カエル前半規管に関する実験的研究†

——後半規管との比較検討——

鈴木 衛・原田 康夫
小村 良・平川 治男*

はじめに

カエル半規管は、その膨大部稜の形態が垂直半規管と外側半規管で異なるという点できわめて興味深い研究対象である。我々は、すでに後半規管と外側半規管について、膨大部稜上の cilia を直接圧迫偏位させるという方法で生理学的な面より比較研究を行ってきた¹⁾²⁾。今回は、前半規管についても生理学的反応様式の面より後半規管との比較検討を行ったので報告する。

図1A 前半規管膨大部(A)と外側半規管膨大部(L)の実体顕微鏡写真。Nは前および外側半規管膨大部神経

†Experimental Study on the Frog Anterior Semicircular Canal in Comparison with the Posterior Semicircular Canal

*Mamoru Suzuki, Yasuo Harada, Ryo Omura and Haruo Hirakawa

*広島大学医学部耳鼻咽喉科学教室

対象と方法

ウシガエル (*Rana catesbeiana*) 12匹を用いた。すでに報告した方法²⁾で、外側半規管と前半規管とを一塊としてカエルリンゲル液内で摘出した。図1に示めたように、前半規管膨大部と外側半規管膨大部とは接合した形になっており、またそれぞれの膨大部神経も、膨大部を出てまもなく癒合して一本の神経束となるのがみとめられた。注意深く前および後半規管膨大部を切離し、前半規管をその膨大部神経とともに摘出した。前回の実験と同様²⁾に、preparation を微細ポリエチレンチューブに固定し、膨大部を卵形囊側より円形に切除した。ついでクブラを除去したのち、膨大部稜上縁が卵形囊側より観察できるように膨大部を視野の中においた。

cilia の刺激方法は後半規管の場合と同様¹⁾で、先端径約30 μ m のガラス管で cilia を canal 方向 (ampullofugal 方向) に圧迫することによって。圧迫量は 50 μ m, また圧迫時間は15秒 (立ち上がり, 下がり時間は0.3秒) とした。

cilia の刺激場所としては、やはり後半規管の場合に準じ¹⁾、膨大部稜上の7つの点を選び、外側半規管附着側 (動物に関しては外側) より順に1から7までの番号

図1B 前半規管膨大部稜(a)と外側半規管膨大部稜(1)のシェーマ

LOCATION OF CILIA STIMULATION

図2 膨大部稜上の刺激場所

表1 後半規管に対する前半規管膨大部断面の縦径, 横径ならびに膨大部稜の長さの比 (平均値)

縦径	100.9(%)
横径	104.6
膨大部稜の長さ	112.3

表2 膨大部稜上の7つの点における反応の減衰時 時定数の平均と標準偏差

点	時定数 (秒)
1	7.5 ± 1.7
2	3.5 ± 2.0
3	1.3 ± 0.9
4	1.2 ± 0.2
5	1.8 ± 1.7
6	2.1 ± 1.2
7	2.4 ± 1.2

を付した(図2)。前半規管膨大部神経活動電位はガラス吸引電極で誘導し、スパイク密度ヒストグラムに変換し、反応の減衰時の時定数(秒)を算出した。

図3 前半規管(A), 後半規管(P) 膨大部稜の走査電顕像

結 果

1. 前半規管膨大部の形態について

実体顕微鏡下に microscaler を用いて前半規管と後半規管の膨大部の径, ならびに膨大部稜の長さを計測した。表1に、クブラに並行な面での前半規管膨大部断面の縦径, 横径, ならびに膨大部稜の長軸方向の長さを後

図4 前半規管 (○—○), 後半規管 (●—●) の反応減衰時定数の平均値と標準偏差

半規管に対する比でしめた。膨大部稜の長軸がやや後半規管に比して長い傾向がある以外、膨大部はほぼ同じ大きさといえる。図3に膨大部稜全体の走査電顕像をしめた。膨大部稜の表面形態も両者ほぼ同様である。

2. cilia の刺激による活動電位について

膨大部稜上のそれぞれの点を刺激したときの活動電位減衰時定数の平均値と標準偏差を表2にしめた。後半規管の場合と同様¹⁾, 時定数は点1で最大で、中央部に近づくにしたがって小となった。ただしどの点の時定数も後半規管のそれより短く、とくに点3, 6, 7では三分の一から四分の一程度であった。以上の結果を後半規管での結果とあわせて図4にしめた。この図からわかるように、後半規管の時定数の値は点4を中心として対称的な曲線を描くが、前半規管ではきわめて非対称的な曲線となった。図5は各点の刺激でえられたスパイク密度ヒストグラムの一例である。

スパイクの規則性について検討すると、最も規則的なスパイクが観察されたのは点3と6、ついで点2と5の刺激時であった。後半規管ではこれとやや異なり、最も外側の点1と7で規則的なスパイクが観察されている¹⁾。図6に規則的な発射をしめす活動電位のAC記録の一例をあげた。

考 察

カエル半規管膨大部稜の形状については、すでに垂直半規管は亜鈴状を呈すること、また外側半規管では、これをちょうど半分にした形態を有することが知られている³⁾⁴⁾。我々もすでにこのことを確認し、外側半規管の特異な形態を生理学的な反応様式の面より検討するために実験を行ってきた²⁾。そして膨大部稜上の反応の時定数の分布様式からみても、外側半規管はちょうど後半規管のそのの半分の傾向をもつことを報告した²⁾。

図5 各点の刺激でえられたスパイク密度ヒストグラムの一例。数字は刺激点をしめす。

前半規管については、これまでに単独に取り出して、その反応様式について検討した報告は少ない³⁾。前半規管はすでに述べたように膨大部の径、ならびに膨大部稜の長さでは、ほぼ後半規管と等しい。また、綿貫⁵⁾によると感覚細胞数も後半規管と大差ないという。しかし

図6 規則的な発射をしめすスパイクの一例 刺激点は3。

ながら、はたして膨大部稜に存在する受容器の反応様式も生理学的に後半規管と同一であるかどうかは、未だ知られていない。今回の実験では、時定数が膨大部稜両端で大きく、中央部に向かうにしたがって小となる傾向がみとめられ、これは後半規管のそれと同様であった。しかしながら、時定数の絶対値は、後半規管のそれよりどの点においてもかなり小さく、とくに点3、6および7では三分の一以下となった。したがって、前半規管には後半規管よりも、より phasic に反応する受容器が多いといえる。

スパイクの規則性については、Blanks ら⁶⁾により、tonic な unit は規則的な放電をすることが知られている。前回の後半規管の実験¹⁾では、最外側の点で規則的なスパイクが得られており、Blanks らの所見と一致するものとなった。しかしながら、今回の実験ではこれとやや異なり、点2、3、5、6で規則的なスパイクが多かった。これは、前半規管では、時定数の比較的短い受容器でも規則的な放電をしめすことを示唆する所見である。このような受容器における放電の規則性の相違については、今後さらに検討を要する課題である。

以上より、前半規管は形態的には後半規管にきわめて類似しているものの、受容器の反応様式という面よりみると、反応の時定数がかなり異なることがわかった。前半規管膨大部稜の中央を境として左右に非対称的なカーブを描く時定数が、半規管から中枢への情報伝達という点でどのような意味を持つかは明らかではない。しかしながら、少なくとも前半規管には後半規管よりも phasic な反応をしめす受容器が多く分布し、角速度の変化に対する反応性を高めていることが推察された。

参考文献

- 1) 鈴木 衛, 原田康夫, 麻植一章: カエル半規管活動電位の crista 内 localization について——とくに時間経過からの検討——. *Equilibrium Res* 44: 146-149, 1985
- 2) 鈴木 衛, 原田康夫, 佐藤修治: カエル外側半規管に関する実験的研究. *Equilibrium Res* 44: 286-

290, 1985

- 3) Harada Y: The scanning electron microscopic observation of the vestibular organ and electrical activity of isolated individual semicircular ampullae. *Adv. Oto-Rhino-Laryng* 19: 50-65, 1973
- 4) Hillman DE: Cupular structure and its receptor relationship. *Brain Behav Evol* 10: 52-68, 1974
- 5) 綿貫幸三, 河本和友, 古和田勲, 西条 茂, 新川秀一, 柴原義博, 粟田口敏一, 三好 彰: 半規管膨大部稜のマッピングによる感覚細胞の定量. *Ear Res Jpn* 13: 301-303, 1982
- 6) Blanks RHI, Estes MS, Markham CH: Physiologic characteristics of vestibular first-order canal neurons in the cat. II. Responses to constant angular acceleration. *J Neurophysiol* 38: 1250-1268, 1975

Abstract

The anterior semicircular canals of bull frogs were isolated, and the cupula was removed from the crista and the sensory cilia on the crista were depressed toward the canal side by a glass micropipette. Seven points on the crista were selected for stimulation. Decremental time constants of the anterior ampullary nerve action potentials were measured. The longer time constants were measured at the lateral points of stimulation which progressively shortened towards the central point. The overall values of the time constant were significantly shorter than those of the posterior semicircular canal. This indicates that the anterior semicircular canal has a larger number of phasic receptors than the posterior canal.

(原稿到着: 昭和61年6月30日)

(別刷請求先: 鈴木 衛)

〒734 広島市南区霞1-2-3

(広島大学医学部耳鼻咽喉科学教室)