

最終講義

難治性めまいへの弛まぬ挑戦

將積日出夫

Final lecture : “Unrelenting challenge to intractable dizziness”

Hideo SHOJAKU

Emeritus professor, University of Toyama

和文要旨

めまい・平衡障害は日常臨床で患者が最も訴える症状の1つであり、耳性めまいが6割を占める。良性発作性頭位めまい症（BPPV）はその過半数を占める。原因は卵形囊から耳石が脱落し三半規管に迷入して生じ、後半規管型BPPVが約9割、外側半規管型BPPVは約1割である。治療には耳石を卵形囊に移動させる浮遊耳石置換法が知られているが、ヒトでは耳石の移動を観察することは出来ない。本稿では、私が富山大学耳鼻咽喉科で継続してきた、浮遊耳石置換法の理解に役立つ世界発の膜迷路モデルの開発研究について紹介する。

Abstract

Dizziness is one of the most complaining symptoms in daily practice. Benign paroxysmal positional vertigo (BPPV) accounts for about 25% of all dizzy patients, in which the otoliths fall off from the utricle macula and enter into the semicircular canals (SSC). Approximately 90% of BPPV patients are posterior SCC type, while remaining about 10% are lateral SCC type. To treat the posterior SCC type BPPV, otolith repositioning maneuver named Epley is maneuver done globally. I invented the BPPV training model which is launched on the market by the Japan Medical Company co. I introduce the history of the development as a final lecture.

Key words : 良性発作性頭位めまい症、浮遊耳石置換法、世界初三半規管膜迷路模

1. はじめに

私は渡辺先生の後任として2012年9月15日に富山大学学術研究部医学系耳鼻咽喉科頭頸部外科学講座の主任教授、附属病院耳鼻咽喉科診療科長に就任した。それから2023年3月末まで恙なく務め、無事退任することができた。本稿では、私が臨床の現場の課題解決を目指してライフワークとして継続してきた浮遊耳石置換法の理解に役立つ世界初の膜迷路モデルの開発研究について、「難治性めまいへの弛まぬ挑戦」と題して紹介させていただきたい。

2. 背景

良性発作性頭位めまい症（BPPV）は、耳性めまいの中で最多であり全体の約4割を占める¹⁾。その病態は、耳石器から耳石が脱落して三半規管内に迷入して浮遊耳石になることが原因で、後半規管型BPPVが全体の90%

を占め、10%弱が外側半規管型BPPVと診断される。BPPVの治療には、浮遊耳石置換法と呼ばれる理学療法が用いられ、その理解のため著者が発明者である特許、『良性発作性頭位めまい症の治療用器具及びその製造方法（特許第2012-083881号）』を元に(株)ジャパン・メディカル・カンパニー社によりBPPV治療練習用頭部模型（以下、骨迷路模型）が上市されている²⁾。この骨迷路模型では三半規管（耳石可動）10倍モデルが左右1対内在している（図1）。このモデルは、健常者の側頭骨CT画像から3Dプリンタで構築された骨迷路（半規管と耳石器）を10倍に拡大したもので、内腔に浮遊耳石を抽出した赤色のビーズが存在している

Epley法は後半規管型BPPVに対する代表的な浮遊耳石置換法である³⁾。右後半規管型BPPVに対するEpley法（図2）では、まず座位で右45°頸部捻転後に懸垂頭位まで頭位変換を行う。この右下45°懸垂頭位を第1頭位

(受稿2023.6.14)

富山大学名誉教授 富山大学医学部医療機器イノベーション共同研究講座

と呼ぶ。次に懸垂頭位のまま90°頸部を左方向に回転して左45°懸垂頭位に頭位変換する。この左下45°懸垂頭位を第2頭位と呼ぶ。さらに90°頸部を左方向に回転され左135°懸垂頭位に頭位変換する。この左下135°懸垂頭位を第3頭位と呼ぶ。最後に座位に戻り、正面を向き、20°前屈位をとる。

右後半規管型BPPVに対するEpley法施行時の浮遊耳石の移動を頭部模型で観察した⁴⁾(図3)。模型により座位→第1頭位→第2頭位へ頭位変換を再現させると、後半規管内を反膨大部方向に浮遊耳石(赤色ビーズ)は移動し、第3頭位で前半規管に入った。その後、模型で座位に戻る頭位変換を再現させると前半規管内に存在し

た浮遊耳石は全て卵形囊内に移動した。このように頭部模型はEpley法の各頭位での浮遊耳石の移動を肉眼で観察することが可能であった。さらに、医学教育において頭部模型は、“後半規管型BPPVの浮遊耳石置換法に懸垂頭位が必要である”ことへの理解に役立つことが明らかとなった⁵⁾。また、先行論文では、第3頭位で前半規管に入ったとする報告はなく、頭部模型で再現するために膜迷路模型作製の必要性が指摘された⁴⁾。

BPPVは特定の頭位でめまいが誘発される。後半規管型BPPVは枕に頭を着けた時、一方、外側半規管型BPPVでは寝返りをした時に起こる。外側半規管型BPPVの半規管結石症の代表的な浮遊耳石置換法である

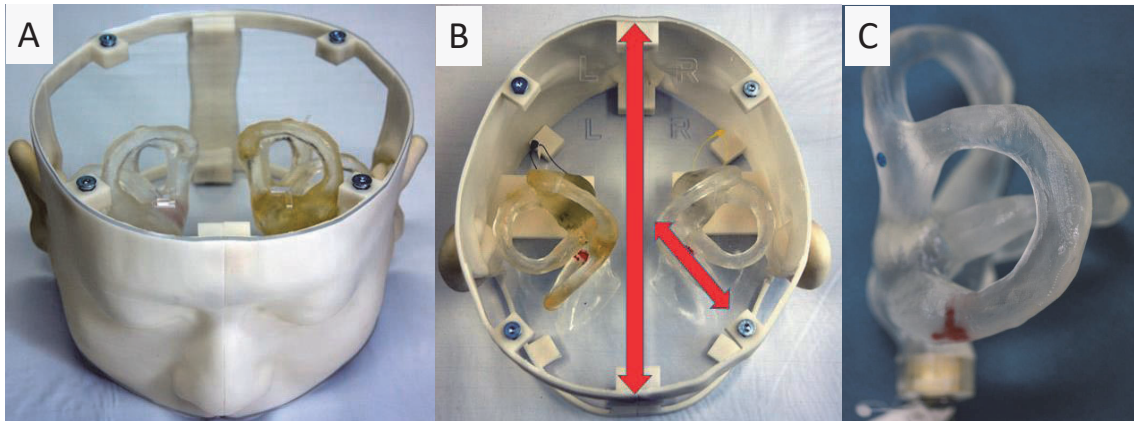


図1 BPPV治療練習用頭部模型(骨迷路模型)

A: 全景, B: 背景, C: 三半規管(耳石可動)10倍モデル

三半規管(耳石可動)骨迷路10倍モデルを左右1対内在したのがBPPV治療練習用頭部模型であり、後半規管は矢状面に対して45°の角度を成すよう作製されている。

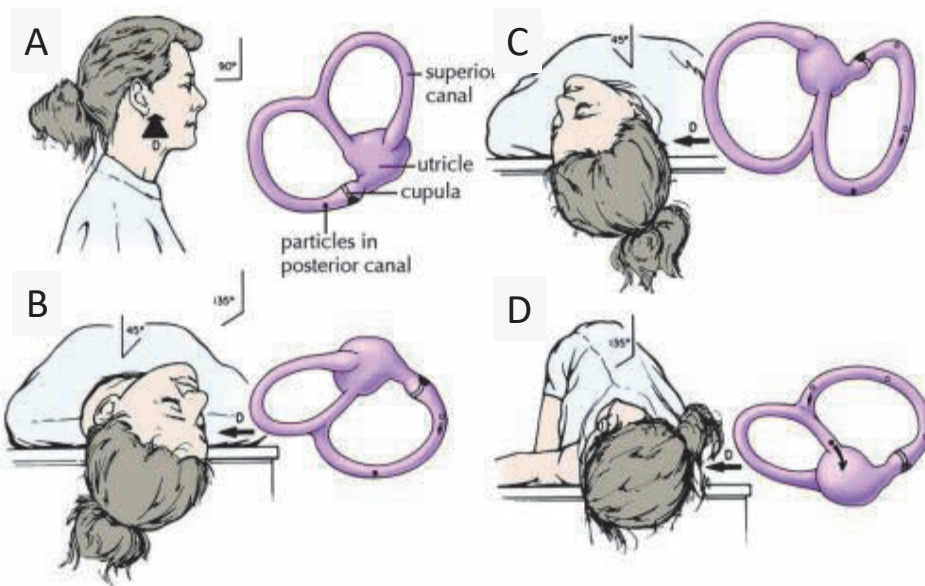


図2 右後半規管型BPPVに対するEpley法(文献3)より一部改変)

A: 座位, B: 右下45°懸垂頭位(第1頭位), C: 左下45°懸垂頭位(第2頭位), D: 左下135°懸垂頭位(第3頭位)

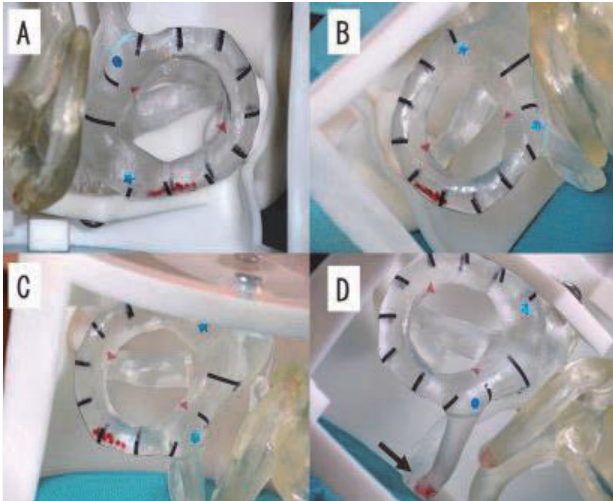


図3 右Epley法時の頭部模型内浮遊耳石の移動 (文献4)より一部改変)

A: 座位, B: 第1 頭位, C: 第2 頭位, D: 第3 頭位。

浮遊耳石 (赤色ビーズ) は後半規管内を反膨大部方向に進み, 第3 頭位で前半規管に入る。

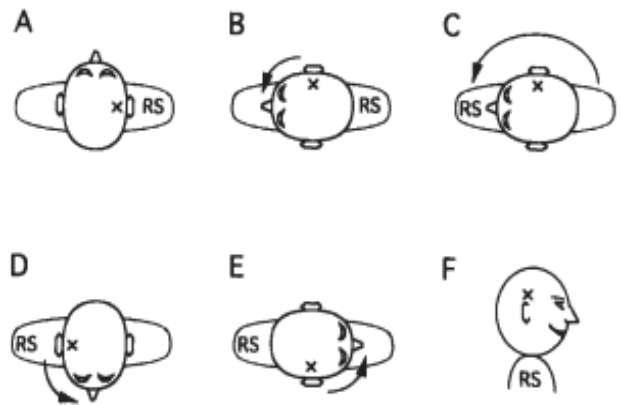


図4 右外側半規管型BPPVに対するLempert法 (文献6)より引用)

右耳が患側の外側半規管型BPPVに対して頭部を270°回転させて浮遊耳石を卵形嚢に戻す

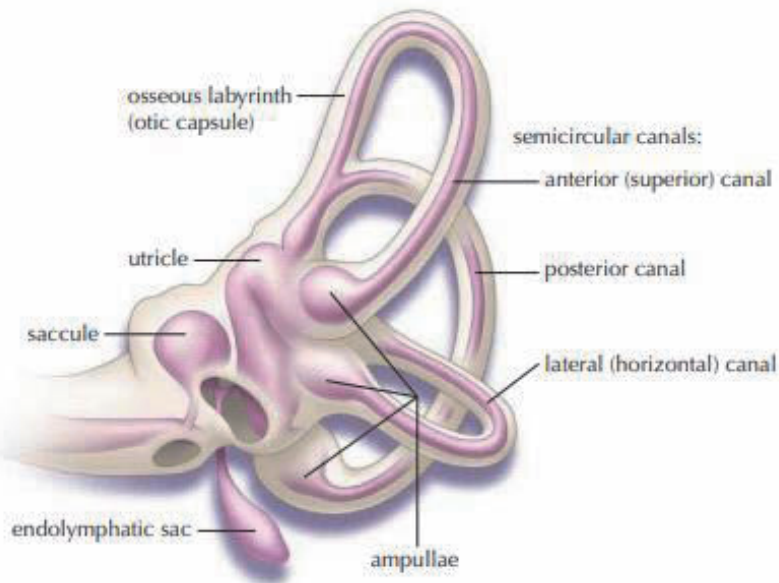


図5 骨迷路と膜迷路 (文献3)より引用)

膜迷路を満たす内リンパは薄紫, 骨迷路と膜迷路の間を満たす外リンパは薄茶色で示した。膜迷路は骨迷路に比べて細い。

Lempert法を図4に示した⁶⁾。Lempert法では仰臥位で健側方向へ頭部を90°ずつ3回, 計270°回転することで外側半規管型BPPV患者の浮遊耳石を卵形嚢に移動させる。Lempert法の手技を頭部模型で行うと浮遊耳石 (赤色ビーズ) は90°模型を回転させただけで外側半規管内から卵形嚢に移動する。“Lempert法では270°の頭部回転が必要”ということ頭部模型で再現するためには, 膜迷路模型の作製は可能性の一つであると考えられた。

3. 目的

内耳骨迷路と膜迷路の関係を図5に示した³⁾。内耳液

には内リンパと外リンパがあり, 内リンパは膜迷路を, 外リンパは骨迷路と膜迷路の間を満たしている。容量は内リンパが35~45 μ l, 外リンパは135~145 μ lであり, 膜迷路は骨迷路内に存在し, 骨迷路よりも比較的細い⁷⁾。BPPV患者では, 浮遊耳石は膜迷路内を移動する。そのため, Epley法やLempert法を頭部模型で正確に再現するためには膜迷路モデルを作製する必要がある。しかしながら, 3テスラのMRIを使用しても膜迷路のみを描出することはできない。そこで本研究では, 三半規管 (可動耳石) 10倍膜迷路モデルの作製方法を考案, 3Dプリンタにて世界で初めて試作した。

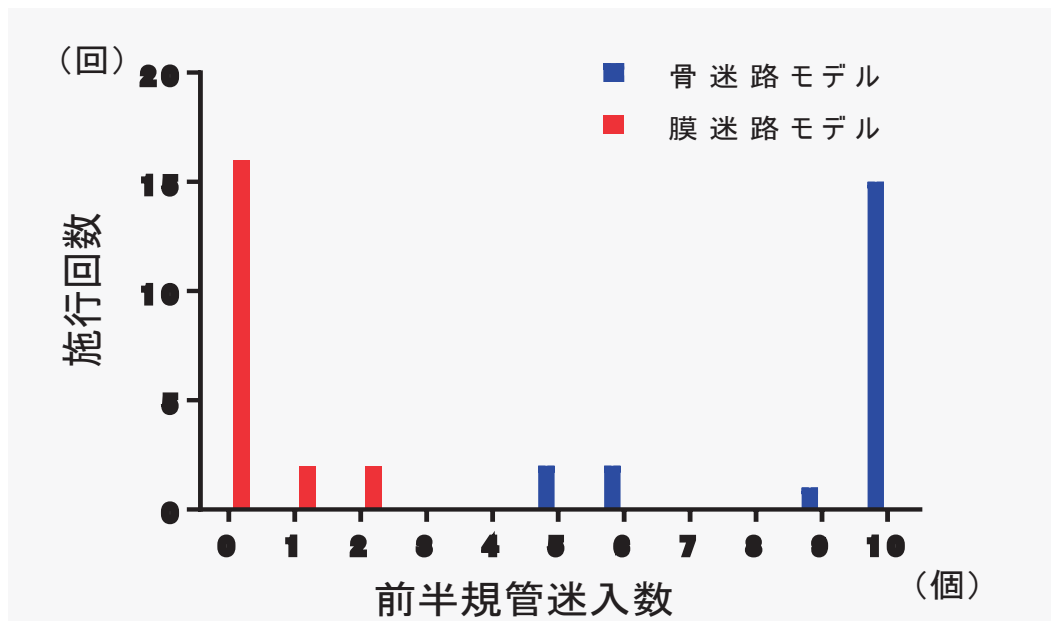


図9 pley法第3頭位の浮遊耳石の前半規管迷入数
膜迷路模型は骨迷路模型に比べて浮遊耳石（赤色ビーズ）の前半規管への迷入が殆ど見られなかった。

での浮遊耳石（赤色ビーズ）の位置を観察した。骨迷路モデル内蔵頭部模型（以下、骨迷路模型）では第3頭位で20回中15回、浮遊耳石10個全てが前半規管に迷入した。一方、膜迷路モデル内蔵頭部模型（以下、膜迷路模型）では、20回中16回は浮遊耳石の全てが後半規管内に止まり、4回は1個～2個が前半規管に迷入した。統計学的に膜迷路模型では骨迷路模型と異なり第3頭位で浮遊耳石の大多数が後半規管内に存在することが分かった。今回試作した膜迷路模型では、前半規管と後半規管の接合部の角度は鋭角であり、ヒト膜迷路での接合部の角度を再現していた¹⁰⁾。膜迷路模型にEpley法の手技を用いると第3頭位で総脚付近の後半規管内に存在した浮遊耳石（赤色ビーズ）は、座位で卵形嚢へ移動した。そのため、膜迷路模型はEpley法施行時の浮遊耳石の移動部位の理解に役立つ医療模型であることが確認された。

一方、外側半規管型BPPVに対するLempert法についても同様の検討を行った。膜迷路模型を用いてLempert法の手技を行った場合、180°の頭部回転で浮遊耳石（赤色ビーズ）は卵形嚢に移動した。これはLempert法で必要な270°頭部回転とは一致していなかった。Maia et al.は、Lempert法実施中の耳石の位置を推定した。その総説では、180°ですでに卵形嚢内に耳石は入り、270°でより深部へ到達していると示されている。270°が必要なのは、元に戻るのを防ぐ目的があるのかもしれない。膜迷路模型のさらなる改良によりその点を明らかにする必要がある。

6. 医学部医療機器イノベーション共同研究講座での開発研究の継続

今回、Brödelの図譜⁸⁾に従って半規管の骨迷路、膜迷路の断面が円形であり、外側半規管は前半規管と同一であると仮定して膜迷路模型を作製した。一方、Igarashiは、ヒト後半規管の骨迷路と膜迷路の断面を測定し、いずれも楕円形で膜迷路の長軸は骨迷路の短軸に一致すると報告した¹²⁾。Curthoy&Omenはヒト外側半規管の膜迷路の断面を測定し、膜迷路は楕円形であり、その長軸は外側半規管の平面に直交すると発表した¹³⁾。このように先行論文では骨迷路や膜迷路が楕円形であると報告されているが、その計測値は大きく異なり、半規管の固有値の違いによる可能性が指摘された^{9),14)}。そのため、福島県立医大耳鼻咽喉科学教室（室野重之教授）との共同研究により、同教室の側頭骨バンクから側頭骨標本データを入手して、膜迷路と骨迷路の関係の検討を継続している（図10）。実際の側頭骨標本では膜迷路は楕円形であり、成書に書かれているように骨迷路の外側に位置している¹⁵⁾。今後、CADを用いて標本のデータを3D構築することで改良の膜迷路模型を作製し、Epley法やLempert法などの浮遊耳石置換法の理解に役立つ医療模型の作製を目指している。

7. おわりに

4月より富山大学医学部医療機器イノベーション共同研究講座の客員教授に赴任して、これまで続けてきた耳鼻咽喉科領域の医療機器の開発研究を継続している。幸い、企業との共同研究を通じて8個の特許取得もしくは出願、さらに2個の製品を上市することが出来た。日



図10 側頭骨組織標本での骨迷路と膜迷路の関係
膜迷路は骨迷路の外側で楕円形。

常臨床の現場で生まれた課題をシーズととらえ、共同研究をする企業を見つけることは簡単ではない。試行錯誤の上に確固たるパートナーシップを結ぶことが医療機器の開発に重要であると考えている。同門会の諸先生が、医療機器開発を目指す上で少しでも参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) 宇野敦彦, 永井美樹, 坂田義治, 森脇計博, 加藤 崇: 市中病院耳鼻咽喉科における最近のめまい統計. 日耳鼻 2001; 194: 1119-1125.
- 2) BPPV 治療練習用. <https://www.kezlex.com/products/ent/>
- 3) Parnes LS, Agrawal SK, Atlas J.: Diagnosis and management of benign paroxysmal positional vertigo (BPPV). CMAJ 169: 681-693, 2003.
- 4) 將積日出夫, 藤坂実千郎, 石田正幸, 他: 可動耳石・半規管モデル内臓頭部模型による頭位治療時の浮遊耳石の検討. 耳鼻臨床 補134: 28-33, 2012
- 5) Fujisaka M, Akaogi K, Shojaku H.: A tangible head model showing semicircular canals for demonstrating the physical treatment for BPPV. Acta OtoLaryngol. 2015; 135: 1212-8.
- 6) Lempert T, Tiel-Wilck K.: A positional maneuver for treatment of horizontal-canal benign positional vertigo. Laryngoscope. 106: 476-478, 1996.
- 7) 切替一郎著, 野村恭也監修, 加我君孝編集: 新耳鼻咽喉科学 改訂11版. 南山堂, 東京, 2013年.
- 8) Brodel, M.: Unpublished drawings of the anatomy of the human ear. Philadelphia: W.B. Saunders, 1946.
- 9) 十二町美樹, 高倉大匡, 將積日出夫, 大野秀晃, 白川勇仁: BPPV治療練習用頭部模型の改良. 第39回耳鼻咽喉科ニューロサイエンス研究会. 2022年8月20日, 京都市.
- 10) Adams JC, Liberman MC.: Schuknecht's pathology of the ear. Connecticut People's Medical Publishing House-USA, 2010.
- 11) Maia FZ, Ramos BF, Cal R, et al.: Management of Lateral Semicircular Canal Benign Paroxysmal Positional Vertigo. Front. Neurol. 11: 1040, doi:10.3389/fneur.2020.01040
- 12) Igarashi M.: Dimensional study of the vestibular apparatus. Laryngoscope 1967; 77: 1806-1817.
- 13) Curthoys IS, Oman CM.: Dimensions of the horizontal semicircular duct, ampulla and utricle in the human. Acta Otolaryngol 1987; 103: 254-261.
- 14) 橋本 晋: ヒト半規管膜迷路の三次元再構築とその計測. 日本耳鼻咽喉科学会会報 2003; 106: 1-6.
- 15) 野村恭也, 平出文久, 原田勇彦: 新耳科学アトラス 形態と計測値. 東京: シュプリンガー・フェアラーク東京, 1992.