

[結果]

残存有毛細胞数を評価した結果を図1に示す。2 mMのネオマイシンを添加した培養液中では、コントロールの培養液中で培養した卵形嚢と比較して、24時間後に約60%の有毛細胞死が観察された。Bcl-xLを、ネオマイシンに曝露する2時間前より培養液中加入しておくことで、有毛細胞死は抑制された。Bcl-xLの有毛細胞保護効果は濃度依存的であり、残存有毛細胞密度はネオマイシンのみを加えた場合に比べて有意に大きかった(図2)。有毛細胞におけるCaspase-3は、ネオマイシンに曝露することで活性化したが、Bcl-xLを追加すると、抑制された(図3)。一方、c-Jun kinaseはネオマイシンで活性化することが観察されたが、Bcl-xLを追加しても、抑制されなかった(図4)。

[考察]

アミノグリコシド系抗生剤による有毛細胞障害時には、比較的早期に、フリーラジカルが産生され、それに続いて、細胞死のシグナルが活性化されると報告されている³⁾。過去には、様々な細胞死のシグナル伝達分子に影響する物質を用いた有毛細胞保護の試みがなされてきた。有毛細胞死に関わる細胞内のシグナル伝達は多くの研究者によって報告されており、ミトコンドリアの役割についても注目されている。今回、我々はVDACを阻害することで、有毛細胞死が抑制されることを、卵形嚢培養を用いて示した。また、ミトコンドリアの関与は、c-Jun kinaseの活性化に引き続いて生じ、さらに遅れてCaspase-3が活性化する可能性が示された。ただ、今回の検討では、生存した有毛細胞は、ネオマイシンによって障害された有毛細胞の一部であった。薬剤の濃度や、VDAC以外の経路についても今後検討を進める必要があると思われる。

[結論]

Bcl-xLによって、ネオマイシンによる有毛細胞死が抑制された。また、c-Jun kinaseの活性化は抑制しなかったが、Caspase-3の活性化は抑制された。

[参考文献]

- 1) Kazuma Sugahara, Edwin W. Rubel, Lisa L. Cunningham. JNK signaling in neomycin-induced vestibular hair cell death. *Hearing Research* 221:128~135, 2006.
- 2) Takeshi Okuda, Kazuma Sugahara, Tsuyoshi Takemoto, Hiroaki Shimogori, Hiroshi Yamashita. Inhibition of caspases alleviates gentamicin-induced cochlear damage in guinea pigs. *Auris Nasus Larynx* 32 : 33~37, 2005
- 3) Matsui JI, Galè JE, Warchol ME. Critical signaling events during the aminoglycoside-induced death of sensory hair cells in vitro. *J Neurobiol.* 61:250-66, 2004.

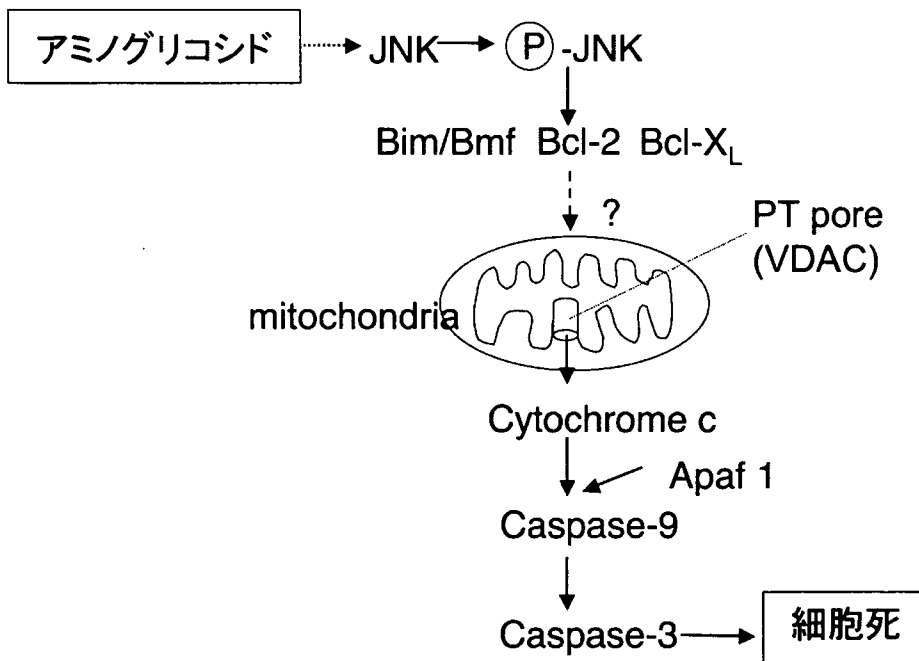


図1 アミノグリコシドによる有毛細胞死のシエーマ
 アミノグリコシドの有毛細胞内への取り込みの後、様々なシグナル伝達分子が関与して、細胞死が生じると考えられる。

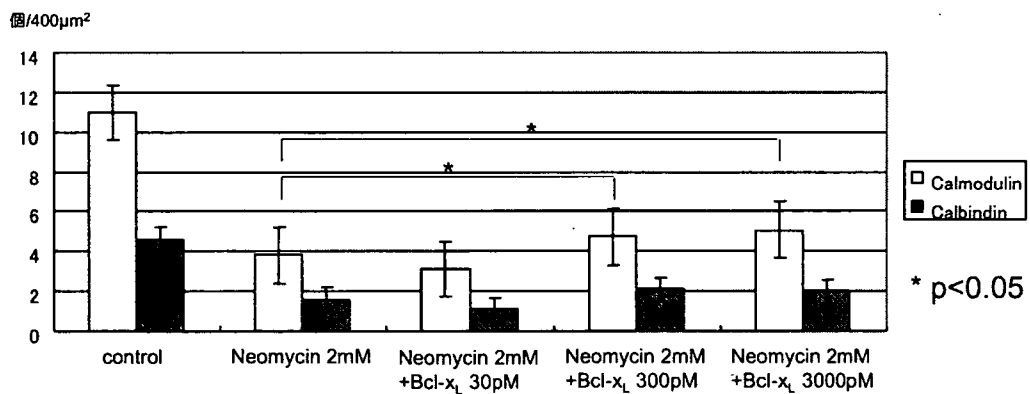


図2 アミノグリコシドによる有毛細胞死に対する Bcl-x_L の効果
 Bcl-x_L は、有毛細胞死を濃度依存的に抑制していた。

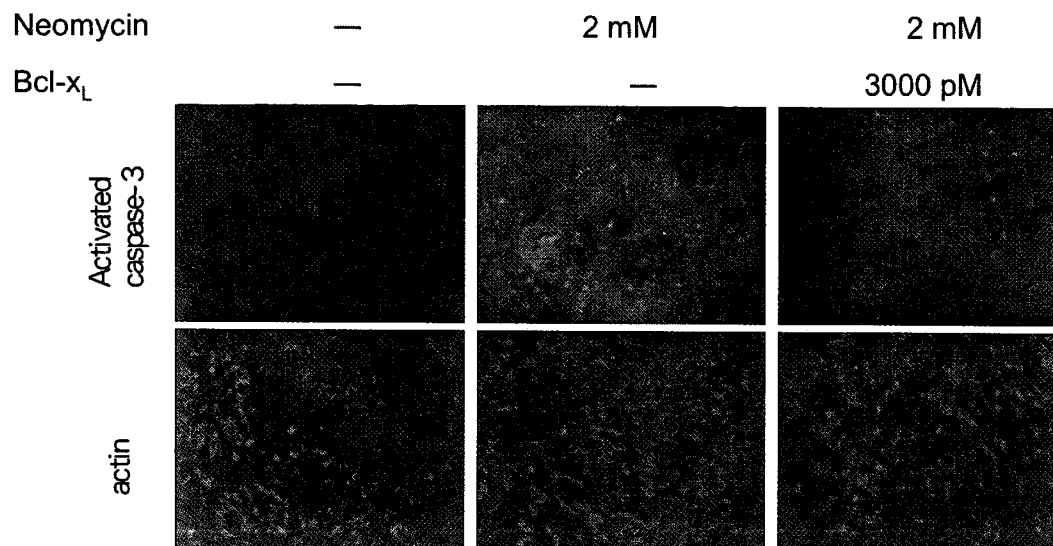


図3 有毛細胞における Caspase-3 の活性化

ネオマイシンの曝露によって Caspase-3 は活性化されていた。Bcl-x_L は活性化を抑制していた。

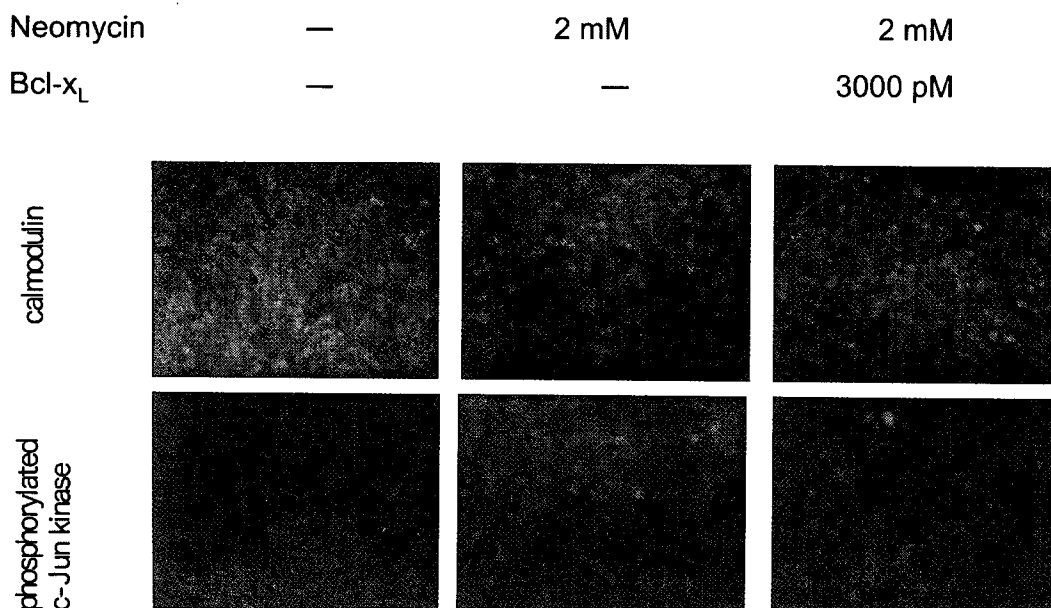


図4 有毛細胞における c-Jun kinase の活性化

ネオマイシンの曝露によって c-Jun kinase は活性化されていた。Bcl-x_L を加えても、その活性化は抑制されなかった。

13. クプラの形態的变化と頭位性めまいへの関与

鈴木 衛, 大塚康司, 稲垣太郎, 清水重敬,
許斐氏元, 長谷川剛, 河口幸江, 北島尚治,
湯川久美子, 小川恭生 (東京医大)

[はじめに]

良性発作性頭位めまい症 (BPPV) は頻度の高いめまい疾患で, 一般に予後良好とされる. 稀に難治例があるが, 多くは半規管遮断術でコントロールできることを著者らも報告してきた. このたび, 半規管遮断術が無効であった外側半規管型 BPPV を経験した. 動物実験モデルから, クプラの形態学的変化が無効の機序として推察できたので報告する. 動物モデルとしては耳毒性薬物によってクプラを変化させたウシガエルを用いた.

[症例と実験方法]

1. 症例

症例は 48 歳男性である. 2004 年 5 月 2 日, 突然嘔気を伴う激しい回転性めまいが生じた. 軽快しないため 5 月 4 日に某耳鼻咽喉科を受診し, 5 月 5 日当科を紹介され, 緊急入院した. この頃から頭位性めまいが出現し, とくに右下頭位で著明であった. 他の症状はなかった.

入院時の検査では, 聴力正常で, 注視眼振はなかったが, 頭位眼振検査で方向交代性上向性眼振がみられた (図 1). 氷水による温度刺激検査で左は無反応であった. 中枢神経症状はなかった. 頭部 CT と MRI は正常であった. 以上から, 左の急性前庭機能異常に伴う外側半規管クプラ結石症と診断した. 以後 5 か月間薬物投与をはじめ種々の理学療法を行ったが, 眼振をめまい症状はまったく変化しなかった. 2004 年 10 月 26 日, 左の外側半規管半規管遮断術を試行した. 患側は, 以下の所見から決定した. ①めまい発症時の左の耳鳴 ②経過中にみられた左後半規管型 BPPV の眼振 ③クプラ結石症では Ewald の法則から患側上頭位で眼振がより強いこと ④左温度刺激検査での無反応.

外側半規管遮断術は以前報告したとおり, 乳突削開に続いて外側半規管隆起を出し, ブルーライン上に約 1 mm の開窓を行って外側半規管内を骨パテ塊で閉鎖した. 術後, めまいと眼振にはまったく変化がなかった. しかしながら, 手術約 1 年後から徐々にめまいと眼振は現弱し始め, さらにその 1 年後めまい, 眼振ともに消失した.

2. 動物モデルによる実験

半規管遮断術が無効であったメカニズムとしてクプラの変化が考えられたので, 以下のゲンタマイシン (GM) 注入と外リンパ瘻作成の 2 種類の実験を行った.

体重 150 g 前後のウシガエル (*Rana catesbeiana*) を用いた. すでに報告した方法 2) で, エーテル麻酔下に口蓋粘膜を切開し, 右の内耳骨胞を露出した. 白色に透見できる球形嚢を指標として, 注意深く微細シリンジを刺入し, 外リンパ腔に GM0.1ml (4mg) を注入した. 左側には生食 0.1ml を注入しコントロールとした. 外リンパ瘻は, 口蓋側から露出した内耳骨胞を, 球形嚢が透見できる位置で約 1mm 大に開窓して作成した.

1 週後に深麻酔下に断頭し, 後半規管を摘出した. 墨汁でクプラを染色し実体顕微鏡下に形態を観察した. その後, 膨大部感覚上皮を 2.5% グルタルアルデヒドで固定し, 走査電顕で観察し

た.

クブラの縮小度および感覚上皮の障害度を次のように分類し評価した.

クブラの縮小度

1度：中央部の陥凹程度，2度：50%以下の縮小，3度：51-80%の縮小，4度：81%以上の縮小

感覚上皮の障害度

1度：感覚毛の消失範囲が膨大部面積の20%以下，2度：21-50%，3度：51-80%，4度：81%以上

[結果]

GMの内耳内注入によってクブラは左右非対称(図2)あるいは著明縮小などの変化を示した. 生食を注入した対照側はクブラ，感覚上皮ともに正常(図3)であった. 感覚上皮の障害程度も様々であった. クブラと感覚上皮の障害程度の1度と2度を軽度障害，3度と4度を高度障害として両者の関係を表にしめした. 感覚上皮の障害が高度であればクブラの障害も半数で高度であるが，他の半数は軽度であった. 感覚上皮の障害が軽度であればクブラの変化も軽度のものが多かった. このように，感覚上皮とクブラの変化は並行する場合が多いが，乖離する場合もあった. 外リンパ瘻モデルでも同様のクブラの収縮が観察された(図4). まだ例数は少ないが，感覚上皮障害が高度のものではなく，すべて軽度であった. この5例のうちクブラの変化は3例でやはり軽度であったが，高度変化と正常の場合がそれぞれ1例あった.

GM注入，外リンパ瘻モデルともクブラの収縮はその頂部あるいは辺縁部から始まるのが特徴であった.

[考察]

耳毒性薬物による内耳障害は周知の事実で，とくに蝸牛感覚細胞の変化については多くの研究がある. しかし，クブラの変化を検討した報告はきわめて少ない. 今回，GM注入や外リンパ瘻存在下にクブラと膨大部感覚上皮の形態的变化について検討し，半規管遮断術無効のメカニズムとなりうるか検討した.

クブラは前庭の機械的受容器の一装置として重要であるが，脆弱であるため詳しく検討されてこなかった. その主成分は細かい線維状組織とそれを埋めるムコ多糖体であり，脊椎動物では酷似した形態と構成成分を有している. 著者はこれまで両生類の半規管を用いてクブラの形態や生理機能を検索してきた^{3,4)}. リンゲル液中ではクブラは数時間溶解することなくその形態を保持するので，構成する線維成分とムコ多糖体はそのような条件下では容易に変化しないことがわかった. しかしながら，炎症や内リンパ水腫などの要因で内耳のリンパ環境には種々の変化が起こりやすい. このような場合はクブラの組成が変化し，変形や機能障害をきたすことは容易に想像できる.

BPPVは一般に予後良好の疾患とされるが，稀に難治例がある. それらには半規管遮断術が適応となる. 半規管遮断術の成績は良好だが，本例のように遮断術が無効となる場合もあることがわかった. クブラが今回の実験でみられたように縮小すればその臨床像や手術無効の理由が説明できる. クブラが縮小すればクブラ結石症などの負荷でクブラがより動きやすくなり，本例のような激しい眼振が出ることが予想される. また，クブラと膨大部壁との間隙を内リンパが通るため温度刺激も減弱することが考えられる. さらに，この間隙があるため，半規管遮断後にクブラ

と遮断部位間の閉鎖空間効果が消失し、遮断が無効になったものと推察した。温度刺激検査は一側の半規管機能検査として重要であるが、これまで CP などの判定はクプラが正常であるとの前提のもとにされてきた。今回の実験で明らかになったように、感覚上皮が正常でもクプラに異常があれば CP を呈する可能性がある。温度眼振の解釈を見直すことも必要と思われる。

クプラやクプラ下腔を形成するムコ多糖体の生成は、耳石や耳石膜と同様、膨大部の支持細胞の分泌機能によると考えられている^{5,6)}。GMなどのアミノ配糖体を投与すると感覚細胞や支持細胞の機能障害が起こり、クプラの形成も阻害されることが想像される。今回の実験で、感覚細胞障害とクプラの変化とは並行する場合が多いが、乖離する場合も少なからず認められた。このことから、クプラの変化をもたらす感覚細胞障害以外の要因が存在することがうかがわれた。支持細胞の変化は感覚細胞の変化より遅れて発生することが知られている^{7,8)}。感覚細胞以外の要因として支持細胞がクプラの障害に関与する可能性が考えられた。

クプラの形態を維持し、また障害するメカニズムの検索、さらにクプラが再生するか否かについての検討が今後必要である。

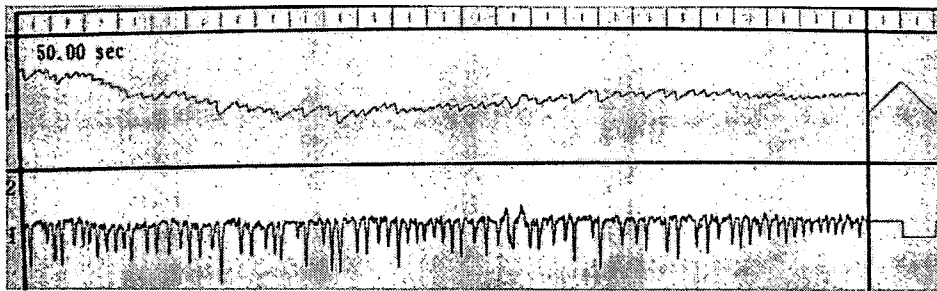
[結論]

1. 外側半規管遮断術が無効であった頭位性めまい症例を経験した。
2. 動物実験において、内耳への GM 注入や外リンパ瘻作成後にクプラが収縮するなどの変化が認められた。
3. クプラの収縮が外側半規管遮断無効、温度眼振無反応などの機序と推察した。

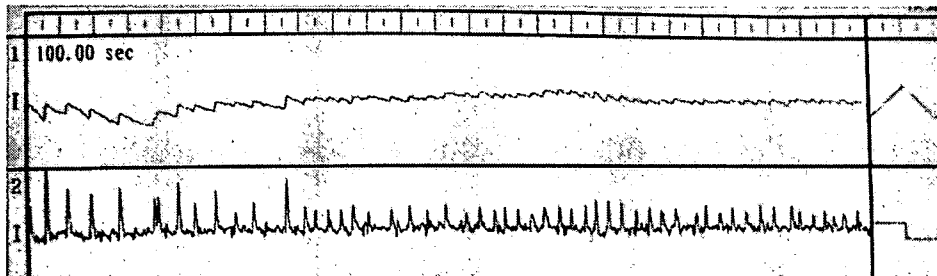
[参考文献]

- 1) Suzuki M, et al: Clinical effect of canal plugging on paroxysmal positional vertigo with lateral canal lesion. *J Laryngol Otol* 114:959-962, 2000
- 2) Suzuki M, et al: Effect of Gentamicin intoxication on frog behavior. *Acta otolaryngol suppl* 481:77-79, 1991
- 3) Suzuki M, et al: An experimental study on a function of the cupula. Effect of cupula removal on the ampullary nerve action potential. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 241:75-81, 1984
- 4) Suzuki M et al: An experimental study on cupular function: Mapping of the cupula by direct stimulation. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 241:237-242, 1985
- 5) 原田康夫: 前庭器の形態, 機能と病態. 西村書店 1984
- 6) 佐藤修治: クプラ, クプラ下腔に関する形態学的, 電気生理学のおよび組織学的研究. *耳鼻臨床* 81: 433-452, 1988
- 7) 小田ゆかり: ストレプトマイシンによる卵形囊斑支持細胞の変化. *日耳鼻* 96: 1950-1961, 1993
- 8) Quint E, et al: The effect of explantation and neomycin on hair cells and supporting cells in organotypic cultures of the adult guinea-pig utricle. *Hear Res* 118:157-167, 1998

仰臥位正面



右下頭位



左下頭位

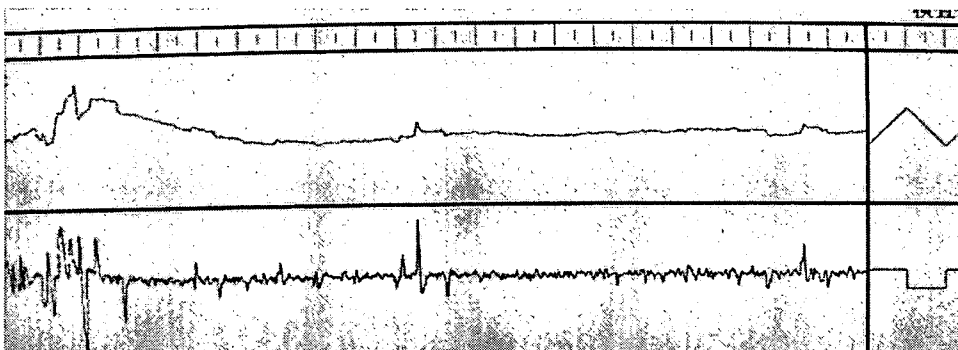


図1. 症例の ENG 所見
方向交代性上向性眼振がみられる.

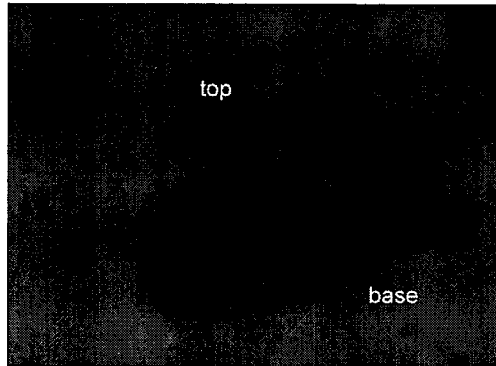


図 2. GM 注入後のクプラ
頂部が一部縮小し，非対称となっている。

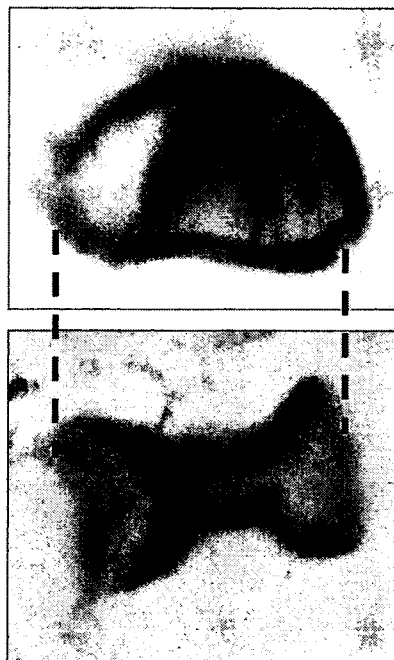


図 3. 生食注入側のクプラ
正常形態である。

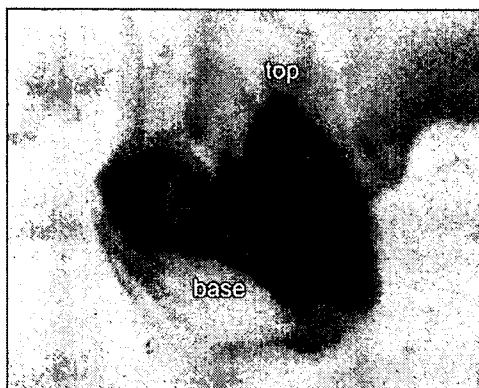


図 4. 外リンパ瘻作成後のクプラ
非対称となっている.

表. 感覚上皮の障害とクプラの変化との関係 (耳数)

感覚上皮の障害	クプラの変化
高度 12	高度 6 軽度 6
軽度 4	高度 1 軽度 3

1 4. 前庭神経節細胞の可塑性

下郡博明, 菅原一真, 橋本 誠, 山下裕司 (山口大)

[はじめに]

我が国では社会の高齢化が進み、2050年には3人に1人が高齢者となるといわれている。加齢と共に視覚、深部知覚入力が増加すれば、末梢前庭障害に罹患した患者はふらつきが代償されず、QOLは大きく損なわれることは、容易に想像がつく。そのためできる限りの末梢前庭機能の回復が望まれる。末梢前庭障害の治療を考えるにあたり、過重力負荷ラットの前庭神経節細胞には可塑性を示す分子と考えられている p-CREB が発現することや¹⁾、迷路破壊術より前庭神経切断術の方が術後のふらつきが強いこと、一側迷路破壊を行うと両側性、異時性に p-CREB が前庭神経節細胞に発現することから²⁾、我々は前庭神経節細胞が大きく可塑性に関与していると考えている。このたびは、いくつかの障害パターンが異なるモデルに対して、前庭神経節細胞と併せて内側前庭神経核での p-CREB の発現を検討し、一側末梢前庭障害時における前庭神経節の役割について考察したので報告する。

[対象と方法]

ハートレイ系白色モルモットを用いて、一側迷路破壊群、一側 TTX 注入群、一側外側半規管切断群の3群を作成した。各群のモデルの特徴を表1に示した。各群の動物に対し、処置後1、4、12時間後に組織を採取して、前庭神経節、内側前庭神経核での p-CREB の発現を免疫染色で検討した。

[結果] (表2, 3, 4, 5)

一側迷路破壊群では、処置後1時間で、破壊側の前庭神経節細胞に p-CREB 陽性細胞を認めた。処置後4時間では破壊側の陽性所見は減弱し、健側の前庭神経節細胞に陽性所見を認めた。TTX 注入群では、処置後1時間では両側ともに陽性細胞を認めなかったが、4時間後には処置側優位に陽性細胞を認めた。一側外側半規管切断群では、処置後1時間から両側性に陽性細胞を認め、4時間後も同様の結果であった。全ての群において、処置後12時間では、陽性所見は認めなかった。内側前庭神経核においては、全ての群で処置後、4時間共に両側性に陽性所見を認め、特に群間での差はなかった。

[考察]

末梢前庭器が破壊される、されないにかかわらず、一側の前庭入力がゼロとなれば、両側性に、障害側から早く、障害側優位に前庭神経節細胞に p-CREB が発現することがわかった。さらには、末梢からの入力がゼロにならない部分障害であれば、障害後早期から健側にも強い p-CREB の発現が認められることがわかった。このように、末梢前庭障害のパターンによって、前庭神経節の対応が異なることは、非常に興味深い。一方、内側前庭神経核においては、末梢前庭障害の種類にかかわらず、あるパターン化された対応を行うことも推測された。以上のことから、前庭神経系の可塑性を操作して障害からの回復を促進させようとするのであれば、前庭神経節の可塑性を操作するほうがよりフレキシブルに反応する可能性を考えた。

[結論]

- 1 末梢前庭障害の種類によって前庭神経節での p-CREB の発現パターンが異なった.
- 2 内側前庭神経核での p-CREB の発現は障害の種類によらず一定のパターンを示した.
- 3 前庭系の末梢, 中枢では障害時の可塑性が異なる可能性が示唆された.

[参考文献]

- 1) Iijima N, Suzuki N, Oguchi T, Hashimoto S, Takumi Y, Sugahara K, Okuda T, Yamashita H, Usami S: The effect of hypergravity on the inner ear: CREB and syntaxin are up-regulated. *NeuroReport* 15: 965-969, 2004.
- 2) 下郡博明, 折田浩志, 菅原一真, 橋本 誠, 山下裕司: 末梢前庭障害後の前庭神経節細胞の活動性の変化. *Equilibrium Res* 66: 238, 2007.

表 1

	末梢からの入力	末梢前庭器
迷路破壊	ゼロ	破壊
TTX注入	ゼロ	正常
外側半規管切断	低下	正常

作成する 3 群のモデルの特徴を示す。

表 2

	障害側		健側
1時間	(+)	>	(-)
4時間	(±) ~ (-)	<	(+)
12時間	(-)		(-)

迷路破壊群の前庭神経節におけるp-CREB陽性所見の変化を示す。

表 3

	障害側		健側
1時間	(-)		(-)
4時間	(+)	>	(±)
12時間	(-)		(-)

TTX注入群の前庭神経節におけるp-CREB陽性所見の変化を示す。

表 4

	障害側	健側
1時間	(+)	(+)
4時間	(+)	(+)
12時間	(-)	(-)

外側半規管切断群の前庭神経節におけるp-CREB陽性所見の変化を示す。

表 5

	障害側	健側
迷路破壊	(+)	(+)
TTX注入	(+)	(+)
外側半規管切断	(+)	(+)

障害1、4時間後の内側前庭神経核 p-CREB所見を示す

15. 舌下神経前位核の興奮性、抑制性ニューロンの膜特性

紫野正人, 古屋信彦 (群馬大), 齋藤康彦 (同・神経生理)

[はじめに]

眼振は、眼位保持の障害と換言できる。水平眼球運動の場合、眼球の位置情報は延髄背側に存在する舌下神経前位核 (Prepositus hypoglossi nucleus:PHN) を中心とした神経回路網により、頭部回転速度信号から生成される (神経積分機構)。したがって水平性眼球運動障害のメカニズムを解明するためには、その基盤となる PHN ニューロンに関する詳細な知見が必要とされる。そこで、今回我々は、個々の PHN ニューロンの特性について検討し、かつ神経伝達物質関連 mRNA の発現から GABA ニューロン (=抑制性ニューロン)、グルタミン酸ニューロン (=興奮性ニューロン) を同定し、その特徴を調べた。

[対象と方法]

ウィスターラット (生後 17-21 日) から脳幹スライス標本を作製し、whole-cell patch-clamp 法を用いて電気生理学的膜特性を調べ分類した。また、神経伝達物質関連マーカーの mRNA 発現を調べるため、Single-cell RT-PCR 法を併用し、GABA ニューロン、グルタミン酸ニューロンを同定した。

[結果]

後過分極、発火特性、過分極通電に対する応答の 3つのパラメータを用いて電気学生理学的なニューロンの膜特性を調べた。後過分極については、単相性の AHP(s-)、二相性の AHP(s+)、二相性でかつ一過性の脱分極を持つ AHP(s+) with ADP に分類した。発火特性は、一定の間隔でスパイクを発射するもの (continuous)、初めのスパイク生成が一過性の過分極により遅れるもの (late)、初めのスパイクが連発して起こるもの (burst)、初めのスパイク間隔が顕著に長いもの (First Interspike interval Long)、発火の頻度が低いもの (Low Firing Rate) の 5種類に分類できた。過分極通電に対し、内向き整流性をもたないものと時間依存的なあるいは、非依存的な内向き整流性をもつものに分類できた。これらのパラメータを組み合わせると検討した結果、舌下神経前位核は多様な膜特性をもつニューロンから形成されていた。Single-cell RT-PCR の解析から、GABA ニューロン、グルタミン酸ニューロンとも膜特性に多様性を認めたが、特徴的な膜特性としては、GABA ニューロンでは AHP(s-)、late-spiking、FIL property が、一方グルタミン酸ニューロンでは LFR property が高頻度に記録された。

[考察]

舌下神経前位核は多様な膜特性をもつ heterogeneous なニューロン群から構成されていた。このことは PHN が多様な入力に対応し、それに応じた出力をすることを可能にしていると考えられる。

[結論]

舌下神経前位核は多様な膜特性をもつニューロンから構成されていた。GABA ニューロンに特徴的な膜特性は AHP(s-)、late-spiking、FIL property であり、グルタミン酸ニューロンでは LFR

property であった。

[参考文献]

- 1) Cannon SC and Robinson DA. Loss of the neural integrator of the oculomotor system from brain stem lesions in monkey. *J Neurophysiol* 57: 1383-1409, 1987.
- 2) Shino M, Ozawa, S, and Saito, Y. Firing patterns and ionic conductances of neurons in the rat nucleus prepositus hypoglossi. *Soc. Neurosci. Abstr.* 345.5, 2006
- 3) Takazawa T, Saito Y, Tsuzuki K, Ozawa S. Classification of neuron types based on molecular, electrophysiological, and morphological characteristics in the rat medial vestibular nucleus. *J Neurophysiol* 92: 3106-3120, 2004.

16. 前庭刺激と視覚刺激の頭頂連合野における感覚統合

高橋克昌, 古屋信彦 (群馬大),
Dora Angelaki (Washington University),
Greg DeAngelis (Rochester University)

[はじめに]

我々が何気なく歩く時, 周囲の景色は後方に流れ, 自分の体は前に進む. すなわち, 視覚としての運動方向と, 前庭覚としての運動方向とは逆向きに知覚され, 両者を感覚統合して空間で移動している自分を認知する. また, 巨大スクリーンに投影される視覚刺激のみで, 本当は前庭覚には刺激がないにもかかわらず, あたかも自分が動いているような錯覚 (ベクション) を感じることはよく知られている. これらの事実から, 視覚と前庭覚とが統合されることで, 空間識が形成されると予想されている. 近年, 頭頂連合野に存在する MSTd 野は, 運動視覚と前庭覚との両方に反応することが明らかになり, 空間識の形成に大きな役割を果たしていると考えられている. 我々は, 三次元バーチャルリアリティーシステムを用い, 実験用サルに, 運動視覚や前庭覚を賦活した時の MSTd 野ニューロンの反応を解析した.

[対象と方法]

3次元バーチャルリアリティーシステムは, サルが乗るプラットフォームと正面の巨大スクリーンとからなる. プラットフォームは前後上下左右を自由に動き, 前庭刺激として水平運動や回転運動を誘起する. スクリーンにはコンピュータ制御でオプティックフロー (運動視覚刺激) を投影し, その刺激は前庭刺激と同期して, 同じ刺激の大きさで視覚的な空間の変移を誘起する. 前庭刺激と運動視覚刺激をランダムに提示する間, タングステン電極を用い, MSTd 野のニューロンから単一神経記録を行った. 各運動方向毎に, 単位時間当たりのニューロンの発火数を計算し, 発火数をもっとも多くなるような, 最適な運動ベクトルを計算し, 統計学的な有意差をもって, ある一方向への運動を認知しているかを検討した.

[結果]

MSTd のニューロンは, 前庭回転運動で 89%ものニューロンが最適な運動方向を持っていた. 前庭水平運動では 54%であった. 運動視覚刺激では 99%のニューロンが最適な運動方向を持っていた. 例えば, ある一つのニューロンは, 右回り回転, または右方向への水平運動に反応し, 視覚刺激には左向きの運動視覚刺激に反応する.

[考察]

本来, MSTd 野は視覚中枢 V5 野から入力を得て, 広い視野における運動視覚を知覚する部位と考えられてきた. ほぼ全てのニューロンがある一定方向への運動視覚刺激に反応することは, 既知の事実である¹⁾. しかし, 視覚と同時に, 前庭刺激, 特に回転刺激に反応することは, 今回の研究で, 初めて明らかになった. 末梢前庭入力を受ける大脳皮質の特定部位は, 数多く報告されているが, 中でも PIVC 領域は前庭入力に反応するニューロンの割合が高いと報告され, 前庭中枢の中でも中心的な役割を果たすと考えられてきた²⁾. しかし, PIVC のニューロンは最大でも 63%しか前庭刺激に反応せず, しかも, 運動に最適な方向はない³⁾. 言い換えれば, 右向き回

転にも上向き回転にも同じようにニューロン発火するのである。その点、MSTdニューロンの前庭刺激に対する反応は、唯一の最適な方向が決まっており、更には、唯一の最適な運動刺激の方向をも併せ持つため、より積極的に空間織の形成に関わっていると予測される。

[結論]

MSTd領域のニューロンは視覚にも前庭覚にも、ある特定の方向に対して反応し、視覚と前庭覚を統合して空間の認知に関わっていると予想される。

[参考文献]

- 1) Duffy CJ, Wurtz RH (1991) Sensitivity of MST neurons to optic flow stimuli. I. A continuum of response selectivity to large-field stimuli. *J Neurophysiol* 65:1329-1345.
- 2) Sugiuchi, Y., Y. Izawa, et al. (2005). Vestibular cortical area in the periarculate cortex: its afferent and efferent projections. *Ann N Y Acad Sci* 1039: 111-23.
- 3) Schwarz DW, Fredrickson JM (1971) Rhesus monkey vestibular cortex: a bimodal primary projection field. *Science* 172:280-281.

1 7. Image J を用いた video-oculography (VOG)における定量的評価

橋本 誠, 松本潤子, 菅原一真, 下郡博明, 山下裕司 (山口大)
池田卓生 (鼓ヶ浦こども医療福祉センター)

[はじめに]

我々はこれまでフリーウェアの画像解析ソフト NIH Image を用いた簡易的眼球運動画像解析法を考案し報告してきた。一昨年度と昨年度は追跡眼球運動検査 と視運動性眼振検査についてコンピュータ画像解析する方法を考案しその精度を含めて報告した。これら video-oculography (VOG)システムでは、眼球運動を眼振図として表示するのみではなく、コンピュータ解析の特性を生かした定量的評価も期待できる。今回 NIH Image の後継ソフトである ImageJ を用いて VOG を行い、温度刺激検査において定量的評価を行った。

[方法]

キャリブレーション

赤外線反射ミラー式 CCD カメラで視標追跡中の眼球運動を撮影、ハードディスク DVD レコーダーで録画し、パソコンに取り込んだ。瞳孔を認識し、Image J の校正用マクロプログラムでキャリブレーションを行い、角度あたりの画素数 (pixel/°) を求めた。求めたキャリブレーション値を、解析用マクロプログラムに入力し、その後の解析を行った。

温度刺激検査と解析

温度刺激は少量注水法で行った。赤外線 CCD カメラで眼球運動を撮影し、ハードディスク DVD レコーダーで録画した。Visual suppression test の際には、赤外線反射ミラー式 CCD カメラを用い、10 秒間眼前 50cm を注視した。録画した画像をパソコン (iMac G5, Apple) に 1 秒間 30 フレームで取り込んだ。取り込んだ画像を QuickTime 形式で書き出し、ImageJ にて独自のマクロプログラムにより自動解析した (図 1)。

[結果]

眼球運動波形 (原波形) と 1 フレーム (30 分の 1 秒) 毎の速度波形を表示した。急速相をカットし、緩徐相速度の感度を二倍にした速度波形を表示した。水平方向の原波形から眼振毎に水平成分の速度を解析・表示した。眼振毎の緩徐相速度の速度波形の表示した。1 フレーム (30 分の 1 秒) 毎の位置座標 (pixel), 角度 (deg), 速度 (deg/sec) の表計算データの表示した。波形から眼振を指定して、緩徐相速度を表示した。以上の結果から最大緩徐相速度を求めた。解析範囲を指定して平均緩徐相速度を解析, 表示した。平均緩徐相速度の値から, Visual suppression (%) を解析・表示した (図 2)。

[考察]

ImageJ ではより複雑な解析項目が加わり、温度刺激検査における最大緩徐相速度, Visual suppression (%) の計算が簡便に行えるようになった。コンピュータ解析の特性を生かして、簡便に解析, 数値化することができ、日常診療において客観的なデータとして記録することに役立つと考えられる。

キャリブレーションの方法や、眼振認識の精度など、課題はあるが、眼振の速度や周波数のパ

ターン分析等で詳細な解析が見込まれ、臨床研究への応用も期待できる。

[結論]

Image J を用いた VOG における温度刺激検査の定量的評価を行い、コンピュータ解析の特徴を生かして簡便に解析を行うことが可能となった。

[参考文献]

- 1) 池田卓生, 他 : 赤外線 CCD カメラとパソコンを用いた簡易的眼球運動画像解析法. Equilibrium Res 59: 298-305, 2000.
- 2) 池田卓生, 他 : NIH Image を用いた簡易眼球運動画像解析法—三次元解析と回転軸解析について—. Equilibrium Res 61: 90-96, 2002.
- 3) 下郡博明, 他 : 部分的末梢前庭障害モデルの前庭機能評価法. Equilibrium Res 60: 177-180, 2001.
- 4) 堀池 修, 他 : モルモット眼球運動画像解析法の開発. Equilibrium Res 61: 28-33, 2002

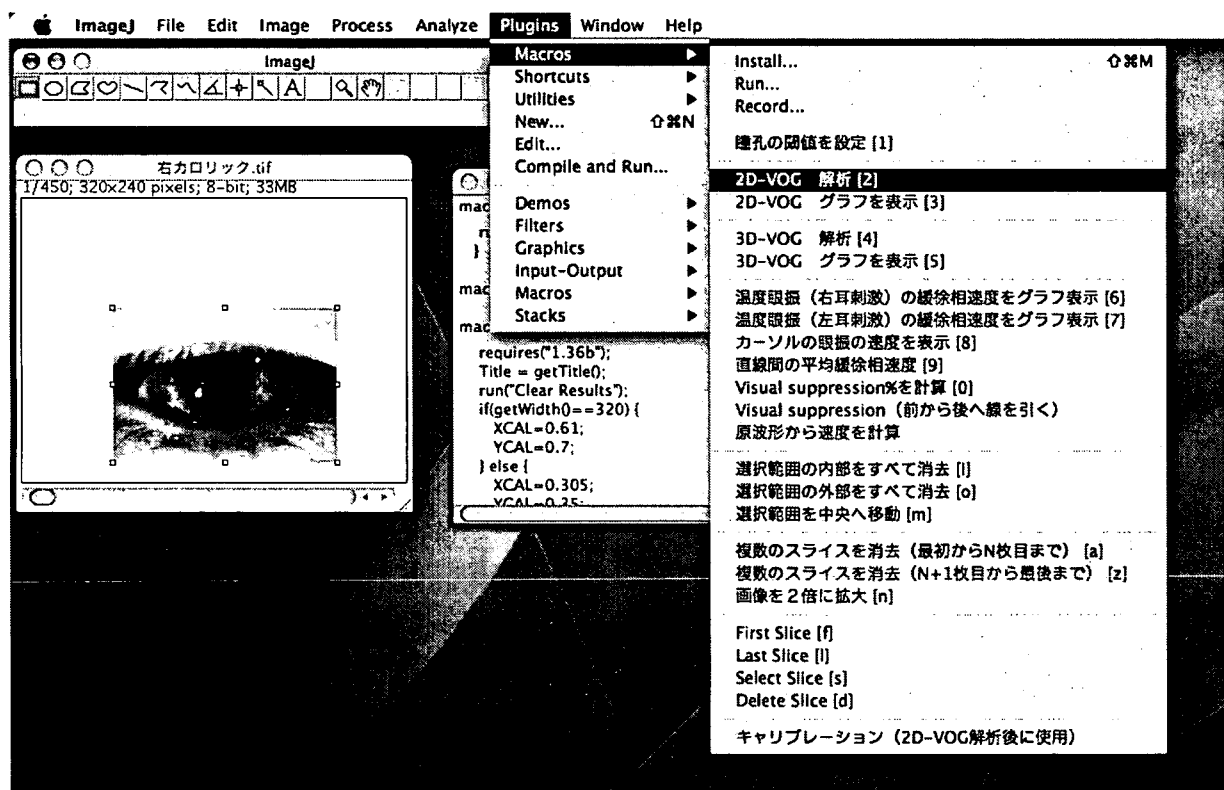


図1 解析画面とマクロプログラムの解析項目を示す。

