

AMCoR

Asahikawa Medical University Repository <http://amcor.asahikawa-med.ac.jp/>

視覚の科学 (2009.09) 30巻3号:75～83.

マイクロペリメトリー

石子智士

総説

マイクロペリメトリー

石子 智士

旭川医科大学眼科学講座

Microperimetry

Satoshi Ishiko

Department of Ophthalmology, Asahikawa Medical College

マイクロペリメトリーを用いた研究から、黄斑疾患患者においては経過観察・治療前後において固視の位置が変わることがあるため、固視の位置・安定度評価や両眼検査が重要であることを解説し、偽中心固視の概念についても言及した。新しいマイクロペリメータでは定量的感度評価が可能となり、同一部位・同一条件下での測定のためのフォローアッププログラムにより、感度変化の比較が容易となった。更に任意の光刺激を眼底に投影することができるため、ロービジョンへの応用が期待される。しかし実際には眼底をトラッキングしながら検査を行い、最後に眼底写真と重ね合わせているため、重ね合わせの際に注意が必要である。また、他の視野検査装置と比べ光量が少ないなど、装置の特徴をよく理解した上で視機能評価を行うことが重要である。眼底所見、光干渉断層計所見、蛍光眼底造影所見と同一画面で視機能検査ができる all in one の装置への期待を述べた。

(視覚の科学 30: 75-83, 2009)

キーワード：マイクロペリメトリー、走査レーザー検眼鏡、固視

From the microperimetry study, preferred retinal locus (PRL) evaluations, such as location and stability, and bilateral ocular examinations are important because the PRL can change easily in macular disease. The concept of pseudo-central fixation is also explained. The newly developed microperimeter enables qualitative evaluation, making it easy to compare changes in the same location under the same conditions during follow-up visits. Microperimetry is also expected to have applications in low-vision care. Examinations are conducted by tracking the fundus and overlaying the data on color photographs after the examination. Visual function evaluation is also essential, with the understanding that certain features of the instrument, such as low light level, might not facilitate direct comparison with other perimeters. The expectation is to develop an all-in-one instrument that can evaluate visual function at the same time as fundus image screening, optical coherence tomography and angiography.

(Jpn J Vis Sci 30: 75-83, 2009)

Key Words : Microperimetry, Scanning laser ophthalmoscope, Preferred retinal locus

1. マイクロペリメトリーとは

マイクロペリメトリー (microperimetry, 微小視野計測) とは、眼底に光刺激を提示して局所の網膜感度を測定する検査法の総称である。これまで走査レーザー検眼鏡 (以下 SLO) に搭載されたマイクロペリメトリーを用いて多くの研究がなされてきた^{1,2)}。こ

の SLO マイクロペリメトリーでは、任意の領域に任意の条件で光刺激を提示できるため、詳細な眼底所見あるいは造影検査所見から病変が疑われる領域の感度を直接測定したり、患者の自覚はあるものの通常の方法では検出できない限局した領域の変化を捉えるのに有用である。更に固視の動揺を補正することができるため、従来の視野計では評価が難しかった固視不

別刷請求先：078-8510 旭川市緑が丘東 2-1-1-1 旭川医科大学眼科 石子智士
(2009年7月6日受理)

Reprint requests to: Satoshi Ishiko Dept of Ophthalmol, Asahikawa Medical College
2-1-1-1 Midorigaoka-Higashi, Asahikawa 078-8510, Japan
(Received and accepted July 6, 2009)

良の患者でも検査が可能であり、検査中の固視位置のマッピングにより固視の評価ができるという特徴を有していた。また、視力視標を投影して視力を測定することも可能であった³⁾。しかしながら、すでに Rodenstock 社製の SLO は製造中止となり、これらの検査を行うことは一部の施設に限られていた。しかし近年、新しいマイクロペリメータ (MP-1, Nidek 社) が市販され、臨床的に広く用いられるようになってきた (図1)^{4, 5)}。ここでは、これまでの SLO によって得られた知見を振り返り、MP-1 について、その使い方から使用するにあたっての注意点について解説していきたい。

2. 固視評価

黄斑疾患患者において固視の評価は重要である。たとえば、黄斑変性患者の固視を長期的に観察すると、変性領域が拡大し以前の固視領域が変性領域となることをしばしば経験する。このような患者では、変性の拡大に伴い固視も周辺に移動していく⁶⁾。また、治療の前後において固視の位置が変わる症例もある。これらの事実は、黄斑疾患患者の経過観察・治療前後において固視の位置が変わることがあること、すなわち視力を評価している網膜領域が必ずしも同一ではない可能性があることを意味している。したがって、経過観察あるいは術前後の視機能評価に視力を用いる場合には、視力のみならず固視を同時に評価することは重要である。

マイクロペリメトリーを用いて固視位置の評価をする場合に、忘れてはならない注意点がある。黄斑疾患患者においては、黄斑部の視機能が著しく障害されると中心固視ができなくなり、固視は中心外へ移動する。この中心外固視が確立していない患者では、見えない中心領域でものを見ようとする傾向がある。このような患者の固視をマイクロペリメトリーで評価すると、中心領域に固視表示が集まるため、あたかも中心固視をしているかのような固視結果が示される (図2)。我々は、これを「偽中心固視」と呼んで「中心固視」とは区別しているが、これを「不安定な中心固視」と評価することは、患者がものを見るために機能していない領域を使っているかのような印象を与えるため、明らかに間違いであることがわかる。このことから、固視の領域が機能しているかどうかを知ることが重要である。最近では、光干渉断層計 (以下 OCT) は黄斑部の形態変化を詳細に評価するため黄斑疾患の診断には欠かせない装置となった。上述したように、黄斑疾患において固視は必ずしも中心窩にあるとは限らないことから、OCT を用いて測定した黄斑部の厚さと視力との関連を論じる場合には、固視の評価は必須である。

固視の安定度の評価も重要である。黄斑変性患者の長期経過をみていると、病態に変化がないにもかかわらず突然視力が上昇することがある。このような患者の固視を解析すると、見えない中心領域で偽中心固視をしていたものが、感度を有する中心外の領域で

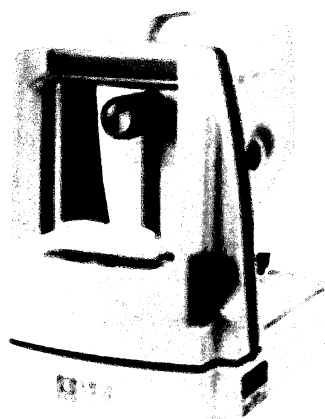


図1 MP-1の外観
無散瞳眼底カメラをベースとした装置本体



図2 偽中心固視
あたかもここで固視を行っているかのように視機能のない領域に固視表示が集まっている。
白い四角:見えている領域, 白抜きの四角:暗点領域,
黒十字:各検査時の固視, 白十字:最終検査時の固視

比較的安定した固視をしている。このことは、黄斑疾患患者における視力上昇は黄斑部領域の機能改善によるものばかりではなく、病変が不変であっても固視の移動・安定化によって視力が向上する可能性があることを示している。あるいは病態の悪化によって中心部の視機能が完全に荒廃することで固視が中心外に移動し、視力が変化する可能性もある。このことは経過・治療評価に際し視力のみを評価基準にすることの危険性を示唆している。またこのような変化は、これまで良好だった方の眼が突然急激な視力低下を来すといった左右の優位性の逆転によっても生じる可能性があり、両眼の検査をすることが重要である⁶⁾。

3. MP-1 を用いた検査の実際

Rodenstock 社製の SLO は装置が大型であること、操作に熟練が必要であることなど、使用上の短所をいくつか有していた。更に SLO マイクロペリメトリーでは、位置ずれの補正や固視安定度の評価はすべてマニュアルで行う必要があり、検者によって結果にばらつきが生じることもあった。また、あらかじめ測定点を設定した検査プログラムがないため、同じ測定点による他者との比較や、同一症例において前回と同一部位の検査を行うのは容易ではないなど、実際に検査を行う上での問題点を有していた。新しいマイクロペリメータである MP-1 は無散瞳眼底カメラをベースに作

られており、SLO の欠点であった操作性の悪さが解消されている。更に、感度測定プログラムにより定量的評価が可能となり、同一部位・同一条件下での測定のためのフォローアッププログラムにより、感度変化の比較が容易となった。以下に、MP-1 を用いた検査の実際について説明する。

MP-1 を用いた検査に際し、適切な検査プログラムを選択する必要がある。対象とする病変により、検査領域、ポイント数、開始輝度、視標提示時間、閾値検査のストラテジーなどの条件を考えながら、あらかじめ用意されたプログラムのなかから選ぶか、必要な条件の検査プログラムを独自に作成することができる。また、固視標も形・太さ・長さなどを選択することができ、目的に応じて必要なものを選択する。固視の評価は感度の評価と同時に、あるいは固視評価のみ行うこともできる。検査中の固視の動きを固視中心からの距離を角度として経時的に表示したり、固視全体の散布図を表示し、中心 2° 以内と 4° 以内に占める割合によってそれぞれ固視の安定度を自動的に評価することができる (図 3)。通常用いられる静的マイクロペリメトリーのプログラムでは眼底病変に対応させた視野評価が容易で、シンボル表示または数値表示では眼底所見の上に結果がオーバーレイされるのでわかりやすい。カラーコード表示では眼底像が隠されてしまうものの、視野障害のパターンをイメージしやすいため患

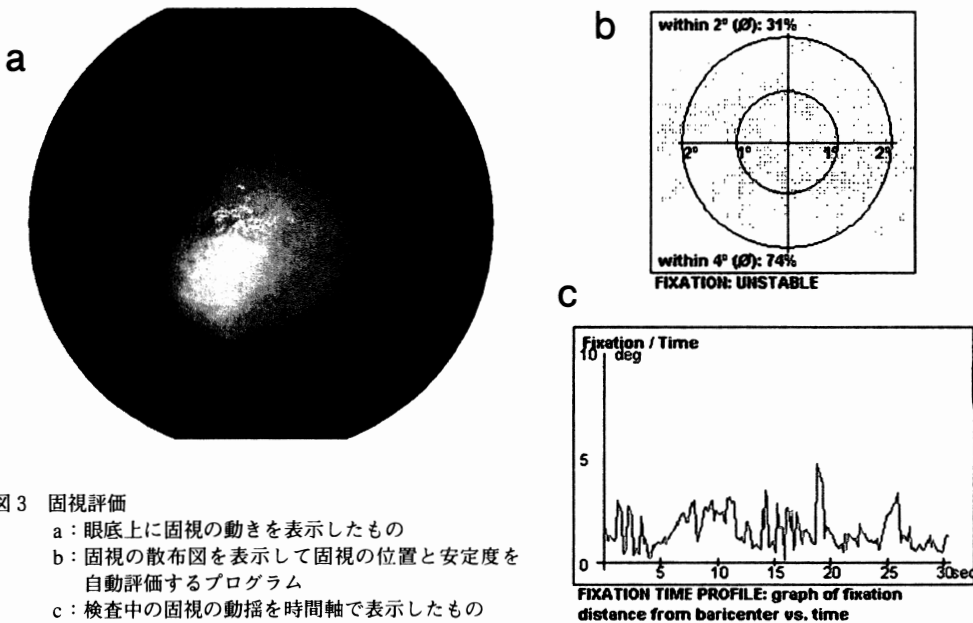


図3 固視評価
 a: 眼底上に固視の動きを表示したもの
 b: 固視の散布図を表示して固視の位置と安定度を自動評価するプログラム
 c: 検査中の固視の動揺を時間軸で表示したもの

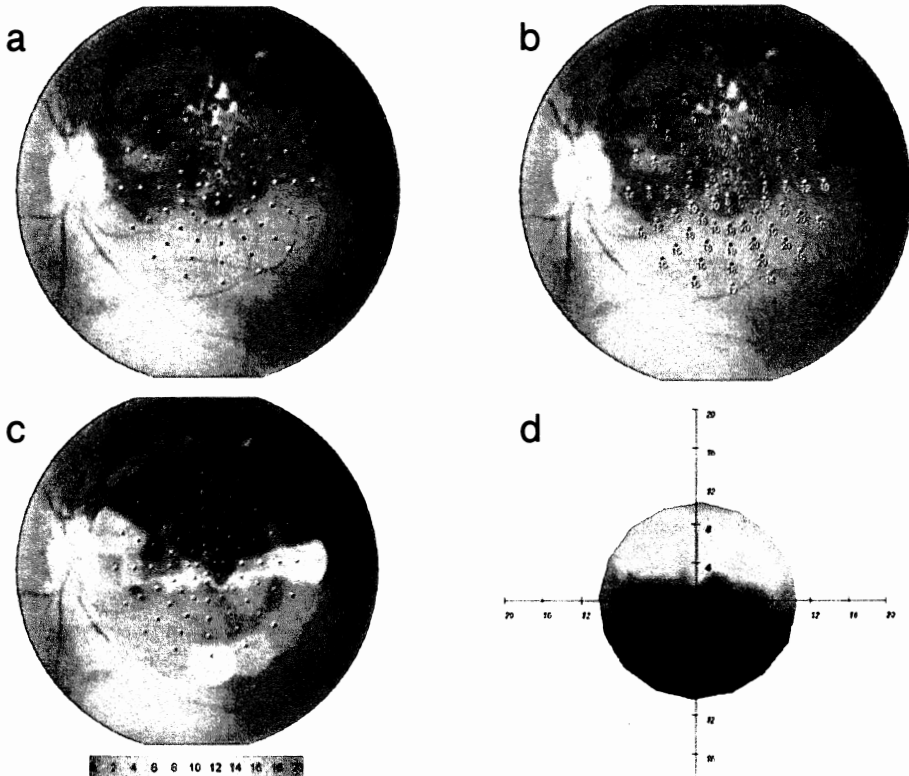


図4 静的マイクロペリメトリーの表示
 a: シンボル表示, b: 数値表示,
 c: カラーコード表示, d: グレースケール表示

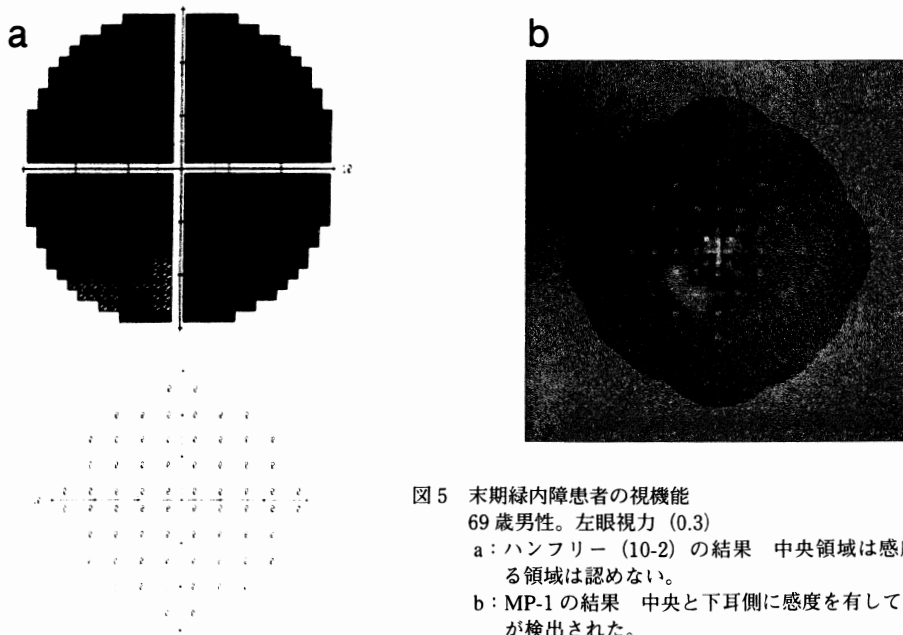


図5 末期緑内障患者の視機能
 69歳男性。左眼視力 (0.3)
 a: ハンプリー (10-2) の結果 中央領域は感度を有する領域は認めない。
 b: MP-1 の結果 中央と下鼻側に感度を有している領域が検出された。

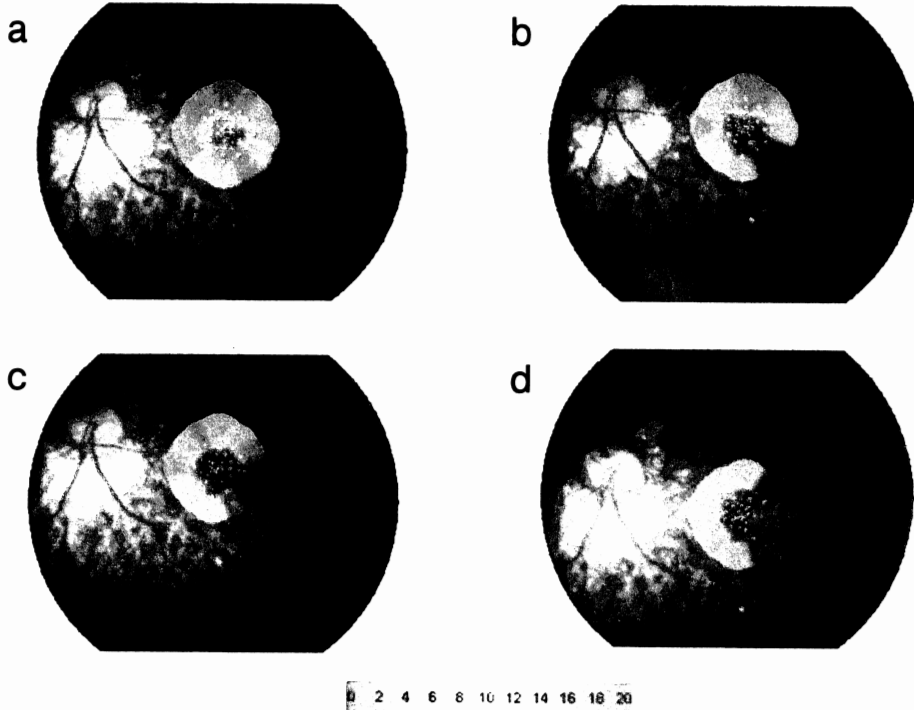


図6 近視性脈絡膜新生血管の経時変化

- a: 初診時 視力 (0.8)。ゆがみと暗点を自覚。中心近くに暗点出現。
 b: 3カ月後 視力 (0.5)。自覚的には見えにくくなった。中心を含み耳側に暗点出現。
 c: 6カ月後 視力 (0.4)。自覚的には見えにくくなった。耳側の暗点拡大。
 d: 9カ月後 視力 (0.4)。自覚的には中央に近い部分が更に見えにくくなった。耳側の暗点は更に拡大し、鼻側も感度が低下した。

者への説明に有用である。グレースケール表示を用いると、実際の視野変化をハンフリーのグレースケール表示のように提示することができる (図4)。

たとえば、緑内障末期の患者においてハンフリーの10-2を用いた検査では感度を有さないと判断された症例でも、中心のごく限られた領域に感度が残存しているのを検出できる症例がある (図5)。また、モザイク状の視野障害は患者自身も表現することが難しく、通常の検査では捉えにくい例もある。更に、見えにくさが進行しても視力が変わらないなど (図6)、病態変化や自覚症状の変化と視力の変化が一致しないことはよく経験する。また、このような症例において、MP-1による眼底所見と対応した検査を行うことは病態を理解するのに有用であるばかりでなく、患者への説明にも役立つ。

動的マイクロペリメトリーでは視標の条件 (何方向か、内向きか外向きか、速さ、動かす角度) と、いく

つの条件で行うか設定する。等感度曲線を描くことが可能 (図7) で、等感度曲線内部の面積を解析することもできるため、暗点の拡大・縮小を定量的にフォローすることが可能である。

更にMP-1では、任意に作成した文字や図形を眼底に投影することができる。文字列を投影して患者に読ませたときの固視の位置、動きを解析すること (図8) で、従来のSLOマイクロペリメトリーで報告されている読みの評価⁷⁾、訓練⁸⁾ など、ロービジョンへの応用も可能である。

4. MP-1 検査の注意事項

マイクロペリメトリーを行う際、感度評価に影響を及ぼさない赤外光を用いて眼底観察を行っている。SLOでは共焦点絞りにより焦点平面以外からの反射をブロックしているため、解像度の高い眼底像を得ることができることが特徴として挙げられる。した



図7 動的マイクロペリメトリー
暗点の外側へ向かって8方向に視標を動かした結果を結び、等感度曲線を描いたもの。ここでは異なった2種類の明るさで行った検査結果を示す。

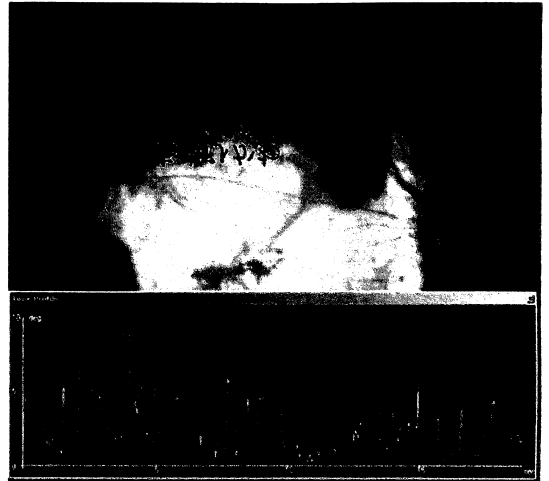


図8 読みの評価
文字列を眼底に提示。固視の動きを示すグラフで評価を行える。

がってSLOマイクロペリメトリーでは、眼底像をリアルタイムで観察しながら、眼底所見上変化のある領域に刺激光を当てて網膜感度を測定することが可能であった。一方、MP-1は眼底カメラをベースとしているため、このシステムで得られる眼底像の解像度は低い。検査前には視神経乳頭の位置とトラッキングのためのマーキングを行うが、この装置で見えている眼底画像は視神経乳頭、網膜主幹血管の一部と脈絡膜血管であり、詳細な網膜病変を捉えることは容易ではない。網膜上に焦点が合っているか確認することもできないほど不鮮明な画像しか得られない。実際には屈折度を入力してから検査を行うが、この入力も忘れても検査中は焦点ずれに気がつかず、検査終了後に撮影する眼底写真を見て初めてピンボケのまま検査を行っていたことに気がつくほどである。したがって、リアルタイムに眼底を観察しながら眼底所見上変化のある領域の検査を行うことは困難であり、あらかじめ把握している眼底に対して位置をトラッキングしながら検査を行い、最後にその結果を眼底写真と重ね合わせているというのが正しい。実際に局所的な病変部位の検査を行う場合には、すでに把握している眼底所見と見比べながらおよその位置関係を捉えて検査位置を調整あるいは検査プログラムを選択して検査を行い、最後に眼底写真を撮って結果を重ね合わせて評価することになる。結果と眼底写真との重ね合わせに際しては領域

表1 視野検査装置と明るさの条件

	背景輝度 (cd/m ²)	最高視標輝度 (abs)
Humphrey	10	10,000
Octopus (101)	1.27	1,000
SLO microperimetry	10 (2)	16,000 (3,200)
MP-1	1.27	400

を2箇所選んで自動認識をするが、自動認識ができないため手動で行う必要がある症例は少なくない。この際、血管分岐部など2箇所を選んでマーキングを行うが、前述のように赤外光による所見では眼底像が不鮮明であるため、眼底写真で選んだ部位と同じ部位に正確にマーキングを行うことはときとして容易ではない。しかし、ここを正確に行わなければマイクロペリメトリーの結果が眼底上にずれて表示されてしまうため、慎重を期する必要がある。ずれが生じたかどうかはプリントされた結果ではわからないため、結果を評価する医師が自分で検査を行っていない場合には注意が必要なこともある。

光量の小ささも大きな欠点である(表1)。他の視野検査と比較検討する場合にはその特徴をよく理解しておくことが重要である^{9, 10)}。MP-1で0dB未満と評価されても、光量の大きな従来装置では感度を有していると評価できる可能性もあり、あくまでもこの装置を用いた場合の結果であることを念頭に病態を考

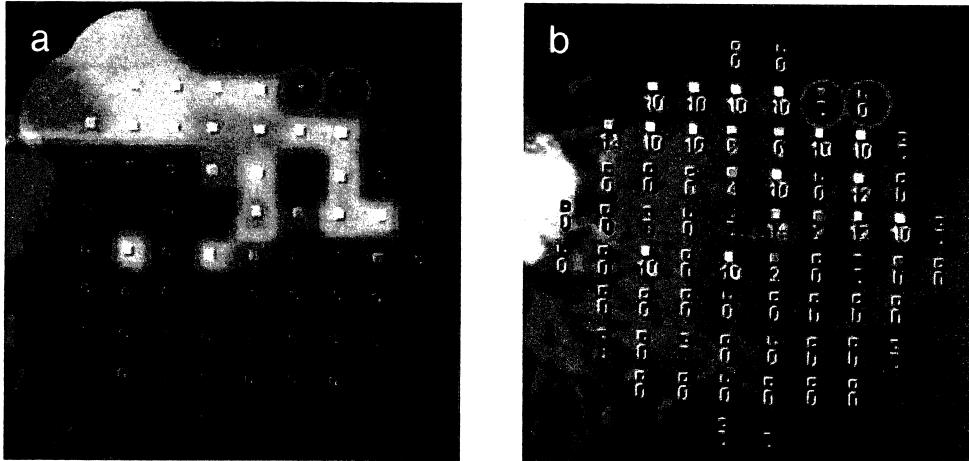


図9 MP-1における0dB表示
a: カラーコード表示, b: 数値表示

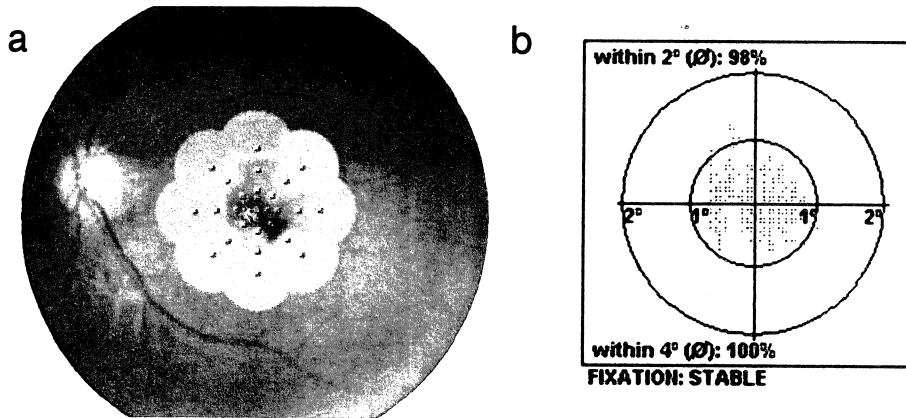


図10 黄斑変性患者の固視
a: 感度分布のカラー表示, b: 固視評価
偽中心固視を行っている患者では、見えない中央部で安定した固視をしているかのような検査結果となり、固視評価プログラムでもそのように評価してしまう。

える必要がある。とりわけ、この装置での最高輝度で測定した検査は、その視標が見えたか見えなかったかをシンボル表示やカラーコード表示では区別しているが、数値表示ではどちらも0dBと表示される(図9)。これらの値から平均値などを評価する場合には、これを理解しておく必要がある。

固視評価に際しては、黄斑疾患患者では見えない中心部の領域であたかも固視をしているかのような偽中心固視の症例もあるため(図10)、固視評価プログラムの判断だけを鵜呑みにせず、固視領域に感度を有しているかオリジナルの検査結果を確認することは基本

である。

MP-1検査に際しては、これらの特徴をよく理解した上で視機能の評価を行うことが重要である。

5. マイクロペリメトリーの未来

近年、OCTにより黄斑部領域の定性的構造変化ならびに厚さの定量的変化を詳細に評価することが可能となった。疾患の病態をより詳細に把握するためには、これらの構造変化と機能変化との対比が重要である。MP-1を行う際、OCTの厚みのマップと対応させた測定点を設定したプログラムを作成すると、評価

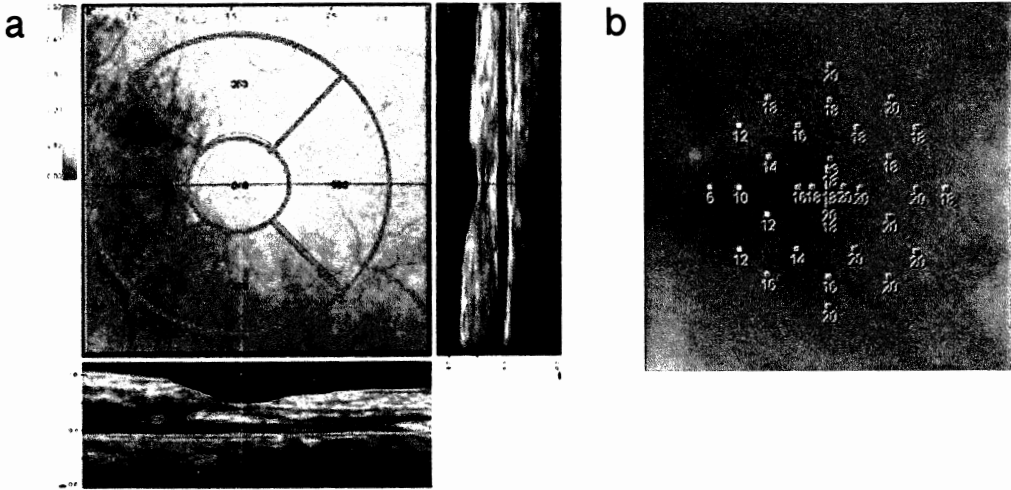


図 11 測定ポイントの設定 糖尿病黄斑浮腫の1症例
 a: 光干渉断層計 (OCT) を用いた網膜厚の検査
 b: OCT の網膜厚測定領域に対応した検査ポイントの設定

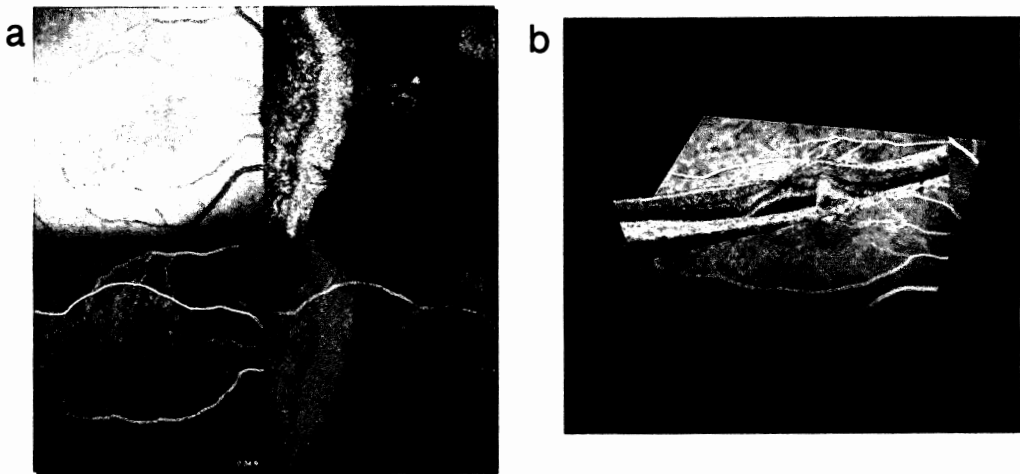


図 12 OCT Angiography
 OCT とインドシアニングリーン蛍光眼底造影検査 (ICGA) を同一装置で行い、それぞれの所見を重ね合わせることができる
 a: 左上; SLO 画像, 右上; OCT C-scan 画像, 左下; ICGA 画像, 右下; OCT C-scan 画像と ICGA 画像の重ね合わせ
 b: ICGA 画像上の病変部を通る直線上で OCT 断層検査 (B-scan) を行い、それらを垂直に重ね合わせたもの。

が容易になるばかりでなく検査時間も短縮できる (図 11)。しかしながら、局所的な病変を生じる疾患では、測定点はその病変部を含んだかどうかで感度の平均値は大きく異なってしまう可能性がある。したがって、所見に応じた任意の局所機能検査も重要である。ま

た、網脈絡膜疾患の病態評価には蛍光眼底造影検査が必須であり、これらの評価との対比も重要である。最近では、OCT とインドシアニンググリーン赤外蛍光造影検査を同一光源、同軸で行い、それぞれの所見を重ね合わせができる装置も出てきた (図 12)⁸⁾。しかしな

がら現在のところ、異なった装置を用いて得られた異なった画角の検査所見を見比べながら評価しているのが一般的である。これら眼底所見、蛍光眼底所見、そしてOCT所見を見ながら同一画面で視機能検査ができ、そして最終的には治療まで可能な all in one の装置が理想ではないかと考えている。

文 献

- 1) Timberlake GT, Van de Velde FJ & Jalkh AE: Clinical use of scanning laser ophthalmoscope. Retinal function maps in macular disease. *Lasers Light Ophthalmology* 2: 211-222, 1989.
- 2) Ishiko S, Ogasawara H et al: The use of scanning laser ophthalmoscope microperimetry to detect visual impairment caused by macular photocoagulation. *Ophthalmic Surg Lasers* 29: 95-98, 1998.
- 3) 石子智士, 吉田晃敏他: 走査レーザー検眼鏡 visumetry を用いた正常人の局所視力. *臨眼* 51: 259-261, 1997.
- 4) Yamaike N, Tsujikawa A et al: Retinal sensitivity after intravitreal injection of bevacizumab for the treatment of macular edema secondary to retinal vein occlusion. *Retina* 29: 757-767, 2009.
- 5) Crossland MD, Dunbar HM et al: Fixation stability measurement using the MP1 microperimeter. *Retina* 29: 651-656, 2009.
- 6) 吉田晃敏, 廣川博之他: 黄斑疾患に対する新しい検査法 - 診断と治療への応用 -. *日眼会誌* 104: 899-942, 2000.
- 7) Timberlake GT, Peli E et al: Reading with a macular scotoma. II. Retinal locus for scanning text. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 28: 1268-1274, 1987.
- 8) Nilsson UL, Frennesson C & Nilsson SEG: Patients with AMD and a large absolute central scotoma can be trained successfully to use eccentric viewing, as demonstrated in a scanning laser ophthalmoscope. *Vision Res* 43: 1777-1787, 2003.
- 9) Springer C, Bultmann S et al: Fundus perimetry with the micro perimeter 1 in normal individuals. Comparison with conventional threshold perimetry. *Ophthalmology* 112: 848-854, 2005.
- 10) Rohrschneider K, Springer C et al: Microperimetry - Comparison between the micro perimeter 1 and scanning laser ophthalmoscope-fundus perimetry. *Am J Ophthalmol* 139: 125-134, 2005.