記録において、第1相から重力方向に一致した回転軸を持つ眼球運動成分が大きく、かつその眼振経過が外側半規管の眼振経過と異なることを示した¹⁰⁾。そして温度眼振反応第1相の早期から中枢の速度蓄積機構が関与していることを示唆した¹⁰⁾。

側臥位においては重力方向に一致した回転軸をもつ眼球運動は垂直方向であり、通常の電気眼振計 (以下 ENG) によって記録が可能である。正常者の側臥位温度眼振反応垂直成分を観察記録することにより、垂直成分に速度蓄積機構が関与した反応を検出できる可能性がある。さらに温度眼振反応を水平成分だけでなく垂直・回旋成分を含めた1つの反応として観察記録することにより、内リンパ対流以外の因子として何が考

えられるかを検討した。

対象と方法

健康成人ボランティア25名を被験者とした。そのうちまばたきが多く ENG で垂直成分の計測が困難であった3名、および赤外線 CCD カメラによる観察で弱いながらも頭位眼振を認めた2名を除外した。したがって分析の対象となったのは20名 (男性13名、女性7名、年齢19~38歳) で、全員が以下①~⑤の条件を満たしていた。①自覚的にめまいおよび難聴の既往がない。②閉眼単脚起立検査で異常を認めない。③注視眼振検査・指標追跡検査・二点交互注視検査で異常を認めない。④赤外線 CCD カメラによる観察で、暗所で自発眼振および頭位眼振を認めない。⑤標準純音聴力検査で異常所見を認めない。

背臥位温度眼振検査は、当施設のこれまでの手技に習い¹¹⁾¹²⁾¹³⁾、暗所下で20°C 5ml の水を耳が上になるような位置で20秒間で注水した。側臥位においては、注水量を5ml ではなく10ml とし、背臥位と同様に注水した。それは、5名の予備実験において背臥位と同じ温度刺激で行ったところ、背臥位と比較して眼振が弱く、この条件下では垂直成分の計測に困難をきたすと思われたからである。側頭位での注水後、すみやかに注水耳が上または下の側臥位または背臥位前屈30°の体位をとらせた。側臥位の場合、被験者の頭部および頸部はベットに対して平行になるように留意した。

初回の注水耳および体位は無作為に決定した。同じ耳には引き続いて注水しないようにし、各々の頭位では対側耳の刺激を引き続き行った。各温度眼振検査終了後、ENG で眼振を記録しなくなってから5分以上経ってから次の検査を行った。20名中11名は、側臥位温度眼振反応終了後引き続き背臥位で温度眼振検査を行い、9名は1週間以上あけて行った。9名と11名の2群の背臥位における最大緩徐相速度は統計的に有意差を認めなかったため、データ処理過程ではこの両者を区別しなかった。各温度眼振検査終了後、被験者にどのようなめまいが起こったかを質問した。

眼球運動は赤外線 CCD カメラ (永島医科器械株式会社製 IR VTR SN-2) で観察記録すると同時に、ENG (日本電機三栄株式会社製 IB21 型) で水平・垂直の2成分を記録した。水平および垂直眼球運動の原波形 (時定数3秒) と速度波形 (時定数0.03秒) をペンレコーダーで記録すると同時に、FM データコーダー (TEAC R-200 DR) に保存した。水平誘導は、銀

塩化銀不分解表面電極を瞼裂にそって両眼窩外側縁に置き記録した。垂直誘導は、第1眼位での両瞳孔中心を垂直軸のゼロとして瞼裂と直角に眼窩上下縁に電極を置き記録した。右眼の垂直誘導と左眼の垂直誘導を電氣的に加算することにより、アーチファクトの少ない垂直成分を記録することができた。なぜなら純水平方向の眼球運動に際して垂直誘導にも電位変化が記録されることが多いが、この電位変化は左右眼対称的であり、右眼と左眼の加算によりほぼ消却されるからである¹³⁾。

この方法によっても、坐位にて側方20°の指標を注視させたとき、垂直成分を全く記録しなかったものは6名であった。鈍側方注視にもかかわらず垂直成分を認めたものは14名あり、これを以下偽垂直成分と呼ぶ。14名のうち右側方20°を見たとき上眼瞼向きの偽垂直成分を認めた被験者は9名、下眼瞼向きの偽垂直成分を認めた被験者は5名であった。水平成分に対する偽垂直成分の割合は $6.4\% \pm 4.8\%$ (平均値 $\pm$ 標準偏差、以下同様)であった。偽垂直成分を認めた14名については、垂直成分の最大眼振緩徐相速度を計算するときに偽垂直成分で補正した。最大緩徐相速度は、アーチファクトを含まない最大振幅を示した原波形を含む連続3個の原波形より用手的に緩徐相速度を求め、これらの平均値をとった。最大眼振頻度はさきに計測した3個の眼振間隔より算出した。眼振持続時間は、ENG記録で水平または垂直成分の眼振間隔がはじめて10秒以上を示した時、その直前の眼振を第1相の最後の眼振とみなし、これと注水開始時の時間間隔とした。第1相終了後そのまま頭位を維持しているにもかかわらず、1分たたないうちに眼振が逆転した例を認めた場合、“第2相”と呼んだ。第2相の水平・垂直成分の最大緩徐相速度・持続時間・最大眼振頻度も計測した。

以下の4項目について検討した。

① 温度眼振検査施行時のめまい感を体位により比較した。

② 眼振急速相方向の体位および注水耳による違いを、赤外線 CCD カメラによるビデオ記録では水平・垂直・回旋成分について、ENG 記録では水平・垂直成分について検討した。

③ ENG 記録から計測した温度眼振の水平・垂直成分の最大緩徐相速度・最大眼振頻度・持続時間を各体位により比較した。

④ 背臥位温度眼振反応と側臥位温度眼振反応を比較した。

表1 めまい感の体位による比較

(a)めまい感の性質

めまい感 \ 頭位	注水耳上 (左+右)耳数	注水耳下 (左+右)耳数
回転性のめまい感	16(9+7)	19(10+9)
非回転性のめまい感	18(8+10)	13(7+6)
めまい感なし	6(3+3)	8(3+5)
合計	40(20+20)	40(20+20)

(b)めまい感方向の変化

めまい感 \ 頭位	注水耳上 (左+右)耳数	注水耳下 (左+右)耳数
めまいの方向が変化した	8(4+4)	0(0+0)
変化なし	26(13+13)	32(17+15)
合計	34(17+17)	32(17+15)

(c)めまい感の強さ

注水耳下側臥位<注水耳上側臥位<背臥位	1名
注水耳上側臥位 $\approx$ 注水耳下側臥位<背臥位	10名
注水耳上側臥位<注水耳下側臥位<背臥位	4名
合計	15名

結 果

1. めまい感の体位による比較

注水後のめまいの訴えは大別すると、回転性のめまい感と非回転性のめまい感に分けられた。以下体位別に被験者のめまい感を述べる。

1) 左耳注水側臥位におけるめまい感(表1 a, b, c)

左耳注水後、左耳を上にした側臥位(以下、左注水左上と略す)では、被験者20名中17名がめまい感を訴えた。そのうち回転性のめまい感(時計回りに回った、床から天井に回った、など)があった被験者は9名であった。非回転性のめまい感(足の方に引っ張られる感じがした、体が右に引っ張られるような感じがしたなど)があった被験者は8名であった。めまい感を訴えた17名の被験者のうち4名においては、途中でめまいの回転方向や流れる方向が変化した。たとえば注水後時計回りに回ったあと途中で反時計回りに変わった、注水後から体が前後にゆれたあとしばらくして体全体が回ったなどである。左耳注水後、左耳を下にし

た側臥位（以下、左注水左下と略す）では、めまい感があった被験者は20名中17名であった。その内訳は回転性のめまい感を訴えた被験者10名、非回転性のめまい感を訴えた被験者7名であった。注水後めまい感をほとんど感じなかった被験者は3名であった。この体位では注水耳上と異なり、途中でめまいの回転方向や流れる方向が変化した例はみられなかった。

2) 右耳注水側臥位におけるめまい感

右耳注水後、右耳を上にした側臥位（以下、右注水右上と略す）では、めまい感は左注水左上と同様の傾向を示した。すなわち回転性のめまい感を訴えた被験者は7名、非回転性のめまい感を訴えた被験者は10名、注水後めまい感をほとんど訴えなかった被験者は3名であった。この体位では、めまいを訴えた17名の被験者のうち4名では、途中で回転の方向や流れる方向が変化した。右耳注水後、右耳を下にした側臥位（以下、右注水右下と略す）でも、めまい感は左注水左下と同様の傾向を示した。すなわち、回転性のめまい感を訴え

た被験者は9名、非回転性のめまい感を訴えた被験者は6名、注水後めまい感をほとんど感じなかった被験者は5名であった。この体位では左耳刺激時と同様に、途中でめまいの方向が変化した例はみられなかった。

以上左右耳をまとめると、注水耳上側臥位は下側臥位に比較し、非回転性のめまい感が多く回転性のめまい感はやや少なかった(表1 a)。そして途中でめまいの方向が変化したものは、注水時上側臥位では8耳あったが、注水耳下側臥位では1耳もなかった(表1 b)。めまい感の強さは、聴取した15名中10名において注水耳上下で変わらなかった(表1 c)。4名は注水耳下側臥位のほうが上側臥位に比較して強いめまいを訴え、1名においては注水耳上のほうが強いめまい感を訴えた。側臥位温度眼振反応では、背臥位に比較して注水量が多かったにもかかわらず、すべての例で背臥位よりめまい感が弱いと訴えた。

2. 眼振(水平・垂直・回旋成分)急速相方向の検討

1) 眼振経過

(a) 左耳注水左耳上側臥位

(b) 左耳注水左耳下側臥位

図1 左耳注水側臥位温度眼振反応の経過

CCDカメラおよびENG記録より、眼振の時間経過を定性的に被験者の眼を正面から見た時の急速相の動きとして示す。HはENG記録の水平成分、Vは垂直成分を表す。矢頭の向きは眼振急速相の向きを表す。被験者から見て←は右向き、→は左向き、↑は上眼瞼向き、↓は下眼瞼向き、↺は時計回り、↻は反時計回りを表す。矢羽根の数は眼振頻度を、矢軸の太さは眼振の振幅を表す。||と数字は眼振の開始時間または終了時間(秒)を表す。

(1) 左注水左上の眼振急速相方向の経過を、模式的に図1(a)に示した。CCDカメラによる観察では、第1相で20名中9名に左向き眼振を認め、10名に左斜め下向きの眼振を認め、45秒～70秒でピークに達したあと徐々に消失した。1名は水平・垂直成分とも眼振を認めなかった。回旋成分は垂直成分に比較して不明瞭で、20名中3名にのみ明らかな反時計回りの眼振（以下被験者から見た方向で示す。すなわち被験者の顔裂を正面からみると、眼球の上極が向かって右下方に回旋する方向）を認めた。CCDカメラで観察された水平・垂直成分はENGでも全員に記録された。すなわちENGでは第1相で20名中19名に左向き眼振が記録され、10名には下眼瞼向き眼振も同時に記録された。10名は垂直誘導で眼振を記録しなかった。眼振の終了時間はENG記録より計測すると、水平成分で 102 ± 28 秒（平均値 $\pm$ 標準偏差、以下同様）、垂直成分で 97 ± 29 秒であった。

この体位では第1相終了後、17名に水平・垂直・回旋成分のいずれか1つ以上の成分が逆転した。CCDカメラで観察された水平・垂直成分はENG記録でも同

方向に記録された。ENG記録では右向き眼振を17名に、上眼瞼向き眼振を16名に認めた。16名中8名は注水直後垂直成分を認めなかったが、注水後70秒以降に上眼瞼向き眼振が出現した。上眼瞼向き眼振は第2相水平成分より早く出現する傾向があったものの（ $p < 0.05$ ）、第2相水平成分と眼振終了時間はほぼ同じであった。したがってこの上眼瞼向き眼振は第2相とするのが妥当と考えた。第2相の開始時間をENG記録より計測すると、水平成分は注水開始時より 129 ± 31 秒、垂直成分は 105 ± 25 秒であった。第2相の終了時間は水平成分で 329 ± 97 秒、垂直成分で 330 ± 92 秒であった。回旋成分は、CCDカメラによる観察で13名に時計回りの眼振を認めた。13名中12名は注水直後に回旋成分を認めなかったが、注水後60秒以降に反時計回りの眼振が出現した。この反時計回りの眼振も、第2相水平成分とほぼ同じ時間経過をとることより、第2相と考えられた。回旋成分の逆転を認めた13名中6名では、回旋成分のほうが水平・垂直成分より早く出現した。

(2) 左注水左下の眼振急速相方向の経過を、模式的に図1(b)に示した。第1相では全員に右向きまたは右

図2 左耳注水側臥位における温度眼振反応のENG速度波形記録（時定数0.03秒）

(a) 注水耳上側臥位の数値波形記録

(b) 注水耳下側臥位の数値波形記録

時間軸の斜線は注水を表す。Hは水平成分、Vは垂直成分、四角で囲んだ挿入図は原波形を拡大した時間スケールで（1目盛り1秒）を表す。

▼は眼振の開始または終了時点を表す。校正縦棒は $20^\circ/\text{s}$ を示す。

斜め下向きの眼振を認め、45～65秒でピークに達したあと徐々に消失した。回旋成分は垂直成分と比較して不明瞭であったが、20名中7名に時計回りの眼振を認めた。CCDカメラで観察された水平・垂直成分はENG記録でも同方向に記録された。ENG記録では第1相で全員に右向き眼振を認め、20名中18名に下眼瞼向き眼振を認めた。2名は垂直誘導で眼振を認めなかった。第1相の持続時間は水平成分で 136 ± 33 秒垂直成分で 97 ± 29 秒であった。この体位では注水耳上側臥位と異なり、水平成分の方が垂直成分より長かった ($p < 0.01$)。この体位では、水平成分のみ逆転した1名および垂直成分のみ逆転した1名のあわせて2名のみに第2相を認めた。第2相においてもCCDカメラで観察された水平・垂直成分はENG記録でも同方向に記録された。

図2にENG記録の1例を示す。この例では、注水後水平誘導で左向きの眼振が記録されたが、このとき垂直誘導には眼振が記録されなかった。水平誘導では第1相終了後、右向き眼振(第2相)が出現し、332秒まで持続した。垂直誘導では70秒から330秒まで上眼瞼向き眼振(第2相)が出現した。左注水左下では、右向きおよび下眼瞼向き眼振が記録され、水平成分が130秒、垂直成分が110秒まで続いた。この頭位では両成分とも眼振の逆転を認めなかった。

(3) 右注水右上における眼振急速相方向の経過は、左注水左上のそれとミラーイメージの関係にあった。すなわちCCDカメラによる観察では全員に右向きまたは右斜め下向きの眼振を認め、40秒から60秒の間でピークに達したあと徐々に減衰した。回旋成分は20名中3名に明らかな時計回りの眼振を認めた。ENG記録では、第1相の水平誘導で右向き眼振を全員に認めた。垂直誘導では下眼瞼向き眼振を20名中7名に記録した。13名は垂直誘導で眼振を記録しなかった。眼振の持続時間は、水平成分で 97 ± 20 秒垂直成分で 91 ± 22 秒であった。水平成分および垂直成分の持続時間は、左注水左上とで有意差を認めなかった。

この体位でも第1相終了後20名中19名に水平・垂直・回旋成分のいずれか1つ以上の成分が逆転した。ENG記録では左向き眼振を13名に、上眼瞼向き眼振を18名に記録した。左注水左上と同様、18名中12名は注水直後垂直成分を認めなかったが、注水後55秒以降に上眼瞼向き眼振が出現した。上眼瞼向き眼振は、右注水右上と同様に第2相水平成分より早く出現した ($p < 0.01$) もの、第2相水平成分と眼振終了時間は

表2 側臥位温度眼振反応 眼振方向の結果

眼振の向き			頭 位	注水耳上 (左+右)耳数	注水耳下 (左+右)耳数
第1相	水平成分	上になった耳向き		39(19+20)	40(20+20)
		なし		1	0
	垂直成分	上眼瞼向き		0	0
		下眼瞼向き		17(10+7)	36(18+18)
		なし		23(10+13)	4(2+2)
	回旋成分	時計回り		3(0+3)	7(7+0)
		反時計回り		3(3+0)	6(0+6)
		なし		34(17+17)	27(13+14)
第2相	水平成分逆転あり			30(17+13)	3(1+2)
	垂直成分逆転あり			34(16+18)	2(1+1)
	回旋成分逆転あり			24(13+11)	0

ほぼ同じであった。したがってこの上眼瞼向き眼振も第2相とするのが妥当であると考えた。第2相の開始時間は水平成分で 117 ± 22 秒、垂直成分で 100 ± 25 秒であった。第2相の終了時間は水平成分で注水後 295 ± 87 秒、垂直成分では 294 ± 117 秒で、左耳のそれと有意の差を認めなかった。CCDカメラによる観察で11名に反時計回りの眼振を認めた。この11名中10名は注水直後回旋成分を認めなかったが、60秒以降に反時計回りの眼振が出現した。また11名中7名は反時計回りの第2相が出現した後、水平または垂直成分の第2相が続いて出現した。

(4) 右注水右下の眼振経過は、左注水左下とミラーイメージの関係にあった。すなわち、CCDカメラによる観察では左向きまたは左斜め下向きの眼振を全員に認め、40秒から70秒でピークを迎えたあと徐々に減衰した。回旋成分は水平・垂直成分に比較して不明瞭であったが、20名中6名に明らかな反時計回りの眼振を認めた。ENG記録では第1相の水平誘導で左向き眼振を全員に認めた。垂直誘導では下眼瞼向き眼振を20名中18名に記録し、2名は眼振を認めなかった。第1相の持続時間は水平成分で 125 ± 28 秒、垂直成分で 100 ± 30 秒であった。この体位では右注水右上と異なり、水平成分の方が垂直成分より長かった ($p < 0.01$)。この体位でも左注水左耳上と同様に、水平成分のみ逆転した1名および水平・垂直成分がともに逆転した1名の合わせて2名しか第2相を認めなかった。

2) 眼振急速相方向の頭位による比較(表2, 図3)

以上4頭位延べ80耳の眼振方向をまとめると、側臥位温度眼振反応は以下のような特徴を持つことが明らかになった。①第1相水平成分は、温度刺激を加えた耳に関係なく、上になった耳に向かう急速相として80耳中79耳99%に認められた。②第1相垂直成分の眼振急速相方向は、80耳中53耳66%で下眼瞼向きで、残る27耳34%には眼振を認めなかった。③注水耳下側臥位は注水耳上側臥位に比較し、より多くの例で第1相に下眼瞼向きの眼振を認めた($p < 0.01$)。④第1相では、

図3 側臥位温度眼振反応第1相 眼振急速相方向

H, V, Tはそれぞれ眼振の水平・垂直・回旋成分を示す。被験者からみて↔は右向き、↔は左向き、↑は上眼瞼向き、↓は下眼瞼向き、↺は時計回り、↻は反時計回りの眼振急速相方向を示す。黒塗りの耳は注水耳を示す。

眼球の上極は注水耳に関係なく上になった耳の方向に回旋していた。すなわち、右注水右上および左注水左下で時計回り、右注水右下および左注水左上で反時計回りの急速相を認めた。注水耳下側臥位は注水耳上側臥位に比べて、回旋成分をより多く認めた。これは注水耳下側臥位は注水耳上側臥位に比較して、回転性のめまい感が非回転性のめまい感より多い(表1a)という結果と一致していた。⑤注水耳上側臥位では90%に第2相が出現したが、下側臥位では10%しか出現しなかった。注水耳上側臥位は下側臥位に比較して有意に眼振が逆転した($p < 0.01$)。この結果も表1bに示したように、注水耳上側臥位でのみめまいの方向が変化したことと一致していた。

3. 温度眼振反応の計測結果

側臥位温度眼振反応の計測結果を以下に述べる3つの理由から、注水耳上側臥位と下側臥位とに分けて比較検討した。①第1に温度刺激は両頭位で差異があった。すなわち注水耳上では、側臥位になったとき耳から水が排液されないため、温度刺激は注水耳下より長く続くと思われた。②注水耳上側臥位と下側臥位では、前項に示したとおり、定性的に眼振の経過が異なっていた。③このような分け方で左右耳の計測値を比較すると、統計的に有意の差を認めなかった。

1) 側臥位温度眼振反応第1相について

ENG記録上で計測できた80耳中の79耳の平均値と標準偏差を表3に示した。水平成分の最大緩徐相速度は注水耳上で $7.4 \pm 4.3^\circ/\text{s}$ 、注水耳下で $11.5 \pm 5.3^\circ/\text{s}$ で、背臥位温度眼振検査の計測値より明らかに小さい値であった。垂直成分の最大緩徐相速度は注水耳上で $4.6 \pm$

表3 温度眼振反応第1相の計測結果

パラメーター \ 頭位		注水耳上 平均値 (標準偏差)	注水耳下 平均値 (標準偏差)	背臥位 平均値 (標準偏差)
水平成分	耳数	39	40	40
	最大緩徐相速度($^\circ/\text{s}$)	7.4 (4.3)	11.5 (5.3)	24.2 (5.1)
	眼振頻度(/s)	1.9 (0.6)	3.2 (0.9)	2.4 (0.7)
	持続時間(sec)	99 (24)	131 (31)	189 (38)
垂直成分	耳数	17	36	40
	最大緩徐相速度($^\circ/\text{s}$)	4.6 (2.5)	7.4 (4.1)	6.3 (3.0)
	眼振頻度(/s)	2.0 (0.6)	3.2 (0.9)	2.4 (0.7)
	持続時間(sec)	96 (27)	98 (29)	192 (42)

表4 側臥位温度眼振反応第2相の計測結果

パラメータ		頭 位	注水耳上 平均値 (標準偏差)	注水耳下 計測値
水平成分	耳 数		30	3
	最大緩徐相速度(°/s)		3.5(1.7)	10.0, 4.5, 1.8
	眼振頻度 (°/s)		1.8(0.6)	1.4, 2.0, 1.4
	持 続 時 間(sec)		192(93)	146, 150, 52
垂直成分	耳 数		34	2
	最大緩徐相速度(°/s)		4.3(2.1)	7.5, 2.2
	眼 振 頻 度 (°/s)		1.9(0.5)	1.5, 1.3
	持 続 時 間(sec)		208(107)	121, 170

2.5°/s、注水耳下で7.4±4.1°/sであった。水平成分の持続時間は注水耳上で99±24秒、注水耳下で131±31秒であった。垂直成分の持続時間は注水耳上で96±27秒、注水耳下で98±29秒であった。最大緩徐相速度のピークに達する時間は、注水耳上側臥位の水平成分で56秒、垂直成分で55秒であった。注水耳下側臥位では、水平成分が55秒垂直成分が54秒で、注水耳上側臥位とほぼ同時刻であった。水平成分の眼振頻度は注水耳上で1.9±0.6/s、注水耳下で3.2±0.9/sであった。垂直成分の眼振頻度は、注水耳上で2.0±0.6°/s、注水耳下で3.2±0.9/sであった。注水耳上の方が温度刺激が長く続くと思われたにもかかわらず、第1相水平成分の最大緩徐相速度・持続時間・第1相水平垂直成分の眼振頻度はいずれも1%の危険率で、垂直成分の最大緩徐相速度は5%の危険率で、注水耳上のほうが注水耳下に比較して小さいことがわかった。しかし第1相の垂直成分の持続時間のみは、注水耳上下で有意差を認めなかった。

2) 側臥位温度眼振反応第2相について(表4)

注水耳上の最大緩徐相速度は水平成分で3.5±1.7°/s、垂直成分で4.3±2.1°/sであった。注水耳下側臥位では水平成分で3耳、垂直成分で2耳しか第2相を認めず、各被験者により測定値のばらつきが大きかったので表4には各々の計測値を示した。注水耳上側臥位第2相の最大緩徐相速度は、水平・垂直成分とも第1相のそれらと相関関係を認めなかった。持続時間は水平成分で192±93秒、垂直成分で208±107秒で、水平・垂

直成分とも第1相の約2倍であった。第2相は最大緩徐相速度、持続時間ともに第1相のそれより個人差が大きかった。注水耳上の第2相開始時間は水平成分で122±26秒、垂直成分で103±25秒であり、垂直成分のほうが早く開始した(p<0.01)。眼振頻度は水平成分で1.8±0.6/s、垂直成分で1.9±0.5/sで、第1相と第2相の間に有意差を認めなかった。

3) 背臥位温度眼振反応について(表3)

全例で左右耳の最大緩徐相速度の和に対する差の割合は20%より小さく、また各パラメーターについて左右耳の間に有意差を認めなかった。左右の耳を合わせて計算した。第1相の最大緩徐相速度水平成分は24.2±5.1°/s、垂直成分は6.3±3.0°/sであった。第1相の持続時間は水平成分が189±38秒、垂直成分が192±42秒であった。第1相最大眼振頻度の水平成分は2.4±0.7/s、垂直成分は2.4±0.7/sであった。水平成分の計測結果は同様の手法で行われた嘉和知の報告と差を認めなかった¹³⁾。

4) 背臥位温度眼振反応と側臥位温度眼振反応の比較

背臥位温度眼振反応は側臥位温度眼振反応に比べてより小さい温度刺激を与えたにもかかわらず、被験者はより強いめまい感を訴えた。これを裏付けるように、第1相水平成分最大緩徐相速度の平均値は背臥位で24.2°/s、注水耳上側臥位で7.4°/s、注水耳下側臥位で11.5°/sであり、大きな差を認めた。一方垂直成分では、頭位による差は水平成分より小さかった。最大緩徐相速度の水平成分に対する垂直成分の割合の平均値を計算すると、側臥位は注水耳上側臥位で71%、注水耳下側臥位で72%であったのに対し、背臥位で27%で、最大緩徐相速度水平成分に対する垂直成分の割合は側臥位のほうが大きかった(p<0.01)。

考 察

1. 側臥位温度眼振反応水平成分の起因について

1) 第1相

Gentine¹⁴⁾らはヒトの温度眼振反応の水平成分を、外側半規管が地面に垂直になるような面において30度ずつ360度頭位を変えて記録した。この時水平成分の最大緩徐相速度はサインカーブに近似して変化したという。この報告は側臥位温度眼振反応水平成分に、重力が関与する成分すなわち内リンパ対流が関与していることを証明するものとして注目される。本報告でも水平成分の急速相は体位によらず上になった耳に向か

い、眼振方向に関してはGentineらの報告と一致した。

しかし、実験結果は定量的には内リンパ対流のみでは説明できなかった。なぜならば、注水耳上側臥位は下側臥位に比較し、第1相水平成分の最大緩徐相速度・眼振頻度が小さくかつ持続時間が30秒も短かったからである。側頭骨内での温度の伝わり方は頭位によらないものとする、温度眼振反応が内リンパ対流のみによるものであれば、180度逆転した頭位では反応は方向のみならず量的にも対称的になるはずである。さらに本実験では、注水耳上側臥位では側臥位になったとき耳から水が排液されないため、温度刺激は注水耳下よりもむしろ長いはずである。しかし実験結果は逆で、注水耳下側臥位のほうが強い反応を示した。

このような180度逆転した頭位における水平成分の最大緩徐相速度の非対称性については、他にも報告がある^{13)~18)}。これらの報告と今回の実験結果から、側臥位温度眼振反応水平成分には内リンパ対流で説明できない眼振成分も同時に存在することが示された。

注水耳上側臥位が下側臥位より最大緩徐相速度が大きかつ持続時間が短かったことより、内リンパ対流が関与しない眼振緩徐相成分は、注水耳上側臥位で内リンパ対流による成分を打ち消し、注水耳下側臥位で内リンパ対流による成分に加算されたと考えられる。すなわち注水耳上側臥位にも下側臥位にも、内リンパ対流に加えて注水耳（刺激耳）に向かうような緩徐相方向を持つ眼振反応が想定される。この内リンパ対流によらない成分は、3)項に述べるように全反応の17%を占めた。

2) 第2相

背臥位温度眼振反応第2相の成因についてJongkeesら¹⁹⁾は、内リンパ対流の方向が逆転することを示唆した。一方Gurselらは²⁰⁾、第2相が末梢におけるadaptationによるものと報告した。またMilojevicらは²¹⁾、第2相は中枢前庭系のインバランスを反映するものであると述べた。

側臥位温度眼振反応では第2相の成因として、背臥位温度眼振反応と同じものが考えられるだろうか。Cawthorne²²⁾、小出²³⁾らは耳手術中に外耳道に温度刺激を加え、温度眼振反応第1相終了後も内耳に温度変化が続いていることを示した。背臥位温度眼振反応第1相持続時間は、側臥位温度眼振反応より明らかに長い189秒であった。これらの実験結果より注水耳上側臥位温度眼振反応では、第2相が始まる122秒の時点では

なお内耳に温度刺激が続いていると思われる。よってこの時点でも、第1相同様内リンパ対流による成分と、内リンパ対流ではなく内耳の温度低下のみに依存する成分の両方が存在していると考えられる。

注水耳上側臥位では、99秒で第1相が終了後、122秒より第2相が開始し314秒まで持続した。この実験結果は、第1相で想定された2成分の持続時間が違うとすることで説明できる。つまり第2相開始後も内リンパ対流による成分が内耳の温度低下に依存する成分と逆むきに存在するが、内リンパ対流による成分は半規管の温度勾配に依存するためより早く減衰する。一方内耳の温度低下に依存する成分は、第1相終了後も温度刺激が続いている間存在する。この2成分の加算の結果が第2相として出現したと説明できる。

注水耳下側臥位も注水耳上と同様に、第1相眼振消失後も内耳に温度変化が続いていると考えられるが、注水耳下側臥位で第2相はまれにしか出現せず、第1相の終了時点は注水耳上側臥位第2相の終了時点よりはるかに前であった。その原因の1つとして、内耳の温度低下に依存する成分が内リンパ対流の逆転により打ち消されたと説明できる。注水耳下側臥位と同様に注水耳上側臥位第2相にも、内リンパ流の逆転が関与している可能性を考えると、眼振の時間経過をよく説明できる。すなわち側臥位温度眼振反応第2相にも、第1相と同様内リンパ対流による成分、および内リンパ対流では説明できない成分が両方とも関与しているのではなかろうか。しかし第1相と第2相の最大緩徐相速度は比例関係を認めず、第2相の持続時間が第1相のその約2倍であったのは、第1相と第2相で主となる成因が異なるためではないだろうか。すなわち、第1相は主として内リンパ対流、第2相は主として非対流成分によるものとする。

3) 側臥位温度眼振反応水平成分緩徐相方向の1モデル

以上の実験結果より推測された側臥位温度眼振反応水平成分緩徐相を生ずる構成要素の時間経過を図4(a)に示す。実験結果を太い実線で示した。第1相は注水耳上側臥位で平均99秒、注水耳下側臥位で131秒まで続いた。最大徐相速度のピーク時間は注水耳上側臥位で56秒、注水耳下側臥位で55秒で差がなかった。第2相は注水耳上で122秒から開始し314秒まで続いた。内リンパ対流が関与する眼振緩徐相成分（細い実線）は注水耳に関係なく下になった耳に向かい、半規管内の温度勾配がなくなるにつれて徐々に減衰する。第1相終

図4 側臥位温度眼振反応緩徐相方向の1モデル

(a) 水平成分 (b) 垂直成分

大線——は実験結果、細線——は内リンパ対流が関与する成分、破線——は速度蓄積機構が関与する成分、□は内リンパ対流以外の成分、▨は速度蓄積機構以外の成分を表す。図中の数字は眼振の開始または終了時間、および眼振のピーク時間を表す。

了後いつからか決定できないが、上になった耳向きに逆転する。内リンパ対流によらない緩徐相成分(図4a網かけ部分)は刺激耳に依存する。すなわち注水耳上では上になった耳に、注水耳下では下になった耳に向かうと想定した。この成分は内耳に温度刺激が続いている間存在すると考えられる。

第1相で内リンパ対流による成分と内リンパ対流によらない成分の占める比率はどのぐらいであろうか。第1相で内リンパ対流で説明できない成分が注水耳上と下で同じ大きさで存在すると仮定すると、水平成分に占める2成分の割合を計算することができる。注水耳上側臥位では、内リンパ対流による成分の最大緩徐相速度から内リンパ対流で説明できない成分の最大緩徐相速度を引いたものが、水平成分の最大緩徐相速度(7.4°/s)である。注水耳下側臥位では、この2つの成分を加えたものが11.5°/sである。よって内リンパ対流による成分は $(7.4+11.5) \div 2 = 9.5^\circ/\text{s}$ であり、内

リンパ対流で説明できない成分は $11.5-9.5=2.0^\circ/\text{s}$ となる。言いかえると、内リンパ対流による成分は水平成分の83%、内リンパ対流で説明できない成分は17%を占めるということができる。

2. 側臥位温度眼振反応垂直成分の起因について

1) 第1相

鈴木らは²⁴⁾左右3対の半規管神経を別々に電気刺激し、垂直性眼球偏位と回旋性眼球偏位は垂直半規管から生じることを示した。Böhmerらは²⁵⁾サルの前半規管または後半気管の遮断を行う前後で、体軸にそって頭位を変えて温度眼振反応を調べた。両温度眼振反応を比較することより、サルの垂直半規管面の温度眼振反応には、垂直半規管の内リンパ対流が関与していることを定量的に証明した。ヒト側臥位温度眼振反応にも鈴木ら²⁴⁾の原則が当てはまるならば、内リンパ対流による前半規管と後半規管の刺激および抑制の組み合わせで、定性的には本研究における垂直成分の眼振方

側臥位温度眼振反応	側臥位水平性OKN
右耳注水右耳上側臥位	右耳上側臥位水平性OKN

右耳注水右耳下側臥位	右耳下側臥位水平性OKN

図5 側臥位温度眼振反応の垂直成分と側臥位水平性OKNのcross-couplingの方向について

図5において被験者からみて←は右向き、→は左向き、↑は上眼瞼向き、↓は下眼瞼向きの眼振急速方向を表す。←、↑は右手の法則により眼球運動を頭部上に固定した3次元座標軸上のベクトル方向を表す。

向を説明することは可能である。しかし、温度刺激は注水耳上側臥位のほうが注水耳下側臥位より長く続くと思われるにもかかわらず、注水耳上側臥位第1相の最大緩徐相速度垂直成分は、注水耳下側臥位のおよそ6割と小さかった。よって側臥位温度眼振反応第1相垂直成分も、内リンパ対流のみでは説明できず、他の因子が関与した眼振緩徐相成分が同時に存在すると考えられる。

新井ら¹⁹⁾は赤毛ザルを用いた温度眼振反応の3次元記録において、第1相から重力方向に一致した回転軸を持つ眼球運動成分が大きく、かつその眼振経過が他の成分と異なることを示し、温度眼振反応第1相の早期から中枢の速度蓄積機構が関与していることを示唆した。側臥位においては、速度蓄積機構を介した重力方向に一致した回転軸をもつ眼球運動は垂直性眼振であり⁹⁾、ENGによる記録が可能である。側臥位温度眼振反応の垂直成分に、速度蓄積機構が関与した反応を検出できるかを検討した。

サルの右耳上側臥位での右OKANは、速度蓄積機構の働きにより重力方向にcross coupleし、この頭位では下眼瞼向きの眼振が出現する⁹⁾。これと同じ頭位で同じ右向き水平性眼振が出現したのは、右耳注水右耳上側臥位温度眼振反応であった。この頭位での第1

相垂直成分の急速相方向は下眼瞼向きで、OKANのcross-couplingの方向と一致していた(図5)。右耳下側臥位での左OKANでは抗重力方向にcross coupleし、この頭位では下眼瞼向き眼振となるが、これと同じ頭位で左向き水平性眼振の出現したのは、右耳注水右耳下側臥位温度眼振反応である。この頭位での第1相垂直成分の急速相方向は下眼瞼向きで、やはりOKANのcross-couplingの方向と一致していた。同様に左耳上または下側臥位における左耳注水による温度眼振反応でも、第1相垂直成分の急速相方向とOKANのcross-couplingの向きは一致していた。すなわち側臥位温度眼振反応第1相垂直成分の方向からは、第1相水平成分のcross-couplingが下眼瞼向きの垂直性眼振を形成すると考えても矛盾しない。

Gizziら⁹⁾は、ヒトにおいても速度蓄積機構を検出したと報告している。すなわち頭軸を傾けて左右方向のOKNを調べると、眼振の回転軸は視運動刺激の方向よりも空間的に重力方向に傾いたことより、ヒトOKN中にもcross-couplingの現象を測定することができたという。この報告は、視運動刺激がまだ続いているときから速度蓄積機構の関与があることを示したものとして注目される。本研究でも、温度眼振反応第1相の水平成分に対する垂直成分の割合を計算したところ、側臥位温度眼振反応が背臥位温度眼振反応より有意に大きかった。この結果も側臥位温度眼振反応垂直成分に、内リンパ対流以外の成分として速度蓄積機構が関与した成分が加算された可能性を支持するものである。

内リンパ対流による第1相垂直成分が水平成分と同じ時間経過をとり、速度蓄積機構が関与する成分が第1相水平成分のcross-couplingを反映すると仮定すると、注水耳下側臥位垂直成分の持続時間は水平成分の持続時間である131秒より長くなるはずである。しかし実験結果では、注水耳下側臥位における垂直成分の持続時間(98秒)は水平成分の持続時間(131秒)に比較して明らかに短かった。この結果を説明するためには、注水耳下側臥位垂直成分第1相を打ち消すような、下眼瞼向きの緩徐相を持つ眼振反応を想定する必要がある。この眼振緩徐相は、131秒以上続くはずである。

注水耳上側臥位においても、速度蓄積機構が関与する成分が第1相水平成分のcross-couplingを反映すると仮定すると、垂直成分の持続時間(96秒)は、水平成分の持続時間である99秒より長くなると思われる。さらに第2相垂直成分の眼振開始時間は103秒で、

第2相水平成分の開始時間である(122秒)より早かった。これらの結果を説明するには、注水耳上側臥位にも第1相垂直成分を打ち消すような、下眼瞼向きの緩徐相を持つ眼振反応の存在を考える必要性がある。この眼振成分は少なくとも103秒以上続くはずである。

すなわち側臥位温度眼振反応垂直成分第1相には、速度蓄積機構が関与する眼振反応のほかに、頭位によらず下眼瞼向きの緩徐相を持つ眼振反応が想定された。前後半規管の内リンパ対流による眼振垂直成分が、第1相垂直成分のどちらの方向にどの程度の大きさで存在するかはこれまで文献的にも知られていない。さらに垂直成分第1相には水平成分と同様に内耳の温度低下に依存する眼振成分も存在すると考えられている。

2) 第2相について

垂直成分においても、第1相眼振消失後も内耳に温度変化が続いていたと考えると、第2相にはリンパ対流による成分と内リンパ対流では説明できない成分の加算の結果が第2相として出現したと考えられる。注水耳上側臥位垂直成分には、第1相と逆向きすなわち下眼瞼向きに水平成分第2相の cross-coupling が出現する。一方注水耳下側臥位水平成分には第2相が出現しなかったため、注水耳下側臥位第2相垂直成分には cross-coupling の影響はほとんど考慮しなくてよい。すなわち、注水耳上側臥位の垂直成分が下側臥位のそれより有意に多くの例で第2相が出現した理由の1つとして、第2相水平成分の cross-coupling が考えられる。

3) 側臥位温度眼振反応垂直成分の緩徐相方向の1モデル

以上の結果をモデル化して、図4(b)に側臥位温度眼振反応垂直成分の緩徐相方向を示した。第1相は注水耳上側臥位で96秒、注水耳下側臥位で98秒まで続いた。最大緩徐相速度のピーク時間は、注水耳上側臥位で55秒、注水耳下側臥位で54秒であった。第2相は注水耳上側臥位で103秒から開始し、307秒まで続いた(太い実線)。第1相では両頭位とも速度蓄積機構が関与する成分は、どのくらいの大きさでどこまで続くか不明であるが上眼瞼向きに出現する。注水耳上第2相では、速度蓄積機構が関与する成分は水平成分の cross-coupling として、下眼瞼向きに出現する。内リンパ対流または内耳の温度低下による成分も、下眼瞼向きに存在する(図4b斜線部分)。

3. 実験結果から考えられた内リンパ対流以外の成

分の起因について

実験結果より、側臥位温度眼振反応第1相には、内リンパ対流で説明できない成分が存在することがわかった。その1つとして、垂直成分には速度蓄積機構が関与していることが考えられた。さらに半規管内の温度勾配ではなく内耳の温度低下に依存する成分の存在も明らかになった。

内リンパ対流および速度蓄積機構以外の因子としては、耳石器¹⁶⁾¹⁷⁾²⁶⁾²⁷⁾、内リンパ液の膨張縮小²⁸⁾²⁹⁾³⁰⁾、末梢前庭への直接の温度刺激^{15)30)~34)}、全身への知覚入力の影響¹⁷⁾³⁵⁾、adaptation³⁶⁾など種々の説が報告されている。Gentine³⁷⁾は内リンパと外リンパの浸透圧差のモデルから冷温刺激による温度眼振反応の非対称性を、Pauら³⁸⁾は半規管膨大部の microcirculation モデルから背臥位と腹臥位の反応の非対称性を説明可能だと述べている。これら2者の報告はいずれも温度眼振反応の水平成分について考察を述べたものである。しかし本来温度眼振反応は水平・垂直・回旋成分から成り立つものであり、このことが定量的にも報告されている¹⁹⁾¹⁸⁾³⁹⁾。したがって温度眼振反応の3成分は1つの反応として考えるのが妥当である。

嘉和知¹³⁾は、背臥位温度眼振反応第1相水平成分の最大緩徐相速度と眼振持続時間が、腹臥位のそれより大きいこと、しかし垂直成分では、腹臥位のほうが背臥位より大きいことを報告した。この結果より、本研究と同じく第1相から内リンパ対流では説明のつかない、注水耳に向かう水平緩徐相成分と上眼瞼向きの緩徐相成分が存在している可能性を示した。つまり温度眼振反応第1相には内リンパ対流では説明できない、しかも頭位(背臥位・腹臥位・側臥位)によって決まった方向性を持つ眼振緩徐相成分が、水平・垂直両成分に存在していると考えられる。さらに側臥位温度眼振反応で注水耳下が注水耳上に比べて回旋成分を多く認めたこと、Uemura⁴⁰⁾、嘉和知¹³⁾が背臥位より腹臥位で回旋部分を多く認めたと報告していることより、各頭位の回旋成分にも同様の性質を持った眼振緩徐相成分が存在する可能性がある。すなわち温度刺激により誘発される眼振成分のうち、頭位によって決まる一定方向の眼振成分が、水平・垂直・回旋成分のいずれにも存在すると推測される。これは本報告で明らかになった内耳の温度低下に依存する成分にあたるものと考えられる。

この眼振成分の成因の1つとして耳石器が挙げられる。その理由は第1に、前庭眼反射に耳石器が関与し

ているという報告があることである。6半規管を遮断したサルは鉛直軸回りの回転(OVR)では無反応であったが、鉛直軸より30度傾斜した軸で回転(off vertical axis rotation, OVAR)したときには水平方向に眼振が誘発された⁴¹⁾。Cohenらはこの眼振の起源が耳石であると述べている⁴¹⁾。第2に、耳石は温度刺激により比較的一様な方向性を持つ反応を生ずる可能性があることである。Tsujii²⁶⁾らはネコを用いて、電気生理学的に確認された耳石由来の前庭神経が温度刺激に反応したことを報告した。さらにモルモット前庭神経節の耳石器由来のニューロンを機能的に同定し温度刺激を負荷したところ、個々の有毛細胞が別々に反応するのではなく耳石膜全体の偏位と類似する反応が起こることが予想された²⁷⁾。第3に解剖学的にも耳石器と半規管膨大部は近接しており(特に卵形囊)、耳石器にも温度刺激が伝わる可能性があると思われる。

以上のことより側臥位温度眼振反応は、内リンパ対流のみならず中枢の速度蓄積機構および耳石を含む内リンパ対流以外の成分が関与した一連の反応であると考えられる。

ま と め

健康成人20人40耳を対象に延べ80回の側臥位温度眼振検査と40耳の背臥位温度眼振反応を赤外線 CCD カメラおよび ENG 記録から分析することにより、次の結果を得た。

1. 側臥位温度眼振反応第1相について

側臥位温度眼振反応第1相では、温度刺激を与えた耳に関係がなく上になった耳に向かう水平成分を延べ80耳中79耳に認めた。80耳中53耳に下眼瞼向きの垂直成分を認め、上眼瞼向きの眼振は認めなかった。眼球の上極は温度刺激に関係なく被験者の上になった耳の方向に回旋していた。

注水耳上側臥位の方が温度刺激が長く続くと思われるにもかかわらず、第1相水平成分の最大緩徐相速度・持続時間・第1相の眼振頻度は1%の危険率で、垂直成分の最大緩徐相速度は5%の危険率で、注水耳上のほうが注水耳下に比較し小さいことがわかった。

2. 側臥位温度眼振反応第2相について

注水耳上側臥位は下側臥位に比較し眼振方向が逆転する傾向を認めた($p < 0.01$)。注水耳上側臥位では第2相の持続時間は第1相のそれに比較して明らかに長かったが、眼振頻度は有意差を認めなかった。第2相の最大緩徐相速度は第1相のそれと比例関係を認めな

かった。第2相垂直成分は水平成分より早く開始する傾向があった($p < 0.01$)。

側臥位温度眼振反応の眼振方向は、被験者のめまい感と傾向が一致していた。

3. 被験者全員に20°C 5mlの背臥位の温度眼振検査を行った。背臥位温度眼振反応第1相水平成分の最大緩徐相速度は、側臥位のそれより明らかに大きかった。一方垂直成分は頭位による差は小さかった。

以上の実験結果より、側臥位温度眼振反応水平成分のみならず垂直成分にも、内リンパ対流と内リンパ対流以外の成分が関与していることが明らかになった。内リンパ対流以外の成分として、垂直成分には中枢の速度蓄積機構の関与が推察された。また耳石器の関与の可能性も考えられた。

文 献

- 1) Barany R: Untersuchungen über den vom vestibularapparat des Ohres reflektorisch ausgelösten rhythmischen Nystagmus und seine Begleiterscheinungen. Mschr Ohrenheilkd Laryngorhinol 40: 193-297, 1906.
- 2) Baumgarten von R, Benson A, Berthoz A: Effects of rectilinear acceleration and optokinetic and caloric stimulation in space. Science 225: 208-212, 1984.
- 3) Raphan T, Cohen B: Multidimensional organization of the vestibulo-ocular reflex (VOR). Adaptive Processes in Visual and Oculomotor Systems, ed. by Keller EL, Zee DS. Pergamon Press: pp 285-292, 1985.
- 4) Raphan T, Cohen B: Organizational principles of velocity storage in three dimensions. Ann NY Acad Sci 545: 74-92, 1988.
- 5) Robinson DA: Vestibular and optokinetic symbiosis: An example of explaining by modelling. Control of Gaze by Brain Stem Neurons, ed. by Baker R, Berthoz A. Elsevier: pp 49-58, 1977.
- 6) Buizza A, Schmid R: Visual-vestibular interaction in the control of eye movement: Mathematical modelling and computer simulation. Biol Cybern 43: 209-233, 1982.
- 7) Yokota J, Reisine H, Cohen B: Stimulation and single unit studies of velocity storage in the vestibular and prepositus hypoglossi nuclei of the monkey. Ann NY Acad Sci 656: 966-968, 1992.
- 8) Yokota J, Reisine H, Cohen B: Nystagmus and

- velocity storage induced by micro stimulation of the vestibular nuclei in the alert monkey. *Exp Brain Res* 92: 123-138, 1992.
- 9) Gizzi M, Rundolph S, Cohen B, Raphan T et al: The representation of the spatial vertical in human optokinetic nystagmus. *Ann NY Acad Sci*: 22: 656: 843-846, 1992.
- 10) 新井寧子, 嘉和知直美, A. ベーマー, Vヘン: 温度眼振反応における垂直半規管の役割. *日耳鼻* 95: 1613-1614, 1992.
- 11) 鯉渕多恵子: 迷路温度刺激の強さと反応の大きさに関する研究. *耳鼻と臨床* 24: 605-615, 1978.
- 12) 緑川周子, 高橋正紘, 辻田直美, 星川治子: 少量注水法による冷水刺激検査. *日耳鼻* 87: 1111-1119, 1984.
- 13) 嘉和知直美: 正常者温度眼振反応の垂直成分および第2相について. *日耳鼻* 95: 1409-1420, 1992.
- 14) Gentine A, Eichhorn JL, Kopp C et al: Modelling the action of caloric stimulation of the vestibule. I. The hydrostatic model. *Acta Otolaryngol* 110: 328-333, 1990.
- 15) Coats AC, Smith SY: Body position and the intensity of caloric nystagmus. *Acta Otolaryngol* 63: 515-532, 1967.
- 16) Böhmer A, Straumann D, Henn V et al: Three-dimensional analysis of caloric nystagmus in the rhesus monkey. *Acta Otolaryngol* 112: 916-926, 1992.
- 17) Clarke AH, Scherer H, Schleibinger J: Body position and caloric nystagmus response. *Acta Otolaryngol* 106: 339-347, 1988.
- 18) 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.
- 19) Jongkees LBW: Über die Untersuchungsmethoden des Gleichgewichtsorgans. *Fortschr. Hals-Nasen-Ohrenheilk.* 1, 1, S. Karger, Bsel 1953. (文献23より引用)
- 20) Gursel A, Oosterveld W: Post-caloric secondary nystagmus. *Clin Otolaryngol* 8: 181-185, 1983.
- 21) Milojevic B, Allen T: Secondary phase nystagmus: The caloric test. *Laryngoscope* 77: 187-201, 1967.
- 22) Cawthorne T, Cobb WA: Temperature changes in the perilymph space in response to caloric stimulation in man. *Acta Otolaryngol* 44: 580-588, 1956.
- 23) 小出千秋: 温度刺激による側頭骨の温度変化. *Equilibrium Res* 52: 504-512, 1993.
- 24) 鈴木淳一: 前庭生理に関する新知見. 一単一半規管神経刺激による眼球および頸運動— *耳鼻咽喉科* 38: 33-42, 1966.
- 25) Böhmer A, Straumann D, Henn V et al: Effects of semicircular canal plugging on caloric nystagmus recorded in three dimensions. (in preparation)
- 26) Tsuji J, Naito Y, Honjo I: The influence of caloric stimulation on the otolith organs in the cat. *Eur Arch Otorhinopharyngol* 248: 68-70, 1990.
- 27) 辻 純, 李 相欣, 内藤 泰, 伊藤壽一, 本庄 巖: 温度刺激の耳石器に及ぼす影響. *Otology Japan* 1: 66, 1991.
- 28) Scherer H, Clarke AH: The caloric vestibular reaction in space. *Acta Otolaryngol (Stockh)* 100: 328-336, 1985.
- 29) Harada Y, Ariki T: A new theory for thermal influences on endolymphatic flow. *Arch Otorhinopharyngol* 242: 13-17, 1985.
- 30) Minor LB, Goldberg JM: Influence of static head position on the horizontal nystagmus evoked by caloric, rotational and optokinetic stimulation in the squirrel monkey. *Exp Brain Res* 82: 1-13, 1990.
- 31) Hood JD: Evidence of direct thermal action upon the vestibular receptors in the caloric test. *Acta Otolaryngol* 107: 161-165, 1989.
- 32) Paige GD: Caloric responses after horizontal canal inactivation. *Acta Otolaryngol* 100: 321-327, 1985.
- 33) Ohtani M, Yamashita T, Amano et al: Thermal influence on intracellular calcium concentration in vestibular hair cells isolated from the guinea pig. *Acta Otolaryngol* 500: 46-49, 1993.
- 34) Klinke R: Thermal effects on the vestibular hair cell synapse have to be considered for the explanation of caloric nystagmus. *Acta Otolaryngol* 112: 574-578, 1992.
- 35) Inoue Y, Hashiba M, Baba S et al: Water immersion on post-rotatory and caloric nystagmus. *Acta Otolaryngol* 481: 304-306, 1991.
- 36) Barnes GR, Benson AJ: Adaptation in the caloric response. *Vestibular mechanisms in health and disease*, ed. by Hood JD. *Extraordinary Meeting of Barany Society*. Academic Press: pp 254-262, 1978.

- 37) Gentine A, Eichhorn JL, Kopp C et al: Modelling the action of caloric stimulation of the vestibule. III. Caloric nystagmus induced by osmotic pressure variation. *Acta Otolaryngol* 111: 463-467, 1991.
 - 38) Pau HW, Limberg W: Fluid kinetics of endolymph during calorization. *Acta Otolaryngol* 109: 331-336, 1990.
 - 39) Arai Y, Suzuki J, Hess B et al: Caloric nystagmus in three dimensions under otolithic control in rhesus monkeys. a preliminary report. *Otorhinolaryngology* 52: 218-225, 1990.
 - 40) Uemura T, Cohen S: Effects of vestibular nuclei lesions on vestibular ocular reflexes and posterior monkeys. *Acta Otolaryngol Supple* 315: 1-71, 1973.
 - 41) Cohen B, Suzuki J-I, Raphan T: Role of the otolith organs in generation of horizontal nystagmus: effects of selective labyrinthine lesions. *Brain research* 276: 159-164, 1983.
-
- 稿を終えるにあたり、ご校閲を賜りました荒牧元教授、研究に際し直接ご指導をいただきました新井寧子助教授、さらにデータ収集にも大なる協力をしていただいた木戸栄子検査技師に深謝いたします。
- 本研究の要旨は、第51回日本平衡神経科学会、第94回日本耳鼻咽喉科学会総会に発表した。本研究の一部は平成5年度文部省科学研究費補助金一般研究C課題番号04807125、および平成3年度東京女子医科大学山川寿子研究奨励金により遂行された。
-
- (1995年2月8日受稿 1995年5月12日受理 急載)
 別刷請求先 〒116 東京都荒川区西尾久2-1-10
 東京女子医科大学附属第二病院耳鼻咽喉科 土屋由子

A 98-1006-24020

日耳鼻

正常者の側臥位における温度眼振反応

——速度蓄積機構など内リンパ対流以外の因子の関与を探る——

土屋由子 (東女医大第二)

側臥位における温度眼振反応を健康者20名を用い、赤外線ビデオカメラと ENG で記録分析した。その結果、側臥位温度眼振反応第1相の水平成分のみならず垂直成分にも、内リンパ対流以外の因子が関与していることが定量的に明らかになった。垂直成分には中枢の速度蓄積機構の関与が推察された。さらに温度眼振反応を水平成分だけでなく垂直・回旋成分を含めた1つの反応として検討した結果、内リンパ対流以外の因子の1つとして耳石器の関与の可能性も考えられた。

A 98-0989-20331

日耳鼻

内耳道に腫瘍を認める二次性側頭骨腫瘍の病理組織学的検討

I. 藤裕弘 (国立王子) 加我君孝 (東大)

櫻井尚夫 (帝京大) 大平泰行 (埼玉小児)

内耳道に腫瘍を認める二次性側頭骨腫瘍19例について病理組織学的検討を行った。症例は頭頸部腫瘍からの直接浸潤群(12例)、血行性転移群(3例)、髄膜癌腫からの浸潤群(3例)、頭蓋内腫瘍からの直接浸潤群(1例)の4群に分類され、各群において浸潤の様式に特徴がみられた。内耳道内の神経では、蝸牛神経、下前庭神経が保存されにくく、顔面神経、上前庭神経は比較的抵抗性が高かった。中枢側の神経節(らせん神経節、前庭神経節)の障害に起因する脱神経があっても、末梢受容器官(コルチ器、耳石器・半規管)がよく保たれている例が認められたが、一方、脱神経による末梢受容器官の二次的変性の可能性を示唆する例も存在した。

A 98-1000-22022

日耳鼻

側臥位ティンパノメトリによる中耳腔換気の研究

——第1報 正常耳——

海老原秀和 (東医歯大)

通常大気圧環境下で行われている中耳腔換気を証明するため、大気圧環境下で側臥位姿勢をとることにより、中耳腔内圧が上昇する現象にて、正常耳50耳を検討した。測定方法は、側臥位姿勢の下方耳におけるティンパノメトリ(側臥位ティンパノメトリ)のピーク値の移動を指標にして12秒ごとに連続記録した。その結果として、1. 座位から側臥位姿勢に体位変換した際の中耳腔内圧の上昇の原因として、静脈圧が考えられた。2. 側臥位施設における中耳腔内圧上昇により中耳腔乳突蜂巣からのガスの産生が示唆された。また、中耳腔内圧は85-90 mmH₂Oに上昇すると安定することにより、耳管からのガスのしみだしや、中耳腔乳突蜂巣よりのガスの産生を抑制するメカニズムの存在が考えられた。