後半規管神経刺激により前庭神経四垂核内に発生する 細胞外電場電位

聖マリアンナ医科大学耳鼻咽喉科学教室（主任：竹山 勇教授）

中 島 博 昭

EXTRACELLULAR FIELD POTENTIALS IN THE FOUR VESTIBULAR SUBNUCLEI EVOKED BY STIMULATION OF THE AMPULLARY NERVE OF THE POSTERIOR SEMICIRCULAR CANAL IN CATS

HIROAKI NAKASHIMA, M.D.

Department of Otolaryngology, St. Marianna University School of Medicine, Kawasaki

Changes in amplitudes of the field potential complex, P, N₁, and N₂, in the ventrodorsal direction were studied in four vestibular subnuclei following stimulation of the ampullary nerve of the posterior semicircular canal in anesthetized cats. The P, N₁, and N₂ potentials represent the spike potentials of the primary vestibular nerve fibers, and the monosynaptically and polysynaptically evoked spikes of the vestibular neurons, respectively. These complex potentials were recorded in four vestibular subnuclei. Large amplitudes of P, N₁, and N₂ potentials were recorded in localized areas, i. e., the central part of the medial nucleus, the ventral 1/3 of the descending nucleus, and the ventral 1/3 of the superior nucleus, respectively. Latency analysis of the P potential suggested that the ascending branches in the superior nucleus are thinner than the descending branches in the descending nucleus.

Key words: 後半規管神経, 前庭神経四垂核, 上行枝, 下行枝,
細胞外電場電位

A91-1285-24020

はじめに

前庭一次求心性線維の主要投射部位は前庭神経核の四垂核, すなわち上核・下核・内側核・外側核であり, その他Yグループ, 小脳の片葉・小節葉・虫部垂・室頂核や, 外転神経核とその外側部網様体, 副楔状束核の外側部網様体へも投射している¹⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾¹⁷⁾.

Gacek³⁾ はネコを, Stein and Carpenter¹²⁾ はサルを用いて, 前庭神経節の限局した部位を破壊する方法により, 個々の半規管・耳石器に由来する前庭一次求心性線維の投射部位について実験を行っている。それらの研究によると, 種による差異は少なく, 半規管由来の一次求心性線維は外側核のレベルで前庭神経核に入

り, 上行枝と下行枝に分かれ, 上行枝のうち前半規管と外側半規管に由来する線維は上核の吻側部に, 後半規管由来の線維は上核尾側中央部に投射するという。また, すべての下行枝は外側核から下核を下行し, 外側核・下核・内側核に投射している。耳石器由来の一次求心性線維のうち, 卵形囊由来の線維は内側核・下核・外側核腹側に, 球形囊由来の線維は主にYグループと下核に投射し, 耳石器系一次求心性線維は半規管由来の神経線維と異なり, 前庭神経内カハル間質核と上核には側枝を出さない³⁾。

最近, 半規管系由来の前庭一次求心性線維の投射様式が Horseradish Peroxidase (HRP) の軸索内注入法

を用いて研究された。1982年, Mannen⁴⁾⁸⁾ は自然刺激,あるいは個々の半規管神経の選択的電気刺激法により,入力様式を同定した単一前庭一次求心性線維にHRPを注入し,その走行と投射部位について詳細に調べ, 1) 前半規管と外側半規管由来の線維は前庭神経の吻側を,後半規管由来の線維は尾側を走り,前庭神経内カハル間質核に側枝を出した後,外側核腹外側部で上行枝と下行枝に分かれる。2) 上行枝及び下行枝は外側核から内側核へ向かう側枝を出し,終末を外側核及び内側核に作る。3) 前半規管と外側半規管由来の上行枝は上核全体に投射するが,後半規管由来の線維は主に上核尾側中央部に投射する。4) いずれの下行枝も下核腹外側を下行し,内側核に数本の側枝を直角に出す。前半規管由来の側枝は下核,内側核に広く投射しているが,後半規管由来の側枝は,下核外側部,内側核中央部の比較的限局した部位に投射し,水平半規管由来の分枝投射様式は,その中間の拡がりを示すことなどを明らかにした。

前庭一次求心性線維を電気刺激すると,一次求心性線維の活動によるP波,前庭核ニューロンの単シナプス性放電によるN₁波と主に多シナプス性放電によると考えられるN₂波が前庭神経核内で記録できる⁹⁾。P波の頂点,及びN₁波,N₂波の始まりの潜時はそれぞれ $0.66 \pm 0.14\text{ms}$, $1.06 \pm 0.22\text{ms}$, $2.46 \pm 0.26\text{ms}$ で⁹⁾,最大振幅を示す部位は内側核腹側部である¹¹⁾。

一方,球形囊由来の前庭一次求心性線維のみを電気刺激した場合,P波は不明瞭で,N₁波の振幅は小さく,N₁波の始まりの潜時は $0.9 \sim 1.9\text{ms}$ で,頂点までの潜時は $1.2 \sim 2.5\text{ms}$ と半規管神経を含む刺激により発生するN₁波の潜時に比して遅いことが示されている¹⁰⁾。

半規管神経を選択的に電気刺激し前庭神経四亜核内でどのようなP波,N₁波,N₂波が発生するかについては検討されていない。そこで今回,ネコを用いて,後半規管神経を選択的に電気刺激することにより前庭神経四亜核内に発生するP波,N₁波,N₂波の振幅,潜時等についての知見を得たので報告する。

実験方法

Ketamine Hydrochloride (50mg/kg i.m. PARKE-DAVIS) 及び Pentobarbital Sodium (5mg/kg i.p. Abbott Laboratories) で麻酔した8匹の成ネコ(体重2.0-3.0kg)を使用した。麻酔後,気管切開を行い気管カニューレを挿入し,血圧測定,及び薬剤投与のため

カニューレを各々大腿動脈と,大腿静脈に挿入した。斜め後腹側より鼓室胞を開放し,正円窓尾側の後半規管膨大部に小孔を開け,後半規管神経を刺激するために電極を刺入した。また,顔面神経直下の前半規管及び外側半規管膨大部にも小孔を開け,両半規管神経を刺激するために電極を刺入した¹³⁾。刺激用電極は,直径100 μm のステンレス線を2本張り合わせ,先端を切りそろえたものを使用した。半規管神経が正確に刺激されていることは,0.2msの矩形波電流を300-400Hzで30発通電し誘発される眼球運動を観察することにより確認した²⁾。前庭神経すべてを刺激するために,銀ボール電極を正円窓,卵円窓に挿入し,電流滑走と乾燥から神経を保護するためパラフィン・ワゼリン混合液を鼓室胞内に満たし,各電極を歯科用セメントで固定した。

Pancronium Bromide (Organon) にて非働化後,人工呼吸を施行した。前庭神経核から電場電位を記録するために後頭骨を鉗除し,小脳中央部を吸引除去し,第4脳室底を露出した。電場電位は,電極を背側より前庭神経核内に刺入し,腹側から始めて背側に200 μm 毎に動かして記録を行った。記録用電極にはFast Green FCFを飽和させた2M NaCl溶液を充滿して抵抗1M Ω 程度としたガラス管微小電極を使用した。記録後通電により電極先端より色素を流出させ,記録部位を同定した¹⁴⁾。

実験終了時,致死充分量のPentobarbital Sodiumを静注し,脳幹を摘出して10%ホルマリンで固定後,100 μm の連続凍結切片を作成し,切片標本にNissl染色を行い,記録部位について組織学的に検討した。

結 果

1. 刺激強度と細胞外電場電位の成熟

図1は,後半規管神経の刺激強度を徐々に強くした時,前庭神経核内に発生した電場電位の成熟を表し,横軸は刺激強度($\times N_1 T$),縦軸は振幅(μV)を示している。前庭一次求心性線維の活動電位であるP波と前庭二次ニューロンの発火によるN₁波の発生閾値がほぼ等しいことから,N₁波の発生しはじめる閾値,N₁Tをもって後半規管神経電気刺激の閾値とし,刺激強度をその倍数で表した¹¹⁾。

N₁閾値の4-5倍の強度で前庭神経核内に発生する細胞外電場電位は最大となり,P波は200 μV ,N₁波は300 μV ,N₂波は140 μV に達し飽和している。

2. 後半規管神経刺激と電流滑走

図1 後半規管神経刺激により前庭神経核内に発生する電場電位と刺激強度

A: 後半規管神経の刺激による電場電位。刺激時点を下向矢印で示し、最初の陽性波をP波、続く2つの陰性波をN₁・N₂波とする⁹⁾ (A-2)。

A-1, 2, 3の刺激強度は各々2×, 3×, 5×N₁ T。

B: 電場電位各要素の振幅を縦軸に、刺激強度を横軸に示す。白丸はN₁波、黒丸はN₂波、黒三角はP波の振幅を示す。

半規管の選択的電気刺激の場合、電流滑走のために他の半規管神経も刺激している可能性を考えなければならぬ。

図2は後半規管神経電気刺激により発生したN₁波の振幅、前・外側半規管神経電気刺激により発生したN₁波の振幅、及び後半規管神経と前・外側半規管神経の同時刺激により発生したN₁波の振幅を各々示したものである。N₁波の振幅としては電位の変化点よりN₁波の頂点までを測定した(図1・A-2)。この実験におけるN₁ Tは1.0Vであった。

後半規管神経及び前・外側半規管神経同時刺激により発生したN₁波の振幅は2.5×N₁ T (2.5V) までの刺激強度において、各々の選択的刺激により発生したN₁波の振幅の算術和とほぼ等しいが、3×N₁ T (3.0V) 程度以上の刺激強度では算術和よりもやや小さかった。この実験では3×N₁ T (3.0V) 以上の刺激強度で後半規管神経を刺激した時に、他の前庭神経に電流滑走を起こしている可能性のあることが示唆された。

3. 前庭神経核各亜核における電場電位

図3から図6は同一のネコ(N₁ T=0.5V)を用い、後半規管神経を5×N₁ T (2.5V) 及び2×N₁ T (1.0V) で刺激したとき、前庭神経四亜核内で記録されたP, N₁, N₂波の振幅の推移を示している。縦軸は電極の位置、横軸は振幅をµVであらわす。

図2 半規管神経刺激の強度と電流滑走

A: 前庭神経核に発生した電場電位。A-1は後半規管神経を4×N₁ Tで、A-2は前・外側半規管神経を4×N₁ Tで、A-3は後半規管神経及び前・外側半規管神経を同時に4×N₁ Tで刺激した時の電場電位。

B: 横軸に刺激強度、縦軸にN₁波の振幅を示す。白丸は後半規管神経刺激によるN₁波、白三角は前・外側半規管神経刺激によるN₁波、黒丸は後半規管神経及び前・外側半規管神経同時刺激により発生するN₁波の振幅の変化を示す。

1) 外側核に発生する電場電位

図3-Bは5×N₁ Tと2×N₁ Tの強度で後半規管神経を刺激した時のN₁波の振幅を示したものである。5×N₁ Tで後半規管を刺激するとN₁波の振幅は背部で190µVであったが、腹側に行くに従い増大し、腹側端より約800µm背側で最大となり760µVの値を示した。さらに腹側に進むと振幅は急激にその大きさを減じた。2×N₁ Tの刺激でも同様の推移を示した。すなわち、腹側端より約800µm背側部に後半規管神経からの最大入力があることを示している。

次にN₂波の振幅の推移についても5×N₁ Tと2×N₁ Tの強度で刺激し検討した(図3-C)。5×N₁ Tの刺激では背側部から中央部にかけて20-80µVと小さく、腹側にさらに進むと振幅はやや増大し、N₁波と同様、腹側端より約800µm背側の部位で340µVと最大値となり、それより腹側では振幅は小さくなった。また、2×N₁ Tの強度で刺激すると背側部で20µV、中央部で最大値160µVを示した。このネコでは2×N₁ Tの刺激強度で外側核中央部に発生したN₂波の振幅が5×N₁ Tで発生したN₂波の振幅より大きかったが、他の2匹のネコでは同様の現象はみられなかった。

図3 後半規管刺激により前庭神経外側核に発生する電場電位

A: 記録部位の組織図。縦線は電極の刺入方向を示す。6: 外転神経, 6N: 外転神経, 7G: 顔面神経膝部, L: 外側核, M: 内側核, MLF: 内側縦束, RB: 索状体, SA: 聴条, SO: 上オリーブ核, TB: 台形体。

B: N_1 波の振幅 (横軸) と、電極の位置 (縦軸) との関係。刺激強度は、白丸が $5 \times N_1 T$, 白三角が $2 \times N_1 T$ 。

C: N_2 波の振幅 (横軸) と、電極の位置 (縦軸) との関係。刺激強度は B と同じ。

図4 後半規管刺激により前庭神経下核に発生する電場電位

A: 記録部位の組織図。縦線は電極の刺入方向を示す。6N: 外転神経, D: 下核, M: 内側核, MLF: 内側縦束, P: 錐体路, RB: 索状体, SA: 聴条, SO: 上オリーブ核, TB: 台形体。

B: N_1 波の振幅 (横軸) と電極の位置 (縦軸) との関係。刺激強度は、白丸が $5 \times N_1 T$, 白三角が $2 \times N_1 T$ 。

C: N_2 波の振幅 (横軸) と電極の位置 (縦軸) との関係。刺激強度は B と同じ。

2) 下核に発生する電場電位

後半規管神経を $5 \times N_1$ T 及び $2 \times N_1$ T の強度で刺激して発生した N_1 波の振幅を図4-Bに示す。背側部では $230 \mu V$ であるが、腹側約1/3の部位で約 $1 mV$ と最大となり、さらに腹側に進むと、一度その振幅を減ずるが再度約 $900 \mu V$ となり、その後急速に振幅は減少した。 $2 \times N_1$ T 刺激による振幅の推移も $5 \times N_1$ T 刺激と同様の傾向を示した。この例では N_1 波の振幅に2つのピークがあったが、この所見は一般的傾向とはいえず、他の例と共通する点は腹側部で最大の N_1 波が記録できた点であった。

N_2 波については図4-Cに示す。後半規管神経を $5 \times N_1$ T で刺激すると、下核背側部で $110 \mu V$ 、中央部から腹側にかけて最大値 $180 \mu V$ を示したが、その振幅は N_1 波に比して小さい。また、 $2 \times N_1$ T の刺激強度でも同様に振幅は小さく、背側部で $80 \mu V$ 、中央部から腹側にかけて $130 \mu V$ を示したのみであった。背側1/3の部位で $2 \times N_1$ T の刺激強度で発生した N_2 波の振幅が $5 \times N_1$ T で発生した N_2 波より大きかったが、他の5匹のネコではこのような現象はみられなかった。

3) 内側核に発生する電場電位

後半規管神経を $5 \times N_1$ T 及び $2 \times N_1$ T で刺激したときに内側核に発生した P 波の振幅を図5-Bに示

す。 $5 \times N_1$ T の強度では背側部で $90 \mu V$ 、腹側に進むに従って増大し、核の中央部で $260 \mu V$ と最大となり、その後は減少し核外に出る。 $2 \times N_1$ T の刺激強度でも同様の推移を示した。

後半規管神経を $5 \times N_1$ T 及び $2 \times N_1$ T で刺激した時の N_1 波の振幅を図5-Cに示す。 $5 \times N_1$ T の刺激で背側部では $120 \mu V$ であり、中央部やや腹側で $460 \mu V$ と最大値を示した。さらに腹側に進むと、振幅は小さくなり核外に至ると急に小さくなる。 $2 \times N_1$ T の刺激強度でも背側部で $100 \mu V$ 、中央部やや腹側で $240 \mu V$ と最大となり、 $5 \times N_1$ T の結果と同様の推移であった。

N_2 波の振幅も図5-Dに示したように N_1 波と同様の推移を示した。

4) 上核に発生する電場電位

後半規管神経を $5 \times N_1$ T 及び $2 \times N_1$ T 刺激により発生した N_1 波の振幅の大きさを図6-Bに示す。 $5 \times N_1$ T の刺激を用いると背側部で $140 \mu V$ であり、腹側に進むに従い増大し、腹側約1/3の部位で $500 \mu V$ と最大値を示し、さらに腹側へ進むと急速に大きさを減じている。 $2 \times N_1$ T の刺激では背側部で $120 \mu V$ であり、腹側約1/3の部位では $5 \times N_1$ T のピークに一致して $440 \mu V$ と最大値を示した。

図5 後半規管刺激により前庭神経内側核に発生する電場電位

A: 記録部位の組織図。縦線は電極の刺入方向を示す。D; 下核, M; 内側核, MLF; 内側縦束, P; 錐体路, RB; 索状体, SA; 聴条, SO; 上オリブ核, TB; 台形体。

B: P波の振幅(横軸)と電極の位置(縦軸)との関係。刺激強度は、白丸が $5 \times N_1$ T, 白三角が $2 \times N_1$ T。

C: N_1 波の振幅(横軸)の電極の位置(縦軸)との関係。刺激強度はBと同じ。

D: N_2 波の振幅(横軸)と電極の位置(縦軸)との関係。刺激強度はBと同じ。

図6 後半規管刺激により前庭神経上核に発生する電場電圧

A: 記録部位の組織図。縦線は電極の刺入方向を示す。5 NM; 三叉神経脊髄路核, 7 G; 顔面神経膝部, 7 N; 顔面神経, CB; 小脳, MLF; 内側縦束, S; 上核, TB; 台形体。

B: N_1 波の振幅 (横軸) と電極の位置 (縦軸) との関係。刺激強度は白丸が $5 \times N_1 T$, 白三角が $2 \times N_1 T$ 。

C: N_2 波の振幅 (横軸) との関係。刺激強度は B と同じ。

N_2 波については図 6-C に示す。後半規管神経の $5 \times N_1 T$ 刺激により背側部では $40 \mu V$, N_1 波が最大値を示した部位に一致して $520 \mu V$ と最大となり、さらに腹側では急激に小さくなっている。 $2 \times N_1 T$ の刺激では振幅はほとんど変化せず、 $5 \times N_1 T$ で最大値を示した部位でも $100 \mu V$ であった。これは $2 \times N_1 T$ の刺激では発火しなかった多シナプス性前庭核ニューロンが $5 \times N_1 T$ で発火したことを示している。

また図 6-A に示した部位よりもさらに吻側部で同様の記録を行ったところ、 $5 \times N_1 T$ の刺激で N_1 波は背側で $130 \mu V$, 中央部でも $300 \mu V$ と振幅を減じており、 N_2 波も同様に小振幅であった。

4. P 波, N_1 波, N_2 波の潜時について

P 波の頂点は前庭神経核内における後半規管神経一次求心性線維の最大興奮時をあらわし、 N_1 波の始まりは前庭二次ニューロンのうち最も早く放電したグループの発火潜時を示し、同波の頂点は二次ニューロン群の最大放電を意味している。 N_2 波の成因については後述する。後半規管神経刺激により発生する P 波, N_1 波, N_2 波の潜時を始まりと頂点とに分け、各々の潜時の平均 $\pm$ 標準偏差 (Mean $\pm$ S.D.) を表 1 に記載し

表 1 後半規管神経刺激により各亜核に発生する電場電位の潜時

	P 波		N ₁ 波		N ₂ 波	
	Peak	Initiation	Peak	Initiation	Peak	
内側核 (n= 8)	0.53 ±0.08	0.90 ±0.19	1.18 ±0.18	1.81 ±0.20	2.14 ±0.20	
下 核 (n=10)	0.46 ±0.05	0.73 ±0.08	1.01 ±0.11	2.01 ±0.20	2.24 ±0.20	
外側核 (n= 5)	0.48 ±0.05	0.74 ±0.05	0.94 ±0.05	1.83 ±0.25	2.10 ±0.30	
上 核 (n= 3)	0.65 ±0.07	0.97 ±0.21	1.30 ±0.10	1.97 ±0.25	2.20 ±0.20	

Initiation: 各波の始まり Peak: 各波の頂点
単位: ms

た。

各々の値について四亜核間における有意差の検定を一元配置分散分析法 (F-検定法) を用いて行った。F-検定法で有意差を認めたものについては、各亜核間での比較のためにさらに全体有意差法を用いて有意差を検定した。

P波の頂点までの潜時は、上核で他の三亜核よりも有意に遅かった ($P < 0.01$)。

N_1 波の始まりまでの潜時についてみると、上核では下核、外側核よりも有意に遅かった ($P < 0.01$)。 N_1 波の頂点までの潜時では、上核は下核と外側核よりも有意に遅く ($P < 0.01$)、内側核は外側核よりも有意に遅かった ($P < 0.05$)。

N_2 波の始まりまでの潜時及び N_2 波の頂点までの潜時については、 $P > 0.25$ で有意の差を認めなかった。

考 察

今回の実験は後半規管神経を選択的に電気刺激し、前庭神経四亜核からの現象を記録したものであるが、この種の実験における半規管神経選択的電気刺激では、つねに電流滑走を考慮にいれなければならない。その理由は各々の半規管神経と耳石器神経の距離が近いからである。しかし図—2の成績からみて、後半規管神経を $2.5 \times N_1$ T 前後の刺激強度で刺激した場合、他の半規管への電流滑走はないか非常に弱いと考えられた。この実験では後半規管神経と他の半規管神経を同時に刺激した場合に発生する N_1 波の振幅が各々の半規管神経を選択的に刺激したときに発生する N_1 波の振幅の算術和にほぼ等しいことを示している。また、この実験での N_1 T が $1.0V$ であったことを考えれば、後半規管神経を $2.5V$ 前後以下で刺激した場合、他の神経への電流滑走は起こりにくいと考えられる。 $3 \times N_1$ T ($3.0V$) 以上の刺激では後半規管神経と他の半規管神経の同時刺激により発生する N_1 波の振幅は選択的電気刺激による N_1 波の算術和よりやや小さく、後半規管神経刺激時に、他の半規管神経に電流滑走を起こしている可能性は強いが、図3から図6で用いたネコにおける N_1 T は $0.5V$ で、 $5 \times N_1$ T としても $2.5V$ であり、前述した事柄を考慮にいれば電流滑走の存在は少ないといえる。

一方、耳石器系への電流滑走も考えなければならない。Wilson ら¹⁹⁾によれば、耳石器神経のみを刺激した場合、前庭神経核に発生する電場電位はP波がはつきりせず、 N_1 波の振幅も小さく（前庭神経刺激時の約 $1/10$ ）、 N_1 波の潜時も始まりで $0.7 \sim 1.9ms$ 、頂点でも $1.2 \sim 2.5ms$ と遅く、今回の実験での潜時と著しく異なり、また、潜時の明瞭な N_2 波は認められないという。これらのことから耳石器神経への電流滑走はあっても今回の実験結果をゆがめる危険は少ないと考えられる。

銀ボール電極で前庭神経を刺激した場合の N_1 波の振幅の最大値は内側核と、下核の境界部周辺で $2.0mV$ 以上であった¹¹⁾。本実験では N_1 波が最大を示したのは下核腹側部で約 $1mV$ であった。後半規管神経のみを選択的に刺激した時の N_1 波の振幅が小さかった最大の原因は、後半規管神経刺激に応答するニューロンの数がすべての前庭神経を銀ボール電極で刺激した時に応答するニューロンよりも少ないためと考察される。

Shimazu ら¹¹⁾のすべての前庭神経を刺激した実験では N_2 波の振幅はおおよそ $800\mu V$ と N_1 波の振幅の約 $1/3$ であった。本実験の後半規管神経選択的刺激においては N_2 波の振幅はそのほとんどが N_1 波の振幅の $1/4$ 以下であった。 N_2 波は前庭核ニューロンの多シナプス性の活動、前庭二次ニューロンの2発発射、耳石器系ニューロンの活動により発生する N_1 波等が主な構成要素であることから、 N_2 波の振幅が小さいということは後半規管神経より多シナプス性に入力を受ける前庭核ニューロンの数が少ないか、後半規管神経入力を受ける前庭二次ニューロンの内、2発発射をするニューロンが少ないか、後半規管神経入力を受ける抑制性前庭二次ニューロンの活動が多シナプス性ニューロンの活動を抑制するのか、耳石器系の N_1 波の成分がないためかなどいくつかの理由が考察された。また、Shimazu らの実験¹¹⁾と本実験とは麻酔条件が異なっているが、Pentobarbital 麻酔の細胞外電場電位への影響は N_1 波よりも N_2 波が影響を受けやすい⁹⁾という報告もみられ、麻酔による影響も考慮に入れなければならない。

本実験に基づく結果のいくつかを勘考すれば、後半規管神経の刺激強度を徐々に強くしていくと、 N_1 T の $4 \sim 5$ 倍の刺激で各電場電位の振幅が飽和しており、Shimazu and Precht¹⁰⁾ 及び、Uchino ら¹⁵⁾の前庭一次求心性線維刺激のそれとよく一致している。また図1に示したP波の最大振幅が小さいが、これは記録部位が内側核であり、一次求心性線維の主たる投射部位より遠位で記録したためと考えている。

次に前庭神経四亜核における結果をみると、外側核では背側より腹側に進むに従い、 N_1 波の振幅は増大し、 N_2 波の振幅も同様の傾向を示した。この実験では刺激強度と振幅の大きさがほぼ相関しているが、外側核中央部に発生した N_2 波では $2 \times N_1$ T の刺激のほうが $5 \times N_1$ T の刺激よりも大きな振幅を示した。これは N_1 波に含まれる抑制性前庭二次ニューロンの関与

も考えなくてはならない。

下核、内側核、上核においても背側より腹側に進むにつれ最大振幅を示し、各亜核の中央部から腹側部に後半規管神経から単シナプス性及び多シナプス性に入力を受ける前庭核ニューロンが存在することを示している。

また、上核では後半規管神経からの投射が吻側よりも尾側に密であるという Mannen ら⁹⁾ の HRP 注入による形態的研究と、著者の電気生理学的実験の結果は一致していた。

後半規管神経の電気刺激をしたときに各亜核で記録された電場電位の潜時をみると、Precht and Shimazu⁹⁾の結果とほぼ同様の結果が得られた。上核で記録したP波の頂点までの潜時は、他の三亜核で記録した潜時に比べ有意に遅かった($p < 0.01$)。この結果から、前庭一次求心性線維の前庭神経核内における上行枝の伝導速度が下行枝の伝導速度より遅い、すなわち下行枝のほうが上行枝に比して太い可能性が考えられる。

N_1 波の始まりまで及び頂点までの潜時について、上核は、下核と外側核よりも有意に遅かった($p < 0.01$)。このことも一次求心性線維の上行枝の伝導速度が遅いことがその最大の要因と考えられる。内側核で記録された N_1 波の頂点までの潜時は外側核のそれよりも有意に遅かった($p < 0.05$)。これは内側核の二次ニューロン群の最大放電が外側核のそれより遅いことを示し、これを形態学的に推論すれば、内側核への側枝が外側核への側枝より細いことが想像できる。

前、外側半規管由来の前庭一次求心性線維の分布に比べ、後半規管由来の前庭一次求心性線維は前庭神経核の中央部に分布している⁹⁾。本実験ではこのHRPの軸索内注入の結果を考慮に入れながら四亜核内の26カ所以上で電場電位を記録した。記録を行った範囲内ではMannen ら⁹⁾の前述した実験結果を良く裏付けるものであった。

ま と め

後半規管神経を電気刺激すると、前庭四亜核、すなわち上核・内側核・下核・外側核に、前庭一次求心性線維の興奮によるP波、前庭二次ニューロンの放電による N_1 波、つづいておこる N_2 波が発生した。

P波の振幅の最大値は内側核、 N_1 波の振幅の最大値は下核腹側部に見られ、 N_2 波の振幅の最大値は上核で記録された。

後半規管入力を受ける前庭核ニューロンは四亜核とも腹側に多く、特に二次ニューロン群は下核に最も多いと考えられた。

P波の潜時から前庭一次求心性線維の前庭神経核内の上行枝は下行枝に比して遅く、上行枝は細いと考えられた。

内側核及び外側核で記録された N_1 波の頂点までの潜時から、内側核への側枝が外側核への側枝より細いことが推察された。

参 考 文 献

- 1) Brodal A, Pompeiano O and Walberg F: The vestibular nuclei and their connections anatomy and functional correlations. Edinburgh and London, Oliver and Boyd, 1962.
- 2) Cohen B, Suzuki J-I and Bender MB: Eye movements from semicircular canal nerve stimulation in the cat. *Ann Otol (St. Louis)* 73: 153-170, 1964.
- 3) Gacek RR: The course and central termination of first order neurons supplying vestibular endorgans in the cat. *Acta Oto-laryngol Suppl* 254: 1-66, 1969.
- 4) Ishizuka N, Sasaki S-I and Mannen H: Central course and terminal arborization of single primary vestibular afferent fibers from the horizontal canal in the cat. *Neurosci Letts* 33: 135-139, 1982.
- 5) Korte GE: The brainstem projection of the vestibular nerve in the cat. *J Comp Neurol* 184: 279-292, 1979.
- 6) Korte GE and Friedrich Jr VL: The fine structure of the feline superior vestibular nucleus: identification and synaptology of the primary vestibular afferents. *Brain Res* 8: 65-96, 1968.
- 7) Lang W and Kubik S: Primary vestibular afferent projections to the ipsilateral abducens nucleus in the cat. An autoradiographic study. *Exp Brain Res* 37: 177-181, 1979.
- 8) Mannen H, Sasaki S-I and Ishizuka N: Trajectory of primary vestibular fibers originating from the lateral, anterior, and posterior semicircular canals in the cat. *Proc Japan Acad* 58: 237-242, 1982.
- 9) Precht W and Shimazu H: Functional connections of tonic and kinetic vestibular neurons with primary vestibular afferents. *J Neurophysiol* 28: 1014-1028, 1965.
- 10) Shimazu H and Precht W: Tonic and kinetic

- responses of cat's vestibular neurons to horizontal angular acceleration. *J Neurophysiol* 28: 991-1013, 1965.
- 11) Shimazu H and Precht W: Inhibition of central vestibular neurons from the contralateral labyrinth and its mediating pathway. *J Neurophysiol* 29: 467-492, 1966.
 - 12) Stein BM and Carpenter MB: Central projections of portions of the vestibular ganglia innervating specific parts of the labyrinth in the rhesus monkey. *Am J Anat* 120: 281-318, 1967.
 - 13) Suzuki J-I, Cohen B and Bender MB: Compensatory eye movements induced by vertical semicircular canal stimulation. *Exp Neurol* 9: 137-160, 1964.
 - 14) Thomas RC and Wilson VJ: Presice localization of Renshaw cells with a new marking technique. *Nature* 206: 211-213, 1965.
 - 15) Uchino Y, Kudo N, Tsuda K and Iwamura Y: Vestibular inhibition of sympathetic nerve activities. *Brain Res* 22: 195-206, 1970.
 - 16) Uchino Y, Hirai N and Watanabe S: Vestibulo-ocular reflex from the posterior canal nerve to extraocular motoneurons in the cat. *Exp Brain Res* 32: 377-388, 1978.
 - 17) Walberg F, Bowsher D and Brodal A: The termination of primary vestibular fibers in the vestibular nuclei in the cat. An experimental study with silver method. *J Comp Neurol* 110: 391-419, 1958.
 - 18) Wilson VJ, Gacek RR, Maeda M and Uchino Y: Saccular and utricular input to cat neck motoneurons. *J Neurophysiol* 40: 63-73, 1977.
 - 19) Wilson VJ, Gacek RR, Uchino Y and Susswein AJ: Properties of central vestibular neurons fired by stimulation of the saccular nerve. *Brain Res* 143: 251-261, 1978.
-
- 稿を終えるにあたり、御指導、御校閲を頂いた聖マリアンナ医科大学耳鼻咽喉科学教室竹山勇主任教授、加藤功教授、並びに本実験の機会をあたえて頂いた聖マリアンナ医科大学第一生理学教室富田恒男客員教授、豊田順一主任教授に深謝致します。
- また本実験を直接御指導頂いた杏林大学医学部第一生理学教室内野善生助教授（現東京医科大学第二生理学教室教授）、航空宇宙技術研究所計測部井須尚紀主任研究官、実験の介助をして頂きました杏林大学医学部第一生理学教室実験助手市川利信氏、飯澤みゆき氏、聖マリアンナ医科大学耳鼻咽喉科教室佐藤成樹先生に感謝致します。
- 最後に本実験を行うにあたり多方面にわたり御便宜を賜わりました聖マリアンナ医科大学耳鼻咽喉科教室教室員各位に厚く御礼申し上げます。
-
- （原稿受付 昭和63. 3. 30日急載）
- 別刷請求先 〒213 川崎市宮前区菅生2-16-1
 聖マリアンナ医科大学耳鼻咽喉科学教室 中島博昭