原 著

頭位のわかる赤外線眼振記録装置

三並 美香¹⁾・新井 寧子¹⁾・西田 超¹⁾・須納瀬 弘¹⁾
武井 泰彦²⁾・山本 正男³⁾

A head position detectable “Air Micro Frenzel” glasses

Mika Minami¹⁾, Yasuko Arai¹⁾, Suguru Nishida¹⁾, Hiroshi Sunose¹⁾,
Yasuhiko Takei²⁾, Masao Yamamoto³⁾

¹⁾*Department of Otolaryngology, Tokyo Woman's Medical University Medical Center East*

²⁾*Department of Otolaryngology, Kitasato University Kitasato Institute Hospital*

³⁾*Scala Corporation*

The positional and positioning tests are essential when we see patients with vertigo. Recently we examined cases of nystagmus using glasses with CCD infra-red cameras which enabled us to detect even the slightest nystagmus, and to record it. However, one of the problems is that we cannot record the head position, so when we review the record afterwards, we do not know the head position at the moment when the nystagmus was released. In order to solve this problem we developed a device which enabled us to see both the eye movement and concurrent head position at once on the remote display terminal such as an iPad or iPhone. We applied the “Air Micro Frenzel” glasses (Scala Company) with which the pictures of the eye movement detected by a C-MOS sensor are sent via high fidelity wireless to the remote receiver such as an iPad or iPhone, and so on, to be shown and/or recorded. We improved the device, and equipped the glasses with a gravity sensor positioned near the CCD camera so that the information of the head position is also shown on the same remote display. As a result, our newly developed device enabled us to observe nystagmus and concurrent head position at the same time on the same display. Some technical problems remain, however, such as stabilization of the glasses on the patient's head, so we are now developing an improved device.

Key words: Positional nystagmus and positioning nystagmus, wireless device, head position sensor, benign paroxysmal postural vertigo (BPPV)

---

¹⁾ 東京女子医大東医療センター耳鼻咽喉科

²⁾ 北里大学北里研究所病院耳鼻咽喉科

³⁾ スカラ株式会社

はじめに

眼振、眼球運動の観察はめまい診療上極めて重要である。末梢前庭性の眼振は視覚によって抑制

図1 赤外線眼振記録装置の構造、模式図

暗視カメラとアンプを内蔵し、iPad/iPhoneにて眼球運動をライブ映像で見られる AirMicro フレンツェル® のゴーグル内に、重力センサーが内蔵されている。従来の録画機器およびモニターの機能を iPad/iPhone が果たす。

図2 赤外線眼振装置と重力センサーの関係

眼振撮影用のゴーグル内に重力センサーを配置し、瞳孔の映像と共に撮影することで、眼振と共に重力方向を同一画面に表示する。カメラのレンズは瞳孔に焦点を合わせているため、重力センサーに凸レンズをつけることで、両者に焦点が合うようにした。

されるため、裸眼やフレンツェル眼鏡でなく、暗視野下で眼球運動を観察できる赤外線カメラの臨床的意義は極めて高い¹⁾。通常の赤外線カメラでは、定性的な眼振・眼球運動の評価が主体であるが、画像解析により定量的な評価が可能な装置も市販されている¹⁾。しかし通常の赤外線眼振記録装置では眼振を動画としてビデオ等の録画機器に記録できても、検査時の頭位を知るには更な

図3 頭位による重力センサーの模式図

iPad 画面上の重力センサーの位置を図の右列に示す。金属球は重力方向に移動し、座位では口唇方向（モニターでは下方6時）、懸垂頭位では眉毛方向（モニターでは上方12時）に位置する。背臥位および腹臥位では重力センサーの中央に位置するが、カメラとの距離の違いから表示される金属球の大きさが異なる。つまり背臥位ではカメラからの距離が遠いので凸レンズから見る金属球は大きく、腹臥位では距離が近いので小さな球として表示される。

る工夫が必要である。例えば、録画データを再生するとき、眼振の動画と頭位との関連性はわからないため、後日患者への検査結果の説明がしにくいという問題がある。画面を分割して検査状況画像と共に記録する、経過時間と共に頭位を書き添える、音声による解説を同時に記録する等の方法で対応しているのが通常である。そのため、どのタイミングで、どの方向にどの程度頭の位置が変化したかを、正確に判断することはできない。

頭位と眼振の関連性に着目し、頭位と眼振を同一画面で表示する頭位眼振記録システムが、永島医科器械株式会社から、2009年より既に臨床現場に導入されている²⁾。この永島医科器械株式会社のシステムでは複雑な回線を必要とし、記録できる頭位に制限がある。

今回我々は、複雑な回線のないコードレス、かつポータブルで、頭位・頭位変換眼振検査でとられるすべての頭位が、眼振動画の画面上でわかる眼振記録装置を試作したので報告する。

図4-1 赤外線眼振記録装置とモニターの使用状況-坐位と懸垂頭位
(a)坐位では金属球が下方6時方向, (b)懸垂頭位では上方12時方向に認められる。

図4-2 赤外線眼振記録装置とモニターの使用状況-側臥位
(a)右側臥位では3時方向, (b)左側臥位では9時方向に位置する。

図4-3 赤外線眼振記録装置とモニターの使用状況-背/腹臥位
(a)背臥位と(b)腹臥位: 共に金属球は正中に位置し, (a)背臥位ではカメラからの距離が遠いので金属球は大きく, (b)腹臥位では距離が近いので小さな球として金属球が映る。

図4-4 赤外線眼振記録装置とモニターの使用状況-Dix-Hallpike 法。右45度頸部捻転
(a)右45度頸部捻転坐位前屈30度では4時半方向, (b)右45度頸部捻転懸垂頭位前屈30度では1時半方向に金属球が位置する。

図4-5 赤外線眼振記録装置とモニターの使用状況-Dix-Hallpike 法。左45度頸部捻転
(a)左45度頸部捻転坐位前屈30度では7時半方向, (b)左45度頸部捻転懸垂頭位前屈30度では10時半方向に金属球が位置する。

図4 赤外線眼振記録装置とモニターの使用状況
左列には本装置装着下の頭位眼振検査状況, 右列はモニターの役割を果たしている iPad の画像を示す。

図5 頭位表示装置 NM-1 と周辺機器

NM-1 とその周辺機器は赤外線フレンツェルゴーグル、赤外線フレンツェルアンプ (IEM-2)、頭位表示装置アンプ (NM-1)、画面分割器、録画機器、モニターと 6 種の機器により構成される。

方 法

我々が試作した頭位のわかる赤外線眼振記録装置は、現在スカラ株式会社から市販されている「AirMicro フレンツェル®」のカメラ近傍に重力センサーをとりつけ、目と共にこの重力センサーが映るようにしたものである。AirMicro フレンツェル®の質量は約 384 g（電池を含む）で、本装置は約 385 g とほぼ同じ質量である。

ゴーグルに装着された暗視カメラにより、C-MOS センサーで走査された映像は、映像信号処理回路に入り、無線 LAN 回路に出力され、無線 LAN 回路から規格に沿って毎秒 30 枚の映像が外部に出力送信される。外部に用意された無線 LAN 回路と映像信号復元処理機能が含まれたモニター (iPad/iPhone 等) や記録機能を持った受信機により、映像を表示すると同時に記録保存する。UDP プロトコルにより同時に最大 253 台のモニター (iPad/iPhone/PC 等) で受信表示記録が可能である (図 1)。

内蔵された重力センサーの原理は、透明な蓋付お椀の中に金属球を入れた特殊な水準器をイメージする。重力センサーは $5 \times 5 \times 10$ mm 大と小型な装置で、撮像素子の近傍に設置した。カメラのレンズは瞳孔に焦点を合わせるため、カメラと瞳孔の間に配置されている本重力センサーには焦点

が合わない。そこで重力センサーとカメラの間に小型の凸レンズを取り付けることで、この問題を解決した (図 2)。本装置では、眼振撮影用の暗視カメラ内に凸レンズつきセンサーを固定したことにより、瞳孔の映像とセンサーの虚像を同一画面に置くことができ、眼振と頭位を同時に観察することが可能にした。

結 果

本装置ではどの頭位でも金属球は重力方向に移動するので、モニター画面上の金属球の位置および大きさにより頭位を知ることができる。重力センサーは暗視カメラに固定しているので、頭位に従って重力方向に金属球が移動することで頭位を表示する (図 3)。一般にめまい診療で行う眼振検査のどの頭位でも区別は可能である。すなわち、坐位 (図 4-1 a) では金属球が下方 6 時方向、懸垂頭位 (図 4-1 b) では上方 12 時方向、右側臥位 (図 4-2 a) では 3 時方向、左側臥位 (図 4-2 b) では 9 時方向に位置する。また背臥位と腹臥位では共に金属球は正中に位置するが、カメラとの距離の違いから表示される金属球の大きさが異なる。つまり背臥位 (図 4-3 a) ではカメラからの距離が遠いので凸レンズで見る金属球は大きく、腹臥位 (図 4-3 b) では距離が近いので小さな球として表示される。さらに右 45 度頸部捻転坐位前屈 30 度 (図 4-4 a) では 4 時半方向、右 45 度頸部捻転懸垂頭位前屈 30 度 (図 4-4 b) では 1 時半方向、左 45 度頸部捻転坐位前屈 30 度 (図 4-5 a) では 7 時半方向、左 45 度頸部捻転懸垂頭位前屈 30 度 (図 4-5 b) では 10 時半方向に位置する。

考 察

永島医科器械株式会社から、2009 年より臨床現場に導入されているシステムでは複雑な回線を必要とし、記録できる頭位に制限がある。すなわち、頭位センサー付き赤外線フレンツェルゴーグル、赤外線フレンツェルアンプ (IEM-2)、頭位表示装置アンプ (NM-1)、画面分割器、録画機器、モニターテレビと 6 種の機器により構成され、それぞれケーブルで連結されている (図 5)。一方、本装置は付属装置の機能が赤外線カメラ本体に集約されているため、複雑な回線がなくコードレス、かつポータブルで簡便である。民生品である iPad の動画記録機能を使って、観察

のみでなく音声も含めた記録も容易となった。記録を残すことが重要視される臨床現場において、また、刻々と変化するめまいの病態を、再検査なくとも眼振を再観察できる意義は大きい。救急外来、往診、患者による自宅での記録などでの使用も可能である。

BPPVは眼振所見から責任半規管を診断することができ、引き続いて頭位治療を行うことができる¹⁾。頭位治療には、BPPVの責任半規管が後半規管か外側半規管か、病態が半規管結石かクブラ結石か、などによりいくつかの方法が提唱されている³⁾。後半規管型BPPVに対して最近多用されるようになったEpley法⁴⁾の他、Brandt-Daroff法⁵⁾、Semont法⁶⁾、Lempert法⁷⁾の頭位治療法が提唱されている。BPPVの中でも頻度の高い後半規管型では、Dix-Hallpike法が眼振誘発に非常に有用である。頭位変換運動による刺激が、一對の垂直半規管すなわち一侧の後半規管および対側の前半規管のみを刺激することで、潜在する回旋性眼振が見やすくなる。Stenger法で用いる正中頭位では、両側の後半規管を同時に刺激するため、患側診断が困難となることがある。責任半規管を特定することにより、浮遊耳石を卵形囊へ導くことができるので、誘発検査時の眼振と頭位の関連性を明確にする必要がある。またBPPVでは必ずしも典型的な理論通りの眼振が出るとは限らず^{8)~11)}、眼振と頭位を動画として記録保管できることが、診断に役立つ。本装置は、Dix-Hallpike法で用いる頭位を観察できるため、臨床的意義は大きいと考える。各頭位での眼振を同時に一画面に表示できるため、Epley法⁴⁾などの頭位治療における眼振観察にも有用である。一方、NM-1のセンサーの検出範囲には限界があり、Stenger法での坐位／懸垂頭位の表示はできるが、Dix-Hallpike法で用いる回旋位、45度頸部捻転坐位／懸垂頭位の表示はできない。何故ならば、NM-1においてセンサーの取り付け向きはゴーグル（頭部）に対して水平（仰臥位）と垂直（座位）の2種類での取り付け方法に限られている。センサーの検出範囲は、地球の重力に対し水平状態が正中となり、前後左右方向に約90度ずつの傾斜となるため、45度を保ってセンサーを水平に取り付けることができず、Dix-Hallpike法の頭位での観察は精度的にも構造的にも困難なのである。

本装置の原理は単純で、モニター画面上の金属球の位置および大きさにより頭位がわかる。一方、NM-1の原理は複雑である。NM-1は頭位・頭位変換眼振検査時における頭の位置（傾き）を検出判定し、画像化する。そして画像分割器を介して、赤外線眼振画像TV装置の眼球の映像と1画面化することにより、眼振と頭位との関連性を客観的に表現する。NM-1は3軸加速度センサーによって、地球の重力方向を計算する。すなわち重力方向の変化すなわち頭の傾き量を数値化し、平面上でのX-Y軸の動きに置き換える。センサーの傾き量と方向から、右側臥位／背臥位／左側臥位の判別をし、画像上のカーソルの表座標に置き換えて表示する。3軸加速度センサーを用いるため、出力から重力方向を算出し頭位を判定するので、矢状面と体軸面の切り替えを要する。

本装置にも改善すべき課題がある。構造面の改良点は、装置と頭の固定が不確実な点である。体動時のカメラと頭部のずれは、画像解析による定量分析に際しては致命的である。コードレスにするために、重力センサーと赤外線フレンツェルアンプ（IEM-2）を内蔵したカメラユニットに、駆動のための直流電源4.5ボルトを、単3電池3本によって収納したため重くなった。そのため装置を患者の頭に保持するためには、ベルトのみでなく検査中検者による保持が必要である。その点は電池収納を装置の本体と別個にし、胸ポケットや衣服に固定できるようにすれば、患者に装着する部分の軽量化可能である。コードレスの利点もあるため、電池収納を本体と別個にして軽量化するかは、今後検討の必要がある。また全ての頭位の表示が可能であるが、金属球の動きのスムーズさにかける頭位があった。金属球と容器壁の摩擦によると思われるので、容器に油を入れるなどの工夫で摩擦抵抗を軽減する必要があるだろう。頭部の形状からゴーグルの装着の仕方により赤外線照明が動くのか、重力センサーの明るさが画像を見にくくする場面もあった。

記録面の課題は、iPadは記録が容易であるが、画面上で録画開始の操作するため助手を必要とすることである。動画記録のオンオフスイッチも装置に内蔵するなどの操作上の改良ができれば、より実用性が増すであろう。

画質における課題は、データ転送のスピードと

容量の関係から、既に市販されている有線の装置よりも画像の質が落ちることである。無線で送信できるデータ量には限度があるが、今後データ転送速度の改善により画像の質の向上も見込めるだろう。

謝 辞

開発にあたり協力いただいたスカラ株式会社の皆様、耳鼻科医局および外来スタッフに深謝いたします。

本論文の要旨は、第71回日本めまい平衡医学会学術講演会（東京・2012）および第28回国際バナー学会（アルゼンチン・2014）にて発表した。

文 献

- 1) 日本めまい平衡医学会 診断基準化委員会編：赤外線 CCD/C-MOS カメラによる頭位および頭位変換眼振検査マニュアル. *Equilibrium Res* 71: 284-286, 2010
- 2) 頭位表示装置 NK-1 クイックスタートガイド. 永島医科器械株式会社
- 3) 日本めまい平衡医学会診断基準化委員会編：良性発作性頭位めまい症診断ガイドライン（医師用）. *Equilibrium Res* 65: 218-225, 2009
- 4) Epley JM: The canalith repositioning procedure: for treatment of benign paroxysmal positional vertigo. *Otolaryngol Head Neck Surg* 107: 399-404, 1992
- 5) Brandt T, Daroff RB: Physical therapy for benign paroxysmal positional vertigo. *Arch Otolaryngol* 106: 484-485, 1980
- 6) Semont A, Freyss G, Vitte E: Curing the BPPV with a liberatory maneuver. *Adv Otorhinolaryngol* 42: 290-293, 1988
- 7) Lempert T, Tiel-Wilck T: A positional maneuver for treatment of horizontal-canal benign positional vertigo. *Laryngoscope* 106: 476-478, 1996
- 8) 飯田政弘：良性発作性頭位めまい症（BPPV）の眼振による病巣診断. *耳鼻臨床* 100: 1032-1033, 2007
- 9) 重野浩一郎：難治性 BPPV に対する検討. *Equilibrium Res* 65: 132-143, 2006
- 10) 吉波和隆, 北原 紘, 今井貴夫, 他：難治性 BPPV に対する責任半規管の同定と半規管遮断術. *Equilibrium Res* 68: 193-198, 2009
- 11) 飯田政弘：良性発作性頭位めまい症（BPPV）—後半規管型 BPPV. *Equilibrium Res* 72: 443-450, 2013

本装置はスカラ株式会社と共同で開発した装置であり、本研究に使用した装置はスカラ株式会社から提供を受けている。

別刷請求先：三並美香