中耳圧の前庭神経の活動に及ぼす影響†

伊 藤 壽 一・内 藤

泰・本 庄 巖*

はじめに

迷路に瘻孔が存在すると中耳の圧変化は直接内耳へ波及する。しかし、飛行や潜水などの急激な気圧変化に伴って眩暈などの平衡失調をきたす例が報告されており¹⁾²⁾、また pressure chamber にて中耳圧を変化させ、眼振を記録したという報告もあり³⁾、瘻孔がなくても中耳圧の変化が内耳に波及する事もあると考えられる。これらはいずれも可逆的な変化であり、正円窓、卵円窓の破裂などによって生じたものでない事は明らかである。一方、滲出性中耳炎でも時に眩暈を訴える例があり、福田⁴⁾は、滲出性中耳炎患者の足踏偏倚が耳管通気にて改善した例を報告している。また我々も、滲出性中耳炎の治療前後、鼓膜チューブ挿入前後での中耳圧負荷例で重心と頭部動揺を測定し、中耳圧の変化が特に頭部動揺に影響を及ぼす事を報告した⁵⁾。このような中耳の圧変化が平衡系に影響を及ぼす機序としては、卵円窓、正円窓などの偏位が内耳圧に変化を及ぼし、内耳機能に変化を与えと考えられる。しかし、外耳道、中耳腔内の固有知覚などを介する経路も完全には否定できず、詳細は依然不明の状態である。本研究では動物を用い、前庭神経の活動を記録し、中耳に圧変化を与えて前庭神経の活動

に変化が現われるかどうか、いいかえれば中耳圧の変化が直接内耳に及ぶかどうかについて実験を行ったので報告する。

方 法

実験には α -クロラロース (30 mg/kg, i. v.) で麻酔した 2.6 kg~4.3 kg の成ネコ13匹を用いた。図1に実験の模式図を示す。気管および大腿静脈内にカテーテルを装着した後、耳管咽頭口を閉塞し、鼓膜を切開して経外耳道的に中耳に圧が加わるようにした。中耳圧は圧トランスデューサー (Gould H. B 製 P23 ID) を用いてモニターし、最大約 500 mmH₂O の加圧、減圧を行った。

次にネコを脳定位固定装置に固定し、この固定台を3次元に回転可能な台に置いた。なおこの脳定位固定装置は、半規管を最も効果的に刺激する為、水平面から 21° 傾けた⁶⁾。

前庭神経記録用のガラス電極を刺入する為、顕微鏡下に後頭蓋骨を除去し、大脳皮質後頭部および小脳を露出、更に小脳正中中部を吸引除去した。この操作後、ネコを gallamine triethiodide (5 mg/kg/h, i. v.) で非動化し、人工呼吸にて生命を維持した。実験中の動物の体温は、保温マットで 36.5~37.5°C に維持した。記録は 3M KCl を充填した微小ガラス電極を用いて前庭神経軸索内で行った。

前庭神経の位置は Snider & Niemer の脳座標図⁷⁾に従い顕微鏡下に顔面神経膝部を確認し、顔面神経膝部の中心より約 0.5 mm 尾側の位置で、正中より 5~6 mm 外側、第四脳室底より 0.5~1.5 mm の深さを目安として決定した。

前庭神経の活動はオシロスコープ (日本光電 VC-10) を用いて観察し、スパイクカウンターを通して自発放電のスパイク数を計測する事により、中耳の圧変化がこれらに対して影響を及ぼすかどうか観察した。

結 果

前庭神経は単一神経活動を記録するとその活動の様式から3つの型に分類される。すなわち、各スパイクの間隔が規則的で早く活動する規則型、スパイクの間隔が不規則でゆっくり活動する不規則型、この両者の中間の活動をする中間型に分類される⁸⁾。これらの分類はパーソ

図1 実験の模式図

†Influence of Middle Ear Pressure on the Vestibular Nerve of Cats

*Juichi Ito, Yasushi Naito and Iwao Honjo

*京都大学医学部耳鼻咽喉科学教室

図2 水平半規管の刺激に応じる前庭神経の中耳圧に対する反応。
1; 規則型, 2; 中間型

図3 前半規管(1), および後半規管(2)の刺激に応じる前神経の中耳圧に対する反応。

表1 各半規管の刺激に応じる前庭神経の中耳圧に対する反応
水平; 水平半規管 前; 前半規管 後; 後半規管

		加 圧			減 圧		
		水平	前	後	水平	前	後
増	加	7/15	0/15	0/11	1/15	1/15	0/11
減	少	0/15	1/15	0/11	6/15	0/15	0/11
不	変	8/15	14/15	11/11	8/15	14/15	11/11

ナルコンピュータ (NEC9801) を用い CV (Coefficient of Variation) を計測する事により⁸⁾ on-line にて行った。この3種の反応様式を持つ神経が各三半規管膨大部、耳石斑から中枢へ信号を送る役目を果し、前庭神経を分類すると15通りに分類されるが、今回は半規管の刺激に反応する神経についてのみ観察を行ったので、9通りに分類された。

水平半規管の刺激に応じる神経15例のうち、規則型5例、不規則型5例、中間型5例の中耳圧変化に対する反応を観察したが、規則型5例のうち4例は加圧すると活動が増加し、減圧すると減少した(図2-1)。中間型5例のうち2例は上記と同様の反応を示し、1例は加圧でも減圧でも活動が増加した。不規則型5例、規則型1例、中間型2例は中耳の圧変化に対し無反応であった(図2-2)。

前半規管の刺激に応じる前庭神経14例は、1例(中間型)が加圧によって活動数が減少し、減圧によって増加したが、あとの14例は中耳の圧変化には無反応であった(図3-1)。さらに、後半規管の刺激に応じる前庭神経は、記録した11例とも中耳の圧変化に対して反応を示さ

なかった(図3-2)。以上の結果のまとめを表1に示す。

考 按

中耳の圧変化が平衡系に影響を及ぼす機序として、i) 中耳圧の変化が正門窓、卵円窓などを介し外リンパを通し、内リンパの動きに変化をおこし、内耳有毛細胞の活動に変化を来す。ii) 中耳圧の変化が中耳腔、外耳道の固有知覚から三叉神経を介して脳幹の前庭神経核に影響を及ぼす。iii) 中耳圧の変化により、正門窓、卵円窓の破裂がおこる。iv) 中耳圧の変化が中耳および内耳を支配する血管系に影響をおよぼし、血流不全の状態になり前庭神経の活動に変化を来す。などが考えられる。今回の研究で、中耳の圧変化が直接前庭神経の活動に変化を来す事が証明され、ii) の固有知覚介在説は否定される。また前庭神経の活動の変化は圧に変化を与えた時にのみ前じる可逆的なものである事から iii) の内耳窓破裂説も否定される。iv) の循環不全説は、圧の変化に対し、各半規管毎に反応が異なる事、また加圧、減圧で反応が逆になるという事実を説明する事ができず、除外してよいと思われる。やはり、i) の中耳圧変化が直接正門

窓または卵円窓を介し、内耳に影響を与えたと考えるのが妥当と思われる。最近 Densert らは、ネコの中耳圧に変化を与え、外リンパ圧を記録し、実際に外リンパ圧に変化が生じた事を報告した⁹⁾。外リンパ圧の変化が内耳有毛細胞の活動に変化を与えるかどうか不明ではあるが、前庭神経の活動が中耳圧の変化に応じて変化する事実から、中耳圧→外リンパ圧→内耳有毛細胞→前庭神経と影響が及んでいくのは疑いのないところと思われる。

一方今回の実験で、中耳に同じように圧変化を与えても各半規管によって反応の仕方が異なる事が観察された。すなわち、水平半規管の刺激に応じる前庭神経は中耳の圧変化に対しよく反応し、垂直半規管の刺激に応じる神経はほとんど反応しないという結果である。これに対する説明としては水平半規管の膨大部が垂直半規管の膨大部より正円窓、卵円窓などに近いという解剖学的な位置関係により、水平半規管膨大部が中耳圧の影響を受け易いのか、また元来水平半規管膨大部の感覚細胞が、垂直半規管膨大部のものにくらべ、圧に対する感受性が高いのか、などという事が推測されるが、いずれにしても明確な解答を出すのは現在の時点では困難である。しかし、Ingelstedt らは健康人79人に pressure chamber にて中耳圧に変化を与え、5人に一過性のめまいを起こす事ができたと報告しており、その際眼振の水平、垂直誘導を行い、5例全例が水平眼振のみ記録し、垂直眼振は記録できなかったと報告している³⁾。この事実は中耳の圧変化は水平半規管には影響を及ぼし易いが、垂直半規管にはあまり影響がなかったという今回の我々の結果と一致している。

次に前庭神経の活動の仕方、すなわち規則型、不規則型などにより、中耳の圧変化に対する反応が異なるという事は、規則型、つまりⅡ型細胞とよばれている円錐型の有毛細胞は中耳の圧変化によく反応し、不規則型、つまりⅠ型細胞とよばれるフラスコ型の有毛細胞は中耳の圧変化にあまり反応しないという結果になる。この事はⅡ型細胞が元来Ⅰ型細胞にくらべ圧に対する感受性が高いとも考えられる。しかし一方Ⅰ型細胞とⅡ型細胞の解剖学的位置関係からも説明する事ができる。これは外リンパ圧が内リンパ腔に伝わる伝わり方とも関連する事であるが、半規管膨大部陵のなかでクブラの底部が最も脆弱であり¹⁰⁾、この部位にⅡ型細胞が多く配列されているので位置的に外リンパ圧、つまり中耳圧を感じ易いとも考えられる。

今回の研究では中耳圧変化の内耳に対する影響をみる際、半規管から入力を受ける前庭神経の反応のみを記録したが、中耳圧変化が重心及び頭部動揺に影響を与えるという臨床事実を考えると、耳石系から入力を受ける前

庭神経の反応も検討する必要がある、今後の研究の課題と思われる。

ま と め

中耳の圧変化が直接内耳に及ぶかどうかネコを用いて実験を行い、以下のような結果を得た。

- 1) 中耳圧の変化は前庭神経の活動に影響を与え、基本的には加圧で活動が増加、減圧で減少した。
- 2) 各半規管のうち水平半規管が中耳圧の影響を最も受け易い。
- 3) 同一半規管内でも有毛細胞の種類によって圧に対する反応が異なり、Ⅱ型細胞がⅠ型細胞にくらべ圧に対し感受性が高い。

参 考 文 献

- 1) Brown FM: Vertigo due to increased middle ear pressure: six year experience of the aeromedical consultation service. *Aerospace Med* 42: 999-1001, 1971
- 2) Lundgren CEG: Alternobaric vertigo - a diving hazard. *Brit Med J* 2: 511-513, 1965
- 3) Ingelstedt S, Ivarsson A, Tjernstrom O: Vertigo due to relative overpressure in the middle ear. *Acta Otolaryngol* 78: 1-14, 1974
- 4) 福田 精: 運動と平衡の反射生理. 236-238頁, 医学書院, 東京, 1957
- 5) 内藤 泰, 八木伸也, 伊藤壽一, 本庄 巖: 中耳圧の体平衡におよぼす影響. *Equilibrium Res* 45: 364-367, 1986
- 6) Blanks RHI, Curthoys IS, Markham CH: Planar relationship of semicircular canals in the cat. *Am J Physiol* 223: 55-62, 1972
- 7) Snider RS, Niemer WT: A stereotaxic atlas of the cat brain. University of Chicago Press, Chicago. 1961
- 8) Goldberg JM, Fernandez C: Physiology of peripheral neurons innervating semicircular canals of the squirrel monkey. III. Variations among units in their discharge properties. *J Neurophysiol* 34: 676-684, 1971
- 9) Densert B, Densert, O, Erlandsson B, Sheppard H: Transmission of square wave pressure pulses through the perilymphatic fluid in cats. *Acta Otolaryngol* 102: 186-193, 1986
- 10) Anliker M, Buskirk WV: The role of perilymph in the response of the semicircular canals to angular acceleration. Fifth Symposium on the Role of the Vestibular Organs in Space Explo-

ration. Ed by Graybiel A, NASA, Washington
DC: 135-141, 1973

Abstract

In order to determine whether middle ear pressure changes cause disequilibrium or not, the influence of middle ear pressure on vestibular nerve activity was investigated in anesthetized cats. Vestibular nerve activity was recorded intraaxonally, and positive or negative pressure was applied to the middle ear cavity through a tympanic membrane perforation.

The firings of vestibular nerve fibers, especially the regular type which responded to horizontal semicircular canal stimulation, were increased with posi-

tive pressure and decreased with negative pressure. Most vestibular nerves which responded to anterior or posterior semicircular canal stimulation were not influenced by middle ear pressure changes.

These results indicate that the influences of middle ear pressure transmitted to the vestibular endorgans and then to the vestibular nerve probably cause disequilibrium.

(原稿到着：昭和62年1月31日
別刷請求先：伊藤壽一
〒606 京都市左京区聖護院川原町54
京都大学医学部耳鼻咽喉科学教室)