原 著

ImageJ を用いた眼振解析とその表示
—平衡機能検査法基準化のための資料に基づいて—

池田 卓生¹⁾・橋本 誠²⁾・山下 裕司²⁾

Analysis and display of nystagmus using ImageJ
—Based on the material for the standard examination of equilibrium—

Takuo Ikeda¹⁾, Makoto Hashimoto²⁾, Hiroshi Yamashita²⁾

¹⁾*Department of Otolaryngology, Tsudumigaura Handicapped Children's Hospital*

²⁾*Department of Otolaryngology, Yamaguchi University School of Medicine*

We devised a new analysis technique to display the nystagmus as an arrow based on the material for the standard examination of equilibrium. Three-dimensional eye movement image analysis was performed automatically using the public domain software ImageJ and a personal computer. The direction, amplitude and frequency of nystagmus were calculated from the result of horizontal, vertical and torsional components. The amplitude and frequency were classified into three phases based on the material for the standard examination of equilibrium. Using this technique, it was possible to display properties of the nystagmus as an arrow in detail on the computer.

Key words: nystagmus, arrow, the standard examination of equilibrium, ImageJ.

はじめに

これまでに我々は、フリーウェアの画像解析ソフト NIH Image を用いた眼球運動の画像解析法を報告してきた^{1~3)}。本法の利点は、赤外線 CCD カメラで記録した眼振のビデオ映像から ENG と同様の波形を解析できることであり、また、水平・垂直・回旋の各成分について三次元解析が可能なことである^{4~10)}。今回我々は、このコンピュータ解析の特性を生かして、本学会の平衡機能検査法基準化のための資料¹¹⁾に基づいた眼振矢印の解析

方法を考案したので報告する。

方 法

1) 眼球運動画像解析

今回、画像解析のためのソフトウェアは、NIH Image の後継ソフトウェアである ImageJ を用いた (ImageJ は、U.S. National Institutes of Health の Wayne Rasband 氏が開発し、インターネットを介して入手できる。Rasband, W.S., ImageJ, U. S. National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA, <http://rsb.info.nih.gov/ij/>, 1997-2008.)。この ImageJ についても眼球運動を画像解析するためのマクロプログラムを独自に作成し、これまで我々が報告してきた方法と同じ原理

¹⁾ 鼓ヶ浦子ども医療福祉センター耳鼻咽喉科

²⁾ 山口大学医学部耳鼻咽喉科学教室

図1 水平性眼振・垂直性眼振・斜行性眼振における眼振矢印の解析

急速相の始点から終点の方向を眼振矢印の方向とし、水平軸に対する傾きを眼振矢印の傾きとして、眼振1打毎の平均値を求めた。始点と終点の移動距離から眼振1打毎の平均振幅を計算し、急速相の出現頻度から1秒毎の平均眼振数を計算した。

図2 回旋性眼振における眼振矢印の解析

我々の画像解析法では回旋成分の急速相で図のような誤差が生じる可能性があるため、解析する画像全体に占める時計回転と反時計回転の割合を計算し、占める割合が多い方向を緩徐相、少ない方向を急速相として判定した。緩徐相側の回旋角度から眼振1打毎の平均振幅を計算し、時計回転と反時計回転の折り返しの数から1秒毎の平均眼振数を計算した。

で解析を行った¹⁻³⁾。赤外線 CCD カメラのビデオ映像は、パソコン（アップル社製 MacBook）にビデオ編集用ソフトウェア（アップル社製 iMovieHD）を用いて1秒間30コマで取り込んだ。この画像から ImageJ を用いて以下の手順で解析

した。

i. 瞳孔のみが認識されるように画像の閾値を設定する。

ii. 瞳孔の中心座標を解析し、水平・垂直成分を求める。

iii. 虹彩紋理を含めた楕円形の関心領域を設定し、前後2枚の画像を比較して虹彩紋理パターンが最も一致する回旋角度を求める。

2) 平衡機能検査法基準化のための資料に基づく眼振矢印の解析方法

平衡機能検査法基準化のための資料に基づいて眼振を矢印として表示するためには、眼振の方向・振幅・頻度の三つの要素について解析する必要がある。また、水平性眼振・垂直性眼振・斜行性眼振は、解析結果を一本の矢印として表示できるが、回旋性眼振は、これとは別の矢印として解析し表示する必要がある。

水平性眼振・垂直性眼振・斜行性眼振の方向・振幅・頻度については、三次元解析の中の水平成分と垂直成分から計算した。まず、水平成分と垂直成分の値（角度）から、平面上の瞳孔重心点の移動距離を30分の1秒毎に計算し、その移動速度が90度毎秒を超えた場合を急速相として判定した。そして、急速相の始点から終点に向かう方向を眼振矢印の方向とし、平面上の水平軸に対する傾きを眼振矢印の傾きとして、眼振1打毎の平均値を求めた（図1）。また、急速相の始点と終点の移動距離から眼振1打毎の平均振幅を計算し、急速相の出現回数から1秒毎の平均眼振数を計算した。

回旋性眼振の方向・振幅・頻度については、三次元解析の中の回旋成分から計算した。回旋成分については、我々の画像解析法の場合、虹彩紋理の画像が急速相では不鮮明になるため、急速相の値は誤差が生じやすい（図2）。そこで、まず、解析した画像全体の中に占める時計回転と反時計回転の割合を計算し、占める割合が多い方向を緩徐相、少ない方向を急速相として判定した。次に、緩徐相側の回旋角度から眼振1打毎の平均振幅を計算し、時計回転と反時計回転の折り返しの数から1秒毎の平均眼振数を計算した。

眼振矢印の振幅と頻度は、平衡機能検査法基準化のための資料では、それぞれ3段階に分かれているため、次のような基準で分類した。振幅の分

図3 水平性眼振・垂直性眼振・斜行性眼振を表示するための眼振矢印

類は、眼振1打毎の平均振幅が1度未満であれば眼振なし、1度以上から4度未満の場合は小打性、4度以上から7度未満は中打性、7度以上は大打性とした。頻度の分類は、振幅の分類で小打性以上と判定された場合において、1秒毎の平均眼振数が1打未満であれば低頻打性、1打以上から3打未満の場合は中頻打性、3打以上は頻打性とした。

以上の解析結果から、図3と図4に示す矢印を用いて、水平・垂直・斜行性眼振と回旋性眼振を表示するようにした。

結 果

本法を用いた場合の解析例を示す。図5は、めまいを伴う突発性難聴で認められた水平回旋混合性眼振の解析結果である。水平方向は、右向き大打性中頻打性に分類され、僅かに斜行性になっている。回旋方向は、検者から見て反時計回転の小打性中頻打性となっている。従来の眼振矢印の記

図4 回旋性眼振を表示するための眼振矢印

載方法であれば、右向きの水平方向の矢印と回旋方向の矢印だけで単純な記載がなされる場合が多いと思われるが、コンピュータを使って解析し分類することで、眼振の性状をより詳細な矢印として表示することが可能となっている。

考 察

コンピュータを用いた眼球運動の解析については、三次元解析が実用化されて以降¹²⁻¹⁴⁾、最近では技術的な進歩により、従来の1秒間30コマよりも更に高速度なカメラでの記録が可能となっている¹⁵⁾。また、今井らは、眼球運動の回転軸とその回転軸周りの回転角度を解析する眼球運動三次元回転軸解析を考案し¹⁶⁾¹⁷⁾、良性発作性頭位めまい症の病巣同定や回転検査での半規管機能の正確な解析など臨床応用における有用性を報告している¹⁸⁾¹⁹⁾。これらの報告が、三次元解析の精度向上や眼球運動のより詳細な解析を目指しているのに対して、我々は、三次元解析を日常外来で簡便に

図5 めまいを伴う突発性難聴で認められた水平回旋混合性眼振の解析結果

図左は、三次元解析の結果。上段が水平成分の原波形、中段が垂直成分の原波形、下段が回旋成分の原波形。図右は、コンピュータ上に表示された眼振矢印。

利用することを目的に、フリーウェアの画像解析ソフトウェアを用いた方法を報告してきた^{1~3)}。

眼振を記載する上で、本学会の平衡機能検査法基準化のための資料に基づいて、方向・振幅・頻度を矢印で表示することは、眼振の性状を分かりやすく分類する手段として非常に有用である。現在、多くの病院に導入されつつある電子カルテでは、画像ファイリングシステムによって赤外線 CCD カメラで記録したビデオ映像や ENG の結果を診療室のコンピュータ上で閲覧することが容易になると思われる。しかし、これらの検査結果をまとめ、めまい疾患の診断に利用するためには、眼振を矢印で記載することは依然として重要であると考えられる。

平衡機能検査法基準化のための資料では、眼振

の振幅は、小打性、中打性、大打性の三つに分類され、眼振の頻度は、低頻打性、中頻打性、頻打性の三つに分類されている。しかし、これらの分類については明確な基準が示されておらず、実際の矢印の記載は検者の主観によって分類されているのが現状である。このため、同じ眼振であっても、振幅や頻度の判定は検者によって異なる可能性がある。また、回旋成分については、振幅や頻度を同様に 3 段階で分類するかどうか資料には触れられていない。

そこで、今回我々は、コンピュータ解析の特性を生かして、振幅や頻度の分類をコンピュータが自動的に判定し、眼振を矢印として表示する方法を考案した。本解析法を用いることによって、検者の主観に影響されることなく、眼振の性状を平衡機能検査法基準化のための資料に基づいた矢印として表示することが可能であった。しかし、コンピュータ解析によって眼振の振幅や頻度をどのように分類するかについては、これまで十分な研究が行われているとは言えない。コンピュータ解析で分類する上で、どのような判定基準が適切であるか、また、眼振疑いや振子様運動をどのように判定するか等については、今後、様々な意見を反映させながら更に検討を進めて行く予定である。

文 献

- 1) 池田卓生, 綿貫浩一, 菅原一真, 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, 1998
- 2) 池田卓生, 橋本 誠, 堀池 修, 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) 池田卓生: 日常外来での画像作成・記録—眼振記録—. JOHNS 19: 1706-1710, 2003
- 4) 福田裕次郎, 池田卓生, 堀池 修, 他: 回旋性眼振を認めた脳幹悪性リンパ腫の一例. Equilibrium Res 65: 11-16, 2006
- 5) 清水謙祐, 松浦宏司, 池田卓生, 他: 輻輳誘発性振り子様眼振の 1 症例. Otol Jpn 15: 671-674, 2005
- 6) 関根基樹, 高橋正紘, 小林 修, 他: コリオリ刺激実験による 1 G と μ G の空間識比較。

- Equilibrium Res 63: 301-307, 2004
- 7) 一條宏明：持続型方向交代性下向性頭位眼振の検討. Equilibrium Res 65: 422-428, 2006
 - 8) 一條宏明：外側半規管型頭位性めまい症の分類. 耳鼻臨床 101: 509-514, 2008
 - 9) 岡田智幸：赤外線 CCD カメラで観た BPPV 眼振所見. MB ENT 60: 21-27, 2006
 - 10) 岡田智幸：外来で行える簡易眼球反対回旋検査（健常成人）—赤外線 CCD 付き Frenzel 眼鏡を使用して—. Equilibrium Res 65: 440-446, 2006
 - 11) 渡辺行雄, 肥塚 泉, 山本昌彦, 他：平衡機能検査法基準化のための資料—2006年平衡機能検査法診断基準化委員会答申書, 及び英文項目—. Equilibrium Res 65: 468-503, 2006
 - 12) Yamanobe S, Taira S, Morizono T, et al.: Eye movement analysis system using computerized image recognition. Arch Otolaryngol Head Neck Surg 116: 338-341, 1990
 - 13) Yagi T, Yamanobe S, Morizono T, et al.: Three components analysis of eye movements using computerized image recognition. Acta Otolaryngol Suppl 481: 460-462, 1991
 - 14) Yagi T, Kurosaki S, Yamanobe S, et al.: Three-component analysis of caloric nystagmus in humans. Arch Otolaryngol Head Neck Surg 118: 1077-1080, 1992
 - 15) Yagi T, Koizumi Y, Aoyagi M, et al.: Three-dimensional analysis of eye movements using four times high-speed video camera. Auris Nasus Larynx 32: 107-112, 2005
 - 16) Imai T, Takeda N, Morita M, et al.: Rotation vector analysis of eye movement in three dimensions with an infrared CCD camera. Acta Otolaryngol 119: 24-28, 1999
 - 17) Imai T, Takeda N, Uno A, et al.: Three-dimensional eye rotation axis analysis of benign paroxysmal positioning nystagmus. ORL J Otorhinolaryngol Relat Spec 64: 417-423, 2002
 - 18) 今井貴夫, 関根和教, 武田憲昭, 他：VOG による眼球運動三次元軸解析. Equilibrium Res 65: 408-421, 2006
 - 19) 今井貴夫, 武田憲昭：眼球運動三次元回転軸解析の臨床応用. 耳鼻臨床 100: 599-613, 2007