トピックス

前庭の血流と障害

稲垣 太郎

Circulation system of the vestibular organ and its dysfunction

Taro Inagaki

Department of Otolaryngology, Tokyo Medical University

近年, VEMP (Vestibular Evoked Myogenic Potential) や HIT (Head Impulse Test) などの前庭機能検査の発展により, 前庭機能障害の部位診断が可能になってきている。しかし, 前庭機能障害自体の病態は明らかではない。前庭機能障害の中には, 循環障害が推察される疾患も多く, 前庭機能検査の結果と血流動態を併せて考えることでその病態を把握することが可能になると考える。よって, 前庭の血流動態を理解することは前庭機能障害を理解する上で重要である。

前庭の血流 (図1)

前庭の血流量は蝸牛の4分の1程度であり, 半規管のほうが耳石器より多い¹⁾。前庭を栄養する血管の分布様式は, 吉岡²⁾がモルモットを用いて詳細に報告している。前庭に分布している動脈は, 前下小脳動脈から分枝した迷路動脈を起始とする前前庭動脈と前庭蝸牛動脈の2系統から成っている。前前庭動脈は卵形囊, 球形囊斑上端と前および外側半規管に分布している。前庭蝸牛動脈は, 蝸牛枝を分枝して前庭枝である後前庭動脈となり, 球形囊と後半規管, 総脚に分布している。卵形囊への分枝も見られるが, 卵形囊斑へは前前庭動脈系の卵形囊動脈のみが分布している。

平衡斑や膨大部稜の感覚上皮下の毛細血管網に入ってゆく細動脈は, その中枢側で必ずコイル状構造を繰り返す。これは蝸牛におけるコイル状細動脈と同様に, 毛細血管網の血流の安定化 (血流

調節作用) に寄与していると考えられている²⁾。さらに蝸牛では, 血管条が存在する蝸牛管外側壁に側副血行路があり, 強い自動血流調節能をうかがわせるが, 前庭系には蝸牛のような側副血行路は存在しない³⁾。

卵形囊斑, 球形囊斑および半規管膨大部稜では感覚上皮下に密な毛細血管網が構築されている²⁾⁴⁾。また, 卵形囊斑, 球形囊斑への血管の進入部位はストリオラと一致し, 半規管膨大部稜では頂部に一致している。一方, 蝸牛の血管条の細胞と類似した機能を持つとされる前庭暗細胞は各半規管膨大部稜の両側および卵形囊平衡斑周囲にあり, 球形囊には見られない⁵⁾。しかし, 前庭暗細胞には蝸牛の血管条のような毛細血管を細胞層内に取り込む構造⁶⁾はなく, 比較的疎な毛細血管網しかないため循環障害の評価は難しく, その報告は少ない。

前庭の血流障害

Mizutani ら⁷⁾は, ラットで3-nitropropionic acid (3-NP) を用いた前庭虚血モデルを作成し, 内耳虚血による平衡障害は, 主に感覚上皮障害によると報告した。Sitko ら⁸⁾は, ウシガエルの前庭動脈の短時間 (10-30分) 遮断および再灌流の実験を行っている。その実験では, 血流遮断時に半規管の活動電位は一過性に障害されたが, 再灌流により遮断前のレベルに回復した。姜ら⁹⁾は, rose bengal と緑色光を用いてラットのの前下小脳動脈に血栓を形成し, 閉塞群と再開群 (閉塞時間<60分) で前庭病理所見を比較した。クブラの観察は

図1 前庭の栄養血管

迷路動脈を起始とする前前庭動脈と前庭蝸牛動脈が前庭の栄養血管である。

されていないが、光学顕微鏡下に感覚上皮を観察すると、閉塞群では70-90%に、再開群では30-60%に障害がみられたと報告している。

我々もウシガエルの前庭動脈を遮断した前庭循環障害モデルを作成し、虚血による末梢前庭器の形態変化を検討した¹⁰⁾。同実験における循環障害群（前・外側半規管）での感覚上皮の障害は姜らの実験における閉塞群と同等の割合であった。我々の研究で不可逆的な変化と考えられる感覚上皮の剥離が生じたのは血流遮断期間が2-7日と長かったためと思われる。また、前半規管、外側半規管に比べて、後半規管ではクプラおよび感覚上皮の障害が軽度であった。先に述べたように、前・外側半規管と後半規管では栄養血管が異なっていて、障害が軽度であった後半規管膨大部は前庭蝸牛動脈の前庭枝で栄養されている。後半規管膨大部に前庭枝以外の血流があった可能性が考えられた。また前庭循環障害モデルは、これまでに我々が報告してきたゲンタマイシン（GM）投与モデル¹²⁾や膜迷路障害モデル¹³⁾と比較して前庭の形態変化が大きいことがわかった。

Tange¹¹⁾は、栄養血管の閉塞部位によるラットの内耳の虚血性病変を Type I~IV に分類している。Type I：蝸牛障害のみ。a. 固有蝸牛動脈→低音部（頂回転）の障害、b. 前庭蝸牛動脈蝸牛枝→高音部（基底回転）の障害。Type II：前庭蝸牛動脈→高音部（基底回転）、球形嚢、後半規管膨大部の障害。Type III：前庭障害のみ。a.

後前庭動脈（前庭枝）→球形嚢、後半規管膨大部の障害、b. 前前庭動脈→卵形嚢、前・外側半規管膨大部の障害。Type IV：迷路動脈→蝸牛、前庭全体の障害。以上の4型である。内耳機能障害は、血流の閉塞部位ではなく内耳の虚血状態によるとされる⁹⁾が、有効な側副血行路が期待できない前庭では閉塞部位の影響が強いと考えられる。

前庭機能検査と血流

末梢前庭器の神経支配としては、卵形嚢および前・外側半規管膨大部と球形嚢の一部を上前庭神経が、球形嚢の大部分と後半規管膨大部を下前庭神経が支配している¹⁴⁾。この支配体系は血管の支配体系と一致する。つまり上前庭神経支配領域は前前庭動脈支配領域であり、下前庭神経支配領域は前庭蝸牛動脈支配領域である。VEMPやHITは、前庭頸反射や前庭動眼反射の神経経路を利用した前庭機能検査であるが、循環障害が考えられる場合、VEMPやHITで得られた部位診断の結果から障害された血管の同定が可能と思われる。

前庭機能検査の結果から病態を類推するのに必要な前庭の血流および血流障害について述べた。今後も前庭機能検査の結果を詳細に分析することにより前庭機能障害の病態が明らかになることが期待される。

文 献

- 1) Nakashima T, Suzuki T, Morisaki H, et al.: Blood flow in the cochlea, vestibular apparatus and facial nerve. Acta Otolaryngol 111:

- 738-742, 1991
- 2) 吉岡達生：前庭微小循環の血管網構造. 耳鼻臨床 79：963-977, 1986
 - 3) 山根英雄, 高山雅裕：内耳循環の関与. Equilibrium Res 67: 228-233, 2008
 - 4) Nomura Y, Hiraide F: The capillary in the human vestibular labyrinth. A histochemical staining technique. Ann Otol Rhinol Laryngol 78: 1220-1226, 1969
 - 5) 原田康夫：前庭器の形態, 機能と病態. 46頁, 西村書店, 新潟, 1984
 - 6) 石山英一, 石山浩一：内耳アトラス第2版. 79-80, 創造出版, 東京, 2002
 - 7) Mizutani K, Fujioka M, Nakagawa S, et al.: Balance dysfunction resulting from acute inner ear energy failure is caused primarily by vestibular hair cell damage. J Neurosci Res 88: 1262-1272, 2010
 - 8) Sitko S, Honrubia V: Differential effect of ischemia on spontaneous and sinusoidal-evoked activity in semicircular canal afferents in the bullfrog. Acta Otolaryngol 102: 179-185, 1986
 - 9) 姜 学鈞, 梅村和夫：長期観察可能なラット前下小脳動脈血栓による内耳虚血モデル その機能と形態学的研究. 日耳鼻会報 96：1926-1932, 1993
 - 10) 稲垣太郎, 鈴木 衛, 大塚康司, 他：ウシガエル循環障害モデルにおける末梢前庭器の形態変化. Equilibrium Res 72: 472-477, 2013
 - 11) Tange RA: vascular inner ear partition: a concept for some forms of sensorineural hearing loss and vertigo. ORL 60: 78-84, 1998
 - 12) Konomi U, Suzuki M, Otsuka K, et al.: Morphological change of the cupula due to an ototoxic agent: A comparison with semicircular canal pathology. Acta Otolaryngol 130: 652-658, 2010
 - 13) Kondo T, Suzuki M, Konomi U, et al.: Changes in the cupula after disruption of the membranous labyrinth. Acta Otolaryngol 132: 228-233, 2012
 - 14) Gacek RR: A place principle for vertigo. Auris Nasus Larynx 35: 1-10, 2008

利益相反に該当する事項はない。